



## DOMANDE SUI CONCETTI

- 1** In tre grafici spazio-tempo sono riportati (a) un segmento con pendenza positiva, (b) un segmento con pendenza negativa e (c) un segmento con pendenza nulla (quindi orizzontale). Di che segno è la velocità dei moti descritti da ciascun grafico?
- 2** In tre grafici velocità-tempo sono riportati (a) un segmento con pendenza positiva, (b) un segmento con pendenza negativa e (c) un segmento con pendenza nulla (quindi orizzontale). Di che segno è l'accelerazione dei moti descritti da ciascun grafico?
- 3** Un oggetto subisce solo la forza-peso e ha quindi accelerazione  $\vec{a} = \vec{g}$ . Possiamo affermare che si muove sempre seguendo una traiettoria parabolica?
- 4** Il moto circolare uniforme è un moto accelerato?
- 5** Come mai nel moto circolare uniforme la forza centripeta non causa l'avvicinamento dell'oggetto in moto verso il centro?
- 6** Quando un DVD viene inserito nel lettore ottico e avviato, le sue parti si muovono alla stessa velocità (in modulo) o alla stessa velocità angolare?
- 7** La catena della bicicletta è montata su due corone di raggi diversi. Quando la bicicletta si muove, le parti esterne delle due corone hanno la stessa velocità (in modulo) o la stessa velocità angolare?
- 8** Come è diretta l'accelerazione nel moto circolare non uniforme, in cui la velocità cambia anche in modulo?
- 9** Le gare di ciclismo nei velodromi si svolgono su piste inclinate verso l'interno in corrispondenza delle curve. Per quale motivo secondo te queste piste non sono piane?
- 10** Il *Cilindro di O'Neill* è un progetto di habitat spaziale per la colonizzazione dello spazio cosmico, costituito da due cilindri in rotazione, di raggio 3 km, sulla cui superficie interna possono camminare gli astronauti. La rotazione serve a creare una forza di gravità artificiale. Perché?

- 11** La forza centripeta è una forza come la forza elastica, la forza-peso o la forza di attrito? In altre parole, è una «nuova» forza da aggiungere a queste?
- 12** Un'automobilina si muove a velocità di modulo costante in uno spazio tra due pareti: quando ne urta una, si gira di  $180^\circ$  e si dirige verso l'altra parete. Il moto dell'automobilina può essere considerato un moto armonico?

## PROBLEMI

### 1 IL MOTO RETTILINEO UNIFORME (FORZA NULLA)

- 1** ★★★ Un'auto che si muove alla velocità costante di 36 km/h lungo una strada rettilinea si trova in un certo istante 12 m prima di un incrocio.
  - Quanto era distante dall'incrocio due secondi prima?

[32 m]
- 2** ★★ Quando passa vicina alla Terra, la cometa di Halley ha una velocità di circa 70 km/s. Durante il passaggio, percorre una distanza di  $4,0 \times 10^5$  km, pari a circa quella tra la Terra e la Luna.
  - Quanto tempo impiega a percorrere quella distanza?

[ $5,7 \times 10^3$  s]
- 3** ★★★ Una palla di raggio  $r = 20$  cm e massa  $m = 400$  g è lasciata cadere da un aereo ad alta quota. L'attrito dell'aria produce una forza di attrito viscoso diretta verso l'alto, di intensità  $F_v = 6\pi\eta r v$ , dove  $v$  è la velocità della palla e  $\eta = 18 \times 10^{-6}$  kg/(m·s) è il coefficiente di attrito viscoso dell'aria. Assumi che questa sia l'unica forza che agisce sulla palla, oltre la forza-peso. A causa dell'attrito dell'aria, la palla finirebbe per avere una velocità costante di caduta, detta *velocità limite*.
  - Determina la velocità limite che avrebbe palla.

[ $5,8 \times 10^4$  m/s]

## ESERCIZI

**4** Considera la stessa situazione dell'esercizio precedente. Questa volta la forza di attrito viscoso non è l'unica forza dovuta alla presenza dell'aria: il moto della palla attraverso l'aria produce la forza di resistenza aerodinamica di intensità  $F_d = \rho v^2 c_d A/2$ , dove  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$  è la densità dell'aria,  $A = \pi r^2$  è la sezione della palla e  $c_d = 0,1$  è il coefficiente di resistenza aerodinamica.

► Determina la velocità limite della palla assumendo che subisca solo l'effetto della forza-peso e della forza di resistenza aerodinamica.

► Confronta il risultato ottenuto con quello dell'esercizio precedente e stabilisci quale delle due forze dovute all'aria gioca il ruolo più importante nel far sì che la palla raggiunga una velocità limite. (Suggerimento: risolvi prima l'esercizio precedente.)

[23 m/s]

## 2 IL MOTO RETTILINEO UNIFORMEMENTE ACCELERATO (FORZA COSTANTE)

**5** Un carico di massa 83 kg si trova in un ascensore agganciato a un dinamometro. L'ascensore sale con velocità costante di 1,1 m/s e poi si ferma in 2,2 s.

► Quanto vale la forza registrata dal dinamometro mentre l'ascensore sale a velocità costante?

► Quanto vale la forza registrata dal dinamometro nel tempo in cui l'ascensore rallenta?

[ $8,1 \times 10^2 \text{ N}$ ;  $7,7 \times 10^2 \text{ N}$ ]

**6** Un treno viaggia a 157 km/h. A un certo punto, il macchinista vede una mucca ferma sui binari e inizia a rallentare con un'accelerazione negativa pari a  $-6,8 \text{ m/s}^2$ . La manovra di frenata inizia alla distanza di 180 m dall'animale.

► Quanto tempo impiega il treno a fermarsi?

► A quanti metri dall'animale si arresta il treno?

[6,4 s; 40 m]

**7** Per trascinare un carrello di massa 400 kg un operaio applica una forza di 50 N a una corda inclinata di  $30^\circ$  gradi rispetto al pavimento.

► Calcola lo spazio percorso dal carrello in 30 s.

► Calcola il tempo necessario perché il carrello raggiunga la velocità di 5,0 m/s partendo da fermo.

► Caricato con un baule, il carrello impiega 67 s per raggiungere la velocità di 5,0 m/s. Qual è la massa del baule?

[49 m; 46 s;  $1,8 \times 10^2 \text{ kg}$ ]

**8** Un vigile urbano viaggia in moto alla velocità di 36 km/h e viene superato da un'auto che viaggia alla velocità costante di 72 km/h. Due secondi dopo essere stato superato, il vigile accelera al massimo per raggiungere l'auto, ma nello stesso istante anche l'auto accelera al massimo per fuggire. La massa del vigile e della moto è 300 kg e la forza massima del suo motore è 3,0 kN. La massa del guidatore e dell'auto è 900 kg e la forza massima del suo motore è 6,0 kN.

► Dopo quanto tempo il vigile riesce a raggiungere l'auto?

[7,3 s]

**9** Un'auto lanciata a una velocità di 90 km/h vede un ostacolo davanti a sé e si arresta in 50 m frenando su una strada orizzontale. Schematizziamo l'azione dei freni come l'applicazione di una forza costante all'auto.

► Quanto vale il modulo dell'accelerazione dell'auto?

