

Universidade do Algarve
Faculdade de Ciências e Tecnologia

Física I

Licenciaturas em Engenharia Informática e Bioengenharia
1º ano, 2º semestre

Série de problemas nº 9
Centro de Massa e Momento Linear
Cap. 9 do Halliday & Resnick, 10ª Ed.

José Mariano
Ano lectivo de 2024/2025

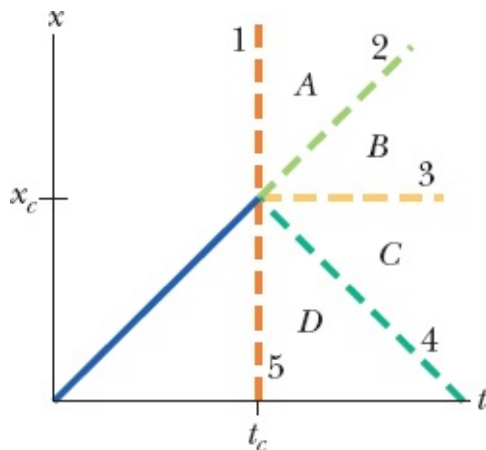


Figura 9-33 Pergunta 11.

12 A Fig. 9-34 mostra quatro gráficos da posição em função do tempo para dois corpos e seu centro de massa. Os dois corpos formam um sistema fechado e isolado e sofrem uma colisão unidimensional perfeitamente inelástica, ao longo de um eixo x . No gráfico 1, (a) os dois corpos estão se movendo no sentido positivo ou no sentido negativo do eixo x ? (b) E o centro de massa? (c) Quais são os gráficos que correspondem a situações fisicamente impossíveis? Justifique sua resposta.

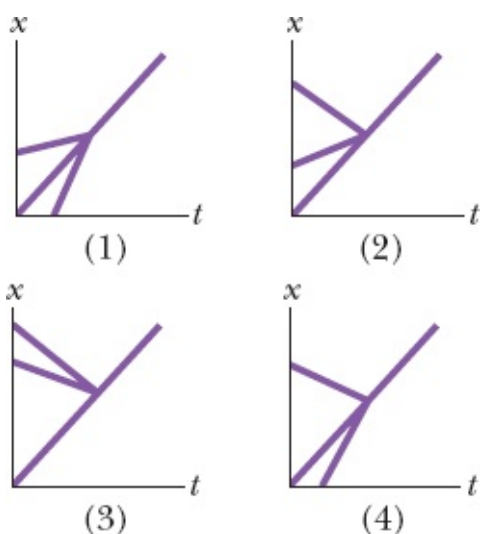


Figura 9-34 Pergunta 12.

Problemas

.- ... O número de pontos indica o grau de dificuldade do problema.

 Informações adicionais disponíveis em *O Circo Voador da Física* de Jearl Walker, LTC, Rio de Janeiro, 2008.

Módulo 9-1 Centro de Massa

•1 Uma partícula de 2,00 kg tem coordenadas xy $(-1,20 \text{ m}, 0,500 \text{ m})$, e uma partícula de 4,00 kg tem coordenadas xy $(0,600 \text{ m}, -0,750 \text{ m})$. Ambas estão em um plano horizontal. Em que coordenada (a) x e (b) y deve ser posicionada uma terceira partícula de 3,00 kg para que o centro de massa do sistema de três partículas tenha coordenadas $(-0,500 \text{ m}, -0,700 \text{ m})$?

•2 A Fig. 9-35 mostra um sistema de três partículas de massas $m_1 = 3,0$ kg, $m_2 = 4,0$ kg e $m_3 = 8,0$ kg. As escalas do gráfico são definidas por $x_s = 2,0$ m e $y_s = 2,0$ m. Qual é (a) a coordenada x e (b) qual é a coordenada y do centro de massa do sistema? (c) Se m_3 aumenta gradualmente, o centro de massa do sistema se aproxima de m_3 , se afasta de m_3 , ou permanece onde está?

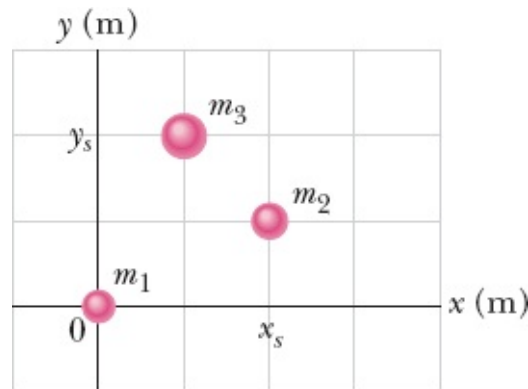


Figura 9-35 Problema 2.

•3 A Fig. 9-36 mostra uma placa de dimensões $d_1 = 11,0$ cm, $d_2 = 2,80$ cm e $d_3 = 13,0$ cm. Metade da placa é feita de alumínio (massa específica = $2,70$ g/cm³) e a outra metade é feita de ferro (massa específica = $7,85$ g/cm³). Determine (a) a coordenada x , (b) a coordenada y e (c) a coordenada z do centro de massa da placa.

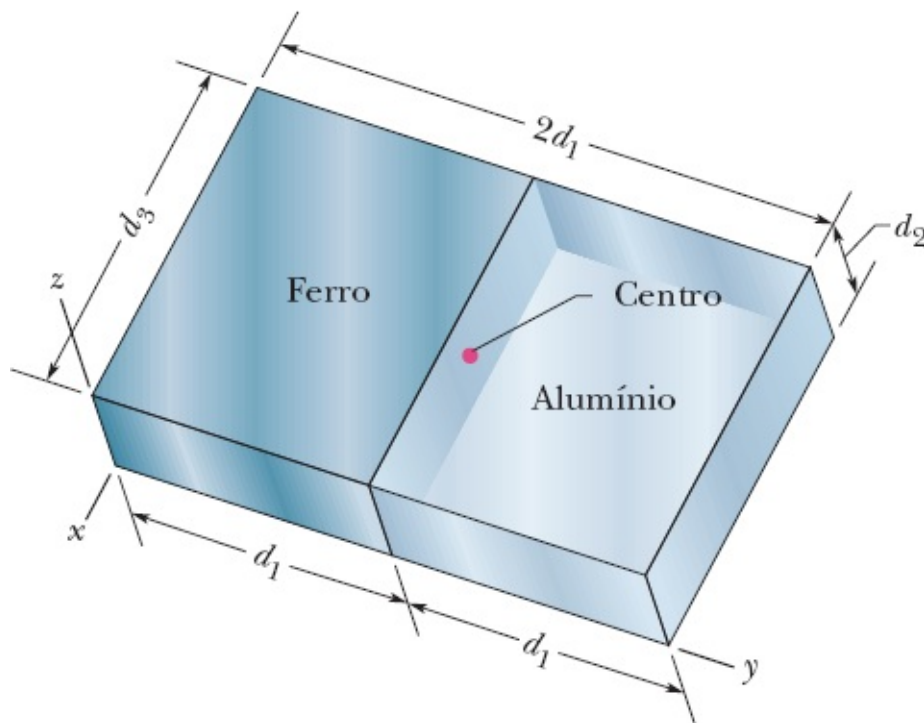


Figura 9-36 Problema 3.

•4 Na Fig. 9-37, três barras finas e uniformes, de comprimento $L = 22$ cm, formam um U invertido. Cada barra vertical tem massa de 14 g; a barra horizontal tem massa de 42 g. Qual é (a) a coordenada x e (b) qual é a coordenada y do centro de massa do sistema?

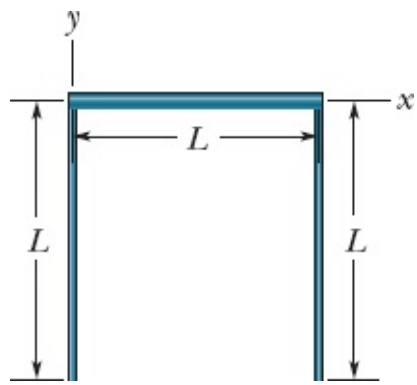


Figura 9-37 Problema 4.

••5 Quais são (a) a coordenada x e (b) a coordenada y do centro de massa da placa homogênea da Fig. 9-38, se $L = 5,0$ cm?

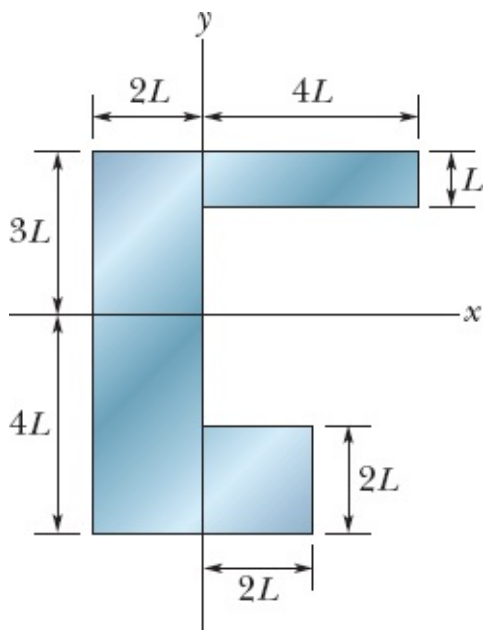


Figura 9-38 Problema 5.

••6 A Fig. 9-39 mostra uma caixa cúbica que foi construída com placas metálicas homogêneas, de espessura desprezível. A caixa não tem tampa e tem uma aresta $L = 40$ cm. Determine (a) a coordenada x , (b) a coordenada y e (c) a coordenada z do centro de massa da caixa.

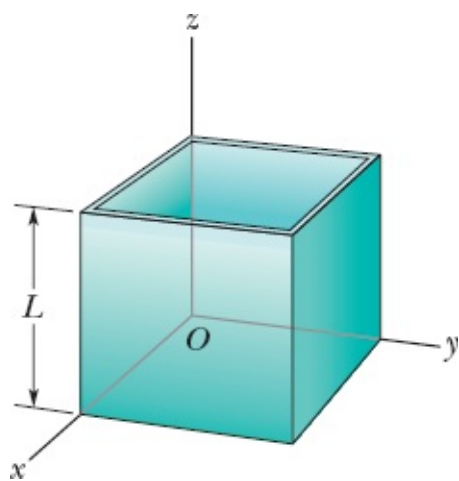


Figura 9-39 Problema 6.

...7 Na molécula de amônia (NH_3) da Fig. 9-40, três átomos de hidrogênio (H) formam um triângulo equilátero, com o centro do triângulo a uma distância $d = 9,40 \times 10^{-11} \text{ m}$ de cada átomo de hidrogênio. O átomo de nitrogênio (N) está no vértice superior de uma pirâmide, com os três átomos de hidrogênio formando a base. A razão entre as massas do nitrogênio e do hidrogênio é 13,9, e a distância nitrogênio-hidrogênio é $L = 10,14 \times 10^{-11} \text{ m}$. (a) Qual é a coordenada (a) x e (b) qual é a coordenada y do centro de massa da molécula?

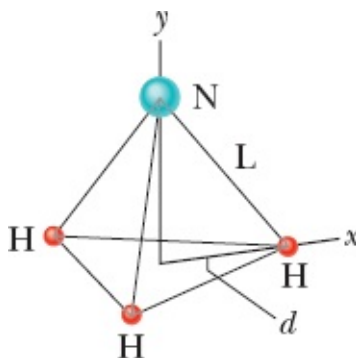


Figura 9-40 Problema 7.

...8 Uma lata homogênea tem massa de 0,140 kg, altura de 12,0 cm e contém 0,354 kg de refrigerante (Fig. 9-41). Pequenos furos são feitos na base e na tampa (com perda de massa desprezível) para drenar o líquido. Qual é a altura h do centro de massa da lata (incluindo o conteúdo) (a) inicialmente e (b) após a lata ficar vazia? (c) O que acontece com h enquanto o refrigerante está sendo drenado? (d) Se x é a altura do refrigerante que ainda resta na lata em um dado instante, determine o valor de x no instante em que o centro de massa atinge o ponto mais baixo.

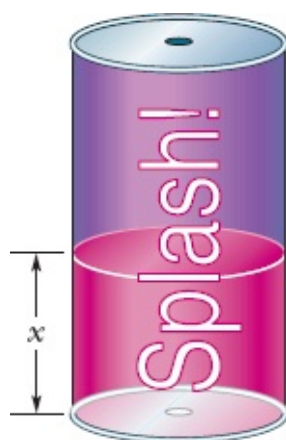


Figura 9-41 Problema 8.

Módulo 9-2 A Segunda Lei de Newton para um Sistema de Partículas

•9 Uma pedra é deixada cair em $t = 0$. Uma segunda pedra, com massa duas vezes maior, é deixada cair do mesmo ponto em $t = 100 \text{ ms}$. (a) A que distância do ponto inicial da queda está o centro de massa das duas pedras em $t = 300 \text{ ms}$? (Suponha que as pedras ainda não chegaram ao solo.) (b) Qual é a velocidade do centro de massa das duas pedras nesse instante?

