cui centro si trova a distanza di $9{,}40 \cdot 10^{-11}$ m da ciascun atomo di idrogeno. L'atomo di azoto (N) è al vertice di una piramide retta della quale i tre H formano la base. La distanza azoto-idrogeno è $10{,}14 \cdot 10^{-11}$ m e il rapporto delle masse atomiche azoto/idrogeno è 13,9. Localizzate le coordinate (a) x e (b) y del centro di massa della molecola rispetto all'atomo di azoto.

••4. La figura 9.34 mostra le dimensioni di una lastra composta per metà di alluminio (massa volumica = 2,70 g/cm^3) e per metà di ferro (massa volumica = 7,85 g/cm^3). Dove si trova il centro di massa della lastra?

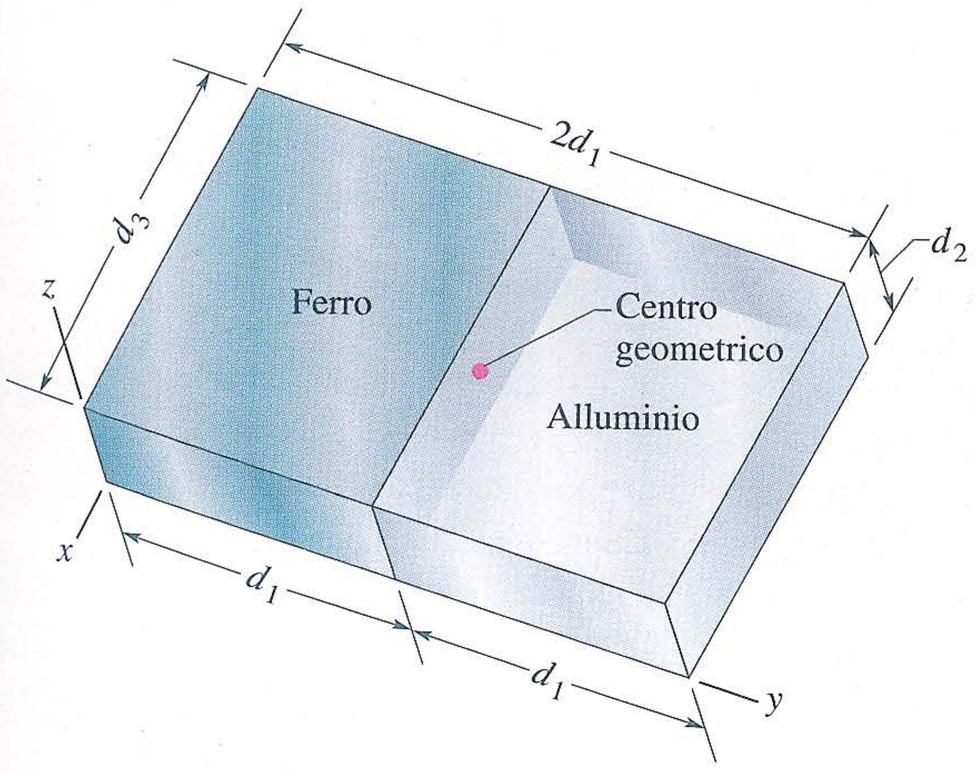

Figura 9.34 Problema 4.

••5. La figura 9.35 mostra una scatola cubica di lato 40 cm, aperta superiormente, fatta di lamiera metallica di densità uniforme e spessore trascurabile. Trovate (a) la coordinata x, (b) la coordinata y e (c) la coordinata z del suo centro di massa.

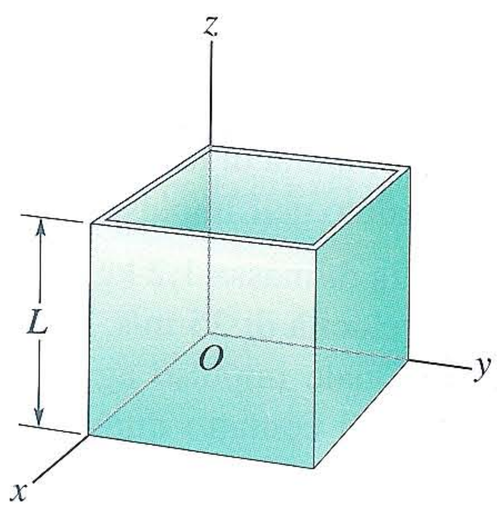

Figura 9.35 Problema 5.

•••6. Una latta a forma di cilindro circolare retto (fig. 9.36) di massa propria $M = 0{,}140$ kg, altezza $H = 12{,}0$ cm e massa volumica uniforme è all'inizio piena di gazzosa avente massa $m = 1{,}31$ kg. Pratichiamo dei forellini nel fondo e nel coperchio per far colare lentamente la gazzosa; chiamiamo h l'altezza variabile del centro di massa della latta col liquido in essa contenuto. Qual è il valore di h (a) all'inizio, e (b) quando è scolata tutta la gazzosa? (c) Come varia h durante la fuoriuscita del liquido? (d) Chiamando x l'altezza del livello della gazzosa residua durante lo scarico, trovate il valore di x quando il centro di massa h raggiunge il punto più basso.

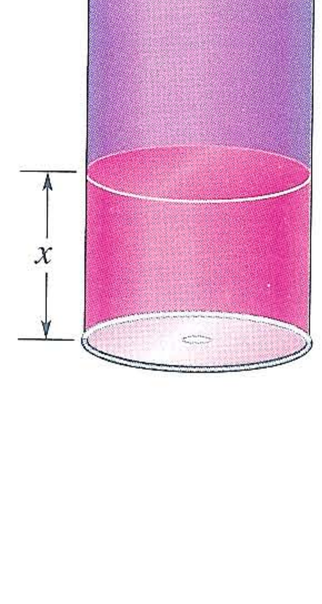

Figura 9.36 Problema 6.

PARAGRAFO 9.3 *Seconda legge di Newton per un sistema di punti materiali*

•7. Una pietra cade all'istante $t = 0$. Dopo 100 ms una seconda pietra di massa doppia cade dallo stesso punto. (a) A che quota sotto il punto di partenza si trova il centro di massa delle due pietre all'istante $t = 300$ ms? (Le due pietre sono ancora in volo.) (b) Che velocità ha il centro di massa in quell'istante?

•8. Due pattinatori su una pista di ghiaccio afferrano le due estremità di un'asta lunga 10 m di massa trascurabile. Le masse dei pattinatori sono 40 kg e 65 kg. Cominciano a tirarsi lungo l'asta per avvicinarsi l'un l'altro, fino a che si incontrano. Di quanti metri è avanzato il pattinatore di 40 kg?

•9. Un'auto di massa 1000 kg è ferma a un semaforo. Quando viene il verde ($t = 0$), parte con accelerazione costante di 4,0 m/s^2. Nello stesso istante sopraggiunge, a velocità costante di 8,0 m/s, un furgone di massa 2000 kg che sorpassa l'auto. (a) A che distanza si troverà il centro di massa del sistema auto-camion per $t = 3{,}0$ s? (b) E quale sarà la sua velocità?

•10. Un'enorme oliva di massa $m = 0{,}50$ kg giace nell'origine delle coordinate mentre una noce di cocco gigante ($M = 1{,}5$ kg) giace nel piano xy nel punto (1,0; 2,0) m. All'istante $t = 0$ una forza $\vec{F}_o = (2\mathbf{i} + 3\mathbf{j})$ N comincia ad agire sull'oliva e una forza $\vec{F}_c = (-3\mathbf{i} - 2\mathbf{j})$ N comincia ad agire sul cocco. Calcolate nella notazione con i versori la posizione del loro centro di massa rispetto alla posizione iniziale all'istante $t = 4{,}0$ s.

