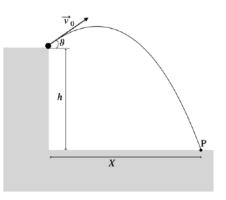
Fisica - Appello del 29 Giugno 2023 - Prof. L. Guiducci

Esercizi

Esercizio 1

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

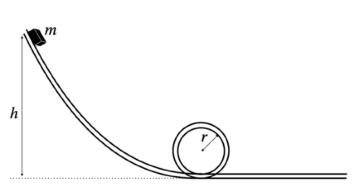
- 1) l'altezza *h* del dirupo;
- 2) la distanza *X* del punto P dalla base del dirupo;
- 3) il *vettore* velocità un istante prima che sia raggiunto il punto P;
- 4) la massima altezza **sopra la cima del dirupo** raggiunta dal proiettile.



Esercizio 2

La mia Hot-Wheels, assimilabile ad una piccola massa m=35.0 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 $\mu_k = 0.120$.

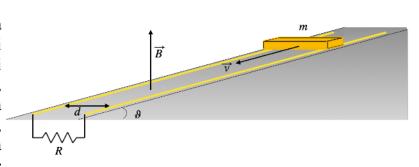
Esercizio 3

Nel modello di Bohr dell'atomo di idrogeno un elettrone orbita intorno al protone su una circonferenza di raggio $r = 0.53 \times 10^{-10}$ 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 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.

Fisica - Appello del 29 Giugno 2023 - Prof. L. Guiducci

Cognome:	Nome	:	Matr.:	
Domande aperte. Si dia risposta, s	u foglio protocollo	(1 facciata massimo), ad	d una tra le se	eguenti domande:
1) I tre Principi della Dinamica di	Newton.			
2) Si enunci la terza legge di Kepl		ostrazione ner il caso di	i orbite circol	ari Considerando
il moto di un satellite intorno alla t		•		
			_	
3) Si dia definizione del potenzia				
carica elettrica a propria discrezion	ie. Si discuta la feli	azione matematica tra ca	impo 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		2) Affinché gli amperometri (A) e i voltmetri (V) forniscano una misura realistica delle grandezze di un elemento di un circuito (C) da misurare:		
strada?	c che si ti o vi suma	(a) le resistenze di A e di di quella di C	V devono esse	re molto più alte
(a) La velocità tangenziale(b) Il periodo		(b) la resistenza di A deve quella di V molto più		
(c) La frequenza		(c) la resistenza di A deve		
(d) L'angolo descritto nell'unità di te		quella di V molto più		
(e) Nessuna delle risposte precedent	1	(d) le resistenze di A e di di quella di C	V devono esse	re molto più basse
3) Un sasso viene lanciato verso l'alto, raggiunge l'altezza massima e ricade.		4) Un sistema può avere energia potenziale negativa?		
i attezza massima e ricade.		(a) No, l'energia cinetica	di un sistema	deve essere uguale
a) L'accelerazione è costante per l'intero percorso		all'energia potenziale		
(b) La velocità è costante per l'intero(c) Sia la velocità che l'accelerazione		(b) No, non avrebbe significato físico(c) Sì, la scelta dello zero dell'energia potenziale è		
salendo e aumentano scendendo	diffinuiscono	arbitraria		
(d) L'accelerazione è costante per l'ir		(d) Sì, finché l'energia ci	netica è positiv	ra
eccetto che nel punto più alto dov	to dove vale 0 (e) Sì, finché l'energia totale è positiva			
5) Indicare la relazione corretta:		6) Quale affermazione è corretta?		
(a) $[MLT^{-1}] = W$		(a) Se in un punto il potenz	iale è zero, il car	mpo è zero
(b) $[ML^2T^{-1}] = W$		(b) Se in un punto il campo è zero, il potenziale è zero		
(c) $[ML^2T^2] = J$		(c) Se il campo in una regione è costante, il potenziale nella regione è zero		
(d) [MLT³] = J(e) nessuna delle risposte precedenti		(d) Se il potenziale in una regione è costante, il campo nella		
(c) nessuna dene risposte precedenti		regione è zero (e) nessuna		
7) Una bobina ferma sul piano della		8) Quattro fili sono posi		
attraversata da un campo magnetio		quadrato, come in figur		
l'interno della pagina. Viene indotta una corrente in senso orario:		corrente della stessa grandezza, con verso come mostrato in figura. Qual è il valore del campo		
senso of ario.		magnetico nel punto P al centro del quadrato?		
(a) quando l'area della bobina aumen				
(b) quando il campo magnetico diven		(a) \	⊗ ⊙	
(c) quando la bobina viene spostata la pagina	aterannemie Suna	(b) /	_	
(d) quando il campo magnetico viene	inclinato in modo	(c) 🗸	•P	