•10 Um automóvel de 1000 kg está parado em um sinal de trânsito. No instante em que o sinal abre, o automóvel começa a se mover com uma aceleração constante de $4,0 \text{ m/s}^2$. No mesmo instante, um caminhão de 2000 kg, movendo-se no mesmo sentido com velocidade constante de $8,0 \text{ m/s}$, ultrapassa o automóvel. (a) Qual é a distância entre o CM do sistema carro-caminhão e o sinal de trânsito em $t = 3,0 \text{ s}$? (b) Qual é a velocidade do CM nesse instante?

•11 Uma grande azeitona ($m = 0,50 \text{ kg}$) está na origem de um sistema de coordenadas xy , e uma grande castanha-do-pará ($M = 1,5 \text{ kg}$) está no ponto $(1,0; 2,0) \text{ m}$. Em $t = 0$, uma força $\vec{F}_o = (2,0\hat{i} + 3,0\hat{j}) \text{ N}$ começa a agir sobre a azeitona, e uma força $\vec{F}_n = (-3,0\hat{i} - 2,0\hat{j}) \text{ N}$ começa a agir sobre a castanha. Na notação dos vetores unitários, qual é o deslocamento do centro de massa do sistema azeitona-castanha em $t = 4,0 \text{ s}$ em relação à posição em $t = 0$?

•12 Dois patinadores, um de 65 kg e outro de 40 kg, estão em uma pista de gelo e seguram as extremidades de uma vara de 10 m de comprimento e massa desprezível. Os patinadores se puxam ao longo da vara até se encontrarem. Qual é a distância percorrida pelo patinador de 40 kg?

•13 Um canhão dispara um projétil com uma velocidade inicial $\vec{v}_0 = 20 \text{ m/s}$ e um ângulo $\theta_0 = 60^\circ$ com a horizontal. No ponto mais alto da trajetória, o projétil explode em dois fragmentos de massas iguais (Fig. 9-42). Um fragmento, cuja velocidade imediatamente após a colisão é zero, cai verticalmente. A que distância do canhão cai o outro fragmento, supondo que o terreno é plano e que a resistência do ar pode ser desprezada?

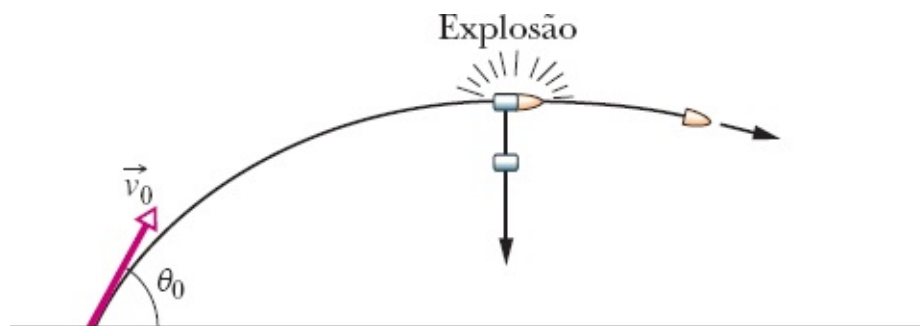


Figura 9-42 Problema 13.

•14 Na Fig. 9-43, duas partículas são lançadas da origem do sistema de coordenadas no instante $t = 0$. A partícula 1, de massa $m_1 = 5,00 \text{ g}$, é lançada horizontalmente para a direita, em um piso sem atrito, com uma velocidade escalar de $10,0 \text{ m/s}$. A partícula 2, de massa $m_2 = 3,00 \text{ g}$, é lançada com uma velocidade escalar de $20,0 \text{ m/s}$ e um ângulo tal que se mantém verticalmente acima da partícula 1. (a) Qual é a altura máxima $H_{\text{máx}}$ alcançada pelo CM do sistema de duas partículas? Na notação dos vetores unitários, (b) qual é a velocidade e (c) qual é a aceleração do CM ao atingir $H_{\text{máx}}$?

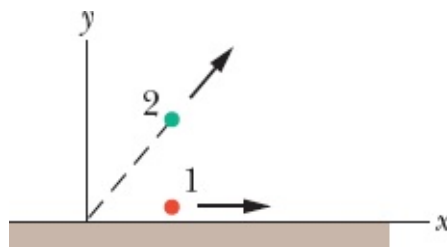


Figura 9-43 Problema 14.

••15 A Fig. 9-44 mostra um arranjo com um trilho de ar no qual um carrinho está preso por uma corda a um bloco pendurado. O carrinho tem massa $m_1 = 0,600$ kg e o centro do carrinho está inicialmente nas coordenadas xy $(-0,500$ m, 0 m); o bloco tem massa $m_2 = 0,400$ kg e o centro do bloco está inicialmente nas coordenadas xy $(0, -0,100$ m). As massas da corda e da polia são desprezíveis. O carrinho é liberado a partir do repouso, e o carrinho e o bloco se movem até que o carrinho atinja a polia. O atrito entre o carrinho e o trilho de ar e o atrito da polia são desprezíveis. (a) Qual é a aceleração do centro de massa do sistema carrinho-bloco na notação dos vetores unitários? (b) Qual é o vetor velocidade do CM em função do tempo t ? (c) Plote a trajetória do CM. (d) Se a trajetória for curva, verifique se ela apresenta um desvio para cima e para a direita, ou para baixo e para a esquerda em relação a uma linha reta; se for retilínea, calcule o ângulo da trajetória com o eixo x .

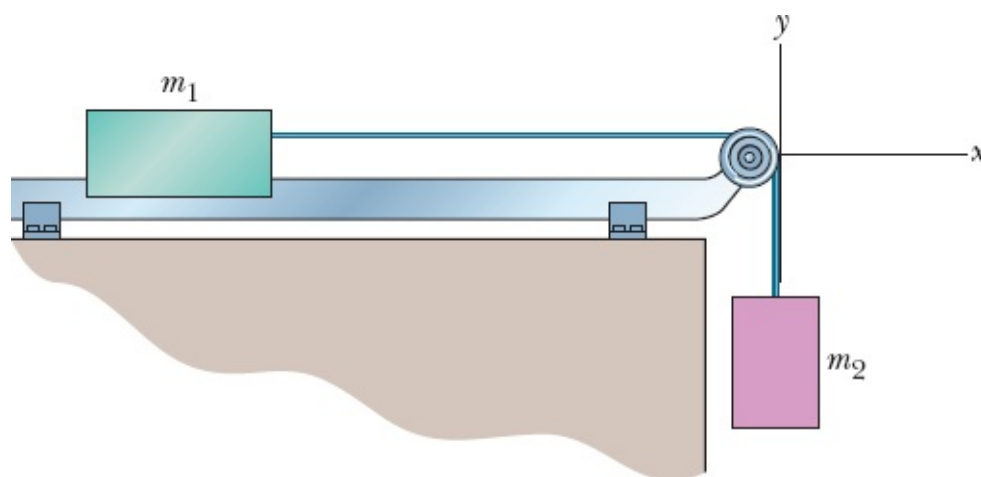


Figura 9-44 Problema 15.

••16 Ricardo, com 80 kg de massa, e Carmelita, que é mais leve, estão apreciando o pôr do sol no Lago Mercedes em uma canoa de 30 kg. Com a canoa imóvel nas águas calmas do lago, o casal troca de lugar. Seus assentos estão separados por uma distância de 3,0 m e simetricamente dispostos em relação ao centro da embarcação. Se, com a troca, a canoa se desloca 40 cm em relação ao atracadouro, qual é a massa de Carmelita?

••17 Na Fig. 9-45a, um cachorro de 4,5 kg está em um barco de 18 kg a uma distância $D = 6,1$ m da margem. O animal caminha 2,4 m ao longo do barco, na direção da margem, e para. Supondo que não há atrito entre o barco e a água, determine a nova distância entre o cão e a margem. (Sugestão: Veja a Fig. 9-45b.)

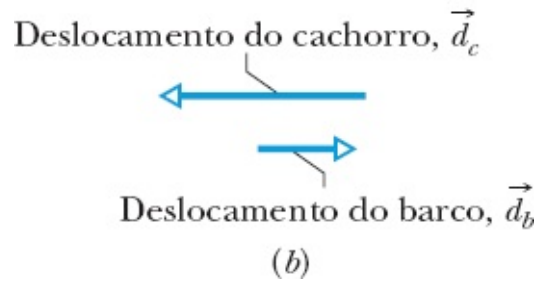
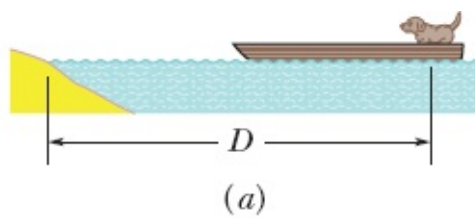


Figura 9-45 Problema 17.

Módulo 9-3 Momento Linear

•18 Uma bola de 0,70 kg está se movendo horizontalmente com uma velocidade de 5,0 m/s quando se choca com uma parede vertical e ricocheteia com uma velocidade de 2,0 m/s. Qual é o módulo da variação do momento linear da bola?

•19 Um caminhão de 2100 kg viajando para o norte a 41 km/h vira para leste e acelera até 51 km/h. (a) Qual é a variação da energia cinética do caminhão? Qual é (b) o módulo e (c) qual é o sentido da variação do momento?

•20 No instante $t = 0$, uma bola é lançada para cima a partir do nível do solo, em terreno plano. A Fig. 9-46 mostra o módulo p do momento linear da bola em função do tempo t após o lançamento ($p_0 = 6,0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ e $p_1 = 4,0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$). Determine o ângulo de lançamento. (Sugestão: Procure uma solução que não envolva a leitura no gráfico do instante em que passa pelo valor mínimo.)

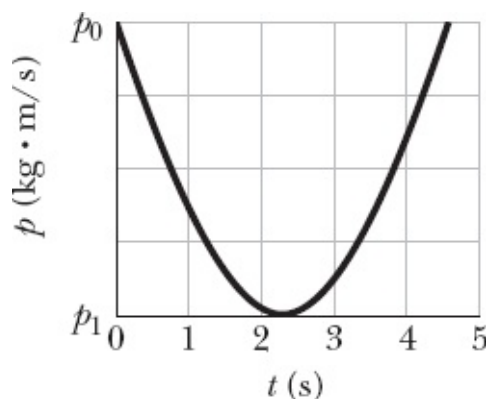


Figura 9-46 Problema 20.

•21 Uma bola de softball de 0,30 kg tem uma velocidade de 15 m/s que faz um ângulo de 35° abaixo da horizontal imediatamente antes de ser golpeada por um taco. Qual é o módulo da variação do momento linear da bola na colisão com o taco se a bola adquire uma velocidade escalar (a) de 20 m/s, verticalmente para baixo; (b) de 20 m/s, horizontalmente na direção do lançador?

••22 A Fig. 9-47 mostra uma vista superior da trajetória de uma bola de sinuca de 0,165 kg que se choca com uma das tabelas. A velocidade escalar da bola antes do choque é 2,00 m/s e o ângulo θ_1 é $30,0^\circ$. O choque inverte a componente y da velocidade da bola, mas não altera a componente x . Determine (a) o ângulo θ_2 e (b) a variação do momento linear da bola em termos dos vetores unitários. (O fato de que a bola está rolando é irrelevante para a solução do problema.)

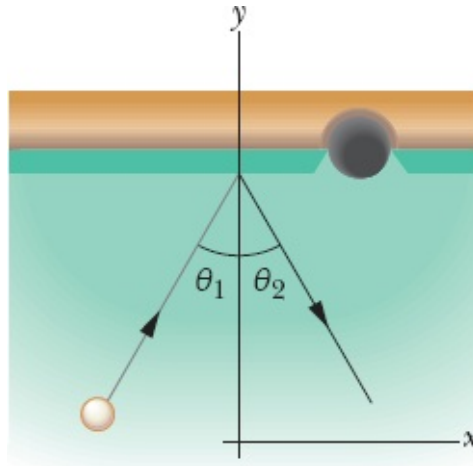



Figura 9-47 Problema 22.


Módulo 9-4 Colisão e Impulso

•23  Com mais de 70 anos de idade, Henri LaMothe (Fig. 9-48) assombrava os espectadores mergulhando, de barriga, de uma altura de 12 m em um tanque de água com 30 cm de profundidade. Supondo que o corpo do mergulhador parava de descer quando estava prestes a chegar ao fundo do tanque e estimando a massa do mergulhador, calcule o módulo do impulso que a água exercia sobre Henri.



George Long/Getty Images, Inc.


Figura 9-48 Problema 23. Mergulho de barriga em um tanque com 30 cm de água.

