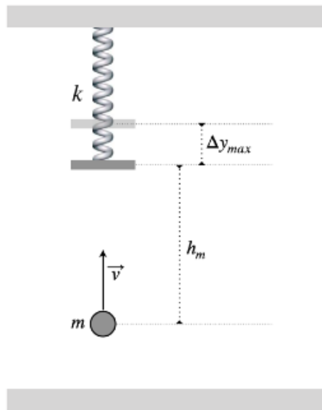
Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 7 Giugno 2022 - Prof. L. Guiducci

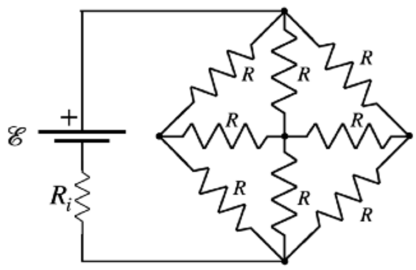
Esercizio 1
Un'automobile di massa $m = 680\ \mathrm{kg}$ è ferma alla linea di partenza di una pista circolare pianeggiante avente raggio $R = 155\ \mathrm{m}$. Inizia a muoversi con accelerazione costante $a = 0.75\ \mathrm{m/s^2}$. Consideriamo l'istante in cui ripassa per la prima volta dalla linea di partenza.
1) Qual è la potenza istantaneamente erogata dal motore in questo istante? (si trascurino tutti gli attriti dinamici)
2) Qual è la potenza *media* erogata dall'inizio del moto?
3) Nell'istante considerato, le ruote iniziano a slittare. Quanto vale il coefficiente di attrito tra gomme e asfalto?

Esercizio 2
Un corpo puntiforme di massa $m = 125\ \mathrm{g}$ viene lanciato verso l'alto, contro una molla di massa trascurabile e di costante elastica $k = 18.5\ \mathrm{N/m}$ disposta verticalmente. L'estremità libera della molla in posizione di riposo si trova ad un'altezza $h_m = 2.55\ \mathrm{m}$ dalla posizione del corpo al momento del distacco dalla mano del lanciatore. Quando il corpo impatta sulla molla, questa si comprime di $\Delta y_{max} = 38.0\ \mathrm{cm}$.



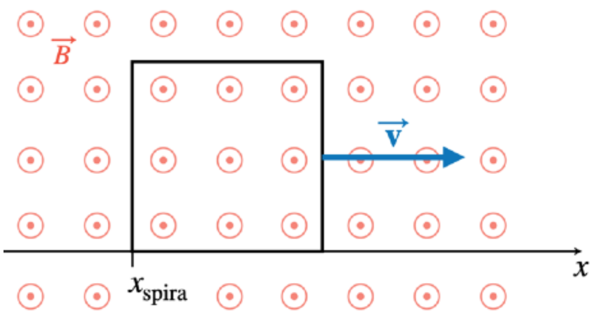
1) Qual è la velocità di lancio del corpo?
2) Se il corpo resta agganciato alla molla, qual è la *frequenza* della successiva oscillazione?
3) Qual è in questo caso la posizione più *bassa* raggiunta dal corpo durante l'oscillazione (sempre misurando l'altezza rispetto al punto di lancio)?
4) Se durante la salita del corpo dalla mano alla molla l'attrito con l'aria genera una forza costante di modulo $F_a = 3.00\ \mathrm{N}$, quale velocità di lancio occorre per ottenere comunque compressione Δy_{max}?

Esercizio 3
Un generatore di forza elettromotrice $\mathscr{E} = 9.00\ \mathrm{V}$ e resistenza interna $R_i = 2.00\ \Omega$ è collegato ad una rete di resistenze tutte uguali, di valore $R = 6.00\ \Omega$, come in figura. Si calcoli:



1) la resistenza equivalente della rete resistiva;
2) la corrente che scorre nelle singole resistenze;
3) la potenza erogata dal generatore;
4) la potenza complessiva dissipata sulla rete di resistenze.

Esercizio 4
Una spira quadrata di lato $L = 10.0\ \mathrm{cm}$ e resistenza totale $R = 0.100\ \Omega$ viene trascinata a velocità costante $v = 1.50\ \mathrm{m/s}$ in una regione di spazio in cui è presente un campo magnetico perpendicolare al piano della spira, costante nel tempo ma non uniforme: detta x la coordinata lungo cui si muove la spira, il modulo del campo magnetico ha una dipendenza dalla posizione del tipo $B(x) = \alpha + \beta x$, con $\beta = 0.250\ \mathrm{T/m}$. Per mezzo della figura si noti la relazione tra verso del campo magnetico e verso della velocità della spira; e si identifichi la posizione della spira lungo l'asse x per mezzo della posizione del suo angolo inferiore sinistro. Si chiede di:



1) dimostrare che il flusso del campo magnetico attraverso la spira in funzione della posizione x_{spira} ha espressione $\Phi_A(\vec{B}) = \alpha L^2 + \dfrac{\beta L^3}{2} + \beta L^2 x$
2) calcolare la corrente indotta nella spira;
3) calcolare il modulo della forza esterna necessaria a mantenere la spira in moto a velocità costante.

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 7 Giugno 2022 - Prof. L. Guiducci
SOLUZIONI ESERCIZIO 1

1) La potenza istantanea può essere espressa come $P = Fv$. La forza esercitata per spingere l'auto sarà pari a $F = ma$. Per trovare la velocità nell'istante richiesto, consideriamo il fatto che l'automobile si muove di moto uniformemente accelerato. Dopo aver percorso un giro, che ha lunghezza $S = 2\pi R$, la velocità raggiunta è

$$v = \sqrt{2aS} = \sqrt{4\pi aR} = 2\sqrt{\pi aR}$$

La potenza quindi sarà

$$P = mav = 2ma\sqrt{\pi aR} \simeq 19.5 \text{ kW}$$

2) Durante il primo giro, la forza costante (in quanto il moto avviene ad accelerazione costante) del motore è stata esercitata sempre nella direzione del moto (è l'attrito della strada con le ruote sterzate a provocare il cambio di direzione) e per una distanza $S = 2\pi R$. Quindi il lavoro fatto è

$$\mathscr{L} = 2\pi maR$$

Il primo giro ha richiesto un tempo:

$$S = \frac{1}{2}at^2 \implies t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = 2\sqrt{\frac{\pi R}{a}}$$

La potenza media, quindi

$$P_m = \frac{\mathscr{L}}{t} = \frac{2\pi maR\sqrt{a}}{2\sqrt{\pi R}} = ma\sqrt{\pi aR} \simeq 9.75 \text{ kW}$$

3) Trovandosi su una traiettoria circolare, è presente un'accelerazione centripeta

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi aR}{R} = 4\pi a$$

causata da una forza centripeta

$$F_c = ma_c = 4\pi ma$$

Tale forza centripeta è causata dalla forza di attrito statico delle ruote con la pista. Trovandoci nell'istante in cui le ruote iniziano a slittare, è stata raggiunta la forza di attrito statico massima che è possibile generare, che vale

$$F_{s,max} = \mu_s N = \mu_s mg$$

dove abbiamo sostituito la forza peso al modulo della forza normale, dato che la pista è pianeggiante e non sono presenti altre forze nella direzione verticale. Ponendo la forza di attrito statico massimo pari alla forza centripeta presente nell'istante preso in considerazione:

$$\mu_s mg = 4\pi ma \qquad \implies \qquad \mu_s = 4\pi\frac{a}{g} \simeq 0.962 \simeq 0.96$$

Dovremmo in realtà tenere conto del fatto che l'automobile è soggetta anche all'accelerazione tangenziale. Quindi l'accelerazione complessiva ha modulo:

$$|\vec{a}| = \sqrt{a_c^2 + a^2} = a\sqrt{16\pi^2 + 1}$$

ottenendo quindi per il coefficiente di attrito statico

$$\mu_s = \frac{a}{g}\sqrt{16\pi^2 + 1} \simeq 0.964 \simeq 0.96$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 7 Giugno 2022 - Prof. L. Guiducci
SOLUZIONI ESERCIZIO 2

1) Utilizziamo la conservazione dell'energia meccanica. Fissiamo lo zero di un asse verticale in corrispondenza del punto in cui il corpo si stacca dalla mano del lanciatore. Avremo

$$E_i = K_i + U_{molla,i} + U_{peso,i} = \frac{1}{2}mv^2 + 0 + 0$$

$$E_f = K_f + U_{molla,f} + U_{peso,f} = \frac{1}{2}k\Delta y_{max}^2 + mg(\Delta y_{max} + h_m)$$

Dunque, da $E_i = E_f$ ricaviamo:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}k\Delta y_{max}^2 + mg(\Delta y_{max} + h_m)$$

$$v = \sqrt{\frac{k}{m}\Delta y_{max}^2 + 2g(\Delta y_{max} + h_m)} \simeq 8.88 \text{ m/s}$$

2) Sappiamo che benché l'oscillazione verticale avvenga attorno ad una posizione di equilibrio che non corrisponde alla posizione di riposo della molla, ma all'allungamento necessario a bilanciare la forza peso agente sul corpo, l'oscillazione ha comunque pulsazione

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

dato che

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \simeq 1.94 \text{ Hz}$$

3) La posizione di equilibrio per la molla con il corpo agganciato è quella per cui la forza elastica bilancia la forza peso:

$$-k\Delta y_0 - mg = 0 \quad \Longrightarrow \quad \Delta y_0 = -\frac{mg}{k} \simeq 66.3 \text{ mm}$$

Un estremo del moto corrisponde al punto più alto raggiunto dal corpo, posizione di massima compressione della molla nel moto oscillatorio che ne segue; dato che l'oscillazione avviene simmetricamente rispetto alla posizione di equilibrio del sistema molla e corpo appeso, il corpo scende al di sotto della posizione di equilibrio della stessa quantità, pari a $\Delta y_{max} + \frac{mg}{k}$:

$$y_{min} = h_m - \Delta y_{max} - 2\frac{mg}{k} \simeq 2.04 \text{ m}$$

Riassumendo, quindi abbiamo:

Massima altezza: $h_m + \Delta y_{max}$

Centro oscillazione: $h_m - \frac{mg}{k}$

Minima altezza: $h_m - \Delta y_{max} - 2\frac{mg}{k}$

4) La soluzione al punto 1) va modificata introducendo il lavoro fatto dall'attrito lungo il tragitto di lunghezza $(\Delta y_{max} + h_m)$

$$\mathscr{L}_{att} = - F_a \left(\Delta y_{max} + h_m\right)$$

e diventa

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}k\Delta y_{max}^2 + mg(\Delta y_{max} + h_m) + F_a \left(\Delta y_{max} + h_m\right)$$

quindi

$$v = \sqrt{\frac{k}{m}\Delta y_{max}^2 + 2\left(g + \frac{F_a}{m}\right)\left(\Delta y_{max} + h_m\right)} \simeq 14.8 \text{ m/s}$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 7 Giugno 2022 - Prof. L. Guiducci
SOLUZIONI ESERCIZIO 3

1) Per prima cosa, notiamo che sui due vertici del quadrato che non sono connessi al generatore di tensione così come nel nodo al centro del quadrato è presente lo stesso potenziale (dato che tre corrispondenti rami sono identici). Quindi le due resistenze "orizzontali" sono irrilevanti e possiamo analizzare il circuito in cui le stesse non sono presenti.

Si tratta dunque di una rete composta da tre rami in parallelo, identici tra loro, ciascuno composto dalla serie di due resistenze di valore R. Ciascun ramo ha quindi resistenza $2R$, procedendo a fare il parallelo di tre rami:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{2R} + \frac{1}{2R}$$

da cui si ricava immediatamente

$$R_{eq} = \frac{2}{3}R = 4.0\ \Omega$$

2) Prima di tutto troviamo la corrente erogata dal generatore: dobbiamo considerare che è presente, in serie alla rete di resistenze, anche la resistenza interna R_i. Abbiamo quindi

$$R_{tot} = R_{eq} + R_i = 6.0\ \Omega$$

La corrente quindi sarà

$$I_{\mathscr{E}} = \frac{\mathscr{E}}{R} = 1.5\ \text{A}$$

Nelle 6 resistenze "non orizzontali" scorre la stessa corrente, essendo i tre rami identici sarà pari a un terzo della corrente complessiva:

$$I_R = \frac{I_{\mathscr{E}}}{3} = 0.5\ \text{A}$$

Nelle due resistenze "orizzontali" la corrente è nulla.

3) Il generatore sviluppa complessivamente una potenza

$$P_{\mathscr{E}} = \mathscr{E}I = 13.5\ \text{W}$$

4) Sulla rete resistiva la potenza sviluppata è solo una parte

$$P_{net} = R_{eq}I^2 = 9\ \text{W}$$

Sulla resistenza interna è dissipata una potenza

$$P_i = R_i I^2 = 4.5\ \text{W} = P_{\mathscr{E}} - P_{net}$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 7 Giugno 2022 - Prof. L. Guiducci
SOLUZIONI ESERCIZIO 4

1) Visto che il campo magnetico non è uniforme su tutta la superficie della spira, procediamo a calcolare il flusso per mezzo del calcolo esplicito dell'integrale corrispondente:

$$\Phi_A(\vec{B}) = \int_A \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = \int_{x_{\text{spira}}}^{x_{\text{spira}}+L} B(x)L\,\mathrm{d}x = \int_{x_{\text{spira}}}^{x_{\text{spira}}+L} (\alpha + \beta x)L\,\mathrm{d}x$$

quindi

$$\Phi_A(\vec{B}) = L \left| \alpha x + \frac{1}{2}\beta x^2 \right|_{x_{\text{spira}}}^{x_{\text{spira}}+L} = \alpha L^2 + \frac{\beta L^3}{2} + \beta L^2 x$$

Si noti che abbiamo scelto come verso positivo di circolazione della corrente nella spira quello antiorario, così che $\vec{A}$ è uscente dalla pagina, quindi con stesso verso di $\vec{B}$ e dunque flusso positivo. Naturalmente, dato che la spira si muove, la "x" presente nell'equazione è una "$x(t)$".

2) La forza elettromotrice indotta, secondo la legge di Faraday-Lenz:

$$\mathscr{E}_{\text{ind}} = -\frac{\mathrm{d}\Phi_A(\vec{B})}{\mathrm{d}t} = -\frac{\mathrm{d}\Phi_A(\vec{B})}{\mathrm{d}x}\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -(\beta L^2)v$$

e quindi la corrente indotta

$$I = \frac{\mathscr{E}_{\text{ind}}}{R} = -\frac{\beta L^2 v}{R} \simeq -38 \text{ mA}$$

La corrente scorre dunque in senso orario nella spira.

3) Analizziamo la forza di Lorenz agente sulle parti della spira e diamo successivamente una soluzione più semplice. Dato che nella spira circola una corrente, sui tratti di conduttore di cui è composta agisce la forza di Lorenz, nella forma

$$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$$

Si comprende che i tratti della spira diretti come x sono soggetti a forza di Lorenz uguale e opposta; lo stesso non può dirsi per i tratti perpendicolari a v, che si trovano in regioni in cui il campo magnetico ha diversa intensità e saranno dunque soggetti a forze di modulo diverso. Considerando il verso di circolazione della corrente, per mezzo della regola della mano destra è possibile capire che il tratto a sinistra è soggetto ad una forza verso destra, e il tratto a destra è soggetto ad una forza verso sinistra. In ogni caso, la forza risultante sarà diretta lungo x, possiamo quindi scriverne la componente:

$$F_{B,x} = |I|LB(x) - |I|LB(x+L) = |I|L\left(B(x) - B(x+L)\right)$$

Sostituendo l'espressione di B trovata in precedenza si ottiene

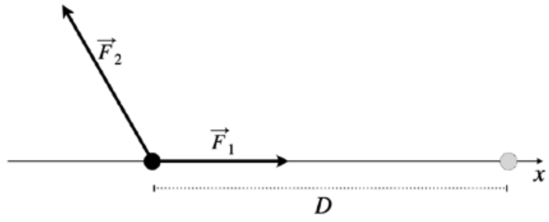
$$F_{B,x} = -|I|\beta L^2$$

La forze esterna necessaria a mantenere in moto costante la spira sarà quindi

$$F_{ext,x} = -F_{B,x} = |I|\beta L^2 = \frac{\beta^2 L^4 v}{R} \simeq 93.8\ \mu\text{N}$$

Molto più semplice considerare che la potenza elettrica sviluppata sulla spira $\mathscr{E}_{\text{ind}}I = \dfrac{\beta^2 L^4 v^2}{R}$ è fornita dalla potenza meccanica $F_{ext,x}v$, da cui $F_{ext,x} = \dfrac{\beta^2 L^4 v}{R}$, come già ottenuto precedentemente.

Esercizio 1



Un corpo di massa $m = 450$ g è vincolato a muoversi senza attrito lungo una retta orientata come l'asse x. Oltre alla reazione vincolare, sul corpo agiscono due forze costanti, una diretta come l'asse x e di modulo $F_1 = 22.5$ N e una che forma un angolo di 120^o con l'asse x, di modulo $F_2 = 29.5$ N (si veda la figura). Si calcoli:

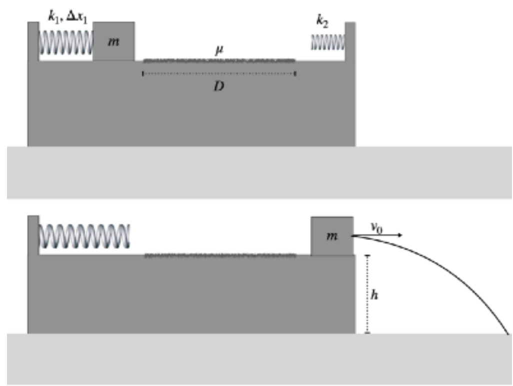
1) modulo, direzione e verso della reazione vincolare esercitata sul corpo;

2) l'accelerazione del corpo;

3) il lavoro fatto complessivamente sul corpo quando questo si è spostato di $D = 2.15$ m nella direzione positiva dell'asse x;

4) il lavoro fatto dalla forza $\overrightarrow{F}_2$ per questo stesso spostamento.

Esercizio 2



Si consideri l'apparato mostrato in figura. Un cannoncino a molla di costante elastica $k_1 = 3000$ N/m e compressione iniziale $\Delta x_1 = 12.0$ cm viene usato per lanciare da fermo un corpo di massa $m = 2.20$ kg su un banco, verso una seconda molla di costante elastica $k_2 = 2000$ N/m. Lungo il banco è presente una regione di lunghezza $D = 1.50$ m in cui c'è attrito. Eseguendo l'esperimento, si osserva che il corpo si ferma dopo avere strisciato sulla regione con attrito per una distanza $L = 1.35$ m, senza raggiungere la seconda molla.

1) Si determini il coefficiente di attrito dinamico tra banco e corpo.

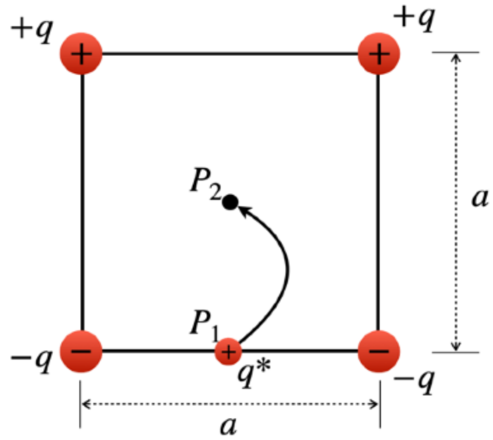
Il banco viene modificato in modo da ottenere un coefficiente di attrito dinamico $\mu_D = 0.9$. Il sistema viene trasportato su Marte, e si ripete l'esperimento. Si osserva che il corpo raggiunge la seconda molla, che ne viene compressa di $\Delta x_2 = 10.4$ cm.

2) Si stimi il valore dell'accelerazione di gravità su Marte in base ai dati disponibili.
Il valore medio, da letteratura, è pari a $g_M = 3.72$ m/s^2: si utilizzi tale valore nel seguito.

3) Se la molla 2 viene rimossa e il corpo viene lanciato fuori dal banco, che si trova ad una altezza $h = 1.20$ m dal suolo, a che distanza ricade il corpo?

4) Sapendo che il raggio di Marte è pari a $R_M = 3390$ km, se ne calcoli la massa.

Esercizio 3



Due cariche positive q e due cariche negative $-q$, di uguale valore in modulo, sono poste nei vertici di un quadrato di lato $a = 14.1$ cm, come in figura. Dato $q = 2.00 \times 10^{-8}$ C, si calcoli:

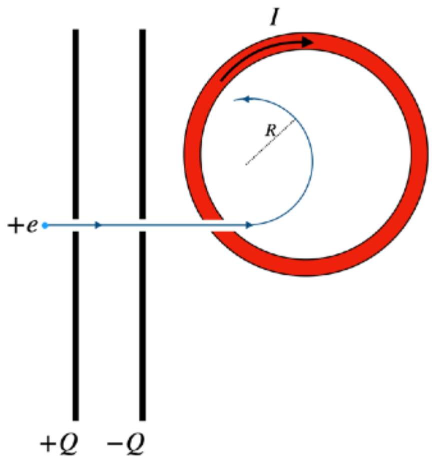
1) l'energia elettrostatica del sistema;

2) il modulo della forza necessaria a mantenere in posizione una delle cariche positive.

Una carica q^* viene spostata da P_1 (al centro del lato con le cariche negative alle estremità) a P_2 (al centro del quadrato) e così facendo è compiuto un lavoro $\mathscr{L} = 2.80 \times 10^{-7}$ J contro le forze del campo elettrostatico. Si trovi:

3) Il valore di q^*.

Esercizio 4



Due grandi piastre piane di area $A = 625 \text{ cm}^2$, parallele e distanti $d = 5.00$ mm, sono utilizzate per creare una regione di campo elettrico uniforme. Sulle due piastre è stata posta una carica totale $\pm Q$ e si trovano in un volume di spazio in cui è stato fatto il vuoto. Due forellini consentono ad una particella di carica $+e$ di entrare (con velocità iniziale trascurabile), essere accelerata e poi uscire. All'uscita la particelle ha energia $K = 2.96 \times 10^{-16}$ J. Si consideri assente qualsiasi effetto relativistico.

1) Si calcoli il valore di Q.

In seguito la particella entra in un lungo solenoide, avente $n = 1000$ spire per metro, perpendicolarmente al suo asse. All'interno è presente un campo magnetico $B = 0.138$ T.

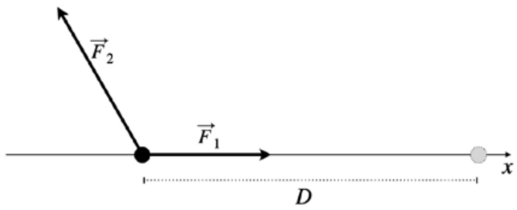
2) Si calcoli la corrente che sta scorrendo nelle spire del solenoide.

Si osserva che la particella compie all'interno del solenoide un moto circolare con raggio $R = 45.0$ mm.

3) Si calcoli la massa della particella.

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello dell'11 Luglio 2022 - Prof. L. Guiducci
SOLUZIONI ESERCIZIO 1

Un corpo di massa $m = 450$ g è vincolato a muoversi senza attrito lungo una retta orientata come l'asse x. Oltre alla reazione vincolare, sul corpo agiscono due forze costanti, una diretta come l'asse x e di modulo $F_1 = 22.5$ N e una che forma un angolo di 120^o con l'asse x, di modulo $F_2 = 29.5$ N (si veda la figura). Si calcoli:



1) modulo, direzione e verso della reazione vincolare esercitata sul corpo;
2) l'accelerazione del corpo;
3) il lavoro fatto complessivamente sul corpo quando questo si è spostato di $D = 2.15$ m nella direzione positiva dell'asse x;
4) il lavoro fatto dalla forza $\vec{F}_2$ per questo stesso spostamento.

1) Fissato un asse y in modo che il piano xy coincida con il piano su cui giacciono $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$, la reazione vincolare sarà diretta come y, e avrà verso tale da opporsi (annullare) la componente y di $\vec{F}_2$, quindi

$$\vec{R} = -F_{2,y}\hat{j} = -\left(F_2 \sin(120^o)\right)\hat{j} = \left(-25.5 \text{ N}\right)\hat{j}$$

2) Calcoliamo la somma delle forze agenti lungo l'asse x:

$$\sum F_x = F_1 + F_2 \cos(120^o) = 7.75 \text{ N}$$

L'accelerazione sarà dunque

$$a_x = \frac{\sum F_x}{m} \simeq 17.2 \text{ m/s}^2$$

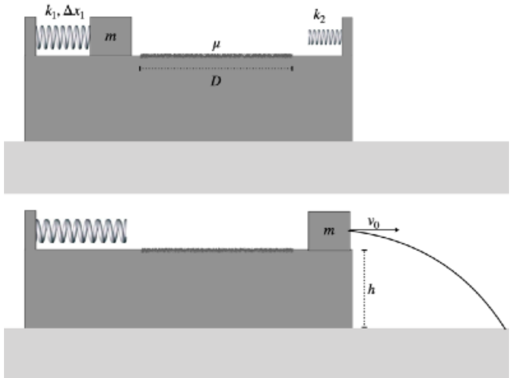
3) Lo spostamento D lungo l'asse x (verso positivo) lo possiamo scrivere, come vettore, $D\hat{i}$. Il lavoro totale fatto, quindi:

$$\mathscr{L}_{\text{tot}} = (\vec{F}_1 + \vec{F}_2) \cdot D\hat{i} = (F_{1,x} + F_{2,x})D \simeq 16.7 \text{ J}$$

4) Considerando solo la forza $\vec{F}_2$, abbiamo

$$\mathscr{L}_{\vec{F}_2} = \vec{F}_2 \cdot D\hat{i} = F_2 D \cos(120^o) \simeq -31.7 \text{ J}$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello dell'11 Luglio 2022 - Prof. L. Guiducci
SOLUZIONI ESERCIZIO 2



Si consideri l'apparato mostrato in figura. Un cannoncino a molla di costante elastica $k_1 = 3000\ \mathrm{N/m}$ e compressione iniziale $\Delta x_1 = 12.0\ \mathrm{cm}$ viene usato per lanciare da fermo un corpo di massa $m = 2.20\ \mathrm{kg}$ su un banco, verso una seconda molla di costante elastica $k_2 = 2000\ \mathrm{N/m}$. Lungo il banco è presente una regione di lunghezza $D = 1.50\ \mathrm{m}$ in cui c'è attrito. Eseguendo l'esperimento, si osserva che il corpo si ferma dopo avere strisciato sulla regione con attrito per una distanza $L = 1.35\ \mathrm{m}$, senza raggiungere la seconda molla.

1) Si determini il coefficiente di attrito dinamico tra banco e corpo.

Il banco viene modificato in modo da ottenere un coefficiente di attrito dinamico $\mu_D = 0.9$. Il sistema viene trasportato su Marte, e si ripete l'esperimento. Si osserva che il corpo raggiunge la seconda molla, che ne viene compressa di $\Delta x_2 = 10.4\ \mathrm{cm}$.

2) Si stimi il valore dell'accelerazione di gravità su Marte in base ai dati disponibili.
Il valore medio, da letteratura, è pari a $g_M = 3.72\ \mathrm{m/s^2}$: si utilizzi tale valore nel seguito.

3) Se la molla 2 viene rimossa e il corpo viene lanciato fuori dal banco, che si trova ad una altezza $h = 1.20\ \mathrm{m}$ dal suolo, a che distanza ricade il corpo?

4) Sapendo che il raggio di Marte è pari a $R_M = 3390\ \mathrm{km}$, se ne calcoli la massa

1) In termini energetici, sia nell'istante iniziale che in quello finale non abbiamo energia cinetica (corpo in quiete), inizialmente abbiamo energia potenziale elastica nella molla 1, non abbiamo alcuna variazione di energia potenziale della forza peso (piano orizzontale). L'energia meccanica finale sarà inferiore a quella iniziale di una quantità pari al lavoro fatto dalla forza di attrito. La forza normale è pari in modulo al peso del corpo (piano orizzontale). Quindi avremo:

$$E_f - E_i = 0 - \frac{1}{2}k_1\Delta x_1^2 = -\mu m g L$$

da cui si ricava

$$\mu = \frac{k_1\Delta x_1^2}{2mgL} \simeq 0.741$$

2) Detta g_m l'accelerazione di gravità su Marte, avremo una forza normale inferiore, pari a mg_m. Inoltre, nella nuova situazione è ancora presente una energia potenziale elastica nello stato finale, pari a $\frac{1}{2}k_2\Delta x_2^2$, e il lavoro fatto dall'attrito corrisponde all'aver percorso l'intero tratto dotato di attrito, per una lunghezza D. Il bilancio energetico dunque diventa;

$$E_f - E_i = \frac{1}{2}k_2\Delta x_2^2 - \frac{1}{2}k_1\Delta x_1^2 = -\mu_D m g_M D$$

da cui possiamo ricavare

$$g_M = \frac{k_1 \Delta x_1^2 - k_2 \Delta x_2^2}{2\mu_D m D} \simeq 3.63 \text{ m/s}^2$$

3) Si tratta del moto di un proiettile con velocità iniziale orizzontale, con la particolarità di dover considerare l'accelerazione di gravità g_m. Calcoliamo innanzi tutto la velocità con cui il corpo giunge alla fine del piano:

$$E_f - E_i = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}k_1 \Delta x_1^2 = -\mu_d m g_M D$$

da cui ricaviamo

$$v_0 = \sqrt{\frac{k_1 \Delta x_1^2}{m} - 2\mu_D g_M D} \simeq 3.097 \text{ m/s}$$

Fissato un sistema di riferimento con origine nel punto in cui il corpo si stacca dal piano, avremo

$$\begin{cases} x(t) = v_0 t \\ y(t) = -\frac{1}{2} g_M t^2 \end{cases} \qquad \begin{cases} x(0) = 0 \\ y(0) = 0 \end{cases}$$

Quando il corpo tocca il suolo, $y(t^*) = -h$, quindi

$$t^* = \sqrt{\frac{2h}{g_M}}$$

ed è stata percorsa in orizzontale una distanza pari a

$$x(t^*) = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g_M}} \simeq 2.49 \text{ m}$$

4) L'accelerazione di gravità è data dalla forza di gravitazione di Newton:

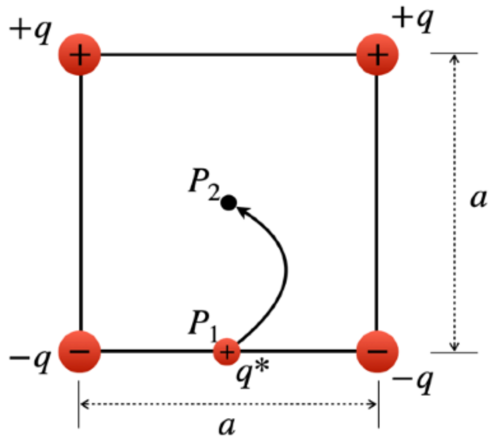
$$\frac{G M_M m}{R_M^2} = m g_M$$

da cui ricaviamo subito

$$M_M = \frac{g_M R_M^2}{G} \simeq 6.41 \times 10^{23} \text{ kg}$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello dell'11 Luglio 2022 - Prof. L. Guiducci
SOLUZIONI ESERCIZIO 3

Due cariche positive q e due cariche negative $-q$, uguali in modulo, sono poste nei vertici di un quadrato di lato $a = 14.1$ cm, come in figura. Dato $q = 2.00 \times 10^{-8}$ C, si calcoli:



1) l'energia elettrostatica del sistema;
2) il modulo della forza necessaria a mantenere in posizione una delle cariche positive.
Una carica q^* viene spostata da P_1 (al centro del lato con le cariche negative alle estremità) a P_2 (al centro del quadrato) e così facendo è compiuto un lavoro $\mathscr{L} = 2.80 \times 10^{-7}$ J contro le forze del campo elettrostatico. Si trovi:
3) Il valore di q^*.

1) Numerando le cariche da 1 a 4 a partire dalla carica in alto a sinistra e procedendo in senso orario, calcoliamo l'energia elettrostatica delle diverse coppie, la somma rappresenta l'energia elettrostatica del sistema:

$$U_{12} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{a}\right) \qquad U_{13} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{-q}{\sqrt{2}a}\right) \qquad U_{14} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{-a}\right)$$

$$U_{23} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{-q}{a}\right) \qquad U_{24} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{-q}{\sqrt{2}a}\right)$$

$$`U_{34} = \frac{-q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{-q}{a}\right)$$

$$U_e = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\sqrt{2}q^2}{a} \simeq -3.61 \times 10^{-5} \text{ J}$$

2) Scelta la carica numero uno in base alla numerazione precedentemente introdotta, fissiamo un sistema di riferimento $(x\,y)$ con origine nella stessa. La forza esercitata dalle altre cariche:

$$\vec{F}_{21} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{a^2}\hat{\imath} \qquad \vec{F}_{41} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{a^2}\hat{\jmath}$$

$$\vec{F}_{31} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{2a^2}\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\hat{\imath} - \hat{\jmath}\right)$$

La forza totale agente sulla carica numero uno quindi

$$\vec{F}_1 = \sum \vec{F}_{i1} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{a^2}\left[\left(-1 + \frac{1}{2\sqrt{2}}\right)\hat{\imath} + \left(-1 - \frac{1}{2\sqrt{2}}\right)\hat{\jmath}\right]$$

e infine

$$|\vec{F}_1| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{3q^2}{2a^2} \simeq 271\ \mu\text{N}$$

3) Dobbiamo ottenere la differenza di potenziale tra P_2 e P_1, che moltiplicata per il valore della carica q^* corrisponde appunto al lavoro necessario per ottenere lo spostamento:

$$\mathscr{L} = q^* \left[V(P_2) - V(P_1)\right]$$

Si ha $V(P_2) = 0$, per simmetria (i contributi delle cariche dei vertici si annullano), quindi

$$\mathscr{L} = -\,q^* V(P_1) \quad \Longrightarrow \quad q^* = -\frac{\mathscr{L}}{V(P_1)}$$

Calcoliamo $V(P_1)$:

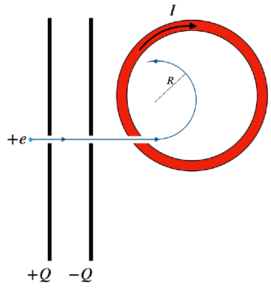
$$V(P_1) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{-2q}{a/2} + \frac{2q}{\sqrt{a^2 + (a/2)^2}}\right) =$$

$$= \frac{q}{\pi\varepsilon_0 a}\left(\frac{1}{\sqrt{5}} - 1\right) \simeq -\,2816\ \text{V}$$

e otteniamo infine la carica richiesta

$$q^* = -\frac{\mathscr{L}}{V(P_1)} \simeq 9.94 \times 10^{-11}\ \text{C}$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello dell'11 Luglio 2022 - Prof. L. Guiducci
SOLUZIONI ESERCIZIO 4



Due grandi piastre piane di area $A = 625\ \mathrm{cm}^2$, parallele e distanti $d = 5.00\ \mathrm{mm}$, sono utilizzate per creare una regione di campo elettrico uniforme. Sulle due piastre è stata posta una carica totale $\pm Q$ e si trovano in un volume di spazio in cui è stato fatto il vuoto. Due forellini consentono ad una particella di carica $+e$ di entrare (con velocità iniziale trascurabile), essere accelerata e poi uscire. All'uscita la particelle ha energia $K = 2.96 \times 10^{-16}\ \mathrm{J}$. Si consideri assente qualsiasi effetto relativistico.

1) Si calcoli il valore di Q.

In seguito la particella entra in un lungo solenoide, avente $n = 1000$ spire per metro, perpendicolarmente al suo asse. All'interno è presente un campo magnetico $B = 0.138\ \mathrm{T}$ e si osserva che la particella compie all'interno del solenoide un moto circolare con raggio $R = 45.0\ \mathrm{mm}$.

2) Si calcoli la corrente che sta scorrendo nelle spire del solenoide.

3) Si calcoli la massa della particella.

1) La particella è accelerata nel campo di un condensatore a facce piane e parallele. L'intensità del campo nel volume all'interno delle armature si esprime come

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \qquad \text{dove } \sigma = \frac{Q}{A} \quad \text{quindi} \quad E = \frac{Q}{\varepsilon_0 A}$$

Tra le due armature, distanti d, è quindi presente una differenza di potenziale

$$V = Ed = \frac{Qd}{\varepsilon_0 A}$$

La particella di carica e acquisisce dunque un'energia cinetica

$$K = eV = \frac{Qde}{\varepsilon_0 A} \qquad \Longrightarrow \qquad Q = \frac{\varepsilon_0 A K}{de} \simeq 2.04 \times 10^{-7}\ \mathrm{C}$$

2) Il campo generato all'interno di un solenoide avente n spire per unità di lunghezza si esprime come:

$$B = \mu_0 n I \qquad \Longrightarrow \qquad I = \frac{B}{\mu_0 n} \simeq 110\ \mathrm{A}$$

3) La frequenza di ciclotrone si scrive

$$\omega = \frac{eB}{m}, \text{ e dato che } \omega = v/R, \text{ si ricava} \qquad m = \frac{eBR}{v}$$

Dato che conosciamo l'energia cinetica, $K = \frac{1}{2}mv^2$, possiamo ricavare v ottenendo

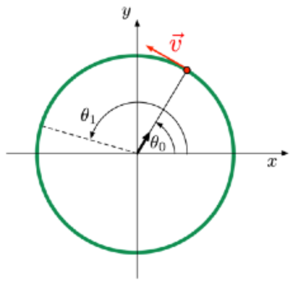
$$v = \sqrt{\frac{2K}{m}} \qquad \text{ottenendo quindi} \qquad m = \frac{(eBR)^2}{2K} \simeq 1.67 \times 10^{-27}\ \mathrm{kg}$$

Nel caso non si ricordasse l'espressione della frequenza di ciclotrone, è sufficiente considerare che la forza di Lorenz è la forza centripeta responsabile del moto circolare, quindi:

$$\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B} \qquad \Longrightarrow \qquad F = evB \quad (\sin\vartheta = 1)$$
$$F = ma_c = m\omega^2 R = mv\omega \qquad (v = \omega R)$$
$$evB = mv\omega \qquad \Longrightarrow \qquad \omega = \frac{eB}{m}$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 20 Luglio 2022 - Prof. L. Guiducci

Esercizio 1



Una particella si muove con velocità angolare costante ω lungo una circonferenza di raggio $R = 10.0\ \mathrm{cm}$, in senso antiorario, sul piano xy. Quando la particella si trova in corrispondenza dell'angolo $\vartheta_0 = 60^o$, la componente y della sua velocità vale $v_y = 15.0\ \mathrm{mm/s}$. Determinare:

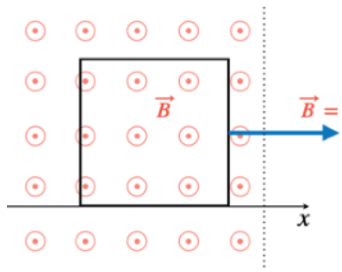
1) il periodo del moto circolare;
2) la componente v_x della velocità alla posizione $\vartheta_0 = 60^o$;
3) l'accelerazione (vettoriale) quando la particella si trova in $\vartheta_1 = 150^o$.

Esercizio 2

Giulia sta scendendo lungo un pendio inclinato di $\vartheta = 30^o$; la sua massa, compresi gli sci, è $m = 70.0\ \mathrm{kg}$ e il coefficiente di attrito dinamico fra sci e neve è $\mu_D = 0.100$.

1) Quanto vale il modulo della forza di attrito agente su Giulia?
2) Quanto vale la sua accelerazione lungo il pendio?
3) Se parte da ferma, quanto vale il modulo della sua velocità dopo un tempo $t = 5.00\ \mathrm{s}$?
4) Se all'istante $t = 5.00\ \mathrm{s}$ raggiunge un tratto pianeggiante, sul quale è presente lo stesso coefficiente d'attrito presente nella discesa, quanta strada percorre Giulia prima di fermarsi?

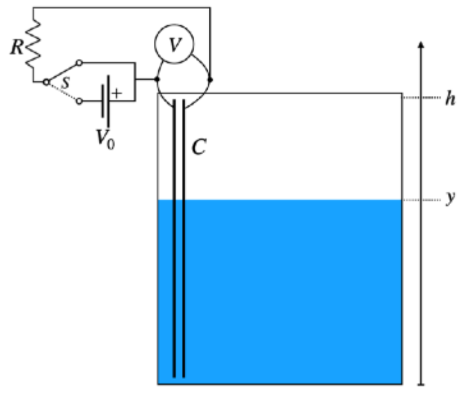
Esercizio 3



Un avvolgimento quadrato di filo conduttore, di lato $l = 5.00\ \mathrm{cm}$, costituito da $N = 100$ spire di filo di Nickel (resistività $\rho = 6.99 \times 10^{-8}\ \Omega\mathrm{m}$) di sezione $A = 0.035\ \mathrm{mm}^2$, è esposto ortogonalmente ad un campo magnetico uniforme di intensità $B = 0.650\ \mathrm{T}$, come illustrato in figura. L'avvolgimento viene improvvisamente rimosso dal campo magnetico a velocità costante mantenendo la posizione ortogonale iniziale, fino a risultare del tutto esterno al campo. L'estrazione, da quando il lato destro della bobina si trova al bordo della regione con campo a quando la bobina è uscita del tutto, dura in totale $\Delta t = 0.100\ \mathrm{s}$. Determinare:

1) la forza elettromotrice indotta;
2) la corrente indotta
3) il lavoro fatto dalla forza che ha trascinato l'avvolgimento.

Esercizio 4



Per misurare il livello di riempimento di una cisterna alta $h = 2.00\ \mathrm{m}$ si utilizza un condensatore piano, alto e stretto, posto verticalmente all'interno della cisterna. Se la capacità del condensatore è $C_0 = 1\ \mathrm{nF}$ quando la cisterna è vuota, si chiede:

1) quanto vale il rapporto fra la superficie e la distanza tra le armature;
2) quanto vale la capacità del condensatore quando la cisterna è piena d'acqua ($\varepsilon_r = 81.0$);
3) dimostrare che l'espressione che consente di determinare l'altezza dell'acqua in funzione della misura della capacità del condensatore, $y = y(C)$, si può scrivere come $y(C) = h\dfrac{C - C_0}{C_0(\varepsilon_r - 1)}$

Per la misura dell'altezza dell'acqua si utilizza un circuito come quello mostrato in figura: un generatore di forza elettromotrice di valore $V_0 = 24.0\ \mathrm{V}$ è utilizzato per caricare completamente il condensatore; successivamente un circuito temporizzatore devia il relais per disconnettere il generatore e scaricare il condensatore attraverso una resistenza di valore $R = 100\ \mathrm{k}\Omega$, e dopo un tempo $\Delta t = 1.00\ \mathrm{ms}$ legge per mezzo di un voltmetro (*V* in figura) la differenza di potenziale tra le armature del condensatore.

4) Se lo strumento misura un valore $V = 18.0\ \mathrm{V}$, quanto vale l'altezza dell'acqua nella cisterna?

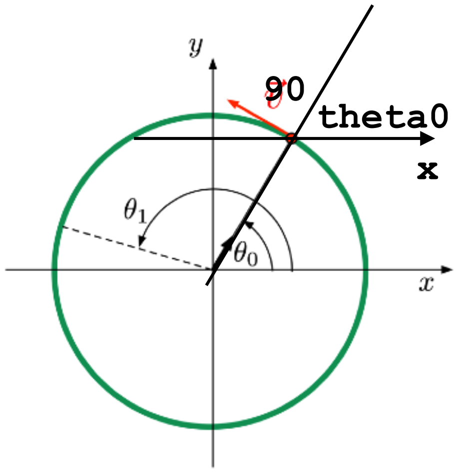
Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 20 Luglio 2022 - Prof. L. Guiducci
SOLUZIONI ESERCIZIO 1

Una particella si muove con velocità angolare costante ω lungo una circonferenza di raggio $R = 10.0$ cm, in senso antiorario, sul piano xy. Quando la particella si trova in corrispondenza dell'angolo $\vartheta_0 = 60^o$, la componente y della sua velocità vale $v_y = 15.0$ mm/s. Determinare:

1) il periodo del moto circolare;

2) la componente v_x della velocità alla posizione $\vartheta_0 = 60^o$;

3) l'accelerazione (vettoriale) quando la particella si trova in $\vartheta_1 = 150^o$.



1) Quando la particella si trova in ϑ_0, la velocità forma un angolo di $\vartheta_v = \vartheta_0 + 90^o = 150^o$ rispetto all'asse x. Quindi possiamo scrivere che

$$v_y = |\overrightarrow{v}|\sin\vartheta_v = v\sin(150^o) = \frac{v}{2}$$

e quindi

$$v = 2v_y = 30 \text{ mm/s}$$

In un periodo la particella compie in un tempo T un percorso $2\pi R$ a velocità v, quindi

$$T = \frac{2\pi R}{v} \simeq 20.9 \text{ s}$$

2) La componente v_x sarà

$$v_x = v\cos(150^o) = \frac{v_y}{\tan\vartheta_v} = -\sqrt{3}v_y \simeq -26.0 \text{ mm/s}$$

3) L'accelerazione è quella centripeta, ha quindi modulo

$$a = \frac{v^2}{R} \simeq 9.0 \text{ mm/s}^2$$

Il vettore forma un angolo di -30^o con l'asse x, quindi volendo scrivere l'accelerazione in componenti cartesiane

$$\overrightarrow{a} = a\cos(-30^o)\hat{\imath} + a\sin(-30^o)\hat{\jmath} \simeq (7.79 \text{ mm/s}^2)\hat{\imath} + (-4.50 \text{ mm/s}^2)\hat{\jmath}$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 20 Luglio 2022 - Prof. L. Guiducci
SOLUZIONI ESERCIZIO 2

Giulia sta scendendo lungo un pendio inclinato di $\vartheta = 30^{\circ}$; la sua massa, compresi gli sci, è $m = 70.0\ \mathrm{kg}$ e il coefficiente di attrito dinamico fra sci e neve è $\mu_D = 0.100$.