••11. Il cannone della figura 9.37 ha sparato una granata con una velocità all'uscita di 20 m/s, a un angolo di 60° sopra il piano orizzontale. Al vertice della traiettoria la granata esplode, rompendosi in due frammenti di uguale massa. Uno dei due, che immediatamente dopo l'esplosione ha velocità nulla, cade verticalmente. A che distanza dal cannone atterrerà l'altro frammento, ammettendo che il terreno sia in piano e la resistenza dell'aria trascurabile?

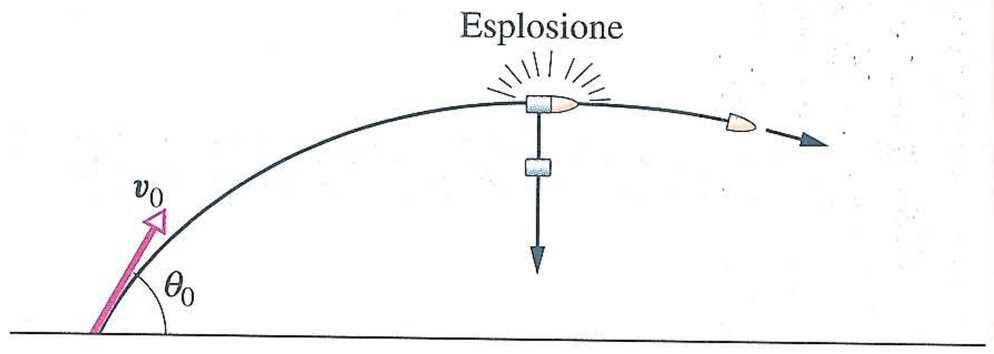

Figura 9.37 Problema 11.

•••12. Martino, di massa 80 kg, e Amelia, di massa minore, stanno contemplando il tramonto su una canoa di 30 kg. Mentre la canoa è ferma in acqua tranquilla, si scambiano i sedili, posti a 3,0 m di distanza simmetricamente rispetto al centro della canoa. Durante lo scambio, Martino nota che la canoa si è spostata, rispetto a un tronco sommerso, di 40 cm, e ne deduce la massa di Amelia, che prima ignorava. Quanto vale tale massa?

•••13. Un cane, di massa 4,5 kg, si trova su una zattera di massa 18 kg in una posizione distante 6,1 m dalla riva (a sinistra nella figura 9.38a). Cammina sulla zattera verso riva per 2,40 m e poi si ferma. Ammettendo che non vi sia attrito fra il natante e l'acqua, a che distanza da riva si trova ora il cane? (*Suggerimento*: Il cane (fig. 9.38b) si muove verso sinistra; la zattera, verso destra: e il centro di massa del sistema *zattera + cane*?)

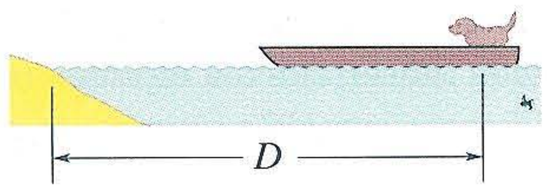

Figura 9.38 Problema 13.

PARAGRAFO 9.5 *Quantità di moto di un sistema di punti materiali*

•14. Una palla di massa 0,70 kg sta muovendosi orizzontalmente alla velocità di 5,0 m/s quando va a sbattere contro un muro verticale. Rimbalza con velocità di 2,0 m/s. Quant'è in modulo la variazione di quantità di moto della palla?

•15. Un autocarro di massa 2100 kg che viaggia verso nord alla velocità di 41 km/h svolta verso est e accelera fino a 51 km/h. (a) Qual è la variazione di energia cinetica del veicolo? Quali sono (b) il modulo e (c) la direzione della variazione della sua quantità di moto?

••16. In una partita di biliardo una palla di massa 0,165 kg, tirata con velocità iniziale di 2,00 m/s, batte contro la sponda e rimbalza. L'angolo θ_1 vale 30,0°. Rispetto agli assi x e y indicati, in vista dall'alto, nella figura 9.39, il rimbalzo inverte la componente secondo y della velocità della palla, ma lascia invariata la componente x. (a) Qual è il valore dell'angolo θ_2? (b) Qual è la variazione di quantità di moto della palla nella notazione con i versori? (Il fatto che la palla rotoli non è rilevante.)

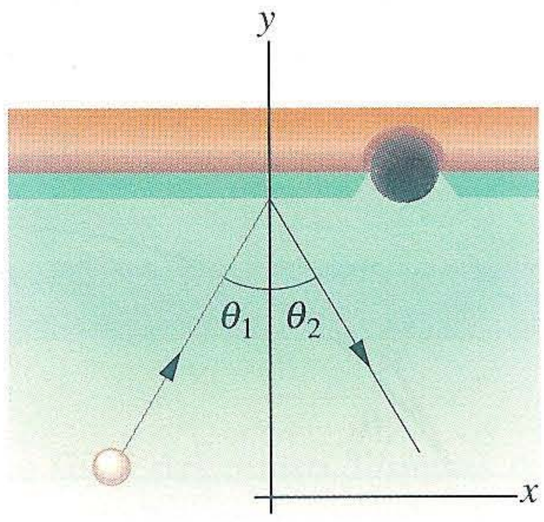

Figura 9.39 Problema 16.

PARAGRAFO 9.6 *Urto e impulso*

•17. Una forza parallela e discorde all'asse x agisce per 27 ms su una palla di massa 0,40 kg inizialmente animata in verso opposto da una velocità di 14 m/s. La forza è variabile e l'impulso ha intensità 32,4 N · s. Quali sono (a) la velocità e (b) la direzione di moto della palla dopo l'evento? Quali sono (c) l'intensità media della forza e (d) la direzione dell'impulso subiti dalla palla?

•18. Fino oltre i settant'anni Henri La Mothe entusiasmò il pubblico tuffandosi di pancia da 12 m d'altezza in una tinozza con 30 cm d'acqua (fig. 9.40). Ammettendo che si arrestasse esattamente quando toccava il fondo della tinozza, quali erano (a) la forza media e (b) l'impulso medio esercitati su di lui dall'acqua? Ipotizzate voi una massa ragionevole.

Figura 9.40 Problema 18. Tuffo a spanciata in una tinozza di 30 cm d'acqua

•19. Nel febbraio del 1955 un paracadutista, lanciatosi da un aeroplano a 370 m d'altitudine, non riuscì ad aprire il paracadute, ma la fortuna di cadere su un suolo coperto di neve fresca limitò i danni a poche ferite secondarie. Ammettendo che la sua velocità all'impatto fosse 56 m/s (velocità limite), che la sua massa, compreso l'equipaggiamento, fosse 85 kg, e che la forza esercitata sul suo corpo dalla neve non abbia superato il limite di sopravvivenza di $1{,}2 \cdot 10^5$ N, quali dovettero essere (a) la minima profondità di neve necessaria per fermarlo senza danni letali, e (b) il modulo dell'impulso esercitato su di lui dalla neve?

