Exercícios Resolvidos de Dinâmica Clássica

Jason Alfredo Carlson Gallas,
professor titular de física teórica,
Doutor em Física pela Universidade Ludwig Maximilian de Munique, Alemanha

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
91501-970 Porto Alegre, BRASIL

Matéria para a QUARTA prova. Numeração conforme a **quarta** edição do livro
"Fundamentos de Física", Halliday, Resnick e Walker.

Esta e outras listas encontram-se em: *http://www.if.ufrgs.br/~jgallas*

Sumário

Comentários/Sugestões e Erros: favor enviar para `jgallas @ if.ufrgs.br`
(listam2.tex)

10 Colisões

10.1 Questões

Q 10-1

Explique como a conservação de energia se aplica a uma bola quicando numa parede.

▶

10.2 Problemas e Exercícios

10.2.1 Impulso e Momento Linear

E 10-3 (10-1/6^a edição)

Um taco de sinuca atinge uma bola, exercendo uma força média de 50 N em um intervalo de 10 ms. Se a bola tivesse massa de 0.20 kg, que velocidade ela teria após o impacto?

▶ Se F for a magnitude da força média então a magnitude do impulso é $J = F\Delta t$, onde Δt é o intervalo de tempo durante o qual a força é exercida (veja Eq. 10-8). Este impulso iguala a magnitude da troca de momentum da bola e como a bola está inicialmente em repouso, iguala a magnitude mv do momento final. Resolvendo a euqação $F\Delta t = mv$ para v encontramos

$$v = \frac{F\Delta t}{m} = \frac{(50)(10\times 10^{-3})}{0.20} = 2.5 \text{ m/s}.$$

E 10-9 (10-5/6^a)

Uma força com valor médio de 1200 N é aplicada a uma bola de aço de 0.40 kg, que se desloca a 14 m/s, em uma colisão que dura 27 ms. Se a força estivesse no sentido oposto ao da velocidade inicial da bola, encontre a velocidade final da bola.

▶ Considere a direção inicial do movimento como positiva e chame de F a magnitude da força média, Δt a duração da força, m a massa da bola, v_i a velocidade inicial da bola, v_f a velocidade final da bola. Então a força atua na direção negativa e o teorema do impulso-momento fornece

$$-F\Delta t = mv_f - mv_i.$$

Resolvendo para v_f obtemos

$$\begin{aligned} v_f &= v_i - \frac{F\Delta t}{m} \\ &= 14 - \frac{(1200)(27\times 10^{-3})}{0.40} = -67 \text{ m/s}. \end{aligned}$$

A velocidade final da bola é 67 m/s.

P 10-12 (10-9/6^a)

Um carro de 1400 kg, deslocando-se a 5.3 m/s, está inicialmente viajando para o norte, no sentido positivo do eixo y. Após completar uma curva à direita de 90^o para o sentido positivo do eixo x em 4.6 s, o distraido motorista investe para cima de uma árvore, que pára o carro em 350 ms. Em notação de vetores unitários, qual é o impulso sobre o carro **(a)** durante a curva e **(b)** durante a colisão? Qual a intensidade da força média que age sobre o carro **(c)** durante a curva e **(d)** durante a colisão? **(e)** Qual é o ângulo entre a força média em (c) e o sentido positivo do eixo x?

▶ **(a)** O momento inicial do carro é

$$\mathbf{p}_i = m\mathbf{v} = (1400)(5.3)\mathbf{j} = (7420 \text{ kg·m/s})\mathbf{j}$$

e o momento final é $(7420 \text{ kg·m/s})\mathbf{i}$. O impulso que nele atua é igual à variação de momento:

$$\mathbf{J} = \mathbf{p}_f - \mathbf{p}_i = (7420 \text{ kg·m/s})(\mathbf{i} - \mathbf{j}).$$

(b) O momento inicial do carro é $\mathbf{p}_i = (7420 \text{ kg·m/s})\mathbf{i}$ e o momento final é $\mathbf{p}_f = 0$, uma vez que ele para. O impulso atuando sobre o carro é

$$\mathbf{J} = \mathbf{p}_f - \mathbf{p}_i = -(7420 \text{ kg·m/s})\mathbf{i}$$

(c) A força média que atua no carro é

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_{av} = \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t} &= \frac{\mathbf{J}}{\Delta t} \\ &= \frac{(7420 \text{ kg·m/s})(\mathbf{i}-\mathbf{j})}{4.6} \\ &= (1613 \text{ N})(\mathbf{i}-\mathbf{j}) \end{aligned}$$

e sua magnitude é $F_{av} = (1600 \text{ N})\sqrt{2} = 2262 \simeq 2300$ N.