1) Quanto vale il modulo della forza di attrito agente su Giulia?

2) Quanto vale la sua accelerazione lungo il pendio?

3) Se parte da ferma, quanto vale il modulo della sua velocità dopo un tempo $t = 5.00\ \mathrm{s}$?

4) Se all'istante $t = 5.00\ \mathrm{s}$ raggiunge un tratto pianeggiante, sul quale è presente lo stesso coefficiente d'attrito presente nella discesa, quanta strada percorre Giulia prima di fermarsi?

1) Il modulo della forza di attrito dinamico è pari al modulo della forza normale moltiplicata per il coefficiente di attrito. Considerato che si trova su un piano inclinato, la forza normale è uguale e contraria alla componente perpendicolare al piano della forza peso:

$$|\overrightarrow{N}| = |\overrightarrow{P}_\perp| = mg\cos\vartheta$$

e quindi

$$F_{att} = \mu_D mg\cos\vartheta \simeq 59.5\ \mathrm{N}$$

2) Lungo la direzione del pendio, Giulia è sottoposta a due forze: la componente parallela della forza peso, diretta verso la discesa, e la forza di attrito dinamico appena trovata, diretta verso la salita. La forza risultante quindi è

$$F_{//}^{\mathrm{tot}} = mg\sin\vartheta - \mu_D mg\cos\vartheta = mg(\sin\vartheta - \mu_D\cos\vartheta)$$

Utilizziamo la seconda legge di Newton, ricavando l'accelerazione di Giulia:

$$a = F_{//}^{\mathrm{tot}}/m = g(\sin\theta - \mu_D\cos\vartheta) \simeq 4.06\ \mathrm{m/s^2}$$

3) Il moto è uniformemente accelerato, quindi la velocità è

$$v_5 = at \simeq 20.3\ \mathrm{m/s} \quad (\simeq 73\ \mathrm{km/h!!!})$$

4) Ora è presente una forza di attrito pari a

$$F'_{att} = \mu_d mg$$

dato che il piano è orizzontale (la forza normale ha modulo pari al modulo della forza peso), e quindi Giulia ha una "decelerazione", cioè un'accelerazione negativa, pari a

$$a' = -\mu_d g$$

Si tratta ancora di un moto uniformemente accelerato (decelerato) con velocità iniziale pari a quella trovata al punto precedente. Le leggi del moto sono dunque

$$\begin{cases} v'(t) = v_5 - \mu_D g t \\ S(t) = v_5 t - \frac{1}{2}\mu_D g t^2 \end{cases}$$

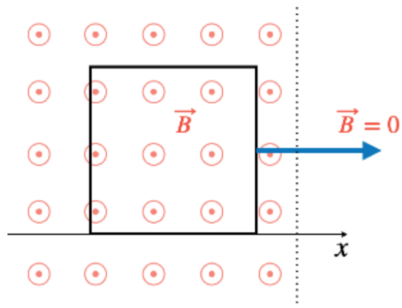
"Giorgia si ferma" significa che ad un certo istante t^* si ha $v'(t^*) = 0$. Sostituendo nel sistema otteniamo:

$$t^* = \frac{v_5}{\mu_D g}$$

$$S(t^*) = \frac{v_5^2}{\mu_D g} - \frac{\mu_D g\, v_5^2}{2\mu_D^2 g^2} = \frac{v_5^2}{2\mu_D g} \simeq 210\ \mathrm{m}$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 20 Luglio 2022 - Prof. L. Guiducci
SOLUZIONI ESERCIZIO 3

Un avvolgimento quadrato di filo conduttore, di lato $l = 5.00$ cm, costituito da $N = 100$ spire di filo di Nickel (resistività $\rho = 6.99 \times 10^{-8}\ \Omega\text{m}$) di sezione $A = 0.035\ \text{mm}^2$, è esposto ortogonalmente ad un campo magnetico uniforme di intensità $B = 0.650$ T, come illustrato in figura. L'avvolgimento viene improvvisamente rimosso dal campo magnetico a velocità costante mantenendo la posizione ortogonale iniziale, fino a risultare del tutto esterno al campo. All'istante $t = 0$ il lato destro dell'avvolgimento si trova al bordo del campo; l'estrazione dura in tutto $\Delta t = 0.100$ s. Determinare:



a) la forza elettromotrice indotta;

b) la corrente indotta

c) il lavoro fatto dalla forza che ha trascinato l'avvolgimento.

a) Dato che la bobina viene rimossa dal campo a velocità costante, il flusso del campo magnetico decresce fino a zero in modo lineare, in altre parole la derivata del flusso rispetto al tempo è costante ed è pari alla variazione complessiva del flusso diviso per l'intervallo temporale della variazione:

$$\mathscr{E} = -\frac{\mathrm{d}\Phi_B}{\mathrm{d}t} = \frac{\Phi_B^{\text{iniz}} - 0}{\Delta t} = \frac{100 l^2 B}{\Delta t} \simeq 1.63\ \text{V}$$

b) La corrente è la forza elettromotrice diviso per la resistenza, che dobbiamo calcolare:

$$R = \rho \frac{l_{\text{tot}}}{A} = \rho \frac{400 l}{A}$$

Quindi

$$I = \frac{\mathscr{E}}{R} = \frac{lBA}{4\rho\Delta t} \simeq 40.7\ \text{mA}$$

c) Possiamo considerare il fatto che il lavoro compiuto dalla forza esterna equivale all'energia dissipata dalla corrente circolante nella bobina resistiva. La potenza

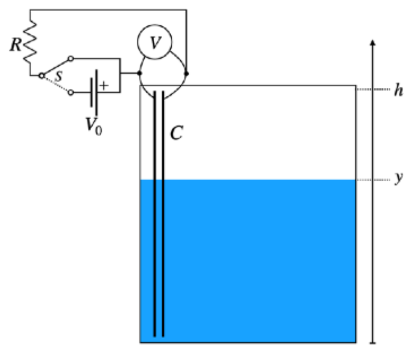
$$P = \frac{\mathscr{E}^2}{R} = \frac{25 l^3 B^2 A}{\rho \Delta t^2}$$

e quindi il lavoro complessivo

$$\mathscr{L} = E = P\Delta t = \frac{25 l^3 B^2 A}{\rho \Delta t} \simeq 6.61\ \text{mJ}$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 20 Luglio 2022 - Prof. L. Guiducci
SOLUZIONI ESERCIZIO 4

Per misurare il livello di riempimento di una cisterna alta $h = 2.00\ \mathrm{m}$ viene utilizzato un condensatore piano, alto e stretto, posto verticalmente all'interno della cisterna. Se la capacità del condensatore è $C_0 = 1\ \mathrm{nF}$ quando la cisterna è vuota, si chiede:



a) quanto vale il rapporto fra la superficie e la distanza tra le armature;

b) quanto vale la capacità del condensatore quando la cisterna è piena d'acqua ($\varepsilon_r = 81.0$);

c) dimostrare che l'espressione che consente di determinare l'altezza dell'acqua in funzione della misura della capacità del condensatore, $y = y(C)$, si può scrivere come $y(C) = h\dfrac{C - C_0}{C_0(\varepsilon_r - 1)}$

Per la misura dell'altezza dell'acqua si utilizza un circuito come quello mostrato in figura: un generatore di forza elettromotrice di valore $V_0 = 24.0\ \mathrm{V}$ è utilizzato per caricare completamente il condensatore; successivamente un circuito temporizzatore devia il relais per disconnettere il generatore e scaricare il condensatore attraverso una resistenza di valore $R = 100\ \mathrm{k\Omega}$, e dopo un tempo $\Delta t = 1.00\ \mathrm{ms}$ legge per mezzo di un voltmetro la differenza di potenziale tra le armature del condensatore.

d) Se lo strumento misura un valore $V = 18.0\ \mathrm{V}$, quanto vale l'altezza dell'acqua nella cisterna?

Soluzioni

a) La capacità di un condensatore a facce piane si esprime come

$$C_0 = \varepsilon_0 \frac{A}{d} \qquad \Longrightarrow \qquad \frac{A}{d} = \frac{C_0}{\varepsilon_0} \simeq 1.13 \times 10^2\ \mathrm{m}$$

b) La capacità a cisterna piena si scrive come

$$C_{full} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d} = \varepsilon_r C_0 \simeq 81.0\ \mathrm{nF}$$

c) Quando la cisterna è piena fino ad una generica altezza y, con $0 \leq y \leq h$, possiamo descrivere il sistema come il parallelo tra due condensatori con diverso dielettrico, ciascuno avente una frazione dell'area totale del condensatore, in proporzione a y e a $h - y$:

$$C = C_{aria} + C_{acqua} = \frac{h-y}{h} C_0 + \varepsilon_r \frac{y}{h} C_0$$

$$hC = hC_0 + C_0 y(\varepsilon_r - 1)$$

$$y(C) = h\frac{C - C_0}{C_0(\varepsilon_r - 1)}$$

d) La scarica del condensatore avviene attraverso la legge

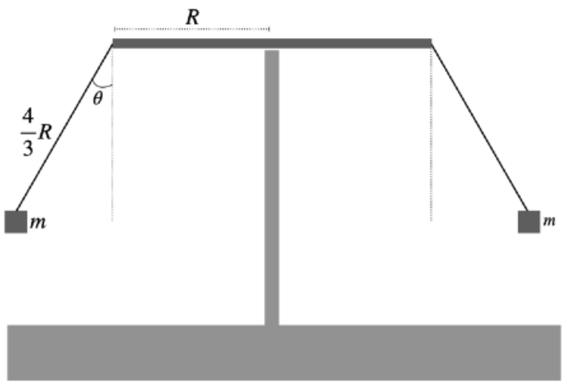
$$V(t) = V_0 e^{-t/RC'} \qquad \Longrightarrow \qquad \ln\left(V_0/V(t)\right) = \frac{t}{RC'}$$

$$C' = \frac{t}{R \ln\left(V_0/V(t)\right)} \simeq 34.76\ \mathrm{nF} \Longrightarrow \quad y \simeq 84.4\ \mathrm{cm}$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 2 Settembre 2022 - Prof. L. Guiducci

Esercizio 1

Una giostra per bambini è costituita da un disco orizzontale di raggio $R = 3.5\ \mathrm{m}$, sostenuto da un palo in modo da poter ruotare intorno al proprio asse. Sul bordo del disco sono fissati, per mezzo di catene lunghe $4R/3$, inestensibili e di massa trascurabile, alcuni seggiolini. Ciascun seggiolino può essere considerato una massa $m = 7.5\ \mathrm{kg}$ puntiforme (in figura ne sono rappresentati due). Quando la giostra gira alla velocità di regime, le catene formano con la verticale un angolo $\theta = 30^{\circ}$ e i seggiolini percorrono una traiettoria circolare sul piano orizzontale. Si calcoli:



1) la velocità angolare di rotazione della giostra;
2) la tensione della catena.
3) la velocità tangenziale del seggiolino.

Esercizio 2

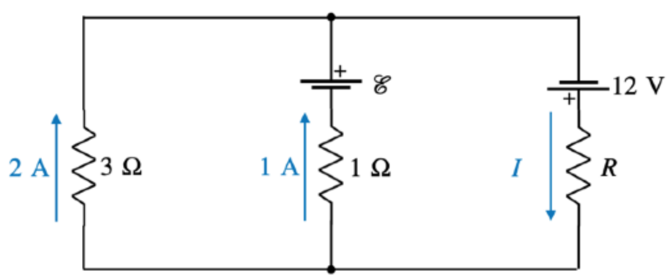
Un uomo di massa $m = 80\ \mathrm{kg}$ fa bungee jumping da un ponte, utilizzando una corda elastica di lunghezza a riposo $l_0 = 16\ \mathrm{m}$. La massima lunghezza raggiunta dalla corda durante il salto è $l = 63\ \mathrm{m}$. Si determini, trascurando gli attriti e la massa della corda:
1) la costante elastica della corda;
2) la velocità massima raggiunta dall'uomo subito prima che la corda elastica inizi ad allungarsi;
3) la massima accelerazione cui è soggetto l'uomo;
4) la lunghezza della corda quando il salto è finito e l'uomo penzola in equilibrio statico.

Esercizio 3

Una sottile asta rettilinea è lunga $l = 9.85\ \mathrm{m}$ ed è caricata uniformemente con una carica elettrica $Q = 640\ \mathrm{mC}$. Si trovino:
1) la densità lineare di carica;
2) il campo elettrico in un punto P nelle vicinanze del punto medio dell'asta, ad una distanza di $R = 37.5\ \mathrm{mm}$ da essa (sfruttando le approssimazioni consentite dal fatto che $R \ll l$);
3) quale sarebbe il periodo di rivoluzione di un elettrone che orbitasse in un'orbita circolare intorno all'asta, nelle vicinanze del punto medio, a distanza R da essa.

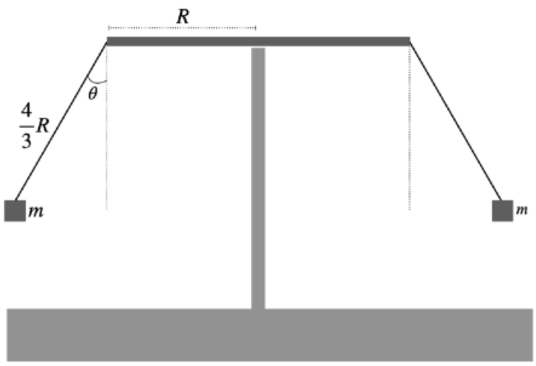
Esercizio 4

Nel circuito mostrato in figura, una sorgente di forza elettromotrice da $12\ \mathrm{V}$ con una resistenza interna R sconosciuta è connessa ad una batteria ricaricabile esaurita, con una forza elettromotrice $\mathscr{E}$ sconosciuta e resistenza interna da $1\ \Omega$, e a una spia realizzata con una lampadina di resistenza $3\ \Omega$ attraversata da una corrente di $2\ \mathrm{A}$. La corrente attraverso la batteria scarica è di $1\ \mathrm{A}$ nella direzione mostrata.
Trovare:
1) la corrente I erogata dalla sorgente a $12\ \mathrm{V}$;
2) la resistenza incognita R;
3) il valore della forza elettromotrice incognita $\mathscr{E}$;
4) spiegare, in base ai risultati ottenuti, se nello schema del circuito la batteria ricaricabile è disegnata con la polarità giusta.



Esercizio 1

Una giostra per bambini è costituita da un disco orizzontale di raggio $R = 3.5$ m, sostenuto da un palo in modo da poter ruotare intorno al proprio asse. Sul bordo del disco sono fissati, per mezzo di catene lunghe $4R/3$, inestensibili e di massa trascurabile, alcuni seggiolini. Ciascun seggiolino può essere considerato una massa $m = 7.5$ kg puntiforme (in figura ne sono rappresentati due). Quando la giostra gira alla velocità di regime, le catene formano con la verticale un angolo $\theta = 30^{\text{o}}$ e i seggiolini percorrono una traiettoria circolare sul piano orizzontale. Si calcoli:



1) la velocità angolare di rotazione della giostra;
2) la tensione della catena.
3) la velocità tangenziale del seggiolino;

Soluzione

1,2) Considerando un seggiolino, esso è sottoposto a due forze: la tensione sulla catena e la forza peso. La risultante delle due forze deve produrre sul seggiolino l'accelerazione centripeta orizzontale cui è sottoposto, muovendosi di moto circolare, e nessuna accelerazione verticale. Il raggio del moto circolare è pari a

$$R' = R + \frac{4}{3}R\sin\theta = \frac{5}{3}R$$

Chiamiamo x la direzione orizzontale e y la direzione verticale; si ha:

$$\begin{cases} a_C = R'\omega^2 = \frac{5}{3}R\omega^2 \\ \sum F_x = T\sin\theta = ma_x = ma_C \\ \sum F_y = T\cos\theta - mg = ma_y = 0 \end{cases}$$

otteniamo quindi:

$$T = \frac{mg}{\cos\theta} \simeq 85.0 \text{ N}$$

$$T\sin\theta = mg\tan\theta = \frac{5}{3}mR\omega^2$$

e quindi

$$\omega = \sqrt{\frac{3g\tan\theta}{5R}} \simeq 0.99 \text{ rad/s}$$

3) La velocità tangenziale è semplicemente la velocità angolare per il raggio della circonferenza, quindi

$$v = \omega R' = \frac{5}{3}R\sqrt{\frac{3g\tan\theta}{5R}} = \sqrt{\frac{5}{3}Rg\tan\theta} \simeq 5.7 \text{ m/s}$$

Esercizio 2

Un uomo di massa $m = 80$ kg fa bungee jumping da un ponte, utilizzando una corda elastica di lunghezza a riposo $l_0 = 16$ m. La massima lunghezza raggiunta dalla corda durante il salto è $l = 63$ m. Si determini, trascurando gli attriti e la massa della corda:

1) la costante elastica della corda;
2) la velocità massima raggiunta dall'uomo subito prima che la corda elastica inizi ad allungarsi;
3) la massima accelerazione cui è soggetto l'uomo;
4) la lunghezza della corda quando il salto è finito e l'uomo penzola in equilibrio statico.

Soluzione

1) Quando la corda elastica raggiunge l'allungamento massimo, l'uomo è istantaneamente fermo (subito dopo inizia a risalire). Quindi la sua energia cinetica è nulla, come prima del salto. Possiamo quindi scrivere la conservazione dell'energia uguagliando l'energia potenziale gravitazionale che ha l'uomo quando è ancora sul ponte (scegliendo come zero il punto più basso raggiunto successivamente) all'energia potenziale elastica corrispondente al massimo allungamento:

$$mgl = \frac{1}{2}k(l-l_0)^2 \implies k = \frac{2mgl}{(l-l_0)^2} \simeq 44.8 \text{ N/m}$$

2) Fino al momento in cui la corda è ancora a riposo, subito prima di iniziare ad allungarsi, frenando la caduta, l'uomo è caduto liberamente, di un'altezza l_0; la corda non ha ancora immagazzinato alcuna energia potenziale, quindi la conservazione dell'energia meccanica:

$$mgl_0 = \frac{1}{2}mv_{max}^2 \implies v_{max} = \sqrt{2gl_0} \simeq 17.7 \text{ m/s (circa 64 km/h)}$$

3) La massima accelerazione cui è soggetto l'uomo si avrà quando la corda è al massimo allungamento ed esercita dunque la massima forza verso l'alto sull'uomo; in quella situazione, nella direzione verticale (chiamiamola z) l'uomo è soggetto alla forza elastica, verso l'alto, di modulo $k\Delta l$, e alla forza peso, verso il basso, di modulo mg. Quindi

$$\sum F_z = k(l-l_0) - mg = ma \implies a = \frac{k}{m}(l-l_0) - g \simeq 16.5 \text{ m/s}^2$$

4) L'equilibrio statico corrisponde all'equilibrio della forza elastica e della forza peso, quindi

$$\sum F_z = k(l'-l_0) - mg = 0 \implies l' = l_0 + \frac{mg}{k} \simeq 33.5 \text{ m}$$

Esercizio 3

Una sottile asta rettilinea è lunga $l = 9.85\ \mathrm{m}$ ed è caricata uniformemente con una carica elettrica $Q = 640\ \mathrm{mC}$. Si trovino:
1) la densità lineare di carica;
2) il campo elettrico in un punto P nelle vicinanze del punto medio dell'asta, ad una distanza di $R = 37.5\ \mathrm{mm}$ da essa (sfruttando le approssimazioni consentite dal fatto che $R \ll l$);
3) quale sarebbe il periodo di rivoluzione di un elettrone che orbitasse in un'orbita circolare intorno all'asta, nelle vicinanze del punto medio, a distanza R da essa.

Soluzione

1) La densità lineare di carica è semplicemente la carica totale divisa per la lunghezza dell'asta:

$$\lambda = \frac{Q}{l} \simeq 65.0\ \mathrm{mC/m}$$

2) Se non ricordiamo l'espressione per il campo elettrico prodotto da un filo infinito uniformemente carico, possiamo ricavarla facilmente sfruttando la legge di Gauss. Consideriamo un filo infinito sia perché viene suggerito di considerare che $R \ll l$, ma anche perché, per simmetria, il campo nelle vicinanze del punto medio sarà diretto radialmente (come per il caso di un'asta di lunghezza infinita); scegliamo una superficie gaussiana cilindrica, coassiale con il filo, di altezza h e raggio r. Avremo contributo al flusso del campo elettrico solo dalla superficie laterale del cilindro, in corrispondenza della quale il campo è uniforme su tutta la superficie e in ogni punto ortogonale ad essa. Quindi il calcolo del flusso diventa semplicemente il prodotto del modulo del campo per la superficie laterale totale:

$$\Phi_S(\overrightarrow{E}) = E 2\pi R h$$

Per la legge di Gauss,

$$\Phi_S(\overrightarrow{E}) = \frac{Q_{TOT}}{\epsilon_0} \implies E 2\pi R h = \lambda h$$

otteniamo quindi

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 R} \simeq 31.1\ \mathrm{MN/C}$$

3) Se l'elettrone resta su un'orbita circolare, la forza dovuta al campo elettrostatico costituisce la forza centripeta del suo moto di raggio r e periodo T (ricordando che $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$):

$$a_c = \omega^2 R = \frac{4\pi^2}{T^2} R$$

La forza esercitata dal campo elettrico

$$F = eE$$

corrisponde alla massa dell'elettrone per la sua accelerazione:

$$eE = m_e a_c$$

quindi

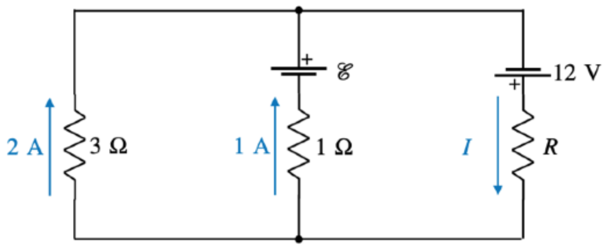
$$\frac{\lambda e}{2\pi\varepsilon_0 R} = m_e \frac{4\pi^2}{T^2} R \implies T = 2\pi R \sqrt{\frac{m_e l 2\pi\varepsilon_0}{Qe}} \simeq 1.64 \times 10^{-11}\ \mathrm{s}$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 2 Settembre 2022 - Prof. L. Guiducci

Esercizio 4

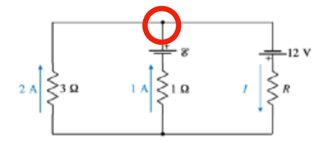
Nel circuito mostrato in figura, una sorgente di forza elettromotrice da 12 V con una resistenza interna R sconosciuta è connessa ad una batteria ricaricabile esaurita, con una forza elettromotrice $\mathcal{E}$ sconosciuta e resistenza interna da 1 Ω, e a una spia realizzata con una lampadina di resistenza 3 Ω attraversata da una corrente di 2 A. La corrente attraverso la batteria scarica è di 1 A nella direzione mostrata. Trovare:

1) la corrente I erogata dalla sorgente a 12 V;
2) la resistenza incognita R;
3) il valore della forza elettromotrice incognita $\mathcal{E}$;
4) spiegare, in base ai risultati ottenuti, se nello schema del circuito la batteria ricaricabile è disegnata con la polarità giusta.



Soluzione

1) Per la legge dei nodi, nel nodo al di sopra di $\mathcal{E}$

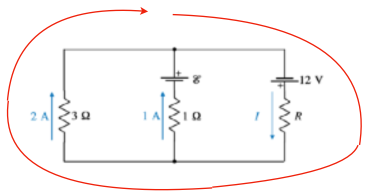


$$-I + 1\ \text{A} + 2\ \text{A} = 0$$

quindi

$$I = 3\ \text{A}$$

2) Per la legge delle maglie, applicata alla maglia esterna più grande

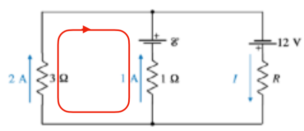


$$12\ \text{V} - R(3\ \text{A}) - (3\ \Omega)(2\ \text{A}) = 0$$

quindi

$$R = 2\ \Omega$$

3) Per la legge delle maglie, applicata alla maglia a sinistra, quella comprendente le resistenze da 3 Ω e da 1 Ω e la batteria $\mathcal{E}$, si ha



$$-\mathcal{E} + (1\ \Omega)(1\ \text{A}) - (3\ \Omega)(2\ \text{A}) = 0$$

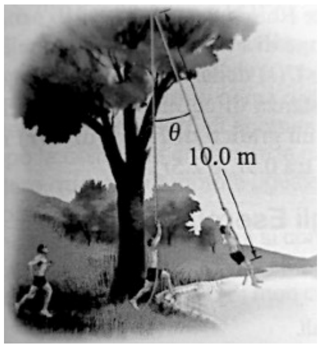
dove abbiamo scritto un meno davanti a $\mathcal{E}$ in quanto, con il verso di percorrenza scelto, attraversiamo tale fem dal polo positivo a quello negativo. Quindi, si ottiene

$$\mathcal{E} = -5\ \text{V}$$

4) Il valore negativo trovato per $\mathcal{E}$ indica che la polarità di questa forza elettromotrice è opposta a quella mostrata nel disegno, e utilizzata nell'applicare la legge delle maglie al punto 3). Quindi nel disegno la polarità dovrebbe essere opposta. In effetti, per poter ricaricare la batteria rappresentata da $\mathcal{E}$, essa deve essere connessa alla sorgente esterna (12 V) in modo da accoppiare insieme i poli positivi e i poli negativi.

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 18 Gennaio 2023 - Prof. L. Guiducci

Esercizio 1

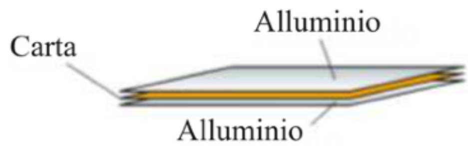


Uno studente di massa $m = 56.0$ kg, correndo a $v_0 = 6.00$ ms/s, si aggrappa ad una fune di lunghezza $l = 10.0$ m che pende da un albero e si mette ad oscillare al di sopra di un lago. A un certo punto, quando la sua velocità è nulla, lo studente molla la fune.
1. Quanto vale l'angolo θ nell'istante in cui lo studente lascia la fune?
2. Quanto vale la tensione della fune un istante prima che la lasci?
3. Quanto vale la massima tensione della fune durante l'oscillazione?

Esercizio 2

Un corpo di massa m, lanciato con velocità iniziale di modulo v_0, scivola su una superficie orizzontale con coefficiente di attrito dinamico $\mu_d = 0.2$. Percorso un tratto $l_1 = 2.00$ m, il corpo incontra un piano inclinato avente uguale coefficiente di attrito, di lunghezza $l_2 = 3.00$ m e pendenza $\alpha = 30^o$. Il corpo sale fino alla sommità del piano inclinato dove giunge con velocità nulla. Si calcoli:
1. il valore di v_0;
2. il minimo valore del coefficiente di attrito statico del piano inclinato tale che il corpo non ridiscenda verso il basso;
3. la lunghezza l_3 del tratto di piano orizzontale che il corpo percorre prima di fermarsi, una volta ridisceso nel caso in cui il coefficiente di attrito statico non fosse sufficiente a tenere fermo il corpo alla sommità del piano.

Esercizio 3



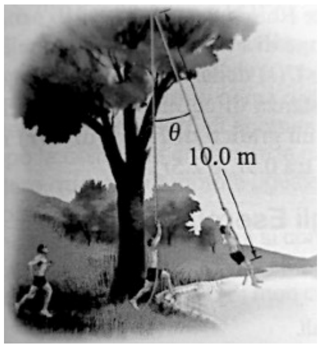
Un foglio di carta ha costante dielettrica relativa $\varepsilon_r = 3.7$, spessore $d = 0.11$ mm e "rigidità dielettrica" $E_R = 1.55 \times 10^7$ V/m. La rigidità dielettrica è il massimo campo elettrico che il materiale può sopportare mantenendo la caratteristica di essere isolante: al di sopra di questo valore inizia a passare corrente. Si prende un foglio A5 ($b = 14.8$ cm, $h = 21.0$ cm) e si inserisce tra due fogli di alluminio da cucina, realizzando così un condensatore casalingo.
1. Quanto vale la capacità C_0 di tale condensatore?
2. Quanta carica può essere immagazzinata prima che il condensatore si "rompa"?
3. Mostrate con un disegno come potreste sovrapporre fogli di carta e di alluminio e come potreste collegare elettricamente questi ultimi per realizzare una configurazione in parallelo.
4. Se realizzate 100 condensatori di questo tipo e collegate le estremità dei fogli di alluminio, spesso $d_{\text{Al}} = 0.016$ mm, in parallelo, quanto spesso dovrebbe essere questo condensatore?
5. Quale è la massima tensione che potreste applicare a questo condensatore di capacità $100C_0$, senza romperlo?

Esercizio 4

Un lungo solenoide ha $n = 500\ \text{m}^{-1}$ avvolgimenti per metro, raggio $r = 1.25$ cm e resistenza $R = 2.50\ \Omega$. Viene alimentato con un generatore che produce una differenza di potenziale che cambia nel tempo secondo la legge $V(t) = kt$ con $k = 250$ V/s. Il solenoide è circondato al suo centro da una spira quadrata di lato $a = 5.00$ cm. Si calcoli:
1. il modulo del campo magnetico presente nel solenoide all'istante $t^* = 0.350$ s;
2. la forza elettromotrice indotta nella spira quadrata;
3. il valore del campo elettrico indotto nel filo della spira quadrata.

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 18 Gennaio 2023 - Prof. L. Guiducci

Esercizio 1



Uno studente di massa $m = 56.0$ kg, correndo a $v_0 = 6.00$ ms/s, si aggrappa ad una fune di lunghezza $l = 10.0$ m che pende da un albero e si mette ad oscillare al di sopra di un lago. A un certo punto, quando la sua velocità è nulla, lo studente molla la fune.
1. Quanto vale l'angolo θ nell'istante in cui lo studente lascia la fune?
2. Quanto vale la tensione della fune un istante prima che la lasci?
3. Quanto vale la massima tensione della fune durante l'oscillazione?

Soluzione

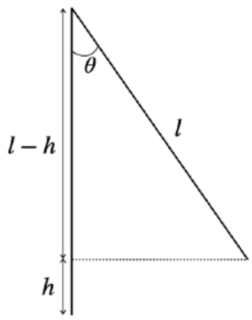
1) Quando la velocità è nulla, nel punto più alto dell'oscillazione, lo studente non ha energia cinetica. Tutta l'energia cinetica iniziale si è convertita in energia potenziale della forza peso: lo studente si troverà più in alto di una quantità h. Possiamo quindi ricavare h dalla conservazione dell'energia, ponendo l'energia potenziale della forza peso a zero alla quota iniziale dello studente:

$$E_i = K_i + U_i = K_i = \frac{1}{2}mv_0^2$$

$$E_f = K_f + U_f = U_f = mgh$$

$$E_i = E_f \implies \frac{1}{2}mv_0^2 = mgh \implies h = \frac{v_0^2}{2g}$$

Avendo trovato h, possiamo ricavare l'angolo θ con un po' di trigonometria di base:

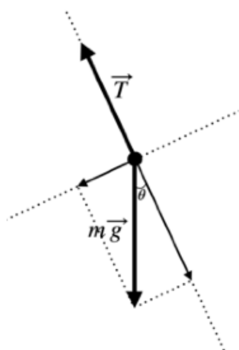


$$\cos\theta = \frac{l-h}{l} = 1 - \frac{v_0^2}{2gl}$$

$$\theta = \arccos\left(1 - \frac{v_0^2}{2gl}\right) \simeq 35.3^{\circ}$$

2) Nel punto in cui lo studente sta per lasciare la fune, la velocità è nulla dunque non vi è alcuna accelerazione centripeta: l'accelerazione è solo tangenziale. Quindi la tensione della fune non fa altro che bilanciare la componente della forza peso parallela alla fune:

$$T = mg\cos\theta = mg\left(1 - \frac{v_0^2}{2gl}\right) \simeq 449 \text{ N}$$



Il punto di massima tensione è quello in cui la fune è verticale, e la tensione, oltre a bilanciare l'intera forza peso agente sullo studente, fornisce la forza centripeta necessaria a mantenere lo studente sul moto circolare, in quel punto con velocità v_0:

$$T_{max} - mg = ma_c = m\frac{v_0^2}{l}$$

$$T_{max} = m\left(g + \frac{v_0^2}{l}\right) \simeq 751 \text{ N}$$

Esercizio 2

Un corpo di massa m, lanciato con velocità iniziale di modulo v_0, scivola su una superficie orizzontale con coefficiente di attrito dinamico $\mu_d = 0.2$. Percorso un tratto $l_1 = 2.00\ \mathrm{m}$, il corpo incontra un piano inclinato avente uguale coefficiente di attrito, di lunghezza $l_2 = 3.00\ \mathrm{m}$ e pendenza $\alpha = 30^o$. Il corpo sale fino alla sommità del piano inclinato dove giunge con velocità nulla. Si calcoli:

1) il valore di v_0;
2) il minimo valore del coefficiente di attrito statico del piano inclinato tale che il corpo non ridiscenda verso il basso;
3) la lunghezza l_3 del tratto di piano orizzontale che il corpo percorre prima di fermarsi, una volta ridisceso nel caso in cui il coefficiente di attrito statico non fosse sufficiente a tenere fermo il corpo alla sommità del piano

Soluzione

1) Il lavoro complessivo fatto dall'attrito:

$$\mathscr{L}_{att} = -\mu_D m g l_1 - \mu_D m g l_2 \cos\alpha$$

in quanto il modulo della forza di attrito dinamico è pari a $\mu_D N$, dove N è il modulo della forza normale, pari a mg sul piano orizzontale e a $mg\cos\alpha$ sul piano inclinato. Le distanze sono l_1 e l_2, e la forza è parallela allo spostamento ma con verso opposto, da cui il segno meno per entrambi i contributi ($\cos(180^o) = -1$).

Considerando come zero per l'energia potenziale della forza peso la quota del piano orizzontale, l'energia meccanica iniziale è

$$E_i = K_i = \frac{1}{2} m v_0^2 \qquad (U_i = 0)$$

L'energia finale è

$$E_f = U_f = m g l_2 \sin\alpha \qquad (K_f = 0)$$

La variazione di energia meccanica è pari al lavoro fatto dall'attrito quindi

$$E_f - E_i = m g l_2 \sin\alpha - \frac{1}{2} m v_0^2 = \mathscr{L}_{att} = -\mu_D m g l_1 - \mu_D m g l_2 \cos\alpha$$

da cui si ricava

$$v_0 = \sqrt{2\mu_D g (l_1 + l_2\cos\alpha) + 2 g l_2 \sin\alpha} \simeq 6.9\ \mathrm{m/s}$$

2) Affinché il corpo non scivoli, il valore massimo della forza di attrito statico deve essere maggiore o uguale alla componente parallela al piano della forza peso. Quindi

$$F_{S,max} \geq P_{//} \qquad \rightarrow \qquad \mu_S m g \cos\alpha \geq m g \sin\alpha$$

cioè

$$\mu_S \geq \tan\alpha \simeq 0.58$$

3) Consideriamo nuovamente il bilancio energetico

$$E_i = mgl_2 \sin\alpha \qquad (K_i = 0,\ U_i = mgl_2 \sin\alpha)$$

$$E_f = 0 \qquad (K_f = 0,\ U_f = 0)$$

e poniamo la variazione di energia meccanica pari al lavoro fatto dall'attrito, che possiamo scrivere

$$\mathscr{L}_{att} = -\mu_D mgl_2 \cos\alpha - \mu_D mgl_3$$

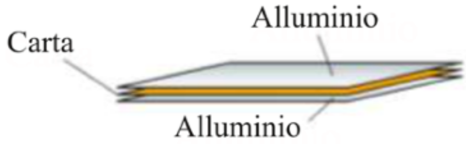
quindi

$$l_3 = \left(\frac{\sin\alpha}{\mu_D} - \cos\alpha\right) l_2 \simeq 4.9 \text{ m}$$

Esercizio 3

Un foglio di carta ha costante dielettrica relativa $\varepsilon_r = 3.7$, spessore $d = 0.11$ mm e "rigidità dielettrica" $E_R = 1.55 \times 10^7$ V/m. La rigidità dielettrica è il massimo campo elettrico che il materiale può sopportare mantenendo la caratteristica di essere isolante: al di sopra di questo valore inizia a passare corrente. Si prende un foglio A5 ($b = 14.8$ cm, $h = 21.0$ cm) e si inserisce tra due fogli di alluminio da cucina, realizzando così un condensatore casalingo.

1) Quanto vale la capacità C_0 di tale condensatore?
2) Quanta carica può essere immagazzinata prima che il condensatore si "rompa"?
3) Mostrate con un disegno come potreste sovrapporre fogli di carta e di alluminio e come potreste collegare elettricamente questi ultimi per realizzare una configurazione in parallelo.
4) Se realizzate 100 condensatori di questo tipo e collegate le estremità dei fogli di alluminio, spesso $d_{\text{Al}} = 0.016$ mm, in parallelo, quanto spesso dovrebbe essere questo condensatore?
5) Quale è la massima tensione che potreste applicare a questo condensatore di capacità $100C_0$, senza romperlo?



Soluzione

1) La capacità di un condensatore piano

$$C_0 = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{bh}{d} \simeq 9.26 \text{ nF}$$

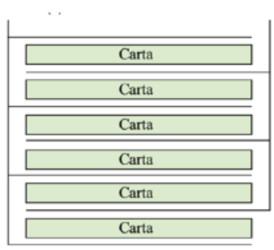
2) Il campo elettrico nel condensatore piano si scrive come

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} = \frac{Q}{\varepsilon_0 \varepsilon_r bh}$$

Inserendo il valore di rigidità dielettrica e invertendo otteniamo la carica massima:

$$Q_{max} = \varepsilon_0 \varepsilon_r E_R bh \simeq 15.8 \ \mu\text{C}$$

3)



4) Dovrei utilizzare 100 strati di carta e 101 strati di alluminio quindi

$$S = 100d + 101d_{\text{Al}} \simeq 12.6 \text{ mm}$$

5) La tensione è pari al campo elettrico tra le armature moltiplicato per la distanza tra le stesse, utilizzando come valore del campo la rigidità dielettrica si ottiene

$$V_{max} = E_R d \simeq 1705 \text{ V}$$

Esercizio 4

Un lungo solenoide ha $n = 500\ \mathrm{m}^{-1}$ avvolgimenti per metro, raggio $r = 1.25$ cm e resistenza $R = 2.50\ \Omega$. Viene alimentato con un generatore che produce una differenza di potenziale che cambia nel tempo secondo la legge $V(t) = kt$ con $k = 250\ \mathrm{V/s}$. Il solenoide è circondato al suo centro da una spira quadrata di lato $a = 5.00$ cm. Si calcoli:
1) Il modulo del campo magnetico presente nel solenoide all'istante $t^* = 0.350$ s
2) La forza elettromotrice indotta nella spira quadrata
3) Il valore del campo elettrico indotto nel filo della spira quadrata.

Soluzione

1) In un solenoide, il campo magnetico si esprime con la formula

$$B = \mu_0 n I$$

La corrente che scorre nel solenoide all'istante t^* sarà

$$I(t^*) = \frac{V(t^*)}{R} = \frac{kt^*}{R}$$

e dunque

$$B(t^*) = \frac{\mu_0 n k t^*}{R} \simeq 22\ \mathrm{mT}$$

2) Visto che per un solenoide ideale il campo magnetico è interamente contenuto all'interno dello stesso, e uniforme, il valore del flusso in ogni istante è semplicemente il prodotto del modulo del campo in quell'istante moltiplicato per l'area della sezione del solenoide.

$$\Phi(\vec{B}) = B\pi r^2 = \frac{\mu_0 \pi r^2 n k t}{R}$$

quindi

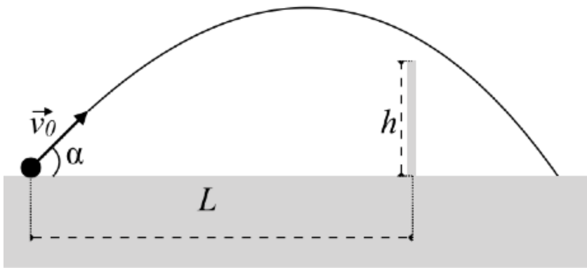
$$|\mathscr{E}| = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = \frac{\mu_0 \pi r^2 n k}{R} \simeq 31\ \mu\mathrm{V}$$

3) Il valore del campo sarà semplicemente il valore della forza elettromotrice diviso per la lunghezza della spira quadrata, quindi

$$|E| = \frac{|\mathscr{E}|}{4a} = \frac{\mu_0 \pi r^2 n k}{4aR} \simeq 154\ \mu\mathrm{N/C}$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 3 Febbraio 2023 - Prof. L. Guiducci

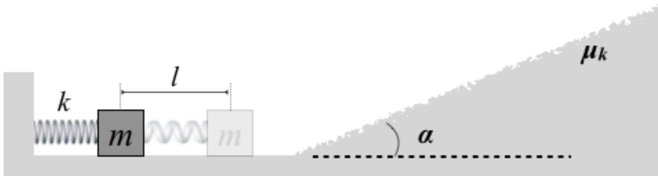
Esercizio 1



Un proiettile viene sparato con velocità iniziale v_0=32.4 m/s e inclinazione α=37.0° rispetto all'orizzontale. Calcolare
1) la massima altezza raggiunta dal proiettile durante il volo
2) la distanza dal punto di lancio a cui il proiettile tocca nuovamente il suolo

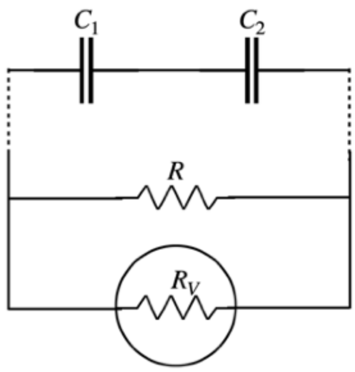
Se a distanza L=92.7 m dal punto di lancio si trova una recinzione alta h=2.31 m:
3) riesce il proiettile ad oltrepassare la recinzione?
4) qual è la velocità minima di lancio per riuscire ad oltrepassare la recinzione?

Esercizio 2



Una molla di massa trascurabile e costante elastica k=123 N/m, inizialmente compressa rispetto alla posizione di riposo di una quantità l=0.362 m, è posizionata orizzontalmente ed è usata per "sparare" un corpo di dimensioni trascurabili e massa m=0.732 kg, inizialmente in quiete, su un piano orizzontale privo di attrito. Il corpo si stacca quando la molla raggiunge la posizione di riposo, poi prosegue il suo moto salendo su un piano inclinato di α=23.5°. Tra il corpo e il piano inclinato è presente attrito dinamico, esprimibile tramite un coefficiente di attrito μ_k=0.100. Calcolare:
1) Il lavoro fatto dalla molla sul blocco quando viene rilasciata;
2) La velocità del blocco mentre scorre sul piano orizzontale;
3) La massima altezza dal suolo raggiunta dal blocco prima di fermarsi sul piano inclinato.

Esercizio 3



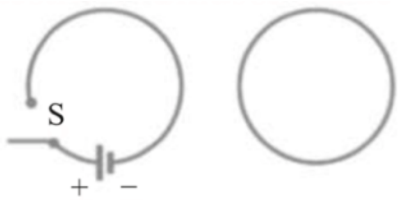
Due condensatori di capacità $C_1 = 2.40\ \mu$F e $C_2 = 3.60\ \mu$F sono connessi in serie, e su ciascuno di essi è presente una carica $Q = 5.20$ mC.
1) Qual è l'energia immagazzinata nei condensatori?

Si chiude il circuito con una resistenza $R = 655\ \Omega$, e al contempo si misura la caduta di potenziale presente su di essa collegando un voltmetro di resistenza interna $R_V = 4.58 \times 10^4\ \Omega$.

2) Qual è la potenza dissipata nel circuito nell'istante in cui si è stabilita la connessione?

3) Quanta corrente scorre nella resistenza R dopo un tempo $t^* = 1.55$ ms?

Esercizio 4

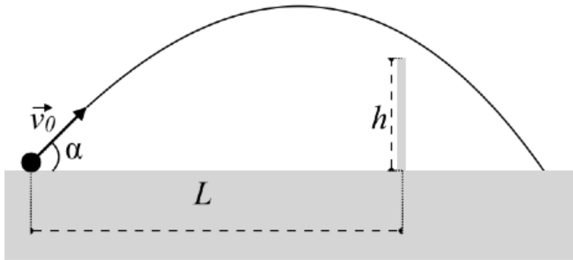


Si considerino i due anelli conduttori in figura. L'interruttore S dell'anello di sinistra viene chiuso.
1) Qual è il verso della corrente indotta nell'anello di destra?

