

$m_2$  e  $p_1'$ , e mostre que  $p_1' = \pm p_1$ . Se  $p_1' = -p_1$ , a partícula é meramente refletida pela colisão e emerge com a rapidez que tinha inicialmente. Qual é a situação para a solução  $p_1' = +p_1$ ?

92 •• **VÁRIOS PASSOS** Um bloco de 3,0 kg viaja no sentido  $-x$  a 5,0 m/s, e um bloco de 1,0 kg viaja no sentido  $+x$  a 3,0 m/s. (a) Determine a velocidade  $v_{cm}$  do centro de massa. (b) Subtraia  $v_{cm}$  da velocidade de cada bloco, para encontrar as velocidades no referencial do centro de massa. (c) Após sofrerem uma colisão frontal elástica, a velocidade de cada bloco é invertida (no referencial do centro de massa). Determine as velocidades no referencial do centro de massa após a colisão. (d) Transforme de volta para o referencial original, somando  $v_{cm}$  à velocidade de cada bloco. (e) Cheque seu resultado, determinando as energias cinéticas inicial e final dos blocos no referencial original e comparando-as.

93 •• Repita o Problema 92 com o segundo bloco tendo uma massa de 5,0 kg e se movendo para a direita a 3,0 m/s.

## \*SISTEMAS COM MASSA CONTINUAMENTE VARIÁVEL: PROPULSÃO DE FOGUETES

94 • **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Um foguete queima combustível a uma taxa de 200 kg/s e a rapidez da exaustão dos gases é de 6,00 km/s, em relação ao foguete. Determine a magnitude do seu empuxo.

95 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Um foguete tem uma massa inicial de 30000 kg, 80 por cento da qual é de combustível. Ele queima combustível a uma taxa de 200 kg/s e expelle os gases com uma rapidez relativa de 1,80 km/s. Determine (a) o impulso do foguete, (b) o tempo para a queima total do combustível e (c) a rapidez do foguete quando todo o combustível terminou de ser queimado, supondo que ele se move diretamente para cima, próximo à superfície da Terra. Suponha  $g$  constante e despreze a resistência do ar.

96 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** O impulso específico de um combustível de foguete é definido como  $I_{ie} = F_{imp}/(Rg)$ , onde  $F_{imp}$  é o impulso obtido do combustível,  $g$  é a magnitude da aceleração de queda livre e  $R$  é a taxa de queima do combustível. A taxa depende, principalmente, do tipo de combustível e da exatidão da mistura onde ele é utilizado. (a) Mostre que o impulso específico tem a dimensão do tempo. (b) Mostre que  $u_{ex} = gI_{ie}$ , onde  $u_{ex}$  é a rapidez relativa da exaustão. (c) Qual é o impulso específico (em segundos) do combustível utilizado no foguete Saturno V do Exemplo 8-19?

97 ••• **PLANILHA ELETRÔNICA, APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** A razão impulso-peso inicial de um foguete é  $\tau_0 = F_{imp}/(m_0g)$ , onde  $F_{imp}$  é o impulso do foguete e  $m_0$  é sua massa inicial, incluindo o combustível. (a) Para um foguete lançado diretamente para cima, da superfície da Terra, mostre que  $\tau_0 = 1 + (a_0/g)$ , onde  $a_0$  é a aceleração inicial do foguete. Em um voo tripulado,  $\tau_0$  não pode ser muito maior do que 4 para conforto e segurança dos astronautas. (Quando o foguete é lançado, os astronautas se sentem  $\tau_0$  vezes mais pesados que o normal.) (b) Mostre que a velocidade final de um foguete lançado da superfície da Terra pode, em termos de  $\tau_0$  e de  $I_{ie}$  (veja o Problema 96), ser escrita como

$$v_f = gI_{ie} \left[ \ln \left( \frac{m_0}{m_f} \right) - \frac{1}{\tau_0} \left( 1 - \frac{m_f}{m_0} \right) \right]$$

onde  $m_f$  é a massa do foguete (não incluindo o combustível gasto). (c) Usando uma planilha de cálculo, ou uma calculadora gráfica, faça o gráfico de  $v_f$  em função da razão entre as massas  $m_0/m_f$ , para  $I_{ie} = 250$  s e  $\tau_0 = 2$ , com os valores da razão de massas variando de 2 até 10. (Note que a razão de massas não pode ser menor do que 1.) (d) Para colocar um foguete em órbita, é necessária uma velocidade final  $v_f = 7,0$  km/s quando da queima total. Calcule a razão de massas necessária para colocar em órbita um foguete de estágio único,

usando os valores do impulso específico e da razão impulso-peso dadas na Parte (c). Por questões de engenharia, é difícil construir um foguete com uma razão de massas muito maior do que 10. Isto lhe sugere por que foguetes de múltiplos estágios são normalmente usados para colocar cargas em órbita ao redor da Terra?