•24  Em fevereiro de 1955, um paraquedista saltou de um avião, caiu 370 m sem conseguir abrir o paraquedas e aterrissou em um campo de neve, sofrendo pequenas escoriações. Suponha que a velocidade do paraquedista imediatamente antes do impacto fosse de 56 m/s (velocidade terminal), sua massa (incluindo os equipamentos) fosse de 85 kg e a força da neve sobre o seu corpo tenha atingido o valor (relativamente seguro) de $1,2 \times 10^5$ N. Determine (a) a profundidade da neve mínima para que o paraquedista não sofresse ferimentos graves e (b) o módulo do impulso da neve sobre o paraquedista.

•25 Uma bola de 1,2 kg cai verticalmente em um piso com uma velocidade de 25 m/s e ricocheteia com uma velocidade inicial de 10 m/s. (a) Qual é o impulso recebido pela bola durante o contato com o piso? (b) Se a bola fica em contato com o piso por 0,020 s, qual é a força média exercida pela bola sobre o piso?

•26 Em uma brincadeira comum, mas muito perigosa, alguém puxa uma cadeira quando uma pessoa está prestes a se sentar, fazendo com que a vítima se estatele no chão. Suponha que a vítima tem 70 kg, cai de uma altura de 0,50 m e a colisão com o piso dura 0,082 s. Qual é o módulo (a) do impulso e (b) da força média aplicada pelo piso sobre a pessoa durante a colisão?

•27 Uma força no sentido negativo de um eixo x é aplicada por 27 ms a uma bola de 0,40 kg que estava se movendo a 14 m/s no sentido positivo do eixo. O módulo da força é variável, e o impulso tem um módulo de $32,4 \text{ N} \cdot \text{s}$. (a) Qual é o módulo e (b) qual é o sentido da velocidade da bola imediatamente após a aplicação da força? (c) Qual é a intensidade média da força e (d) qual é a orientação do impulso aplicado à bola?

•28  No taekwon-do, a mão de um atleta atinge o alvo com uma velocidade de 13 m/s e para, após 5,0 ms. Suponha que, durante o choque, a mão é independente do braço e tem massa de 0,70 kg. Determine o módulo (a) do impulso e (b) da força média que a mão exerce sobre o alvo.

•29 Um bandido aponta uma metralhadora para o peito do Super-Homem e dispara 100 balas/min. Suponha que a massa de cada bala é 3 g, a velocidade das balas é 500 m/s e as balas ricocheteiam no peito do super-herói sem perder velocidade. Qual é o módulo da força média que as balas exercem sobre o peito do Super-Homem?

•30 *Duas forças médias.* Uma série de bolas de neve de 0,250 kg é disparada perpendicularmente contra uma parede com uma velocidade de 4,00 m/s. As bolas ficam grudadas na parede. A Fig. 9-49 mostra o módulo F da força sobre a parede em função do tempo t para dois choques consecutivos. Os choques ocorrem a intervalos $\Delta t_r = 50,0 \text{ ms}$, duram um intervalo de tempo $\Delta t_d = 10 \text{ ms}$ e produzem no gráfico triângulos isósceles, com cada choque resultando em uma força máxima $F_{\text{máx}} = 200 \text{ N}$. Para cada choque, qual é o módulo (a) do impulso e (b) da força média aplicada à parede? (c) Em um intervalo de tempo correspondente a muitos choques, qual é o módulo da força média exercida sobre a parede?

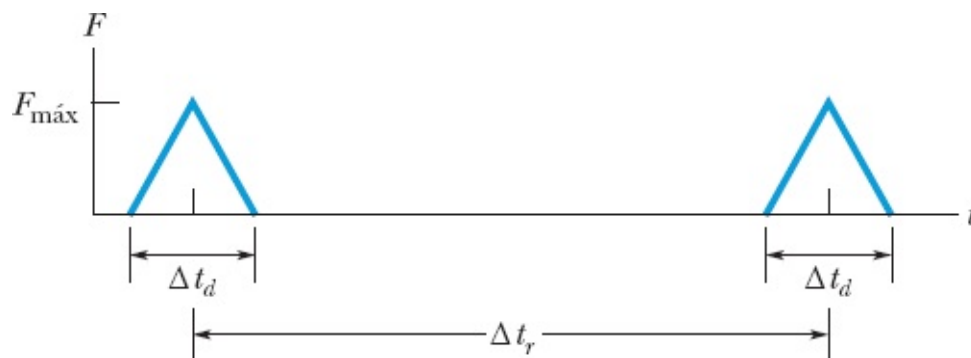



Figura 9-49 Problema 30.

•31  *Pulando antes do choque.* Quando o cabo de sustentação arrebenta e o sistema de segurança falha, um elevador cai, em queda livre, de uma altura de 36 m. Durante a colisão no fundo do poço do elevador, a velocidade de um passageiro de 90 kg se anula em 5,0 ms. (Suponha que não há ricochete nem do passageiro nem do elevador.) Qual é o módulo (a) do impulso e (b) da força média experimentada pelo passageiro durante a colisão? Se o passageiro pula verticalmente para cima com uma

velocidade de 7,0 m/s em relação ao piso do elevador quando este está prestes a se chocar com o fundo do poço, qual é o módulo (c) do impulso e (d) da força média (supondo que o tempo que o passageiro leva para parar permanece o mesmo)?

••32 Um carro de brinquedo de 5,0 kg pode se mover ao longo de um eixo x ; a Fig. 9-50 mostra a componente F_x da força que age sobre o carro, que parte do repouso no instante $t = 0$. A escala do eixo x é definida por $F_{xs} = 5,0$ N. Na notação dos vetores unitários, determine (a) \vec{P} em $t = 4,0$ s; (b) \vec{P} em $t = 7,0$ s; (c) \vec{v} em $t = 9,0$ s.

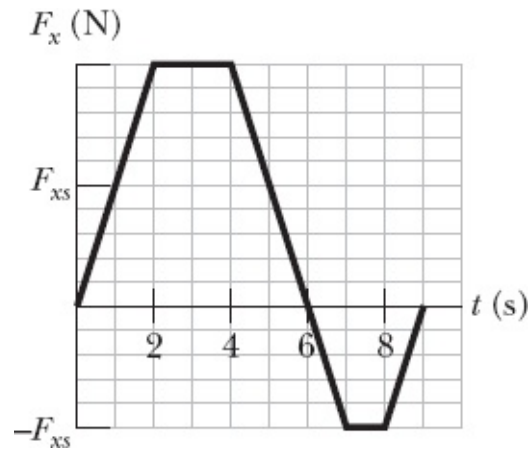


Figura 9-50 Problema 32.

••33 A Fig. 9-51 mostra uma bola de beisebol de 0,300 kg imediatamente antes e imediatamente depois de colidir com um taco. Imediatamente antes, a bola tem uma velocidade \vec{v}_1 de módulo 12,0 m/s e ângulo $\theta_1 = 35^\circ$. Imediatamente depois, a bola se move para cima na vertical com uma velocidade \vec{v}_2 de módulo 10,0 m/s. A duração da colisão é de 2,00 ms. (a) Qual é o módulo e (b) qual é a orientação (em relação ao semieixo x positivo) do impulso do taco sobre a bola? (c) Qual é o módulo e (d) qual é o sentido da força média que o taco exerce sobre a bola?

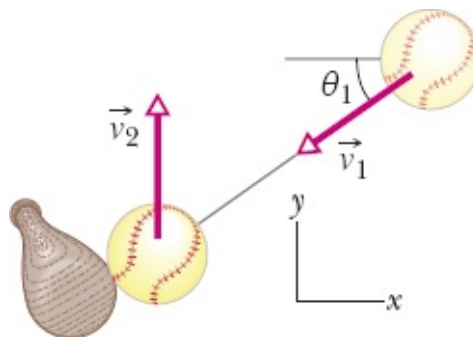



Figura 9-51 Problema 33.

••34  O lagarto basilisco é capaz de correr na superfície da água (Fig. 9-52). A cada passo, o lagarto bate na água com a pata e a mergulha tão depressa que uma cavidade de ar se forma acima da pata. Para não ter que puxá-la de volta sob a ação da força de arrasto da água, o lagarto levanta a pata, antes que a água penetre na cavidade de ar. Para que o lagarto não afunde, o impulso médio para cima exercido durante a manobra de bater na água com a pata, afundá-la e recolhê-la deve ser igual ao impulso

para baixo exercido pela força gravitacional. Suponha que a massa de um lagarto basilisco é 90,0 g, a massa de cada pata é 3,00 g, a velocidade de uma pata ao bater na água é 1,50 m/s e a duração de um passo é 0,600 s. (a) Qual é o módulo do impulso que a água exerce sobre o lagarto quando o animal bate com a pata na água? (Suponha que o impulso está orientado verticalmente para cima.) (b) Durante o intervalo de 0,600 s que o lagarto leva para dar um passo, qual é o impulso para baixo sobre o lagarto devido à força gravitacional? (c) O principal movimento responsável pela sustentação do lagarto é o de bater a pata na água, o de afundar a pata na água, ou ambos contribuem igualmente?



Stephen Dalton/Photo Researchers, Inc.

Figura 9-52 Problema 34. Um lagarto correndo na água.

••35 A Fig. 9-53 mostra um gráfico aproximado do módulo da força F em função do tempo t para a colisão de uma Superbola de 58 g com uma parede. A velocidade inicial da bola é 34 m/s, perpendicular à parede; a bola ricocheteia praticamente com a mesma velocidade escalar, também perpendicular à parede. Quanto vale $F_{\text{máx}}$, o módulo máximo da força exercida pela parede sobre a bola durante a colisão?

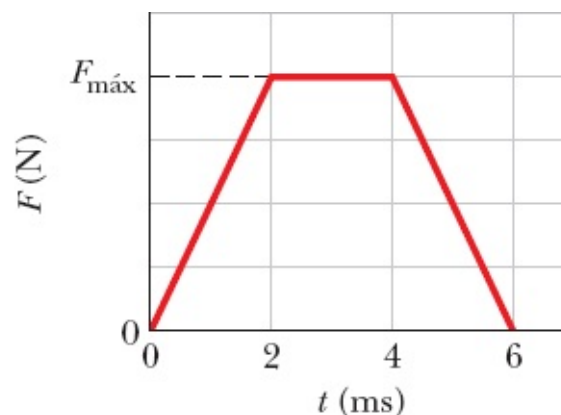


Figura 9-53 Problema 35.

••36 Um disco de metal de 0,25 kg está inicialmente em repouso em uma superfície de gelo, de atrito desprezível. No instante $t = 0$, uma força horizontal começa a agir sobre o disco. A força é dada por $\vec{F} = (12,0 - 3,00t^2)\hat{i}$ com \vec{F} em newtons e t em segundos, e age até que o módulo se anule. (a) Qual é o módulo do impulso da força sobre o disco entre $t = 0,500$ s e $t = 1,25$ s? (b) Qual é a variação do momento do disco entre $t = 0$ e o instante em que $F = 0$?

••37 Um jogador de futebol chuta uma bola, de massa 0,45 kg, que está inicialmente em repouso. O pé do jogador fica em contato com a bola por $3,0 \times 10^{-3}$ s e a força do chute é dada por

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

para $0 \leq t \leq 3,0 \times 10^{-3}$ s, em que t está em segundos. Determine o módulo (a) do impulso sobre a bola devido ao chute, (b) da força média exercida pelo pé do jogador sobre a bola durante o contato, (c) da força máxima exercida pelo pé do jogador sobre a bola durante o contato e (d) da velocidade da bola imediatamente após perder o contato com o pé do jogador.

••38 Na vista superior da Fig. 9-54, uma bola de 300 g com uma velocidade escalar v de 6,0 m/s se choca com uma parede com um ângulo θ de 30° e ricocheteia com a mesma velocidade escalar e o mesmo ângulo. A bola permanece em contato com a parede por 10 ms. Na notação dos vetores unitários, qual é (a) o impulso da parede sobre a bola e (b) qual é a força média da bola sobre a parede?

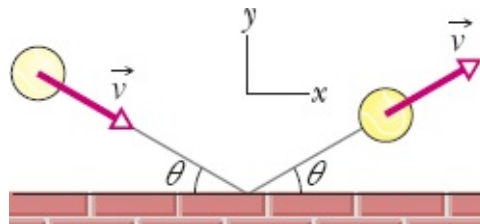


Figura 9-54 Problema 38.

Módulo 9-5 Conservação do Momento Linear

•39 Um homem de 91 kg em repouso em uma superfície horizontal, de atrito desprezível, arremessa uma pedra de 68 g com uma velocidade horizontal de 4,0 m/s. Qual é a velocidade do homem após o arremesso?

•40 Uma nave espacial está se movendo a 4300 km/h em relação à Terra quando, após ter queimado todo o combustível, o motor do foguete (de massa $4m$) é desacoplado e ejetado para trás com uma velocidade de 82 km/h em relação ao módulo de comando (de massa m). Qual é a velocidade do módulo de comando em relação à Terra imediatamente após a separação?