Nel seguito si assuma che l'interruttore S sia stato chiuso da un tempo ragionevolmente lungo.
2) Qual è la situazione nell'anello di destra?
3) Qual è il verso della corrente indotta nell'anello di destra se questo viene tirato rapidamente verso destra?
4) Se anche l'anello di destra avesse avuto un interruttore, inizialmente aperto, per poi essere improvvisamente chiuso, cosa succederebbe?

Spiegate e motivate bene ogni risposta!

Esercizio 1
Un proiettile viene sparato con velocità iniziale v_0=32.4 m/s e inclinazione α=37.0° rispetto all'orizzontale. Calcolare
1) la massima altezza raggiunta dal proiettile durante il volo
2) la distanza dal punto di lancio a cui il proiettile tocca nuovamente il suolo



Se a distanza L=92.7 m dal punto di lancio si trova una recinzione alta h=2.31 m:
3) riesce il proiettile ad oltrepassare la recinzione?
4) qual è la velocità minima di lancio per riuscire ad oltrepassare la recinzione?

Soluzione

1) Si tratta di un tipico moto parabolico, in cui si ha un moto uniforme nella componente orizzontale (x, diretto verso destra) e uniformemente accelerato, con accelerazione -g, nella componente verticale (y, diretto verso l'alto). Le corrispondenti leggi orarie, ponendo l'origine del sistema di riferimento nel punto del lancio del proiettile, sono:

$$\begin{cases} x(t) = (v_0 \cos\alpha)t \\ y(t) = (v_0 \sin\alpha)t - \frac{1}{2}gt^2 \\ v_x(t) = v_0 \cos\alpha \\ v_y(t) = v_0 \sin\alpha - gt \end{cases}$$

La massima altezza raggiunta si ha per il tempo t* tale per cui $v_y(t^*) = 0$ quindi

$$0 = v_0 \sin\alpha - gt^* \implies t^* = \frac{v_0 \sin\alpha}{g} \implies y_{max} = y(t^*) = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g} \simeq 19.398 \text{ m} \simeq 19.4 \text{ m}$$

2) Si tratta del calcolo della gittata. Se non si ricorda la formula, si procede mettendo a sistema le due leggi orari: chiamiamo t' l'istante in cui il corpo tocca il suolo, in un punto situato a distanza R (lungo x) dal punto di lancio, in cui quindi abbiamo x=R e y=0:

$$\begin{cases} y(t') = 0 = (v_0 \sin\alpha)t' - \frac{1}{2}gt'^2 \implies t' = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g} \\ x(t') = R = (v_0 \cos\alpha)t' \implies R = \frac{v_0^2}{g}\sin 2\alpha \simeq 102.97 \text{ m} \simeq 103 \text{ m} \end{cases}$$

3) Chiamiamo t'' l'istante in cui il corpo si trova ad x=L e calcoliamo la y:

$$\begin{cases} x(t'') = L = (v_0 \cos\alpha)t'' \implies t'' = \frac{L}{v_0 \cos\alpha} \\ y(t'') = (v_0 \sin\alpha)t'' - \frac{1}{2}gt''^2 = L\tan\alpha - \frac{gL^2}{2v_0^2\cos^2\alpha} \simeq 6.966 \text{ m} \simeq 6.97 \text{ m} \end{cases}$$

dunque il proiettile riesce a superare la recinzione, dato che $y(t'') > h$.

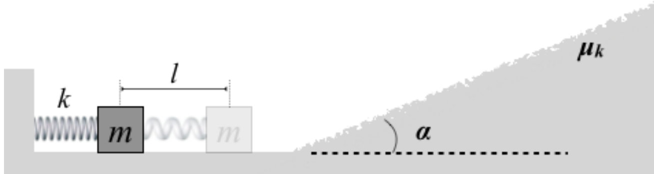
4) Quando il proiettile viene sparato con la velocità minima necessaria a oltrepassare la recinzione, giunto a $x=L$ esso avrà esattamente $y=h$. Quindi:

$$\begin{cases} x(t_m) = L = (v_0^{min}\cos\alpha)t \rightarrow t_m = \frac{L}{v_0^{min}\cos\alpha} \\ y(t_m) = h = (v_0^{min}\sin\alpha)t_m - \frac{1}{2}g t_m^2 \end{cases}$$

Da questo sistema di due equazioni con incognite v_0^{min} e t_m si ricava dunque:

$$v_0^{min} = \sqrt{\frac{gL^2}{2\cos^2\alpha(L\tan\alpha - h)}} \simeq 31.26 \text{ m/s} \simeq 31.3 \text{ m/s}$$

Esercizio 2



Una molla di massa trascurabile e costante elastica k=123 N/m, inizialmente compressa rispetto alla posizione di riposo di una quantità l=0.362 m, è posizionata orizzontalmente ed è usata per "sparare" un corpo di dimensioni trascurabili e massa m=0.732 kg, inizialmente in quiete, su un piano orizzontale privo di attrito. Il corpo si stacca quando la molla raggiunge la posizione di riposo, poi prosegue il suo moto salendo su un piano inclinato di α=23.5°. Tra il corpo e il piano inclinato è presente attrito dinamico, esprimibile tramite un coefficiente di attrito μ_k=0.100. Calcolare:

1) Il lavoro fatto dalla molla sul blocco quando viene rilasciata;
2) La velocità del blocco mentre scorre sul piano orizzontale;
3) La massima altezza dal suolo raggiunta dal blocco prima di fermarsi sul piano inclinato.

1) Il lavoro compiuto dalla molla sul blocco è uguale all'opposto della variazione di energia potenziale elastica:

$$L^{molla} = -\Delta U_{molla} = -(U_f - U_i) = U_i = \frac{1}{2}kl^2 \simeq 8.059 \text{ J} \simeq 8.06 \text{ J}$$

2) In base al fatto che non agiscono forze dissipative, dato che l'unica forza agente, quella elastica, è conservativa, l'energia meccanica si conserva:

$$E = U_{molla} + K_{blocco} = \text{costante} \rightarrow \Delta E = \Delta U_{molla} + \Delta K_{blocco} = 0$$

quindi

$$-\Delta U_{molla} = \Delta K_{blocco} = K_{blocco} \rightarrow \frac{1}{2}kl^2 = \frac{1}{2}mv^2$$

considerato anche che l'energia cinetica iniziale del blocco è nulla. Si ricava quindi facilmente la velocità del blocco:

$$v = l\sqrt{\frac{k}{m}} \simeq 4.693 \text{ m/s} \simeq 4.69 \text{ m/s}$$

3) Per calcolare la quota raggiunta può essere conveniente utilizzare il teorema dell'energia cinetica, considerando che il lavoro fatto dalle forze agenti sul corpo una volta giunto ad una altezza h ignota sarà uguale alla variazione di energia cinetica del corpo. L'energia cinetica del blocco all'inizio della salita è nota; quando si sarà fermato lungo la salita sarà zero, quindi abbiamo una variazione di energia cinetica del blocco:

$$\Delta K = K_f - K_{blocco} = -K_{blocco} = -\frac{1}{2}kl^2$$

Il lavoro totale fatto sul corpo è costituito da un contributo dovuto all'attrito dinamico e un contributo dovuto alla forza peso:

$$\sum L^{ext} = L^{peso} + L^{attr}$$

Il lavoro compiuto dalla forza peso, chiamando h l'altezza dal suoro raggiunta dal corpo quando si ferma, sarà

$$L^{peso} = -\Delta U^{peso} = -mgh$$

Il lavoro compiuto dalla forza d'attrito sarà pari al modulo della forza d'attrito dinamico per lo spazio percorso lungo il piano, con un segno negativo (forza antiparallela allo spostamento):

$$\begin{cases} L^a = -F_a S \\ F_a = \mu_k N = \mu_k mg\cos\alpha \\ S = h/\sin\alpha \end{cases} \implies L^{attr} = -\frac{\mu_k mgh}{\tan\alpha}$$

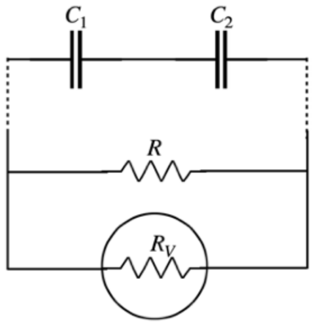
Uguagliando il lavoro fatto dalle forze esterne alla variazione di energia cinetica:

$$\sum L^{ext} = \Delta K \quad \implies \quad -mgh - \frac{\mu_k mgh}{\tan\alpha} = -\frac{1}{2}kl^2$$

da cui si ricava facilmente

$$h = \frac{kl^2}{2mg(1 + \mu_k/\tan\alpha)} \simeq 0.91347 \text{ m} \simeq 0.913 \text{ m}$$

Esercizio 3



Due condensatori di capacità $C_1 = 2.40\ \mu\text{F}$ e $C_2 = 3.60\ \mu\text{F}$ sono connessi in serie, e su ciascuno di essi è presente una carica $Q = 5.20\ \text{mC}$.

1) Qual è l'energia immagazzinata nei condensatori?

Si chiude il circuito con una resistenza $R = 655\ \Omega$, e al contempo si misura la caduta di potenziale presente su di essa collegando un voltmetro di resistenza interna $R_V = 4.58 \times 10^4\ \Omega$.

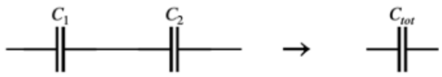
2) Qual è la potenza dissipata nel circuito nell'istante in cui si è stabilita la connessione?

3) Quanta corrente scorre nella resistenza R dopo un tempo $t^* = 1.55\ \text{ms}$?

Soluzione

1) Consideriamo la capacità equivalente dei due condensatori in serie:

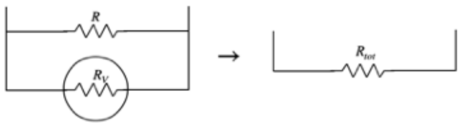
$$C_{tot} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \simeq 1.44\ \mu F$$



L'energia immagazzinata con una carica Q vale

$$U = \frac{Q^2}{2C} \simeq 9.4\ \text{J}$$

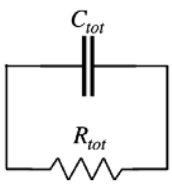
2) Calcoliamo la resistenza equivalente al parallelo di R con R_V:



$$R_{tot} = \frac{R R_V}{R + R_V} \simeq 646\ \Omega$$

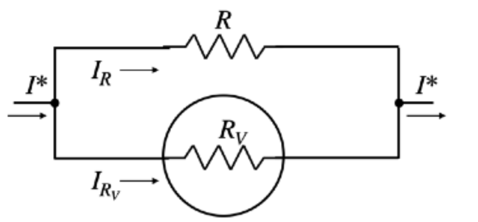
Nell'istante iniziale su tale R_{tot} è applicato una differenza di potenziale $V_0 = \dfrac{Q}{C_{tot}} \simeq 3.61\ \text{kV}$, quindi

$$P = \frac{V_0^2}{R_{tot}} \simeq 20.2\ \text{kW}$$



3) Ora abbiamo ridotto il circuito alla semplice scarica di un condensatore C_{tot} su una resistenza R_{tot}. La corrente di scarica vale

$$I^* = I(t^*) = -\frac{V_0}{R_{tot}} e^{-\frac{t^*}{R_{tot}C_{tot}}} \simeq 1.06\ \text{A}$$



Tale corrente si divide tra le resistenze R e R_V in modo che la caduta di tensione sia la stessa, quindi

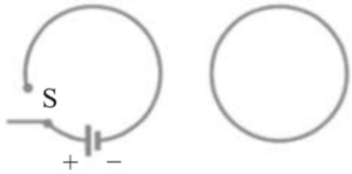
$$\begin{cases} I_R R = I_{R_V} R_V \\ I_R + I_{R_V} = I^* \end{cases}$$

da cui ricaviamo

$$\text{`}I_R = \frac{R_V}{R_V + R} I^* \simeq 1.05\ \text{A}$$

Esercizio 4

Si considerino i due anelli conduttori in figura. L'interruttore S dell'anello di sinistra viene chiuso.



1) Qual è il verso della corrente indotta nell'anello di destra?

Nel seguito si assuma che l'interruttore S sia stato chiuso da un tempo ragionevolmente lungo.

2) Qual è la situazione nell'anello di destra?
3) Qual è il verso della corrente indotta nell'anello di destra se questo viene tirato rapidamente verso destra?
4) Se anche l'anello di destra avesse avuto un interruttore, inizialmente aperto, per poi essere improvvisamente chiuso, cosa succederebbe?

Spiegate e motivate bene ogni risposta!

Soluzione

1) Nell'anello di sinistra inizia a scorrere corrente in senso orario. Si genera dunque un campo magnetico le cui linee sono entranti nel piano del foglio nella regione all'interno dell'anello, e uscenti altrove. In corrispondenza dell'anello di destra abbiamo quindi un aumento del flusso di un campo uscente, per la legge di Lenz la corrente indotta sarà quindi anch'essa in senso orario.

2) Nell'anello di sinistra scorre una corrente stazionaria; il campo magnetico generato è costante nel tempo, tale è quindi anche il flusso del campo attraverso l'anello di destra, nel quale non è presente alcuna corrente indotta.

3) In questo caso, in presenza di un campo magnetico uscente dal piano del foglio e di intensità decrescente all'aumentare della distanza dall'anello di sinistra (sorgente), si avrà una diminuzione del flusso nell'anello di destra. Diminuzione di un flusso uscente che produrrà nell'anello di destra una corrente indotta circolante in senso antiorario.

4) Non succederebbe nulla.

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 9 Giugno 2023 - Prof. L. Guiducci

Esercizi

Esercizio 1

Un oscillatore armonico è realizzato come segue: un corpo di massa m può muoversi con attrito trascurabile lungo una rotaia, ed è fissato all'estremità di una molla ideale, che è fissata a un punto della rotaia all'altra estremità. Le osservazioni sul sistema consistono nei seguenti dati: mettendo in oscillazione il corpo, si misura un periodo $T = 1.80$ s e un valore massimo della velocità $v_{max} = 0.700\ \text{m/s}$.

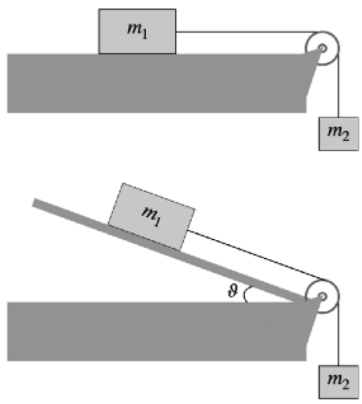
1) Quanto vale l'accelerazione massima del corpo?

2) Qual è l'ampiezza dell'oscillazione?

Il corpo viene pesato con una bilancia e si trova che ha una massa $m = 0.350$ g.

3) Quanto vale la costante elastica della molla?

Esercizio 2



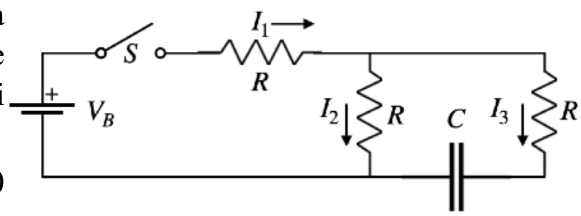
Un corpo di massa $m_1 = 1.50$ kg è poggiato su un piano orizzontale. Al corpo è collegata una fune ideale che giunge su una puleggia ideale per poi scendere verticalmente. All'estremità della fune è collegato un corpo di massa $m_2 = 0.350$ kg. Il sistema è in equilibrio statico.

1) Quanto vale il modulo della tensione della fune?
2) Si calcoli il minimo coefficiente di attrito statico presente tra il piano orizzontale e il corpo di massa m_1 che possa garantire che tale corpo non inizi a scivolare.

Si dispone ora il piano con una inclinazione di $\theta = 30^{\circ}$ per far mettere in moto le masse. Sapendo che il coefficiente di attrito dinamico è $\mu_D = 0.350$:

3) qual è il modulo dell'accelerazione dei corpi? E la tensione della fune?

Esercizio 3



Nel circuito in figura i resistori hanno tutti la stessa resistenza $R = 15.0\ \Omega$ e la batteria sviluppa una forza elettromotrice $V_B = 12.0$ V. All'istante $t = 0$, con il condensatore di capacità $C = 12.5\ \mu$F scarico, si chiude l'interruttore S.

1) Disegnate il circuito equivalente valido per l'istante $t = 0$ e calcolate le correnti I_1, I_2, I_3.
2) Calcolate la potenza erogata dalla batteria in $t = 0$.
3) Disegnate il circuito equivalente valido per $t \to \infty$ e calcolate le correnti I_1, I_2, I_3.
4) Calcolate la carica presente sul condensatore per $t \to \infty$.

Esercizio 4

Un elettrone si muove verso sud a velocità costante $v = 3.00 \times 10^4\ \text{m/s}$.

1) In quale direzione dovrebbe puntare un campo elettrico per accelerare l'elettrone verso est?
2) In quale direzione dovrebbe puntare un campo magnetico per accelerare l'elettrone verso ovest?
3) Se il campo elettrico introdotto nella domanda 1) ha intensità $|\vec{E}| = 380$ V/m, che campo magnetico (direzione, verso, modulo) occorre per produrre una forza netta nulla sull'elettrone?
4) Con i campi elettrico e magnetico come nella domanda 3), cosa succede se l'elettrone ha una velocità *i)* maggiore o *ii)* minore di v?

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 9 Giugno 2023 - Prof. L. Guiducci

Domande aperte. Si dia risposta, su foglio protocollo (1 facciata massimo), ad una tra le seguenti domande:

1) Come sono descritte in meccanica le forze di attrito radente, statico e dinamico? Possibile traccia: evidenze empiriche, i coefficienti di attrito e loro significato, considerazioni su lavoro ed energia.

2) Si diano gli enunciati del teorema di Gauss per il campo elettrico e del teorema di Ampere per il campo magnetico, mettendo in luce le differenze e quindi le differenti proprietà dei due campi. Si faccia almeno un esempio dell'utilizzo di tali teoremi per il calcolo del campo per particolari distribuzioni di carica/corrente.

3) Si descrivano le operazioni di prodotto tra vettori (scalare e vettoriale) dandone la definizione e spiegandone le principali proprietà. Si facciano alcuni esempi dell'uso di tali operazioni, tratti da argomenti del corso.

Quesiti a scelta multipla:

1) In un moto circolare uniforme, per raddoppiare il modulo dell'accelerazione centripeta mantenendo invariata la velocità angolare, occorre:

(a) dimezzare il raggio della traiettoria
(b) raddoppiare il raggio della traiettoria
(c) raddoppiare la velocità tangenziale
(d) dimezzare il periodo
(e) nessuna delle risposte precedenti

2) Quale delle seguenti affermazioni è vera?

(a) L'energia cinetica e il lavoro possono essere solo positivi
(b) L'energia cinetica può essere solo positiva, il lavoro può essere positivo o negativo
(c) Sia l'energia cinetica che il lavoro possono essere positivi o negativi
(d) Il lavoro può essere solo positivo, l'energia cinetica può essere positiva o negativa

3) La Luna non si schianta sulla Terra perché

(a) la forza risultante agente su di essa è zero
(b) è al di là del raggio della gravità terrestre
(c) è attratta dal Sole oltre che dalla Terra
(d) è in caduta libera, ma ha una elevata velocità tangenziale

4) Quale delle seguenti grandezze NON influisce sulla capacità di un condensatore a facce piane?

(a) l'area delle piastre
(b) la separazione delle piastre
(c) il materiale tra le piastre
(d) la carica sulle piastre

5) Due cariche positive identiche sono poste l'una accanto all'altra. Nel punto a metà

(a) il campo elettrico è zero e il potenziale elettrico è positivo
(b) il campo elettrico è zero e il potenziale elettrico è zero
(c) il campo elettrico non è zero e il potenziale elettrico è zero
(d) il campo elettrico non è zero e il potenziale elettrico è positivo
(e) nessuna affermazione è vera

6) Supponiamo che un oggetto sia accelerato da una forza di 100 N. A un certo istante una seconda forza sempre di modulo 100 N inizia ad essere esercitata sull'oggetto, con verso opposto alla prima. L'oggetto:

(a) si ferma rapidamente
(b) decelera gradualmente fino a fermarsi
(c) continua con la velocità che aveva un attimo prima che subentrasse la seconda forza
(d) viene gradualmente portato a riposo e quindi accelera nella direzione della seconda forza

7) In prossimità di un filo metallico percorso da corrente elettrica è sempre presente un campo magnetico, ma non un campo elettrico, perché

(a) le cariche in movimento creano campi magnetici ma non campi elettrici
(b) il filo contiene quantità uguali di cariche negative e positive
(c) gli elettroni e gli atomi si muovono in direzioni diverse nel filo
(d) il campo magnetico annulla il campo elettrico

Quando si aziona un interruttore, la luce si accende immediatamente perché

(a) gli elettroni si muovono molto velocemente dall'interruttore alla lampadina
(b) alcuni degli elettroni già presenti nel filo sono subito spinti dalla differenza di potenziale
(c) la lampadina ha una bassa resistenza, se la resistenza fosse elevata ci vorrebbe più tempo
(d) l'azienda elettrica rallenta l'accensione solo in caso di morosità

Esercizio 1

Un oscillatore armonico è realizzato come segue: un corpo di massa m può muoversi con attrito trascurabile lungo una rotaia, ed è fissato all'estremità di una molla ideale, che è fissata a un punto della rotaia all'altra estremità. Le osservazioni sul sistema consistono nei seguenti dati: mettendo in oscillazione il corpo, si misura un periodo $T = 1.80$ s e un valore massimo della velocità $v_{max} = 0.700$ m/s.

1) Quanto vale l'accelerazione massima del corpo?

2) Qual è l'ampiezza dell'oscillazione?

Il corpo viene pesato con una bilancia e si trova che ha una massa $m = 0.350$ g.

3) Quanto vale la costante elastica della molla?

Soluzione Esercizio 1

Ricordiamo che detta A l'ampiezza, essa è legata alla velocità massima e all'accelerazione massima nel modo seguente:

$$v_{max} = \omega A \qquad\qquad a_{max} = \omega v_{max} = \omega^2 A$$

in quanto le leggi orarie sono del tipo

$$\begin{cases} x(t) = A\cos(\omega t + \phi) \\ v(t) = -\omega A \sin(\omega t + \phi) \\ a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi) \end{cases}$$

Otteniamo dunque:

$$a_{max} = \omega v_{max} = \frac{2\pi v_{max}}{T} \simeq 2.44 \text{ m/s}^2$$

Possiamo ricavare anche l'ampiezza dell'oscillazione,

$$A = \frac{v_{max}}{\omega} = \frac{v_{max}T}{2\pi} \simeq 0.20 \text{ m}$$

Dato che, per un oscillatore molla-massa, si ha

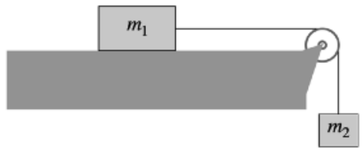
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

una volta nota la massa, possiamo ricavare la costante elastica

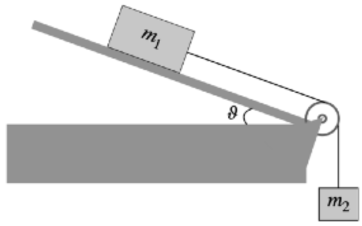
$$k = m\omega^2 = \frac{4\pi^2 m}{T^2} \simeq 4.26 \text{ N/m}$$

Esercizio 2

Un corpo di massa $m_1 = 1.50$ kg è poggiato su un piano orizzontale. Al corpo è collegata una fune ideale che giunge su una puleggia ideale per poi scendere verticalmente. All'estremità della fune è collegato un corpo di massa $m_2 = 0.350$ kg. Il sistema è in equilibrio statico.



1) Quanto vale il modulo della tensione della fune?
2) Si calcoli il minimo coefficiente di attrito statico presente tra il piano orizzontale e il corpo di massa m_1 che possa garantire che tale corpo non inizi a scivolare.



Si dispone ora il piano con una inclinazione di $\theta = 30^o$ per far mettere in moto le masse. Sapendo che il coefficiente di attrito dinamico è $\mu_D = 0.350$:
3) qual è il modulo dell'accelerazione dei corpi? E la tensione della fune?

Soluzione Esercizio 2

1) La tensione della fune equilibra la forza peso agente su m_2, quindi vale semplicemente

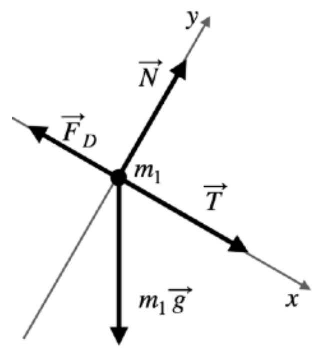
$$T = m_2 g \simeq 3.43 \text{ N}$$

2) La forza di attrito statico massimo agente su m_1 deve essere almeno pari alla tensione della fune che cerca di metterlo in moto, quindi

$$F_S^{max} \geq T \quad \Longrightarrow \quad \mu_S m_1 g \geq m_2 g \quad \Longrightarrow \quad \mu_S \geq m_2/m_1 = 0.233$$

3,4) Nella nuova situazione, dobbiamo considerare la scomposizione delle forze agenti su m_1 in parallele e perpendicolari al piano inclinato. Chiamiamo x l'asse parallelo al piano e con verso positivo nella direzione della discesa, ed y l'asse ad esso perpendicolare ed uscente dal piano. Invece per il corpo di massa m_2 descriviamo il moto con un asse y' rivolto verso l'alto. In questa situazione, abbiamo

$$\begin{cases} \sum F_{x,1} = m_1 g \sin\theta + T - F_D = m_1 a_{1x} \\ \sum F_{y,1} = -m_1 g \cos\theta + N = m_1 a_{1y} = 0 \\ \sum F_{y',2} = T - m_2 g = m_2 a_{2y'} \\ a_{2y'} = -a_{1x} = -a \\ F_D = \mu_D N \end{cases}$$



dove abbiamo introdotto la forza di attrito dinamico agente su m_1 chiamandola F_D, e il legame tra le accelerazioni delle due masse, che sono uguali in modulo ma di segno opposto, in base al verso scelto per gli assi x e y'. Il sistema può essere risolto per ricavare i valori di T e di $a = a_{1x} = -a_{2y'}$:

$$N = m_1 g \cos\theta \Longrightarrow \qquad F_D = \mu_D m_1 g \cos\theta$$

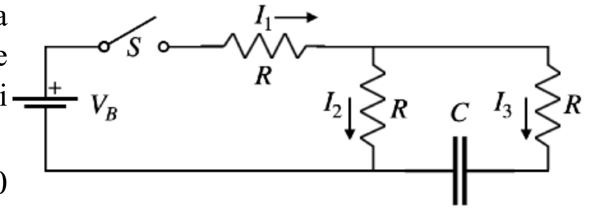
$$\Longrightarrow \quad \begin{cases} m_1 g \sin\theta + T - \mu_D m_1 g \cos\theta = m_1 a \\ T - m_2 g = -m_2 a \end{cases}$$

$$a = \frac{m_1(\sin\theta - \mu_D \cos\theta) + m_2}{m_1 + m_2} g \simeq 3.42 \text{ m/s}^2$$

$$T = m_2(g - a) \simeq 2.23 \text{ N}$$

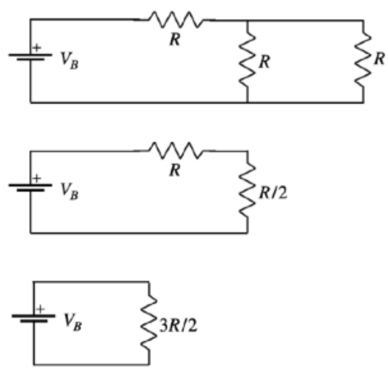
Esercizio 3

Nel circuito in figura i resistori hanno tutti la stessa resistenza $R = 15.0\ \Omega$ e la batteria sviluppa una forza elettromotrice $V_B = 12.0$ V. All'istante $t = 0$, con il condensatore di capacità $C = 12.5\ \mu$F scarico, si chiude l'interruttore S.



1) Disegnate il circuito equivalente valido per l'istante $t = 0$ e calcolate le correnti I_1, I_2, I_3.
2) Calcolate la potenza erogata dalla batteria in $t = 0$.
3) Disegnate il circuito equivalente valido per $t \to \infty$ e calcolate le correnti I_1, I_2, I_3.
4) Calcolate la carica presente sul condensatore per $t \to \infty$.

Soluzione Esercizio 3



1) A $t = 0$ il condensatore è scarico; non c'è alcuna differenza di potenziale tra le armature; quindi possiamo sostituire il condensatore con un filo. A questo punto, calcoliamo la resistenza equivalente, che risulta

$$R_{tot} = \frac{3}{2}R = 22.5\ \Omega$$

e la corrente erogata dalla batteria vale

$$I_{tot} = \frac{V_B}{R_{tot}} \simeq 0.533\ \text{A}.$$

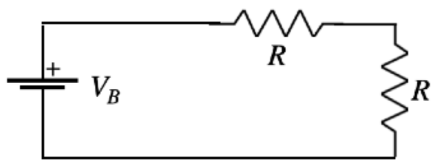
Tale corrente attraversa la prima resistenza, quindi $I_1 = I_{tot} \simeq 0.533$ A, e si divide a metà sulle altre due resistenze, quindi $I_2 = I_3 = \frac{I_{tot}}{2} \simeq 0.267$ A.

2) La potenza erogata dalla batteria è semplicemente

$$P = V_B I_{tot} \simeq 6.40\ \text{W}$$

3) Per $t \to \infty$ il condensatore è completamente carico ed attraverso di esso non scorre più corrente. Quindi il circuito equivalente è quello in cui il ramo che contiene il condensatore è del tutto rimosso. In questa situazione, il circuito ha una resistenza equivalente

$$R'_{tot} = 2R \simeq 30.0\ \Omega$$



e la corrente erogata dalla batteria vale

$$I'_{tot} = \frac{V_B}{R'_{tot}} \simeq 0.400\ \text{A}$$

Le tre correnti richieste sono quindi $I_1 = I_2 = I_{tot} \simeq 0.400$ A e $I_3 = 0$.

4) La differenza di potenziale ai capi del condensatore è pari a quella presente tra le estremità della resistenza attraversata da I_2, quindi

$$V_C = R I'_{tot} = \frac{V_B}{2} = 6.0\ \text{V}$$

La carica sul condensatore sarà quindi

$$Q = \frac{C V_B}{2} \simeq 75\ \mu\text{C}$$

Esercizio 4

Un elettrone si muove verso sud a velocità costante $v = 3.00 \times 10^4$ m/s.

1) In quale direzione dovrebbe puntare un campo elettrico per accelerare l'elettrone verso est?
2) In quale direzione dovrebbe puntare un campo magnetico per accelerare l'elettrone verso ovest?
3) Se il campo elettrico introdotto nella domanda 1) ha intensità $|\vec{E}| = 380$ V/m, che campo magnetico (direzione, verso, modulo) occorre per produrre una forza netta nulla sull'elettrone?
4) Con i campi elettrico e magnetico come nella domanda 3), cosa succede se l'elettrone ha una velocità *i)* maggiore o *ii)* minore di v?

Soluzione Esercizio 4

1) Dato che l'elettrone ha carica negativa, si ha $\vec{F} = -e\vec{E}$, dunque l'elettrone accelera nel verso opposto a quello del campo elettrico. Quindi il campo elettrico dovrebbe puntare verso ovest.

2) La forza di Lorentz dovuta all'azione del campo magnetico ha invece forma $\vec{F} = -e\vec{v} \times \vec{B}$. È quindi necessario che il campo magnetico punti verso il basso (verso il centro della terra) in modo che $\vec{v} \times \vec{B}$ punti verso est e quindi la forza, ottenuta moltiplicando per la carica negativa e quindi cambiando il verso a tale vettore, punti verso ovest, come richiesto.

3) La forza elettrostatica e la forza di Lorentz si devono bilanciare. Il campo magnetico sarà perpendicolare sia al campo elettrico che alla direzione dell'elettrone. Quindi si ha, per quanto riguarda il modulo

$$eE = evB \quad \Longrightarrow \quad B = E/v \simeq 12.7 \text{ mT}$$

La direzione e il verso di $\vec{B}$ sarà quella trovata al punto 2), verso il basso, dato che vogliamo appunto ottenere una forza verso ovest, che bilanci la forza dovuta a $\vec{E}$, verso est.

4) Se l'elettrone ha una $v' > v$, aumenta in modulo la forza di Lorentz agente su di esso, mentre resta invariata la forza dovuta ad $\vec{E}$. Dunque l'elettrone accelera verso ovest. Se invece $v' < v$, la forza di Lorenz diminuisce in modulo, e mancando il bilanciamento della forza dovuta ad $\vec{E}$, l'elettrone accelera verso est.

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 9 Giugno 2023 - Prof. L. Guiducci

Soluzione dei quesiti a scelta multipla

1) In un moto circolare uniforme, per raddoppiare il modulo dell'accelerazione centripeta mantenendo invariata la velocità angolare, occorre:
(a) dimezzare il raggio della traiettoria
(b) raddoppiare il raggio della traiettoria
(c) raddoppiare la velocità tangenziale
(d) dimezzare il periodo
(e) nessuna delle risposte precedenti

L'accelerazione centripeta si può esprimere come $a_c = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$. Dato che viene mantenuta invariata la velocità angolare ω, sarà necessario raddoppiare il raggio della traiettoria.

2) Quale delle seguenti affermazioni è vera?
(a) L'energia cinetica e il lavoro possono essere solo positivi
(b) L'energia cinetica può essere solo positiva, il lavoro può essere positivo o negativo
(c) Sia l'energia cinetica che il lavoro possono essere positivi o negativi
(d) Il lavoro può essere solo positivo, l'energia cinetica può essere positiva o negativa

Il lavoro può essere negativo, quando la forza forma con lo spostamento un angolo compreso tra 90^o e 180^o. Dunque le risposte (a) e (d) devono essere escluse. L'energia cinetica, d'altra parte, può essere solo positiva o zero, dato che si ottiene dal prodotto della massa del corpo (quantità positiva) e del quadrato del modulo della velocità del corpo (quantità positiva). Dunque la risposta (c) è sbagliata, mentre la risposta (b) è corretta.

3) La Luna non si schianta sulla Terra perch
(a) la forza risultante agente su di essa è zero
(b) è al di là del raggio della gravità terrestre
(c) è attratta dal Sole oltre che dalla Terra
(d) è in caduta libera, ma ha una elevata velocità tangenziale

La forza di gravità ha raggio d'azione infinito, dunque la risposta (*b*) è certamente sbagliata. Anche la risposta (c) non ha molto senso: durante il moto la terra può trovarsi tra il sole e la luna, dunque la tendenza della luna a *non cadere* sulla terra non è necessariamente ridotta dalla presenza del sole. La risposta (a) non può essere corretta, in quanto osserviamo che la luna compie un'orbita approssimativamente circolare, dunque conduce un moto accelerato; il che può solo essere conseguenza di una risultante sdelle forze agenti su di essa diversa da zero. Resta la risposta (c), che è sostanzialmente corretta: la luna è libera di cadere verso la terra, ma si muove con una velocità tangenziale elevata, in modo che $m_L v^2 / R_{orbita} \simeq G \frac{m_L M_T}{R^2_{orbita}}$.

4) Quale delle seguenti grandezze NON influisce sulla capacità di un condensatore a facce piane?
(a) l'area delle piastre
(b) la separazione delle piastre
(c) il materiale tra le piastre
(d) la carica sulle piastr

Per un tipico condensatore a facce piane, sappiamo che $C = \varepsilon \frac{A}{d}$, dove A è l'area delle armature e d la loro distanza, ed ε è la costante dielettrica del mezzo presente tra le armature. Quindi le risposte (a), (b), (c) sicuramente non sono corrette, in quanto menzionano proprio le caratteristiche che influiscono sulla capacità. La carica sulle piastre non definisce la capacità, ma è in relazione con la tensione tra le piastre, dalla definizione di capacità stessa $C = Q/V$. Quindi la risposta corretta è la (d), la carica sulle piastre non influisce sulla capacità.

5) Due cariche positive identiche sono poste l'una accanto all'altra. Nel punto a metà

(a) il campo elettrico è zero e il potenziale elettrico è positivo
(b) il campo elettrico è zero e il potenziale elettrico è zero
(c) il campo elettrico non è zero e il potenziale elettrico è zero
(d) il campo elettrico non è zero e il potenziale elettrico è positivo
(e) nessuna affermazione è vera

La risposta corretta è la (a). Ciascuna carica positiva genera un potenziale elettrostatico positivo e che diminuisce con la distanza (tendendo a zero per la distanza che tende a infinito), e nel punto intermedio il potenziale elettrostatico è la somma dei due potenziali, quindi il doppio di quello che avrebbe generato una carica sola. I campi elettrici generati dalle due cariche nel punto intermedio hanno lo stesso modulo e la stessa direzione ma verso opposto, e si cancellano. Dunque nel punto intermedio il campo elettrico è zero e il potenziale è positivo.

6) Supponiamo che un oggetto sia accelerato da una forza di 100 N. A un certo istante una seconda forza sempre di modulo 100 N inizia ad essere esercitata sull'oggetto, con verso opposto alla prima. L'oggetto

(a) si ferma rapidamente
(b) decelera gradualmente fino a fermarsi
(c) continua con la velocità che aveva un attimo prima che subentrasse la seconda forza
(d) viene gradualmente portato a riposo e quindi accelera nella direzione della seconda forza

La situazione che si viene è creare è che $\sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_1 - \vec{F}_1 = 0$: il corpo è soggetto ad una risultante delle forze esterne pari a zero. In questa situazione, in base al primo principio di Newton, l'oggetto prosegue nel suo stato di moto senza accelerazione. Sono dunque errate la (a), la (b) e la (d), mentre è corretta la (c).

7) In prossimità di un filo metallico percorso da corrente elettrica è sempre presente un campo magnetico, ma non un campo elettrico, perché

(a) le cariche in movimento creano campi magnetici ma non campi elettrici
(b) il filo contiene quantità uguali di cariche negative e positive
(c) gli elettroni e gli atomi si muovono in direzioni diverse nel filo
(d) il campo magnetico annulla il campo elettrico

Tutte le cariche elettriche generano un campo elettrico, quindi la risposta (a) non ha senso. Nel filo si muovono solo gli elettroni di conduzione, mentre "gli atomi" restano fermi e compongono l'oggetto macroscopico "filo", che non si muove; quindi anche la risposta (c) non ha senso. Anche la risposta (d) non ha senso: due oggetti di natura diversa non possono annullarsi (al limite, si può creare una configurazione in cui *la somma delle forze* dovute al campo magnetico ed al campo elettrico agenti su una data carica si annulla). La risposta (b) è invece corretta: il filo è elettricamente neutro, in quanto su scale molto maggiori della tipica distanza tra gli atomi nel filo ($\sim 10^{-10}$ m), in qualsiasi porzione di materiale è sempre presente un uguale numero di protoni e di elettroni. Non essendoci una carica elettrica netta, non si produce alcun campo elettrico macroscopico, mentre il *moto* dei portatori di carica (gli elettroni di conduzione) produce il campo magnetico.

8) Quando si aziona un interruttore, la luce si accende immediatamente perché

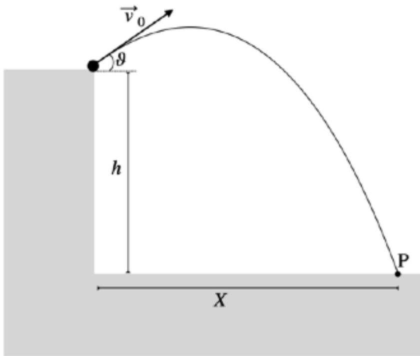
(a) gli elettroni si muovono molto velocemente dall'interruttore alla lampadina
(b) alcuni degli elettroni già presenti nel filo sono subito spinti dalla differenza di potenziale
(c) la lampadina ha una bassa resistenza, se la resistenza fosse elevata ci vorrebbe più tempo
(d) l'azienda elettrica rallenta l'accensione solo in caso di morosità

La tipica velocità di deriva (dovuta ad un campo elettrico esterno) degli elettroni di conduzione in un metallo è inferiore a $1\ \mathrm{mm/s}$, dunque gli elettroni *non* si muovono affatto tanto velocemente (anche se in realtà il loro moto caotico dovuto all'agitazione termica avviene con velocità tipiche maggiori di 10 ordini di grandezza!). Questo esclude la (a). Le risposte (c) e soprattutto (d) non meritano nemmeno di essere commentate. È invece corretta la risposta (b): anche se gli elettroni si muovono lentamente, *tutti* gli elettroni di conduzione presenti sull'intera estensione del filo si mettono in modo pressoché simultaneamente, spinti dal campo elettrico, che si propaga nel materiale alla velocità della luce!

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 29 Giugno 2023 - Prof. L. Guiducci

Esercizi

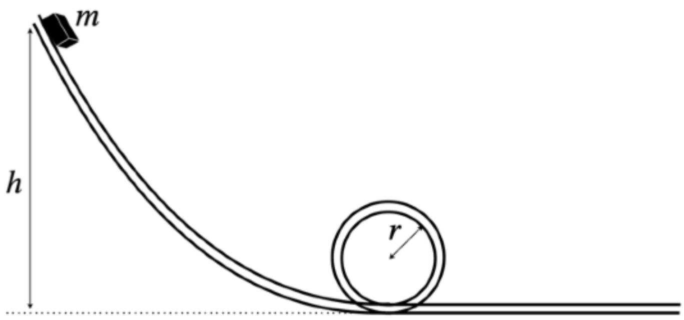
Esercizio 1



Un proiettile è sparato dal margine di un dirupo alto h sopra al livello del suolo, con una velocità di modulo $v_0 = 62.0\ \mathrm{m/s}$ e un angolo $\vartheta = 35.0^\mathrm{o}$ rispetto all'orizzontale. Il proiettile giunge al suolo nel punto P dopo un tempo $t^* = 9.85\ \mathrm{s}$ dallo sparo. Calcolare:

1) l'altezza h del dirupo;
2) la distanza X del punto P dalla base del dirupo;
3) il ***vettore*** velocità un istante prima che sia raggiunto il punto P;
4) la massima altezza ***sopra la cima del dirupo*** raggiunta dal proiettile.

Esercizio 2



La mia Hot-Wheels, assimilabile ad una piccola massa $m = 35.0\ \mathrm{g}$ libera di scivolare senza attrito, deve restare sempre a contatto con la pista mostrata in figura, che presenta un "giro della morte" circolare di raggio $r = 15.0\ \mathrm{cm}$.

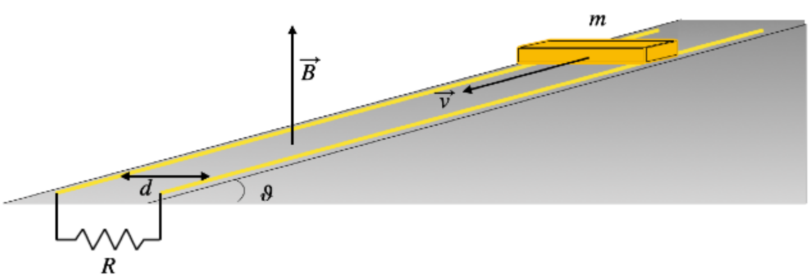
1) Qual è la minima altezza h_{min} da cui bisogna lasciar andare la macchinina, facendola partire da ferma, in modo che riesca a percorrere il giro della morte?
   Si supponga di lasciare andare la macchinina da un'altezza $h = 48.0\ \mathrm{cm}$. Si calcoli:
2) la forza normale esercitata dalla pista sulla macchinina nel punto più basso dell'anello;
3) la distanza percorsa dalla macchinina prima di fermarsi sul tratto pianeggiante, se con esso è presente invece un coefficiente di attrito dinamico $\mu_k = 0.120$.

Esercizio 3

Nel modello di Bohr dell'atomo di idrogeno un elettrone orbita intorno al protone su una circonferenza di raggio $r = 0.53 \times 10^{-10}\ \mathrm{m}$. Si consideri l'approssimazione consentita dal fatto che $m_p \gg m_e$.

1) Qual è il potenziale elettrico, dovuto al protone, in corrispondenza dell'orbita dell'elettrone?
2) Qual è l'energia cinetica dell'elettrone?
3) Qual è l'energia totale dell'elettrone nella sua orbita?
4) Quanto vale l'*energia di ionizzazione*, cioè l'energia minima necessaria per rimuovere l'elettrone dall'atomo e portarlo a distanza $r = \infty$?

Esercizio 4



Due binari paralleli di resistenza trascurabile sono posti alla distanza di $d = 32.0\ \mathrm{cm}$ su una rampa inclinata di $\vartheta = 6.00^\mathrm{o}$ rispetto all'orizzontale. In basso, i binari sono collegati tra loro tramite una resistenza di valore $R = 0.600\ \Omega$. In cima, invece, sono collegati mediante una barretta di rame, di resistenza trascurabile e massa $m = 40.0\ \mathrm{g}$. La barretta è libera di scivolare lungo i binari senza attrito. L'intero apparato è immerso in un campo magnetico verticale, uniforme e costante di intensità $B = 0.650\ \mathrm{T}$. Calcolare la velocità limite della barretta nella sua discesa lungo i binari.