•20. Una palla di massa 1,2 kg, cadendo in verticale, colpisce il pavimento alla velocità di 25 m/s, e rimbalza con una velocità iniziale di 10 m/s. (a) Quale impulso agisce sulla palla durante il contatto col suolo? (b) Se il contatto dura 0,020 s qual è l'intensità della forza media esercitata sul pavimento?

•21. È ben noto che proiettili e missili in genere sparati contro Superman semplicemente rimbalzino contro il suo torace. Immaginiamo che un bandito colpisca Superman con raffiche di proiettili da 3 g di massa ciascuno, dotati di velocità di 500 m/s, alla frequenza di 100 al minuto. Supponiamo anche che i proiettili rimbalzino indietro senza variazione di velocità in modulo. Qual è la forza media esercitata sul torace di Superman dai proiettili a raffica?

••22. Un'automobilina di massa 5,0 kg può correre lungo l'asse x. Nella figura 9.41 è data la forza F_x agente su di essa, che parte da

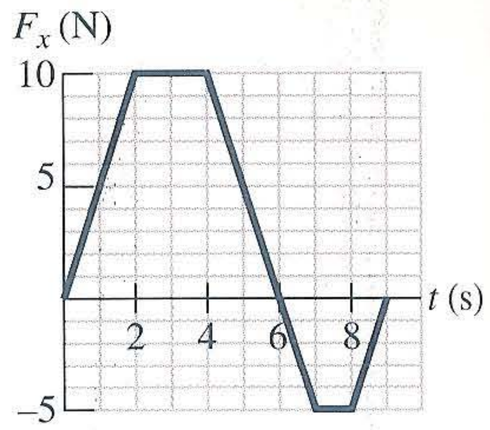

Figura 9.41 Problema 22.

ISBN 88-408-1331-4

ferma all'istante $t = 0$. Determinare $\boldsymbol{p}$ in notazione coi versori all'istante (a) $t = 4{,}0$ s e (b) $t = 7{,}0$ s. (c) Calcolare $\boldsymbol{v}$ all'istante $t = 9{,}0$ s.

••23. Nella figura 9.42 vediamo una mazza da baseball che colpisce la palla. Prima dell'impatto la palla ha velocità $\boldsymbol{v}_1$ di modulo 12,0 m/s e angolo, rispetto all'asse x, $\theta_1 = 35{,}0°$. Dopo ha velocità $\boldsymbol{v}_2$ di modulo 10,0 m/s e direzione verticale come l'asse y. L'evento dura 2,00 ms. Determinare (a) l'intensità e (b) la direzione, rispetto all'asse x, dell'impulso subìto dalla palla. Calcolare (c) l'intensità e (d) la direzione della forza media che la mazza applica alla palla.

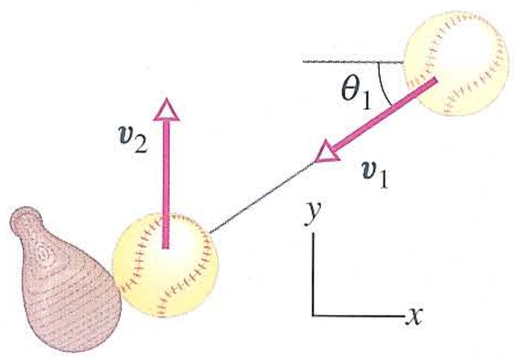

Figura 9.42 Problema 23.

••24. Nella figura 9.42 è tracciato l'andamento della forza, in funzione del tempo, esercitata durante la collisione di una palla di gomma di massa 58 g contro un muro. La velocità iniziale, normale alla parete, della palla è 34 m/s; il rimbalzo avviene alla stessa velocità, in verso opposto. Quanto vale F_{max}, massimo valore in modulo della forza di contatto durante la collisione?

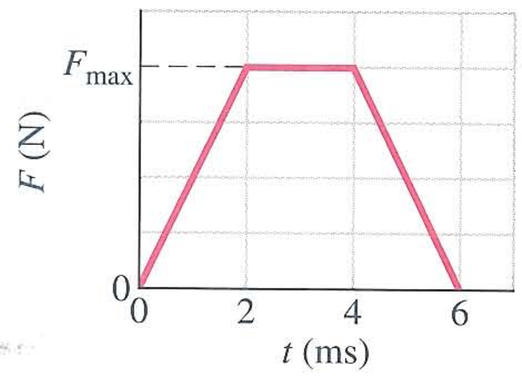

Figura 9.43 Problema 24.

••25. Una palla di massa 300 g colpisce una parete alla velocità $v = 6{,}0$ m/s con un angolo $\theta = 30°$ e rimbalza con uguale velocità e angolo, come indicato dalla figura 9.44 (vista dall'alto). Il contatto dura 10 ms. (a) Qual è stato l'impulso sulla palla? (b) E la forza media esercitata dalla palla sulla parete?

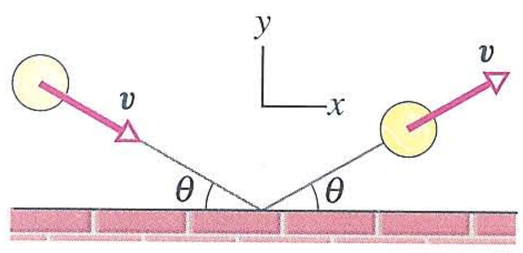

Figura 9.44 Problema 25.

PARAGRAFO 9.7 *Conservazione della quantità di moto*

•26. Un giocattolo meccanico scorre senza attrito sull'asse x con velocità di $(-0{,}40 \text{ m/s})\mathbf{i}$, quando improvvisamente due molle interne lo dividono in tre parti, di caratteristiche elencate nella seguente tabella. Qual è la velocità della parte A?

Parte	Massa (kg)	Velocità (m/s)
A	0,50	?
B	0,60	0,20**i**
C	0,20	0,30**i**

•27. Un veicolo spaziale, che sta viaggiando alla velocità di 4300 km/h rispetto alla Terra, espelle il propulsore esaurito con una velocità all'indietro, rispetto al modulo di comando, di 82 km/h. La massa del propulsore è quadrupla di quella del modulo. Qual è, dopo la separazione, la velocità rispetto alla Terra del modulo di comando?

••28. Un oggetto, di massa m e velocità v rispetto a un osservatore, esplode separandosi in due pezzi, uno di massa tripla dell'altro. L'esplosione avviene nello spazio vuoto. Il pezzo più leggero si ferma rispetto all'osservatore. Quanta energia cinetica, rispetto all'osservatore, aggiunge l'esplosione al sistema?

••29. Una caldaia esplode, rompendosi in tre pezzi. Due di questi, di uguale massa, partono, in direzioni fra loro perpendicolari e in versi opposti agli assi coordinati, alla stessa velocità di 30 m/s. Il terzo pezzo ha massa tripla di ciascuno degli altri due. Quali sono (a) modulo e (b) direzione della sua velocità immediatamente dopo l'esplosione?

•••30. Le particelle A e B sono legate da una molla inizialmente compressa. Quando viene liberata, la molla le proietta lontano in versi opposti. La particella A ha massa doppia di B e l'energia immagazzinata nella molla è di 60 J. Si assuma che la molla abbia massa trascurabile e che trasferisca tutta la sua energia alle particelle. Quali sono le energie cinetiche finali (a) della particella A e (b) della particella B?

PARAGRAFO 9.9 *Urti anelastici in una dimensione*

•31. Un proiettile di massa 5,20 g in moto alla velocità di 672 m/s colpisce un blocco di legno di massa 700 g fermo su una superficie priva di attrito. In seguito all'urto la sua velocità si riduce a 428 m/s. (a) Trovate la corrispondente velocità del blocco e (b) la velocità del centro di massa del sistema.