(Elaborato da *Olimpiadi della fisica, gara nazionale di secondo livello*, 2003).

[6,3 m/s<sup>2</sup>]

## 3 IL MOTO PARABOLICO (FORZA COSTANTE)

**10** Un tennista lancia una pallina con un angolo di  $45^\circ$  rispetto al terreno e velocità iniziale di intensità 21 m/s. Calcola:

► le componenti orizzontale e verticale della velocità iniziale.

► la gittata.

[15 m/s; 15 m/s; 46 m]

11

## PROBLEMA SVOLTO

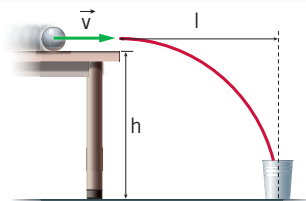
★★★

Una biglia viene lanciata oltre il bordo del tavolo con una velocità  $v = 0,56 \text{ m/s}$ . Il tavolo è alto  $76 \text{ cm}$ .

► A che distanza dal tavolo cade la biglia?

$$v = 0,560 \text{ m/s} \quad l = ?$$

$$h = 76,0 \text{ cm}$$



### Strategia e soluzione

- La biglia è sottoposta solo alla forza-peso, dunque compie un moto parabolico, descritto dalle equazioni

$$x = x_0 + v_{0,x}t$$

$$y = y_0 + v_{0,y}t + \frac{1}{2}at^2$$

- Dalla scelta del sistema di assi cartesiani dipendono sia i valori iniziali della posizione sia il segno di velocità e accelerazione. Scegliendo come origine del sistema di assi il punto in cui la biglia lascia il tavolo, le posizioni iniziali sono  $x_0 = 0$  e  $y_0 = 0$ . Se l'asse  $x$  è diretto verso destra e l'asse  $y$  verso l'alto, le velocità iniziali della biglia sono

$$v_{0,x} = 0,56 \text{ m/s} \quad \text{e} \quad v_{0,y} = 0,$$

mentre l'accelerazione nella direzione verticale è negativa,  $a_y = -g = -9,81 \text{ m/s}^2$ .

- Quando la biglia tocca terra, la sua posizione verticale è  $y = -0,76 \text{ cm}$ . Inserendo questo valore e gli altri nell'equazione per il moto verticale

$$-(0,76 \text{ m}) = -\frac{1}{2}gt^2$$

ricaviamo il tempo che la biglia impiega per giungere a terra:

$$t = \sqrt{\frac{2 \times (0,76 \text{ m})}{(9,81 \text{ m/s}^2)}} = 0,39 \text{ s}$$

- Inserendo questo dato nell'equazione del moto nella direzione orizzontale otteniamo la distanza richiesta:

$$x = \left(0,56 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \times (0,39 \text{ s}) = 0,22 \text{ m}.$$

### Discussione

Per moti a bassa velocità, come quello qui esaminato, le forze dovute alla presenza dell'aria sono trascurabili (vedi gli esercizi 3 e 4) ed è lecito approssimare l'accelerazione della biglia con quella di gravità. Nel risolvere un problema è importante scegliere posizione e orientamento del sistema di assi cartesiani: da questa scelta dipendono sia i valori di alcune delle grandezze coinvolte, come la posizione, sia i loro segni.

12

★★★

Nel 1991 ai Campionati Mondiali di Atletica Leggera di Tokyo, l'atleta statunitense Mike Powell stabilì il record mondiale di salto in lungo con la misura di  $8,95 \text{ m}$ , migliorando così il precedente record di  $8,90 \text{ m}$ . Assumi che la forza di attrito sia stata trascurabile durante il salto e che Powell sia saltato dalla pedana con un angolo di inclinazione di  $45^\circ$ .

► Quale velocità aveva Powell al momento del salto?

[9,4 m/s]

13

★★★

Una cameriera distratta lancia orizzontalmente un bicchiere vuoto sul tavolo al barman perché lo riempia. Purtroppo il lancio è lungo, e il bicchiere cade a terra a una distanza orizzontale di  $53 \text{ cm}$  dal bordo del tavolo che è alto  $71 \text{ cm}$ . Calcola:

► dopo quanto tempo il bicchiere arriva a terra.

► La velocità del bicchiere al momento del distacco dal tavolo.

[0,38 s; 1,4 m/s]

## ESERCIZI

**14** ★★★ Un pallone viene lanciato con una velocità di  $8,7 \text{ m/s}$  e con un'inclinazione di  $60^\circ$  rispetto al suolo.

► Determina la massima altezza che il pallone può raggiungere.

► Determina quando il pallone si trova a metà dall'altezza massima.

[ $2,9 \text{ m}$ ;  $0,22 \text{ s}$  e  $1,3 \text{ s}$ ]

**15** ★★★ Una palla da baseball viene lanciata in  $0,65 \text{ s}$  da un giocatore a un compagno di squadra che dista  $17 \text{ m}$ . Assumi di potere trascurare l'attrito dell'aria.

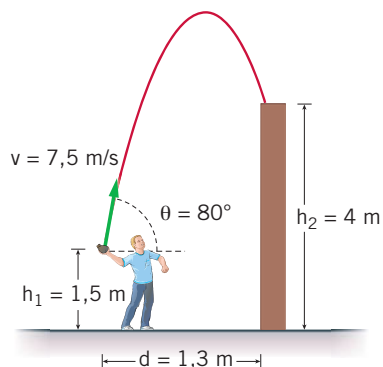
► Determina la velocità iniziale della palla nella direzione verticale.

[ $3,2 \text{ m/s}$ ]

**16** ★★★ Un ragazzo lancia un sacchetto di sabbia in cima a un muro alto  $4 \text{ m}$  e posto  $1,3 \text{ m}$  davanti a lui. Il sacchetto si stacca dalle mani del ragazzo a un'altezza di  $1,5 \text{ m}$  da terra, come è mostrato in figura. La velocità di lancio è  $7,5 \text{ m/s}$ , l'angolo con l'orizzontale è  $80^\circ$ , l'attrito con l'aria è trascurabile.

► Quanto dura il volo del sacchetto di sabbia? (*Olimpiadi della Fisica, gara di primo livello 2010*)

[ $1,0 \text{ s}$ ]



### 4 IL MOTO CIRCOLARE UNIFORME

**17** ★★★ Determina le frequenze delle lancette dei secondi, dei minuti e delle ore di un orologio.

[ $1,7 \times 10^{-2} \text{ Hz}$ ;  $2,8 \times 10^{-4} \text{ Hz}$ ;  $2,3 \times 10^{-5} \text{ Hz}$ ]

**18** ★★★ La Terra ruota intorno al suo asse in circa  $24 \text{ ore}$ . Il raggio terrestre all'Equatore è di circa  $6,4 \times 10^3 \text{ km}$ .

► Determina la velocità con cui si muove nello spazio un punto sull'Equatore.

[ $4,7 \times 10^2 \text{ m/s}$ ]

**19** ★★★ Durante la fase del lavaggio detta «centrifuga», il cestello di una lavatrice compie  $900$  giri al minuto.

► Qual è la frequenza della rotazione del cestello?

► Qual è il periodo della rotazione del cestello?