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 29 Giugno 2023 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ____________________________ Nome:________________________ Matr.:____________________

Domande aperte. Si dia risposta, su foglio protocollo (1 facciata massimo), ad ***una*** *tra le seguenti domande:*

1) I tre Principi della Dinamica di Newton.

2) Si enunci la terza legge di Keplero e se ne dia dimostrazione per il caso di orbite circolari. Considerando il moto di un satellite intorno alla terra, si mostri come calcolare il raggio di un'orbita geostazionaria.

3) Si dia definizione del potenziale elettrostatico e si faccia almeno un esempio per una distribuzione di carica elettrica a propria discrezione. Si discuta la relazione matematica tra campo elettrico e potenziale.

Quesiti a scelta multipla:

1) Se mi trovo su una giostra che gira in modo uniforme e mi sposto radialmente dal centro verso il bordo della giostra, quale grandezza del mio moto varia, se misurata da un osservatore che si trovi sulla strada?

(a) La velocità tangenziale
(b) Il periodo
(c) La frequenza
(d) L'angolo descritto nell'unità di tempo
(e) Nessuna delle risposte precedenti

2) Affinché gli amperometri (A) e i voltmetri (V) forniscano una misura realistica delle grandezze di un elemento di un circuito (C) da misurare:

(a) le resistenze di A e di V devono essere molto più alte di quella di C
(b) la resistenza di A deve essere molto più bassa mentre quella di V molto più alta di quella di C
(c) la resistenza di A deve essere molto più alta mentre quella di V molto più bassa di quella di C
(d) le resistenze di A e di V devono essere molto più basse di quella di C

3) Un sasso viene lanciato verso l'alto, raggiunge l'altezza massima e ricade.

(a) L'accelerazione è costante per l'intero percorso
(b) La velocità è costante per l'intero percorso
(c) Sia la velocità che l'accelerazione diminuiscono salendo e aumentano scendendo
(d) L'accelerazione è costante per l'intero percorso, eccetto che nel punto più alto dove vale 0

4) Un sistema può avere energia potenziale negativa?

(a) No, l'energia cinetica di un sistema deve essere uguale all'energia potenziale
(b) No, non avrebbe significato fisico
(c) Sì, la scelta dello zero dell'energia potenziale è arbitraria
(d) Sì, finché l'energia cinetica è positiva
(e) Sì, finché l'energia totale è positiva

5) Indicare la relazione corretta:

(a) $[MLT^{-1}] = W$
(b) $[ML^2T^{-1}] = W$
(c) $[ML^2T^2] = J$
(d) $[MLT^3] = J$
(e) nessuna delle risposte precedenti

6) Quale affermazione è corretta?

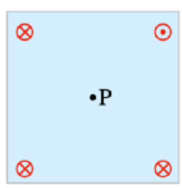
(a) Se in un punto il potenziale è zero, il campo è zero
(b) Se in un punto il campo è zero, il potenziale è zero
(c) Se il campo in una regione è costante, il potenziale nella regione è zero
(d) Se il potenziale in una regione è costante, il campo nella regione è zero
(e) nessuna

7) Una bobina ferma sul piano della pagina è attraversata da un campo magnetico diretto verso l'interno della pagina. Viene indotta una corrente in senso orario:

(a) quando l'area della bobina aumenta
(b) quando il campo magnetico diventa più intenso
(c) quando la bobina viene spostata lateralmente sulla pagina
(d) quando il campo magnetico viene inclinato in modo che non sia più perpendicolare alla pagina
(e) nessuna delle precedenti

8) Quattro fili sono posizionati ai vertici di un quadrato, come in figura. Ogni filo trasporta una corrente della stessa grandezza, con verso come mostrato in figura. Qual è il valore del campo magnetico nel punto P al centro del quadrato?

(a) $\nwarrow$
(b) $\nearrow$
(c) $\swarrow$
(d) $\searrow$
(e) $\vec{B} = 0$



Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 29 Giugno 2023 - Prof. L. Guiducci

Quesiti - Soluzioni

1) Se mi trovo su una giostra che gira in modo uniforme e mi sposto radialmente dal centro verso il bordo della giostra, quale grandezza del mio moto varia, se misurata da un osservatore che si trovi sulla strada?
(a) La velocità tangenziale
(b) Il periodo
(c) La frequenza
(d) L'angolo descritto nell'unità di tempo
(e) Nessuna delle risposte precedenti

L'angolo descritto nell'unità di tempo è precisamente la velocità angolare, e visto che la giostra gira in modo uniforme, la velocità angolare è appunto costante, quindi la risposta (d) è sbagliata.
Essendo costante la velocità angolare $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$, è allora costante anche il periodo T, nonché ovviamente il suo inverso, la frequenza $\nu = \dfrac{1}{T}$, dunque anche le risposte (b) e (c) sono sbagliate.
La velocità tangenziale, per una data velocità angolare, dipende invece dalla distanza dall'asse di rotazione, $v = \omega R$. Dunque la risposta (a) è corretta: spostandomi dal centro verso il bordo, l'osservatore esterno vedrà la mia velocità tangenziale aumentare.

2) Affinché gli amperometri (A) e i voltmetri (V) forniscano una misura realistica delle grandezze di un elemento di un circuito (C) da misurare:
(a) le resistenze di A e di V devono essere molto più alte di quella ci C
(b) la resistenza di A deve essere molto più bassa mentre quella di V molto più alta di quella di C
(c) la resistenza di A deve essere molto più alta mentre quella di V molto più bassa di quella di C
(d) le resistenze di A e di V devono essere molto più basse di quella di C

Ricordiamo che il voltmetro, dovendo misurare una differenza di potenziale ai capi dell'elemento di circuito, sarà posizionato in parallelo allo stesso. Dunque, per ridurre al minimo la perturbazione del comportamento del circuito in seguito al suo inserimento, è necessario che sia attraversato dalla corrente più piccola possibile, dunque dovrà avere una resistenza il più grande possibile. Al contrario un amperometro, dovendo misurare la corrente in ingresso all'elemento di circuito, sarà posizionato in serie, dunque la perturbazione sarà ridotta la minimo se la sua resistenza è più piccola possibile. La risposta corretta è quindi la (b).

3) Un sasso viene lanciato verso l'alto, raggiunge l'altezza massima e ricade.
(a) L'accelerazione è costante per l'intero percorso
(b) La velocità è costante per l'intero percorso
(c) Sia la velocità che l'accelerazione diminuiscono salendo e aumentano scendendo
(d) L'accelerazione è costante per l'intero percorso, eccetto che nel punto più alto dove vale 0

Tutti i gravi sono soggetti ad accelerazione di modulo g, diretta verso il basso, in tutti gli istanti. La risposta (a) è quindi corretta. La risposta (b) è ovviamente errata, dato che si tratta di moto accelerato: la velocità non è costante. Anche la risposta (c) è sbagliata, in quanto l'accelerazione è costante. Così come la risposta (d) è pure sbagliata.

4) Un sistema può avere energia potenziale negativa?
(a) No, l'energia cinetica di un sistema deve essere uguale all'energia potenziale
(b) No, non avrebbe significato fisico
(c) Sì, la scelta dello zero dell'energia potenziale è arbitraria
(d) Sì, finché l'energia cinetica è positiva
(e) Sì, finché l'energia totale è positiva

La scelta dello zero dell'energia potenziale è del tutto arbitraria: essa è infatti definita in termini della *differenza* di energia potenziale tra due punti. Quindi la risposta corretta è la (c), mentre le altre, dato che tutte pongono limitazioni all'arbitrarietà della scelta dello zero, sono tutte errate.

5) Indicare la relazione corretta:
(a) $[MLT^{-1}] = W$
(b) $[ML^2T^{-1}]= W$
(c) $[ML^2T^2]= J$
(d) $[MLT^3] = J$
(e) nessuna delle risposte precedenti

Il Joule è unità di misura dell'energia, ad esempio del lavoro. Ricordando che il lavoro è definito dal prodotto di forza per spostamento, e che la forza ha le unità di una massa per un'accelerazione, avremo

$$[\mathrm{J}] = [\mathrm{ML^2T^{-2}}]$$

Il *Watt* è unità di misura della potenza, lavoro per unità di tempo. Dunque, avremo $[\mathrm{W}] = [\mathrm{ML^2T^{-3}}]$. Dunque nessuna delle risposte (a,b,c,d) è corretta, ed è corretto selezionare la risposta (e).

6) Quale affermazione è corretta?
(a) Se in un punto il potenziale è zero, il campo è zero
(b) Se in un punto il campo è zero, il potenziale è zero
(c) Se il campo in una regione è costante, il potenziale nella regione è zero
(d) Se il potenziale in una regione è costante, il campo nella regione è zero
(e) Nessuna delle affermazioni è corretta

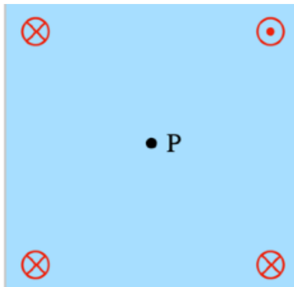
Il campo elettrico è il *gradiente* (la derivata rispetto alla coordinata spaziale, in un caso unidimensionale) del potenziale. Se il potenziale è costante in una certa regione, il suo gradiente e quindi il campo elettrico sarà nullo. La risposta giusta è quindi la (d). Le altre risposte sono comunque errate: il valore del potenziale non causa un certo valore del campo (che dipende invece dalla derivata) quindi la risposta (a) è errata; idem per la (b), se il campo è zero il potenziale è costante (o ha comunque derivate prime nulle); anche la (c) è errata, in quanto se il campo in una regione è costante, si avrà che il potenziale non è nullo, ma funzione lineare delle coordinate spaziali.

7) Una bobina ferma sul piano della pagina è attraversata da un campo magnetico diretto verso l'interno della pagina. Viene indotta una corrente in senso orario (più di una risposta può essere corretta):

(a) quando l'area della bobina aumenta
(b) quando il campo magnetico diventa più intenso
(c) quando la bobina viene spostata lateralmente sulla pagina
(d) quando il campo magnetico viene inclinato in modo che non sia più perpendicolare alla pagina
(e) nessuna delle precedenti

Ragioniamo prima di tutto sulla legge di Lenz. Una corrente in senso orario produrrebbe un campo magnetico entrante nella pagina, situazione che si verifica per induzione quando (i) si ha un campo magnetico esterno entrante con il flusso attraverso la bobina che diminuisce, o quando (ii) si ha un campo magnetico esterno uscente con il flusso attraverso la bobina che aumenta. Dato che siamo in presenza di un campo entrante, dobbiamo selezionare le risposte che descrivono una diminuzione del flusso: quindi la risposta (a) è errata (il flusso aumenta a causa dell'aumento dell'area), la (b) è errata (il flusso aumenta a causa dell'aumento del modulo di $\overrightarrow{B}$), la (c) è errata (non c'è alcuna variazione di flusso), mentre la (d) è corretta, in quanto ridurre l'angolo tra campo e piano della bobina riduce il flusso ($\cos\vartheta < 1$).

8) Quattro fili sono posizionati ai vertici di un quadrato, come in figura. Ogni filo trasporta una corrente della stessa grandezza, con verso come mostrato in figura. Qual è il valore del campo magnetico nel punto P al centro del quadrato?



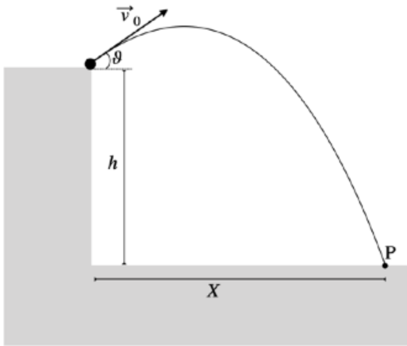
(a) ↖
(b) ↗
(c) ↙
(d) ↘
(e) $\overrightarrow{B} = 0$

Utilizziamo il principio di sovrapposizione andando a vedere in che direzione sarebbe il campo prodotto da ciascun filo considerato singolarmente (considerando che i moduli sono tutti uguali, dipendendo dall'intensità di corrente, che è la stessa in ciascun filo, e dalla distanza del filo da P, che pure è la stessa per ciascun filo). Il filo in alto a sinistra produce un campo ↙; il filo in alto a destra produce un campo ↘; il filo in basso a sinistra produce un campo ↘; il filo in basso a destra produce un campo ↗. La risultante della somma di quattro vettori aventi lo stesso modulo e direzioni e versi come delineati produce un vettore diretto ↘. La risposta giusta è quindi la (d).

Esercizio 1

Un proiettile è sparato dal margine di un dirupo alto h sopra al livello del suolo, con una velocità di modulo $v_0 = 62.0\ \mathrm{m/s}$ e un angolo $\vartheta = 35.0^o$ rispetto all'orizzontale. Il proiettile giunge al suolo nel punto P dopo un tempo $t^* = 9.85\ \mathrm{s}$ dallo sparo. Calcolare:

1) l'altezza h del dirupo;
2) la distanza X del punto P dalla base del dirupo;
3) il ***vettore*** velocità un istante prima che sia raggiunto il punto P;
4) la massima altezza ***sopra la cima del dirupo*** raggiunta dal proiettile.



Soluzione Esercizio 1

Fissiamo un sistema di riferimento con origine alla base del dirupo, asse y rivolto verso l'alto e asse x rivolto verso destra, verso P. Calcoliamo le componenti della velocità iniziale:

$$v_{0y} = v_0 \sin\vartheta \qquad v_{0x} = v_0 \cos\vartheta$$

Così da poter scrivere le leggi orarie del moto per le coordinate x e y e per le componenti della velocità:

$$\begin{cases} y(t) = h + v_0 \sin\vartheta t - \frac{1}{2} g t^2 \\ x(t) = v_0 \cos\vartheta t \end{cases} \qquad \begin{cases} v_y(t) = v_0 \sin\vartheta - g t \\ v_x(t) = v_0 \cos\vartheta \end{cases}$$

La richiesta del punto 1) può essere soddisfatta imponendo $y(t^*) = 0$ e ricavando h,

$$0 = h + v_0 \sin\vartheta t^* - \frac{1}{2} g t^{*2} \implies h = \frac{1}{2} g t^{*2} - v_0 \sin\vartheta t^* \simeq 126\ \mathrm{m}$$

Nel tempo t^* il proiettile ha percorso una distanza $x(t^*) = X$ nella direzione orizzontale, quindi

$$X = v_0 \cos\vartheta t^* \simeq 500\ \mathrm{m}$$

Troviamo le componenti del vettore velocità all'istante t^* come richiesto

$$v_y(t^*) = v_0 \sin\vartheta - g t \simeq -61.1\ \mathrm{m/s}$$

$$v_x(t^*) = v_0 \cos\vartheta \simeq 50.8\ \mathrm{m/s}$$

Il vettore ha modulo

$$|\vec{v}(t^*)| = \sqrt{vx(t^*)^2 + v_y(t^*)^2} \simeq 79.5\ \mathrm{m/s}$$

e forma un angolo con l'asse x

$$\vartheta^* = \arctan\left(v_y(t^*)/v_x(t^*)\right) \simeq -50.3^o$$

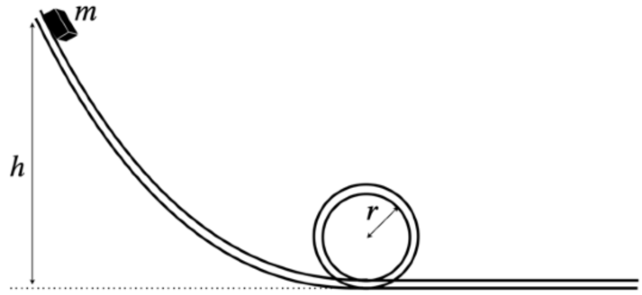
La massima altezza raggiunta dal proiettile si può ricavare trovando prima l'istante in cui la componente verticale della velocità si annulla, e poi andando a sostituire questo tempo nella legge oraria delle y, alla quale rimuoviamo h dato che si chiede l'altezza rispetto al dirupo:

$$0 = v_y(t_{max}) = v_0 \sin\vartheta - g t_{max} \implies t_{max} = \frac{v_0 \sin\vartheta}{g} \simeq 3.63\ \mathrm{s}$$

$$y_{max} = y(t_{max}) - h = \frac{v_0^2 \sin^2\vartheta}{2g} \simeq 64.5\ \mathrm{m}$$

Esercizio 2

La mia Hot-Wheels, assimilabile ad una piccola massa $m = 35.0$ g libera di scivolare senza attrito, deve restare sempre a contatto con la pista mostrata in figura, che presenta un "giro della morte" circolare di raggio $r = 15.0$ cm.



1) Qual è la minima altezza h_{min} da cui bisogna lasciar andare la macchinina, facendola partire da ferma, in modo che riesca a percorrere il giro della morte?
   Si supponga di lasciare andare la macchinina da un'altezza $h = 48.0$ cm. Si calcoli:
2) la forza normale esercitata dalla pista sulla macchinina nel punto più basso dell'anello;
3) la distanza percorsa dalla macchinina prima di fermarsi sul tratto pianeggiante, se con esso è presente invece un coefficiente di attrito dinamico $\mu_k = 0.120$.

Soluzione esercizio 2

L'istante più "difficile" (dove è maggiore il rischio di staccarsi dalla pista) del giro della morte è quando la macchinina si trova nel punto più alto dell'anello, dove sia la forza peso che la forza normale esercitate sulla macchinina sono rivolte verso il basso, e insieme formano la forza centripeta del moto circolare, che in quel punto, come l'accelerazione centripeta, è anch'essa rivolta verso il basso. Quindi si ha

$$N + mg = m\frac{v^2}{r}$$

La richiesta che la macchinina resti in contatto con la pista significa che $N > 0$, quindi

$$m\left(\frac{v^2}{r} - g\right) > 0 \implies v > \sqrt{gr}$$

Prendiamo come valore minimo necessario proprio $\sqrt{gr}$ e sostituiamolo nell'equazione della conservazione dell'energia meccanica per la posizione a quota $2r$, considerando il punto di partenza ad altezza h con velocità zero:

$$mgh_{min} = \frac{1}{2}m\left(\sqrt{gr}\right)^2 + 2mgr \implies h_{min} = \frac{5}{2}r \simeq 37.5 \text{ cm}$$

Se la macchinina è lasciata andare da altezza h, possiamo ricavare la velocità nel punto più basso dell'anello sempre con la conservazione dell'energia:

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \qquad \implies \qquad v = \sqrt{2gh}$$

In quel punto la macchinina sta affrontando un moto circolare, con accelerazione centripeta rivolta verso l'alto; la forza peso agisce sempre verso il basso, la forza normale verso l'alto. Avremo quindi

$$N - mg = m\frac{v^2}{r} = \frac{2mgh}{r} \quad \text{da cui ricaviamo} \qquad N = mg\left(1 + \frac{2h}{r}\right) \simeq 2.54 \text{ N}$$

Nel tratto pianeggiante va dissipata tutta l'energia a disposizione, quindi, considerato che la forza normale è in questo tratto pari in modulo alla forza peso, avremo

$$mgh = \mu_k mgd \qquad \implies \qquad d = \frac{h}{\mu_k} \simeq 4.0 \text{ m}$$

Esercizio 3

Nel modello di Bohr dell'atomo di idrogeno un elettrone orbita intorno al protone du una circonferenza di raggio $r = 0.53 \times 10^{-10}$ m. Si consideri l'approssimazione consentita dal fatto che $m_p \gg m_e$.

1) Qual è il potenziale elettrico, dovuto al protone, in corrispondenza dell'orbita dell'elettrone?

2) Qual è l'energia cinetica dell'elettrone?

3) Qual è l'energia totale dell'elettrone nella sua orbita?

4) Quanto vale l'*energia di ionizzazione*, cioè l'energia minima necessaria per rimuovere l'elettrone dall'atomo e portarlo a distanza $r = \infty$?

Soluzione esercizio 3

Nel seguito assumeremo che durante che il protone sia fisso in una posizione attorno alla quale l'elettrone compie il suo moto circolare, dal momento che $m_p \gg m_e$. Il potenziale elettrico per una carica puntiforme di valore $+e$, a distanza r:

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e}{r} \simeq 27.2 \text{ V}$$

L'elettrone si muove su un'orbita circolare perché la forza elettrostatica costituisce la forza centripeta, quindi

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2} = m_e\frac{v^2}{r} \qquad \Longrightarrow \qquad K_e = \frac{1}{2}m_e v^2 = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} \simeq 2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \simeq 13.6 \text{ eV}$$

Calcoliamo l'energia potenziale dell'elettrone:

$$U_e = V(-e) = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

E quindi l'energia totale

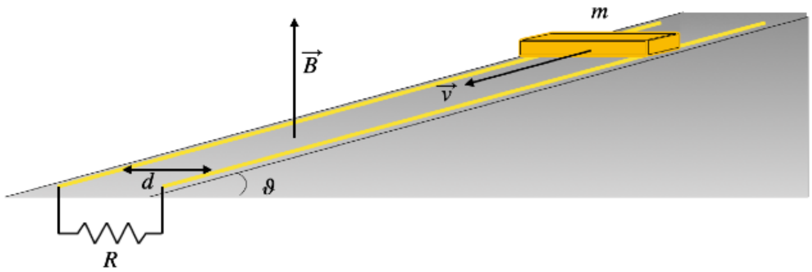
$$E_e = U_e + K_e = -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} = -K_e = - \simeq 2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \simeq -13.6 \text{ eV}$$

Se giunge a $r = \infty$ con velocità, e quindi energia cinetica, pari a zero, l'elettrone avrà energia totale pari a zero. L'energia che è necessario fornire per ottenere la ionizzazione è proprio la differenza con l'energia che ha quando legato all'atomo, e sarà dunque

$$E_{ion} = E(r \to \infty) - E_e = -E_e \simeq 2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \simeq 13.6 \text{ eV}$$

Esercizio 4

Due binari paralleli di resistenza trascurabile sono posti alla distanza di $d = 32.0$ cm su una rampa inclinata di $\vartheta = 6.00^{\circ}$ rispetto all'orizzontale. In basso, i binari sono collegati tra loro tramite una resistenza di valore $R = 0.600\ \Omega$. In cima, invece, sono collegati mediante una barretta di rame, di resistenza trascurabile e massa $m = 40.0$ g. La barretta è libera di scivolare lungo i binari senza attrito. L'intero apparato è immerso in un campo magnetico verticale, uniforme e costante di intensità $B = 0.650$ T. Calcolare la velocità limite della barretta nella sua discesa lungo i binari.



Soluzione esercizio 4

La barretta è soggetta alla forza peso, della quale la componente parallela ai binari vale

$$P_{//} = mg \sin\vartheta$$

Considerando che ϑ è anche l'angolo formato tra $\vec{B}$ e la normale al piano inclinato, se la barretta sta scivolando a velocità v lungo i binari, il flusso ha una variazione

$$\frac{\mathrm{d}\Phi(\vec{B})}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\vec{B}\cdot\vec{A}\right) = B\frac{\mathrm{d}A}{\mathrm{d}t}\cos\vartheta = Bdv\cos\vartheta$$

pari alla forza elettromotrice sviluppata nel circuito; divisa per la resistenza R, quest'ultima fornisce la corrente circolante

$$I = \frac{Bdv\cos\vartheta}{R}$$

Tale corrente, scorrendo nella barretta di rame, produce una forza dovuta al campo magnetico

$$\vec{F} = I\vec{d}\times\vec{B}$$

considerando che la barretta, qui rappresentata dal vettore $\vec{d}$, essendo orizzontale è perpendicolare al campo magnetico $\vec{B}$, la forza ha modulo

$$F = IdB = \frac{B^2d^2v\cos\vartheta}{R}$$

ed è diretta *orizzontalmente*, dalla parte della salita. La sua componente parallela al piano dunque varrà

$$F_{//} = F\cos\vartheta = \frac{B^2d^2v\cos^2\vartheta}{R}$$

Uguagliando le componenti parallele al piano della forza peso e della forza magnetica, otteniamo la condizione di equilibrio delle forze, per la quale la barretta continua a muoversi a velocità costante:

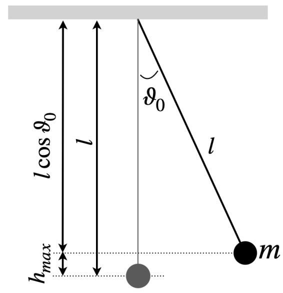
$$F_{//} = P_{//} \implies v = \frac{mgR\sin\vartheta}{B^2d^2\cos^2\vartheta} \simeq 0.58\ \mathrm{m/s}$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 26 Luglio 2023 - Prof. L. Guiducci

Esercizi

Esercizio 1

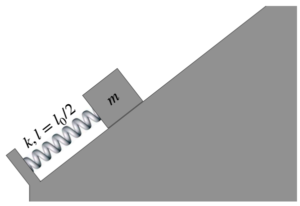
Un pendolo semplice di massa $m = 0.86$ kg descrive una piccola oscillazione di tipo armonico, con periodo $T = 1.27$ s e ampiezza $\vartheta_0 = 0.085$ rad ($\vartheta_0 = 4.87^o$). Si calcoli:



1) la lunghezza del filo del pendolo;
2) la massima variazione di energia potenziale della massa del pendolo;
3) il valore minimo della tensione del filo (e bonus: il valore massimo);
4) quale sarebbe il periodo di oscillazione sulla luna (dati utili: $M_L = 7.348 \times 10^{22}$ kg; $R_L = 1737$ km).

Esercizio 2

Una molla di costante elastica $k = 75.0$ N/m ha una lunghezza a riposo $l_0 = 1.00$ m. La molla è prima compressa a una lunghezza $l = 0.500$ m e una massa $m = 2.00$ kg è posta a contatto con il suo estremo libero, su un piano inclinato senza attrito che forma un angolo $\vartheta = 41.0^o$ con l'orizzontale. La molla viene rilasciata.



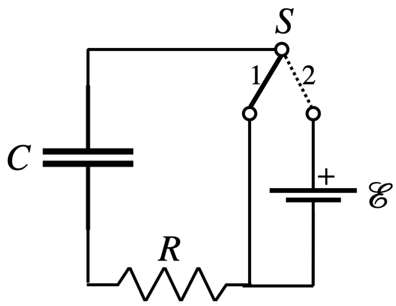
1) Se la massa *non* è collegata alla molla, di quanto salirà la massa lungo il piano inclinato prima di fermarsi? (riportare la distanza percorsa *lungo* il piano inclinato)

2) Se la massa è invece collegata alla molla, di quanto salirà lungo il piano inclinato prima di fermarsi?

3) Supponiamo che tra la massa e il piano sia presente attrito dinamico, con coefficiente μ_d. Se il blocco, collegato alla molla, si ferma esattamente nella posizione di equilibrio della molla, quanto vale μ_d?

Esercizio 3

Nel circuito mostrato in figura, $C = 5.90\ \mu$F e $\mathscr{E} = 28.0$ V. Inizialmente l'interruttore S è nella posizione 1 e viene spostato nella posizione 2, così che il condensatore inizi a caricarsi. Si chiede:



1) quale sarà la carica sul condensatore molto tempo dopo che l'interruttore S è stato spostato nella posizione 2;

2) se dopo $\Delta t = 3.00$ ms che l'interruttore è stato spostato nella posizione 2 la carica sul condensatore è $Q = 110\ \mu$C, quale è il valore della resistenza R;

3) quanto tempo dopo lo spostamento dell'interruttore sulla posizione 2 la carica del condensatore sarà pari al 99 % del valore finale trovato al punto 1).

Esercizio 4

Un nucleo di deuterio ($m_d = 3.34 \times 10^{-27}$ kg, $q = +e$) viaggia su un percorso circolare con raggio $R = 6.96$ mm in un campo magnetico di modulo $B = 0.250$ T.

1) Qual è la velocità del nucleo di deuterio?

2) Quanto tempo occorre per compiere metà di una rivoluzione completa?

3) Quale differenza di potenziale è necessaria per accelerare il deuterio a questa velocità?

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 26 Luglio 2023 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ____________________________ Nome:________________________ Matr.:____________________

Domande aperte. Si dia risposta, su foglio protocollo (1 facciata massimo), ad ***una*** *tra le seguenti domande:*

1) Si fornisca una breve trattazione della cinematica e dinamica del moto circolare.

2) Si ricavi, a partire dalla descrizione cinematica del moto, la formula della gittata per un grave lanciato con velocità iniziale di modulo v_0 e angolo α rispetto all'orizzontale.

3) Si illustri la legge di Ampere e se ne mostri l'applicazione in almeno un caso. Si discuta la "corrente di spostamento" introdotta da Maxwell (estendendo la legge che diventa di "Ampere-Maxwell)

Quesiti a scelta multipla:

1) Un proiettile sparato orizzontalmente da un fucile inizia a cadere

(a) appena lascia la canna
(b) dopo che l'attrito dell'aria ha ridotto la sua velocità
(c) mai, se si ignora la resistenza dell'aria
(d) dipende dalla velocità di sparo

2) Stai sommando due vettori di modulo pari a 20 e 40 unità. Quale delle seguenti scelte potrebbe essere il modulo del vettore risultante?

(a) 0
(b) 18
(c) 37
(d) 64
(e) 100

3) Un vecchio orologio a pendolo resta sempre indietro. Il pendolo è costituito da un peso agganciato ad una estremità di una corda. Per aggiustare l'orologio si potrebbe:

(a) accorciare la corda
(b) allungare la corda
(c) aumentare la massa del peso
(d) diminuire la massa del peso

4) Qual è il lavoro massimo che può fare un motore da 250 W di potenza?

(a) 250 J
(b) non si può dire perché le informazioni fornite non bastano
(c) 0.34 cavalli
(d) 250 W
(e) le risposte a, c e d sono tutte corrette

5) Un protone e un elettrone si trovano in un campo elettrico costante generato da due piastre parallele dotate di carica opposta. Il protone viene rilasciato vicino alla piastra positiva e l'elettrone vicino alla piastra negativa. Quando ciascuno di essi colpisce il piano opposto, chi possiede più energia cinetica?

(a) il protone
(b) l'elettrone
(c) entrambi hanno la stessa energia cinetica
(d) nessuno: non c'è variazione di energia cinetica
(e) entrambi acquisiscono la stessa energia cinetica ma con segni opposti

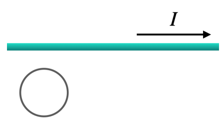
6) Perché gli uccellini possono posarsi su una linea elettrica senza problemi, mentre è pericoloso raggiungerla per mezzo di una scala?

(a) gli uccelli hanno una resistenza interna estremamente elevata rispetto agli umani
(b) non c'è caduta di tensione significativa tra le due zampe di un uccello, mentre c'è una grande differenza di potenziale tra la linea elettrica e la parte di scala che tocca il suolo
(c) la corrente pericolosa proviene dal suolo
(d) la maggior parte degli uccelli non comprende la situazione

7) Una zanzara porta una carica elettrica positiva e vola parallelamente ad un filo percorso da corrente, nello stesso verso della corrente. Quali delle seguenti affermazioni sono vere?

(a) non esiste alcuna forza elettrica o magnetica sulla zanzara
(b) la zanzara è attratta dal filo
(c) la zanzara è respinta dal filo
(d) c'è una forza sulla zanzara, ma non è né verso il filo né nel verso opposto

8) In un lungo filo rettilineo scorre una corrente I come mostrato in figura. Una piccola spira si trova sul piano della pagina. Quale delle seguenti azioni NON indurrà una corrente nella spira?



(a) aumentare la corrente nel filo
(b) spostare la spira in direzione parallela al filo
(c) ruotare la spira in modo che diventi perpendicolare al piano della pagina
(d) allontanare la spira dal filo senza ruotarla
(e) allontanare la spira dal filo mentre la si ruota

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 26 Luglio 2023 - Prof. L. Guiducci

Quesiti - Soluzioni

1) Tutti i gravi sono soggetti ad accelerazione di gravità di modulo g. Quindi il proiettile, che una volta fuori dalla canna non ha alcun vincolo al moto nella direzione verticale, inizia immediatamente a cadere. La risposta corretta è quindi la (a).

2) Il valore massimo del modulo del vettore risultante si può ottenere quando i vettori sono paralleli e concordi, ed è pari a $(40 + 20) = 60$ unità. Quindi le risposte (d) ed (e) sono impossibili. Il valore minimo invece si ottiene per vettori paralleli ma di verso opposto, in tal caso sarà $(40 - 20) = 20$: quindi anche le risposte (a) e (b) sono impossibili. Resta solo la risposta (c), l'unica possibile.

3) Il periodo di oscillazione di un pendolo si può scrivere come $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Se il pendolo resta indietro, significa che il periodo è troppo grande e va ridotto. È quindi corretta la risposta (a), dato che riducendo l il periodo si riduce. Le altre risposte sono tutte errate: la (b) ovviamente perché modifica il periodo nella direzione opposta, la (c) e la (d) perché il valore della massa del peso è irrilevante.

4) La potenza è il lavoro per unità di tempo; quindi, data una certa potenza, quanto lavoro viene fatto dipende dalla durata dell'intervallo temporale sul quale tale potenza è esercitata. Ne consegue che la risposta giusta è la (b), non abbiamo informazioni sufficienti. La risposta (a) potrebbe essere il lavoro svolto in un secondo di tempo; la risposta (c) riporta semplicemente la potenza del motore convertita in cavalli, un'altra unità di misura della potenza; la risposta (d) riporta nuovamente la potenza del motore, che non è misura del lavoro; la risposta (e) è ovviamente errata in base a quanto detto in precedenza.

5) L'energia cinetica è pari alla differenza di energia potenziale tra le posizioni iniziale e finale. Dato che il protone e l'elettrone hanno la stessa carica (in modulo) e, per entrambi il guadagno di energia cinetica sarà pari ad eV, con V la differenza di potenziale tra le piastre, responsabile della presenza del campo elettrico costante tra le stesse. La risposta corretta è quindi la (c).

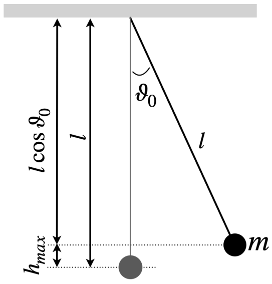
6) La risposta corretta è la (b), significa che la differenza di potenziale tra le due zampe è trascurabile e quindi non c'è corrente che attraversa il corpo dell'uccellino. La situazione è pericolosa quando si è in presenza di grandi differenze di potenziale, in grado potenzialmente di far scorrere grandi correnti elettriche attraverso il corpo, pur dotato di una resistenza elettrica relativamente elevata; come nel caso della differenza di potenziale tra la linea elettrica e il suolo.

7) Tra la zanzara e il filo si sviluppa una forza attrattiva, come nel caso di due correnti con lo stesso verso. È possibile considerare direzione e verso del campo magnetico prodotto dal filo ad una certa distanza da esso, e poi utilizzare la forza di Lorenz agente sulla zanzara in moto parallelamente al filo (una carica positiva) per verificare questo risultato. La risposta corretta è la (b)

8) L'azione che non induce corrente nella spira sarà quella che non produce una variazione del flusso del campo magnetico attraverso la spira. A ben vedere tutte le azioni producono una variazione del flusso, o perché cambia l'intensità di $\overrightarrow{B}$ o perché cambia l'angolo tra $\overrightarrow{B}$ e la spira, tranne la (b), che è quindi la risposta corretta.

Esercizi - soluzioni

Esercizio 1



Un pendolo semplice di massa $m = 0.86$ kg descrive una piccola oscillazione di tipo armonico, con periodo $T = 1.27$ s e ampiezza $\vartheta_0 = 0.085$ rad. Si calcoli:

1) la lunghezza del filo del pendolo;
2) la massima variazione di energia potenziale della massa del pendolo;
3) il valore minimo della tensione del filo (e bonus: il valore massimo);
4) quale sarebbe il periodo di oscillazione sulla luna (dati utili: $M_L = 7.348 \times 10^{22}$ kg; $R_L = 1737$ km).

Per un pendolo semplice si ha

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad \Longrightarrow \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad \text{e quindi} \qquad l = \frac{gT^2}{4\pi^2} \simeq 0.40 \text{ m.}$$

La massima altezza raggiunta dal pendolo rispetto al punto più basso, come si vede dal disegno, vale

$$h_{max} = l(1 - \cos\vartheta_0)$$

e quindi la massima variazione di energia potenziale

$$\Delta U_{max} = mgh_{max} = mgl(1 - \cos\vartheta_0) \simeq 12.2 \text{ mJ}$$

Il filo ha la massima tensione nel punto più basso, ove la somma della forza peso e della tensione deve produrre l'accelerazione centripeta del moto circolare:

$$\sum F_{vert} = T_{max} - mg = ma_c$$

Per calcolare l'accelerazione centripeta, dobbiamo calcolare la velocità lineare della massa in quel punto; si può fare con le formule del moto armonico, o con la conservazione dell'energia, ad esempio

$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = \Delta U_{max} \quad \Longrightarrow \quad v_{max} = \sqrt{2gl(1 - \cos\vartheta_0)}$$

$$a_c = \frac{v^2}{l} = 2g(1 - \cos\vartheta_0)$$

Quindi

$$T_{max} - mg = 2mg(1 - \cos\vartheta_0) \quad \Longrightarrow \quad T_{max} = mg(3 - 2\cos\vartheta_0) \simeq 8.50 \text{ N}$$

La minima tensione si avrà nel punto più alto del moto del pendolo, in cui è istantaneamente fermo, non c'è accelerazione centripeta, e la tensione uguaglia la componente parallela al filo della forza peso:

$$T_{min} - mg\cos\vartheta_0 = 0 \quad \Longrightarrow \quad T_{min} = mg\cos\vartheta_0 \simeq 8.41 \text{ N}$$

Il periodo del pendolo si esprime come

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_L}}$$

avendo scelto di inserire l'accelerazione di gravità sulla superficie lunare; è quindi sufficiente calcolare il valore di accelerazione di gravità presente sulla luna:

$$g_L = G\frac{M_L}{R_L^2} \simeq 1.63 \text{ m/s}^2 \qquad \Longrightarrow \qquad T_L \simeq 3.12 \text{ s}$$

Esercizio 2

Una molla di costante elastica $k = 75.0$ N/m ha una lunghezza a riposo $l_0 = 1.00$ m. La molla è prima compressa a una lunghezza $l = 0.500$ m e una massa $m = 2.00$ kg è posta a contatto con il suo estremo libero, su un piano inclinato senza attrito che forma un angolo $\vartheta = 41.0^\circ$ con l'orizzontale. La molla viene rilasciata.

1) Se la massa *non* è collegata alla molla, di quanto salirà la massa lungo il piano inclinato prima di fermarsi? (riportare la distanza percorsa *lungo* il piano inclinato)

2) Se la massa è invece collegata alla molla, di quanto salirà lungo il piano inclinato prima di fermarsi?

3) Supponiamo che tra la massa e il piano sia presente attrito dinamico, con coefficiente μ_d. Se il blocco, collegato alla molla, si ferma esattamente nella posizione di equilibrio della molla, quanto vale μ_d?

Utilizziamo la conservazione dell'energia. Chiamiamo d la distanza percorsa lungo il piano inclinato, e fissiamo un asse y rivolto verso l'alto, con lo zero nella posizione iniziale della molla. La coordinata y raggiunta avendo percorso una distanza d lungo il piano sarà $y = d \sin\vartheta$. L'energia potenziale iniziale è pari alla sola energia potenziale elastica della molla:

$$U_i = \frac{1}{2}kl^2 \qquad \text{(dato che } l - l_0 = l\text{)}$$

L'energia potenziale finale è pari a quella della forza peso, avendo percorso una distanza d:

$$U_f = mgd\sin\vartheta$$

L'energia cinetica è zero sia nello stato iniziale che in quello finale, dunque la conservazione dell'energia

$$\frac{1}{2}kl^2 = mgd\sin\vartheta \qquad \Longrightarrow \qquad d = \frac{kl^2}{2mg\sin\vartheta} \simeq 72.8 \text{ cm}$$

Nel caso in cui il corpo sia invece attaccato alla molla, superata la posizione di equilibrio della stessa l'energia potenziale elastica ricomincia ad aumentare. Utilizzando lo stesso sistema di riferimento, avremo

$$U_f = mgd\sin\vartheta + \frac{1}{2}k\left(d - l\right)^2$$

quindi

$$d\left(mg\sin\vartheta - kl + \frac{1}{2}kd\right) = 0$$

che oltre alla soluzione $d = 0$, corrispondente all'istante iniziale, ha soluzione

$$d = 2\left(l - \frac{mg\sin\vartheta}{k}\right) \simeq 65.7 \text{ cm}$$

Nell'ultimo caso, la variazione di energia meccanica (quindi potenziale, dato che continuiamo a considerare stati in cui $K = 0$) è pari al lavoro fatto dalla forza di attrito, e abbiamo $d = l$, quindi

$$U_f - U_i = mgl\sin\vartheta - \frac{1}{2}kl^2 = -\mu_d Nl = -\mu_d mgl\cos\vartheta$$

dove abbiamo sostituito per il modulo della forza normale la componente della forza peso perpendicolare al piano. Ricaviamo quindi

$$\mu_d = \frac{kl}{2mg\cos\vartheta} - \tan\vartheta \simeq 0.397$$

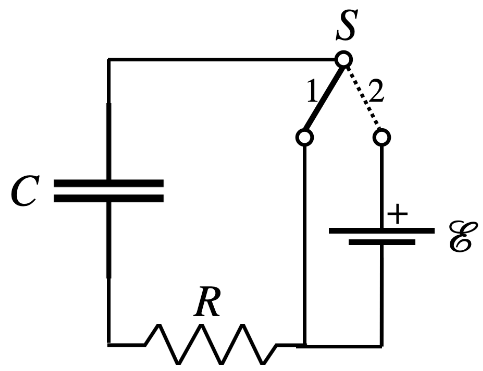
Esercizio 3

Nel circuito mostrato in figura, $C = 5.90\ \mu\text{F}$ e $\mathscr{E} = 28.0\ \text{V}$. Inizialmente l'interruttore S è nella posizione 1 e viene spostato nella posizione 2, così che il condensatore inizi a caricarsi. Si chiede:

1) quale sarà la carica sul condensatore molto tempo dopo che l'interruttore S è stato spostato nella posizione 2;

2) se dopo $\Delta t = 3.00$ ms che l'interruttore è stato spostato nella posizione 2 la carica sul condensatore è $Q = 110\ \mu\text{C}$, quale è il valore della resistenza R;

3) quanto tempo dopo lo spostamento dell'interruttore sulla posizione 2 la carica del condensatore sarà pari al 99 % del valore finale trovato al punto 1).



Per $t \to \infty$, la differenza di potenziale ai capi del condensatore diventa pari a $\mathscr{E}$. Quindi, dalla definizione di capacità $C = \frac{Q}{V}$, abbiamo

$$Q_{max} = C\mathscr{E} \simeq 165\ \mu\text{C}$$

L'equazione oraria della carica del condensatore si scrive

$$Q(t) = \mathscr{E}C\left(1 - e^{-t/RC}\right)$$

e invertendola

$$1 - \frac{Q}{\mathscr{E}C} = e^{-t/RC} \implies \ln\left(1 - \frac{Q}{\mathscr{E}C}\right) = -\frac{t}{RC} \implies R = -\frac{t}{C\ \ln\left(1 - \frac{Q}{\mathscr{E}C}\right)} \simeq 464\ \Omega$$

Dato che $Q(t \to \infty) = \mathscr{E}C$,

$$\frac{Q(t^*)}{Q(t \to \infty)} = 1 - e^{-t^*/RC} = 0.99$$

e quindi

$$0.01 = e^{-t^*/RC} \implies \ln(0.01) = -\frac{t^*}{RC}$$

e infine

$$t^* = -RC\ \ln(0.01) \simeq 12.6\ \text{ms}$$

Esercizio 4

Un nucleo di deuterio ($m_d = 3.34 \times 10^{-27}$ kg, $q = +e$) viaggia su un percorso circolare con raggio $R = 6.96$ mm in un campo magnetico di modulo $B = 0.250$ T.

1) Qual è la velocità del nucleo di deuterio?

2) Quanto tempo occorre per compiere metà di una rivoluzione completa?

3) Quale differenza di potenziale è necessaria per accelerare il deuterio a questa velocità?

