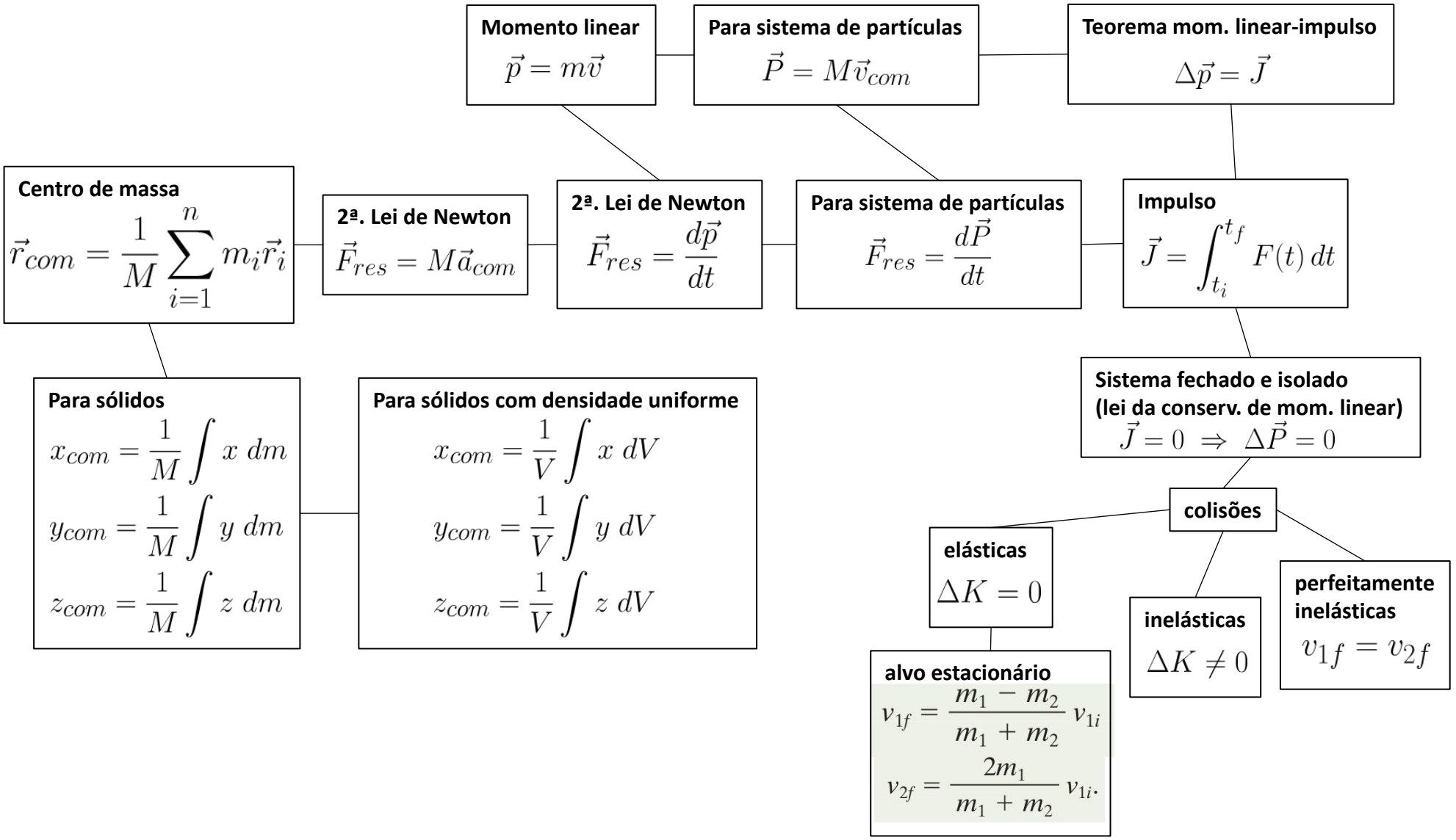
Capítulo 9

Centro de Massa e Momento Linear

WILEY

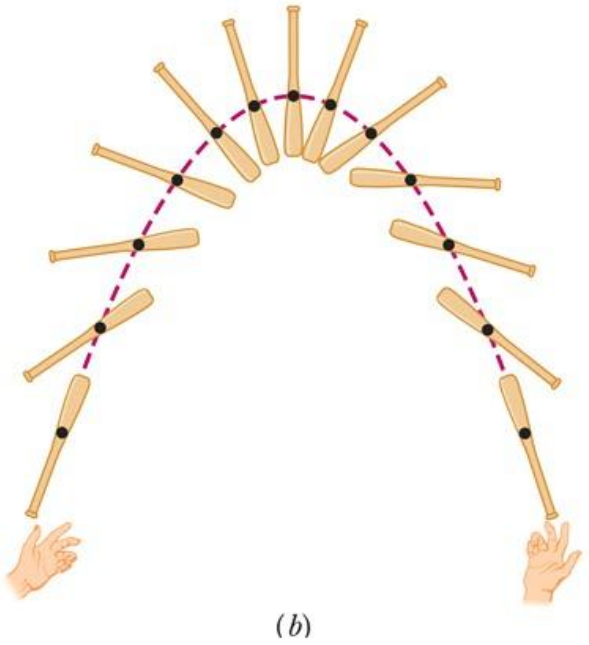
Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Cap. 9 – Centro de massa e momento linear