(d) A força média é

$$\mathbf{F}_{av} = \frac{\mathbf{J}}{\Delta t} = \frac{(-7420 \text{ kg·m/s})\mathbf{i}}{350\times 10^{-3}}$$

$$= \quad (-21143 \text{ N}) \, \mathbf{i}$$

$$= \quad (-2.1 \times 10^4 \text{ N}) \, \mathbf{i}$$

e sua magnitude é $\mathbf{F}_{av} = 2.1 \times 10^4$ N.

(e) A força média é dada acima em notação vetorial unitária. Suas componentes x e y tem magnitudes iguais. A componente x é positiva e a componente y é negativa, de modo que a força está a 45^o abaixo do eixo x.

P 10-13 (10-??/6^a)

A força sobre um objeto de 10 kg aumenta uniformemente de zero a 50 N em 4 s. Qual é a velocidade final do objeto se ele partiu do repouso?

► Tome a magnitude da força como sendo $F = At$, onde A é uma constante de proporcionalidade. A condição que $F = 50$ N quando $t = 4$ s conduz a

$$A = (50 \text{ N})/(4 \text{ s}) = 12.5 \text{ N/s}.$$

A magnitude do impulso exercido no objeto é

$$\begin{aligned} J = \int_0^4 F \, dt = \int_0^4 At \, dt &= \tfrac{1}{2}At^2\Big|_0^4 \\ &= \tfrac{1}{2}(12.5)(4)^2 \\ &= 100 \text{ N·s}. \end{aligned}$$

A magnitude deste impulso é igual à magnitude da variação do momento do objeto ou, como o objeto partiu do repouso, é igual magnitude do momento final: $J = mv_f$. Portanto

$$v_f = \frac{J}{m} = \frac{100}{10} = 10 \text{ m/s}.$$

P 10-14 (10-13/6^a)

Uma arma de ar comprimido atira dez chumbinhos de 2 g por segundo com uma velocidade de 500 m/s, que são detidos por uma parede rígida. **(a)** Qual é o momento linear de cada chumbinho? **(b)** Qual é a energia cinética de cada um? **(c)** Qual é a força média exercida pelo fluxo de chumbinhos sobre a parede? **(d)** Se cada chumbinho permanecer em contato com a parede por 0.6 ms, qual será a força média exercida sobre a parede por cada um deles enquanto estiver em contato? **(e)** Por que esta força é tão diferente da força em (c)?

► **(a)** Se m for a massa dum chumbinho e v for sua velocidade quando ele atinge a parede, então o momento é

$$p = mv = (2 \times 10^{-3})(500) = 1 \text{ kg·m/s},$$

na direção da parede.

(b) A energia cinética dum chumbinho é

$$K = \tfrac{1}{2}mv^2 = \tfrac{1}{2}(2 \times 10^{-3})(500)^2 = 250 \text{ J}.$$

(c) A força na parede é dada pela taxa na qual o momento é transferido dos chumbinhos para a parede. Como os chumbinhos não voltam para trás, cada chumbinho transfere $p = 1.0$kg·m/s. Se $\Delta N = 10$ chumbinhos colidem num tempo $\Delta t = 1$ segundo, então a taxa média com que o momento é transferido é

$$F_{av} = \frac{p \, \Delta N}{\Delta t} = \frac{(1.0)(10)}{1} = 10 \text{ N}.$$

A força na parede tem a direção da velocidade inicial dos chumbinhos.

(d) Se Δt é o intervalo de tempo para um chumbinho ser freado pela parede, então a força média exercida na parede por chumbinho é

$$F_{av} = \frac{p}{\Delta t} = \frac{1.0}{0.6 \times 10^{-3}} = 1666.66 \text{ N}.$$

A força tem a direção da velocidade inicial do chumbinho.

(e) Na parte (d) a força foi mediada durante o intervalo em que um chumbinho está em contato com a parede, enquanto na parte (c) ela foi mediada durante o intervalo de tempo no qual muitos chumbinhos atingem a parede. Na maior parte do tempo nenhum chumbinho está em contato com a parede, de modo que a força média na parte (c) é muito menor que a média em (d).