Il moto circolare, con accelerazione centripeta $a_c = \dfrac{v^2}{R}$, è causato dalla forza di Lorentz, di modulo evB. Quindi, applicando la seconda legge di Newton

$$evB = mv^2/R \quad \Longrightarrow \quad v = \frac{eBR}{m} \simeq 83.5 \text{ km/s}$$

Per percorrere una distanza πR a questa velocità occorre un tempo

$$T_{1/2} = \frac{\pi R}{v} = \frac{\pi m}{eB} \simeq 262 \text{ ns}$$

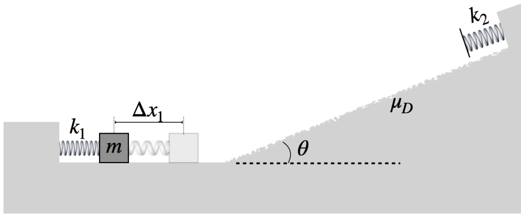
Dato che il deuterio ha carica e, l'energia cinetica ottenuta attraversando una differenza di potenziale V sarà eV, quindi

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{e^2B^2R^2}{2m} = eV \quad \Longrightarrow \quad V = \frac{eB^2R^2}{2m} \simeq 72.4 \text{ V}$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 11 Settembre 2023 - Prof. L. Guiducci

Esercizi

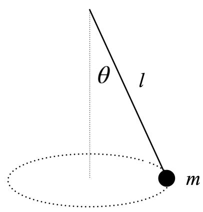
Esercizio 1



Un corpo di massa $m = 450$ g, inizialmente in quiete, viene lanciato lungo un piano orizzontale da una molla di costante elastica $k_1 = 125$ N/m, compressa rispetto alla posizione di riposo di $\Delta x_1 = 45.0$ cm. Il piano è privo di attrito nel tratto orizzontale, poi il piano diviene inclinato di $\theta = 30^o$ rispetto all'orizzontale, e presenta un coefficiente di attrito $\mu_D = 0.400$; il corpo risale per una lunghezza complessiva $L = 1.00$ m, fermandosi dopo aver compresso una seconda molla di costante elastica k_2 di una quantità $\Delta x_2 = L/4$. Successivamente la seconda molla si espande e rilancia all'indietro il corpo, che scende il piano inclinato e poi prosegue sul tratto orizzontale. Si calcoli:

1) la velocità con cui il corpo scivola sul piano orizzontale la prima volta;
2) la costante elastica k_2 della seconda molla;
3) la velocità con cui il corpo scivola sul piano orizzontale la seconda volta.

Esercizio 2



Un bambino ha uno yo-yo di massa $m = 95.0$ g con il filo lungo $l = 75.0$ cm tutto srotolato, e dato che non sa fare alcun trick, sta semplicemente facendogli compiere una circonferenza sul piano orizzontale tenendolo appeso al filo (realizzando il cosiddetto "pendolo conico"). Il filo è molto sottile, inestensibile, di massa trascurabile, ma molto consumato; il bambino aumenta la velocità di rotazione, e quando il filo forma un angolo di $\theta = 45^o$ rispetto alla verticale, si rompe. Si chiede:

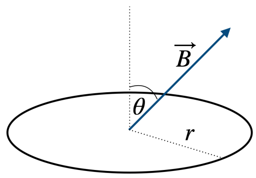
1) quale è la tensione del filo quando lo yo-yo è tenuto fermo con il filo verticale?
2) qual è la tensione del filo un attimo prima della rottura?
3) qual è la velocità dello yo-yo un attimo prima della rottura?

Esercizio 3

Si devono accelerare particelle α (nuclei di elio, composti da due neutroni e due protoni, di massa $m_\alpha = 6.65 \times 10^{-27}$ kg) con un ciclotrone, fino a portarle ad una energia cinetica $K = 20$ MeV ($K = 3.204 \times 10^{-12}$ J). La sorgente delle particelle è posta al centro del ciclotrone. Appena uscite dalla sorgente esse sono accelerate dalla stessa differenza di potenziale che le accelererà due volte a giro durante il percorso all'interno del capo magnetico, $\Delta V = 10000$ V. Le dimensioni del magnete fissano il raggio massimo della macchina: $R = 50.0$ cm. Trascurando qualsiasi effetto relativistico, calcolare:

1) il valore del modulo del campo magnetico necessario;
2) la frequenza del ciclotrone, cioè la frequenza con cui viene alternata la differenza di potenziale;
3) il numero totale di giri fatti dalle particelle prima di essere estratte dal ciclotrone.

Esercizio 4



Una spira circolare di filo conduttore ha raggio $r = 25.0$ cm e resistenza $R = 5.00\ \Omega$. È presente un campo magnetico uniforme, la cui direzione forma un angolo $\theta = 60^o$ con l'asse della spira, e il cui modulo varia nel tempo secondo la legge $|\vec{B}| = at^2$, con $a = 1.25$ T/s^2.

1) Quanto vale il flusso del campo magnetico attraverso la spira a $t_1 = 1.00$ s?
2) Quanto vale la corrente circolante nella spira a $t_2 = 2.00$ s?
3) Quanta energia viene dissipata nella spira per effetto Joule tra $t_0 = 0$ e t_2?

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 11 Settembre 2023 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ___________________________ Nome:_______________________ Matr.:___________________

Domande aperte. Si dia risposta, su foglio protocollo (1 facciata massimo), ad ***una*** *tra le seguenti domande:*

1) L'esperimento di Millikan e la quantizzazione della carica elettrica.

2) Forze conservative, energia potenziale, energia meccanica. Energia in presenza di forze non conservative.

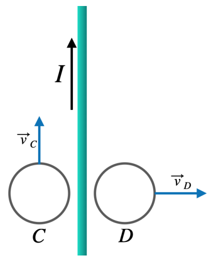
3) Le equazioni di Maxwell

Quesiti a scelta multipla:

1) Chi fornisce la forza che mantiene l'automobile sulla strada mentre si affronta una curva a velocità costante?

(a) la forza esercitata dallo sterzo sugli pneumatici
(b) una componente nella direzione del moto della forza esercitata dagli pneumatici sulla strada
(c) una componente diretta lateralmente della forza degli pneumatici sulla strada
(d) una componente nella direzione del moto della forza della strada sugli pneumatici
(e) una componente diretta lateralmente della forza della strada sugli pneumatici

2) Due spire C e D si muovono vicino ad un filo rettilineo molto lungo che trasporta una corrente continua (vedi figura). Determinare il verso della corrente indotta in ciascuna spira.



Per la spira C:
(a) in senso orario
(b) in senso antiorario
(c) zero (d) alternato
Per la spira D:
(a) in senso orario
(b) in senso antiorario
(c) zero (d) alternato

3) Nella Stazione Spaziale Internazionale gli astronauti sperimentano un'apparente assenza di gravità perché

(a) la stazione è molto lontana dal centro della Terra
(b) la stazione è tenuta in orbita da una forza centrifuga che contrasta la gravità
(c) gli astronauti e la stazione sono in caduta libera verso il centro della Terra
(d) non c'è gravità nello spazio
(e) l'alta velocità annulla gli effetti della gravità

4) Un sasso viene scagliato verso il basso dall'alto di una torre. Se si trascura la resistenza dell'aria l'accelerazione del sasso durante la caduta

(a) è maggiore di $9{,}8\ \mathrm{m/s^2}$
(b) è uguale a $9{,}8\ \mathrm{m/s^2}$
(c) dipende dalla spinta iniziale impressa al sasso
(d) dipende dalla massa del sasso
(e) nessuna delle precedenti risposte

5) Le piastre di un condensatore sono mantenute a differenza di potenziale costante man mano che sono avvicinate. Che succede alla carica sulle armature?

(a) diventa rapidamente 0
(b) rimane costante
(c) aumenta
(d) diminuisce

6) Nel moto armonico semplice il modulo dell'accelerazione è massimo quando:

(a) il modulo della velocità è massimo
(b) la forza è nulla
(c) lo spostamento è nullo
(d) il modulo dello spostamento è massimo
(e) nessuna delle risposte precedenti

7) Un campo elettrico uniforme punta a nord. Se vi state spostando a sud, il valore del potenziale elettrico

(a) diminuisce
(b) aumenta
(c) rimane lo stesso
(d) servono altre informazioni

8) Quando una particella carica si muove parallelamente alla direzione di un campo magnetico, viaggia

(a) in linea retta
(b) su un percorso circolare
(c) su un percorso elicoidale
(d) su un ciclo di isteresi

Quesiti - Soluzioni

1) Percorrendo una curva, siamo in presenza di un moto accelerato, in quanto la velocità (vettoriale) della macchina cambia direzione, pur mantenendo lo stesso modulo (curva percorsa a velocità (scalare) costante). Quindi, innanzi tutto, dobbiamo individuare una forza esercitata *sulla* macchina, affinché possa essere prodotta un'accelerazione della stessa. Questo esclude le risposte a), b) e c). La differenza tra le risposte d) ed e) sta nella direzione della forza applicata sull'auto; al fine di ottenere un cambio di direzione, abbiamo bisogno senza dubbio di una forza "laterale", quindi la risposta giusta è la e). Nel caso della risposta d), siamo in presenza di una forza in grado di modificare il *modulo* della velocità (o velocità scalare), come ad esempio durante un'accelerazione o una frenata.

2) Sappiamo che il campo magnetico generato da un filo rettilineo infinitamente lungo ha linee di campo aventi la forma di circonferenze centrate sul filo; e che l'intensità del campo magnetico decresce con l'aumentare della distanza dal filo come $1/r$. Qualunque spostamento *lungo* il filo quindi, non modifica la struttura del campo magnetico intercettato dalla spira. Quindi per la spira C avremo $\frac{\mathrm{d}\Phi(\vec{B})}{\mathrm{d}t} = 0$, quindi $\mathscr{E} = 0$ e $I = 0$: la risposta corretta è la c). Per la spira D, invece, abbiamo una diminuzione dell'intensità di $\vec{B}$ man mano che la spira si allontana dal filo. Quindi anche il flusso del campo magnetico diminuisce in valore assoluto, sarà presente una forza elettromotrice ed una corrente. Dato che nella regione della spira D le linee di campo sono entranti nella pagina, una diminuzione del flusso produce una corrente indotta nella spira nel verso tale da generare a sua volta un campo magnetico entrante, quindi in senso orario: dobbiamo scegliere la risposta (a).

3) La stazione spaziale, come qualsiasi satellite della terra, è in caduta libera sulla terra. La risposta corretta è quindi la (c). L'accelerazione di gravità causata dalla massa della terra non è molto più piccola di g alla quota della stazione spaziale! La stazione non è "tenuta in orbita" da alcuna forza centrifuga, che peraltro è una forza apparente.

4) L'accelerazione di gravità è la stessa per tutti i gravi, e certamente non dipende dalle condizioni iniziali del moto. La risposta giusta è quindi la (b)

5) La capacità di un condensatore a facce piane è inversamente proporzionale alla distanza tra le armature; mentre vengono avvicinate, quindi, la capacità aumenta. Data la relazione $C = Q/V$, considerato che C aumenta mentre V è mantenuto costante, allora Q aumenta, e la risposta giusta è la (c).

6) Dato che l'accelerazione è la derivata seconda della posizione, e che la legge oraria di quest'ultima è sinusoidale, accelerazione e posizione sono "in controfase" (massimo positivo(negativo) della posizione ↔ massimo negativo(positivo) dell'accelerazione), e sfasate di 90 o 270 gradi rispetto alla velocità. Quindi , sempre parlando di valori assoluti, l'accelerazione è massima quando lo spostamento è massimo, che coincide con la posizione in cui la velocità è zero. La risposta corretta è quindi la (d).

7) La risposta giusta è la (b), il potenziale aumenta, infatti dalla definizione di potenziale:

$$V_b - V_a = -\int_a^b \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{l}$$

spostandosi da a a b in verso opposto a quello del campo elettrico, $\vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{l}$ è negativo, quindi $V_b - V_a$ è positivo ovvero $V_b > V_a$.

8) La forza esercitata dal campo magnetico su una particella carica è espressa dalla legge di Lorentz, nella quale compare il prodotto vettoriale tra $\vec{B}$ e $\vec{v}$: $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$. Quindi se $\vec{v}$ è parallelo a $\vec{B}$, la forza è nulla, e la particella continua a muoversi in linea retta. La risposta giusta è la (a).

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 11 Settembre 2023 - Prof. L. Guiducci

Esercizi - soluzioni

Esercizio 1

Un corpo di massa $m = 450$ g, inizialmente in quiete, viene lanciato lungo un piano orizzontale da una molla di costante elastica $k_1 = 125$ N/m, compressa rispetto alla posizione di riposo di $\Delta x_1 = 45.0$ cm. Il piano è privo di attrito fino ad un certo punto, poi, nel punto A, il piano diviene inclinato di $\theta = 30^o$ rispetto all'orizzontale, e presenta un coefficiente di attrito $\mu_D = 0.400$; il corpo risale per una lunghezza complessiva $L = 1.00$ m, fermandosi dopo aver compresso di $\Delta x_2 = L/4$ una seconda molla. Poi la molla si espande e rilancia all'indietro il corpo, che scende il piano inclinato, ripassa da A e poi prosegue sul tratto orizzontale. Si calcoli:

1) la velocità con cui il corpo scivola sul piano orizzontale la prima volta;
2) la costante elastica della seconda molla;
3) la velocità del corpo quando scivola sul piano orizzontale la seconda volta.

Il processo di lancio del corpo in orizzontale è conservativo, e tutta l'energia potenziale elastica presente all'inizio è convertita in energia cinetica del corpo:

$$E_i = \frac{1}{2}k_1\Delta x_1^2 \qquad E_A = \frac{1}{2}mv_A^2 \qquad E_i = E_A$$

quindi

$$\frac{1}{2}k_1\Delta x_1^2 = \frac{1}{2}mv_A^2 \implies v_A = \Delta x_1\sqrt{\frac{k_1}{m}} \simeq 7.5 \text{ m/s}$$

Anche per la seconda parte del moto consideriamo l'energia meccanica. Fissiamo per la forza peso un asse y rivolto verso l'alto e con lo zero in corrispondenza del piano orizzontale. Dato che nel tratto orizzontale l'energia meccanica è stata conservata, consideriamo ancora l'energia meccanica iniziale quella potenziale elastica immagazzinata nella prima molla (nessuna velocità, energia potenziale della forza peso nulla) e per quella finale la somma dell'energia potenziale elastica della seconda molla e dell'energia potenziale della forza peso acquistata risalendo lungo il piano (di nuovo, nessuna velocità e quindi zero energia cinetica). Quindi:

$$E_i = \frac{1}{2}k_1\Delta x_1^2 \qquad E_f = \frac{1}{2}k_2\frac{L^2}{16} + \frac{1}{2}mgL$$

dove abbiamo sostituito per la quota raggiunta dal corpo $h = L\sin\theta = \frac{L}{2}$. La differenza di energia $(E_f - E_i)$ è pari al lavoro fatto dall'attrito durante il moto. Il modulo della forza normale esercitata dal piano inclinato, dato che bilancia la componente perpendicolare allo stesso della forza peso, vale $N = mg\cos\theta$, quindi possiamo scrivere:

$$\mathscr{L}_{att} = -F_{att}L = -\mu_D NL = -\mu_D mg\frac{\sqrt{3}}{2}L$$

Infine, dalla relazione $E_f - E_i = \mathscr{L}_{att}$ otteniamo

$$\frac{1}{2}\left(k_2\frac{L^2}{16} + mgL - k_1\Delta x_1^2\right) = -\mu_D mg\frac{\sqrt{3}}{2}L$$

da cui

$$k_2 = \frac{16}{L^2}\left(k_1\Delta x_1^2 - mgL\left(1+\sqrt{3}\mu_d\right)\right) \simeq 285 \text{ N/m}$$

Quando il corpo ripassa dal punto A, la forza di attrito ha di nuovo compiuto un lavoro $\mathscr{L}_{att}$. Dato che i restanti processi (molla, forza peso) sono conservativi, possiamo sottrarre $2\mathscr{L}_{att}$ (il corpo ha strisciato per una lunghezza totale $2L$) all'energia meccanica iniziale ed otterremo l'energia meccanica del corpo la seconda volta che passa da A, che è tutta sotto forma di energia cinetica:

$$E_{A'} = E_i - 2\mathscr{L}_{att} = \frac{1}{2}k_1\Delta x_1^2 - \mu_D mg\frac{\sqrt{3}}{2}2L = \frac{1}{2}mv_{A'}^2$$

da cui

$$v_{A'} = \sqrt{\frac{k_1}{m}\Delta x_1^2 - 2\sqrt{3}\mu_D gL} \simeq 6.5 \text{ m/s}$$

Esercizio 2

Un bambino ha uno yo-yo di massa $m = 95.0$ g con il filo lungo $l = 75.0$ cm tutto srotolato, e dato che non sa fare alcun trick, sta semplicemente facendogli compiere una circonferenza sul piano orizzontale tenendolo appeso al filo (realizzando il cosiddetto "pendolo conico"). Il filo è molto sottile, inestensibile, di massa trascurabile, ma molto consumato; il bambino aumenta la velocità di rotazione, e quando il filo forma un angolo di $\theta = 45^{\circ}$ rispetto alla verticale, si rompe. Si chiede:

1) quale sarebbe la tensione del filo con lo yo-yo tenuto fermo con il filo verticale?
2) qual era la tensione presente sul filo un attimo prima che questo si rompesse?
3) qual era la velocità dello yo-yo un attimo prima che il filo si rompesse?

Se lo yo-yo è semplicemente appeso al filo, in quiete, la tensione del filo bilancia la forza peso agente sullo yo-yo, quindi, chiamato y un asse verticale rivolto verso l'alto

$$\sum F_y = T - mg = 0 \quad \Longrightarrow \quad T = mg \simeq 0.93 \text{ N}$$

Quando lo yo-yo sta compiendo la circonferenza sul piano orizzontale, è presente una accelerazione centripeta orizzontale. La forza centripeta che la produce non può essere altro che la componente orizzontale della tensione del filo (che ora è appunto inclinato). D'altra parte la componente verticale della tensione del filo continua ad essere la forza che bilancia la forza peso agente sullo yo-yo, dato che questo non ha alcuna accelerazione in verticale. Quindi, aggiungendo un asse x rivolto verso il centro della circonferenza

$$\begin{cases} \sum F_y = T' \cos\theta - mg = 0 \\ \sum F_x = T' \sin\theta = m a_c \end{cases}$$

Da cui si ricava:

$$T' = \frac{mg}{\cos\theta} = \sqrt{2}mg \simeq 1.32 \text{ N}$$

$$a_c = \frac{T' \sin\theta}{m} = g$$

In effetti sembra ragionevole che, dato che il filo forma un angolo di 45°, l'accelerazione centripeta orizzontale sia uguale all'accelerazione di gravità verticale!

Per quel che riguarda la velocità dello yo-yo nell'istante richiesto, consideriamo che il raggio del moto circolare è pari a

$$r = l \sin\theta = \frac{\sqrt{2}}{2} l$$

e dato che

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \sqrt{2}\frac{v^2}{l}$$

ricaviamo

$$v = \sqrt{\frac{a_c l}{\sqrt{2}}} = \sqrt{\frac{gl}{\sqrt{2}}} \simeq 2.28 \text{ m/s}$$

Esercizio 3

Si devono accelerare particelle α (nuclei di elio, composti da due neutroni e due protoni, di massa $m_\alpha = 6.65 \times 10^{-27}$ kg) con un ciclotrone, fino a portarle ad una energia cinetica $K = 20$ MeV ($K = 3.204 \times 10^{-12}$ J). La sorgente delle particelle è posta al centro del ciclotrone. Appena uscite dalla sorgente esse sono accelerate dalla stessa differenza di potenziale che le accelererà due volte a giro durante il percorso all'interno del capo magnetico, $\Delta V = 10000$ V. Le dimensioni del magnete fissano il raggio massimo della macchina: $R = 50.0$ cm. Trascurando qualsiasi effetto relativistico, calcolare:

1) il valore del modulo del campo magnetico necessario;
2) la frequenza del ciclotrone, cioè la frequenza con cui viene alternata la differenza di potenziale;
3) il numero totale di giri fatti dalle particelle prima di essere estratte dal ciclotrone.

Consideriamo l'ultimo giro delle particelle nel ciclotrone, immediatamente prima di uscire: il valore del campo magnetico è quello che consente di mantenere su una circonferenza di raggio R le particelle α di energia cinetica K. Se non ricordiamo le formule, impostiamo il problema considerando la forza di Lorentz e l'accelerazione del moto circolare, ricordando che le particelle α hanno carica $q = 2e$ e massa m_α: la seconda legge di Newton ci dice che

$$2evB = m_\alpha \frac{v^2}{R} \implies 2eB = \frac{m_\alpha v}{R}$$

considerando che $K = \frac{1}{2} m_\alpha v^2$ e che quindi $v = \sqrt{\frac{2K}{m_\alpha}}$ possiamo riscrivere la relazione precedente

$$2eBR = \sqrt{2m_\alpha K} \qquad \implies \qquad B = \frac{\sqrt{2mK}}{2eR} \simeq 1.29 \text{ T}$$

Si può ricordare la formula della velocità angolare di ciclotrone $\omega_c = \frac{qB}{m}$ e sostituire carica, massa e il campo magnetico appena trovato. Oppure si può considerare che il moto al raggio massimo avviene con velocità $v = \sqrt{\frac{2K}{m_\alpha}}$ ed è compiuta una circonferenza lunga $l = 2\pi R$, quindi impiegando un tempo $T = \frac{2\pi R}{\sqrt{\frac{2K}{m_\alpha}}}$, cioè la velocità angolare vale

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{2K}{m_\alpha R^2}} \simeq 6.21 \times 10^7 \text{ rad/s} \quad \text{e} \qquad f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{2K}{m_\alpha R^2}} \simeq 9.88 \text{ MHz}$$

Il numero totale di giri si può ottenere riflettendo sul fatto che ad ogni giro la particella α riceve due volte l'aumento di energia cinetica dato dalla differenza di potenziale ΔV, quindi

$$\Delta K_{giro} = 2(2e\Delta V)$$

e dunque

$$N_{giri} = \frac{K}{\Delta K_{giro}} = \frac{K}{4e\Delta V} \simeq 500$$

Esercizio 4

Una spira circolare di filo conduttore ha raggio $r = 25.0$ cm e resistenza $R = 5.00\ \Omega$. È presente un campo magnetico uniforme, la cui direzione forma un angolo $\theta = 60^{\circ}$ con l'asse della spira, e il cui modulo varia nel tempo secondo la legge $|\vec{B}| = at^2$, con $a = 1.25\ \mathrm{T/s^2}$.

1) Quanto vale il flusso del campo magnetico attraverso la spira a $t_1 = 1.00$ s?
2) Quanto vale la corrente circolante nella spira a $t_2 = 2.00$ s?
3) Quanta energia viene dissipata nella spira per effetto Joule tra $t_0 = 0$ e t_2?

Il flusso del campo magnetico

$$\Phi(\vec{B}(t)) = \vec{B}(t) \cdot \vec{S} = B(t) S \cos\theta = \frac{1}{2}\pi a r^2 t^2$$

quindi

$$\Phi(\vec{B}(t = t_1)) = \frac{\pi a r^2 (1\ \mathrm{s}^2)}{2} = 0.123\ \mathrm{Tm^2}$$

Il valore assoluto della forza elettromotrice indotta è pari alla derivata rispetto al tempo del flusso:

$$\mathscr{E}(t) = \frac{\mathrm{d}\Phi(\vec{B}(t))}{\mathrm{d}t} = \pi a r^2 t$$

Quindi la corrente

$$I(t) = \frac{\pi a r^2 t}{R}$$

che all'istante $t_2 = 2$ s

$$I(t = t_2) = \frac{\pi a r^2 (2\ \mathrm{s})}{R} \simeq 98.2\ \mathrm{mA}$$

La potenza dissipata per effetto Joule vale istantaneamente

$$P(t) = R I(t)^2 = \frac{\pi^2 a^2 r^4 t^2}{R} = k t^2$$

dove abbiamo per comodità introdotto la costante $k = \dfrac{\pi^2 a^2 r^4}{R} \simeq 0.01205\ \mathrm{W/s^2}$

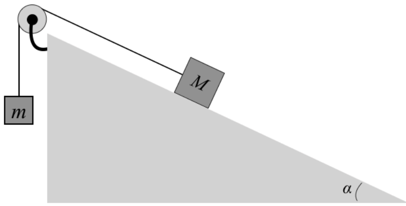
ed è necessario integrare tale potenza tra $t_0 = 0$ e $t_2 = 2$ s per trovare l'energia dissipata in tale intervallo di tempo:

$$E = \int_{t_0}^{t_2} k t^2 \mathrm{d}t = k \left| \frac{t^3}{3} \right|_{t_0}^{t_2} = \frac{k}{3} t_2^3 \simeq 32.1\ \mathrm{mJ}$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 11 Gennaio 2024 - Prof. L. Guiducci

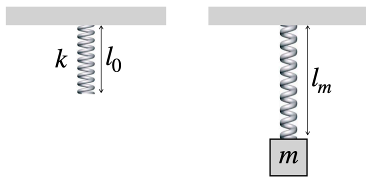
Esercizi

Esercizio 1 Un blocco di massa M=28.2 kg è appoggiato su un piano inclinato di α=30.0° rispetto all'orizzontale ed è collegato tramite una fune inestensibile e di massa trascurabile che sale parallela al piano fino ad una carrucola, di massa trascurabile e priva di attrito; oltrepassata la carrucola, la fune scende verticalmente ed è agganciata ad un blocco di massa m=3.45 kg. Calcolare



1) il minimo coefficiente di attrito statico μ_{min} tra il piano inclinato e il blocco di massa M necessario affinché i blocchi restino in quiete, e la tensione T_1 della fune;
2) l'accelerazione dei blocchi a nel caso in cui tra il piano inclinato e il blocco di massa M non ci sia alcun attrito, e la tensione T_2 della fune in questo caso;
3) il lavoro complessivo $\mathscr{L}_{peso}$ fatto dalla forza peso nel caso 2) se il sistema viene lasciato libero di muoversi per un tempo t'=2.33 s.

Esercizio 2 Una molla di costante elastica $k = 12.3$ N/m e lunghezza a riposo $l_0 = 25.0$ cm è appesa verticalmente al soffitto, e le viene appeso un corpo di massa $m = 250$ g. Si trovi:



1) la lunghezza l_m di equilibrio della molla con il corpo appeso.

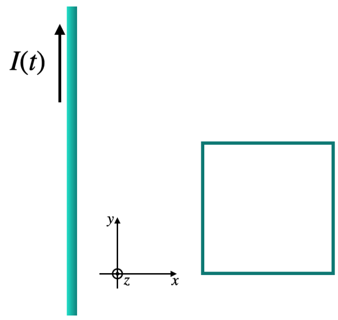
Viene prodotto un moto di oscillazione, ponendo il corpo in modo che la molla abbia lunghezza pari alla lunghezza a riposo per poi lasciarlo andare da fermo. Si trovi:

2) il periodo T delle oscillazioni del sistema;
3) la velocità v_m del corpo quando passa per la prima volta a distanza l_m dal soffitto.

Esercizio 3 Due piccole sfere conduttrici cariche di uguale raggio $R = 1.50$ cm sono poste con i centri a distanza $d = 22.0$ cm e si respingono con una forza di modulo $F = 3.50 \cdot 10^{-4}$ N (situazione iniziale). Le due sferette sono poste a contatto e poi rimesse nella posizione precedente, e si osserva che si respingono con una forza doppia (situazione finale). Si assumano positive le cariche delle sferette, calcolare:

1) il valore V_f del potenziale elettrostatico nel punto medio tra le due sfere nella situazione finale;
2) le due cariche iniziali Q_1 e Q_2 di ciascuna sfera;
3) il valore del campo elettrico iniziale E_i nel punto medio tra le due sfere, e il suo valore finale E_f.

Esercizio 4 Una spira quadrata di lato $a = 10$ cm e resistenza complessiva $R = 1.60$ mΩ è posta con due suoi lati paralleli ad un sottile filo rettilineo e molto lungo, posto sullo stesso piano della spira ad una distanza $d = a$ dal lato della spira più vicino. Si veda la figura. Nel filo scorre una corrente dipendente dal tempo secondo la funzione $I(t) = I_0 + Ct^2$, con $I_0 = 10.0$ A e $C = 5.00$ A/s^2, e verso come indicato in figura. Si calcoli:



1) il modulo B_0 del campo magnetico presente in corrispondenza del lato della spira più vicino al filo rettilineo all'istante $t_0 = 1.00$ s, e la sua direzione e verso rispetto al sistema di riferimento indicato in figura;
2) il flusso del campo magnetico Φ_1 attraverso la spira all'istante $t_1 = 12.0$ s (*);
3) la corrente I_2 indotta nella spira nell'istante $t_2 = 25.0$ s, specificando se tale corrente scorra in senso orario o antiorario (sempre in riferimento alla figura data).

(*) si noti che $\displaystyle\int_a^b \frac{dx}{x} = \ln\left(\frac{b}{a}\right)$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 11 Gennaio 2024 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ___________________________ Nome:_______________________ Matr.:___________________

Domande aperte. Si dia risposta, su foglio protocollo (1 facciata massimo), ad una tra le seguenti domande:

1) Si discutano le leggi di Keplero, anche in connessione con la legge di gravitazione universale.

2) Si illustri la legge di Ampere per il campo magnetico e si faccia almeno un esempio dell'utilizzo di tale legge per il calcolo del campo data una distribuzione di corrente elettrica.

3) Si fornisca una trattazione del moto circolare mostrando la connessione tra coordinate cartesiane e coordinate angolari, e come calcolare quantità rilevanti (ad es. l'accelerazione centripeta) nel caso di moto circolare uniforme.

Quesiti a scelta multipla:

1) Due satelliti A e B orbitano intorno alla Terra su orbite circolari che hanno lo stesso raggio, ma la massa di A è il doppio della massa di B. Quale affermazione è vera?
(a) la velocità di A è il doppio della velocità di B
(b) la velocità di A è uguale alla velocità di B
(c) la velocità di B è il doppio della velocità di A
(d) il rapporto delle velocità dipende da altre informazioni

2) Un condensatore tra le cui armature è presente il vuoto è caricato con una carica Q e poi isolato. Inserendo un dielettrico ($\varepsilon_r > 1$),
(a) la differenza di potenziale tra le armature aumenta
(b) la differenza di potenziale tra le armature diminuisce
(c) la carica aumenta
(d) la carica diminuisce
(e) non cambia nessun parametro

3) Un punto materiale, appoggiato su un piano orizzontale privo di attrito, è legato a una corda, incernierata a un punto del piano e descrive attorno a esso un moto circolare uniforme. L'energia cinetica del punto non varia perché la forza che agisce sul punto materiale:
(a) è conservativa
(b) è nulla
(c) è ortogonale alla traiettoria
(d) la forza centripeta è annullata dalla forza centrifuga
(e) nessuna delle risposte precedenti

4) Una carica puntiforme +Q si trova al centro di una sfera metallica cava. La sfera è carica con una carica totale -Q. Nella regione posta tra la carica puntiforme e l'interno del guscio sferico, quale delle seguenti affermazioni è vera?
(a) il campo elettrico è quello dovuto alla carica puntiforme, e diretto verso l'esterno
(b) il campo elettrico è zero
(c) il campo elettrico risulta doppio di quello dovuto alla carica puntiforme
(d) il campo elettrico è maggiore di quello della carica puntiforme, ma non il doppio

5) Viaggiate per 4 km a 30 km/h e poi per altri 4 km a 50 km/h. Quale sarà la vostra velocità scalare media per l'intero viaggio di 8 km?
(a) Più grande di 40 km/h
(b) Uguale a 40 km/h
(c) Minore di 40 km/h
(d) Mancano delle informazioni

6) Quando in un circuito RC in cui è presente una f.e.m. costante viene caricato il condensatore, la corrente che scorre attraverso la resistenza è
(a) crescente
(b) decrescente
(c) costante
(d) zero

7) Due oggetti sono lasciati cadere da un ponte a un intervallo di un secondo l'uno dall'altro. Mentre cadono, la distanza tra loro
(a) prima diminuisce poi rimane costante
(b) prima aumenta poi rimane costante
(c) diminuisce
(d) rimane costante
(e) aumenta

8) Un protone entra in un campo magnetico uniforme e perpendicolare alla sua velocità. Che succede all'energia cinetica del protone?
(a) aumenta
(b) diminuisce
(c) resta la stessa
(d) dipende dalla direzione della velocità
(e) dipende dalla direzione del campo magnetico

Risposte ai quesiti

1) Consideriamo la terza legge di Keplero, che applicheremo al moto dei satelliti della terra:

$$\frac{T^2}{R^3} = \text{cost}\,.$$

Quindi tutti i corpi in orbita circolare con un dato raggio impiegano lo stesso tempo a compiere una rivoluzione, dunque si muovono con la stessa velocità e la risposta corretta è la (b).

2) La capacità di un condensatore è direttamente proporzionale alla costante dielettrica del mezzo isolante impiegato, per esempio per un condensatore a facce piane e parallele si scrive

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d} \qquad \big(A \text{ area delle armature, } d \text{ distanza tra le armature}\big)$$

Quindi, inserendo il dielettrico la capacità aumenta $\left(\varepsilon_r > 1\right)$. Dal momento che il condensatore è isolato, la carica Q sulle armature non varia. Data la definizione di capacità

$$C = \frac{Q}{V} \implies V = \frac{Q}{C}$$

concludiamo che ad un aumento della capacità del condensatore a carica costante corrisponde una diminuzione della differenza di potenziale tra le armature, e la risposta corretta è la (b).

3) Il corpo è mantenuto sulla traiettoria circolare dalla forza centripeta, in questo caso dovuta alla tensione della fune. La forza centripeta non è nulla (altrimenti non si avrebbe moto circolare), ma non fa lavoro in quanto sempre perpendicolare alla traiettoria (forza radiale per traiettoria circolare): infatti il lavoro $\mathscr{L} = \overrightarrow{F} \cdot \mathrm{d}\vec{s}$ è sempre nullo se la forza $\overrightarrow{F}$ e lo spostamento $\mathrm{d}\vec{s}$ sono tra loro perpendicolari. La risposta giusta è quindi la (c).

4) In base alla legge di Gauss, il flusso del campo attraverso una superficie chiusa è determinato unicamente dalla carica racchiusa *dentro* tale superficie. Possiamo quindi immaginare come superficie gaussiana una sfera centrata sulla carica puntiforme e di raggio minore di quello della superficie interna del guscio sferico, concludendo che il campo presente è quello determinato dalla carica puntiforme - la quale, essendo positiva, produce un verso uscente per il campo. La risposta corretta è la (a).

5) Possiamo procedere a calcolare la velocità media. I tempi Δt_1 e Δt_2 richiesti dal primo e dal secondo tratto rispettivamente saranno

$$\Delta t_1 = \frac{4\ \text{km}}{30\ \text{km/h}} = \frac{2}{15}\ \text{h} \qquad\qquad \Delta t_2 = \frac{4\ \text{km}}{50\ \text{km/h}} = \frac{2}{25}\ \text{h}$$

Nel tempo totale $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$ sono percorsi 8 km, quindi la velocità media

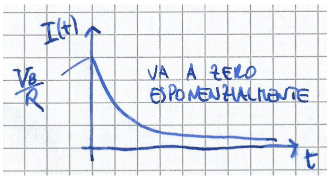
$$v_m = \frac{8\ \text{km}}{16/75\ \text{h}} = \frac{75}{2}\ \text{km/h} = 37.5\ \text{km/h}$$

La risposta corretta è quindi la (c).

6) La tipica legge per la carica di un condensatore di capacità C in serie con una resistenza R e in presenza di una f.e.m.V_B si scrive

$$I(t) = \frac{V_B}{R}\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

quindi la risposta corretta è la (b).



7) È per lo più evidente che la distanza tra i due corpi aumenterà; dal momento in cui il secondo corpo è lasciato cadere abbiamo due moti uniformemente accelerati che differiscono solo per la velocità "iniziale" (nell'istante in cui parte il secondo corpo) del corpo lasciato cadere per primo, il quale continua ad avere questa velocità relativa al primo e quindi ad allontanarsi sempre più. Ad ogni modo diamone dimostrazione. Descriviamo il moto con un asse y rivolto verso l'alto il cui zero si trovi alla posizione iniziale dei due corpi. Per entrambi si ha una accelerazione $-g$. Sia il primo corpo lasciato cadere all'istante $t_1 = 0$ e il secondo corpo all'istante $t_2 = 1$ s. Le leggi orarie saranno

$$y_1(t) = -\frac{1}{2}gt^2 \ (t > 0) \qquad\qquad y_2(t) = -\frac{1}{2}g\left(t - t_2\right)^2 \ (t > t_2)$$

La distanza tra i corpi $\Delta y = y_2 - y_1$ quindi

$$\Delta y(t) = -\frac{1}{2}g\left(t - t_2\right)^2 + \frac{1}{2}gt^2 = \left(-\frac{1}{2}gt_2^2\right) + \left(gt_2\right)t \ (t > t_2)$$

cioè la distanza, inizialmente $(t = t_2)$ pari a $\Delta y(t_2) = \frac{1}{2}gt_2^2$, cresce linearmente con il tempo e la risposta corretta è la (e).

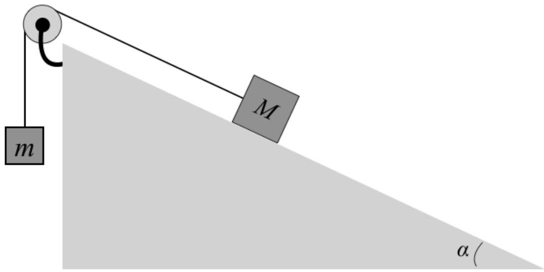
8) In un campo magnetico il protone $\left(q = e\right)$ è soggetto alla forza di Lorentz

$$\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B}$$

La forza di Lorentz, per le caratteristiche del prodotto vettoriale, è quindi sempre perpendicolare alla velocità, di conseguenza non fa lavoro. Se non ci sono forze che fanno lavoro sul corpo, per il teorema dell'energia cinetica $\mathscr{L}_{ext} = \Delta K$ l'energia cinetica non varia, quindi la risposta corretta è la (c).

Esercizio 1

Un blocco di massa M=28.2 kg è appoggiato su un piano inclinato di α=30.0° rispetto all'orizzontale ed è collegato tramite una fune inestensibile e di massa trascurabile che sale parallela al piano fino ad una carrucola, di massa trascurabile e priva di attrito; oltrepassata la carrucola, la fune scende verticalmente ed è agganciata ad un blocco di massa m=3.45 kg. Calcolare



1) il minimo coefficiente di attrito statico tra il piano inclinato e il blocco di massa M necessario affinché i blocchi restino in quiete, e la tensione della fune in questo caso;
2) l'accelerazione dei blocchi nel caso in cui tra il piano inclinato e il blocco di massa M non ci sia alcun attrito, e la tensione della fune in questo caso;
3) il lavoro complessivo fatto dalla forza peso nel caso 2) se il sistema viene lasciato libero di muoversi per un tempo t'=2.33 s.

Soluzione

1) Se il sistema è in quiete, analizzando la situazione del blocco di massa m risulta chiaro come la tensione della fune debba essere uguale, in modulo, al peso di tale blocco. Tale tensione, propagata invariata lungo la fune, contribuisce, assieme alla forza di attrito statico, ad impedire al blocco di massa M di scivolare in conseguenza della componente parallela al piano della forza peso. In formule, e considerando per il corpo m la direzione verticale con segno positivo verso l'alto, e per il corpo M la direzione paralella la piano inclinato con segno positivo verso la salita:

$$\begin{cases} |\vec{T}| - mg = T - mg = 0 \\ T + F_a - Mg\sin\alpha = 0 \end{cases}$$

da cui si ricava immediatamente che $T = mg \simeq 33.8$ N e che la forza di attrito presente nel caso statico:

$$F_a = g(M\sin\alpha - m)$$

Ricordiamo che il coefficiente di attrito statico consente di calcolare la *massima* forza di attrito statico che può essere generata; quindi il minimo coefficiente di attrito necessario sarà quello in grado di generare una forza di attrito massima pari a quella appena calcolata:

$$F_a^{max} = \mu_s^{min} N = \mu_s^{min} Mg\cos\alpha = F_a = g(M\sin\alpha - m)$$

da cui si ricava immediatamente

$$\mu_s^{min} = \frac{M\sin\alpha - m}{M\cos\alpha} \simeq 0.436$$

2) In questo caso è presente una accelerazione, uguale in modulo per i due corpi grazie alla presenza della fune inestensibile. La tensione della fune è comunque uguale in corrispondenza di ciascun corpo, dato che la carrucola non possiede inerzia né produce attriti. Possiamo quindi scrivere la seconda legge di Newton per ciascun corpo, considerando la direzione verticale per il corpo di massa *m* e la direzione parallela al piano inclinato per il corpo di massa *M*, con i segni individuati come in precedenza:

$$\begin{cases} \sum F_m = T - mg = m a_m = m a \\ \sum F_M = T - Mg \sin\alpha = Ma_M = -Ma_m = -Ma \end{cases}$$

È immediato ricavare accelerazione e tensione da questo sistema:

$$\begin{cases} a = \frac{g(M\sin\alpha - m)}{m+M} \simeq 3.30 \text{ m/s}^2 \\ T = m(a+g) \simeq 45.2 \text{ N} \end{cases}$$

notando che un'accelerazione positiva, in base alla scelta dei segni degli assi di riferimento utilizzati, corrisponde alla salita del corpo *m* e alla discesa del corpo *M*.

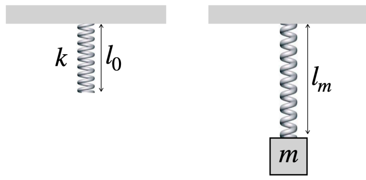
3) Avendo ricavato l'accelerazione, si ricava lo spostamento che avviene in un intervallo di tempo *t'*:

$$S = \frac{1}{2} a t'^2$$

Possiamo calcolare il lavoro fatto dalla forza peso come l'opposto della variazione dell'energia potenziale gravitazionale del sistema, considerando che se *m* **sale** di *S*, *M* **scende** di (*S* sin*α*):

$$L^{peso} = -\Delta U^{peso} = -(mgS - MgS\sin\alpha) = gS(M\sin\alpha - m) = \frac{g}{2} a t'^2 (M\sin\alpha - m) \simeq 936 \text{ J}$$

Esercizio 2



Una molla di costante elastica $k = 12.3$ N/m e lunghezza a riposo $l_0 = 25.0$ cm è appesa verticalmente al soffitto, e le viene appeso un corpo di massa $m = 250$ g. Si trovi:

1) la lunghezza l_m di equilibrio della molla con il corpo appeso.

Viene prodotto un moto di oscillazione, ponendo il corpo in modo che la molla abbia lunghezza pari alla lunghezza a riposo per poi lasciarlo andare da fermo. Si trovi:

2) il periodo T delle oscillazioni del sistema;
3) la velocità v_m del corpo quando passa per la prima volta a distanza l_m dal soffitto.

Soluzione

1) La lunghezza di equilibrio quando il corpo è appeso è determinata dall'equilibrio delle forze agenti sul corpo nella direzione verticale: forza elastica dovuta alla molla e forza peso agente sul corpo. Poniamo un asse y diretto verticalmente verso l'alto,

$$\sum F_y = F_k - mg = k(l_m - l_0) - mg = 0$$

da cui ricaviamo che l'allungamento rispetto alla posizione di riposo vale $\Delta l = mg/k$ e la lunghezza della molla quando il corpo è in equilibrio vale

$$l_m = l_0 + \frac{mg}{k} \simeq 45 \text{ cm}$$

2) Le oscillazioni sono semplicemente di tipo armonico (vedi nota *a*) attorno alla nuova posizione di equilibrio, quindi la pulsazione vale

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad \Longrightarrow \qquad T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \simeq 0.90 \text{ s}$$

3) Per trovare la velocità del corpo possiamo usare la legge oraria del moto armonico appena descritto, oppure, forse ancora più semplicemente, la conservazione dell'energia meccanica, considerando lo stesso asse y utilizzato fino ad ora si ha che:

per l'istante iniziale $U_{k,i} = 0$, $U_{p,i} = 0$ e $K_i = 0$

per l'istante iniziale $U_{k,f} = \frac{1}{2}k\left(\Delta l\right)^2$, $U_{p,f} = -mg\Delta l$ e $K_f = \frac{1}{2}mv^2$

dove $\Delta l = \frac{mg}{k}$, da cui, trattandosi di sistema conservativo e imponendo quindi che $E = U + K$ sia costante, ricaviamo

$$0 + 0 + 0 = \frac{1}{2}k\left(\frac{mg}{k}\right)^2 - mg\frac{mg}{k} + \frac{1}{2}mv^2 \qquad \Longrightarrow$$

$$v = \pm g\sqrt{\frac{m}{k}} \simeq \pm 1.4 \text{ m/s}$$

e sceglieremo, dato che stiamo utilizzando un asse rivolto verso l'alto, la soluzione con il segno meno. Per una soluzione per mezzo della legge oraria, vedi nota *b*.

Nota a

In caso di dubbi, si può dimostrare che il periodo è lo stesso che si avrebbe per una oscillazione attorno alla posizione di riposo della molla con un semplice cambio di variabili applicato all'equazione differenziale che descrive il sistema. Poniamo $y = 0$ in corrispondenza della posizione di riposo della molla, così si ha

$$\sum F_y = -ky - mg = ma_y = m\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2} \qquad \Longrightarrow \qquad \frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2} = -\frac{k}{m}y - g$$

(dove giustamente quando il corpo scende, $y < 0$ e $F_k = -ky > 0$).

Ponendo $\Upsilon = y + \dfrac{mg}{k}$, si ha che

$$\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}\Upsilon}{\mathrm{d}t}, \frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2} = \frac{\mathrm{d}^2\Upsilon}{\mathrm{d}t^2}, \qquad \text{e che} \quad -\frac{k}{m}y - g = -\frac{k}{m}\Upsilon,$$

quindi l'equazione differenziale diventa

$$\frac{\mathrm{d}^2\Upsilon}{\mathrm{d}t^2} = -\frac{k}{m}\Upsilon$$

che è appunto un normale oscillatore armonico di pulsazione $\sqrt{\dfrac{k}{m}}$.