[ $15 \text{ Hz}$ ;  $6,7 \times 10^{-2} \text{ s}$ ]

**20** ★★★ Un vecchio disco in vinile ha una circonferenza di  $53 \text{ cm}$  e contiene una canzone di durata pari a  $3,0 \text{ min}$ . Per ascoltarla, il disco deve compiere  $135$  giri.

► Calcola il modulo della velocità di un punto che si trova sul bordo della circonferenza.

[ $0,40 \text{ m/s}$ ]

**21** ★★★ La Terra impiega approssimativamente  $365$  giorni a compiere un giro attorno al Sole (detto *moto di rivoluzione*), a una distanza di circa  $1,5 \times 10^8 \text{ km}$ . Il moto è approssimativamente circolare uniforme.

► Determina la frequenza di rotazione della Terra intorno al Sole.

► Determina la velocità con cui la Terra compie il moto di rivoluzione intorno al Sole.

[ $3,2 \times 10^{-8} \text{ Hz}$ ;  $3,0 \times 10^4 \text{ m/s}$ ]

**22** ★★★ La lancetta dei minuti di un orologio è lunga  $4 \text{ cm}$ . La velocità della punta della lancetta dei minuti è  $24$  volte quella della lancetta delle ore.

► Quanto è lunga la lancetta delle ore?

[ $2 \times 10^{-2} \text{ m}$ ]

### 5 LA VELOCITÀ ANGOLARE

**23** ★★★ La distanza media Venere-Sole è di  $1,1 \times 10^8 \text{ km}$ . Il periodo orbitale è di  $224,70$  giorni.

► Quanto vale il valore della sua velocità media?

► Quanto vale la velocità angolare di rotazione attorno al Sole?

(Assumi che l'orbita di Venere intorno al Sole sia circolare.)

[ $3,6 \times 10^4 \text{ m/s}$ ;  $3,2 \times 10^{-7} \text{ rad/s}$ ]

**24** La sirena di un'ambulanza lampeggia 15 volte in  
★★★ 3,0 s.

► Qual è la velocità angolare dello schermo che periodicamente copre e scopre la luce della sirena?

[31 rad/s]



Robert Aemter/Shutterstock

**25** **PROBLEMA SVOLTO**

★★★

Il lettore di un impianto stereo fa girare un CD con una frequenza variabile tra 200 giri al minuto e 500 giri al minuto. Supponiamo che, mentre si sta leggendo una certa traccia, il CD stia compiendo 330 giri al minuto.

- Quanto vale la frequenza  $f$  di rotazione del CD?
- Qual è il valore della velocità angolare  $\omega$ ?
- Quanto è ampio l'angolo  $\Delta\alpha$  di cui è ruotato il CD dopo un intervallo di tempo  $\Delta t = 0,100$  s?



■ **Strategia e soluzione**

- La frequenza del CD può essere calcolata come:

$$f = \frac{330 \text{ giri}}{1 \text{ min}} = \frac{330 \text{ giri}}{60 \text{ s}} = 5,50 \text{ Hz.}$$

- Partendo dalla formula (17) e ricordando che  $f = \frac{1}{T}$ , la velocità angolare è data da:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f = (2\pi \text{ rad})(5,50 \text{ s}^{-1}) = 34,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}.$$

- Per trovare l'angolo di cui è ruotato il disco è sufficiente isolare  $\Delta\alpha$  moltiplicando i due membri della formula (15) per  $\Delta t$ :

$$\Delta\alpha = \omega \Delta t = 34,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 0,100 \text{ s} = 3,46 \text{ rad.}$$

■ **Discussione**

Indichiamo con  $\Delta g^\circ$  la misura in gradi dell'angolo  $\Delta\alpha$ . Visto che a  $180^\circ$  corrispondono  $\pi$  radianti, vale la proporzione  $\Delta g^\circ / 180^\circ = \Delta\alpha / \pi$ . Da essa ricaviamo

$$\Delta g^\circ = \frac{\Delta\alpha \cdot 180^\circ}{\pi} = \frac{3,46 \text{ rad} \cdot 180^\circ}{3,14 \text{ rad}} = 198^\circ.$$

Quindi, in un decimo di secondo il CD ruota di un angolo ampio  $198^\circ$ .

**26** Il bordo di un vecchio disco a 45 giri (al minuto)  
★★★ ruota alla velocità di 0,47 m/s.

► Qual è il valore della velocità di un punto del disco a 3,0 cm dal bordo?

[0,33 m/s]

**27** Una piattaforma rotante ha un raggio di 50 cm e  
★★★ descrive un angolo di  $90^\circ$  in un intervallo di tem-

po pari a 0,60 s. Calcola:

- il valore della velocità angolare;
- la frequenza di rotazione della piattaforma;
- il periodo di rotazione della piattaforma;
- il modulo della velocità di un oggetto che si trova sul bordo della piattaforma.

[2,6 rad/s; 0,42 Hz; 2,4 s; 1,3 m/s]

**28** I lettori di CD-ROM possono essere classificati in base alla tecnologia di fabbricazione: CLV (Constant Linear Velocity) o CAV (Constant Angular Velocity). I lettori di questa ultima tipologia, mantenendo costante la velocità di rotazione del disco, presentano una velocità di trasferimento dei dati variabile.

Un normale lettore CD a tecnologia CAV fa ruotare il disco a una frequenza di circa 5000 giri/min. Considera un settore inciso del CD-ROM posizionato a 4,00 cm dal centro del disco.

- Calcola la velocità di quel settore.

[20,9 m/s]

## 6 L'ACCELERAZIONE CENTRIPETA

**29** Una giostra in movimento descrive una traiettoria circolare. Per descrivere l'arco di circonferenza che va dall'estremo  $R$  del suo diametro all'estremo opposto  $S$  impiega 1,0 s. In entrambi i punti, il valore della velocità è 10 cm/s.

- Rappresenta graficamente la situazione.
- Calcola il modulo del vettore accelerazione.

[20 cm/s<sup>2</sup>]

**30** Un satellite spia artificiale orbita attorno alla Terra all'altezza dell'Equatore su un'orbita circolare a 140 km dal suolo. Assumi che la forza-peso sia la sola responsabile del moto circolare uniforme del satellite attorno alla Terra, con velocità di modulo 28 180 km/h. Il raggio terrestre è di circa 6380 km.

- Calcola il valore dell'accelerazione del satellite.

[9,4 m/s<sup>2</sup>]

**31** Possiamo assumere che il Sole si muova di moto circolare uniforme attraverso la Via Lattea. Il raggio dell'orbita solare è  $2,4 \times 10^{20}$  m e la sua frequenza è di 1 giro ogni circa 220 milioni di anni.

- Calcola l'accelerazione centripeta del Sole.
- Qual è il modulo della velocità del Sole?

[ $2,1 \times 10^{-10}$  m/s<sup>2</sup>;  $2,3 \times 10^3$  m/s]

**32** Un elicottero sta scaldando il motore, e le pale, ciascuna di 5,70 m di lunghezza, ruotano a una

velocità angolare di 6,28 rad/s. Un'ape è appoggiata su una delle pale a 3,00 m dal rotore.

- Qual è l'accelerazione centripeta dell'ape?
- L'ape si sposta fino all'estremità della pala e scivola. Con quale velocità viene proiettata lontano?