•32. Un proiettile di massa 10 g colpisce un pendolo balistico di massa 2,0 kg. Il centro di massa del pendolo sale di un'altezza di 12 cm. Supponendo che il proiettile rimanga incastrato nel pendolo, calcolate la velocità iniziale del proiettile.

••33 Una massa puntiforme di 2,00 kg e velocità $\boldsymbol{v}_1 = (-4{,}00 \text{ m/s})\mathbf{i} + +(-5{,}00 \text{ m/s})\mathbf{j}$ si scontra con un'altra di massa 4,00 kg e velocità $\boldsymbol{v}_2 = (6{,}00 \text{ m/s})\mathbf{i} + (-2{,}00 \text{ m/s})\mathbf{j}$. Le due masse si saldano insieme. Qual è dopo l'evento la loro velocità espressa (a) in notazione coi versori e (b) in modulo e (c) direzione?

••34. Due automobili, A e B, di massa rispettivamente 1100 kg e 1400 kg, arrestandosi a un semaforo su una strada ghiacciata, si tamponano e slittano entrambe fino ad arrestarsi (vedi fig. 9.45, che illustra la situazione prima e dopo l'urto). Il coefficiente di attrito dinamico fra le ruote bloccate delle auto e il terreno è 0,13. Dopo l'urto A si ferma a 8,2 m di distanza dal punto di impatto, e B a 6,1 m. Le ruote dei due veicoli sono rimaste bloccate durante tutta la slittata. Dalle distanze percorse dalle due auto, deducete le velocità immediatamente dopo l'urto (a) dell'auto A e (b) dell'auto B. (c) Applicando il principio di conservazione della quantità di moto ricavate la velocità alla quale B ha investito A. (d) Su quali basi potrebbe essere criticato, per questo caso, il ricorso al principio di conservazione della quantità di moto?

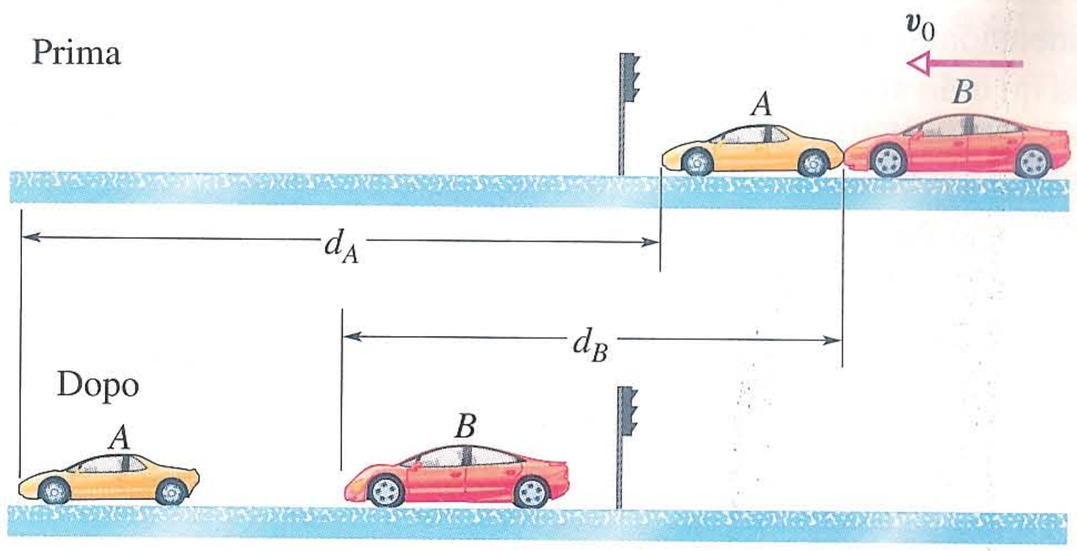

Figura 9.45 Problema 34.

••35. Una pallottola di massa 3,50 g viene sparata orizzontalmente verso due blocchi di legno fermi su un pavimento liscio, come in figura 9.46a. La pallottola trapassa il primo blocco di massa 1,20 kg e si conficca nel secondo di massa 1,80 kg. Nella figura 9.46b si vede che le velocità assunte dai due blocchi sono rispettivamente 0,630 m/s e 1,40 m/s. Trascurando il materiale asportato dal primo blocco, trovare (a) la velocità della pallottola quando emerge dal primo blocco e (b) la velocità iniziale della pallottola.

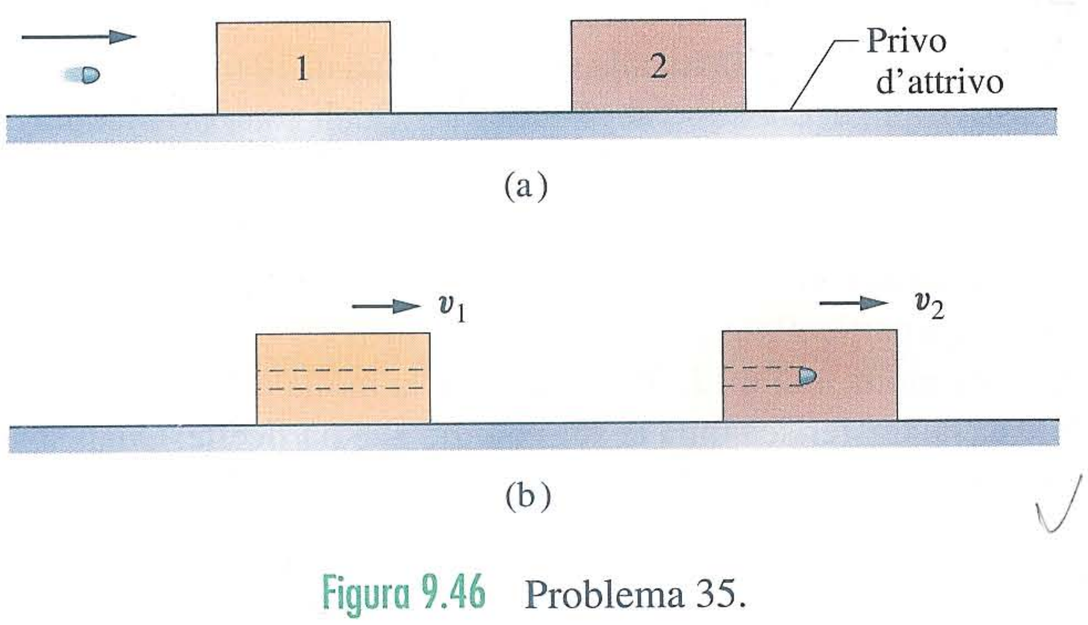

Figura 9.46 Problema 35.

••36. Un blocco di massa 5,0 kg alla velocità di 3,0 m/s urta un blocco di massa 10 kg che va nella stessa direzione alla velocità di 2,0 m/s. Dopo l'urto si rileva che il blocco maggiore prosegue alla velocità di 2,5 m/s. (a) Qual è la velocità del blocco minore subito dopo l'urto? (b) Di quanto varia l'energia cinetica del sistema dei due blocchi per effetto dell'urto? (c) Supponiamo invece che il blocco da 10 kg prosegua alla velocità di 4,0 m/s. Quale sarà allora la variazione di energia cinetica? (d) Spiegate il risultato ottenuto in (c).