Nota b

Utilizzando invece la legge oraria del moto armonico, abbiamo la soluzione generale

$$\Upsilon(t) = A\cos(\omega t + \phi); \qquad \dot{\Upsilon}(t) = -A\omega\sin(\omega t + \phi)$$

Le condizioni iniziali sono ($y_0 = 0$, $\dot{y}_0 = 0$) che diventano ($\Upsilon_0 = \dfrac{mg}{k}$, $\dot{\Upsilon}_0 = 0$), quindi

$$\begin{cases} \frac{mg}{k} = A\cos(\phi) \\ 0 = -A\omega\sin(\phi) \end{cases} \qquad \text{da cui ricaviamo} \qquad \begin{cases} \phi = 0 \\ A = \frac{mg}{k} \end{cases}$$

quindi

$$\begin{cases} y(t) = \frac{mg}{k}\left(\cos(\sqrt{\frac{k}{m}}t) - 1\right) \\ \dot{y}(t) = -g\sqrt{\frac{m}{k}}\sin(\sqrt{\frac{k}{m}}t) \end{cases}$$

La posizione richiesta è $y_m = -\dfrac{mg}{k}$, quindi $\cos\left(\sqrt{\dfrac{k}{m}}t_m\right) = 0$, da cui $t_m = \dfrac{\pi}{2}\sqrt{\dfrac{m}{k}}$; sostituendo nella legge oraria della velocità, abbiamo

$$v = \dot{y}(t_m) = -g\sqrt{\frac{m}{k}}\sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{m}{k}}\right) = = -g\sqrt{\frac{m}{k}}$$

come ottenuto in precedenza.

Esercizio 3

Due piccole sfere conduttrici cariche di uguale raggio $R = 1.50$ cm sono poste con i centri a distanza $d = 22.0$ cm e si respingono con una forza di modulo $F = 3.50 \cdot 10^{-4}$ N (situazione iniziale). Le due sferette sono poste a contatto e poi rimesse nella posizione precedente, e si osserva che si respingono con una forza doppia (situazione finale). Si assumano positive le cariche delle sferette, calcolare:

1) il valore del potenziale elettrostatico nel punto medio tra le due sfere nella situazione finale;
2) le due cariche iniziali Q_1 e Q_2 di ciascuna sfera;
3) il valore del campo elettrico iniziale E_i nel punto medio tra le due sfere, e il suo valore finale E_f.

Soluzione

1) Una volta poste a contatto le due sfere, essendo esse di materiale conduttore si portano allo stesso potenziale; ed essendo esse identiche, ciò significa che la carica si distribuisce in parti uguali sulle due sfere. Detta Q la carica finale presente su ciascuna sfera, la forza di Coulomb si scrive

$$2F = \frac{Q^2}{4\pi\varepsilon_0 d^2} \implies \qquad Q = 2d\sqrt{2\pi\varepsilon_0 F} \simeq 61.4 \text{ nC}$$

Il potenziale finale nel punto medio tra le due sfere sarà quindi

$$V_f = 2V_{f,una\ sfera} = 2\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{d/2} = \frac{Q}{\pi\varepsilon_0 d} = 2\sqrt{\frac{2F}{\pi\varepsilon_0}} \simeq 1.00 \text{ kV}$$

2) La carica totale disponibile è quindi $2Q$, ed è la stessa carica totale disponibile inizialmente. Quindi, detta Q_1 la carica iniziale sulla prima sfera, si avrà che la carica iniziale sulla seconda sfera vale $Q_2 = 2Q - Q_1$. La forza di Coulomb tra le due cariche Q_1 e Q_2 risulta

$$F = \frac{Q_1(2Q - Q_1)}{4\pi\varepsilon_0 d^2}$$

in cui convenientemente sostituiamo $4\pi\varepsilon_0 d^2 = \dfrac{Q^2}{2F}$ ottenendo

$$Q_1 = \frac{2Q \pm \sqrt{4Q^2 - 2Q^2}}{2}$$

ovvero

$$Q_1 = Q\left(1 \pm \frac{\sqrt{2}}{2}\right) \simeq 105 \text{ nC}; \quad 18.0 \text{ nC}$$

Le due radici corrispondono ai due valori richiesti; i ruoli di Q_1 e Q_2 sono del tutto intercambiabili.

3) Il valore finale sarà ovviamente zero, dato che il campo generato da ciascuna sferetta nel punto medio ha stesso modulo e direzione ma verso opposto.

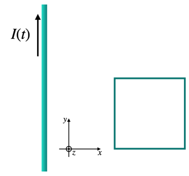
$$E_f = 0$$

All'inizio invece, avremo

$$E_i = \frac{Q_1}{4\pi\varepsilon_0 d^2/4} - \frac{Q_2}{4\pi\varepsilon_0 d^2/4} = \frac{1}{\pi\varepsilon_0 d^2}\left(Q_1 - Q_2\right) = \frac{4}{d}\sqrt{\frac{F}{\pi\varepsilon_0}} \simeq 6.54 \cdot 10^4 \text{ N/C}$$

Esercizio 4

Una spira quadrata di lato $a = 10$ cm e resistenza complessiva $R = 1.60$ mΩ è posta con due suoi lati paralleli ad un sottile filo rettilineo e molto lungo, posto sullo stesso piano della spira ad una distanza $d = a$ dal lato della spira più vicino. Si veda la figura.



Nel filo scorre una corrente dipendente dal tempo secondo la funzione $I(t) = I_0 + Ct^2$, con $I_0 = 10.0$ A e $C = 5.00$ A/s^2, e verso come indicato in figura. Si calcoli:

1) il modulo B_0 del campo magnetico presente in corrispondenza del lato della spira più vicino al filo rettilineo all'istante $t_0 = 1.00$ s, e la sua direzione e verso rispetto al sistema di riferimento indicato in figura;
2) il flusso del campo magnetico attraverso la spira all'istante $t_1 = 12.0$ s (*);
3) la corrente indotta nella spira nell'istante $t_2 = 25.0$ s, specificando se tale corrente scorra in senso orario o antiorario (sempre in riferimento alla figura data).

(*) si noti che $\int_a^b \frac{\mathrm{d}x}{x} = \ln\left(\frac{b}{a}\right)$

Soluzione

1) La legge di Biot-Savart per un filo rettilineo ci dice che l'intensità del campo magnetico prodotto da un sottile filo di lunghezza infinita dipende dalla distanza r dallo stesso, secondo la formula

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Quindi il modulo del campo magnetico richiesto sarà

$$B_0 = \frac{\mu_0}{2\pi a}\left(I_0 + Ct_0^2\right) = \frac{2 \cdot 10^{-7}}{a}\left(I_0 + Ct_0^2\right) \simeq 30.0\ \mu\mathrm{T}$$

Utilizzando la regola della mano destra, vediamo come le linee di campo siano entranti nella pagina in corrispondenza della spira; quindi possiamo scrivere

$$\vec{B}_0 = -B_0\hat{k}$$

2) Consideriamo, per il calcolo del flusso, l'area quadrata della spira come composta da rettangoli di altezza a e base dx; ciascuno di questi rettangoli è in tutti i punti alla stessa distanza (chiamiamola x) dal filo rettilineo, quindi per ciascun rettangolino il flusso vale

$$\mathrm{d}\Phi = B\mathrm{d}A = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}a\,\mathrm{d}x \qquad \text{(si noti che } \vec{B}\cdot\mathrm{d}\vec{A} = B\mathrm{d}A \text{ in quanto } \vec{B} \text{ e } \mathrm{d}\vec{A} \text{ sono paralleli)}$$

Per trovare il flusso totale integriamo da $x = a$ ad $x = 2a$:

$$\Phi(t) = \int \mathrm{d}\Phi = \int_a^{2a} \frac{\mu_0 a I(t)}{2\pi}\frac{\mathrm{d}x}{x} = \frac{\mu_0 a I(t)}{2\pi}\ln 2$$

ricordando che I è funzione del tempo. Sostituendo il valore di $I(t_1)$ otteniamo il flusso richiesto

$$\Phi(t_1) = \frac{\mu_0 a}{2\pi}\left(I_0 + Ct_1^2\right)\ln 2 \simeq 1.01 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{Tm}^2$$

3) Ricordando che la forza elettromotrice indotta è pari a meno la derivata rispetto al tempo del flusso del campo magnetico, utilizziamo l'espressione precedente per il flusso attraverso la spira, sostituendo ad $I(t)$ la sua derivata rispetto al tempo (tutti gli altri termini sono costanti):

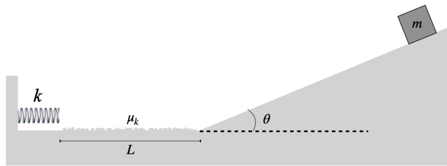
$$|\mathscr{E}(t)| = \frac{\mu_0 a C t}{2\pi}\ln 2;\ \text{quindi nell'istante richiesto } t_2 \text{ la corrente vale} \qquad I_{ind}(t_2) = \frac{|\mathscr{E}(t_2)|}{R} \simeq 1.08\ \mathrm{mA}$$

Il verso di percorrenza della corrente lo possiamo valutare considerando che abbiamo un campo entrante nella pagina (diretto come $-\hat{k}$) il cui flusso aumenta; per la legge di Lenz il campo generato dalla corrente indotta nella spira è tale da opporsi a tale variazione di flusso, deve essere quindi un campo uscente dalla pagina (diretto come $+\hat{k}$), quindi la corrente circola nella spira in senso antiorario.

Esercizi

Esercizio 1
Un'automobile si muove su una pista circolare piana di raggio $R = 50$ m. Partendo da ferma, si muove con accelerazione costante per $N = 3$ giri, fino a raggiungere la velocità $v_1 = 72.0$ km/h. Si trovi
1) l'accelerazione a dell'auto.
L'auto prosegue con velocità (scalare) v_1 costante. All'interno dell'auto, allo specchietto è appeso con una cordicella un pupazzetto. Si trovi:
2) l'inclinazione rispetto alla verticale della cordicella.
Ad un certo punto inizia a piovere e l'attrito tra la strada e gli pneumatici diminuisce. Si trovi:
3) il minimo coefficiente di attrito statico necessario tra strada e pneumatici affinché le ruote non slittino.

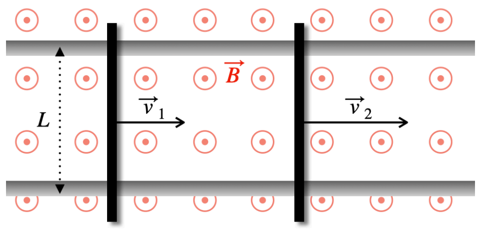
Esercizio 2
Un corpo di massa $m = 1.50$ kg è lasciato scivolare verso il basso, partendo da fermo, su un piano privo di attrito inclinato di $\theta = 30^o$ rispetto all'orizzontale. Il corpo poi giunge ad un tratto orizzontale, sempre privo di attrito, di lunghezza L e al termine del quale è rallentato comprimendo una molla, di costante elastica $k = 1230$ N/m, ancorata a un supporto fisso all'altra estremità. Si osserva che la molla raggiunge una compressione massima pari a $\Delta x = 10$ cm.



1) Quanta distanza *lungo il piano inclinato* ha percorso il corpo?
Successivamente, il tratto orizzontale è sostituito utilizzando un materiale che presenta un coefficiente di attrito dinamico $\mu_k = 0.100$. Si osserva che la molla ora raggiunge una compressione massima $\frac{3}{4}\Delta x$.
2) Qual è la lunghezza L del tratto orizzontale?
3) Qual è la massima lunghezza del tratto orizzontale oltre la quale il corpo non riesce a tornare indietro fino al piano inclinato, ma si ferma sul tratto orizzontale?

Esercizio 3 Due condensatori di capacità $C_1 = 10.0\ \mu$F e $C_2 = 20.0\ \mu$F sono collegati in serie. Il sistema viene caricato per mezzo di una differenza di potenziale $V_0 = 12.0$ V. Determinare:
1) la carica Q presente su ciascuno dei due condensatori;
2) la differenza di potenziale ai capi di ciascun condensatore (V_1, V_2).
Il generatore viene scollegato e i due condensatori, ancora carichi, sono posti in parallelo avendo cura di collegare insieme le armature aventi carica dello stesso segno. Determinare:
3) la nuova differenza di potenziale ai capi di ciascun condensatore V';
4) la nuova carica su ciascuno dei due condensatori (Q'_1, Q'_2).

Esercizio 4
Due barre conduttrici, ciascuna di resistenza R, appoggiano senza attrito su due binari orizzontali di resistenza trascurabile. La distanza tra i binari è $L = 40.0$ cm e il sistema è immerso in un campo magnetico uniforme $B = 1.20$ T, perpendicolare ai binari ed alle barre, uscente dal foglio. Le barre si muovono con velocità di modulo $v_1 = 10.0$ m/s e $v_2 = v_1/2$. Calcolare:



1) La resistenza di ciascuna barra, sapendo che nel circuito è indotta una corrente $I = 0.240$ A;
2) La forza che agisce su ciascuna barra;
3) La carica che ha percorso il circuito in un intervallo di tempo $\Delta t = 10.0$ s.

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 8 Febbraio 2024 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ____________________________ Nome:________________________ Matr.:____________________

Domande aperte. Si dia risposta, su foglio protocollo (1 facciata massimo), ad una tra le seguenti domande:

1) Si illustri la legge di Gauss, discutendone il significato e facendo un esempio di applicazione.

2) Si mostri come ricavare il periodo di oscillazione di un pendolo semplice.

3) Si introducano le due leggi di Kirchhoff, illustrandone poi il significato in termini delle proprietà del campo elettrico e della carica elettrica.

Quesiti a scelta multipla:

1) Quale di queste grandezze fisiche è un vettore:
(a) lavoro
(b) forza
(c) massa
(d) energia cinetica
(e) nessuna delle risposte precedenti

2) Quando uno sciatore scende lungo la pista in discesa, la forza normale esercitata sullo sciatore dal suolo è
(a) uguale al peso dello sciatore
(b) maggiore del peso dello sciatore
(c) minore del peso dello sciatore

3) Una palla viene lanciata verso l'alto. In che punto possiede maggiore energia? (si trascuri la resistenza dell'aria)
(a) nel punto più alto
(b) quando viene lanciata
(c) in tutti i punti possiede la stessa energia
(d) appena prima che tocchi il suolo
(e) quando la palla è a metà strada rispetto al punto più alto

4) Un filo porta una corrente lontano da voi. Come puntano le linee di forza del campo magnetico prodotto dal filo?
(a) parallelamente al filo, nel verso della corrente
(b) parallelamente al filo, nel verso opposto a quello della corrente
(c) verso il filo
(d) lontano dal filo
(e) compiono circonferenze in senso orario attorno al filo
(f) compiono circonferenze in senso antiorario attorno al filo

5) **Un protone e un elettrone sono posti a riposo a una certa distanza tra loro, poi sono lasciati liberi di muoversi. Dove si incontreranno?**
(a) a metà strada
(b) più vicino alla posizione iniziale dell'elettrone
(c) più vicino alla posizione iniziale del protone
(d) non si incontrano

6) Quale delle seguenti grandezze NON influisce sulla capacità di un condensatore a facce piane e parallele?
(a) l'area delle piastre
(b) la separazione delle piastre
(c) il materiale tra le piastre
(d) l'energia immagazzinata

7) Secondo la terza legge di Keplero, se conosciamo il rapporto R^3/T^2 per una delle lune di Giove, questo rapporto risulterà lo stesso per
(a) la Luna in orbita intorno alla Terra
(b) qualsiasi luna in orbita intorno a Giove
(c) l'orbita di Giove intorno al sole
(d) tutti e tre i precedenti casi
(e) nessuno dei casi precedenti

8) Una spira circolare si muove senza ruotare attraverso un campo magnetico uniforme e costante. La corrente indotta nella spira sarà
(a) in senso orario (b) in senso antiorario
(c) zero
(d) bisogna conoscere l'orientamento della spira rispetto al campo magnetico

Risposte ai quesiti a scelta multipla

1) L'unica grandezza tra quelle elencate che è dotata di direzione e verso è la forza. La risposta giusta è la (b).
2) Lo sciatore è soggetto solo alla forza peso e alla forza normale; la prima è sempre diretta verso il basso, la seconda è sempre perpendicolare alla pista. Quindi la forza normale sarà uguale e contraria alla componente della forza peso che è perpendicolare alla pista, che è ovviamente inferiore alla forza peso totale. La risposta giusta è quindi la (c).
3) Trascurando l'attrito, la palla è soggetta alla sola forza peso, che è conservativa. Quindi l'energia della palla è costante durante tutto il suo moto, avviene una trasformazione tra energia cinetica ed energia potenziale gravitazionale ma la loro somma è sempre la stessa, quindi la risposta giusta è la (c).
4) Il campo magnetico è formato da linee chiuse circolari; il verso è determinato dalla regola della mano destra, ad esempio ponendo il pollice nella direzione della corrente, il verso con cui le altre dita della mano destra si chiudono indica il verso del campo magnetico. Vedendo la corrente allontanarsi, le linee del campo hanno verso orario e la risposta giusta è la (e).
5) Tra protone ed elettrone è presente una forza elettrostatica attrattiva, quindi iniziano ad avvicinarsi a velocità crescente. Dato che la forza agente su ciascuno è identica in modulo, l'elettrone, che ha una massa molto minore, avrà un'accelerazione molto maggiore del protone. Quindi si incontreranno in prossimità della posizione iniziale del protone, come nella risposta (c).
6) $C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d}$ quindi l'energia immagazzinata non determina la capacità, la risposta giusta è la (d).
7) La terza legge di Keplero riguarda corpi diversi in orbita intorno ad uno stesso oggetto, come nel caso dei pianeti e del sole. Quindi la risposta giusta è la (b).
8) Se non variano né l'area della spira, né l'intensità del campo magnetico, né l'angolo tra i due, non c'è mai variazione di flusso, e quindi non c'è forza elettromotrice indotta. La risposta giusta è quindi la (c).

Esercizio 1 Un'automobile si muove su una pista circolare piana di raggio $R = 50$ m. Partendo da ferma, si muove con accelerazione costante per $N = 3$ giri, fino a raggiungere la velocità $v_1 = 72.0$ km/h. Si trovi

1) l'accelerazione a dell'auto.

L'auto prosegue con velocità (scalare) v_1 costante. All'interno dell'auto, allo specchietto è appeso con una cordicella un pupazzetto. Si trovi:

2) l'inclinazione rispetto alla verticale della cordicella.

Ad un certo punto inizia a piovere e l'attrito tra la strada e gli pneumatici diminuisce. Si trovi:

3) il minimo coefficiente di attrito statico necessario tra strada e pneumatici affinché le ruote non slittino.

1) Convertiamo v_1 in m/s: $v_1 = 20.0$ m/s. Per il moto uniformemente accelerato, con partenza da ferma ($v_0 = 0$), possiamo usare la relazione che lega la velocità raggiunta allo spazio percorso:

$$v_1^2 = 2a\Delta S$$

Nel nostro caso, $\Delta S = N2\pi R$; ricaviamo quindi

$$a = \frac{v_1^2}{4\pi NR} \simeq 0.212 \text{ m/s}^2$$

2) Durante il moto a velocità costante v_1, è presente un'accelerazione centripeta

$$a_c = \frac{v_1^2}{R}$$

Sul pupazzetto agisce la forza peso, diretta verso il basso, e la tensione della cordicella, inclinata di un angolo θ rispetto alla verticale. Tale tensione T ha quindi una componente orizzontale $T\sin\theta$ e una componente verticale $T\cos\theta$. Detta m la massa del pupazzetto, la somma forze nelle due direzioni quindi risulta

$$\begin{cases} \sum F_y = T\cos\theta - mg = 0 \\ \sum F_x = T\sin\theta = ma_c \end{cases}$$

Dividendo tra loro le due espressioni, otteniamo

$$\tan\theta = \frac{a_c}{g} = \frac{v_1^2}{gR} \quad \Longrightarrow \quad \theta = \arctan\left(\frac{v_1^2}{gR}\right) \simeq 39.2^{\text{o}}$$

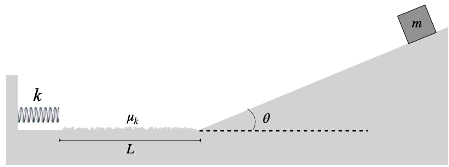
3) L'auto si mantiene sulla traiettoria circolare grazie alla forza centripeta prodotta dall'attrito statico delle ruote con la strada. Detta M la massa complessiva dell'automobile, tale forza di attrito ha un valore massimo

$$F_{s,max} = \mu_s N = \mu_s Mg$$

È quindi necessario che la forza centripeta effettivamente presente, pari a Ma_C, sia inferiore a tale valore. Quindi

$$Ma_c \leq \mu_s Mg \quad \Longrightarrow \quad \mu_s \geq \frac{a_c}{g} = \tan\theta = \frac{v_1^2}{gR} \simeq 0.815$$

Esercizio 2



Un corpo di massa $m = 1.50$ kg è lasciato scivolare verso il basso, partendo da fermo, su un piano privo di attrito inclinato di $\theta = 30^{\circ}$ rispetto all'orizzontale. Il corpo poi giunge ad un tratto orizzontale, sempre privo di attrito, di lunghezza L e al termine del quale è rallentato comprimendo una molla, di costante elastica $k = 1230$ N/m, ancorata a un supporto fisso all'altra estremità. Si osserva che la molla raggiunge una compressione massima pari a $\Delta x = 10$ cm.

1) Quanta distanza *lungo il piano inclinato* ha percorso il corpo?

Successivamente, il tratto orizzontale è sostituito utilizzando un materiale che presente un coefficiente di attrito dinamico $\mu_k = 0.100$. Si osserva che la molla ora raggiunge una compressione massima $\frac{3}{4}\Delta x$.

2) Qual è la lunghezza L del tratto orizzontale?

3) Qual è la massima lunghezza del tratto orizzontale oltre la quale il corpo non riesce a tornare indietro fino al piano inclinato, ma si ferma sul tratto orizzontale?

1) Detta h l'altezza iniziale del corpo rispetto al piano orizzontale, nel caso privo di attrito si ha la conservazione dell'energia che si può scrivere

$$E_i = U_i + 0 = mgh \qquad\qquad E_f = \frac{1}{2}k\Delta x^2 + 0$$

cioè saranno uguali l'energia potenziale gravitazionale iniziale e l'energia potenziale elastica massima, in quanto in entrambi gli istanti il corpo è fermo e quindi $K = 0$. Dunque

$$h = \frac{k\Delta x^2}{2mg}$$

La strada S percorsa *lungo* il piano è tale che $h = S\sin\theta$, quindi

$$S = \frac{k\Delta x^2}{2mg\sin\theta} \simeq 84 \text{ cm}$$

2) Ricordiamo che energia potenziale elastica massima nel caso senza attrito è pari all'energia inizialmente disponibile al corpo sotto forma di energia potenziale gravitazionale:

$$E_k = \frac{1}{2}k\Delta x^2$$

mentre nel caso con attrito l'energia potenziale elastica massima è

$$E_k' = \frac{1}{2}k\left(\frac{3}{4}\Delta x\right)^2 = \frac{9}{16}E_k$$

e la differenza tra queste due energie è pari al lavoro (negativo) fatto dall'attrito:

$$E_k' - E_k = -\frac{7}{16}E_k = -\frac{7}{32}k\Delta x^2; \quad \mathscr{L}_{att} = -\mu_k NL = -\mu_k mgL$$

e si ricava quindi

$$L = \frac{7k\Delta x^2}{32\mu_k mg} \simeq 1.83 \text{ m}$$

3) Quando tutta l'energia disponibile è consumata strisciando due volte sul tratto pianeggiante:

$$2\mu_k mgL' = \frac{1}{2}k\Delta x^2 \implies L' = \frac{k\Delta x^2}{4\mu_k mg} \simeq 2.09 \text{ m}$$

Esercizio 3 Due condensatori di capacità $C_1 = 10.0\ \mu\text{F}$ e $C_2 = 20.0\ \mu\text{F}$ sono collegati in serie. Il sistema viene caricato per mezzo di una differenza di potenziale $V_0 = 12.0$ V. Determinare:

1) la carica Q presente su ciascuno dei due condensatori;
2) la differenza di potenziale ai capi di ciascun condensatore (V_1, V_2).

Il generatore viene scollegato e i due condensatori, ancora carichi, sono posti in parallelo avendo cura di collegare insieme le armature aventi carica dello stesso segno. Determinare:

3) la nuova differenza di potenziale ai capi di ciascun condensatore V';
4) la nuova carica su ciascuno dei due condensatori (Q_1', Q_2').

1) I condensatori in serie hanno una capacità equivalente

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Soggetta ad una differenza di potenziale V_0, la carica del condensatore equivalente, che è pari anche alle cariche Q_1 e Q_2 su ciascun condensatore, vale

$$Q_1 = Q_2 = Q = C V_0 = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} V_0 \simeq 80\ \mu\text{C}$$

2) La differenza di potenziale ai capi di ciascun condensatore è

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{C_2}{C_1 + C_2} V_0 \simeq 8.0\ \text{V} \qquad \text{e} \qquad V_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} V_0 \simeq 4.0\ \text{V}$$

Si verifica che si ha, correttamente, $V_1 + V_2 = V_0$.

3) Una volta posti in parallelo, il condensatore equivalente ha una capacità $C' = C_1 + C_2$ e la carica presente è pari a $Q' = 2Q$. La differenza di potenziale ai capi dei due condensatori è quindi

$$V' = V_1' = V_2' = \frac{2Q}{C'} = \frac{2C_1 C_2}{\left(C_1 + C_2\right)^2} V_0 \simeq 5.33\ \text{V}$$

4) La carica presente su ciascun condensatore è tale da ottenere $V_1' = V_2' = V'$, quindi

$$Q_1' = C_1 V' = \frac{2C_1^2 C_2}{\left(C_1 + C_2\right)^2} V_0 \simeq 53.3\ \mu\text{C}$$

$$Q_2' = C_2 V' = \frac{2C_1 C_2^2}{\left(C_1 + C_2\right)^2} V_0 \simeq 107\ \mu\text{C}$$

Esercizio 4

Due barre conduttrici, ciascuna di resistenza R, appoggiano senza attrito su due binari orizzontali di resistenza trascurabile. La distanza tra i binari è $L = 40.0$ cm e il sistema è immerso in un campo magnetico uniforme $B = 1.20$ T, perpendicolare ai binari ed alle barre, uscente dal foglio. Le barre si muovono con velocità di modulo $v_1 = 10.0$ m/s e $v_2 = v_1/2$. Calcolare:

1) La resistenza di ciascuna barra, sapendo che nel circuito è indotta una corrente $I = 0.240$ A;
2) La forza che agisce su ciascuna barra;
3) La carica che ha percorso il circuito in un intervallo di tempo $\Delta t = 10.0$ s

1) L'area compresa nel circuito si può scrivere come

$$A = L(x_2 - x_1)$$

quindi la derivata rispetto al tempo del flusso del campo magnetico

$$\frac{d\Phi}{dt} = BL(v_2 - v_1)$$

pari alla forza elettromotrice indotta, ovvero la corrente circolante moltiplicata per la resistenza, pari a $2R$:

$$2RI = BL(v_2 - v_1) \implies R = \frac{BL}{2I}(v_2 - v_1) \simeq 5.0\ \Omega$$

2) Le dure barre sono percorse da corrente con stesso modulo e verso opposto, quindi le due forze avranno stesso modulo e verso opposto (frenare la barretta più veloce ed accelerare la barretta più lenta, per opporsi alla variazione del flusso), in direzione dei binari. Detto positivo il verso verso destra, avremo

$$F_1 = -IBL \simeq -115 \text{ mN}$$

$$F_2 = IBL \simeq 115 \text{ mN}$$

3) La carica che ha percorso il circuito è semplicemente

$$Q = I\Delta t \simeq 2.4 \text{ C}$$

position resolution from one SL: $\sigma(x) \simeq 150\ \mu\text{m}$
distance between two SLs: $d = 25\ \text{cm}$

$$\Longrightarrow \text{direction resolution } \sigma(\psi) \simeq 0.85\ \text{mrad}$$

direction resolution $\sigma(\psi) \simeq 0.85\ \text{mrad}$
magnetic field strength $B \simeq 1.75\ \text{T}$
magnetic field length $L \simeq 1.6\ \text{m}$

$$\Longrightarrow \quad \text{momentum resolution } \frac{\sigma(p)}{p} \simeq \left(1 \times 10^{-3}\right) p\ [\text{GeV}]$$

NB: $L \simeq 1.6$ m is iron. Multiple coulomb scattering amounts to $\left|\frac{\sigma(p)}{p}\right|_{mcs} \approx 16\,\%$

Uno slittino di massa m scivola con attrito trascurabile lungo il percorso indicato in figura: discesa di 45 gradi, una cunetta di raggio R seguita da un dosso di raggio R. Lo slittino parte da fermo da una altezza y_0 rispetto al fondo della prima cunetta.

1) Quanto vale il modulo della forza normale $\vec{N}_0$esercitata dalla pista sullo slittino nel tratto piano della discesa?
2) Quanto vale il modulo della forza normale $\vec{N}_1$ esercitata dalla pista sullo slittino nel fondo della cunetta?
3) Quanto vale il modulo della forza normale $\vec{N}_2$ esercitata dalla pista sullo slittino in cima al dosso?
4) Qual è l'altezza minima di partenza y_1 affinché lo slittino si stacchi dalla pista quando passa dalla cima del dosso?
5) Qual è l'altezza minima di partenza affinché lo slittino riesca a superare il dosso?

1) Diagramma delle forze: forza peso, forza normale. La componente perpendicolare alla pista della forza peso è uguale e opposta alla forza normale. Quindi

$$|\vec{N}_0| = mg\cos\theta$$

2) Ricaviamo la velocità v_1 dello slittino al fondo della cunetta utilizzando la conservazione dell'energia meccanica:

$$mgy_0 = \frac{1}{2}mv_1^2 \qquad \Longrightarrow \qquad v_1 = \sqrt{2gy_0}$$

In quel punto lo slittino sta facendo un moto circolare di raggio R, con velocità v_1; è quindi presente un'accelerazione centripeta di modulo $a_{1c} = \frac{v_1^2}{R} = \frac{2gy_0}{R}$, diretta verso l'alto. Le forze agenti sono la forza peso verso il basso e la forza normale verso l'alto. Quindi abbiamo la seconda legge di Newton:

$$\sum F_y = N_1 - mg = ma_c = \frac{2mgy_0}{R}$$

dalla quale ricaviamo

$$N_1 = mg\left(1 + \frac{2y_0}{R}\right)$$

3) In cima al dosso, la velocità v_2 sarà ricavabile sempre con la conservazione dell'energia

$$mgy_0 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgR \qquad \Longrightarrow \qquad v_2 = \sqrt{2g\left(y_0 - R\right)}$$

In quel punto lo slittino sta compiendo un moto circolare di raggio R, con velocità v_2; ma l'accelerazione centripeta presente, di modulo $a_{2c} = \frac{v_2^2}{R} = \frac{2g\left(y_0 - R\right)}{R} = \left(a_{1c} - 2g\right)$ è ora diretta verso il basso. Questa volta la seconda legge di Newton diventa

$$\sum F_y = N_2 - mg = -\,ma_{2c} = -\frac{2mg\left(y_0 - R\right)}{R}$$

da cui ricaviamo

$$N_2 = mg - \frac{2mgy_0}{R} + 2mg = mg\left(3 - \frac{2y_0}{R}\right)$$

4) Staccarsi dal dosso equivale al fatto che la forza normale N_2 si annulla. Quindi è sufficiente porre $N_2 = 0$ e ricavare la corrispondente quota di partenza:

$$0 = mg\left(3 - \frac{2y_1}{R}\right) \quad \Longrightarrow \quad y_1 = \frac{3}{2}R$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 3 Giugno 2024 - Prof. L. Guiducci

Esercizi

È richiesta la consegna dello svolgimento degli esercizi su foglio protocollo, siglato con i vostri Nome-Cognome-Matricola. Inoltre, riportare nella griglia sul retro di questa pagina i risultati numerici.

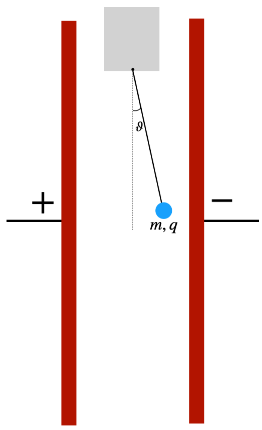
Esercizio 1

Una grande porta scorrevole, di lato orizzontale $L = 3.80$ m e massa $M = 150$ kg, è appesa ad una rotaia inclinata rispetto all'orizzontale di $\vartheta = 3.0^\circ$. Il carrello che consente alla porta di muoversi presenta un'attrito statico trascurabile, ma sviluppa un attrito dinamico funzione della velocità, secondo la legge $F_D = \beta v^2$ con $\beta = 45.0$ kg/m. In fase di chiusura, la porta, ferma e completamente aperta, viene sganciata. In prossimità della battuta è presente una molla che rallenta la porta fino alla quiete comprimendosi di $\Delta x = 3.5$ cm, posizione in cui si aggancia la serratura. Si calcoli:

1) la velocità massima v_{max} della porta durante la chiusura;
2) il lavoro $\mathscr{L}_{att}$ fatto dalla forza di attrito nel processo di chiusura della porta, e
3) la costante elastica k della molla di battuta.

Esercizio 2

Un piccolo oggetto di massa $m = 0.055$ g e carica $q = 1.58$ μC è appeso ad un filo ideale e posto tra le armature verticali di un condensatore piano. La differenza di potenziale tra le armature è $V = 480$ V. Si osserva che il filo forma un angolo $\theta = 10.0^\circ$ rispetto alla verticale: si calcoli

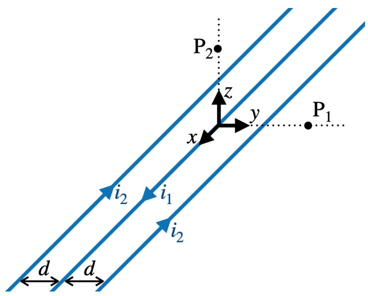


1) l'intensità E del campo elettrico;
2) la distanza d tra le armature;
3) la densità superficiale di carica σ presente sulle armature.

Scaricando completamente il condensatore su una resistenza, si osserva che questa genera una quantità di calore $U = 8.53$ nJ. Si calcoli

4) l'area A delle armature del condensatore.

Esercizio 3 Tre fili conduttori rettilinei paralleli e di lunghezza infinita giacciono sullo stesso piano xy, con il conduttore centrale che coincide con l'asse x. La distanza tra i conduttori contigui è $d = 10.0$ cm. Il conduttore centrale è percorso da una corrente costante $i_1 = 1.00$ A, nel verso delle x crescenti, mentre i due conduttori laterali sono percorsi ciascuno da una corrente $i_2 = \dfrac{5}{4} i_1$ nel verso opposto. Utilizzando il sistema di riferimento descritto nel testo (e nella figura) si calcoli:



1) Il *vettore* campo magnetico $\overrightarrow{B}_1$, scritto in notazione cartesiana, generato dai conduttori nel punto P_1 di coordinate $(0,2d,0)$.
2) Il *vettore* campo magnetico $\overrightarrow{B}_2$, scritto in notazione cartesiana, generato dai conduttori nel punto P_2 di coordinate $(0,0,2d)$.
3) Il modulo della forza per unità di lunghezza F/l agente sul conduttore centrale.

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 3 Giugno 2024 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ____________________________ Nome:________________________ Matr.:____________________

Risposte agli esercizi *(si scrivano i risultati con* *<u>due o tre cifre significative</u>* *e le* *<u>unità di misura</u>)*

ESERCIZIO 1

v_{max}	
$\mathscr{L}_{att}$	
k	

ESERCIZIO 2

E	
d	
σ	
A	

ESERCIZIO 3

$\overrightarrow{B}_1$	
$\overrightarrow{B}_2$	
F/l	

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 3 Giugno 2024 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ___________________________ Nome:_______________________ Matr.:___________________

Domande aperte: *si dia risposta, nella pagina quadrettata sul retro, ad una tra le seguenti domande:*

1) Si illustrino le principali caratteristiche empiriche delle forze di attrito radente e si spieghi come sono descritte in dinamica classica.

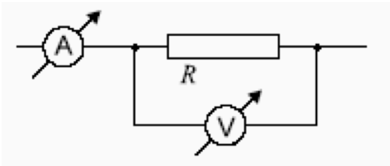
2) Si spieghi la legge di Gauss, evidenziandone l'utilità con qualche esempio di calcolo del campo elettrico.

3) Si illustri la legge di Ampere-Maxwell.

Quesiti a scelta multipla: *identificare con una crocetta la risposta scelta.*

1) Su condensatore isolato di capacità C è presente una d.d.p. V_0. Se posto in parallelo con un altro condensatore di capacità n volte C si osserva $V=V_0/7$. Quanto vale n?
(a) 14
(b) 7
(c) 6
(d) 8
(e) occorrono altre informazioni

2) Nel circuito in figura, si misura una corrente I = 3.2 mA e una tensione V = 2.5 V. La resistenza interna del voltmetro è 10 kΩ. Il valore di R è:
(a) 780 kΩ
(b) 850 Ω
(c) 780 Ω
(d) 350 Ω
(e) bisogna sapere come è fatto il resto del circuito



3) Se mi trovo su una giostra mentre gira, a 2 m dall'asse, e mi sposto a 4 m dall'asse, la forza agente sui miei piedi
(a) resta la stessa
(b) dimezza
(c) raddoppia
(d) quadruplica
(e) diventa un quarto

4) A t=0 le automobili A e B, affiancate, con A che viaggia a 50 km/h e B a 70 km/h, iniziano a frenare bloccando le ruote. Nel punto in cui A si ferma, B sta viaggiando a
(a) 20 km/h
(b) 30 km/h
(c) 35 km/h
(d) 50 km/h
(e) servono altre informazioni

5) Si confrontino le forze magnetiche esercitate su un protone e su un elettrone che viaggiano con la stessa velocità perpendicolarmente a un campo magnetico:
(a) intensità e direzione sono le stesse
(b) la direzione è la stessa, ma la forza sul protone è maggiore
(c) la direzione è la stessa, ma la forza sull'elettrone è maggiore
(d) il modulo della forza è lo stesso, e anche la direzione, ma il verso è opposto
(e) non c'è forza né sul protone né sull'elettrone

6) Un corpo attaccato ad una molla oscilla con un periodo di 10 secondi. Attaccando un corpo di massa doppia, il periodo diventa circa:
(a) 5 secondi
(b) 20 secondi
(c) 14 secondi
(d) 7 secondi
(e) 2,5 secondi
(f) 40 secondi

7) Quale delle seguenti affermazioni è vera?
(a) L'energia cinetica e il lavoro possono essere solo positivi
(b) L'energia cinetica può essere solo positiva, il lavoro può essere positivo o negativo
(c) Sia l'energia cinetica che il lavoro possono essere positivi o negativi
(d) Il lavoro può essere solo positivo, l'energia cinetica può essere positiva o negativa

8) Quando in un semplice circuito RC viene caricato un condensatore, la corrente che scorre attraverso la resistenza è:
(a) crescente
(b) decrescente
(c) costante
(d) se cresce o decresce dipende dalla tensione generata dalla batteria presente nel circuito
(e) zero

Pagina per la risposta alla domanda aperta

Risposte ai quesiti a scelta multipla

1) Ponendo condensatori in parallelo, si ottiene un condensatore equivalente di capacità pari alla somma e contenente carica pari alla somma - in questo caso, la carica è presente inizialmente solo sul primo condensatore, quindi si ha:

$$\frac{Q}{C+nC} = \frac{V_0}{7} \qquad \text{ma} \qquad \frac{Q}{V_0} = C \qquad \text{quindi } \frac{C}{(n+1)C} = \frac{1}{7} \qquad \text{quindi } n = 6$$

Risposta c.

2) La resistenza equivalente del circuito sarà

$$R_{eq} = \frac{RR_V}{R+R_V}$$

e tale resistenza è attraversata dalla corrente I, quindi ai suoi capi si avrà $V = R_{eq}I$ che è appunto la d.d.p. misurata dal voltmetro:

$$V = \frac{RR_V}{R+R_V}I \implies RV + R_VV = RR_VI \implies R = \frac{R_VV}{R_VI - V} \simeq 850\ \Omega$$

Risposta b.

3) Con la forza agente sui miei piedi, si intende la forza centripeta che mi mantiene su un moto circolare. La giostra ruota in modo rigido, ovvero a qualsiasi distanza dal centro si ha la stessa velocità angolare; dato che

$a_c = R\omega^2$ se R raddoppia a_c raddoppia e quindi anche la forza necessaria.

Risposta c.

4) Il moto uniformemente decelerato: $v^2 = v_0^2 - 2aS$, avendo chiamato $-a$ la decelerazione. Per l'automobile a, $v = 0$ e S ci restituisce lo spazio di frenata, $S = v_a^2/2a$. L'automobile b in quel punto ha percorso S ma non si è ancora fermata, avrà una velocità $v^2 = v_b^2 - 2aS = 2400\ \mathrm{km^2/h^2}$ quindi $v \simeq 50\ \mathrm{km/h}$.

Risposta d.

5) La forza di Lorentz: $F_L = q\vec{v} \times \overrightarrow{B}$. Per le due particelle è tutto uguale tranne il segno di q, quindi la forza di Lorentz avrà stesso modulo e direzione ma verso opposto.

Risposta d.

6) Per un oscillatore, $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$; se m raddoppia, il periodo cambia di un fattore $\sqrt{2} \simeq 1.4$.

Risposta c.

7) $K = \frac{1}{2}mv^2$: quantità che evidentemente può solo essere positiva. Il lavoro può essere sia positivo che negativo: si pensi alla definizione tramite prodotto scalare, che può essere positivo o negativo o nullo; o si pensi al teorema dell'energia cinetica, secondo il quale il lavoro è sempre pari alla variazione di energia cinetica, quantità (la variazione) che può essere sia positiva che negativa.

Risposta b.

8) Man mano che il condensatore si carica, la corrente diminuisce, diventando asintoticamente zero quando il condensatore è completamente carico (sulle sue armature è presente la stessa d.d.p. applicata al circuito RC).

Risposta b.

Soluzioni degli esercizi

Esercizio 1

Una grande porta scorrevole, dal lato orizzontale $L = 3.80$ m e massa $M = 150$ kg, è appesa ad una rotaia inclinata rispetto all'orizzontale di $\vartheta = 3.0^{\circ}$. Il carrello che consente alla porta di muoversi presenta un'attrito statico trascurabile, ma sviluppa un attrito dinamico proporzionale alla velocità, secondo la legge $F_D = \beta v^2$ con $\beta = 45.0$ kg/m. In fase di chiusura, la porta, completamente aperta, viene sganciata. In prossimità della battuta è presente una molla che rallenta la porta fino alla quiete comprimendosi di $\Delta x = 3.5$ cm, posizione in cui si aggancia la serratura. Si calcoli:

1) la velocità massima v_{max} della porta durante la chiusura;
2) il lavoro $\mathscr{L}_{att}$ fatto dalla forza di attrito nel processo di chiusura della porta, e
3) la costante elastica k della molla di battuta.

La porta è accelerata dalla componente parallela della forza peso, $P_{//} = Mg \sin\vartheta$. Accelera fino a quando la forza di attrito diventa uguale a $P_{//}$ per poi proseguire a velocità costante. Quindi

$$\beta v^2 = Mg \sin\vartheta \quad \Longrightarrow \quad v = \sqrt{\frac{Mg \sin\vartheta}{\beta}} \simeq 1.31 \text{ m/s}$$

Dato che la forza d'attrito non è costante, non conviene calcolare direttamente il lavoro da essa fatto. Procediamo dunque a verificare la differenza di energia meccanica, scegliendo come zero dell'energia potenziale della forza peso la posizione di arrivo, e considerando che la porta parte da ferma:

$$E_i = U_i; \quad E_f = K_f; \quad U_i = MgL\sin\vartheta; \quad K_f = \frac{1}{2}Mv^2; \quad E_f - E_i = \mathscr{L}_{att}$$

otteniamo quindi

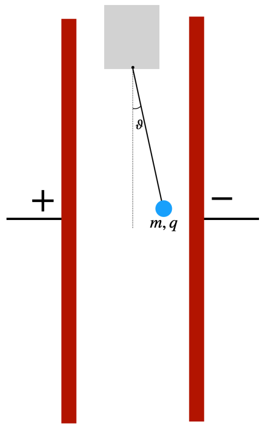
$$\mathscr{L}_{att} = \frac{M^2 g \sin\vartheta}{2\beta} - MgL\sin\vartheta \qquad \Longrightarrow \qquad \mathscr{L}_{att} = Mg\sin\vartheta\left(\frac{M}{2\beta} - L\right) \simeq -164 \text{ J}$$

La porta giunge alla molla di battuta e deve convertire tutta la sua energia cinetica in energia potenziale elastica. Quindi

$$\frac{1}{2}Mv^2 = \frac{1}{2}k\Delta x^2 \qquad \Longrightarrow \qquad k = M\frac{v^2}{\Delta x^2} = \frac{M^2 g \sin\vartheta}{\beta \Delta x^2} \simeq 2.1 \times 10^5 \text{ N/m}$$

Esercizio 2

Un piccolo oggetto di massa $m = 0.055$ kg e carica $q = 1.58\ \mu$C è appeso ad un filo ideale e posto tra le armature verticali di un condensatore piano. La differenza di potenziale tra le armature è $V = 480$ V. Si osserva che il filo forma un angolo $\theta = 10.0^{\circ}$ rispetto alla verticale: si calcoli



1) l'intensità E del campo elettrico;
2) la distanza d tra le armature;
3) la densità superficiale di carica σ presente sulle armature.