••41 A Fig. 9-55 mostra um “foguete” de duas pontas que está inicialmente em repouso em uma superfície sem atrito, com o centro na origem de um eixo x . O foguete é formado por um bloco central C (de massa $M = 6,00$ kg) e dois blocos E e D (de massa $m = 2,00$ kg cada um) dos lados esquerdo e direito. Pequenas explosões podem arremessar esses blocos para longe do bloco C , ao longo do eixo x . Considere a seguinte sequência: (1) No instante $t = 0$, o bloco E é arremessado para a esquerda com uma

velocidade de $3,00 \text{ m/s}$ em relação à velocidade que a explosão imprime ao resto do foguete. (2) No instante $t = 0,80 \text{ s}$, o bloco D é arremessado para a direita com uma velocidade de $3,00 \text{ m/s}$ em relação à velocidade do bloco C nesse momento. (a) Qual é, no instante $t = 2,80 \text{ s}$, a velocidade do bloco C e (b) qual é a posição do centro do bloco C ?

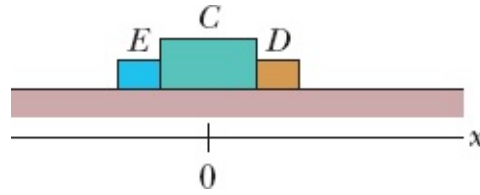



Figura 9-55 Problema 41.

••42 Um objeto, de massa m e velocidade v em relação a um observador, explode em dois pedaços, um com massa três vezes maior que o outro; a explosão ocorre no espaço sideral. O pedaço de menor massa fica em repouso em relação ao observador. Qual é o aumento da energia cinética do sistema causado pela explosão, no referencial do observador?

••43  Na Olimpíada de 708 a.C., alguns atletas disputaram a prova de salto em distância segurando pesos chamados *halteres* para melhorar o desempenho (Fig. 9-56). Os pesos eram colocados à frente do corpo antes de iniciar o salto e arremessados para trás durante o salto. Suponha que um atleta moderno, de 78 kg , use dois halteres de $5,50 \text{ kg}$, arremessando-os horizontalmente para trás ao atingir a altura máxima, de tal forma que a velocidade horizontal dos pesos em relação ao chão seja zero. Suponha que a velocidade inicial do atleta seja $\vec{v} = (9,5\hat{i} + 4,0\hat{j}) \text{ m/s}$ com ou sem os halteres e que o terreno seja plano. Qual é a diferença entre as distâncias que o atleta consegue saltar com e sem os halteres?



Réunion des Musées Nationaux/Art Resource

Figura 9-56 Problema 43.

••44 Na Fig. 9-57, um bloco inicialmente em repouso explode em dois pedaços, E e D , que deslizam em um piso em um trecho sem atrito e depois entram em regiões com atrito, onde acabam parando. O pedaço E , com massa de $2,0 \text{ kg}$, encontra um coeficiente de atrito cinético $\mu_E = 0,40$ e chega ao repouso depois de percorrer uma distância $d_E = 0,15 \text{ m}$. O pedaço D encontra um coeficiente de atrito cinético $\mu_D = 0,50$ e chega ao repouso depois de percorrer uma distância $d_D = 0,25 \text{ m}$. Qual era a massa do bloco?

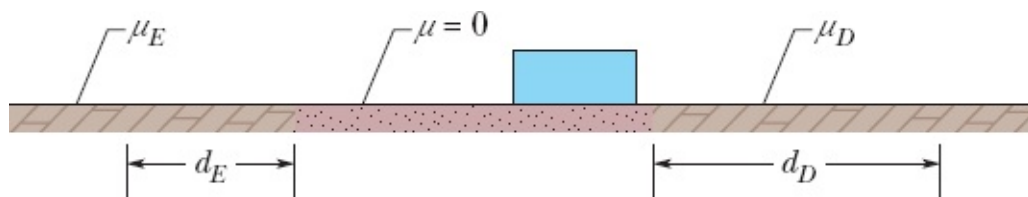


Figura 9-57 Problema 44.

••45 Um corpo de 20,0 kg está se movendo no sentido positivo de um eixo x a uma velocidade de 200 m/s quando, devido a uma explosão interna, se quebra em três pedaços. Um dos pedaços, com massa de 10,0 kg, se afasta do ponto da explosão a uma velocidade de 100 m/s no sentido positivo do eixo y . Um segundo pedaço, com massa de 4,00 kg, se move no sentido negativo do eixo x a uma velocidade de 500 m/s. (a) Na notação dos vetores unitários, qual é a velocidade da terceira parte? (b) Qual é a energia liberada na explosão? Ignore os efeitos da força gravitacional.

••46 Uma marmita de 4 kg que está deslizando em uma superfície sem atrito explode em dois fragmentos de 2,0 kg, um que se move para o norte a 3,0 m/s e outro que se move em uma direção 30° ao norte do leste a 5,0 m/s. Qual era a velocidade escalar da marmita antes da explosão?

••47 Uma taça em repouso na origem de um sistema de coordenadas xy explode em três pedaços. Logo depois da explosão, um dos pedaços, de massa m , está se movendo com velocidade $(-30 \text{ m/s})\hat{i}$ e um segundo pedaço, também de massa m , está se movendo com velocidade $(-30 \text{ m/s})\hat{j}$. O terceiro pedaço tem massa $3m$. Determine (a) o módulo e (b) a orientação da velocidade do terceiro pedaço logo após a explosão.

•••48 Uma partícula A e uma partícula B são empurradas uma contra a outra, comprimindo uma mola colocada entre as duas. Quando as partículas são liberadas, a mola as arremessa em sentidos opostos. A massa de A é 2,00 vezes a massa de B e a energia armazenada na mola era 60 J. Suponha que a mola tem massa desprezível e que toda a energia armazenada é transferida para as partículas. Depois de terminada a transferência, qual é a energia cinética (a) da partícula A e (b) da partícula B ?

Módulo 9-6 Momento e Energia Cinética em Colisões

•49 Uma bala com 10 g de massa se choca com um pêndulo balístico com 2,00 kg de massa. O centro de massa do pêndulo sobe uma distância vertical de 12 cm. Supondo que a bala fica alojada no pêndulo, calcule a velocidade inicial da bala.

•50 Uma bala de 5,20 g que se move a 672 m/s atinge um bloco de madeira de 700 g inicialmente em repouso em uma superfície sem atrito. A bala atravessa o bloco e sai do outro lado com a velocidade reduzida para 428 m/s. (a) Qual é a velocidade final do bloco? (b) Qual é a velocidade do centro de massa do sistema bala-bloco?

••51 Na Fig. 9-58a, uma bala de 3,50 g é disparada horizontalmente contra dois blocos inicialmente em repouso em uma mesa sem atrito. A bala atravessa o bloco 1 (com 1,20 kg de massa) e fica alojada no bloco 2 (com 1,80 kg de massa). A velocidade final do bloco 1 é $v_1 = 0,630 \text{ m/s}$, e a do bloco 2 é $v_2 = 1,40 \text{ m/s}$ (Fig. 9-58b). Desprezando o material removido do bloco 1 pela bala, calcule a velocidade da

bala (a) ao sair do bloco 1 e (b) ao entrar no bloco 1.

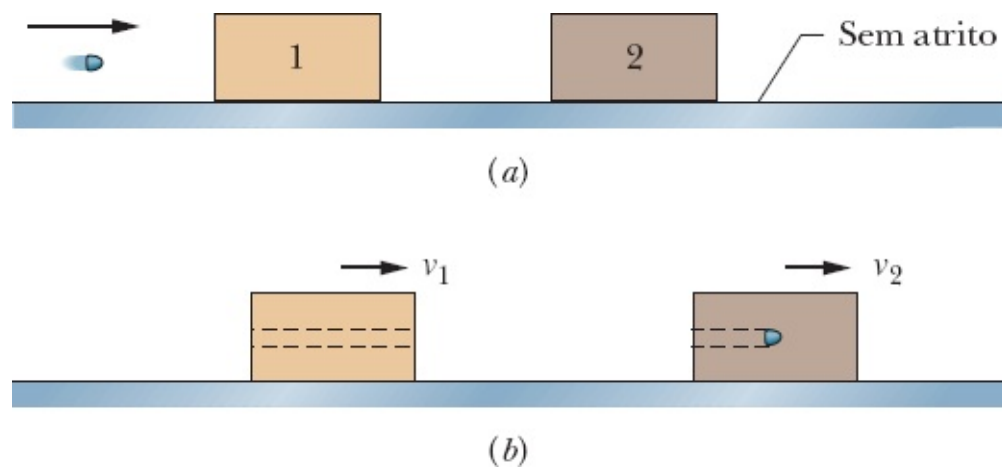


Figura 9-58 Problema 51.

••52 Na Fig. 9-59, uma bala de 10 g que se move verticalmente para cima a 1000 m/s se choca com um bloco de 5,0 kg inicialmente em repouso, passa pelo centro de massa do bloco e sai do outro lado com uma velocidade de 400 m/s. Qual é a altura máxima atingida pelo bloco em relação à posição inicial?

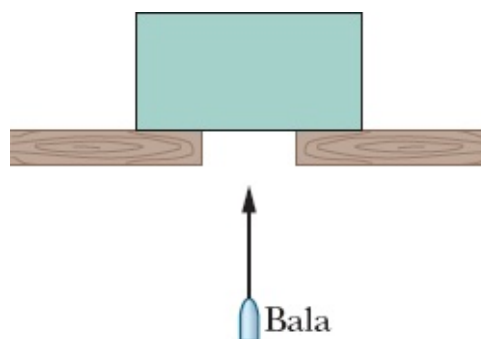


Figura 9-59 Problema 52.

••53 Em Anchorage, as colisões de um veículo com um alce são tão comuns que receberam o apelido de CVA. Suponha que um carro de 1000 kg derrapa até atropelar um alce estacionário de 500 kg em uma estrada muito escorregadia, com o animal atravessando o para-brisa (o que acontece muitas vezes nesse tipo de atropelamento). (a) Que porcentagem da energia cinética do carro é transformada, pela colisão, em outras formas de energia? Acidentes semelhantes acontecem na Arábia Saudita, nas chamadas CVC (colisões entre um veículo e um camelo). (b) Que porcentagem da energia cinética do carro é perdida se a massa do camelo é 300 kg? (c) No caso geral, a perda percentual aumenta ou diminui quando a massa do animal diminui?

••54 Uma colisão frontal perfeitamente inelástica ocorre entre duas bolas de massa de modelar que se movem ao longo de um eixo vertical. Imediatamente antes da colisão, uma das bolas, de massa 3,0 kg, está se movendo para cima a 20 m/s e a outra bola, de massa 2,0 kg, está se movendo para baixo a 12 m/s. Qual é a altura máxima atingida pelas duas bolas unidas acima do ponto de colisão? (Despreze a resistência do ar.)

••55 Um bloco de 5,0 kg com uma velocidade escalar de 3,0 m/s colide com um bloco de 10 kg com uma velocidade escalar de 2,00 m/s que se move na mesma direção e sentido. Após a colisão, o bloco de 10 kg passa a se mover no mesmo sentido com uma velocidade de 2,5 m/s. (a) Qual é a velocidade do bloco de 5,0 kg imediatamente após a colisão? (b) De quanto varia a energia cinética total do sistema dos dois blocos por causa da colisão? (c) Suponha que a velocidade do bloco de 10 kg após o choque é 4,0 m/s. Qual é, nesse caso, a variação da energia cinética total? (d) Explique o resultado do item (c).

••56 Na situação “antes” da Fig. 9-60, o carro A (com massa de 1100 kg) está parado em um sinal de trânsito quando é atingido na traseira pelo carro B (com massa de 1400 kg). Os dois carros derrapam com as rodas bloqueadas até que a força de atrito com o asfalto molhado (com um coeficiente de atrito μ_k de 0,13) os leva ao repouso depois de percorrerem distâncias $d_A = 8,2$ m e $d_B = 6,1$ m. Qual é a velocidade escalar (a) do carro A e (b) do carro B no início da derrapagem, logo após a colisão? (c) Supondo que o momento linear é conservado na colisão, determine a velocidade escalar do carro B pouco antes da colisão. (d) Explique por que essa suposição pode não ser realista.