•••37. Un blocco di massa $m_1 = 2{,}0$ kg scivola su un piano privo di attrito alla velocità di 10 m/s. Davanti a questo blocco, sulla stessa linea e nello stesso verso, si muove alla velocità di 3,0 m/s un secondo blocco, di massa $m_2 = 5{,}0$ kg. Una molla priva di massa, con costante elastica $k = 1120$ N/m, è attaccata sul retro di m_2, come si vede nella figura 9.47. Qual è la massima compressione della molla quando i due blocchi si urtano? (*Suggerimento*: quando la compressione della molla raggiunge il massimo valore i due blocchi si muovono come un sol blocco. Osservando che a questo punto la collisione è completamente anelastica troverete la velocità.)

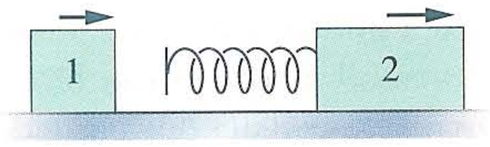

Figura 9.47 Problema 37.

•••38. Un blocco di massa 1,0 kg fermo su una superficie orizzontale priva di attrito è attaccato a una molla allo stato di riposo, avente $k = 200$ N/m, fissata all'altra estremità come indica la figura 9.48. Un blocco di massa 2,0 kg, con velocità 4,0 m/s, urta il blocco fermo. Se i due blocchi rimangono attaccati insieme dopo una collisione unidimensionale, qual è la massima compressione della molla che si verifica quando si ha l'arresto dei blocchi?

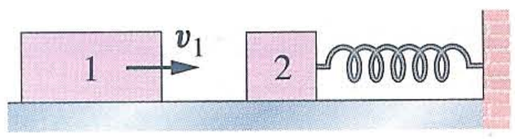

Figura 9.48 Problema 38.

PARAGRAFO 9.10 *Urti elastici di una dimensione*

•39. Un carrellino di massa 340 g, che scorre senza attrito su un filo aereo alla velocità iniziale di 1,2 m/s, va a investire un altro carrello stazionario, di massa ignota. L'urto è elastico. Dopo l'urto il primo carrello prosegue nello stesso verso alla velocità di 0,66 m/s. (a) Qual è la massa del secondo carrello? (b) Qual è la velocità dopo l'impatto? (c) Qual è la velocità del centro di massa comune?

•40. I blocchi rappresentati nella figura 9.49 si urtano scivolando senza attrito. Le velocità iniziale e finale sono: $v_{A,\mathrm{i}} = 5{,}5$ m/s, $v_{B,\mathrm{i}} = 2{,}5$ m/s, $v_{B,\mathrm{f}} = 4{,}9$ m/s. Quali sono (a) il modulo e (b) la direzione della velocità $v_{A,\mathrm{f}}$ del blocco A dopo l'urto? (c) Si tratta di un urto elastico?

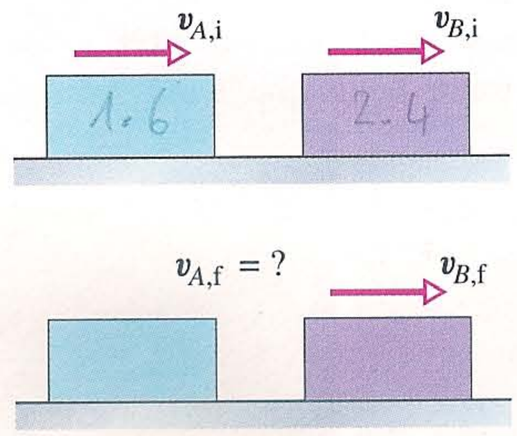

Figura 9.49 Problema 40.

•41. Due sfere di titanio si avvicinano a uguali velocità scalari e si scontrano frontalmente, in un urto elastico. Dopo l'urto una delle due sfere, con massa 300 g, rimane ferma. (a) Qual è la massa dell'altra? (b) Qual è la velocità del centro di massa delle due sfere se la velocità iniziale di ciascuna era 2,00 m/s?

••42. Nella figura 9.50 la particella 1 di massa $m_1 = 0{,}30$ kg scivola su un piano senza attrito lungo l'asse x con velocità di 2,0 m/s. Nel punto $x = 0$ si scontra elasticamente con la particella 2 di massa $m_2 = 0{,}40$ kg. Quando quest'ultima raggiunge un muro nel punto $x_{\mathrm{m}} = 70$ cm, rimbalza senza perdita di velocità. In che posizione urterà di nuovo la particella 1?

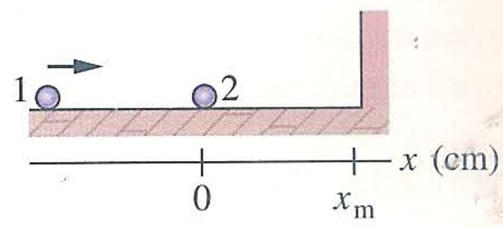

Figura 9.50 Problema 42.

••43. Un corpo in moto, con massa 2,0 kg, dopo un urto elastico contro un altro corpo fermo prosegue nella stessa direzione e con il medesimo verso, ma a un quarto della velocità iniziale. (a) Qual è la massa del corpo investito? (b) Qual è la velocità del centro di massa dei due corpi se la velocità iniziale del primo era 4,0 m/s?

••44. Una palla d'acciaio con massa 0,500 kg, attaccata a un filo di lunghezza 70,0 cm fissato all'altra estremità, è lasciata libera da una posizione in cui il filo era orizzontale. Come mostra la figura 9.51, nel punto più basso della sua corsa la palla colpisce un blocco d'acciaio di massa 2,50 kg stazionario su un piano privo di attrito. L'urto è elastico. Trovate (a) la velocità della palla e (b) la velocità del centro di massa subito dopo l'urto.

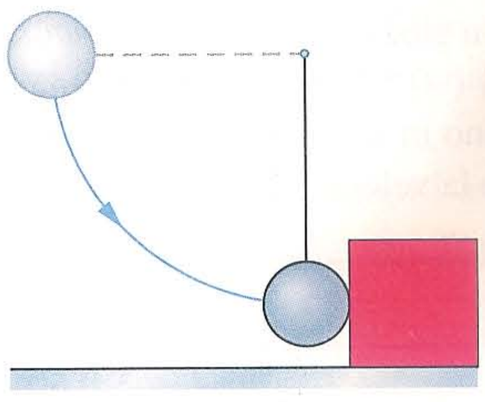

Figura 9.51 Problema 44.

PARAGRAFO 9.11 *Urti in due dimensioni*

••45. Nella figura 9.22 la particella proiettile 1 è una particella α e la particella bersaglio 2 è un nucleo di ossigeno. La particella α viene deviata e assume un angolo $\theta_1 = 64{,}0°$, mentre il nucleo di ossigeno

assume la direzione $\theta_2 = 51{,}0°$ con velocità $1{,}20 \cdot 10^5$ m/s. La massa della particella α è 4,00 u (unità di massa atomica) e quella del nucleo di ossigeno è 16,0 u. Trovare le velocità (a) finale e (b) iniziale della particella α.

••46. Due corpi di massa 2,0 kg, A e B, si scontrano. Le velocità prima dell'urto sono: $\boldsymbol{v}_A = 15\mathbf{i} + 30\mathbf{j}$ e $\boldsymbol{v}_B = -10\mathbf{i} + 5{,}0\mathbf{j}$. Dopo l'urto $\boldsymbol{v}_A = -5{,}0\mathbf{i} + 20\mathbf{j}$. Tutte le velocità sono date in m/s. (a) Qual è la velocità finale di B? (b) Quanta energia cinetica guadagna o perde nell'urto?