[118 m/s<sup>2</sup>; 35,8 m/s]

**33** Nel passare il pallone a un compagno, un giocatore di pallacanestro descrive con il braccio un arco di circonferenza di ampiezza 60,0° in 0,750 s, a velocità approssimativamente costante. La lunghezza del braccio del giocatore è di 80,0 cm.

- Calcola con quale velocità viene lanciato il pallone.
- Qual è il valore dell'accelerazione centripeta impressa al pallone durante la rotazione del braccio?

[1,12 m/s; 1,56 m/s<sup>2</sup>]

**34** Un mulino a vento fa girare il suo perno, che ha un diametro di 40 cm, con un periodo di 11 s. Il perno aziona una macina che acquista una velocità di 0,63 m/s.



Calcola:

- il valore della velocità del perno;
- il valore dell'accelerazione centripeta del perno;
- il diametro della macina;
- il valore dell'accelerazione centripeta della macina.

[ $1,1 \times 10^{-1}$  m/s;  $6,5 \times 10^{-2}$  m/s<sup>2</sup>; 2,2 m;  $3,6 \times 10^{-1}$  m/s<sup>2</sup>]

**35** Una pallina da tennis urta contro un muro con un angolo di 30° e rimbalza formando un angolo uguale. Il valore della velocità della pallina, prima

e dopo l'urto, è di 5,0 m/s. L'urto con il muro dura 0,088 s.

- Determina direzione, verso e modulo del vettore accelerazione della pallina da tennis durante l'urto.

$$[a = 57 \text{ m/s}^2]$$

## 7 LA FORZA CENTRIPETA E LA FORZA CENTRIFUGA APPARENTE

**36** ★★★ All'aeroporto una valigia di 25 kg, posta su una piattaforma in rotazione su un piano orizzontale, si muove di moto circolare uniforme. Il raggio della traiettoria è 2,8 m e l'accelerazione centripeta è  $8,3 \text{ m/s}^2$ . Calcola:

- il valore della forza che agisce sulla valigia.
- La velocità della valigia.

$$[2,1 \times 10^2 \text{ N}; 4,8 \text{ m/s}]$$

**37** ★★★ Le ruote di un trenino elettrico di massa 10 kg hanno un diametro di 8,2 cm e una velocità di rotazione di 10 giri al secondo. Il trenino percorre una pista e dopo un tratto rettilineo affronta a velocità di valore numerico costante una curva di raggio 1,2 m. Calcola:

- la velocità a cui viaggia il treno.
- la forza centripeta sul treno durante la curva.

$$[2,6 \text{ m/s}; 56 \text{ N}]$$

**38** ★★★ Un'auto di massa 1000 kg affronta una curva alla velocità di 55 km/h. Il coefficiente di attrito tra le gomme e il piano stradale è 0,7.



Tatiana Morozova/Shutterstock

- Quanto misura il raggio della curva?

(Suggerimento: la forza centripeta è la forza di attrito della strada.)

$$[34 \text{ m}]$$

**39** ★★★ Una pallina è fissata all'estremità libera di una molla di costante elastica 40 N/m ed è poggiata, a una distanza di 10 m dal centro, su una piattaforma che ruota alla velocità di 5 giri al secondo. Durante la rotazione la molla si allunga di 10 cm.

- Qual è la massa della pallina?

(Suggerimento: la forza centripeta è la forza elastica.)

$$[0,4 \text{ g}]$$

**40** ★★★ Su un piano orizzontale un disco è in rotazione attorno a un asse che passa per il suo centro con una velocità angolare di 2 rad/s. Un tappo di bottiglia di 5,0 g è poggiato sul disco a 8,0 cm dal suo centro e ruota insieme al disco.

- Quali forze il disco applica sul tappo?

$$[4,9 \times 10^{-2} \text{ N verso l'alto}; 1,6 \times 10^{-3} \text{ N verso il centro}]$$

**41** ★★★ Un cavallo di 400 kg trotta in circolo alla velocità di 2,0 m/s. Il cavallo è tenuto per mezzo di una corda lunga 3,8 m da un addetto del maneggio che si trova al centro del cerchio. Assumi che la corda sia di massa trascurabile.

- Determina la forza che l'uomo esercita sulla corda.

► A un certo punto, l'addetto si stanca: per fare meno fatica deve allentare la corda permettendo al cavallo una traiettoria circolare più ampia o, viceversa, deve accorciare la corda avvicinando il cavallo a sé?

$$[4,2 \times 10^2 \text{ N}]$$

## 8 IL MOTO ARMONICO

**42** ★★★ In un circo un acrobata di 55 kg salta su un tappeto elastico che oscilla con moto armonico. Il periodo dell'oscillazione è 2,3 s.

- Calcola la costante elastica del tappeto.

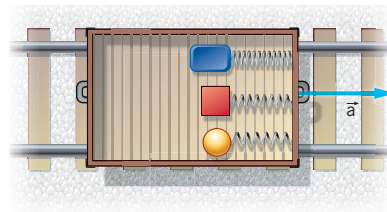
$$[4,1 \times 10^3 \text{ N/m}]$$

43

## PROBLEMA SVOLTO

★★★

Un carrello si muove lungo un binario rettilineo con una accelerazione costante di  $1,5 \text{ m/s}^2$ , partendo da fermo. Al suo interno sono contenuti tre dinamometri agganciati alla parete anteriore del carrello. All'altro estremo di ciascun dinamometro è agganciato un oggetto, come mostra la figura che ritrae il carrello visto dall'alto. I tre oggetti hanno massa, rispettivamente, di  $1 \text{ kg}$ ,  $2 \text{ kg}$  e  $4 \text{ kg}$ . Quando il carrello è in moto, i tre oggetti oscillano con ampiezza di oscillazione di  $6,0 \text{ cm}$ . Trascura le forze di attrito.



- Determina la pulsazione dei tre oggetti.
- Determina la loro velocità massima durante l'oscillazione.

### ■ Strategia e soluzione

- Al momento della partenza, la parete anteriore del carrello ha accelerazione  $\vec{a}$  rispetto ai tre oggetti, che accelerano gradualmente a causa dell'allungamento delle molle dei dinamometri. Se si esamina la situazione dal sistema di riferimento del carrello (che è un sistema di riferimento non inerziale), i tre oggetti hanno inizialmente accelerazione  $-\vec{a}$  rispetto alla parete del carrello ed è quindi come se fossero sottoposti a tre forze  $\vec{F}_1 = -m_1\vec{a}$ ,  $\vec{F}_2 = -m_2\vec{a}$  e  $\vec{F}_3 = -m_3\vec{a}$ .
- Queste forze nascono dal fatto di essere in un sistema di riferimento non inerziale e sono perciò *forze apparenti*: esse sono dovute a una accelerazione lineare del sistema di riferimento (in questo differiscono dalla forza centrifuga, discussa nel paragrafo 7, che nasce invece da una accelerazione centripeta).
- La situazione iniziale dei tre oggetti è simile a quella di un oggetto sospeso a un dinamometro discussa nel paragrafo 8, per cui i tre oggetti oscillano orizzontalmente con moto armonico, di pulsazione  $\omega = \sqrt{\frac{a}{s}} = \sqrt{\frac{1,5 \text{ m/s}^2}{0,06 \text{ m}}} = \sqrt{25 \text{ s}^{-2}} = 5,0 \text{ rad/s}$
- La velocità massima durante l'oscillazione è  $v_{\text{max}} = s\omega = (5,0 \text{ rad/s}) \times (0,06 \text{ m}) = 0,30 \text{ m/s}$ .