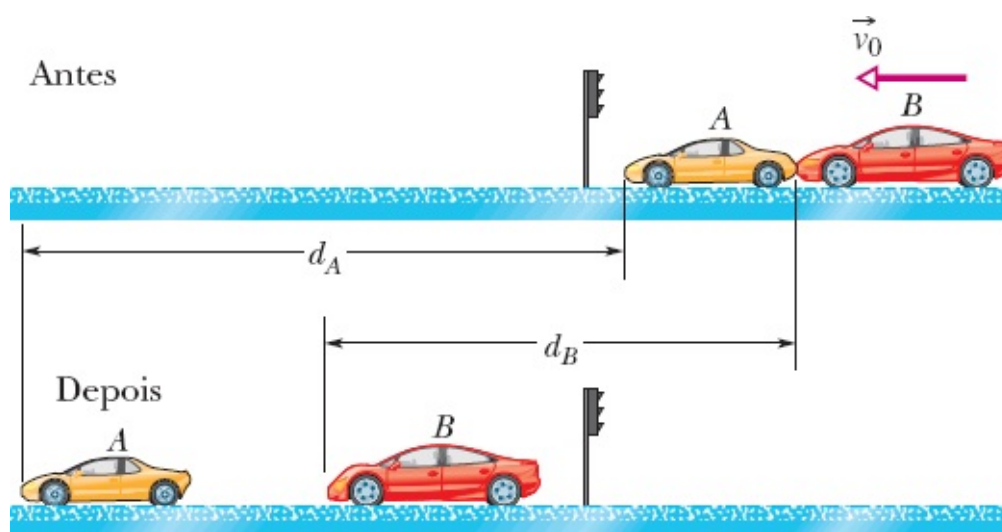


Figura 9-60 Problema 56.

••57 Na Fig. 9-61, uma bola de massa $m = 60$ g é disparada com velocidade $v_i = 22$ m/s para dentro do cano de um canhão de massa $M = 240$ g inicialmente em repouso em uma superfície sem atrito. A bola fica presa no cano do canhão no ponto de máxima compressão da mola. Suponha que o aumento da energia térmica devido ao atrito da bola com o cano seja desprezível. (a) Qual é a velocidade escalar do canhão depois que a bola para dentro do cano? (b) Que fração da energia cinética inicial da bola fica armazenada na mola?



Figura 9-61 Problema 57.

••58 Na Fig. 9-62, o bloco 2 (com massa de 1,0 kg) está em repouso em uma superfície sem atrito e em

contato com uma das extremidades de uma mola relaxada de constante elástica 200 N/m. A outra extremidade da mola está presa em uma parede. O bloco 1 (com massa de 2,0 kg), que se move a uma velocidade $v_1 = 4,0$ m/s, colide com o bloco 2, e os dois blocos permanecem juntos. Qual é a compressão da mola no instante em que os blocos param momentaneamente?

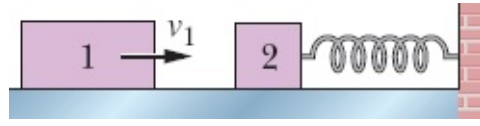


Figura 9-62 Problema 58.

...59 Na Fig. 9-63, o bloco 1 (com massa de 2,0 kg) está se movendo para a direita com uma velocidade escalar de 10 m/s e o bloco 2 (com massa de 5,0 kg) está se movendo para a direita com uma velocidade escalar de 3,0 m/s. A superfície não tem atrito, e uma mola com uma constante elástica de 1120 N/m está presa no bloco 2. Quando os blocos colidem, a compressão da mola é máxima no instante em que os blocos têm a mesma velocidade. Determine a máxima compressão da mola.

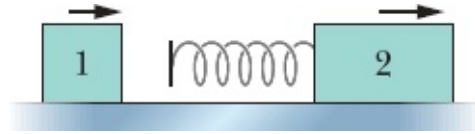


Figura 9-63 Problema 59.

Módulo 9-7 Colisões Elásticas em Uma Dimensão

•60 Na Fig. 9-64, o bloco A (com massa de 1,6 kg) desliza em direção ao bloco B (com massa de 2,4 kg) ao longo de uma superfície sem atrito. Os sentidos de três velocidades antes (*i*) e depois (*f*) da colisão estão indicados; as velocidades escalares correspondentes são $v_{Ai} = 5,5$ m/s, $v_{Bi} = 2,5$ m/s e $v_{Bf} = 4,9$ m/s. Determine (a) o módulo e (b) o sentido (para a esquerda ou para a direita) da velocidade \vec{v}_{Af} . (c) A colisão é elástica?

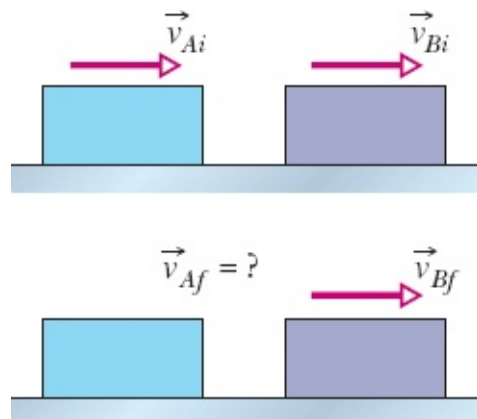


Figura 9-64 Problema 60.

•61 Um carrinho de massa com 340 g de massa, que se move em uma pista de ar sem atrito com uma velocidade inicial de 1,2 m/s, sofre uma colisão elástica com um carrinho inicialmente em repouso, de massa desconhecida. Após a colisão, o primeiro carrinho continua a se mover na mesma direção e

sentido com uma velocidade escalar de $0,66 \text{ m/s}$. (a) Qual é a massa do segundo carrinho? (b) Qual é a velocidade do segundo carrinho após a colisão? (c) Qual é a velocidade do centro de massa do sistema dos dois carrinhos?

••62 Duas esferas de titânio se aproximam com a mesma velocidade escalar e sofrem uma colisão elástica frontal. Após a colisão, uma das esferas, cuja massa é 300 g , permanece em repouso. (a) Qual é a massa da outra esfera? (b) Qual é a velocidade do centro de massa das duas esferas se a velocidade escalar inicial de cada esfera é de $2,00 \text{ m/s}$?

••63 O bloco 1, de massa m_1 , desliza em um piso sem atrito e sofre uma colisão elástica unidimensional com o bloco 2, de massa $m_2 = 3m_1$. Antes da colisão, o centro de massa do sistema de dois blocos tinha uma velocidade de $3,00 \text{ m/s}$. Depois da colisão, qual é a velocidade (a) do centro de massa e (b) do bloco 2?

••64 Uma bola de aço, de massa $0,500 \text{ kg}$, está presa em uma extremidade de uma corda de $70,0 \text{ cm}$ de comprimento. A outra extremidade está fixa. A bola é liberada quando a corda está na horizontal (Fig. 9-65). Na parte mais baixa da trajetória, a bola se choca com um bloco de metal de $2,50 \text{ kg}$ inicialmente em repouso em uma superfície sem atrito. A colisão é elástica. Determine (a) a velocidade escalar da bola e (b) a velocidade escalar do bloco, ambas imediatamente após a colisão.

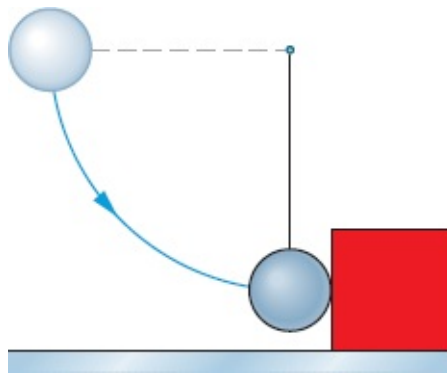


Figura 9-65 Problema 64.

••65 Um corpo com $2,0 \text{ kg}$ de massa sofre uma colisão elástica com um corpo em repouso e continua a se mover na mesma direção e sentido, com um quarto da velocidade inicial. (a) Qual é a massa do outro corpo? (b) Qual é a velocidade do centro de massa dos dois corpos, se a velocidade inicial do corpo de $2,0 \text{ kg}$ era de $4,0 \text{ m/s}$?

••66 O bloco 1, de massa m_1 e velocidade $4,0 \text{ m/s}$, que desliza ao longo de um eixo x em um piso sem atrito, sofre uma colisão elástica com o bloco 2, de massa $m_2 = 0,40m_1$, inicialmente em repouso. Os dois blocos deslizam para uma região onde o coeficiente de atrito cinético é $0,50$ e acabam parando. Que distância dentro dessa região é percorrida (a) pelo bloco 1 e (b) pelo bloco 2?

••67 Na Fig. 9-66, a partícula 1, de massa $m_1 = 0,30 \text{ kg}$, desliza para a direita ao longo de um eixo x em um piso sem atrito com uma velocidade escalar de $2,0 \text{ m/s}$. Quando chega ao ponto $x = 0$, sofre uma colisão elástica unidimensional com a partícula 2 de massa $m_2 = 0,40 \text{ kg}$, inicialmente em repouso.

Quando a partícula 2 se choca com uma parede no ponto $x_p = 70$ cm, ricocheteia sem perder velocidade escalar. Em que ponto do eixo x a partícula 2 volta a colidir com a partícula 1?

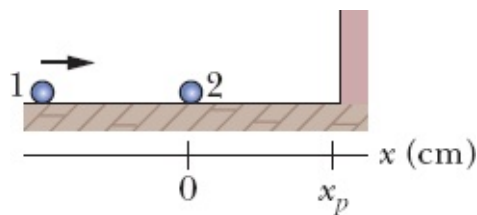


Figura 9-66 Problema 65.

••68 Na Fig. 9-67, o bloco 1, de massa m_1 , desliza a partir do repouso em uma rampa sem atrito a partir de uma altura $h = 2,50$ m e colide com o bloco 2, de massa $m_2 = 2,00m_1$, inicialmente em repouso. Após a colisão, o bloco 2 desliza em uma região onde o coeficiente de atrito cinético μ_k é 0,500 e para, depois de percorrer uma distância d nessa região. Qual é o valor da distância d se a colisão for (a) elástica e (b) perfeitamente inelástica?

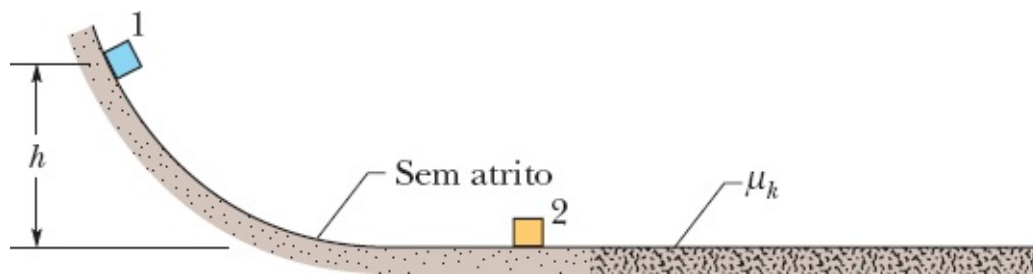



Figura 9-67 Problema 68.

••69  Uma pequena esfera de massa m está verticalmente acima de uma bola maior, de massa $M = 0,63$ kg (com uma pequena separação, como no caso das bolas de beisebol e basquete da Fig. 9-68a), e as duas bolas são deixadas cair simultaneamente de uma altura $h = 1,8$ m. (Suponha que os raios das bolas são desprezíveis em comparação com h .) (a) Se a bola maior ricocheteia elasticamente no chão e depois a bola menor ricocheteia elasticamente na maior, que valor de m faz com que a bola maior pare momentaneamente no instante em que colide com a menor? (b) Nesse caso, que altura atinge a bola menor (Fig. 9-68b)?

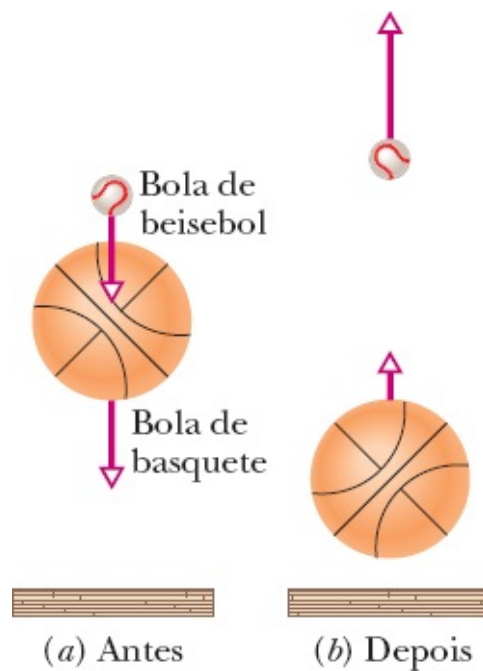


Figura 9-68 Problema 69.

...70 Na Fig. 9-69, o disco 1, de massa $m_1 = 0,20 \text{ kg}$, desliza sem atrito em uma bancada de laboratório até sofrer uma colisão elástica unidimensional com o disco 2, inicialmente em repouso. O disco 2 é arremessado para fora da bancada e vai cair a uma distância d da base da bancada. A colisão faz o disco 1 inverter o movimento e ser arremessado para fora da outra extremidade da bancada, indo cair a uma distância $2d$ da base oposta. Qual é a massa do disco 2? (Sugestão: Tome cuidado com os sinais.)