 $(d) \underbrace{\searrow}_{(e) \overrightarrow{B}} = 0$

che non sia più perpendicolare alla pagina (e) nessuna delle precedenti

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 $\omega = \frac{2\pi}{T}$, è allora costante anche il periodo T, nonché ovviamente il

suo inverso, la frequenza $\nu = \frac{1}{T}$, 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.

Fisica - Appello del 29 Giugno 2023 - Prof. L. Guiducci

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

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

Il *Watt* è unità di misura della potenza, lavoro per unità di tempo. Dunque, avremo $[W] = [ML^2T^{-3}]$. 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.

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

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 $\theta < 1$).

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?



$$(e)\overrightarrow{B} = 0$$

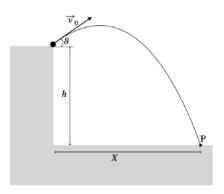
Utilizziamo il principio di sovrapposizione andando a vedere in che direzione sarebbe il campo prodotto da ciascun filo considerato singolarmente (considerando che i moduli sono tutti uguali, dipendendo dall'intensità di corrente, che è la stessa in ciascun filo, e dalla distanza del filo da P, che pure 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 ✓. 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).

Fisica - Appello del 29 Giugno 2023 - Prof. L. Guiducci

Esercizio 1

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$v_y(t^*) = v_0 \sin \theta - gt \simeq -61.1 \text{ m/s}$$

$$v_r(t^*) = v_0 \cos \theta \simeq 50.8 \text{ m/s}$$

Il vettore ha modulo

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

e forma un angolo con l'asse x

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

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:

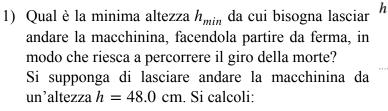
$$0 = v_y(t_{max}) = v_0 \sin \theta - g t_{max} \implies t_{max} = \frac{v_0 \sin \theta}{g} \simeq 3.63 \text{ s}$$

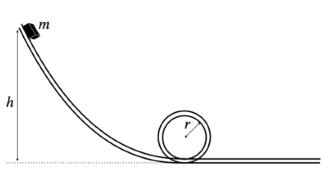
$$y_{max} = y(t_{max}) - h = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g} \simeq 64.5 \text{ m}$$

Fisica - Appello del 29 Giugno 2023 - Prof. L. Guiducci

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.





- 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:

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

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

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

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

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

Fisica - Appello del 29 Giugno 2023 - Prof. L. Guiducci

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

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

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

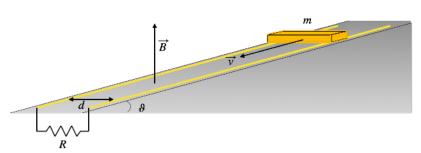
$$E_{ion} = E(r \to \infty) - E_e = -E_e \simeq 2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \simeq 13.6 \text{ eV}$$

Fisica - Appello del 29 Giugno 2023 - Prof. L. Guiducci

Esercizio 4

Due binari paralleli di resistenza trascurabile sono posti alla distanza di d=32.0 cm su una rampa inclinata di $\theta=6.00^{\circ}$ 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 $m=40.0~\mathrm{g}$. 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 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

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

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

$$\frac{\mathrm{d}\Phi(\overrightarrow{B})}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \left(\overrightarrow{B} \cdot \overrightarrow{A} \right) = B \frac{\mathrm{d}A}{\mathrm{d}t} \cos \theta = B dv \cos \theta$$

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

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

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

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

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

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

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:

$$F_{\parallel} = P_{\parallel} \implies v = \frac{mgR \sin \theta}{R^2 d^2 \cos^2 \theta} \simeq 0.58 \text{ m/s}$$