Scaricando completamente il condensatore su una resistenza, si osserva che questa genera una quantità di calore $U = 8.53\ \mu$J. Si calcoli

4) l'area A delle armature del condensatore.

Sull'oggetto agisce la forza peso, nella direzione verticale; la tensione dell fune, obliqua, e la forza elettrostatica, orizzontale. Si ha quindi

$$\tan\theta = qE/mg$$

da cui

$$E = \frac{mg\tan\theta}{q} \simeq 60.2 \text{ kN/C}$$

Dato che $V = Ed$, possiamo ricavare anche

$$d = \frac{V}{E} = \frac{qV}{mg\tan\theta} \simeq 8.0 \text{ mm}$$

D'altra parte, sappiamo anche che $E = \sigma/\varepsilon_0$, quindi

$$\sigma = \varepsilon_0 E = \frac{\varepsilon_0 mg\tan\theta}{q} \simeq 0.53\ \mu\text{C/m}^2$$

Quando il condensatore viene scaricato su una resistenza, tutta l'energia inizialmente immagazzinata in esso è dissipata per effetto Joule. Quindi l'energia termica rilasciata dalla resistenza è pari all'energia immagazzinata nel condensatore

$$U = \frac{1}{2}CV^2$$

La capacità di un condensatore a facce piane può essere espressa come

$$C = \varepsilon_0\frac{A}{d}$$

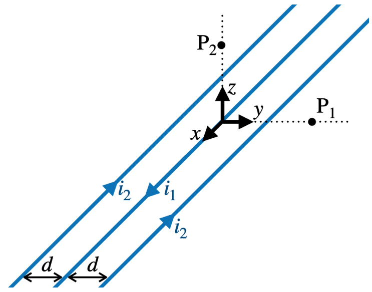
abbiamo quindi

$$U = \frac{\varepsilon_0 A}{2d}V^2$$

da cui

$$A = \frac{2Ud}{\varepsilon_0 V^2} = \frac{2qU}{\varepsilon_0 Vmg\tan\theta} \simeq 667 \text{ cm}^2$$

Esercizio 3 Tre fili conduttori rettilinei paralleli e di lunghezza infinita giacciono sullo stesso piano xy, con il conduttore centrale che coincide con l'asse x. La distanza tra i conduttori contigui è $d = 10.0$ cm. Il conduttore centrale è percorso da una corrente costante $i_1 = 1.00$ A, nel verso delle x crescenti, mentre i due conduttori laterali sono percorsi ciascuno da una corrente $i_2 = \frac{5}{4} i_1$ nel verso opposto. Utilizzando il sistema di riferimento descritto nel testo e dalla figura si calcoli:



1) Il *vettore* campo magnetico $\vec{B}_1$, scritto in notazione cartesiana, generato dai conduttori nel punto P_1 di coordinate $(0,2d,0)$.
2) Il *vettore* campo magnetico $\vec{B}_2$, scritto in notazione cartesiana, generato dai conduttori nel punto P_2 di coordinate $(0,0,2d)$.
3) Il modulo della forza per unità di lunghezza F/l agente sul conduttore centrale.

Il campo magnetico in P_1 ha solo componente z. Con la regola della mano destra, vediamo che è positivo il contributo generato dal filo centrale, e sono negativi i contributi degli altri due fili. Usando l'espressione del campo magnetico generato da un filo rettilineo infinito, e tenendo conto delle distanze e dei segni, abbiamo

$$B_{1,z} = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi 2d} - \frac{\mu_0 i_2}{2\pi d} - \frac{\mu_0 i_2}{2\pi 3d} = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi d}\left(\frac{1}{2} - \frac{5}{4} - \frac{5}{12}\right) =$$

$$= -\frac{7}{6}\frac{\mu_0 i_1}{2\pi d} \simeq -2.33 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

Il vettore $\vec{B}_1$ si può quindi scrivere, nel sistema di riferimento definito dal testo:

$$\vec{B}_1 = \left(-2.3 \cdot 10^{-6} \text{ T}\right)\hat{k}$$

In P_2 il campo generato dal filo centrale è orizzontale, diretto come $-y$, mentre il campo generato dagli altri due fili ha sia componente orizzontale (y) che verticale, anche se già intuiamo che le componenti lungo z hanno somma nulla. La distanza dei fili laterali dal punto P_2 vale $d' = \sqrt{(2d)^2 + d^2} = \sqrt{5}d$. Si noti che detto θ l'angolo formato tra il piano yz e la retta perpendicolare a un filo laterale e passante per P_2, si ha $\cos\theta = 2/\sqrt{5}$. Procediamo dunque a calcolare tutti i contributi:

$$B_{2,y} = -\frac{\mu_0 i_1}{2\pi 2d} + 2\frac{\mu_0 i_2 \cos\theta}{2\pi\sqrt{5}d} = \frac{\mu_0 i_1}{4\pi d} \simeq 10^{-6} \text{ T}$$

$$B_{2,x} = 0$$

$$B_{2,z} = \frac{\mu_0 i_2 \sin\theta}{2\pi\sqrt{5}d} - \frac{\mu_0 i_2 \sin\theta}{2\pi\sqrt{5}d} = 0$$

In conclusione, si ha

$$\vec{B}_2 = \left(10^{-6} \text{ T}\right)\hat{j}$$

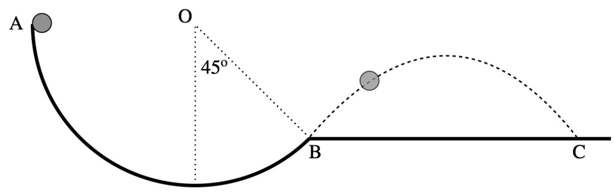
La forza agente sul conduttore centrale non può che essere nulla, data la simmetria del problema: i due fili laterali producono campi magnetici uguali in modulo e direzione ma opposti in verso in corrispondenza del filo centrale. Quindi $F/l = 0$.

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 25 Giugno 2024 - Prof. L. Guiducci

Esercizi

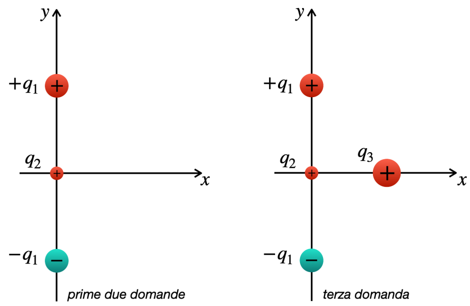
È richiesta la consegna dello svolgimento degli esercizi su foglio protocollo, siglato con i vostri Nome-Cognome-Matricola. Inoltre, riportare nella griglia sul retro di questa pagina i risultati numerici.

Esercizio 1



Una pallina di massa $m = 150$ g è lasciata libera di scivolare dal punto A indicato in figura e si muove sulla superficie liscia avente profilo circolare di raggio $R = 1.80$ m fino al punto B. Si noti che il percorso AB rappresenta $3/8$ di circonferenza, come mostrato dall'angolo di 45° in figura. Dal punto B in poi la pallina si comporta come un proiettile e tocca il suolo nel punto C. Si determini: 1) il modulo della forza normale N nel punto più basso raggiunto dalla pallina; 2) il modulo della velocità v_B della pallina in B; 3) la velocità v_H della pallina nel punto più alto del moto parabolico; 4) la distanza $\overline{\mathrm{BC}}$.

Esercizio 2



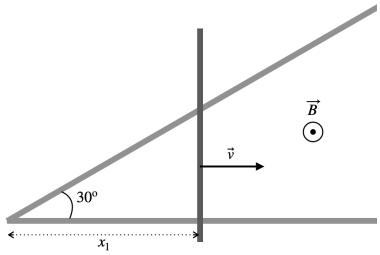
Due particelle di carica $+q_1$ e $-q_1$, con $q_1 = 20.0$ nC, si trovano nei punti di coordinate $(0,\ h)$ e $(0,-h)$, con $h = 4.00$ cm.
Una particella di carica positiva $q_2 = 10.0$ nC è posta nell'origine. Si calcoli:

1) La forza (**vettore**) totale agente sulla carica q_2;
2) L'energia potenziale elettrostatica della configurazione.

Successivamente, una quarta particella di carica positiva $q_3 = 40.0$ nC e massa $m = 2.00 \cdot 10^{-13}$ kg è posta, a riposo, nel punto di coordinate $(d,\ 0)$, con $d = 3.00$ cm, e lasciata libera di muoversi, mentre le altre tre cariche sono mantenute fisse nelle loro posizioni. Si calcoli

3) La velocità della particella q_3 quando ha raggiunto una distanza molto grande.

Esercizio 3.



Una sbarra conduttrice si appoggia a due rotaie conduttrici che formano tra loro un angolo di 30°, come in figura. La sbarra, partendo dal punto di incrocio delle rotaie, viene fatta muovere (con attrito trascurabile) a velocità costante v, e resta sempre perpendicolare ad una delle rotaie. Perpendicolarmente al piano delle rotaie è presente un campo magnetico uniforme e costante, di modulo $B = 1.20$ T, uscente rispetto al disegno.

Se la forze elettromotrice misurata nel circuito quando la sbarra passa da $x_1 = 0.600$ m è $V_1 = 0.200$ V, calcolare 1) il modulo della velocità v della sbarra. Sapendo che rotaie e sbarre sono costituite da filo di sezione circolare di raggio $r = 50.0 \cdot 10^{-6}$ m e che la corrente circolante quando la sbarra passa da x_1 è $i_1 = 57.0$ mA si calcoli 2) la resistività ρ del materiale. Infine, si calcoli 3) il modulo della forza esterna F_1 che è necessariamente applicata alla sbarra quando passa da x_1, considerato che la sua velocità viene mantenuta costante durante tutto il moto.

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 25 Giugno 2024 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ____________________________ Nome:________________________ Matr.:____________________

***Risposte agli esercizi** (si scrivano i risultati con <u>due o tre cifre significative</u> e le <u>unità di misura</u>)*

ESERCIZIO 1

N	
v_B	
v_H	
$\overline{\mathrm{BC}}$	

ESERCIZIO 2

$\vec{F}_2$	
U	
v_3	

ESERCIZIO 3

v	
ρ	
F_1	

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 25 Giugno 2024 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ______________________ Nome:____________________ Matr.:_________________

Domande aperte: *si dia risposta, nella pagina quadrettata sul retro, ad una tra le seguenti domande:*

1) Si descriva il moto di un oscillatore armonico, come ad esempio quello di un punto materiale soggetto esclusivamente ad una forza elastica.
2) Si descriva il moto di una particella carica in presenza di campo elettrico e magnetico (statici), facendo almeno un esempio applicativo.
3) Si introduca la legge di gravitazione universale e la sua energia potenziale, e si mostri come calcolare la *velocità di fuga* da un corpo celeste.

Quesiti a scelta multipla: *identificare con una crocetta la risposta scelta.*

1) In un moto circolare uniforme la velocità del punto è sempre:
(a) diretta verso l'interno della circonferenza
(b) diretta verso l'esterno della circonferenza
(c) diretta perpendicolarmente al piano della traiettoria
(d) diretta secondo la tangente alla circonferenza
(e) nessuna delle risposte precedenti

2) In un moto armonico, durante un periodo, la velocità
(a) si annulla due volte
(b) si annulla una volta
(c) non si annulla mai
(d) si annulla quattro volte
(e) nessuna delle risposte precedenti

3) Quale effetto si avrebbe sul campo magnetico B all'interno di un lungo solenoide se *(i)* il diametro di tutte le spire venisse raddoppiato, *(ii)* la distanza tra le spire venisse raddoppiata?
(a) nullo; nullo
(b) dimezzato; nullo
(c) raddoppiato; nullo
(d) nullo; raddoppiato
(e) nullo; dimezzato

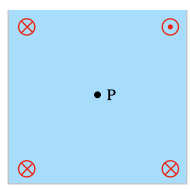
4) Due cariche positive identiche sono poste l'una accanto all'altra. Nel punto a metà
(a) il campo elettrico è zero e il potenziale elettrico è positivo
(b) il campo elettrico è zero e il potenziale elettrico è zero
(c) il campo elettrico non è zero e il potenziale elettrico è zero
(d) il campo elettrico non è zero e il potenziale elettrico è positivo
(e) nessuna affermazione è vera

5) Stai sommando due vettori di modulo pari a 20 e 40 unità. Quale delle seguenti scelte potrebbe essere il modulo del vettore risultante?
(a) 0
(b) 18
(c) 37
(d) 64
(e) 100

6) Due fogli piani di metallo formano un condensatore piano a piastre parallele. Le piastre portano cariche uguali e opposte e non sono connesse ad altro. Man mano che le piastre si avvicinano:
(a) diminuiscono carica e tensione
(b) aumentano carica e tensione
(c) la carica diminuisce e la tensione resta costante
(d) la carica resta costante e la tensione diminuisce
(e) la carica rimane costante e la tensione aumenta

7) Un satellite percorre un'orbita circolare intorno alla terra muovendosi a velocità costante. Resta sulla sua orbita per via della forza di gravità esercitata dalla terra, ma sul satellite non viene svolto alcun lavoro. Come è possibile?
(a) nessun lavoro viene svolto se non c'è contatto
(b) nessun lavoro viene svolto perché non c'è gravità nello spazio
(c) nessun lavoro viene svolto quando la direzione del moto è perpendicolare alla forza
(d) nessun lavoro viene svolto quando gli oggetti si muovono in una circonferenza

8) Quattro fili sono posizionati ai vertici di un quadrato, come in figura. Ogni filo trasporta una corrente della stessa grandezza, con verso come mostrato in figura. Qual è il valore del campo magnetico nel punto P al centro del quadrato?
(a) $\nwarrow$
(b) $\nearrow$
(c) $\swarrow$
(d) $\searrow$
(e) $B = 0$



Pagina per la risposta alla domanda aperta

Risposte ai quesiti a scelta multipla

1) In qualsiasi moto, la velocità è sempre tangente alla traiettoria.
Risposta d.

2) La velocità si annulla agli estremi del moto, quando il corpo inverte la direzione del moto. Ciò accade due volte in un periodo (da velocità positiva a negativa, e da negativa a positiva).
Risposta a.

3) "Lungo" solenoide significa che possiamo utilizzare l'approssimazione di solenoide ideale. In tal caso, l'intensità del campo magnetico dipende dalla densità lineare delle spire e dalla corrente ($B = \mu_0 n I$). Modificare il diametro delle spire non ha effetto; raddoppiare la distanza tra le spire significa dimezzarne la densità, quindi il campo.
Risposta e.

4) Il potenziale elettrico generato da una carica positiva è positivo, quindi nella configurazione descritta si ha un potenziale positivo in tutto lo spazio (tendente a zero a distanza infinita). Il campo elettrico nel punto a metà sarà invece nullo, dal momento che le due cariche producono un campo avente stesso modulo e direzione ma verso opposto.
Risposta a.

5) Il risultato minimo si avrà quando i due vettori hanno stessa direzione e verso opposto, ovvero un vettore di modulo 20 unità. Il risultato massimo si avrà quando i due vettori hanno stessa direzione e verso, ovvero un vettore di modulo 60 unità. L'unica risposta nell'intervallo è 37.
Risposta c.

6) Essendo le piastre isolate, la carica non può cambiare. Questo restringe la scelta alla risposte d ed e. La capacità di tale condensatore è inversamente proporzionale alla distanza tra le piastre ($C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$); al diminuire di d, quindi, la capacità aumenta. Data la definizione di capacità, $C = Q/V$, all'aumentare di C mentre Q resta costante, si avrà una diminuzione di V.
Risposta d.

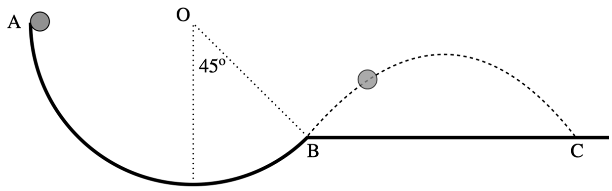
7) In un'orbita circolare uniforme, l'accelerazione è centripeta e quindi perpendicolare alla traiettoria in ogni punto. La forza centripeta che causa tale accelerazione, che è la forza di attrazione gravitazionale della terra in questo caso, sarà anch'essa perpendicolare alla traiettoria in ogni punto; essendo sempre perpendicolare allo spostamento ($\theta = 90^{\circ}$), non viene svolto lavoro ($\delta\mathscr{L} = F \mathrm{d}r \cos\theta$).
Risposta c.

8) I due fili agli angoli opposti (alto sinistra, basso destra) producono un campo magnetico con stesso modulo e direzione ma verso opposto, possiamo quindi ignorarli. Gli altri due fili producono entrambi un campo con direzione "in basso a destra".
Risposta d.

Soluzioni degli esercizi

Esercizio 1

Una pallina di massa $m = 150$ g è lasciata libera di scivolare dal punto A indicato in figura e si muove sulla superficie liscia avente profilo circolare di raggio $R = 1.80$ m fino al punto B. Si noti che il percorso AB rappresenta 3/8 di circonferenza, come mostrato dall'angolo di 45° in figura. Dal punto B in poi la pallina si comporta come un proiettile e tocca il suolo nel punto C. Si determini: 1) il modulo della forza normale N nel punto più basso raggiunto dalla pallina; 2) il modulo della velocità v_B della pallina in B; 3) la velocità v_H della pallina nel punto più alto del moto parabolico; 4) la distanza $\overline{\mathrm{BC}}$.



Utilizziamo la conservazione dell'energia meccanica per trovare la velocità della pallina nel punto più basso (che battezziamo L), scegliendo qui come zero dell'energia potenziale della forza peso il punto più basso della traiettoria:

$$mgR = \frac{1}{2}mv_{\mathrm{L}}^2 \implies v_{\mathrm{L}} = \sqrt{2gR} \simeq 5.94 \text{ m/s}$$

La forza normale esercitata dalla superficie sulla pallina deve essere tale che la risultante delle forze agenti sulla pallina corrisponda alla forza centripeta di un moto circolare di raggio R e velocità v_{L}, quindi

$$N - mg = m\frac{v_{\mathrm{L}}^2}{R} \implies N = m\left(\frac{2gR}{R} + g\right) = 3mg \simeq 4.41 \text{ N}$$

Per la velocità in B procediamo in modo analogo ad utilizzare la conservazione dell'energia meccanica, notando che l'altezza di B rispetto al fondo della curva è $R - R/\sqrt{2}$:

$$mgR = \frac{1}{2}mv_{\mathrm{B}}^2 + mg\left(R - \frac{\sqrt{2}}{2}R\right) \implies v_{\mathrm{B}} = \sqrt{\sqrt{2}gR} \simeq 5.00 \text{m/s}$$

Nel punto più alto del moto parabolico (chiamiamolo H) la velocità della pallina è orizzontale, e pari alla componente orizzontale della velocità con cui si è staccata nel punto B, quindi

$$v_{\mathrm{H}} = \frac{v_{\mathrm{B}}}{\sqrt{2}} \simeq 3.53 \text{ m/s}$$

La distanza $\overline{\mathrm{BC}}$ è pari alla gittata con $v_0 = v_{\mathrm{B}}$ e $\theta = 45°$, quindi

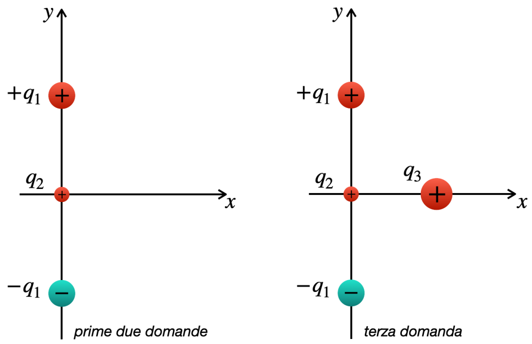
$$\overline{\mathrm{BC}} = \frac{v_{\mathrm{B}}^2}{g}\sin(2 \cdot 45°) = \frac{v_{\mathrm{B}}^2}{g} \simeq 2.55 \text{ m}$$

Esercizio 2

Due particelle di carica $+q_1$ e $-q_1$, con $q_1 = 20.0$ nC, si trovano nei punti di coordinate $(0, h)$ e $(0, -h)$, con $h = 4.00$ cm. Una particella di carica positiva $q_2 = 10.0$ nC è posta nell'origine. Si calcoli:

1) La forza (**vettore**) totale agente sulla carica q_2;
2) L'energia potenziale elettrostatica della configurazione.

Successivamente, una quarta particella di carica positiva $q_3 = 40.0$ nC e massa $m = 2.00 \cdot 10^{-13}$ kg è posta, a riposo, nel punto di coordinate $(3.00 \text{ cm}, 0)$, e lasciata libera di muoversi, mentre le altre tre cariche sono mantenute fisse nelle loro posizioni. Si calcoli



3) La velocità della particella q_3 quando ha raggiunto una distanza molto grande.

1) Chiamiamo $h = 4.00$ cm la distanza delle particelle $+q_1$ e $-q_1$ dall'origine. La particella di carica q_2 sente una forza diretta vero il basso a causa di ciascuna delle due particelle. Il modulo delle due forze è lo stesso ed è dato dalla legge di Coulomb:

$$F_{12} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 h^2}$$

Quindi la forza totale, diretta come $-y$, si scrive

$$\vec{F}_2 = -2F_{12}\hat{j} = \left(\frac{q_1 q_2}{2\pi\varepsilon_0 h^2}\right)\hat{j} \simeq \left(-2.25 \text{ mN}\right)\hat{j}$$

2) Possiamo costruire l'energia potenziale partendo dalla situazione in cui è presente una sola particelle e calcolando la variazione di energia potenziale che si produce portando le restanti particelle, una dopo l'altra, da distanza infinita nella posizione descritta. Immaginiamo di partire avendo già $+q_1$, portando q_2 si ha

$$U_{21} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 h}$$

Ora aggiungiamo $-q_1$, avremo due contributi, l'energia potenziale considerando q_1 e quella considerando q_2:

$$U_{11} = -\frac{q_1^2}{4\pi\varepsilon_0 2h} \qquad U_{12} = -\frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 h}$$

In totale quindi

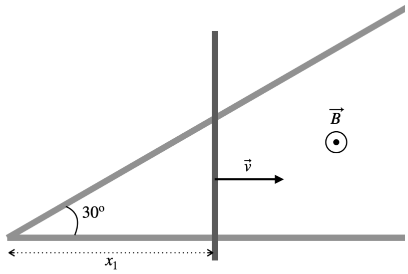
$$U = U_{21} + U_{11} + U_{12} = U_{11} = -\frac{q_1^2}{8\pi\varepsilon_0 h} \simeq -44.9\ \mu\text{J}$$

3) Consideriamo la conservazione dell'energia meccanica, con $K_i = 0$ e $U_f = 0$. Avremo

$$U_i = \frac{q_3 q_1}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{h^2+d^2}} + \frac{q_3 q_2}{4\pi\varepsilon_0 d} - \frac{q_3 q_1}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{h^2+d^2}} = \frac{q_2 q_3}{4\pi\varepsilon_0 d} \qquad K_f = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_i = E_f \implies U_i = K_f \implies v = \sqrt{\frac{2q_2 q_3}{4\pi\varepsilon_0 d m}} \simeq 34.6 \text{ km/s}$$

Esercizio 3 Una sbarra conduttrice si appoggia a due rotaie conduttrici che formano tra loro un angolo di 30^o, come in figura. La sbarra, partendo dal punto di incrocio delle rotaie, viene fatta muovere a velocità costante v rimanendo perpendicolare ad una delle rotaie. Perpendicolarmente al piano delle rotaie è presente un campo magnetico uniforme e costante, di modulo $B = 1.20$ T, uscente rispetto al disegno. Se la forze elettromotrice misurata nel circuito quando la sbarra passa da $x_1 = 0.600$ m è $V_1 = 0.200$ V, calcolare 1) il modulo della velocità v della sbarra. Sapendo che rotaie e sbarre sono costituite da filo di sezione circolare di raggio $r = 50.0 \cdot 10^{-6}$ m e che la corrente circolante quando la sbarra passa da x_1 è $i_1 = 57.0$ mA si calcoli 2) la resistività ρ del materiale. Infine, si calcoli 3) il modulo della forza esterna F_1 che è necessariamente applicata alla sbarra quando passa da x_1, considerato che la sua velocità viene mantenuta costante durante tutto il moto.



Data la posizione della sbarra mobile in un generico punto x, la lunghezza h della sbarra che chiude il circuito sarà tale che

$$\frac{h}{x} = \tan 30^o = \frac{1}{\sqrt{3}} \qquad \text{quindi} \qquad h = \frac{x}{\sqrt{3}}$$

e quindi l'area del triangolo che rappresenta il circuito, e il flusso del campo magnetico attraverso di esso:

$$A = \frac{x^2}{2\sqrt{3}} \quad ; \qquad \Phi(\vec{B}) = \frac{Bx^2}{2\sqrt{3}}$$

La derivata rispetto al tempo del flusso fornisce la forza elettromotrice indotta:

$$|f.e.m.| = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{Bx^2}{2\sqrt{3}}\right) = \frac{2Bx}{2\sqrt{3}}\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = \frac{Bxv}{\sqrt{3}}$$

Invertendo per ricavare v e sostituendo i valori dati, otteniamo:

$$v = \frac{\sqrt{3}V_1}{x_1 B} \simeq 0.481 \text{ m/s}$$

La resistenza della spira triangolare, essendo note V_1 e i_1, vale semplicemente $R = \frac{V_1}{i_1}$, ma si calcola anche conoscendo la lunghezza L del circuito, la sezione S del filo e la resistività, che è la nostra incognita:

$$S = \pi r^2 \qquad L = x_1 + \frac{x_1}{\sqrt{3}} + 2\frac{x_1}{\sqrt{3}} = (\sqrt{3}+1)x_1$$

$$R = \rho\frac{L}{S} \implies \rho = \frac{SR}{L} = \frac{\pi r^2 V_1}{(\sqrt{3}+1)x_1 i_1} \simeq 1.68 \cdot 10^{-8}\ \Omega\text{m}$$

Si noti che quella ottenuta è la resistività del rame.

La forza esterna che è necessario applicare alla sbarra affinché questa si muova a velocità costante sarà uguale e contraria (quindi uguale in modulo) alla forza che il campo magnetico esercita sulla corrente che in essa scorre, quindi

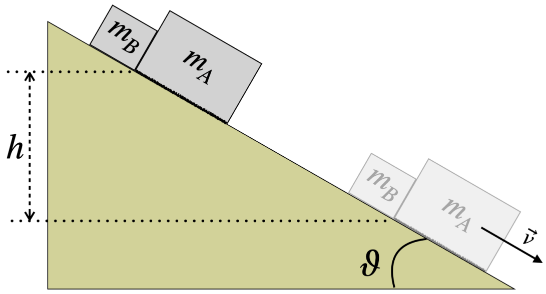
$$F_1 = i_1 h B = \frac{i_1 x_1 B}{\sqrt{3}} \simeq 23.7 \text{ mN}$$

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 8 Luglio 2024 - Prof. L. Guiducci

Esercizi

È richiesta la consegna dello svolgimento degli esercizi su foglio protocollo, siglato con i vostri Nome-Cognome-Matricola. Inoltre, riportare nella griglia sul retro di questa pagina i risultati numerici.

Esercizio 1



Su un piano inclinato di $\vartheta = 30^o$ è poggiato un blocco A, di massa $m_A = 1.23$ kg. Tra il blocco A e il piano è presente un coefficiente di attrito statico $\mu_S = 0.751$, e il blocco non scivola. Successivamente si pone sul piano inclinato, più in alto del blocco A, e ad esso appoggiato, un secondo blocco B di massa m_B che presenta attrito trascurabile con il piano.

1) Qual è la massima massa di B $m_B^{\max}$ che non fa scivolare il blocco A?

Nel seguito, si consideri il coefficiente di attrito dinamico tra blocco A e piano uguale al coefficiente di attrito statico.

2) Se invece $m_B = m_A$, con quale accelerazione a scendono i due blocchi?
3) Considerando la situazione con $m_A = m_B$ del punto precedente, qual è la potenza P dissipata dall'attrito nell'istante in cui i blocchi sono scesi di $h = 50.0$ cm, misurati in verticale?

Esercizio 2

Un anello sottile di raggio $R = 0.500$ m è mantenuto immobile tramite un supporto isolante ed è caricato con una carica $Q = 50.0\ \mu$C.

1) Quanto vale la densità lineare di carica λ sull'anello?
2) Quanto vale il potenziale elettrostatico U_0 al centro dell'anello, prendendo $V = 0$ molto lontano dallo stesso?

Un piccolo corpo puntiforme, anch'esso dotato di carica Q, e vincolato a muoversi lungo l'asse dell'anello con attrito trascurabile, è posto al centro dell'anello. Non appena viene spostato leggermente, esso accelera e infine raggiunge il lontanissimo muro del laboratorio avendo una velocità $v = 40.0$ m/s.

3) Qual è la massa m del corpo?

Esercizio 3

Due condensatori di capacità $C_1 = 20.0\ \mu$F e $C_2 = 60\ \mu$F sono collegati in serie. Il sistema viene caricato applicando con una batteria una differenza di potenziale $V_0 = 24.0$ V. Determinare:

1) la carica Q presente su ciascuno dei due condensatori;
2) la differenza di potenziale ai capi di ciascun condensatore (V_1, V_2).

Il generatore viene scollegato e i due condensatori, ancora carichi, sono posti in parallelo avendo cura di collegare insieme le armature aventi carica dello stesso segno. Determinare:

3) la nuova differenza di potenziale ai capi di ciascun condensatore V';
4) la nuova carica su ciascuno dei due condensatori (Q_1', Q_2');

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 8 Luglio 2024 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ___________________________ Nome:_______________________ Matr.:___________________

Risposte agli esercizi *(si scrivano i risultati con* *due o tre cifre significative* *e le* *unità di misura)*

ESERCIZIO 1

$m_B^{\max}$	
a	
P	

ESERCIZIO 2

λ	
U_0	
m	

ESERCIZIO 3

Q			
V_1		V_2	
V'			
Q_1'		Q_2'	

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 8 Luglio 2024 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ____________________________ Nome:_______________________ Matr.:___________________

Domande aperte: *si dia risposta, <u>nella pagina quadrettata sul retro</u>, ad <u>una</u> tra le seguenti domande:*

1) Si mostri come si descrive dal punto di vista dinamico il moto di un pendolo semplice e come, per mezzo dell'approssimazione per piccole oscillazioni si possa ricavare il suo periodo di oscillazione.
2) Si illustrino, anche con semplici esempi applicativi, le prime due leggi di Kirchhoff.
3) Cosa significa forza conservativa, come può essere verificata la conservatività di una forza o di un campo? Si mostri inoltre come si giunge alla conservazione dell'energia meccanica per le forze conservative.

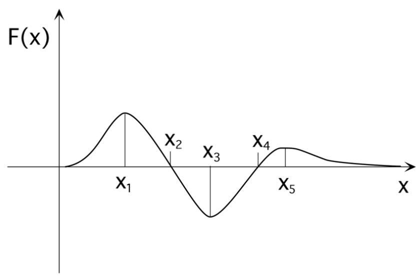
Quesiti a scelta multipla: *identificare con una crocetta la risposta scelta.*

1) Si osserva un corpo poggiato su un piano inclinato: il corpo è fermo. La forza di attrito statico presente tra il corpo e il piano <u>non</u> dipende:
(a) dalla massa del corpo
(b) dall'inclinazione del piano
(c) dal coefficiente di attrito statico
(d) dall'accelerazione di gravità
(e) dipende da tutte le quantità precedenti

2) Se l indica una lunghezza, v una velocità, $\mathscr{L}$ un lavoro, t un tempo, quale delle seguenti espressioni può rappresentare una quantità avente le dimensioni di una quantità di moto?
(a) $\mathscr{L}/v$
(b) $(\mathscr{L}l)/(vt)$
(c) $(v^3t)/(\mathscr{L}l)$
(d) $(\mathscr{L})/(vl)$
(e) $(\mathscr{L}v)/(lt^2)$

3) Un pendolo semplice ha, sulla Terra (accelerazione di gravità g) e per piccole oscillazioni, un periodo T. Lo porto sulla sulla Luna (accelerazione di gravità$g' = g/6$) e aggiungo massa al "peso" del pendolo, portandolo ad avere $m' = 6m$. Il periodo T' ora vale
(a) $T' = T$
(b) $T' = 6T$
(c) $T' = \sqrt{6}T$
(d) $T' = T/6$
(e) $T' = T/\sqrt{6}$

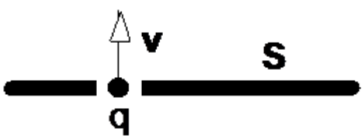
4) Un punto materiale vincolato a muoversi lungo l'asse delle x è soggetto alla <u>forza</u> mostrata. In quale coordinata è in una posizione di equilibrio stabile?
(a) x_1
(b) x_2
(c) x_3
(d) x_4
(e) x_5



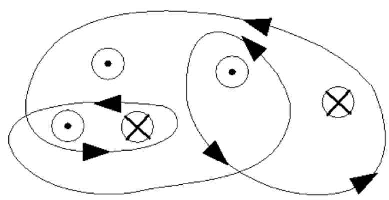
5) Una carica puntiforme e una sfera conduttrice neutra
(a) si respingono
(b) si attirano
(c) non esercitano effetti l'una sull'altra
(d) dipende dal segno della carica puntiforme
(e) dipende dalla distanza

6) Attraverso una superficie chiusa, un campo magnetico statico ha flusso:
(a) Dipende dal campo e dalla superficie
(b) Dipende solo dal campo
(c) Dipende solo dalla superficie
(d) Nullo
(e) Dipende dalla disposizione delle sorgenti del campo

7) Si richiede che particelle negative, che passano attraverso una fenditura di uno schermo con velocità giacente nel piano del foglio, deviino fino a subire un impatto nella regione S dello schermo. Si deve applicare una campo magnetico
(a) Entrante
(b) Uscente
(c) Verso l'alto
(d) Verso sinistra
(e) Verso destra



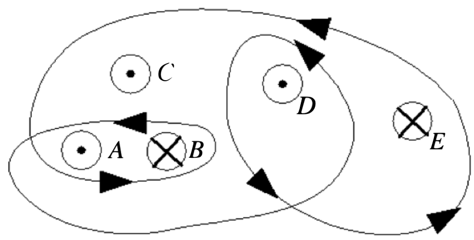
8) La circuitazione di $\vec{B}$ relativa al percorso orientato in figura (le correnti sono tutte di uguale intensità I e perpendicolari al foglio, con verso come in figura) vale:
(a) $-\mu_0 I$
(b) $\mu_0 I$
(c) $2\mu_0 I$
(d) $-2\mu_0 I$
(e) $5\mu_0 I$



Pagina per la risposta alla domanda aperta

Risposte ai quesiti a scelta multipla

1) Nel caso della forza di attrito statico, la forza di attrito ha qualsiasi valore occorra per mantenere il corpo in una situazione statica ($\sum \overrightarrow{F} = 0$), purché non sia superato il valore massimo - cosa che evidentemente non succede nel caso proposto. Sul corpo del quesito agiscono: la forza peso verso il basso, di modulo mg; la forza normale in direzione perpendicolare al piano; e la forza di attrito statico, in direzione parallela al piano. Al fine di giungere all'equilibrio tra le forze nella direzione parallela al piano, dunque, la forza di attrito statico sarà in modulo uguale alla componente parallela al piano della forza peso ($mg \sin \theta$, con θ angolo tra il piano e l'orizzontale). Dunque dipende da massa, angolo e accelerazione di gravità; NON dipende dal coefficiente di attrito, dunque **la risposta giusta è la c**.
2) La quantità di moto è una massa per una velocità, ha quindi dimensioni fisiche MLT^{-1}; facendo l'analisi dimensionale delle espressioni proposte, si vede che **la risposta giusta è la a**.
3) Il periodo di un pendolo si scrive $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Non dipende quindi dalla massa. Essendo in presenza di $g' = g/6$, otteniamo $T' = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g/6}} = \sqrt{6}T$ e **la risposta giusta è la c**.
4) Si noti che si sta mostrando il grafico della *forza* in funzione della posizione, non l'usuale grafico dell'energia potenziale. Per una posizione di equilibrio stabile x_n, ci aspettiamo: $F = 0$ per $x = x_n$; $F > 0$ per $x < x_n$; $F < 0$ per $x > x_n$. Le tre condizioni sono simultaneamente verificate nel punto x_2, dunque **la risposta giusta è la b**.
5) Sulla sfera conduttrice sono presenti cariche libere di muoversi; la presenza di una carica puntiforme positiva(negativa) tende a respingere le cariche positive(negative) sulla sfera e ad attrarre le cariche negative(positive). Lo spostamento delle cariche libere di muoversi produce quindi una polarizzazione della sfera che, pur rimanendo neutra, presenta una carica opposta a quella della carica puntiforme dalla parte più vicina ad essa, e una carica dello stesso segno di quella della carica puntiforme dalla parte più lontana. Dal momento che la forza elettrostatica decresce con il quadrato della distanza, ne risulta un effetto netto attrattivo; **la risposta giusta è quindi la b**.
6) Il campo magnetostatico ha sempre flusso nullo attraverso una superficie chiusa; altrimenti esisterebbe la *carica magnetica!* **La risposta giusta è la d**.
7) Per la regola della mano destra, considerando la forza di Lorentz $\overrightarrow{F}_L = q\vec{v} \times \overrightarrow{B}$ e che $q < 0$, il campo necessario risulta essere entrante. **La risposta giusta è la a**.
8) Visto che la circuitazione è antioraria in figura, consideriamo positivi i contributi delle correnti uscenti e negativi quelli delle correnti entranti. Dobbiamo anche fare attenzione al fatto che alcune correnti sono avvolte dal percorso due volte. Nominando le correnti come nell figura seguente, si ha:



A e B sono "avvolte" nello stesso modo e hanno verso opposto, possiamo quindi non considerarle nella somme complessiva;
C è "avvolto" una volta, entra con segno positivo;
D è "avvolto" due volte, entra con segno positivo;
E è "avvolto" una volta, entra con segno negativo.
In definitiva, abbiamo 3 contributi positivi e uno negativo; la circuitazione totale vale quindi $2\mu_0 I$, e **la risposta giusta è la c**.

Soluzioni degli esercizi

Esercizio 1

Considerando la situazione statica e il terzo principio di Newton, concludiamo che la componente parallela al piano della forza peso agente sul blocco B è di fatto applicata al blocco A, in aggiunta alle usuali forza peso, forza d'attrito e forza normale. La seconda legge di Newton nella direzione parallela al piano dunque può essere scritta (scegliendo come positivo il verso della discesa) per la situazione limite, in cui la forza di attrito statico raggiunge il suo valore massimo:

$$m_A g \sin\vartheta + m_B^{max} g \sin\vartheta - \mu_S m_A g \cos\vartheta = 0$$

da cui ricaviamo

$$m_B^{\max} = m_A \left(\frac{\mu_S}{\tan\vartheta} - 1 \right) \simeq \frac{m_A}{3} \simeq 0.370 \text{ kg}$$

Quando $m_B = m_A$, la seconda legge di Newton per l'insieme dei due corpi che scivoleranno restando a contatto diventa

$$m_A g \sin\vartheta + m_A g \sin\vartheta - \mu_S m_A g \cos\vartheta = (m_A + m_A) a$$

da cui ricaviamo

$$a = g \left(\sin\vartheta - \frac{1}{2} \mu_S \cos\vartheta \right) = \frac{1}{2} g \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2} \mu_D \right) \simeq 1.71 \text{ m/s}^2$$

Quando i blocchi sono scesi di h in verticale, hanno strisciato lungo il piano per una distanza $h/\sin\vartheta$ muovendosi con accelerazione costante a. Possiamo quindi trovare a quale velocità si stanno muovendo

$$v = \sqrt{2ah/sin\vartheta} = 2\sqrt{ah}$$

La forza d'attrito dinamico esercita sempre una forza di modulo $F_{att} = \mu_D m_A g \cos\vartheta$. Dunque la potenza dissipata vale

$$P = F_{att} v \simeq \mu_D m_A g \sqrt{\frac{3gh}{2} \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2} \mu_D \right)} \simeq 14.5 \text{ W}$$

Esercizio 2

La densità lineare di carica è semplicemente

$$\lambda = \frac{Q}{l} = \frac{Q}{2\pi R} \simeq 15.9\ \mu\mathrm{C/m}$$

Il potenziale elettrostatico lo possiamo calcolare molto semplicemente considerando che tutte le parti dell'anello sono alla stessa distanza, pari a R, dal centro dello stesso; il potenziale generato in quel punto ha quindi lo stesso valore del potenziale generato da una carica puntiforme a distanza R:

$$V_0 = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R} \simeq 899\ \mathrm{kV}$$

Per studiare il moto del corpo, possiamo sfruttare la conservazione dell'energia meccanica. Il corpo è inizialmente fermo ($K_i = 0$) ed ha un'energia potenziale pari alla sua carica per il potenziale appena calcolato ($U_i = \frac{Q^2}{4\pi\varepsilon_0 R}$); quando è molto lontano, l'energia potenziale è trascurabile ($U_f = 0$) e l'energia cinetica dipende dalla sua massa e dalla velocità raggiunta ($K_f = \frac{1}{2}mv^2$). Dato che $E_i = E_f$,

$$\frac{Q^2}{4\pi\varepsilon_0 R} = \frac{1}{2}mv^2$$

da cui ricaviamo subito

$$m = \frac{Q^2}{2\pi\varepsilon_0 R v^2} \simeq 56\ \mathrm{g}$$

Esercizio 3

I condensatori in serie hanno una capacità equivalente $C = \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$. Soggetta ad una differenza di potenziale V_0, la carica del condensatore equivalente, che è pari anche alle cariche Q_1 e Q_2 su ciascun condensatore, vale

$$Q_1 = Q_2 = Q = C V_0 = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} V_0 \simeq 360\ \mu\mathrm{C}$$

La differenza di potenziale ai capi di ciascun condensatore è

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{C_2}{C_1 + C_2} V_0 \simeq 18\ \mathrm{V} \qquad \text{e} \qquad V_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} V_0 \simeq 6.0\ \mathrm{V}$$

Si verifica che si ha, correttamente, $V_1 + V_2 = V_0$.

Una volta posti in parallelo, il condensatore equivalente ha una capacità $C' = C_1 + C_2$ e la carica totale disponibile è pari a $Q' = 2Q$. La differenza di potenziale ai capi dei due condensatori è quindi

$$V' = V_1' = V_2' = \frac{2Q}{C'} = \frac{2C_1 C_2}{\left(C_1 + C_2\right)^2} V_0 \simeq 9.0\ \mathrm{V}$$

La carica presente su ciascun condensatore è tale da ottenere $V_1' = V_2' = V'$, quindi

$$Q_1' = C_1 V' = \frac{2C_1^2 C_2}{\left(C_1 + C_2\right)^2} V_0 \simeq 180\ \mu\mathrm{C}$$

$$Q_2' = C_2 V' = \frac{2C_1 C_2^2}{\left(C_1 + C_2\right)^2} V_0 \simeq 540\ \mu\mathrm{C}$$

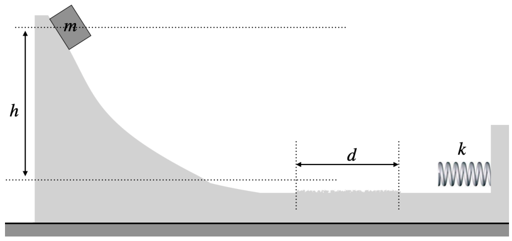
dove si osserva che $Q_1' + Q_2' = 2Q$ come atteso.

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 2 Settembre 2024 - Prof. L. Guiducci

Esercizi

È richiesta la consegna dello svolgimento degli esercizi su foglio protocollo, siglato con i vostri Nome-Cognome-Matricola. Inoltre, riportare nella griglia sul retro di questa pagina i risultati numerici.

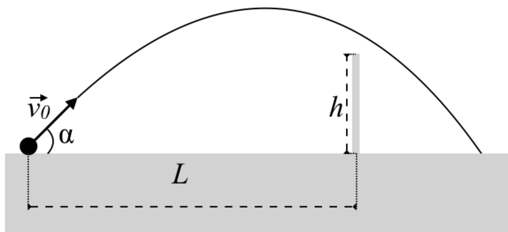
Esercizio 1



Un corpo di massa $m = 0.750$ kg è lasciato partire da fermo e scivola lungo una discesa priva di attrito, fino a scendere di una altezza ignota, raggiungendo una parte pianeggiante. In questo punto ha velocità $v_0 = 5.40$ m/s. Il piano diviene poi scabro per una lunghezza $d = 1.35$ m, con coefficiente di attrito dinamico ignoto, dopo di che è nuovamente liscio. Infine, il corpo, che ora si muove a velocità $v_1 = 2.50$ m/s, incontra una molla ideale, a cui resta agganciato. Si osserva che le oscillazioni del corpo attaccato alla molla hanno periodo $T = 0.350$ s. Si calcoli:

1) l'altezza h da cui è partito il corpo;
2) il coefficiente di attrito dinamico μ_k del tratto scabro;
3) l'ampiezza A dell'oscillazione;
4) la costante elastica k della molla.