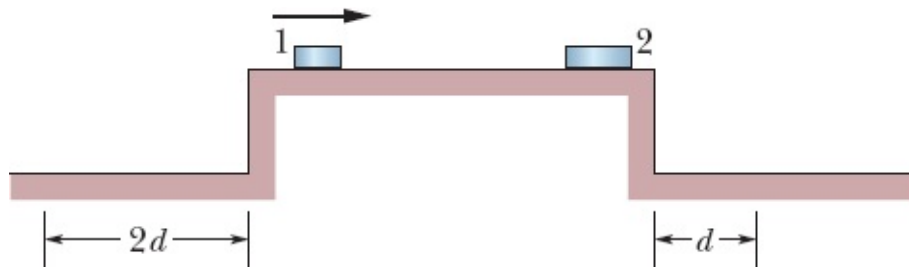


Figura 9-69 Problema 70.

Módulo 9-8 Colisões em Duas Dimensões

...71 Na Fig. 9-21, a partícula 1 é uma partícula alfa e a partícula 2 é um núcleo de oxigênio. A partícula alfa é espalhada de um ângulo $\theta_1 = 64,0^\circ$ e o núcleo de oxigênio recua com uma velocidade escalar de $1,20 \times 10^5 \text{ m/s}$ e um ângulo $\theta_2 = 51,0^\circ$. Em unidades de massa atômica, a massa da partícula alfa é 4,00 u e a massa do núcleo de hidrogênio é 16,0 u. (a) Qual é a velocidade final e (b) inicial da partícula alfa?

...72 A bola B, que se move no sentido positivo de um eixo x com velocidade v , colide com a bola A inicialmente em repouso na origem. A e B têm massas diferentes. Após a colisão, B se move no sentido negativo do eixo y com velocidade escalar $v/2$. (a) Qual é a orientação de A após a colisão? (b) Mostre que a velocidade de A não pode ser determinada a partir das informações dadas.

...73 Após uma colisão perfeitamente inelástica, dois objetos de mesma massa e mesma velocidade escalar inicial deslocam-se juntos com metade da velocidade inicial. Determine o ângulo entre as

velocidades iniciais dos objetos.

•74 Dois corpos de 2,0 kg, A e B , sofrem uma colisão. As velocidades antes da colisão são $\vec{v}_A = (15\hat{i} + 30\hat{j})$ m/s e $\vec{v}_B = (-10\hat{i} + 5,0\hat{j})$ m/s. Após a colisão, $\vec{v}_A' = (-5,0\hat{i} + 20\hat{j})$ m/s. Determine (a) a velocidade final de B e (b) a variação da energia cinética total (incluindo o sinal).

•75 O próton 1, com uma velocidade de 500 m/s, colide elasticamente com o próton 2, inicialmente em repouso. Depois do choque, os dois prótons se movem em trajetórias perpendiculares, com a trajetória do próton 1 fazendo 60° com a direção inicial. Após a colisão, qual é a velocidade escalar (a) do próton 1 e (b) do próton 2?

Módulo 9-9 Sistemas de Massa Variável: Um Foguete

•76 Uma sonda espacial de 6090 kg, movendo-se com o nariz à frente em direção a Júpiter a uma velocidade de 105 m/s em relação ao Sol, aciona o motor, ejetando 80,0 kg de produtos de combustão a uma velocidade de 253 m/s em relação à nave. Qual é a velocidade final da nave?

•77 Na Fig. 9-70, duas longas barcas estão se movendo na mesma direção em águas tranquilas, uma com velocidade escalar de 10 km/h e a outra com velocidade escalar de 20 km/h. Quando estão passando uma pela outra, operários jogam carvão da barcaça mais lenta para a mais rápida a uma taxa de 1000 kg/min. Que força adicional deve ser fornecida pelos motores (a) da barcaça mais rápida e (b) da barcaça mais lenta para que as velocidades não mudem? Suponha que a transferência de carvão é perpendicular à direção do movimento das barcas e que a força de atrito entre as barcas e a água não depende da massa das barcas.

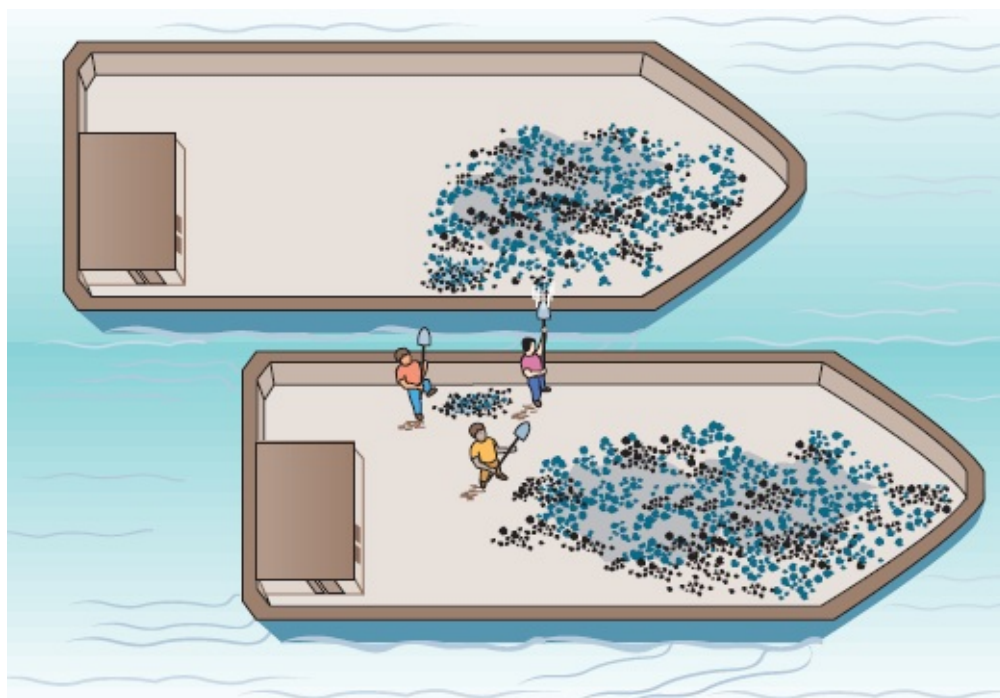


Figura 9-70 Problema 77.

•78 Considere um foguete que está no espaço sideral, em repouso em relação a um referencial inercial. O motor do foguete deve ser acionado por um certo intervalo de tempo. Determine a *razão de massa* do


foguete (razão entre as massas inicial e final) nesse intervalo para que a velocidade original do foguete em relação ao referencial inercial seja igual (a) à velocidade de exaustão (velocidade dos produtos de exaustão em relação ao foguete) e (b) a duas vezes a velocidade de exaustão.

•79 Um foguete que está no espaço sideral, em repouso em relação a um referencial inercial, tem massa de $2,55 \times 10^5$ kg, da qual $1,81 \times 10^5$ kg são de combustível. O motor do foguete é acionado por 250 s, durante os quais o combustível é consumido à taxa de 480 kg/s. A velocidade dos produtos de exaustão em relação ao foguete é 3,27 km/s. (a) Qual é o empuxo do foguete? Após os 250 s de funcionamento do motor, qual é (b) a massa e (c) qual é a velocidade do foguete?

Problemas Adicionais

80 Um objeto é rastreado por uma estação de radar e se verifica que seu vetor posição é dado por $\vec{r} = (3500 - 160t)\hat{i} + 2700\hat{j} + 300\hat{k}$ com \vec{r} em metros e t em segundos. O eixo x da estação de radar aponta para leste, o eixo y para o norte e o eixo z verticalmente para cima. Se o objeto é um foguete meteorológico de 250 kg, determine (a) o momento linear do foguete, (b) a direção do movimento do foguete e (c) a força que age sobre o foguete.

81 O último estágio de um foguete, que está viajando a uma velocidade de 7600 m/s, é composto de duas partes presas por uma trava: um invólucro, com massa de 290,0 kg, e uma cápsula de carga, com massa de 150,0 kg. Quando a trava é aberta, uma mola inicialmente comprimida faz as duas partes se separarem com uma velocidade relativa de 910,0 m/s. Qual é a velocidade (a) do invólucro e (b) da cápsula de carga depois de separados? Suponha que todas as velocidades são ao longo da mesma linha reta. Determine a energia cinética total das duas partes (c) antes e (d) depois de separadas. (e) Explique a diferença.

82  *Desabamento de um edifício.* Na seção reta de um edifício que aparece na Fig. 9-71a, a infraestrutura de um andar qualquer, K , deve ser capaz de sustentar o peso P de todos os andares que estão acima. Normalmente, a infraestrutura é projetada com um fator de segurança s e pode sustentar uma força para baixo $sP > P$. Se, porém, as colunas de sustentação entre K e L cederem bruscamente e permitirem que os andares mais altos caiam em queda livre sobre o andar K (Fig. 9-71b), a força da colisão pode exceder sP e fazer com que, logo depois, o andar K caia sobre o andar J , que cai sobre o andar I , e assim por diante, até o andar térreo. Suponha que a distância entre os andares é $d = 4,0$ m e que todos têm a mesma massa. Suponha também que, quando os andares que estão acima do andar K caem sobre o andar K em queda livre, a colisão leva 1,5 ms. Nessas condições simplificadas, que valor deve ter o coeficiente de segurança s para que o edifício não desabe?

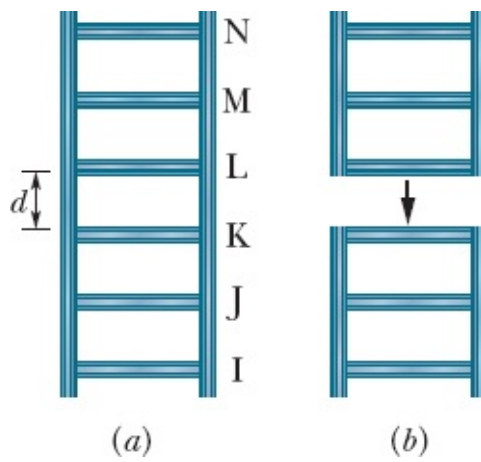


Figura 9-71 Problema 82.

83 “Relativamente” é uma palavra importante. Na Fig. 9-72, o bloco E , de massa $m_E = 1,00$ kg, e o bloco D , de massa $m_D = 0,500$ kg, são mantidos no lugar com uma mola comprimida entre os dois blocos. Quando os blocos são liberados, a mola os impulsiona e os blocos passam a deslizar em um piso sem atrito. (A mola tem massa desprezível e cai no piso depois de impulsionar os blocos.) (a) Se a mola imprime ao bloco E uma velocidade de $1,20$ m/s *relativamente* ao piso, que distância o bloco D percorre em $0,800$ s? (b) Se, em vez disso, a mola imprime ao bloco E uma velocidade de $1,20$ m/s *relativamente* ao bloco D , que distância o bloco D percorre em $0,800$ s?

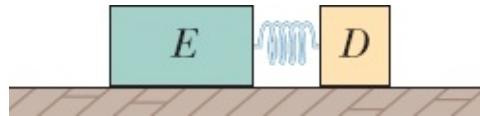


Figura 9-72 Problema 83.

84 A Fig. 9-73 mostra uma vista superior de duas partículas que deslizam com velocidade constante em uma superfície sem atrito. As partículas têm a mesma massa e a mesma velocidade inicial $v = 4,00$ m/s e colidem no ponto em que as trajetórias se interceptam. O eixo x coincide com a bissetriz do ângulo entre as trajetórias incidentes e $\theta = 40,0^\circ$. A região à direita da colisão está dividida em quatro setores (A , B , C e D) pelo eixo x e por quatro retas tracejadas (1, 2, 3 e 4). Em que setor ou ao longo de que reta as partículas viajam se a colisão for (a) perfeitamente inelástica, (b) elástica e (c) inelástica? Quais são as velocidades finais das partículas se a colisão for (d) perfeitamente inelástica e (e) elástica?

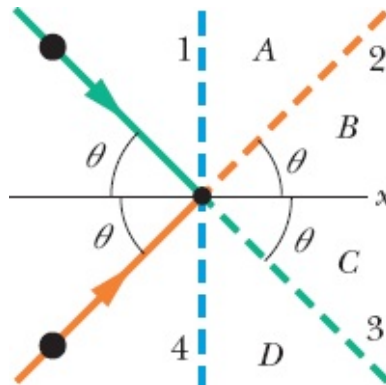



Figura 9-73 Problema 84.

85  } *Redutor de velocidade.* Na Fig. 9-74, o bloco 1, de massa m_1 , desliza ao longo de um eixo x em um piso sem atrito, com uma velocidade de 4,00 m/s, até sofrer uma colisão elástica unidimensional com o bloco 2, de massa $m_2 = 2,00m_1$, inicialmente em repouso. Em seguida, o bloco 2 sofre uma colisão elástica unidimensional com o bloco 3, de massa $m_3 = 2,00m_2$, inicialmente em repouso. (a) Qual é a velocidade final do bloco 3? (b) A velocidade, (c) a energia cinética e (d) o momento do bloco 3 são maiores, menores ou iguais aos valores iniciais do bloco 1?