98 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** A altura que pode ser atingida por um foguete de aeromodelismo, lançado da superfície da Terra, pode ser estimada supondo-se que o tempo de queima total do combustível é curto, em comparação com o tempo total de voo; o foguete está, portanto, em queda livre, durante quase todo o voo. (Esta estimativa não leva em consideração o tempo de queima nos cálculos de tempo e de deslocamento.) Para um foguete-modelo com impulso específico  $I_{ie} = 100$  s, razão de massas  $m_0/m_f = 1,20$  e razão impulso-peso inicial  $\tau_0 = 5,00$  (estes parâmetros estão definidos nos Problemas 96 e 97), estime (a) a altura que o foguete pode atingir e (b) o tempo total de voo. (c) Justifique a suposição feita para as estimativas, comparando o tempo de voo da Parte (a) com o tempo levado para consumir o combustível.

## PROBLEMAS GERAIS

99 • Um vagão ferroviário de brinquedo, de 250 g, viajando a 0,50 m/s, engata em outro vagão, de 400 g, que está inicialmente em repouso. Qual é a rapidez dos carros imediatamente após o engate? Determine as energias cinéticas do sistema de dois vagões antes e depois da colisão.

100 • **VÁRIOS PASSOS** Um vagão ferroviário de brinquedo, viajando a 0,50 m/s, dirige-se para um outro vagão, de 400 g, que está inicialmente em repouso. (a) Determine a energia cinética total do sistema de dois vagões. (b) Determine a velocidade de cada vagão no referencial do centro de massa e use estas velocidades para calcular a energia cinética do sistema de dois vagões no referencial do centro de massa. (c) Determine a energia cinética associada ao movimento do centro de massa do sistema. (d) Compare sua resposta da Parte (a) com a soma das suas respostas das Partes (b) e (c).

101 •• Um carro de 1500 kg, viajando para o norte a 70 km/h, colide em um cruzamento com um carro de 2000 kg que viaja para o oeste a 55 km/h. Os dois carros ficam presos um ao outro. (a) Qual é a quantidade de movimento total do sistema antes da colisão? (b) Quais são a magnitude e a orientação da velocidade do conjunto justo após a colisão?

102 •• Uma mulher de 60 kg está na parte de trás de uma balsa de 120 kg e de 6,0 m de comprimento, que flutua em águas calmas. A balsa está a 0,50 m de um cais fixo, como mostrado na Figura 8-52. (a) A mulher caminha para a frente da balsa e pára. Qual é a distância, agora, da balsa ao cais? (b) Enquanto a mulher caminha, ela mantém uma rapidez constante de 3,0 m/s em relação à balsa. Determine a energia cinética total do sistema (mulher mais balsa) e compare sua resposta com o valor que teria a energia cinética se a mulher caminhasse a 3,0 m/s sobre a balsa presa ao cais. (c) De onde vêm essas energias cinéticas e para onde vão quando a mulher pára na frente da

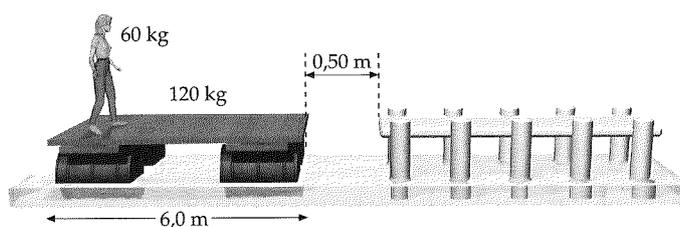


FIGURA 8-52 Problema 102

balsa? (d) Quando em terra, a mulher é capaz de lançar um peso de chumbo até uma distância de 6,0 m. Agora, na parte de trás da balsa, ela atira o peso para a frente com a mesma velocidade em relação a ela que ele tinha quando foi lançado em terra. Aproximadamente, em que ponto o peso irá cair?

103 •• Uma bola de aço de 1,0 kg e uma corda de 2,0 m e massa desprezível formam um pêndulo simples que pode pivotar sem atrito em torno do ponto *O*, como na Figura 8-53. Este pêndulo é largado do repouso a partir de uma posição horizontal e, quando a bola está em sua posição mais baixa, ela colide com um bloco de 1,0 kg que está em repouso sobre uma prateleira. Suponha a colisão perfeitamente elástica e que o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e a prateleira vale 0,10. (a) Qual é a velocidade do bloco logo após o impacto? (b) Até que distância o bloco escorrega antes de parar (supondo a prateleira suficientemente longa)?