P 10-26 (10-15/6^a)

Uma espaçonave é separada em duas partes detonando-se as ligações explosivas que as mantinham juntas. As massas das partes são 1200 e 1800 kg; o módulo do impulso sobre cada parte é de 300 N·s. Com que velocidade relativa as duas partes se separam?

► Consideremos primeiro a parte mais leve. Suponha que o impulso tenha magnitude J e esteja no sentido positivo. Seja m_1, v_1 a massa e a velocidade da parte mais leve após as ligações explodirem. Suponha que ambas as partes estão em repouso antes da explosão. Então, $M = m_1 v_1$, de modo que

$$v_1 = \frac{J}{m_1} = \frac{300}{1200} = 0.25 \text{ m/s}.$$

LISTA 2 - Prof. Jason Gallas, IF–UFRGS 16 de Outubro de 2005, às 17:26

O impulso na parte mais pesada tem a mesma magnitude mas no sentido oposto, de modo que $-J = m_2 v_2$, onde m_2, v_2 são a massa e a velocidade da parte mais pesada. Portanto

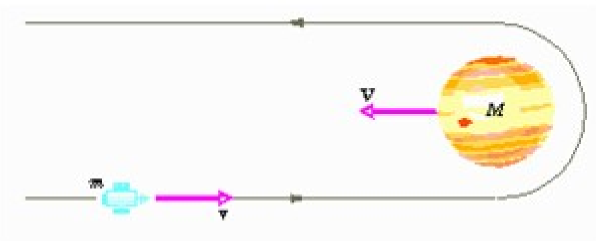
$$v_2 = -\frac{J}{m_2} = -\frac{300}{1800} = -0.167 \text{ m/s}.$$

A velocidade relativa das partes após a explosão é

$$0.25 - (-0.167) = 0.417 \text{ m/s}.$$

P 10-28 (10-38/6^a)

A espaçonave *Voyager 2* (de massa m e velocidade v relativa ao Sol) aproxima-se do planeta Júpiter (de massa M e velocidade V relativa ao Sol) como mostra a Fig. 10-33. A espaçonave rodeia o planeta e parte no sentido oposto. Qual é a sua velocidade, em relação ao Sol, após este encontro com efeito estilingue? Considera $v = 12$ km/s e $V = 13$ km/s (a velocidade orbital de Júpiter). A massa de Júpiter é muito maior do que a da espaçonave; $M \gg m$. (Para informações adicionais, veja "The slingshot effect: explanation and analogies", de Albert A. Bartlett e Charles W. Hord, *The Physics Teacher*, novembro de 1985.)



[Fig. 10-33 Enlarged.] Problem 28.

▶ Considere o encontro num sistema de referência fixo em Júpiter. Quando eventuais perdas de energia forem desprezíveis, o encontro pode ser pensado como uma colisão elástica na qual a espaçonave emerge da "colisão" com uma velocidade de mesma magnitude que a velocidade que possuia antes do encontro. Como a velocidade inicial da espaçonave é

$$v_i = v + V = 12 + 13 = 25 \text{ km/s}$$

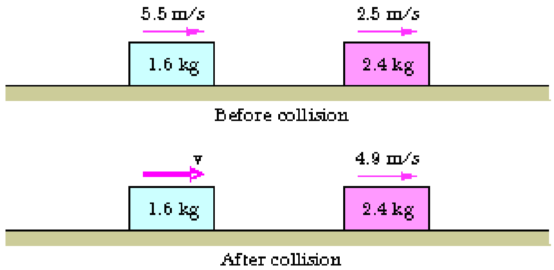
medida a partir de Júpiter, ela se afastará de Júpiter com $v_f = 25$ km/s. Passando para o sistema original de referência no qual o Sol está em repouso, tal velocidade é dada por

$$v'_f = v_f + V = 25 + 13 = 38 \text{ km/s}.$$

10.2.2 Colisões Elásticas em Uma Dimensão

E 10-29 (10-35/6^a)

Os blocos da Fig. 10-34 deslizam sem atrito. **(a)** Qual é a velocidade v do bloco de 1.6 kg após a colisão? **(b)** A colisão é elástica? **(c)** Suponha que a velocidade inicial do bloco de 2.4 kg seja oposta à exibida. Após a colisão, a velocidade v do bloco de 1.6 kg pode estar no sentido ilustrado?



[Fig. 10-34 Enlarged.] Exercise 29.