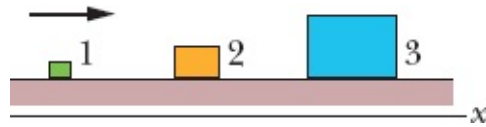



Figura 9-74 Problema 85.

86  } *Amplificador de velocidade.* Na Fig. 9-75, o bloco 1, de massa m_1 , desliza ao longo de um eixo x em um piso sem atrito, com uma velocidade $v_{1i} = 4,00$ m/s, até sofrer uma colisão elástica unidimensional com o bloco 2, de massa $m_2 = 0,500m_1$, inicialmente em repouso. Em seguida, o bloco 2 sofre uma colisão elástica unidimensional com o bloco 3, de massa $m_3 = 0,500m_2$, inicialmente em repouso. (a) Qual é a velocidade do bloco 3 após a colisão? (b) A velocidade, (c) a energia cinética e (d) o momento do bloco 3 são maiores, menores ou iguais aos valores iniciais do bloco 1?

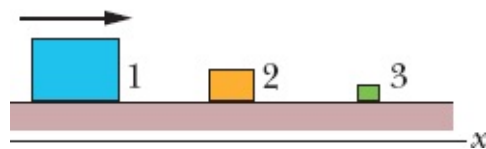


Figura 9-75 Problema 86.

87 Uma bola com uma massa de 150 g se choca com uma parede a uma velocidade de 5,2 m/s e ricocheteia com apenas 50% da energia cinética inicial. (a) Qual é a velocidade escalar da bola imediatamente após o choque? (b) Qual é o módulo do impulso da bola sobre a parede? (c) Se a bola permanece em contato com a parede por 7,6 ms, qual é o módulo da força média que a parede exerce sobre a bola durante esse intervalo de tempo?

88 Uma espaçonave é separada em duas partes pela detonação dos rebites explosivos que as mantêm unidas. As massas das partes são 1200 kg e 1800 kg; o módulo do impulso que a explosão dos rebites exerce sobre cada parte é 300 N·s. Com que velocidade relativa as duas partes se separam?

89 Um carro de 1400 kg está se movendo inicialmente para o norte a 5,3 m/s, no sentido positivo de um eixo y . Depois de fazer uma curva de 90° para a direita em 4,6 s, o motorista, desatento, bate em uma árvore, que para o carro em 350 ms. Na notação dos vetores unitários, qual é o impulso sobre o carro (a) devido à curva e (b) devido à colisão? Qual é o módulo da força média que age sobre o carro (c) durante a curva e (d) durante a colisão? (e) Qual é a direção da força média que age sobre o carro durante a curva?

90 Um certo núcleo radioativo (pai) se transforma em um núcleo diferente (filho) emitindo um elétron e

um neutrino. O núcleo pai estava em repouso na origem de um sistema de coordenadas xy . O elétron se afasta da origem com um momento linear $(-1,2 \times 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{m/s})\hat{i}$; o neutrino se afasta da origem com um momento linear $(-6,4 \times 10^{-23} \text{ kg} \cdot \text{m/s})\hat{j}$. (a) Qual é o módulo e (b) qual a orientação do momento linear do núcleo filho? (c) Se o núcleo filho tem uma massa de $5,8 \times 10^{-26} \text{ kg}$, qual é sua energia cinética?

91 Um homem de 75 kg, que estava em um carrinho de golfe de 39 kg que se movia a uma velocidade de 2,3 m/s, pulou do carrinho com velocidade horizontal nula em relação ao chão. Qual foi a variação da velocidade do carrinho, incluindo o sinal?

92 Dois blocos de massas 1,0 kg e 3,0 kg estão ligados por uma mola e repousam em uma superfície sem atrito. Os blocos começam a se mover um em direção ao outro de modo que o bloco de 1,0 kg viaja inicialmente a 1,7 m/s em direção ao centro de massa, que permanece em repouso. Qual é a velocidade inicial do outro bloco?

93 Uma locomotiva com a massa de $3,18 \times 10^4 \text{ kg}$ colide com um vagão inicialmente em repouso. A locomotiva e o vagão permanecem juntos após a colisão, e 27% da energia cinética inicial é transferida para energia térmica, sons, vibrações etc. Determine a massa do vagão.

94 Um velho Chrysler com 2400 kg de massa, que viaja em uma estrada retilínea a 80 km/h, é seguido por um Ford com 1600 kg de massa a 60 km/h. Qual é a velocidade do centro de massa dos dois carros?

95 No arranjo da Fig. 9-21, a bola de sinuca 1, que se move a 2,2 m/s, sofre uma colisão oblíqua com a bola de sinuca 2, que está inicialmente em repouso. Após a colisão, a bola 2 se move com uma velocidade escalar de 1,1 m/s e com um ângulo $\theta_2 = 60^\circ$. (a) Qual é o módulo e (b) qual a orientação da velocidade da bola 1 após a colisão? (c) Os dados fornecidos mostram que a colisão é elástica ou inelástica?

96 Um foguete está se afastando do sistema solar a uma velocidade de $6,0 \times 10^3 \text{ m/s}$. O motor do foguete é acionado e ejeta produtos de combustão a uma velocidade de $3,0 \times 10^3 \text{ m/s}$ em relação ao foguete. A massa do foguete nesse momento é $4,0 \times 10^4 \text{ kg}$ e a aceleração é $2,0 \text{ m/s}^2$. (a) Qual é o empuxo do motor do foguete? (b) A que taxa, em quilogramas por segundo, os produtos de combustão estão sendo ejetados?

97 As três bolas vistas de cima na Fig. 9-76 são iguais. As bolas 2 e 3 estão se tocando e estão alinhadas perpendicularmente à trajetória da bola 1. A velocidade da bola 1 tem módulo $v_0 = 10 \text{ m/s}$ e está dirigida para o ponto de contato das bolas 2 e 3. Após a colisão, quais são (a) o módulo e (b) a orientação da velocidade da bola 2, (c) o módulo e (d) a orientação da velocidade da bola 3 e (e) o módulo e (f) a orientação da velocidade da bola 1? (*Sugestão:* Na ausência de atrito, cada impulso está dirigido ao longo da reta que liga os centros das bolas envolvidas na colisão e é perpendicular às superfícies que se tocam.)

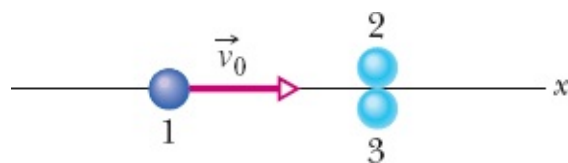


Figura 9-76 Problema 97.

98 Uma bola de 0,15 kg se choca com uma parede a uma velocidade de $(5,00 \text{ m/s})\hat{i} + (6,50 \text{ m/s})\hat{j} + (4,00 \text{ m/s})\hat{k}$ ricocheteia na parede e passa a ter uma velocidade de $(2,00 \text{ m/s})\hat{i} + (3,50 \text{ m/s})\hat{j} + (-3,20 \text{ m/s})\hat{k}$. Determine (a) a variação do momento da bola, (b) o impulso exercido pela parede sobre a bola e (c) o impulso exercido pela bola sobre a parede.

99 Na Fig. 9-77, dois recipientes iguais com determinada quantidade de açúcar estão ligados por uma corda que passa por uma polia sem atrito. A corda e a polia têm massa desprezível, a massa de cada recipiente é de 500 g (incluindo o açúcar), os centros dos recipientes estão separados por uma distância de 50 mm e os recipientes são mantidos à mesma altura. Qual é a distância horizontal entre o centro de massa do recipiente 1 e o centro de massa do sistema de dois recipientes (a) inicialmente e (b) após 20 g de açúcar serem transferidos do recipiente 1 para o recipiente 2? Após a transferência e após os recipientes serem liberados a partir do repouso, (c) em que sentido e (d) com que aceleração o centro de massa se move?



Figura 9-77 Problema 99.

100 Em um jogo de sinuca, a bola branca se choca com outra bola inicialmente em repouso. Após o choque, a bola branca se move com uma velocidade escalar de 3,50 m/s ao longo de uma reta que faz um ângulo de $22,0^\circ$ com a direção do movimento da bola branca antes do choque, e a segunda bola tem uma velocidade escalar de 2,00 m/s. Determine (a) o ângulo entre a direção do movimento da segunda bola e a direção do movimento da bola branca antes do choque e (b) a velocidade escalar da bola branca antes do choque. (c) A energia cinética (dos centros de massa, não considere as rotações) é conservada?

101 Na Fig. 9-78, uma caixa de sapatos de corrida de 3,2 kg desliza em uma mesa horizontal sem atrito e colide com uma caixa de sapatilhas de balé de 2,0 kg inicialmente em repouso na extremidade da mesa, a uma altura $h = 0,40 \text{ m}$ do chão. A velocidade da caixa de 3,2 kg é 3,0 m/s imediatamente antes da colisão. Se as caixas grudam uma na outra por estarem fechadas com fita adesiva, qual é a energia cinética do conjunto imediatamente antes de atingir o chão?

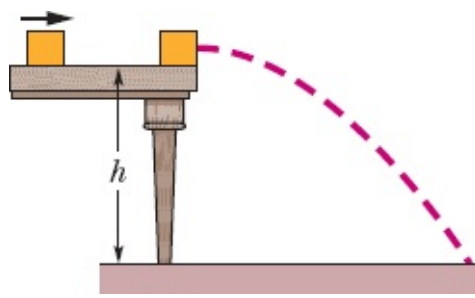


Figura 9-78 Problema 101.

102 Na Fig. 9-79, um homem de 80 kg está em uma escada pendurada em um balão que possui uma massa total de 320 kg (incluindo o passageiro na cesta). O balão está inicialmente em repouso em relação ao solo. Se o homem na escada começa a subir a uma velocidade de 2,5 m/s em relação à escada, (a) em que sentido e (b) com que velocidade o balão se move? (c) Qual é a velocidade do balão quando o homem completa a subida e entra na cesta?



Figura 9-79 Problema 102.

103 Na Fig. 9-80, o bloco 1, de massa $m_1 = 6,6 \text{ kg}$, está em repouso em uma mesa sem atrito que está encostada em uma parede. O bloco 2, de massa m_2 , está posicionado entre o bloco 1 e a parede e desliza para a esquerda em direção ao bloco 1 com velocidade constante v_{2i} . Determine o valor de m_2 para o qual os dois blocos se movem com a mesma velocidade após o bloco 2 colidir uma vez com o bloco 1 e uma vez com a parede. Suponha que as colisões são elásticas (a colisão com a parede não muda a velocidade escalar do bloco 2).

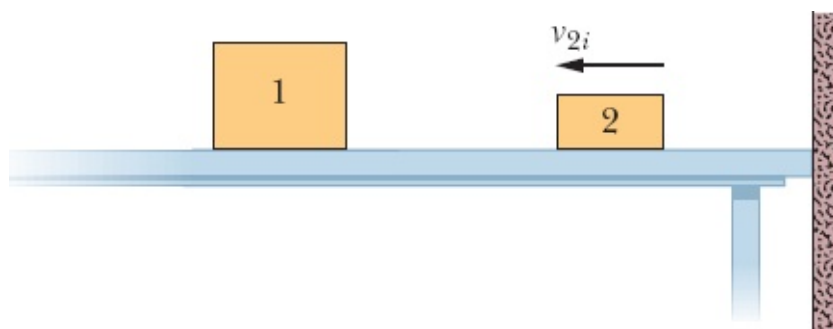


Figura 9-80 Problema 103.

104 O roteiro de um filme de ação requer que um pequeno carro de corrida (com uma massa de 1500 kg e um comprimento de 3,0 m) acelere ao longo de uma barça (com uma massa de 4000 kg e um comprimento de 14 m), de uma extremidade a outra da embarcação, e salte para um cais um pouco mais abaixo. Você é o consultor técnico do filme. No momento em que o carro entra em movimento, o barco está encostado no cais, como na Fig. 9-81; o barco pode deslizar na água sem resistência significativa; a distribuição de massa do carro e da barça pode ser considerada homogênea. Calcule qual será a distância entre o barco e o cais no instante do salto.

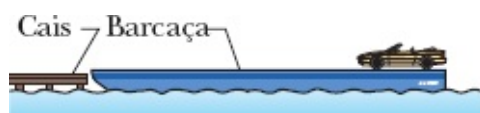


Figura 9-81 Problema 104.

105 Um objeto de 3,0 kg, que se move com uma velocidade escalar de 8,0 m/s no sentido positivo de um eixo x , sofre uma colisão elástica unidimensional com um objeto de massa M inicialmente em repouso. Após a colisão, o objeto de massa M tem uma velocidade escalar de 6,0 m/s no sentido positivo do eixo x . Qual é o valor da massa M ?