Esercizio 2



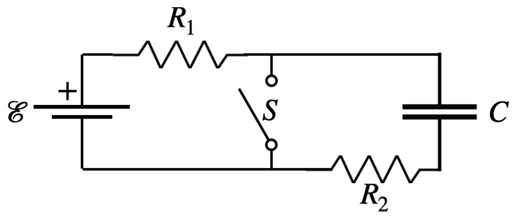
Un proiettile viene sparato con velocità iniziale $v_0 = 32.4$ m/s e inclinazione $\alpha = 37.0^\circ$ rispetto all'orizzontale. Calcolare:

1) la massima altezza h_{max} raggiunta dal proiettile durante il volo;
2) la distanza R dal punto di lancio a cui il proiettile tocca nuovamente il suolo.

Se a distanza $L = 92.7$ m dal punto di lancio si trova una recinzione alta $h = 2.31$ m:

3) qual è la velocità minima di lancio v_0^{min} per riuscire ad oltrepassare la recinzione?

Esercizio 3



Nel circuito in figura, $C = 10.0\ \mu$F, $R_1 = 50.0$ kΩ, $R_2 = 100$ kΩ, S è aperto e all'istante $t = 0$ viene inserita la batteria in grado di generare una forza elettromotrice $\mathscr{E} = 24.0$ V.

1) Che differenza di potenziale V_C c'è tra le armature del condensatore dopo $t_1 = 2.00$ s?
2) Poi si attende un tempo molto grande. Quanta corrente I_B sta erogando la batteria?
3) Poi S viene chiuso: quanta corrente I_S lo attraversa nell'istante immediatamente successivo alla chiusura?
4) In quanto tempo t_2, misurato a partire dalla chiusura di S, si misura ai capi del condensatore C una differenza di potenziale pari a $V_2 = \mathscr{E}/2$?

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 2 Settembre 2024 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ___________________________ Nome:_______________________ Matr.:___________________

Risposte agli esercizi *(si scrivano i risultati con <u>due o tre cifre significative</u> e le <u>unità di misura</u>)*

ESERCIZIO 1

h	1.49 m
μ_k	0.865
A	13.9 cm
k	242 N/m

ESERCIZIO 2

h_{max}	19.4 m
R	103 m
v_0^{min}	31.3 m/s

ESERCIZIO 3

V_C	17.7 V
I_B	0
I_S	720 μA
t_2	0.69 s

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 2 Settembre 2024 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ________________________ Nome:____________________ Matr.:_________________

Domande aperte: *si dia risposta, nella pagina quadrettata sul retro, ad una tra le seguenti domande:*

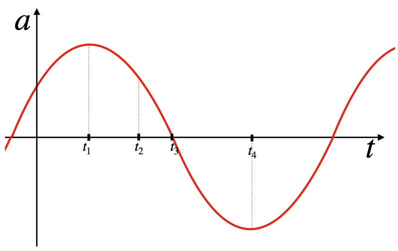
1) Si illustri la legge di induzione di Faraday-Lenz.
2) Si discutano le equazioni di Maxwell per il campo elettromagnetico.
3) Si descriva l'effetto Hall, possibilmente con alcune relazioni quantitative e illustrando le tre principali conseguenze sperimentali.

Quesiti a scelta multipla: *identificare con una crocetta la risposta scelta.*

1) In un'orbita completa di un satellite Starlink, il lavoro che compie la forza di gravitazione è:
(a) positivo
(b) nullo
(c) negativo
(d) positivo o negativo a seconda che l'orbita sia destrorsa o sinistrorsa
(e) nessuna delle precedenti

2) Il Volt è definito come:
(a) il rapporto tra l'Ampere e il Coulomb
(b) il prodotto tra il Watt e l'Ohm
(c) il rapporto tra il Joule e il Coulomb
(d) il prodotto tra il Joule e l'Ampere
(e) nessuna delle altre risposte è corretta

3) La figura mostra in funzione del tempo l'accelerazione di un corpo che compie un moto armonico. L'energia cinetica è massima in:
(a) t_1
(b) t_2
(c) t_3
(d) t_4
(e) nessuna delle precedenti



4) In un circuito chiuso, fisso e indeformabile, di forma circolare, si può generare una corrente elettrica indotta se:
(a) all'interno del circuito c'è un campo magnetico variabile nel tempo con direzione parallela all'asse della circonferenza
(b) all'interno del circuito è presente un magnete fermo rispetto al circuito.
(c) il circuito si muove di moto rettilineo rispetto ad un campo magnetico uniforme e costante.
(d) all'interno del circuito c'è un campo magnetico uniforme e costante diverso da zero.
(e) all'interno del circuito c'è un campo magnetico variabile nel tempo con direzione perpendicolare all'asse della circonferenza.

5) Tre palline metalliche A, B e C uguali tra loro sono montate su supporti isolanti. La pallina A possiede carica +q mentre B e C sono scariche.
A viene portata a contatto con B e poi, separatamente, con C. Alla fine la carica su A sarà:
(a) +q
(b) +q/2
(c) +q/3
(d) +q/4
(e) Nessuna delle precedenti

6) Una carica elettrica si muove di moto rettilineo uniforme in una regione di spazio in cui sono presenti sia un campo magnetico che uno elettrico. I due campi sono sicuramente:
(a) ortogonali
(b) paralleli e con lo stesso verso
(c) paralleli e con verso opposto
(d) il campo elettrico deve essere nullo
(e) nessuna delle altre risposte è corretta

7) Un uomo che pesa 60 kg cammina in salita, superando un dislivello di 240 m ogni ora.
(a) La potenza impiegata per vincere la forza di gravità è compresa tra 38 e 42 W
(b) La potenza muscolare media è tra 19 e 21 W
(c) La velocità ascensionale è tra 3.5 e 4.5 m/s
(d) I dati non sono adeguati a dare una risposta
(e) Nessuna delle precedenti

8) La forza che si esercita tra due fili conduttori rettilinei e paralleli percorsi da correnti uguali ed con lo stesso verso è:
(a) ortogonale ai fili e attrattiva
(b) ortogonale ai fili e repulsiva
(c) nulla
(d) parallela ai fili
(e) nessuna delle altre risposte è corretta

Pagina per la risposta alla domanda aperta

Risposte ai quesiti a scelta multipla

1) Al termine di un'orbita completa, il satellite si trova alla stessa distanza dalla terra con la stessa velocità, e ha dunque la stessa energia meccanica. Il lavoro su di esso compiuto è dunque nullo, e **la risposta giusta è la b**.
2) Il Volt è l'unità di misura del potenziale elettrostatico, definito come l'energia potenziale di una carica diviso per il valore della carica stessa. L'unità di misura è dunque una energia diviso una carica, quindi Joule/Coulomb, e **la risposta giusta è la c**.
3) La massima accelerazione si ha negli estremi del moto, ove è massima la forza elastica e l'energia potenziale elastica mentre è nulla la velocità e quindi l'energia cinetica. Il punto in cui l'accelerazione è nulla corrisponde invece alla posizione di equilibrio, in cui la forza elastica è nulla e lo è anche l'energia potenziale elastica; in questo punto, corrispondente all'istante t_3 in figura, l'energia cinetica è massima, e dunque **la risposta giusta è la c**.
4) Affinché si generi una forza elettromotrice indotta, deve essere presente una variazione del flusso del campo magnetico. Data la definizione, tale variazione può avvenire se si verifica uno o più dei seguenti casi: cambia l'intensità del campo magnetico e/o cambia l'area della spira quando il campo magnetico **non** è perpendicolare all'asse della spira (in questo caso il flusso è nullo per qualsiasi valore del modulo del campo magnetico e dell'area della spira), oppure se cambia l'angolo tra campo magnetico e spira. L'unico tra i casi proposti in cui c'è variazione di flusso è il primo, dunque **la risposta giusta è la a**.
5) Ponendo a contatto due corpi conduttori identici, la carica presente si divide in parti uguali. Dunque nel primo passaggio la carica si divide a metà tra A e B; nel secondo passaggio, la carica ora presente su A, pari a q/2, si divide ulteriormente tra A e C. Dunque alla fine su A è presente una carica pari a q/4, e **la risposta giusta è la d**.
6) Per avere un moto rettilineo uniforme è necessario che la somma delle forze agenti sulla particella sia nulla. Dal momento che il campo elettrico genera sulla carica una forza nella direzione del campo elettrico stesso, mentre il campo magnetico genera una forza perpendicolare sia al campo magnetico stesso che alla direzione del moto della particella, l'unica possibilità che faccia sì che i due effetti si annullino si verifica quando i due campi sono ortogonali, come, appunto, in un selettore di velocità. **La risposta giusta è quindi la a**.
7) L'energia potenziale dell'uomo aumenta di $mgh \simeq 1.41 \cdot 10^5$ J ogni ora, cioè in 3600 s. La potenza che vince la forza di gravità è quindi $(1.41 \cdot 10^5 \text{ J})/(3600 \text{ s}) \simeq 39$ W. **La risposta giusta è quindi la a**.
8) Tra due conduttori rettilinei indefiniti percorsi da corrente si sviluppa una forza, perpendicolare a entrambi i conduttori, che può essere attrattiva o repulsiva. Nel caso di correnti concordi, la forza è attrattiva, come si può verificare scegliendo un segno qualsiasi dei portatori di carica (per esempio cariche positive) e determinando con la regola della mano destra direzione e verso del campo magnetico prodotto dal primo filo nella regione dell'altro filo, e verificando quindi il verso della forza di Lorentz prodotto sulle cariche in moto nel secondo filo. **La risposta giusta è quindi la a**.

Soluzioni degli esercizi

Esercizio 1

1) Durante la discesa, non c'è attrito. Quindi utilizziamo la conservazione dell'energia meccanica:

$$U_i = mgh \qquad U_f = 0 \qquad K_i = 0 \qquad K_f = \frac{1}{2}mv_0^2$$

Di conseguenza, si ha

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = mgh \implies h = \frac{v_0^2}{2g} \simeq 1.49 \text{ m}$$

2) Nel tratto di piano scabro, la variazione di energia (cinetica) è pari al lavoro fatto dalla forza di attrito dinamico:

$$\frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -\mu_k mgd$$

da cui ricaviamo subito

$$\mu_k = \frac{v_0^2 - v_1^2}{2gd} \simeq 0.865$$

(volendo, in termini di accelerazione: $F_{att} = -\mu_k mg \implies a = -\mu_k g$ e dato che $v_1^2 = v_0^2 + 2ad$ con $a = -\mu_k g$ si ottiene la stessa relazione)

3) Nel moto di oscillazione la velocità massima si può esprimere come $v_{max} = \omega A$, e nel nostro caso v_{max} è pari alla velocità v_1, quindi

$$A = \frac{v_1 T}{2\pi} \simeq 13.9 \text{ cm}$$

4) La pulsazione $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$ del moto di oscillazione dipende da k e m, $\omega = \sqrt{\dfrac{k}{m}}$, quindi

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}} \implies k = \frac{4\pi^2 m}{T^2} \simeq 242 \text{ N/m}$$

Esercizio 2

1) Si tratta di un tipico moto parabolico, in cui si ha un moto uniforme nella componente orizzontale (asse x, diretto verso destra) e uniformemente accelerato, con accelerazione -g, nella componente verticale (asse y, diretto verso l'alto). Le corrispondenti leggi orarie, ponendo l'origine del sistema di riferimento nel punto del lancio del proiettile, sono:

$$\begin{cases} x(t) = (v_0 \cos\alpha)t \\ y(t) = (v_0 \sin\alpha)t - \frac{1}{2}gt^2 \\ v_x(t) = v_0 \cos\alpha \\ v_y(t) = v_0 \sin\alpha - gt \end{cases}$$

La massima altezza raggiunta si ha per il tempo t^* tale per cui $v_y(t^*) = 0$ quindi

$$0 = v_0 \sin\alpha - gt^* \implies t^* = \frac{v_0 \sin\alpha}{g} \implies y_{max} = y(t^*) = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g} \simeq 19.398 \text{ m} \simeq 19.4 \text{ m}$$

2) Si tratta del calcolo della gittata. Se non si ricorda la formula, si procede mettendo a sistema le due leggi orari: chiamiamo t' l'istante in cui il corpo tocca il suolo, in un punto situato a distanza R (lungo x) dal punto di lancio, in cui quindi abbiamo x=R e y=0:

$$\begin{cases} y(t') = 0 = (v_0 \sin\alpha)t' - \frac{1}{2}gt'^2 \implies t' = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g} \\ x(t') = R = (v_0 \cos\alpha)t' \implies R = \frac{v_0^2}{g}\sin 2\alpha \simeq 102.97 \text{ m} \simeq 103 \text{ m} \end{cases}$$

3) Quando il proiettile viene sparato con la velocità minima necessaria a oltrepassare la recinzione, giunto a $x = L$ esso avrà giusto $y = h$. Quindi:

$$\begin{cases} x(t_m) = L = (v_0^{min} \cos\alpha)t \rightarrow t_m = \frac{L}{v_0^{min}\cos\alpha} \\ y(t_m) = h = (v_0^{min} \sin\alpha)t_m - \frac{1}{2}gt_m^2 \end{cases}$$

Da questo sistema di due equazioni con incognite v_0^{min} e t_m si ricava dunque:

$$v_0^{min} = \sqrt{\frac{gL^2}{2\cos^2\alpha(L\tan\alpha - h)}} \simeq 31.26 \text{ m/s} \simeq 31.3 \text{ m/s}$$

Esercizio 3

1) Con S aperto, il circuito è un semplice circuito di carica del condensatore, con $R = R_1 + R_2 = 150\ \text{k}\Omega$. La carica del condensatore avviene quindi con legge oraria

$$V(t) = \mathscr{E}\left(1 - e^{-t/RC}\right)$$

In particolare, si ha che la costante di tempo del circuito vale $\tau_1 = RC \simeq 1.5\ \text{s}$.

È sufficiente sostituire i dati disponibili per trovare $V(t = 2.0\ \text{s})$:

$$V(t = 2\ \text{s}) = \mathscr{E}\left(1 - e^{-(2.0\ \text{s})/(1.5\ \text{s})}\right) \simeq 17.7\ \text{V}$$

2) Dopo un tempo molto grande, il condensatore è completamente carico, $V = \mathscr{E}$ e la corrente che scorre nel circuito (quindi la corrente erogata dalla batteria) è zero.

3) Quando S viene chiuso, il condensatore inizia a scaricarsi attraverso R_2, con una nuova costante di tempo $\tau_2 = R_2 C \simeq 1.0\ \text{s}$. Nell'istante iniziale il condensatore presenta una differenza di potenziale pari a $\mathscr{E}$; considerando separatamente le due maglie, vediamo che le correnti sono $I_1 = \mathscr{E}/R_1 \simeq 480\ \mu\text{A}$ e $I_2 = V/R_2 = \mathscr{E}/R_2 \simeq 240\ \mu\text{A}$; nell'interruttore S, per la legge di Kirchhoff dei nodi, scorre la somma delle due correnti, quindi

$$I_S = I_1 + I_2 \simeq 720\ \mu\text{A}.$$

4) Per trovare dopo quanto tempo dalla chiusura di S sia presente sul condensatore una d.d.p. pari a $V_2 = \mathscr{E}/2$, utilizziamo la legge oraria di scarica, con $\tau_2 = 1.00\ \text{s}$, $V_0 = \mathscr{E}$ e richiediamo che $V(t_2) = 12\ \text{V} = \mathscr{E}/2$:

$$V(t_2) = \mathscr{E}/2 = \mathscr{E}e^{-t_2/\tau_2}$$

da cui ricaviamo

$$t_2 = \tau_2 \ln 2 = R_2 C \ln 2 \simeq 0.69\ \text{s}$$

Esercizi

È richiesta la consegna dello svolgimento degli esercizi su foglio protocollo, siglato con i vostri Nome-Cognome-Matricola. Inoltre, riportare nella griglia sul retro di questa pagina i risultati numerici.

Esercizio 1

Un corpo di massa $m = 200$ g è fatto girare su una circonferenza orizzontale di raggio $r = 20.0$ cm per mezzo di una fune ideale ancorata al centro della circonferenza. Il piano su cui il corpo si muove è ruvido. La velocità iniziale della massa è $v_0 = 10.0$ m/s e diminuisce a tasso costante con una accelerazione tangenziale di modulo $a = 0.500$ m/s^2. Determinare

1) il coefficiente di attrito dinamico μ_k tra corpo e piano;

2) quanti giri N fa il corpo prima di fermarsi;

3) la tensione T_i del filo all'inizio del moto ($t = 0$); e

4) la tensione T' all'istante $t' = 3.00$ s.

Esercizio 2

Due piastre metalliche di lato $L = 50.0$ cm sono fissate in modo che siano tra loro parallele e distanti $d = 2.00$ cm e viene tra esse mantenuta una differenza di potenziale $V = 1.00$ kV. Lo spazio tra le piastre è riempito con cicloesano liquido, che ha costante dielettrica relativa $\varepsilon_r = 1.90$.

1) Calcolare il modulo del campo elettrico E presente tra le piastre.

2) Calcolare il modulo della forza F agente su uno ione dotato di una singola carica positiva ($q = +e$).

3) Calcolare la capacità C del sistema.

4) Calcolare la quantità di carica Q immagazzinata.

Esercizio 3

Un ospedaliero addetto alla risonanza magnetica muove la sua mano dentro alla macchina mentre il campo magnetico di $B = 2.00$ T è presente, tenendo le dita orientate nella stessa direzione delle linee di campo. La mano entra nella regione con il campo magnetico in un tempo $\Delta t = 0.250$ s. La sua fede nuziale, fatta di oro ($\rho_{\text{Au}} = 2.35 \cdot 10^{-8}$ Ωm), ha un raggio $r_{\text{anello}} = 1.00$ cm e una sezione $S_{\text{anello}} = 4.50$ mm^2.

1) Quale forza elettromotrice indotta $\mathscr{E}_{ind}$ è presente nell'anello mentre questo entra nel campo magnetico?

2) Qual è la corrente I_{ind} indotta nell'anello?

3) Che potenza P è dissipata nell'anello?

4) Quanto vale il modulo B_{ind} del campo magnetico indotto al centro dell'anello?

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 17 Gennaio 2025 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ____________________________ Nome:________________________ Matr.:____________________

Risposte agli esercizi *(si scrivano i risultati con due o tre cifre significative e le unità di misura)*

ESERCIZIO 1

μ_k	0.0510
N	79.6
T_i	100 N
T'	72.3 N

ESERCIZIO 2

E	50.0 kN/C
F	$8.01 \cdot 10^{-15}$ N
C	210 pF
Q	210 nC

ESERCIZIO 3

$\mathcal{E}_{ind}$	2.51 mV
I_{ind}	7.66 A
P	19.3 mW
B_{ind}	481 μT

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 17 Gennaio 2025 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ____________________ Nome: ____________________ Matr.: ____________________

Domande aperte: *si dia risposta, nella pagina quadrettata sul retro, ad una tra le seguenti domande:*

1) Si descriva il moto di un oscillatore armonico (e.g., un punto materiale soggetto ad una forza elastica).
2) Si descriva il moto di una particella carica in presenza di campi elettrico e magnetico.
3) Si illustrino le principali caratteristiche empiriche delle forze di attrito radente e si spieghi come sono descritte in dinamica classica.

Quesiti a scelta multipla: *identificare con una crocetta la risposta scelta.*

1) Due conduttori paralleli sono attratti l'uno all'altro. Le correnti nei conduttori sono:
(a) piccole e variabili
(b) grandi
(c) in direzioni opposte
(d) nella stessa direzione
(e) zero

2) Quali sono le dimensioni fisiche della costante di gravitazione universale G?
(a) L^2MT^{-1}
(b) LM^2T^{-2}
(c) $L^3M^{-2}T^{-2}$
(d) $L^3M^{-1}T^{-1}$
(e) nessuna delle precedenti

3) Una lampadina a incandescenza da 100 W e uno scaldabagno da 1500 W sono alimentatiti dalla stessa tensione. Quindi:
(a) è più elevata la resistenza della lampadina
(b) le resistenze elettriche dei due apparati sono uguali
(c) non si può rispondere senza conoscere le correnti
(d) è più elevata la resistenza dello scaldabagno
(e) nessuna delle precedenti risposte è corretta

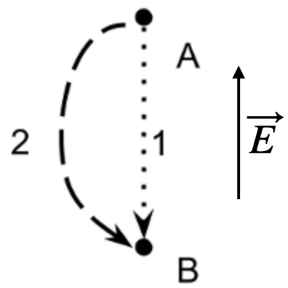
4) Un pendolo sta oscillando; quando la massa passa dal punto più basso, in che direzione agisce la forza risultante?
(a) Solo in direzione angolare
(b) Verso l'alto
(c) Verso il basso
(d) In direzione sia radiale che angolare
(e) La forza totale è zero nel punto più basso

5) Un ciclista pedala in salita a velocità costante. In che direzione agisce la forza di attrito della strada sulle ruote?
(a) Non agisce attrito se la bici si muove a velocità costante
(b) Verso la discesa
(c) Verso la salita
(d) Perpendicolarmente alla strada
(e) Mancano informazioni per poter rispondere

6) Una sfera ha massa 2 kg e carica $+4\ \mu$C, e a tre metri si trova una sfera di massa 1 kg e carica $+5\ \mu$C, l'accelerazione della sfera più massiva è:
(a) $0.04\ \mathrm{m/s^2}$
(b) $0.03\ \mathrm{m/s^2}$
(c) $0.01\ \mathrm{m/s^2}$
(d) $0.02\ \mathrm{m/s^2}$
(e) sono necessarie altre informazioni

7) Due pianeti su muovono s orbite circolari attorno alla stessa stella; il primo ha massa M e orbita di raggio R, il secondo ha massa 2M e orbita di raggio 2R. Quale pianeta si muove più velocemente?
(a) Il primo
(b) Il secondo
(c) Hanno la stessa velocità
(d) È necessario conoscere la massa della stella
(e) Nessuna delle altre risposte è corretta

8) In cinque secondi, una carica puntiforme si muove da A a B, in una regione in cui è presente un campo elettrico uniforme, come in figura. Quale dei due percorsi richiede più lavoro?
(a) Entrambi richiedono lo stesso lavoro, in quanto questo non dipende dal percorso
(b) Entrambi richiedono lo stesso lavoro, in quanto lo stesso spostamento è compiuto nello stesso intervallo di tempo
(c) è necessario conoscere il valore della carica e del campo elettrico
(d) il percorso 1 richiede più lavoro perché si oppone direttamente al campo elettrico
(e) il percorso 2 richiede più lavoro perché la carica è spostata su un percorso più lungo



Pagina per la risposta alla domanda aperta

Risposte ai quesiti a scelta multipla

1) Tra due conduttori rettilinei indefiniti percorsi da corrente si sviluppa una forza, perpendicolare a entrambi i conduttori, che può essere attrattiva o repulsiva. Nel caso di correnti concordi, la forza è attrattiva, come si può verificare scegliendo un segno qualsiasi dei portatori di carica (per esempio cariche positive) e determinando con la regola della mano destra direzione e verso del campo magnetico prodotto dal primo filo nella regione dell'altro filo, e verificando quindi il verso della forza di Lorentz prodotto sulle cariche in moto nel secondo filo. **La risposta giusta è quindi la a**.

2) La legge di gravitazione universale: $|\vec{F}| = G\dfrac{m_1 m_2}{r_{12}^2}$, quindi $\mathrm{MLT}^{-2} = [\mathrm{G}]\mathrm{M}^2\mathrm{L}^{-2}$. Ne consegue che $[\mathrm{G}] = \mathrm{L}^3\mathrm{M}^{-1}\mathrm{T}^{-2}$, **la risposta giusta è quindi la e**, nessuna delle precedenti.

3) Esprimiamo la potenza elettrica $P = V^2/R$. La tensione V è la stessa, quindi l'elemento che sviluppa una potenza maggiore ha resistenza minore. **La risposta giusta è quindi la a**.

4) Nel punto più basso dell'oscillazione la tensione della fune è verticale verso l'alto; la forza peso è sempre verticale verso il basso. La risultante delle due forze sarà quindi anch'essa verticale, o nulla. Se il corpo fosse fermo nella posizione di equilibrio, la risultante sarebbe nulla (tensione uguale e opposta alla forza peso); dato che il corpo è in moto *su una traiettoria circolare*, è necessariamente presente una forza centripeta, che nel punto più basso del moto è verticale e diretta verso l'alto, e tale è la risultante delle forze agenti sul corpo. **La risposta corretta è quindi la a**.

5) Osservando un moto a velocità costante, sappiamo che la risultante di tutte le forze deve essere nulla. Dato che sul ciclista, oltre all'attrito, agisce la forza normale alla strada e la forza peso, la forza di attrito sarà diretta verso la salita. **La risposta corretta è quindi la c.**

6) Su entrambi i corpi agisce la forza di Coulomb, con modulo $F = \dfrac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$, dividendo per la massa di 2 kg si ottiene l'accelerazione, che risulta approssimativamente $0.00999\ \mathrm{m/s^2}$. **La risposta corretta è quindi la c.**

7) Possiamo utilizzare la terza legge di Keplero per valutare la situazione: per i due pianeti, vale $\dfrac{T_M^2}{R^3} = \dfrac{T_{2M}^2}{(2R)^3}$, quindi $\dfrac{T_{2M}^2}{T_M^2} = 8$. Le velocità lungo le rispettive orbite sono $v_M = \dfrac{2\pi R}{T_M}$ e $v_{2M} = \dfrac{2\pi 2R}{T_{2M}}$. Combinando le relazioni, otteniamo $\dfrac{v_M}{v_{2M}} = 2$, **quindi la risposta corretta è la a**. Si noti che, come atteso, la massa dei pianeti è irrilevante.

8) Essendo in presenza di un campo elettrostatico, che è conservativo, il lavoro svolto non dipende dal percorso. **La risposta giusta è quindi la a**.

Soluzione Esercizio 1

La forza di attrito dinamico si può esprimere come $F_k = \mu_k N$ dove N è il modulo della forza normale; trovandosi su un piano orizzontale si ha $N = mg$. La forza di attrito dinamico è l'unica responsabile della accelerazione tangenziale del corpo, quindi

$$\mu_k mg = ma \quad \Longrightarrow \mu_k = a/g \simeq 0.051$$

Lungo la traiettoria (ascissa curvilinea s) la legge oraria è quella del moto uniformemente accelerato:

$$s(t) = v_0 t - \frac{1}{2}at^2$$

$$v(t) = v_0 - at$$

$$v^2(t) = v_0^2 - 2as(t)$$

Nell'istante in cui $v(t') = 0$, si ha $s(t') = S$, la lunghezza totale percorsa lungo la circonferenza:

$$S = \frac{v_0^2}{2a}$$

Il numero di giri sarà $N = S/(2\pi R)$. Quindi

$$N = \frac{v_0^2}{4\pi a R} \simeq 79.6$$

La tensione del filo costituisce la forza centripeta, e quindi è uguale alla massa del corpo per la sua accelerazione centripeta. All'istante iniziale

$$T(t = 0) = m\frac{v_0^2}{R} \simeq 100 \text{ N},$$

mentre all'istante $t' = 3$ s

$$T(t = t' = 3 \text{ s}) = m\frac{(v_0 - at')^2}{R} \simeq 72.3 \text{ N}$$

Soluzione Esercizio 2

Il campo elettrico è semplicemente la differenza di potenziale divisa per la distanza tra le superfici delle piastre, come deriva dalla definizione di differenza di potenziale:

$$E = \frac{V}{d} \simeq 50.0 \text{ kN/C}$$

La forza agente su una particella di carica $+e$ in presenza del campo E è semplicemente

$$F = Ee = \frac{Ve}{d} \simeq 8.01 \cdot 10^{-15} \text{ N}$$

Per calcolare la capacità possiamo usare la definizione di capacità di un condensatore e facce piane parallele, considerando che le piastre hanno area $A = L^2$, quindi

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{L^2}{d} \simeq 210 \text{ pF}$$

Dalla definizione di capacità, $C = Q/V$, ricaviamo immediatamente

$$Q = CV = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{VL^2}{d} \simeq 210 \text{ nC}$$

Soluzione Esercizio 3

L'asse dell'anello, coincidente con le dita, è parallelo al campo magnetico, quindi il flusso è semplicemente il prodotto tra il modulo del campo magnetico e la superficie racchiusa dall'anello; la f.e.m. indotta, quindi

$$\mathscr{E}_{ind} = \frac{B\pi r_{\text{anello}}^2}{\Delta t} \simeq 2.51\ \text{mV}$$

Per trovare la corrente indotta, dobbiamo calcolare la resistenza dell'anello, che come "circuito" conduttore, ha una lunghezza $l = 2\pi r_{\text{anello}}$ e sezione S data:

$$R = \rho_{\text{Au}} \frac{2\pi r_{\text{anello}}}{S} \simeq 328\ \mu\Omega$$

quindi

$$I_{ind} = \mathscr{E}_{ind}/R = \frac{B r_{\text{anello}} S}{2\rho_{\text{Au}}\Delta t} \simeq 7.66\ \text{A}$$

La potenza dissipata possiamo scriverla come V^2/R o come RI^2 e si ottiene

$$P = \mathscr{E}_{ind}^2/R = \frac{\pi B^2 S r^3}{2\rho_{\text{Au}}\Delta t^2} \simeq 19.3\ \text{mW}$$

Il campo magnetico indotto al centro dell'anello, considerando la corrente indotta calcolata precedentemente, vale

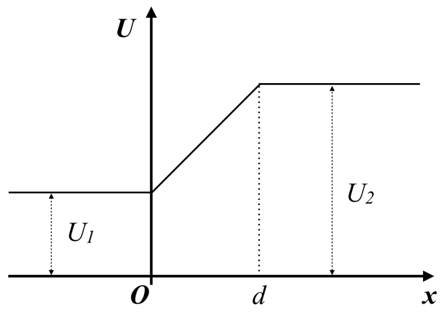
$$B_{ind} = \frac{\mu_0 I_{ind}}{2r_{\text{anello}}} = \frac{\mu_0 BS}{4\rho_{\text{Au}}\Delta t} \simeq 481\ \mu\text{T}$$

Esercizi

È richiesta la consegna dello svolgimento degli esercizi su foglio protocollo, siglato con i vostri Nome-Cognome-Matricola. Inoltre, riportare nella griglia sul retro di questa pagina i risultati numerici.

Esercizio 1

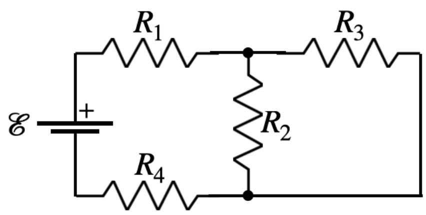
Un punto materiale di massa $m = 10.0$ g si muove lungo l'asse x sotto l'azione di forze conservative: la dipendenza dell'energia potenziale dalla posizione del corpo è rappresentata nella figura, dove si ha $d = 1.00$ m, $U_1 = 0.250$ J e $U_2 = 0.550$ J.



1) Si trovi la componente della forza lungo l'asse x per $x < 0$ (F_-) e per $0 < x < d$ (F_d).
2) Se il punto si muove, partendo dal semiasse negativo, verso O con velocità v_0 e giunge nel
punto $x = d/2$ con velocità nulla, quanto vale v_0?
3) Se il punto si muove, partendo dal semiasse negativo, verso O con velocità di modulo $v_1 = 10.0$ m/s, quando vale la sua velocità v^* nella regione $x > d$?

Esercizio 2

Nel circuito in figura si ha: $\mathscr{E} = 12.0$ V ; $R_1 = 20.0\ \Omega$; $R_2 = 20.0\ \Omega$; $R_3 = 30.0\ \Omega$; $R_4 = 80.0\ \Omega$. Si calcoli:



1) La corrente $I_{\mathscr{E}}$ erogata dalla batteria;

2) La corrente I_2 che percorre R_2;

3) La corrente I_3 che percorre R_3.

Esercizio 3

Due sfere conduttrici di raggio $R_1 = 1.00$ cm e $R_2 = 3.00$ cm sono poste con i centri ad una distanza $L = 2.00$ m. Inizialmente su entrambe è presente una carica $Q_0 = 2.00 \cdot 10^{-3}$ C . Considerata la dimensione delle sfere e le distanze, possono essere trascurati tutti i fenomeni di induzione elettrostatica.

1)Calcolare il modulo F della forza esercitata su una carica puntiforme $q_0 = -2 \cdot 10^{-6}$ C posta ad una distanza $2L$ dal centro della seconda sfera (vedi disegno).

2) La carica q_0 viene portata a distanza infinita: qual è stato il lavoro $\mathscr{L}$ delle forze elettrostatiche?

3) In seguito le due sfere vengono connesse con un filo conduttore; quali sono, a questo punto, le cariche Q_1 e Q_2 che si misurano sulle due sfere?

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 7 Febbraio 2025 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ___________________________ Nome:_______________________ Matr.:___________________

Risposte agli esercizi *(si scrivano i risultati con due o tre cifre significative e le unità di misura)*

ESERCIZIO 1

F_-	0
F_d	-0.30 N
v_0	5.5 m/s
v^*	6.3 m/s

ESERCIZIO 2

$I_{\mathscr{E}}$	107 mA
I_2	64.2 mA
I_3	42.8 mA

ESERCIZIO 3

F	3.25 N
$\mathscr{L}$	-15.0 J
Q_1	1.0 mC
Q_2	3.0 mC

Università degli Studi di Bologna - Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche
Fisica - Appello del 7 Febbraio 2025 - Prof. L. Guiducci

Cognome: ____________________________ Nome:________________________ Matr.:____________________

Domande aperte: *si dia risposta, nella pagina quadrettata sul retro, ad una tra le seguenti domande:*

1) Si enunci e si descriva la legge di Ampere-Maxwell
2) Si discuta la legge di Gravitazione universale, anche con esempi di semplici calcoli
3) Si illustrino le principali caratteristiche empiriche delle forze di attrito radente e si spieghi come sono descritte in dinamica classica.

Quesiti a scelta multipla: *identificare con una crocetta la risposta scelta.*

1) Se la luna impiegasse il doppio del tempo a compiere un'orbita intorno alla terra, il raggio della sua orbita sarebbe circa
(a) la metà
(b) il doppio
(c) 1.6 volte
(d) 0.63 volte
(e) nessuna delle risposte precedenti

2) In un moto circolare, a parità di velocità tangenziale, raddoppiando il raggio, l'accelerazione centripeta
(a) dimezza
(b) raddoppia
(c) resta la stessa
(d) aumenta di √2
(e) nessuna delle risposte precedenti

3) Le dimensioni fisiche della potenza sono:
(a) ML^1T^{-2}
(b) ML^1T^{-1}
(c) ML^2T^{-2}
(d) ML^2T^{-3}
(e) nessuna delle precedenti

4) Nel moto armonico semplice il modulo dell'accelerazione è massimo quando:
(a) la velocità è massima
(b) la forza è nulla
(c) lo spostamento è nullo
(d) lo spostamento è massimo
(e) nessuna delle risposte precedenti

5) Un condensatore a facce piane e parallele è caricato con carica Q_0 e sempre connesso alla batteria. Se la distanza tra le armature viene dimezzata:
(a) la carica raddoppia
(b) la carica resta uguale
(c) è necessario conoscere il dielettrico presente
(d) la carica dimezza
(e) nessuna delle precedenti

6) Quando una carica in moto in un campo magnetico si muove su una traiettoria elicoidale?
(a) Quando $\vec{v}$ e $\vec{B}$ sono paralleli
(b) Quando $\vec{v}$ e $\vec{B}$ formano un angolo di 180°
(c) Quando $\vec{v}$ e $\vec{B}$ sono perpendicolari
(d) Quando $\vec{v}$ e $\vec{B}$ formano un angolo diverso da 0°, 90° o 180°
(e) nessuna delle precedenti

7) La circuitazione del campo magnetico lungo un percorso chiuso è:
(a) uguale alla somma delle correnti che attraversano una superficie avente per contorno il percorso chiuso
(b) uguale alla somma delle correnti che scorrono lungo il percorso chiuso.
(c) proporzionale alla somma delle correnti che attraversano una superficie avente per contorno il percorso chiuso
(d) proporzionale alla somma delle correnti che scorrono lungo il percorso chiuso
(e) nessuna delle precedenti

8) In quale di queste situazioni viene generata una corrente indotta?
(a) Una calamita a forma di parallelepipedo ha l'asse inclinato di 45° rispetto all'asse di una spira che la circonda.
(b) Una calamita sferica cade per gravità dentro un tubo d'alluminio lungo 5 cm al termine di un percorso di 1 m.
(c) Un filo conduttore è perpendicolare alle linee parallele di un campo magnetico uniforme.
(d) Si hanno due fili conduttori molto lunghi, ma solo uno è percorso da corrente.
(e) Nessuna delle precedenti

Pagina per la risposta alla domanda aperta

Risposte ai quesiti a scelta multipla

1)Possiamo utilizzare la legge di Keplero delle orbite. Per tutti i corpi in orbita intorno alla terra, si ha lo stesso valore di T^2/R^3. Considerando $T' = 2T$, ricaviamo $R' = \sqrt[3]{4}R$. **La risposta corretta è quindi la (c).**

2) L'accelerazione centripeta può essere espressa come $a_c = v^2/R$. A parità di velocità tangenziale, raddoppiando il raggio dimezza l'accelerazione centripeta, **la risposta giusta è quindi la (a).**

3) La potenza è un lavoro per unità di tempo (fattore T^{-1}); il lavoro è una forza per uno spostamento (fattore L); la forza è una massa (M) per una accelerazione (LT^{-2}). Combinando tutto si ottiene che le unità fisiche della potenza sono ML^2T^{-3}, e **la risposta giusta è la (d).**

4) L'accelerazione è massima quando è massima la forza agente sul corpo, e ciò accade al massimo spostamento dalla posizione di equilibrio (per esempio, per il massimo allungamento o compressione della molla), **la risposta giusta è quindi la (d)**.

5) Se la distanza tra le armature dimezza, la capacità raddoppia ($C = \varepsilon S/d$); dato che la differenza di potenziale tra le armature sarà mantenuta costante grazie al collegamento della batteria, considerando che $V = Q/C$, con il raddoppio di C si ha anche il raddoppio di Q. **La risposta corretta è quindi la (a).**

6) La particella carica è soggetta alla forza di Lorentz, in cui compare il prodotto vettoriale $\vec{v} \times \vec{B}$. La forza di Lorentz è quindi zero se l'angolo è zero o 180 gradi. Altrimenti, la forza è perpendicolare al piano formato da $\vec{v}$ e $\vec{B}$; quando $\vec{v}$ e $\vec{B}$ formano un angolo di 90 gradi, il moto si svolge tutto sul piano perpendicolare a $\vec{B}$ e consiste in una circonferenza. Se l'angolo formato è diverso da 90 gradi, la componente di $\vec{v}$ parallela a $\vec{B}$ resta costante e il moto diviene la composizione di un moto circolare sul piano perpendicolare a $\vec{B}$ con un moto uniforme lungo la direzione parallela a $\vec{B}$, cioè, appunto, un moto elicoidale. **La risposta corretta è quindi la (d).**

7) In formule, la legge si può scrivere come $\oint \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 \sum I_{conc}$, dove il concetto di *corrente concatenata con il circuito* si esplica appunto valutando l'attraversamento di una (qualsiasi) superficie di cui il circuito rappresenti il bordo; **la risposta corretta è quindi la (c)** (data la presenza della permeabilità magnetica del vuoto con il ruolo di costante di proporzionalità, diversa da uno).

8) Affinché ci siano correnti indotte, deve esserci una variazione del flusso del campo magnetico. In tutte le situazioni descritte eccetto la b) tale variazione non si può verificare; nella b) invece si verifica certamente, dal momento che la distanza tra il magnete e il tubo (che ha la funzione di circuito chiuso) cambia. **La risposta corretta è quindi la (b).**

Soluzione Esercizio 1

Dal momento che il moto del punto avviene sotto l'esclusivo effetto della forza conservativa la cui l'energia potenziale è quella specificata, varrà la conservazione dell'energia meccanica, utile per rispondere alle domande 2 e 3. Per la domanda 1, invece, ricordiamo l'espressione

$$\vec{F} = -\vec{\nabla} U$$

che nel caso unidimensionale che stiamo trattando si riduce a

$$F_x = -\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}x}$$

1) Verifichiamo il valore della forza in ogni regione:

- in $x < 0$, $\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}x} = 0$ e quindi $F_- = 0$
- in $0 < x < d$, $F_x = -\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}x} = -\frac{U_2 - U_1}{d - 0} = F_d \simeq -0.30$ N

2) Nel punto a $x = d/2$, chiamiamolo P, l'energia potenziale avrà valore

$$U_P = U_1 + \left(U_2 - U_1\right)/2 = \frac{1}{2}\left(U_1 + U_2\right)$$

Se in P la velocità è nulla, l'energia cinetica è nulla, quindi l'energia meccanica sarà pari all'energia potenziale U_P. Quando il corpo si sta muovendo con velocità v_0 in $x < 0$, avrà un'energia meccanica pari a

$$E = \frac{1}{2}mv_0^2 + U_1$$

quindi

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + U_1 = \frac{U_1}{2} + \frac{U_2}{2} \implies v_0 = \sqrt{\frac{U_2 - U_1}{m}} \simeq 5.5 \text{ m/s}$$

3) Sfruttando di nuovo la conservazione dell'energia meccanica:

$$U_1 + \frac{1}{2}m\left(v_1\right)^2 = U_2 + \frac{1}{2}mv^{*2}$$

$$v^* = \sqrt{v_1^2 + \frac{2}{m}\left(U_1 - U_2\right)} \simeq 6.32 \text{ m/s}$$

Soluzione Esercizio 2

Innanzi tutto si semplifica il circuito con le resistenze equivalenti:

$$\text{parallelo di } R_2 \text{ ed } R_3\text{: } R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \simeq 12.0\ \Omega$$

Ora la batteria è connessa alla disposizione serie di R_1, R_{23} ed R_4, quindi

$$I_{\mathscr{E}} = \frac{\mathscr{E}}{R_1 + R_{23} + R_4} \simeq 0.107\text{A}$$

Dal momento che R_{23} è attraversata da $I_{\mathscr{E}}$, ai suoi capi si ha una differenza di potenziale pari a

$$V_{23} = I_{\mathscr{E}} R_{23} \simeq 3.6\ \text{V}$$

Ora possiamo considerare che R_{23} è composta dal parallelo di R_2e R_3, che sono quindi entrambe soggette alla differenza di potenziale V_{23}. Singolarmente, quindi, sono attraversate dalle correnti:

$$I_2 = \frac{V_{23}}{R_2} \simeq 0.0642\ \text{A}$$

$$I_3 = \frac{V_{23}}{R_3} = I_{\mathscr{E}} - I_2 \simeq 0.0428\ \text{A}$$

Soluzione Esercizio 3

La forza sulla carica q_0 è pari a $q_0 E$, dove E è il campo elettrico generato dalle due sfere cariche, valutato nel punto in cui si trova q_0. Date le ipotesi, le distribuzioni di carica si considerano uniformi sulle superfici. Ciascuna delle sfere uniformemente cariche genera un campo che è equivalente a quello di una carica puntiforme posta nel loro centro, quindi, nel punto in cui si trova q_0 avremo:

$$E_1 = \frac{Q_0}{4\pi\varepsilon_0(3L)^2} \qquad E_2 = \frac{Q_0}{4\pi\varepsilon_0(2L)^2}$$

$$F = q_0\left(\frac{Q_0}{4\pi\varepsilon_0(2L)^2} + \frac{Q_0}{4\pi\varepsilon_0(2L)^2}\right) = \frac{q_0 Q_0}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{4L^2} + \frac{1}{9L^2}\right) = \left(-3.25\ \mathrm{N}\right)\hat{\imath}$$

Il lavoro compiuto dalle forze elettrostatiche per portare la carica q_0 all'infinito è pari a $q_0 V$, dove V è il potenziale nella posizione iniziale dalla carica q_0, generato delle due sfere cariche (equivalente a quello di due cariche puntiformi), e si considera 0 il potenziale all'infinito:

$$\mathscr{L} = q_0 V = q_0\left(\frac{Q_0}{4\pi\varepsilon_0 2L} + \frac{Q_0}{4\pi\varepsilon_0 3L}\right) = \frac{q_0 Q_0}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{2L} + \frac{1}{3L}\right) \simeq -15.0\ \mathrm{J}$$

Quando le due sfere vengono connesse elettricamente, la loro carica si ridistribuisce, sempre sulle superfici, in modo che le due sfere si portino allo stesso potenziale. Sempre a causa della distanza tra le sfere, la distribuzione di carica su ciascuna sfera potrà ancora essere considerata uniforme. Si avrà quindi che, calcolando il potenziale sulle superfici delle sfere:

$$\frac{Q_1}{4\pi\varepsilon_0 R_1} = \frac{Q_2}{4\pi\varepsilon_0 R_2}$$

semplificando ed aggiungendo la conservazione della carica, abbiamo

$$\begin{cases} Q_1/Q_2 = R_1/R_2 \\ Q_1 + Q_2 = 2Q_0 \end{cases}$$

da cui si ottiene

$$Q_2 = \frac{2Q_0}{1 + R_1/R_2} \simeq 3.0\ \mathrm{mC}$$

$$Q_1 = 2Q_0 - Q_2 \simeq 1.0\ \mathrm{mC}$$