▶ **(a)** Seja m_1, v_{1i} e v_{1f} a massa e a velocidade inicial e final do bloco à esquerda, e m_2, v_{2i} e v_{2f} as correspondentes grandezas do bloco à direita. O momento do sistema composto pelos dois blocos é conservado, de modo que

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f},$$

donde tiramos que

$$\begin{aligned} v_{1f} &= \frac{m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} - m_2 v_{2f}}{m_1} \\ &= 5.5 + \frac{2.4}{1.6}(2.5 - 4.9) = 1.9 \text{ m/s}. \end{aligned}$$

O bloco continua andando para a direita após a colisão.
(b) Para ver se a colisão é inelástica, comparamos os valores da energia cinética total antes e depois da colisão. A energia cinética total ANTES da colisão é

$$\begin{aligned} K_i &= \frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2 \\ &= \frac{1}{2}(1.6)(5.5)^2 + \frac{1}{2}(2.4)(2.5)^2 = 31.7 \text{ J}. \end{aligned}$$

A energia cinética total DEPOIS da colisão é

$$\begin{aligned} K_f &= \tfrac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \tfrac{1}{2} m_2 v_{2f}^2 \\ &= \tfrac{1}{2}(1.6)(1.9)^2 + \tfrac{1}{2}(2.4)(4.9)^2 = 31.7 \text{ J}. \end{aligned}$$

Como $K_i = K_f$, vemos que a colisão é elástica.
(c) Neste caso temos $v_{2i} = -2.5$ m/s e

$$\begin{aligned} v_{1f} &= \frac{m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} - m_2 v_{2f}}{m_1} \\ &= 5.5 + \frac{2.4}{1.6}(-2.5 - 4.9) = -5.6 \text{ m/s}. \end{aligned}$$

Como o sinal indica, a velocidade deve opor-se ao sentido mostrado.

E 10-33 **(10-37/6ª)**

(Nota: os valores numéricos são os da SEXTA edição do livro!) Um carro de 340 g de massa, deslocando-se em um trilho de ar linear sem atrito, a uma velocidade inicial de 1.2 m/s, atinge um segundo carro de massa desconhecida, inicialmente em repouso. A colisão entre eles é elástica. Após a mesma, o primeiro carro continua em seu sentido original a 0.66 m/s. **(a)** Qual é a massa do segundo carro? **(b)** Qual é a sua velocidade após o impacto? **(c)** Qual a velocidade do centro de massa do sistema formado pelos dois carrinhos?

▶ **(a)** Seja m_1, v_{1i}, v_{1f} a massa e as velocidades inicial e final do carro que originalmente se move. Seja m_2 e v_{2f} a massa e a velocidade final do carro originalmente parado ($v_{2i} = 0$. Então, de acordo com a Eq. 10-18, temos

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\, v_{1i}.$$

Desta expressão obtemos para m_2:

$$\begin{aligned} m_2 &= \frac{v_{1i} - v_{1f}}{v_{1f} + v_{1i}}\, m_1 \\ &= \frac{1.2 - 0.66}{1.2 + 0.66}(340 \text{ g}) = 99 \text{ g}. \end{aligned}$$

(b) A velocidade do segundo carro é dada por

$$\begin{aligned} v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2}\, v_{1i} &= \frac{2(0.340)}{0.340 + 0.099}\,(1.2) \\ &= 1.9 \text{ m/s}. \end{aligned}$$

(c) A velocidade do centro de massa do sistema formado pelos dois carrinhos satisfaz a equação

$$P = (m_1 + m_2)v_{CM} = m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i}.$$

Lembrando que $v_{2i} = 0$, temos

$$v_{CM} = \frac{m_1 v_{1i}}{m_1 + m_2} = \frac{(340)(1.2)}{340 + 99} = 0.93 \text{ m/s}.$$

Observe que usamos gramas em vez de kilogramas.

E 10-34 **(10-41/6ª)**

Um corpo de 2.0 kg de massa colide elasticamente com outro em repouso e continua a deslocar-se no sentido original com um quarto de sua velocidade original. **(a)** Qual é a massa do corpo atingido? **(b)** Qual a velocidade do centro de massa do sistema formado pelos dois corpos se a velocidade inicial do corpo de 2.0 kg era de 4.0 m/s?