### ■ Discussione

Le tre forze apparenti  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  e  $\vec{F}_3$  si comportano a tutti gli effetti come una “forza-peso” diretta orizzontalmente, dal momento che ogni oggetto ha una accelerazione costante di modulo  $a = 1,2 \text{ m/s}^2$ . Le forze apparenti indicano che ci troviamo in un sistema di riferimento non inerziale. Bisogna però tenere presente che esse non sono delle forze vere e proprie: infatti, non soddisfano il terzo principio della dinamica.

44

★★★

L'accelerazione massima di un oggetto che si muove di moto armonico è  $450 \text{ m/s}^2$ . La frequenza del moto è di  $30 \text{ Hz}$ .

- Scrivi la legge oraria di questo moto.
- Calcola il modulo della velocità massima dell'oggetto.

$$[s = 0,013 \cos 60\pi t; 2,5 \text{ m/s}]$$

45

★★★

Il piatto di un forno a microonde compie una rotazione completa in  $12,2 \text{ s}$ . Viene messo a scaldare un pezzo di pane in un punto del piatto, a  $7,0 \text{ cm}$  dal centro. Un bambino guarda il microonde e vede il pezzo di pane muoversi di moto armonico.

- Qual è l'accelerazione massima del pezzo di pane in moto armonico rispetto al bambino?



- ▶ Calcola la frequenza e la pulsazione del moto armonico in questione.

[ $1,9 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2$ ; 0,082 Hz; 0,52 rad/s]

**46** ★★★ Un diapason a forchetta, utilizzato per accordare una chitarra, può far vibrare una delle sue punte di moto armonico con una frequenza di 440,0 Hz (corrispondente al *la* dell'ottava centrale del pianoforte). La corsa della punta del diapason è di 0,90 mm.

- ▶ Trova l'accelerazione massima della punta del diapason.
- ▶ Qual è la massima velocità della punta?

[ $3,44 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ ;  $v_{max} = 1,24 \text{ m/s}$ ]

**47** ★★★ Una ruota, di diametro 90 cm, sta ruotando con una pulsazione di 5,03 rad/s. Sul bordo della ruota c'è una manovella e la sua ombra si proietta verticalmente sul terreno, descrivendo un moto armonico.

- ▶ Calcola il periodo del moto armonico.
- ▶ Trova l'ampiezza del moto armonico dell'ombra.

[1,25 s; 0,90 m]

**48** ★★★ Un oggetto si muove di moto circolare uniforme lungo una circonferenza di raggio 30 cm e compie 1 giro completo in 1,5 s. Considera il moto armonico che si ottiene proiettando su un diametro della circonferenza le posizioni occupate dall'oggetto durante il suo moto.

- ▶ Calcola il periodo e la frequenza del moto armonico.
- ▶ Calcola il valore della pulsazione.
- ▶ Disegna il grafico spazio-tempo relativo a tale moto.

[1,5 s; 0,67 Hz; 4,2 rad/s]

## PROBLEMI GENERALI

**1** ★★★ Per illuminare la sua discesa lungo una pista di 300 m e con un dislivello di 60,0 m, uno sciatore lancia, contemporaneamente alla sua partenza, un razzo luminoso con velocità iniziale, diretta orizzontalmente, di valore 90,0 m/s.

- ▶ A quale distanza orizzontale dal punto di partenza ricade il razzo?

- ▶ Qual è la velocità dello sciatore al termine della pista?

[315 m; 34,3 m/s]

**2** ★★★ Un cestista alto 2,0 m effettua un tiro libero. La linea del tiro libero dista in orizzontale 4,6 m dal canestro che si trova a 3,05 m dal suolo. Il cestista tira la palla con un angolo di inclinazione di 45° rispetto al suolo.

- ▶ Quale velocità deve dare il cestista alla palla per fare canestro?

[7,6 m/s]

**3** ★★★ Due pulegge, montate sugli assi *A* e *B*, sono collegate con una cinghia che trasmette il moto rotatorio da *A* a *B*. La puleggia montata su quest'ultimo asse ha diametro  $D_B = 80 \text{ cm}$  e ruota a 500 giri/min, mentre la frequenza di rotazione dell'asse *A* è di 5000 giri/min.

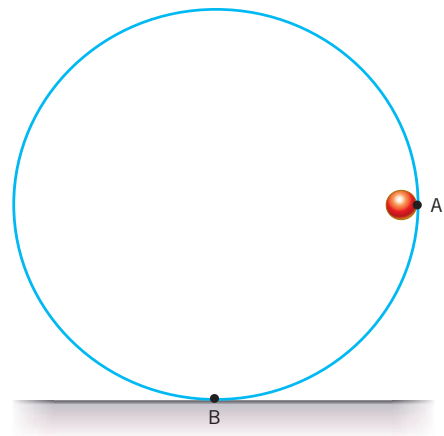
- ▶ Quale deve essere il diametro  $D_A$  della puleggia da collocare sull'asse *A*?

[8,0 cm]

**4** ★★★ Un profilo circolare è posto verticalmente come nella figura e tenuto fermo. Una biglia di 30 g viene posta al suo interno nel punto *A* e lasciata libera di scivolare lungo la guida.

- ▶ Determina l'intensità della forza che il profilo esercita in direzione radiale sulla biglia quando questa si trova nel punto *B* con velocità  $v_B = 2,21 \text{ m/s}$ ;

[0,59 N]



## ESERCIZI

**5** Un motociclista sta per affrontare una curva. Il coefficiente di attrito tra gli pneumatici e la strada è 0,70 e il raggio della curva è 25 m.

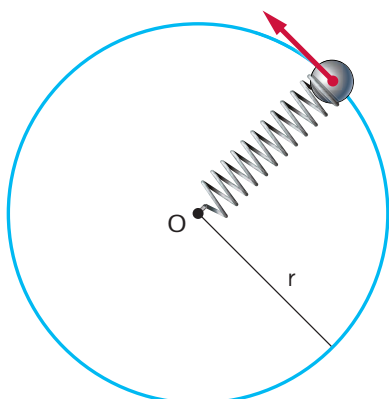
► Qual è la massima velocità a cui il motociclista può effettuare la curva?

[13 m/s]

**6** Come è mostrato nella figura, una pallina di massa 210 g è vincolata a un punto  $O$  per mezzo di una molla di costante elastica 289 N/m. La pallina è in moto circolare con una velocità angolare di 3,21 rad/s su un piano orizzontale. Il raggio della circonferenza è 38,1 cm.

► Calcola la lunghezza a riposo della molla.