106 Um vagão aberto de 2140 kg, que pode se mover com atrito desprezível, está parado ao lado de uma plataforma. Um lutador de sumô de 242 kg corre a 5,3 m/s pela plataforma (paralelamente aos trilhos) e pula no vagão. Qual é a velocidade do vagão se o lutador (a) para imediatamente, (b) continua a correr a 5,3 m/s em relação ao vagão, no mesmo sentido, e (c) faz meia-volta e passa a correr a 5,3 m/s em relação ao vagão no sentido oposto?

107 Um foguete de 6100 kg está preparado para ser lançado verticalmente a partir do solo. Se a velocidade de exaustão é 1200 m/s, qual é a massa de gás que deve ser ejetada por segundo para que o empuxo (a) seja igual ao módulo da força gravitacional que age sobre o foguete e (b) proporcione ao foguete uma aceleração inicial, para cima, de 21 m/s²?

108 Um módulo de 500,0 kg está acoplado a uma nave de transporte de 400,0 kg que se move a 1000 m/s em relação a uma nave-mãe em repouso. Uma pequena explosão faz o módulo se mover para trás com uma velocidade de 100,0 m/s em relação à nova velocidade da nave de transporte. Qual é o aumento relativo da energia cinética do módulo e da nave de transporte em consequência da explosão, do ponto de

vista dos tripulantes da nave-mãe?

109 (a) A que distância do centro da Terra se encontra o centro de massa do sistema Terra-Lua? (O Apêndice C fornece as massas da Terra e da Lua e a distância entre os dois astros.) (b) A que porcentagem do raio da Terra corresponde essa distância?

110 Uma bola de 140 g se choca perpendicularmente com uma parede a 7,8 m/s e ricocheteia no sentido oposto com a mesma velocidade. O choque dura 3,80 ms. (a) Qual é o impulso e (b) qual a força média que a bola exerce sobre a parede?

111 Um trenó foguete com massa de 2900 kg se move a 250 m/s sobre dois trilhos. Em um dado instante, um tubo a bordo do trenó é mergulhado em um canal situado entre os trilhos e passa a transferir água para o tanque do trenó, inicialmente vazio. Aplicando a lei de conservação do momento linear, determine a velocidade do trenó depois que 920 kg de água são transferidos do canal para o trenó. Ignore o atrito do tubo com a água do canal.

112 Uma metralhadora de chumbinho dispara dez balas de 2,0 g por segundo com uma velocidade escalar de 500 m/s. As balas são paradas por uma parede rígida. Determine (a) o módulo do momento de cada bala, (b) a energia cinética de cada bala e (c) o módulo da força média exercida pelas balas sobre a parede. (d) Se cada bala permanece em contato com a parede por 0,60 ms, qual é o módulo da força média exercida por uma bala sobre a parede? (e) Por que a força média é tão diferente da força média calculada em (c)?

113 Um vagão de estrada de ferro se move sob uma esteira transportadora de grãos com uma velocidade escalar de 3,20 m/s. Os grãos caem no vagão a uma taxa de 540 kg/min. Qual é o módulo da força necessária para manter o vagão em movimento com velocidade constante se o atrito é desprezível?

114 A Fig. 9-82 mostra uma placa quadrada homogênea de lado $6d = 6,0$ m da qual um pedaço quadrado de lado $2d$ foi retirado. (a) Qual é a coordenada x e (b) qual a coordenada y do centro de massa da parte restante?

115 No instante $t = 0$, uma força $\vec{F}_1 = (-4,00\hat{i} + 5,00\hat{j})$ N age sobre uma partícula de massa $2,00 \times 10^{-3}$ kg, inicialmente em repouso, e uma força $\vec{F}_2 = (2,00\hat{i} - 4,00\hat{j})$ N age sobre uma partícula de massa $4,00 \times 10^{-3}$ kg, também inicialmente em repouso. Do instante $t = 0$ ao instante $t = 2,00$ ms, qual é (a) o módulo e (b) qual é o ângulo (em relação ao semieixo x positivo) do deslocamento do centro de massa do sistema das duas partículas? (c) Qual é a energia cinética do centro de massa em $t = 2,00$ ms?

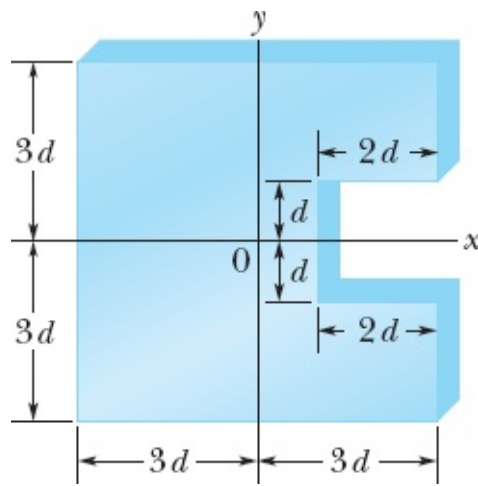


Figura 9-82 Problema 114.

116 Duas partículas, P e Q , são liberadas a partir do repouso a 1,0 m de distância uma da outra. A partícula P tem massa de 0,10 kg e a partícula Q tem massa de 0,30 kg. P e Q se atraem com uma força constante de $1,0 \times 10^{-2}$ N. Nenhuma força externa age sobre o sistema. (a) Qual é a velocidade do centro de massa de P e Q quando a distância entre as partículas é 0,50 m? (b) A que distância da posição inicial de P as partículas colidem?

117 Uma colisão ocorre entre um corpo de 2,00 kg que se move com uma velocidade $\vec{v}_1 = (-4,00 \text{ m/s})\hat{i} + (-5,00 \text{ m/s})\hat{j}$ e um corpo de 4,00 kg que se move com uma velocidade $\vec{v}_2 = (6,00 \text{ m/s})\hat{i} + (-2,00 \text{ m/s})\hat{j}$. Os dois corpos permanecem unidos após a colisão. Determine a velocidade comum dos dois corpos após a colisão (a) na notação dos vetores unitários e como (b) um módulo e (c) um ângulo.

118 No arranjo das duas esferas da Fig. 9-20, suponha que a esfera 1 tem massa de 50 g e uma altura inicial $h_1 = 9,0$ cm e que a esfera 2 tem massa de 85 g. Depois que a esfera 1 é liberada e colide elasticamente com a esfera 2, que altura é alcançada (a) pela esfera 1 e (b) pela esfera 2? Após a colisão (elástica) seguinte, que altura é alcançada (c) pela esfera 1 e (d) pela esfera 2? (*Sugestão:* Não use valores arredondados.)

119 Na Fig. 9-83, o bloco 1 desliza ao longo de um eixo x em um piso sem atrito com uma velocidade de 0,75 m/s até sofrer uma colisão elástica com o bloco 2, inicialmente em repouso. A tabela a seguir mostra a massa e o comprimento dos blocos (homogêneos) e a posição do centro dos blocos no instante $t = 0$. Determine a posição do centro de massa do sistema de dois blocos (a) em $t = 0$, (b) no instante do choque e (c) em $t = 4,0$ s.

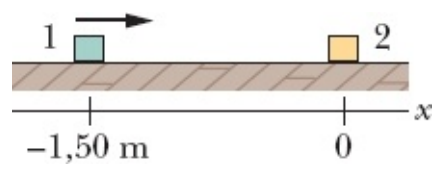


Figura 9-83 Problema 119.

Bloco	Massa (kg)	Comprimento (cm)	Centro em $t = 0$
-------	------------	------------------	-------------------

1	0,25	5,0	$x = -1,50 \text{ m}$
2	0,50	6,0	$x = 0$

120 Um corpo está se movendo com uma velocidade escalar de $2,0 \text{ m/s}$ no sentido positivo de um eixo x ; nenhuma força age sobre o corpo. Uma explosão interna separa o corpo em duas partes, ambas de $4,0 \text{ kg}$, e aumenta a energia cinética total em 16 J . A parte da frente continua a se mover na mesma direção e sentido que o corpo original. Qual é a velocidade escalar (a) da parte de trás e (b) da parte da frente do corpo?

121 Um elétron sofre uma colisão elástica unidimensional com um átomo de hidrogênio inicialmente em repouso. Que porcentagem da energia cinética inicial do elétron é transferida para a energia cinética do átomo de hidrogênio? (A massa do átomo de hidrogênio é 1840 vezes maior que a massa do elétron.)

122 Um homem (com 915 N de peso) está em pé em um vagão de trem (com 2415 N de peso) enquanto este se move a $18,2 \text{ m/s}$ no sentido positivo de um eixo x , com atrito desprezível. O homem começa a correr no sentido negativo do eixo x com uma velocidade escalar de $4,00 \text{ m/s}$ em relação ao vagão. Qual é o aumento da velocidade do vagão?

123 Uma sonda espacial não tripulada (de massa m e velocidade v em relação ao Sol) se aproxima do planeta Júpiter (de massa M e velocidade V_J em relação ao Sol), como mostra a Fig. 9-84. A sonda contorna o planeta e passa a se mover no sentido oposto. Qual é a velocidade da sonda, em relação ao Sol, depois do encontro com Júpiter, que pode ser analisado como se fosse uma colisão? Suponha que $v = 10,5 \text{ km/s}$ e $V_J = 13,0 \text{ km/s}$ (a velocidade orbital de Júpiter). Leve em conta o fato de que a massa de Júpiter é muito maior que a massa da sonda ($M \gg m$).

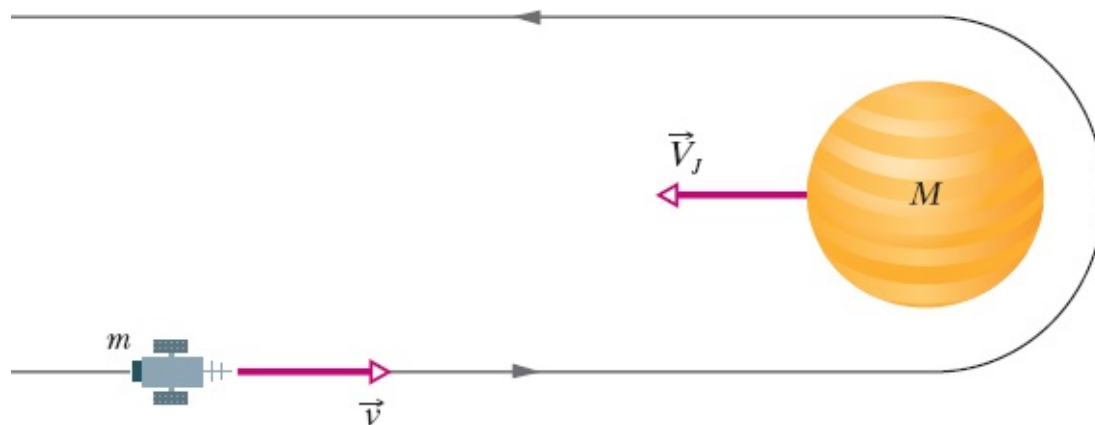


Figura 9-84 Problema 123.

124 Uma bola com uma massa de $0,550 \text{ kg}$ cai verticalmente em um piso de concreto, chocando-se com o piso a uma velocidade de $12,0 \text{ m/s}$ e ricocheteando verticalmente com uma velocidade de $3,00 \text{ m/s}$. Use um eixo y vertical, com o sentido positivo para cima. Na notação dos vetores unitários, determine (a) a variação do momento da bola, (b) o impulso sobre a bola e (c) o impulso sobre o piso.

125 Um núcleo atômico em repouso na origem de um sistema de coordenadas xy se desintegra em três

partículas. A partícula 1, com massa de $16,7 \times 10^{-27}$ kg, se afasta da origem com uma velocidade $(6,00 \times 10^6 \text{ m/s})\hat{i}$; a partícula 2, com uma massa de $8,35 \times 10^{-27}$ kg, se afasta da origem com uma velocidade $(-8,00 \times 10^6 \text{ m/s})\hat{j}$. (a) Na notação dos vetores unitários, qual é o momento linear da terceira partícula, cuja massa é $11,7 \times 10^{-27}$ kg? (b) Qual é a energia cinética produzida pela desintegração?

126 A partícula 1, com massa de 200 g, que se move a uma velocidade de 3,00 m/s, sofre uma colisão unidimensional com a partícula 2, com massa de 400 g, que estava inicialmente em repouso. Qual é o módulo do impulso sobre a partícula 1 se a colisão for (a) elástica e (b) perfeitamente inelástica?

127 Durante uma missão lunar, é necessário aumentar de 2,2 m/s a velocidade de uma espaçonave quando ela está a uma velocidade de 400 m/s em relação à Lua. A velocidade dos gases ejetados pelo motor do foguete é 1000 m/s em relação à espaçonave. Que fração da massa inicial da espaçonave deve ser queimada e ejetada para produzir essa variação de velocidade?

128 Um taco atinge uma bola de sinuca, inicialmente em repouso, com uma força média de 32 N durante um intervalo de 14 ms. Se a massa da bola é 0,20 kg, qual é a velocidade da bola imediatamente após o choque?