••47. Un protone (massa atomica 1 u), alla velocità di 500 m/s, urta elasticamente un altro protone a riposo. Il primo protone (proiettile) viene deviato a 60° dalla sua direzione primitiva e il secondo si muove perpendicolarmente al primo. (a) Qual è la velocità in modulo del protone bersaglio dopo l'urto? (b) E quella del protone proiettile?

••48. Due palle A e B, di masse ignote ma differenti fra loro, si scontrano. A è il bersaglio fermo, B il proiettile con velocità v lungo l'asse x. Dopo l'urto B va in direzione $-y$, con velocità $v/2$. (a) Trovate la direzione di A dopo l'urto. (b) Siete in grado, con le informazioni ricevute, di determinare la velocità di A? Discutete questo punto.

•••49. Si osserva che due oggetti con masse e velocità uguali, dopo una collisione completamente anelastica, si allontanano uniti fra loro a velocità che ha valore pari alla metà di quella precedente. Trovate l'angolo fra le direzioni di provenienza dei due oggetti.

PARAGRAFO 9.12 *Sistemi a massa variabile: i razzi*

•50. Una sonda spaziale di massa 6090 kg diretta verso Giove alla velocità di 105 m/s rispetto al Sole accende il suo motore a reazione espellendo posteriormente 80,0 kg di propellente alla velocità relativa di 253 m/s. Qual è la velocità della sonda dopo l'operazione?

•51. Due lunghe chiatte navigano nella stessa direzione in acque tranquille, una alla velocità di 10 km/h e l'altra a 20 km/h. Mentre la seconda sta sorpassando la prima, si trasferisce del carbone a badilate dalla più lenta alla più veloce, in ragione di 1000 kg/min (fig. 9.52). Quale variazione della forza deve essere applicata al motore (a) della chiatta più veloce e (b) della chiatta più lenta, per mantenere costanti le loro velocità? Si ammetta che il trasbordo del carbone avvenga sempre normalmente al moto, e che le forze di attrito fra chiatte e acqua non dipendano dal carico delle chiatte.

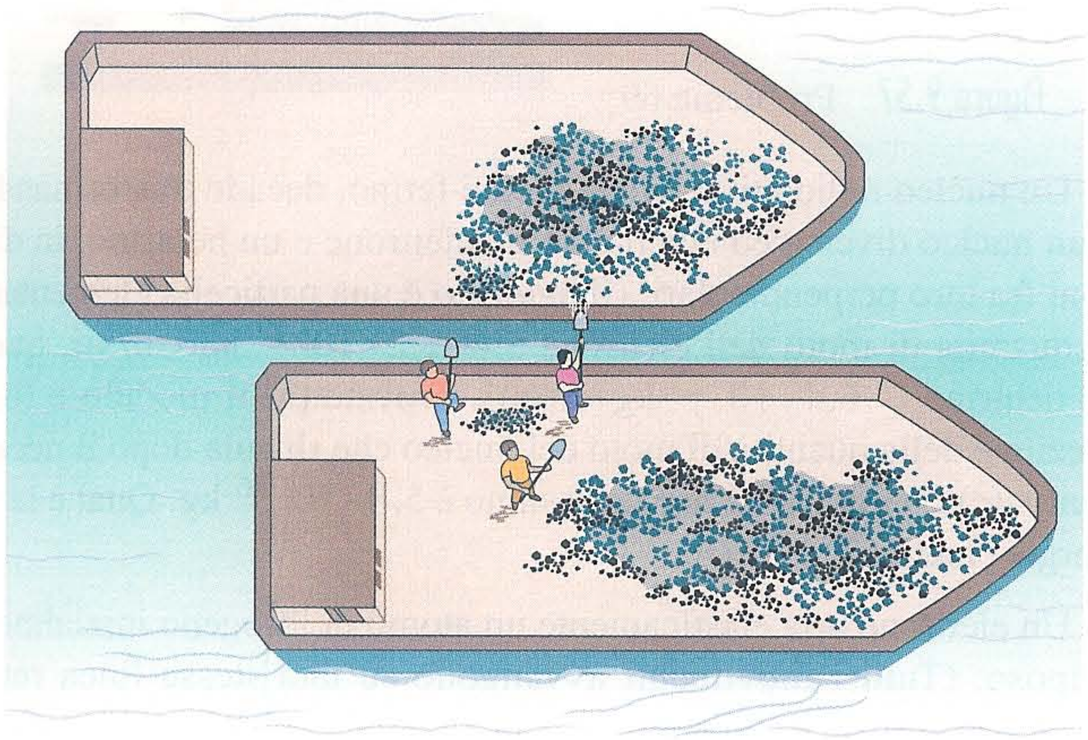

Figura 9.52 Problema 51.

Problemi supplementari

52. Un carrello su rotaie avanza a velocità costante di 3,20 m/s sotto un nastro elevatore per il carico di granaglia, che riversa nel carrello il cereale in ragione di 540 kg/min. Qual è il modulo della forza necessaria per mantenere costante la velocità del carrello, supposto nullo l'attrito?

53. Due barattoli identici di zucchero sono collegati da un filo di massa insignificante che passa su una puleggia di diametro 50 mm, con massa e attrito trascurabili (fig. 9.53). Essi si trovano allo stesso livello, sono separati da una distanza iniziale tra i centri di 50 mm e hanno uguale massa iniziale di 500 g ciascuno. (a) Localizzate la posizione orizzontale del loro centro di massa. (b) Si travasano ora 20 grammi di zucchero da un barattolo all'altro, impedendo però che si spostino. Localizzate la nuova posizione orizzontale del loro centro di massa. (c) Se li lasciamo liberi di muoversi, in quale direzione si sposterà il loro centro di massa? (d) Con quale accelerazione?

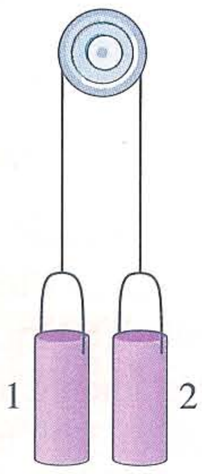

Figura 9.53 Problema 53.

54. Nella figura 9.54 si vede una piastra quadrata di lamiera uniforme, con lato $6d = 6$ m, dalla quale è stato ritagliato un pezzo quadrato di lato $2d$, con centro nel punto $x = 2$ m, $y = 0$. L'origine delle coordinate coincide con il centro della piastra quadrata. Trovate (a) la coordinata x e (b) la coordinata y del centro di massa del pezzo rappresentato nella figura.

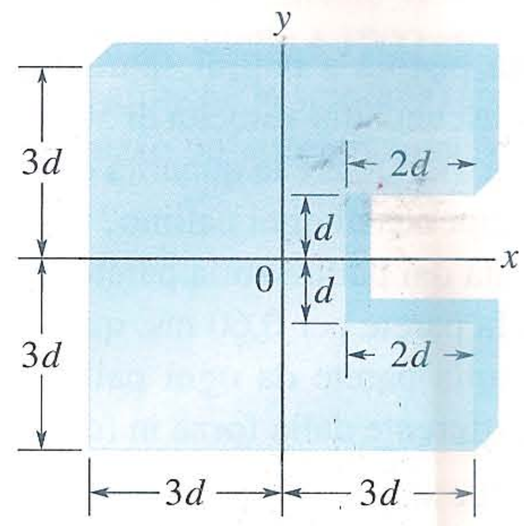

Figura 9.54 Problema 54.