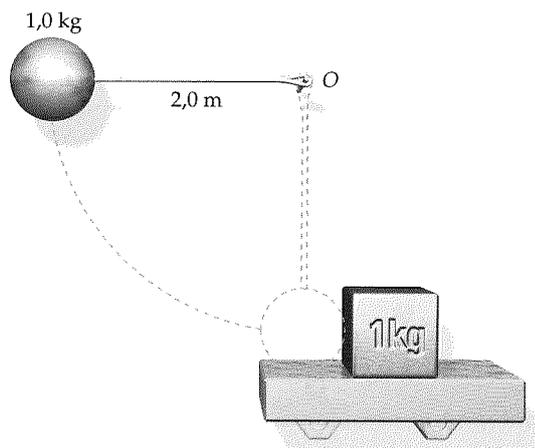


FIGURA 8-53 Problema 103

104 •• A Figura 8-54 mostra um canhão da Primeira Guerra Mundial montado sobre um vagonete e preparado para atirar uma bala a um ângulo de 30° acima da horizontal. Com o vagão inicialmente em repouso sobre um trilho horizontal sem atrito, o canhão dispara uma bala de 200 kg a 125 m/s. (Todos os valores são no referencial do trilho.) (a) O vetor quantidade de movimento do sistema vagão-canhão-bala será o mesmo justo antes e justo após a bala ser disparada? Explique sua resposta. (b) Se a massa de vagão mais canhão é igual a 5000 kg, qual será a velocidade de recuo do vagão sobre o trilho, após o disparo? (c) A bala se eleva até a uma altura máxima de 180 m em sua trajetória. Neste ponto, sua rapidez é de 80,0 m/s. Com base nesta informação, calcule a quantidade de energia térmica produzida pelo atrito do ar com a bala, da boca do canhão até a altura máxima.

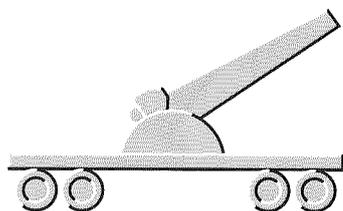


FIGURA 8-54 Problema 104

105 ••• **VÁRIOS PASSOS** Uma demonstração de sala de aula popular, mas perigosa, é segurar uma bola de beisebol cerca de uma polegada diretamente acima de uma bola de basquete que você segura alguns pés acima de um piso duro e largar as duas bolas

simultaneamente. As duas bolas colidirão logo após a bola de basquete repicar no piso; a bola de beisebol será, então, lançada até o teto, enquanto a bola de basquete parará bruscamente. (a) Supondo que a colisão da bola de basquete com o chão seja elástica, qual é a relação entre as velocidades das bolas justo antes delas colidirem? (b) Supondo que a colisão entre as duas bolas seja elástica, use o resultado da Parte (a) e conservação da quantidade de movimento e da energia para mostrar que, se a bola de basquete é três vezes mais pesada do que a de beisebol, a velocidade final da bola de basquete será zero. (Esta é, aproximadamente, a verdadeira razão de massas, o que torna a demonstração tão dramática.) (c) Se a rapidez da bola de beisebol é *v* justo antes da colisão, qual é sua rapidez logo após a colisão?

106 ••• No Problema 105, se alguém tivesse segurado uma terceira bola acima das bolas de beisebol e de basquete, e se você quisesse que estas duas parassem subitamente no ar, qual deveria ser a razão entre a massa da bola de cima e a massa da bola de beisebol? (b) Se a rapidez da bola de cima é *v* justo antes da colisão, qual é sua rapidez logo após a colisão?

107 ••• No “efeito estilingue”, a transferência de energia em uma colisão elástica é usada para dar energia a uma sonda espacial, para que ela possa escapar do sistema solar. Todos os valores de rapidez são em relação a um referencial inercial no qual o centro do Sol permanece em repouso. A Figura 8-55 mostra uma sonda espacial se movendo a 10,4 km/s de encontro a Saturno, que se move a 9,6 km/h de encontro à sonda. Devido à atração gravitacional entre Saturno e a sonda, esta contorna Saturno e passa a se orientar no sentido oposto, com rapidez *v<sub>f</sub>*. (a) Supondo esta colisão como unidimensional e elástica, e a massa de Saturno sendo muito maior do que a da sonda, determine *v<sub>f</sub>*. (b) De que fator a energia cinética da sonda aumenta? De onde vem esta energia?