[0,378 m]



**7** Un motociclista percorre una curva di 120 m di raggio alla velocità di 90 km/h.

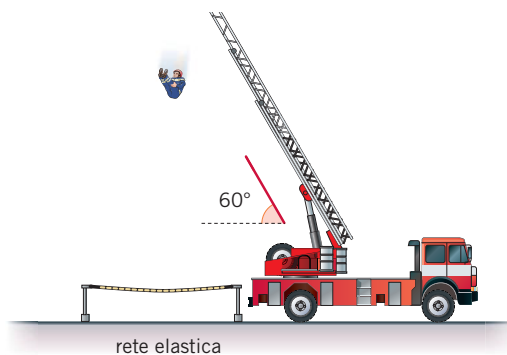
► Che informazione se ne può ricavare circa il coefficiente di attrito statico  $\mu_s$  tra la gomma della ruota e l'asfalto della strada?

(*Olimpiadi della Fisica, gara nazionale di secondo livello, 2002*)

(*Suggerimento: la forza di attrito dinamica diretta verso il centro della curva ha intensità  $F_d \leq \mu_s F_N$ , dove  $F_N$  è il valore della forza di reazione del suolo.*)

[Il coefficiente di attrito statico è maggiore di 0,53]

**8** Per effettuare un'esercitazione un vigile del fuoco deve salire su un'autoscala, lunga 23 m e inclinata di  $60^\circ$  rispetto al suolo, e lasciarsi cadere su una rete elastica.



► Dopo quanto tempo il vigile del fuoco tocca la rete elastica?

► Con che velocità finale?

[2,0 s; 20 m/s]

**9** In un giorno di pioggia un ragazzo per gioco fa ruotare un ombrello aperto. Dal bordo dell'ombrello a un'altezza di 2,2 m dal suolo e a una distanza  $r$  5 0,70 m dall'asta si stacca orizzontalmente una goccia d'acqua. La goccia cade con attrito trascurabile a una distanza di 1,4 m dalla verticale del punto di stacco. Calcola:

► il tempo impiegato dalla goccia a toccare terra.

► la velocità con cui ruota il bordo dell'ombrello.

► il tempo impiegato dall'ombrello per fare un giro.

[0,67 s; 2,1 m/s; 2,1 s]

**10** Un mezzo della Protezione Civile in corsa alla velocità costante di 70,0 km/h lancia orizzontalmente da un viadotto autostradale un kit di aiuti a delle persone in difficoltà sul fondo di un burrone. Il viadotto è alto 240 m.

► Determina la lunghezza dello spostamento orizzontale del pacco in caduta.

► Disegna il grafico della traiettoria.

[136 m]

**11** L'asse terrestre varia progressivamente, in modo lentissimo, la propria direzione (ma non l'inclinazione): esso ruota facendo perno nel centro della Terra, cosicché i due semiassi ricoprono due superfici coniche opposte al vertice. Immaginando di prolungare l'asse fino a incontrare la

sfera celeste, nei due poli celesti, questi, nel tempo, disegnano una linea all'incirca circolare. Il moto completo si compie in circa  $26 \times 10^3$  anni. Questo spostamento ha come conseguenza la precessione, cioè un anticipo, anno dopo anno, di circa 20 minuti, del punto di intersezione (punto gamma) tra l'equatore celeste e l'eclittica, occupato dal Sole all'equinozio di primavera.

► Calcola la frequenza e la velocità angolare del moto di precessione del punto gamma.

► Qual è l'ampiezza dell'angolo descritto dal raggio vettore, che unisce il centro della Terra al punto gamma, durante la vita di una persona? (Assumi come vita media 75 anni)

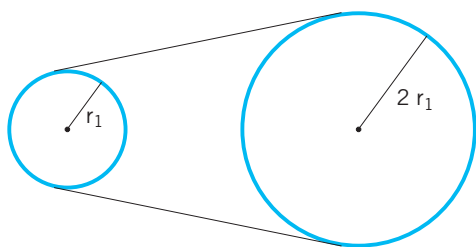
[ $1,22 \times 10^{-12}$  Hz;  $7,66 \times 10^{-12}$  rad/s; 0,018 rad]

**12** Un criceto fa ruotare la ruota della sua gabbietta con un periodo di 1,1 s. La ruota ha raggio  $r_1 = 9,0$  cm. Calcola:

★★★

- la velocità angolare della ruota;
- il valore della velocità di un punto sul bordo della ruota;
- il valore dell'accelerazione centripeta della ruota;
- la velocità angolare, i valori della velocità e dell'accelerazione centripeta per una ruota di raggio doppio, che è collegata alla prima ruota tramite una cinghia.

[ $5,7$  rad/s;  $0,51$  m/s;  $2,9$  m/s<sup>2</sup>;  $2,9$  rad/s;  $0,51$  m/s;  $1,5$  m/s<sup>2</sup>]



**13** Alle Olimpiadi di Pechino del 2008 la gara maschile di lancio del martello è stata vinta con la misura di 82,02 m. Trascura l'attrito dell'aria e assumi che il martello, al momento del rilascio, sia partito con una inclinazione di  $45^\circ$  rispetto al suolo, da un'altezza di 1,7 m. Il martello è lungo 120 cm e ha una massa di 7,27 kg, mentre le braccia dell'atleta sono lunghe 75 cm.

★★★

► Determina la velocità con cui il martello è stato lanciato.

► Determina la forza che l'atleta imprimeva al martello al momento del rilascio.

[29 m/s;  $3,1 \times 10^3$  N]

**14** La parete laterale di un imbuto è inclinata di  $45^\circ$ . Su di essa è poggiato un cubetto di ghiaccio di 50 g a distanza  $d = 10$  cm dall'asse dell'imbuto. Assumi che l'attrito tra il cubetto di ghiaccio e l'imbuto sia trascurabile.

★★★

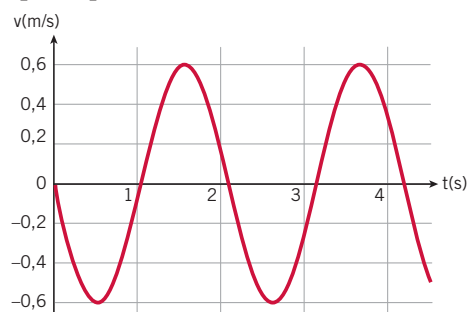
► A quale velocità angolare deve ruotare l'imbuto affinché il cubetto si muova di moto circolare e non scenda nell'imbuto? Risolvi il problema nel sistema di riferimento in cui l'imbuto ruota (sistema di riferimento esterno) e nel sistema di riferimento in quiete rispetto all'imbuto (sistema di riferimento interno all'imbuto).

[7,0 rad/s]

**15** Il grafico nella figura riproduce la velocità al variare del tempo di un moto armonico con accelerazione massima  $\alpha = 1,8$  m/s<sup>2</sup>.

★★★

► Disegna i grafici accelerazione-tempo e spazio-tempo di questo moto armonico.



## QUESITI PER L'ESAME DI STATO

Rispondi ai quesiti in un massimo di 10 righe.

**1** Trascurando l'attrito con l'aria, ricava l'equazione della traiettoria di un proiettile che si muove con velocità iniziale obliqua.

**2** Descrivi le proprietà dei vettori velocità istantanea e accelerazione istantanea nel moto circolare uniforme.

## ESERCIZI

- 3** Discuti il significato dell'affermazione «la forza centrifuga è una forza apparente».
- 4** Definisci il moto armonico e illustrane le principali caratteristiche.