9-1 Centro de Massa

- O movimento de objetos em rotação pode ser complicado (imagine um bastão de beisebol girando no ar)
- Mas existe um ponto especial no objeto para o qual o movimento é simples
- O centro de massa do bastão traça uma parábola, assim como o faz uma bola (partícula)
- Todos os outros pontos giram ao redor deste ponto



(*b*)

Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Figura 9-1

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-1 Centro de Massa

- O **centro de massa** (com) de um sistema de partículas:

O centro de massa de um sistema de partículas é o ponto que se move como se (1) toda a massa do sistema estivesse concentrada lá e (2) todas as forças externas fossem aplicadas lá.

- Para duas partículas separadas por uma distância *d*, onde a origem é escolhida na posição da partícula 1:

$$x_{\text{com}} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} d. \qquad \textbf{Eq. (9-1)}$$

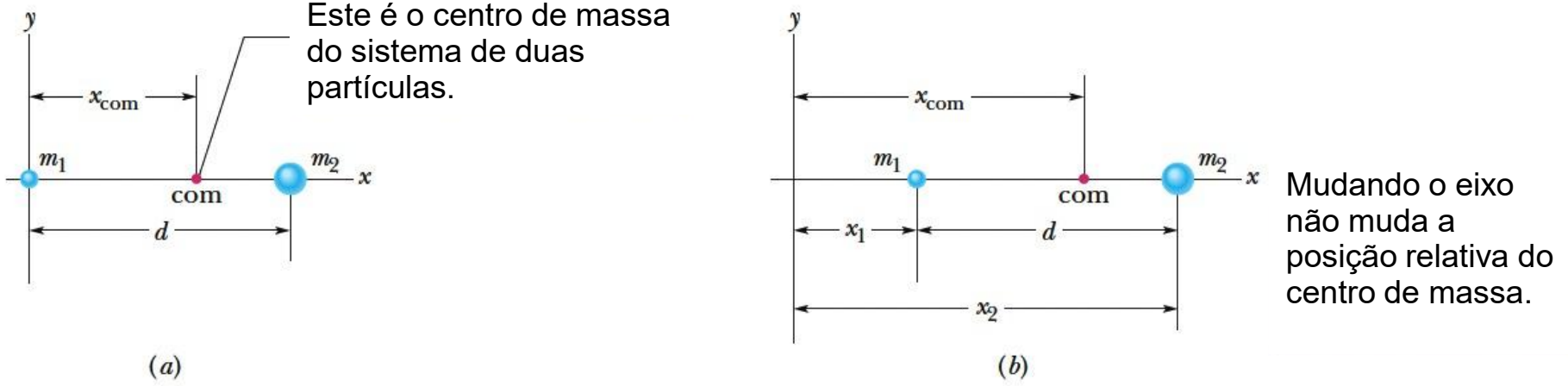
- Para duas partículas numa escolha arbitrária da origem:

$$x_{\text{com}} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}. \qquad \textbf{Eq. (9-2)}$$

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-1 Centro de Massa

- O centro de massa é no mesmo ponto não importa o sistema de coordenadas usado
- É uma propriedade das partículas, não de coordenadas



Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Figura 9-2

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-1 Centro de Massa

- Para muitas partículas podemos generalizar a equação, onde $M = m_1 + m_2 + \ldots + m_n$:

$$x_{\text{com}} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \cdots + m_n x_n}{M}$$

$$= \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{n} m_i x_i .$$

Eq. (9-4)

- Em três dimensões encontramos o centro de massa ao longo de cada eixo separadamente:

$$x_{\text{com}} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{n} m_i x_i, \qquad y_{\text{com}} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{n} m_i y_i, \qquad z_{\text{com}} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{n} m_i z_i .$$

Eq. (9-5)

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-1 Centro de Massa

- Podemos escrever em termos de vetores:

$$\vec{r}_{\text{com}} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r}_i, \qquad \textbf{Eq. (9-8)}$$

- Para um corpo sólido, tomamos o limite de uma soma infinita de partículas infinitesimais → integração!
- Coordenada-por-coordenada, escrevemos:

$$x_{\text{com}} = \frac{1}{M}\int x\, dm, \qquad y_{\text{com}} = \frac{1}{M}\int y\, dm, \qquad z_{\text{com}} = \frac{1}{M}\int z\, dm,$$

Eq. (9-9)

- Aqui *M* é a massa do objeto

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-1 Centro de Massa

- Nos limitamos a objetos com densidade uniforme, ρ, por questão de simplicidade

$$\rho = \frac{dm}{dV} = \frac{M}{V}, \qquad \text{Eq. (9-10)}$$

- Substituindo, encontramos o centro de massa:

$$x_{\text{com}} = \frac{1}{V}\int x\,dV, \qquad y_{\text{com}} = \frac{1}{V}\int y\,dV, \qquad z_{\text{com}} = \frac{1}{V}\int z\,dV.$$