▶ **(a)** Sejam m_1, v_{1i}, v_{1f} a massa e as velocidades antes e depois da colisão do corpo que se move originalmente. Sejam m_2 e v_{2f} a massa e a volcidade final do corpo originalmente em repouso. De acordo com a Eq. 10-18 temos

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\, v_{1i}.$$

Resolvendo para m_2 obtemos, para $v_{1f} = v_{1i}/4$,

$$\begin{aligned} m_2 = \frac{v_{1i} - v_{1f}}{v_{1f} + v_{1i}}\, m_1 &= \frac{1 - 1/4}{1/4 + 1}(m_1) \\ &= \frac{3}{5}(2.0) = 1.2 \text{ kg}. \end{aligned}$$

(b) A velocidade do centro de massa do sistem formado pelos dois corpos satisfaz a equação

$$P = (m_1 + m_2)v_{CM} = m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i}.$$

Resolvendo para v_{CM} com $v_{2i} = 0$ encontramos

$$v_{CM} = \frac{m_1 v_{1i}}{m_1 + m_2} = \frac{(2.0)(4.0)}{2.0 + 1.2} = 2.5 \text{ m/s}.$$

E 10-37 **(10-43/6ª)**

Duas esferas de titânio se aproximam frontalmente com velocidades de mesmo módulo e colidem elasticamente. Após a colisão, uma das esferas, cuja massa é de 300 g, permanece em repouso. Qual é a massa da outra esfera?

▶ Seja m_1, v_{1i}, v_{1f} a massa e as velocidades antes e depois da colisão de uma das partículas e m_2, v_{2i}, v_{2f} a massa e as velocidades antes e depois da colisão, da outra partícula. Então, de acordo com a Eq. 10-28, temos

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_{2i}.$$

Suponha que a esfera 1 esteja viajando originalmente no sentido positivo e fique parada após a colisão. A esfera 2 está viajando originalmente no sentido negativo. Substituindo $v_{1i} = v$, $v_{2i} = -v$ e $v_{1f} = 0$ na expressão acima, obtemos $0 = m_1 - 3m_2$. Ou seja,

$$m_2 = \frac{m_1}{3} = \frac{300 \text{ g}}{3} = 100 \text{ g}.$$

E 10-41 (10-23/6^a)

Acredita-se que a Cratera do Meteoro, no Arizona (Fig. 10.1), tenha sido formada pelo impacto de um meteoro com a Terra há cerca de 20.000 anos. Estima-se a massa do meteoro em 5×10^{10} kg e sua velocidade em 7200 m/s. Que velocidade um meteoro assim transmitiria à Terra numa colisão frontal?

Meteor Crater in Arizona, the result of a collision about 20,000 years ago. The crater is about 1200 m wide and 200 m deep.

▶ Seja m_m a massa do meteoro e m_T a massa da Terra. Seja v_m a velocidade do meteoro imediatamente antes da colisão e v a velocidade da Terra (com o meteoro) após a colisão. O momento do sistema Terra-meteoro é conservado durante a colisão. Portanto, no sistema de referência Terra antes da colisão temos

$$m_m v_m = (m_m + m_T)v,$$

de modo que encontramos para v

$$\begin{aligned} v = \frac{v_m m_m}{m_m + m_T} &= \frac{(7200)(5 \times 10^{10})}{5.98 \times 10^{24} + 5 \times 10^{10}} \\ &= 6 \times 10^{-11} \text{ m/s.} \end{aligned}$$

Para ficar mais fácil de imaginar o que seja esta velocidade note que, como $365 \times 24 \times 3600 = 31536000$, temos

$$\begin{aligned} 6 \times 10^{-11} \text{ m/s} &= 6 \times 10^{-11}(31536000) \text{ m/ano} \\ &= 0.00189 \text{ m/ano} \\ &= 1.89 \text{ mm/ano.} \end{aligned}$$

É uma velocidade MUITO difícil de se medir, não?...

E 10-42 (10-21/6^a)

Um trenó em forma de caixa de 6 kg está deslocando-se sobre o gelo a uma velocidade de 9 m/s, quando um pacote de 12 kg é largado de cima para dentro dele. Qual é a nova velocidade do trenó?

▶ Precisamos considerar apenas a componente horizontal do momento do trenó e do pacote. Seja m_t, v_t a massa e a velocidade inicial do trenó. Seja m_p, a massa do pacote e v velocidade final do conjunto trenó + pacote. A componente horizontal do momento deste conjunto conserva-se de modo que

$$m_t v_t = (m_t + m_p)v,$$

de onde tiramos

$$v = \frac{v_t m_t}{m_t + m_p} = \frac{(9)(6)}{6 + 12} = 3 \text{ m/s.}$$

P 10-53 (10-29/6^a)

Um vagão de carga de 35 t colide com um carrinho auxiliar que está em repouso. Eles se unem e 27% da energia cinética inicial é dissipada em calor, som, vibrações, etc. Encontre o peso do carrinho auxiliar.