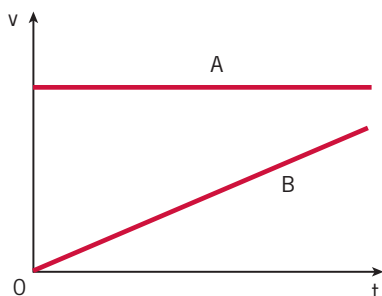
## TEST PER L'UNIVERSITÀ

- 1** Un oggetto puntiforme si muove di moto circolare uniforme lungo una circonferenza il cui raggio misura 2 m. Sapendo che l'accelerazione centripeta dell'oggetto è uguale a  $2 \text{ m/s}^2$ , qual è la sua velocità?

- A** 2 m/s
- B** 4 m/s
- C** 1 m/s
- D** 1,4 m/s
- E** 2 km/h

(Prova di ammissione al corso di laurea nelle Professioni Sanitarie, 2009/2010)

- 2** Il grafico rappresentato in figura si riferisce al moto rettilineo di due corpi A e B. Quale delle seguenti affermazioni è corretta?



- A** Il moto di A è uniformemente accelerato, quello di B rettilineo uniforme.
- B** Il moto di A è rettilineo uniforme, quello di B uniformemente accelerato.
- C** A è fermo e B si muove con accelerazione nulla.
- D** Entrambi i corpi hanno un'accelerazione diversa da zero.

(Concorso a borse di studio per l'iscrizione ai corsi di laurea della classe «Scienze e Tecnologie Fisiche» della SIF, 2008/2009)

- 3** Un corpo si muove con un'accelerazione costante  $a = 2 \text{ m/s}^2$ , con velocità iniziale nulla e partendo da una posizione iniziale  $s_0 = 1 \text{ m}$ . Quale delle seguenti equazioni può rappresentare il moto del corpo?

- A**  $s = 1 + 2t$
- B**  $s = 1 + 2t^2$
- C**  $s = 1 + t^2$
- D**  $s = 2t^2$

(Concorso a borse di studio per l'iscrizione ai corsi di laurea della classe «Scienze e Tecnologie Fisiche» della SIF, 2008/2009)

- 4** Un corpo si muove con accelerazione costante  $a = 8 \text{ m/s}^2$  e a  $t = 0 \text{ s}$  ha una velocità  $v_0 = 2 \text{ m/s}$ . Dopo quanto tempo la velocità del corpo sarà di  $18 \text{ m/s}$ ?

- A** 3 s
- B** 10 s
- C** 5 s
- D** 2 s

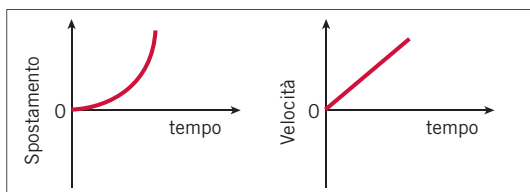
(Concorso a borse di studio per l'iscrizione ai corsi di laurea della classe «Scienze e Tecnologie Fisiche» della SIF, 2008/2009)

- 5** Sto in piedi su una bilancia pesapersona posta in un ascensore al piano terra e premo un pulsante per salire. L'ascensore, dopo una breve accelerazione, sale con velocità costante. Il peso indicato:

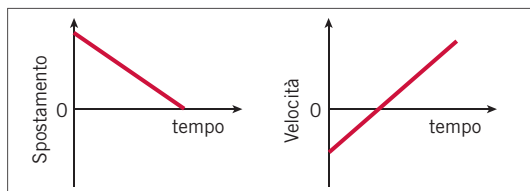
- A** aumenta quando l'ascensore comincia a salire, poi torna al valore iniziale quando l'ascensore va a velocità costante.
- B** mentre l'ascensore sale è costante ma minore di quello iniziale.
- C** è sempre uguale a quello iniziale.
- D** aumenta gradualmente quanto più in alto sale l'ascensore.
- E** mentre l'ascensore sale è costante ma maggiore di quello iniziale.

(Prova di ammissione al corso di laurea nelle Professioni Sanitarie, 2007/2008)

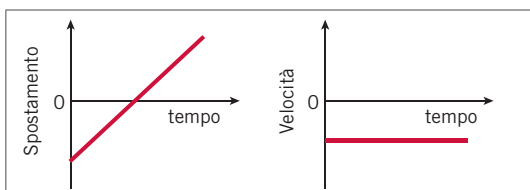
- 6 Indica quale coppia di grafici rappresenta lo stesso moto di un oggetto:



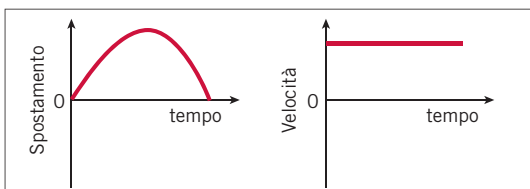
A



B



C



D

(Concorso a borse di studio per l'iscrizione ai corsi di laurea della classe «Scienze e Tecnologie Fisiche» della SIF, 2006/2007)

## PROVE D'ESAME ALL'UNIVERSITÀ

- 1 Due treni (A e B) partono alla stessa ora da due stazioni situate sulla stessa linea ferroviaria e viaggiano a velocità costante uno verso l'altro su due binari paralleli. I treni sono diretti ciascuno verso la stazione di partenza dell'altro. Il treno A viaggia a velocità  $v_A = 60 \text{ km/h}$  e incontra il treno

B quando ha percorso un quarto della distanza totale fra le due stazioni. Determinare:

- la velocità (costante) del treno B.
- se il treno più veloce arriva a destinazione 2 ore prima del treno più lento, quanto distano le due stazioni?

(Esame di Fisica, Corso di laurea in Farmacia, Università La Sapienza di Roma, 2008/2009)

- 2 All'istante  $t = 0$ , dal punto  $x = 0$  viene lanciato un proiettile alla velocità  $c$ . Un secondo proiettile viene poi lanciato nella stessa direzione, con la stessa velocità, all'istante  $t_0$ . Determinare:

- gli istanti  $t_1$  e  $t_2$  nei quali i proiettili colpiscono un bersaglio fermo in  $x_0$ ;

- gli istanti  $t'_1$  e  $t'_2$  nei quali i proiettili colpirebbero invece un bersaglio in movimento con legge oraria  $x = vt + x_0$ .

$$x_0 = 150 \text{ m}$$

$$t_0 = 0,5 \text{ s}$$

$$c = 250 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v = 150 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

(Esame di Fisica Generale, Corso di laurea in Ingegneria Civile, Università di Napoli, 2004/2005)

- 3 Un'automobile di Formula 1, durante la partenza, percorre 600 m in 15 s prima di arrivare alla prima curva. Assumendo un'accelerazione costante, quanto è il suo valore?