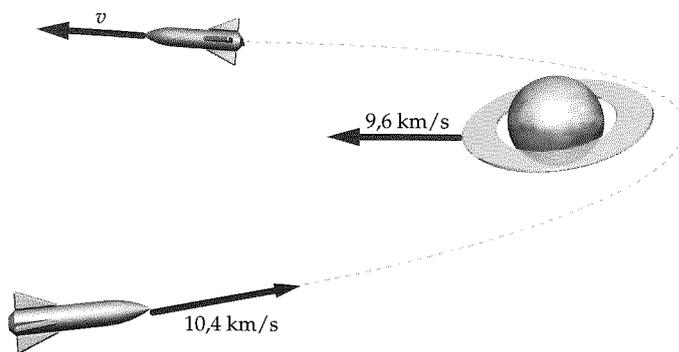


FIGURA 8-55 Problema 107

108 •• Um bloco de 13 kg está em repouso sobre um piso plano horizontal. Uma bola de massa de modelar, de 400 g, é atirada horizontalmente contra o bloco, e nele fica grudada. O conjunto escorrega por 15 cm sobre o piso. Se o coeficiente de atrito cinético é 0,40, qual é a rapidez inicial da bola?

109 ••• **RICO EM CONTEXTO** Sua equipe de reconstituição de acidentes foi contratada pela polícia local para analisar o seguinte acidente. Um motorista descuidado abalrou por trás um carro que estava parado no sinal vermelho. Na iminência do impacto, o motorista pisou forte nos freios, bloqueando as rodas. O motorista do carro atingido tinha seu pé pressionando o pedal do freio. A massa do carro atingido era 900 kg, e a do que bateu era 1200 kg. Com a colisão, os pára-choques se engataram. A polícia concluiu, das marcas de pneus no pavimento, que após a colisão os dois carros se moveram, juntos, 0,76 m. Testes revelaram que o coeficiente de atrito cinético entre os pneus e o pavimento era 0,92. O motorista do carro que bateu alega que ele estava viajando a menos de 15 km/h quando chegava ao cruzamento. Ele está dizendo a verdade?

110 •• Um pêndulo consiste em uma bola compacta de 0,40 kg presa a um fio de 1,6 m de comprimento. Um bloco de massa  $m$  está em repouso sobre uma superfície horizontal sem atrito. O pêndulo é largado do repouso a um ângulo de  $53^\circ$  com a vertical. A bola do pêndulo colide elasticamente com o bloco no ponto mais baixo de seu arco de trajetória. Após a colisão, o ângulo máximo que o pêndulo forma com a vertical é  $5,73^\circ$ . Determine a massa  $m$ .

111 ••• Um bloco de 1,0 kg (massa  $m$ ) e um segundo bloco (massa  $M$ ) estão inicialmente em repouso sobre um plano inclinado sem atrito (Figura 8-56). A massa  $M$  está apoiada sobre uma mola com constante de força igual a  $11,0 \text{ kN/m}$ . A distância ao longo do plano entre os dois blocos é 4,00 m. O bloco de 1,0 kg é largado, sofrendo uma colisão elástica com o bloco maior. O bloco de 1,0 kg é rebatido, então, subindo até uma distância de 2,56 m ao longo do plano inclinado. O bloco de massa  $M$  atinge um repouso momentâneo a 4,00 cm de sua posição inicial. Determine  $M$ .

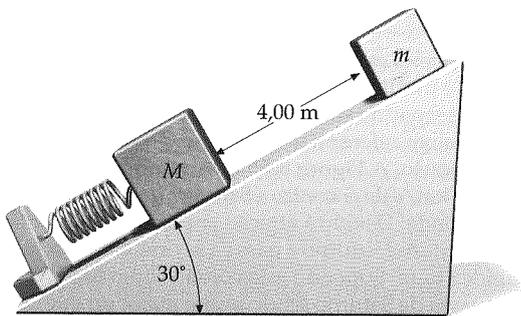


FIGURA 8-56 Problema 111

112 ••• Um nêutron de massa  $m$  sofre uma colisão frontal elástica com um núcleo estacionário de massa  $M$ . (a) Mostre que a energia cinética do núcleo após a colisão é dada por  $K_{\text{núcleo}} = [4mM/(m+M)^2]K_n$ , onde  $K_n$  é a energia cinética inicial do nêutron. (b) Mostre que a variação fracionária da energia cinética do nêutron é dada por

$$\frac{\Delta K_n}{K_n} = -\frac{4(m/M)}{(1 + [m/M])^2}$$

(c) Mostre que esta expressão fornece resultados plausíveis tanto para  $m \ll M$  quanto para  $m = M$ . Qual é o melhor núcleo estacionário a ser atingido frontalmente pelo nêutron se o objetivo é produzir uma perda máxima de energia cinética do nêutron?