▶ Seja m_v e v_v a massa e a velocidade inicial do vagão, m_c a massa do carrinho auxiliar e v a velocidade final dos dois, depois de grudarem-se. Conservação do momento total do sistema formado pelos dois carros fornece-nos $m_v v_v = (m_v + m_c)v$ donde tiramos

$$v = \frac{m_v v_v}{m_v + m_c}.$$

A energia cinética inicial do sistema é $K_i = m_v v_v^2/2$ enquanto que a energia cinética final é

$$\begin{aligned} K_f &= \tfrac{1}{2}(m_v + m_c)v^2 \\ &= \tfrac{1}{2}(m_v + m_c)\frac{(m_v v_v)^2}{(m_v + m_c)^2} \\ &= \tfrac{1}{2}\frac{m_v^2 v_v^2}{m_v + m_c}. \end{aligned}$$

Como 27% da energia cinética original é perdida, temos $K_f = 0.73\, K_i$, ou seja,

$$\tfrac{1}{2}\frac{m_v^2 v_v^2}{m_v + m_c} = 0.73\tfrac{1}{2}m_v v_v^2,$$

que, simplificada, fornece-nos $m_v/(m_v + m_c) = 0.73$. Resolvendo para m_c encontramos

$$\begin{aligned} m_c = \frac{0.27}{0.73}m_v = 0.37 m_v &= (0.37)(35) \\ &= 12.95 \text{ toneladas} \\ &= 12.95 \times 10^3 \text{ kg.} \end{aligned}$$

A razão das massas é, obviamente, a mesma razão dos pesos e, chamando de P_v o peso do vagão, temos que o peso P do carrinho auxiliar é

$$\begin{aligned} P = 0.37 P_v &= (0.37)(35 \times 10^3)(9.8) \\ &= 126.91 \times 10^3 \text{ N.} \end{aligned}$$

Observe que o resultado final não depende das velocidades em jogo.

10.2.4 Colisões em Duas Dimensões

E 10-63 (10-49/6^a)

Em um jogo de sinuca, a bola branca atinge outra inicialmente em repouso. Após a colisão, a branca desloca-se a 3.5 m/s ao longo de uma reta em ângulo de 22^o com a sua direção original de movimento, e o módulo da velocidade da segunda bola é de 2 m/s. Encontre **(a)** o ângulo entre a direção de movimento da segunda bola e a direção de movimento original da bola branca e **(b)** a velocidade original da branca. **(c)** A energia cinética se conserva?

▶ **(a)** Use a Fig. 10-20 do livro texto e considere a bola branca como sendo a massa m_1 e a outra bola como sendo a massa m_2. Conservação das componentes x e y do momento total do sistema formado pelas duas bolas nos fornece duas equações, respectivamente:

$$\begin{aligned} mv_{1i} &= mv_{1f}\cos\theta_1 + mv_{2f}\cos\theta_2 \\ 0 &= -mv_{1f}\,\text{sen}\theta_1 + mv_{2f}\,\text{sen}\theta_2. \end{aligned}$$

Observe que as massa podem ser simplificadas em ambas equações. Usando a segunda equação obtemos que

$$\text{sen}\,\theta_2 = \frac{v_{1f}}{v_{2f}}\,\text{sen}\,\theta_1 = \frac{3.5}{2.0}\,\text{sen}\,22^o = 0.656.$$

Portanto o ângulo é $\theta_2 = 41^o$.

(b) Resolvendo a primeria das equações de conservação acima para v_{1i} encontramos

$$\begin{aligned} v_{1i} &= v_{1f}\cos\theta_1 + v_{2f}\cos\theta_2 \\ &= (3.5)\cos 22^o + (2.0)\cos 41^o = 4.75 \text{ m/s}. \end{aligned}$$

(c) A energia cinética inicial é

$$K_i = \tfrac{1}{2}mv_i^2 = \tfrac{1}{2}m(4.75)^2 = 11.3m.$$

A energia cinética final é

$$\begin{aligned} K_f &= \tfrac{1}{2}mv_{1f}^2 + \tfrac{1}{2}mv_{2f}^2 \\ &= \tfrac{1}{2}m\big[(3.5)^2 + (2.0)^2\big] = 8.1m. \end{aligned}$$

Portanto a energia cinética não é conservada.

10.2.5 Problemas Adicionais