A  $a = 1,5 \text{ m/s}^2$

B  $a = 4,5 \text{ m/s}^2$

C  $a = 5,3 \text{ m/s}^2$

D  $a = 6,0 \text{ m/s}^2$

E  $a = 7,5 \text{ m/s}^2$

(Esame di Fisica, Corso di laurea in Farmacia, Università di Roma La Sapienza, 2004/2005)

- 4 Nella gara dei 100 m piani delle Olimpiadi, il primo campione procede con un'accelerazione costante di  $2,25 \text{ m/s}^2$  per i primi 50 metri, e poi continua a velocità costante; invece, il secondo campione procede con accelerazione costante di

## ESERCIZI

2,05 m/s<sup>2</sup> per i primi 80 metri, e poi a velocità costante. Calcolare:

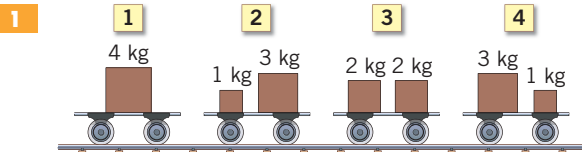
- ▶ il tempo impiegato dai due campioni per coprire i primi 50 metri;
- ▶ il tempo impiegato dai due campioni per terminare la gara;
- ▶ indicare il vincitore delle Olimpiadi.

(Esame di Fisica, Corso di laurea in Farmacia, Università di Roma La Sapienza, 2002/2003)

- 5** Un piccolo aeroplano, che viaggia alla velocità di 400 km/h, parallela al suolo, lascia cadere un pacco di massa 10 kg, che raggiunge il suolo dopo 6 s. Supponendo che nell'istante iniziale il pacco abbia esattamente la stessa velocità dell'aereo e che la resistenza dell'aria sia trascurabile, calcolare la quota dell'aereo rispetto al suolo.

(dall'Esame di Fisica, Corso di laurea in CTF, Università La Sapienza di Roma, 2001/2002)

## STUDY ABROAD

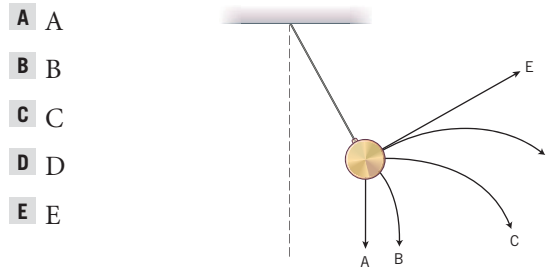


Each of the four identical carts shown above is loaded with a total mass of 4 kilograms. All of the carts are initially at rest on the same level surface. Forces of the same magnitude directed to the right act on each of the carts for the same length of time. If friction and air resistance are negligible, which cart will have the greatest velocity when the forces cease to act?

- A** Cart 1
- B** Cart 2
- C** Cart 3
- D** Cart 4
- E** All four carts will have the same velocity.

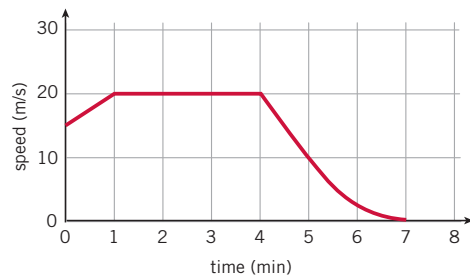
(Scholastic Aptitude Test (SAT), USA)

- 2** A pendulum is swinging upward and is halfway toward its highest position, as shown above, when the string breaks. Which of the paths shown best represents the one that the ball would take after the string breaks?



(Scholastic Aptitude Test (SAT), USA)

- 3** The graph represents the motion of a vehicle during part of a journey.



- ▶ What is the best estimate of the distance travelled during the part of the journey shown?

- A** 100.00 m
- B** 107.50 m
- C** 115.00 m
- D** 6.00 km
- E** 6.45 km
- F** 6.90 km

(BioMedical Admission Test (BMAT), UK, 2009/2010)

- 4** STATEMENT 1 An astronaut in an orbiting space station above the Earth experiences weightlessness.

And

STATEMENT 2 An object moving around the Earth under the influence of Earth's gravitational force is in a state of «free-fall».

- A** Statement 1 is true, Statement 2 is true; Statement 2 is a correct explanation for Statement 1.
- B** Statement 1 is true, Statement 2 is true; Statement 2 is NOT a correct explanation for Statement 1.
- C** Statement 1 is true, Statement 2 is false.
- D** Statement 1 is false, Statement 2 is true.

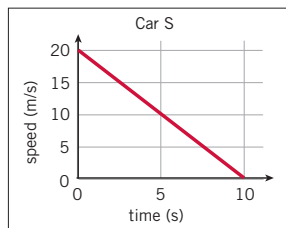
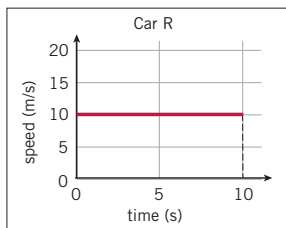
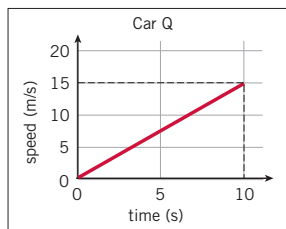
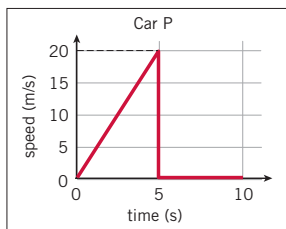
(Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (JEE), India, 2008/2009)

**5** An astronaut in the International space station experiences weightlessness because

- A** she is outside the earth's gravitational field.
- B** the attractive force of the moon cancels that of the earth.
- C** she is moving.
- D** she is accelerating at the same rate as the space station.

(Oxford Physics Aptitude Test (PAT), Oxford University, 2007/2008)

**6** The graphs below show how the speeds of four different cars (*P*, *Q*, *R* and *S*) vary with time over a period of 10 seconds.

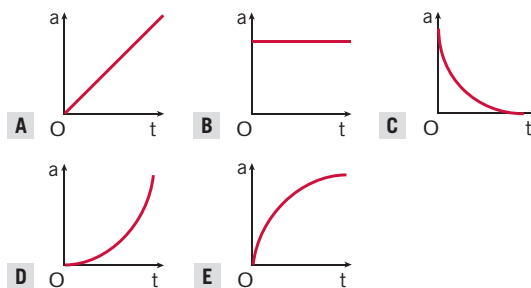


► Which two cars travel the same distance in the 10 seconds?

- A** *P* and *Q*
- B** *P* and *R*
- C** *Q* and *S*
- D** *R* and *S*

(BioMedical Admission Test (BMAT), UK, 2005/2006)

**7** A block is pulled along a horizontal surface with a constant horizontal force of magnitude  $F$ . The surface exerts a frictional force of constant magnitude  $f$  on the block.



The graph of speed  $v$  as a function of time  $t$  for the block is shown above. Which of the following shows the graph of acceleration  $a$  as a function of time  $t$  for the block?

(Scholastic Aptitude Test (SAT), USA)

**8** Steven has a customised motorcycle that he is very proud of and shows regularly in competitions. It is very important to him that his presentation is perfect and he likes to stop in front of the judges with both his tyre valves in the same position. The front tyre is smaller than the rear to aid its handling. The circumference of the front wheel is 2 m and the circumference of the rear wheel is 2.5 m. Steven starts with both valves in the same position at the bottom of each wheel. How far must he drive before the valves line up again at the bottom of each wheel?

- A** 2.0 m
- B** 2.5 m
- C** 4.5 m
- D** 10.0 m
- E** 12.5 m

(Thinking Skills Assessment (TSA), Cambridge University, 2008/2009)