55. L'ultimo stadio di un razzo che sta viaggiando alla velocità di 7600 m/s comprende due parti agganciate fra loro: il blocco propulsore, con massa 290,0 kg, e la capsula del carico utile, con massa 150,0 kg. Al comando di sgancio una molla precompressa provoca la separazione delle due parti alla velocità relativa di 910,0 m/s. Quali sono le velocità (a) del propulsore e (b) del carico dopo il distacco? Si ammetta che tutte le velocità siano allineate fra loro. Trovate l'energia cinetica totale delle due parti (c) prima e (d) dopo la separazione e (e) spiegate le ragioni della (eventuale) differenza.

56. Le due sfere nella disposizione del problema svolto 9.10 abbiano la prima una massa di 50 g e altezza iniziale di 9,0 cm, la seconda una massa di 85 g. Dopo l'urto quale altezza raggiungono (a) la sfera 1 e (b) la sfera 2? Dopo un secondo urto (elastico), che altezza raggiungono (c) la sfera 1 e (d) la sfera 2? (*Suggerimento*: non arrotondate i valori nel corso dello svolgimento.)

57. Un uomo di massa 80 kg sta su una scaletta di corda appesa a un pallone di massa 320 kg, come nella figura 9.55. Il pallone è stazionario rispetto al terreno. Se l'uomo comincia ad arrampicarsi a velocità di 2,5 m/s (relativa alla scaletta), (a) a quale velocità e (b) in quale direzione (rispetto alla Terra) si sposterà il pallone? (c) Qual è la velocità del pallone quando l'uomo smette di arrampicarsi?

Figura 9.55 Problema 57.

58. Due slitte da ghiaccio di massa 22,7 kg ciascuna sono allineate, ferme, a breve distanza l'una dall'altra, come si vede nella figura 9.56. Un gatto di massa 3,63 kg, partendo da una delle due slitte, salta sull'altra e immediatamente indietro ancora sulla prima. I due balzi sono fatti alla velocità di 3,05 m/s rispetto al ghiaccio. Trovate la velocità finale (a) della prima slitta e (b) della seconda slitta.

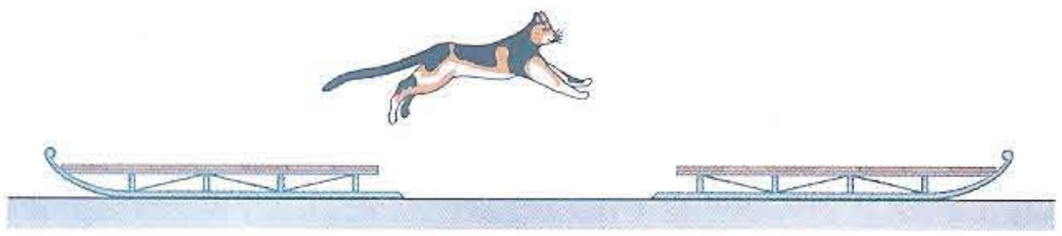

Figura 9.56 Problema 58.

59. Una pistola a pallini spara ogni secondo dieci pallini di massa 2,0 g ciascuno alla velocità di 500 m/s. Essi sono arrestati da una parete rigida. (a) Qual è la quantità di moto di ogni pallino? (b) Qual è l'energia cinetica di ogni pallino? (c) Qual è l'intensità della forza media esercitata dai pallini sulla parete? (d) Se ogni pallino rimane a contatto con la parete per 0,60 ms, qual è l'intensità della forza media esercitata sulla parete da ogni pallino durante il contatto? (e) Perché è tanto differente dalla forza in (c)?

60. Le due sezioni di un veicolo spaziale vengono separate dallo scoppio dei bulloni esplosivi che le univano. Le loro masse sono 1200 kg e 1800 kg, e l'intensità dell'impulso che agisce su ciascuna sezione è 300 N · s. Con quale velocità relativa si separano?

61. Un'auto di massa 1400 kg che viaggia alla velocità di 5,3 m/s è diretta inizialmente a nord, verso positivo dell'asse y. Dopo aver compiuto in 4,6 s una svolta a destra di 90°, il guidatore distratto va a sbattere, diretto nel verso positivo dell'asse x, contro un albero, che arresta l'auto in 350 ms. Nella notazione con i versori, qual è l'impulso sul veicolo (a) durante la svolta e (b) durante l'urto? E qual è l'intensità della forza media che agisce sull'auto (c) durante la svolta e (d) durante l'urto? (e) Qual è infine l'angolo fra la forza media in (c) e l'asse x?

62. Compongono la molecola di monossido di carbonio, disposti lungo un asse x, un atomo di carbonio in $x = 0$ e un atomo di ossigeno in $x = 1{,}131 \cdot 10^{-10}$ m. Trovare la coordinata x del centro di massa.

63. Una palla con massa di 150 g colpisce una parete alla velocità di 5,2 m/s e rimbalza con soltanto il 50 % dell'energia cinetica iniziale. (a) Qual è la velocità della palla immediatamente dopo il rimbalzo? (b) Quale è stata l'intensità dell'impulso della palla sulla parete? (c) Se la durata del contatto è stata 7,6 ms, quale sarà stata, durante questo tempo, l'intensità della forza media esercitata dalla parete sulla palla?

64. Una vecchia auto americana di massa 2400 kg sta viaggiando su un tratto di strada rettilineo alla velocità di 80 km/h. La segue un furgoncino di massa 1600 kg alla velocità di 60 km/h. A che velocità si muove il centro di massa del sistema costituito dai due veicoli?

65. Un calciatore calcia un pallone, fermo sul campo, avente una massa di 0,45 kg. Il piede del calciatore rimane in contatto con il pallone per $3{,}0 \cdot 10^{-3}$ s, e la forza del calcio durante la collisione è data da

$$F(t) = [(6{,}0 \cdot 10^{6})t - (2{,}0 \cdot 10^{9})t^2]\ \text{N},$$

per $0 \leq t \leq 3{,}0 \cdot 10^{-3}$ s, con t in secondi. Trovate i moduli (a) dell'impulso impresso alla palla, (b) della forza media esercitata dal piede del calciatore sulla palla durante il periodo di contatto, (c) della forza massima esercitata dal piede del calciatore sulla palla durante il periodo di contatto e (d) della velocità della palla immediatamente dopo la perdita di contatto con il piede del calciatore.

66. Due blocchi di masse 1,0 kg e 3,0 kg sono legati tra loro mediante una molla e sono inizialmente fermi su una superficie priva d'attrito. Si imprime loro una certa velocità in modo che si avvicinino; il blocco minore ha ora velocità di 1,7 m/s verso il centro di massa, che resta a riposo. Che velocità ha l'altro blocco?

67. Un vagone merci di massa $3{,}18 \cdot 10^{4}$ kg urta un altro vagone fermo sui binari. Si agganciano fra loro, e il 27,0 % dell'energia cinetica iniziale è trasformata in calore, rumore, vibrazioni e altre forme di energia. Trovate la massa del secondo vagone.

68. Un uomo di massa 75 kg sta su un carrello di massa 39 kg che viaggia alla velocità di 2,3 m/s. A un tratto l'uomo salta giù con velocità orizzontale zero rispetto al terreno. Di quanto fa così variare la velocità del carrello?