113 ••• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** A massa de um núcleo de carbono é aproximadamente 12 vezes a massa de um nêutron. (a) Use os resultados do Problema 112 para mostrar que, após  $N$  colisões frontais elásticas de um nêutron com um núcleo de carbono em repouso, a energia cinética do nêutron é aproximadamente  $0,716^N K_0$ , onde  $K_0$  é sua energia cinética inicial. (b) Os nêutrons emitidos pela fissão de um núcleo de urânio têm energias cinéticas de cerca de 2,0 MeV. Para que um destes nêutrons provoque a fissão de outro núcleo de urânio em um reator, sua energia cinética deve ser reduzida a até cerca de 0,020 eV. Quantas colisões frontais são necessárias para reduzir a energia cinética de um nêutron de 2,0 MeV para 0,020 eV, supondo colisões frontais elásticas com núcleos estacionários de carbono?

114 ••• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Na média, um nêutron perde apenas 63 por cento de sua energia em uma colisão elástica com um átomo de hidrogênio (e não 100 por cento) e 11 por cento de sua

energia em uma colisão elástica com um átomo de carbono (e não 28 por cento). (Estes números são médias sobre todos os tipos de colisões, não apenas as frontais. Assim, os resultados são menores do que aqueles determinados a partir de análises como a do Problema 112, porque a maior parte das colisões não são frontais.) Calcule o número de colisões, na média, necessárias para reduzir a energia de um nêutron de 2,0 MeV para 0,020 eV, se o nêutron colide com (a) átomos estacionários de hidrogênio e (b) átomos estacionários de carbono.

115 ••• Dois astronautas, em repouso, estão frente a frente no espaço. Um deles, que tem a massa  $m_1$ , atira uma bola de massa  $m_b$  para o outro, cuja massa é  $m_2$ . O segundo astronauta agarra a bola e a atira de volta para o primeiro astronauta. Após cada lançamento, a bola tem uma rapidez  $v$  em relação ao lançador. Após cada um deles ter efetuado um lançamento e uma pegada, (a) os astronautas estarão se movendo com que rapidez? (b) De quanto terá variado a energia cinética do sistema dos dois astronautas e de onde terá vindo esta energia?

116 ••• Uma seqüência de contas elásticas de vidro, cada uma de massa 0,50 g, sai de um tubo horizontal a uma taxa de 100 por segundo (veja a Figura 8-57). As contas caem de uma altura de 0,50 m sobre um prato de uma balança e repicam de volta à sua altura original. Que massa deve ser colocada no outro prato da balança, para manter o ponteiro no zero?

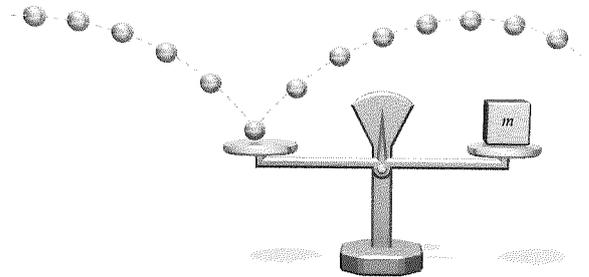


FIGURA 8-57 Problema 116

117 ••• Um haltere, constituído de duas bolas de massa  $m$  ligadas por uma barra sem massa de 1,00 m de comprimento, é colocado sobre um piso sem atrito e apoiado sobre uma parede sem atrito, com uma das bolas diretamente acima da outra. A distância centro-a-centro entre as bolas é igual a 1,00 m. O haltere começa, então, a escorregar parede abaixo, como na Figura 8-58. Determine a rapidez da bola de baixo no momento em que é igual à rapidez da bola de cima.

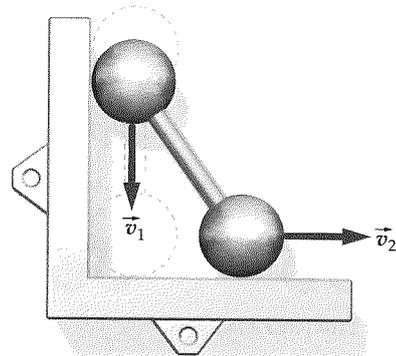


FIGURA 8-58 Problema 117