69. Nella figura 9.57 una palla di massa $m = 60$ g viene spinta alla velocità $v_i = 22$ m/s nella canna di una pistola a molla di massa $M = 240$ g, che è ferma su una superficie priva di attrito. La palla rimane incastrata nella canna nel punto di massima compressione della molla. Non si ha perdita di energia per attrito. (a) Qual è la velocità della pistola dopo che la palla si è arrestata? (b) Quale frazione dell'energia cinetica iniziale della palla viene immagazzinata nella molla?

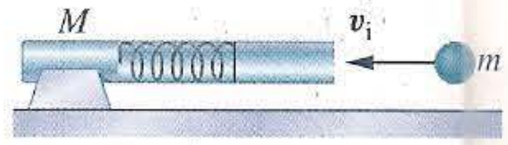

Figura 9.57 Problema 69.

70. Un nucleo radioattivo, inizialmente fermo, decade trasformandosi in un nucleo diverso ed emettendo un elettrone e un neutrino, in direzioni fra loro perpendicolari. (Il *neutrino* è una particella elementare.) La quantità di moto dell'elettrone è $(-1{,}2 \cdot 10^{-22}\ \text{kg} \cdot \text{m/s})\mathbf{i}$, quella del neutrino $(-6{,}4 \cdot 10^{-23}\ \text{kg} \cdot \text{m/s})\mathbf{j}$. Trovate (a) il modulo e (b) la direzione della quantità di moto del nucleo che rincula dopo il decadimento. (c) La massa del nucleo residuo è $5{,}8 \cdot 10^{-26}$ kg. Qual è la sua energia cinetica?

71. Un elettrone urta elasticamente un atomo di idrogeno inizialmente a riposo. (Tutti i movimenti avvengono su una stessa linea retta.) Quale percentuale dell'energia cinetica iniziale dell'elettrone è trasferita all'atomo di idrogeno? La massa di quest'ultimo è circa 1840 volte quella dell'elettrone.

72. Un razzo si sta allontanando dal sistema solare alla velocità di $6{,}0 \cdot 10^{3}$ m/s. Accende i motori che espellono il propellente alla velocità relativa di $3{,}0 \cdot 10^{3}$ m/s. La massa del razzo in quell'istante è $4{,}0 \cdot 10^{4}$ kg e la sua accelerazione è 2,0 m/s^2. (a) Qual è la spinta dei motori? (b) Quanto propellente consuma, in kg/s, durante la spinta?

73. Un blocco di massa $m_1 = 6{,}6$ kg è posato su un lungo tavolo privo di attrito, che va a finire contro una parete. Un altro blocco, di massa m_2, collocato fra il primo e la parete come nella figura 9.58, è messo in moto verso m_1 a velocità costante v_2. Ammettendo che tutte le collisioni siano perfettamente elastiche, trovate il valore di m_2 per il quale i due blocchi si muovono alla stessa velocità dopo che m_2 ha urtato una volta m_1 e una volta la parete. Supponete che la parete abbia massa infinita.

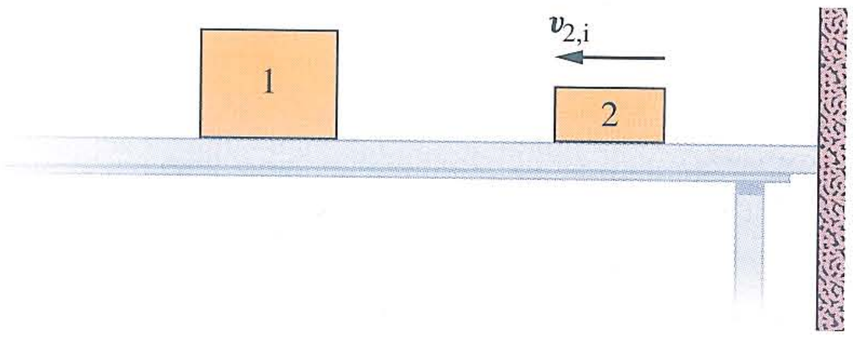

Figura 9.58 Problema 73.

74. Durante una missione verso la Luna occorre aumentare di 2,2 m/s la velocità della sonda spaziale, mentre sta viaggiando alla velocità di 400 m/s rispetto alla Luna. La velocità relativa di espulsione dei prodotti di combustione è di 1000 m/s. Che frazione della massa iniziale della sonda occorre bruciare ed espellere per raggiungere lo scopo?

75. Una palla di massa 140 g alla velocità di 7,8 m/s colpisce un muro perpendicolarmente e rimbalza con la medesima velocità in modulo. L'urto dura 3,80 m/s. Determinare i moduli (a) dell'impulso e (b) della forza media applicata dalla palla sul muro.

76. Una palla 1 con velocità iniziale di 10 m/s entra in collisione elastica con altre due palle, 2 e 3, identiche e ferme, a contatto fra loro, allineate in direzione perpendicolare alla velocità della prima, come appare nella figura 9.59. La prima palla è diretta esattamente verso il punto di contatto delle altre due, e ogni moto avviene in assenza di attrito. Trovate (a) modulo e (b) direzione della velocità dopo l'urto della palla 2. Trovate (c) modulo e (d) direzione della velocità dopo l'urto della palla 3. Trovate (e) modulo e (f) direzione della velocità dopo l'urto della palla 1. (*Suggerimento*: In assenza di attrito gli impulsi sono tutti orientati come la linea che unisce i centri delle due palle che si urtano, normalmente alle superfici di contatto.)

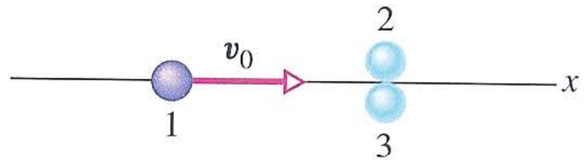

Figura 9.59 Problema 76.

77. Nella disposizione di figura 9.22 una palla da biliardo colpisce di striscio, alla velocità di 2,2 m/s, un'altra palla identica ferma. Dopo l'urto si rileva che una delle due ha velocità di 1,1 m/s in una direzione che forma un angolo di 60° con quella primitiva della palla giocata. Trovate (a) il modulo e (b) la direzione della velocità dell'altra palla. (c) In base a questi dati può trattarsi di una collisione anelastica?

78. In una partita a biliardo la palla giocata ne colpisce un'altra che era ferma. Dopo l'urto, la prima corre alla velocità di 3,50 m/s su una linea che forma un angolo di 22,0° con la direzione originaria del suo moto, mentre la seconda assume una velocità di 2,00 m/s. Trovate (a) l'angolo fra la direzione del moto della seconda palla e la direzione originaria del moto della prima e (b) la velocità iniziale della prima palla. (c) Si ha conservazione dell'energia cinetica (ipotizzando la mancanza di rotazioni)?

79. (a) Quanto dista dal centro della Terra il centro di massa del sistema Terra-Luna? (Cercate nell'appendice C le masse della Terra e della Luna, e la loro distanza.) (b) Esprimete il risultato di (a) come frazione del raggio della Terra.

80. Un razzo di massa 6100 kg è pronto a essere lanciato verticalmente dalla superficie terrestre. Se la velocità all'ugello è 1200 m/s, quanto gas deve essere espulso ogni secondo affinché la spinta (a) sia uguale al peso del razzo, e (b) imprima al razzo un'accelerazione iniziale verso l'alto di 21 m/s^2?