Eq. (9-11)

- Podemos simplificar ainda mais se o objeto tem simetria

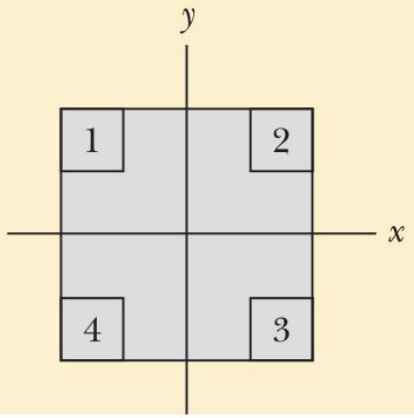
© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-1 Centro de Massa

- O centro de massa recai em um ponto de simetria (se existe um)
- Recai numa linha ou plano de simetria (se existe um)
- Não precisa ser sobre o objeto (p. ex. uma donut)

Checkpoint 1

A figura mostra uma placa quadrada uniforme da qual quatro quadrados idênticos nos cantos serão removidos. (a) Onde é o centro de massa da placa originalmente? Onde é após a remoção do (b) quadrado 1; (c) quadrados 1 e 2; (d) quadrados 1 e 3; (e) quadrados 1, 2, e 3; (f) todos os quatro quadrados? Responda em termos de quadrantes, eixos, ou pontos (sem calcular).



Answer: (a) at the origin (b) in Q4, along y=-x (c) along the -y axis

(d) at the origin (e) in Q3, along y=x (f) at the origin

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-1 Centro de Massa

Exemplo Subtraindo

- Tarefa: encontrar o *c.m.* de um disco com outro disco retirado do primeiro:
- Encontrar o *c.m.* de cada disco individual (começar pelo debaixo)
- Encontrar o c.m. dos dois *c.m.* individuais (um para cada disco), tratando o que foi recortado como tendo massa negativa
- Ao lado, com_C é o centro de massa do dos discos *P* e *S* combinados
- com_P é o centro de massa da placa com o disco *S* removido

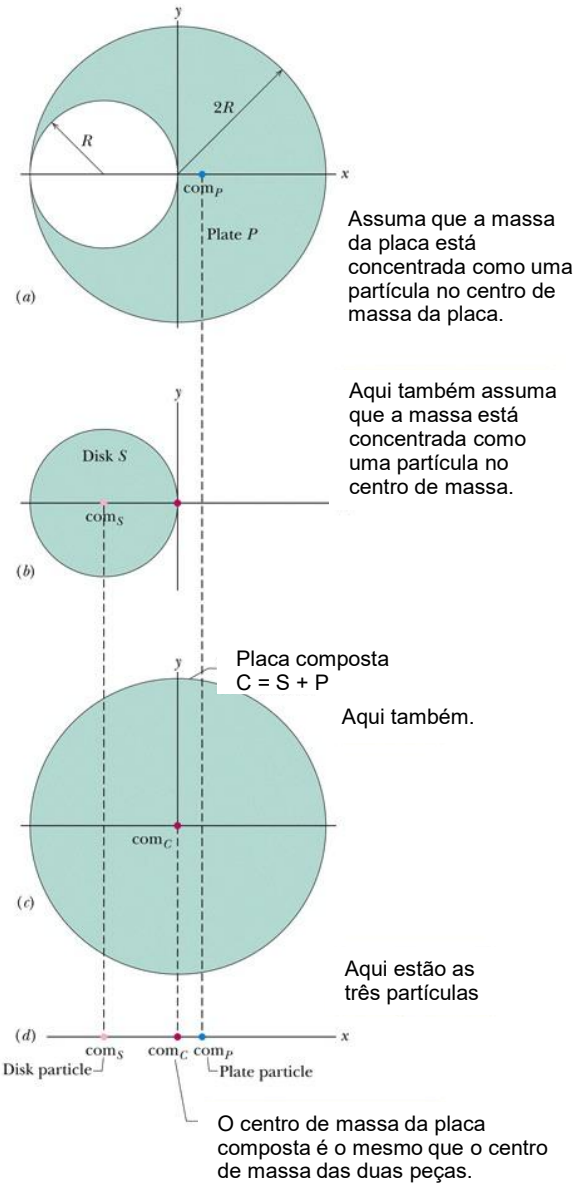


Figura 9-4

Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-2 Segunda Lei de para um Sistema de Partículas

- Movimento do c.m. continua sem ser afetado por forças internas do sistema (colisões entre bolas de bilhar)
- Movimento do c.m. de um sistema:

$$\vec{F}_{\text{net}} = M\vec{a}_{\text{com}} \quad \text{(sistema de partículas).} \qquad \textbf{Eq. (9-14)}$$

$$F_{\text{net},x} = Ma_{\text{com},x} \qquad F_{\text{net},y} = Ma_{\text{com},y} \qquad F_{\text{net},z} = Ma_{\text{com},z}.$$

Eq. (9-15)

- Lembretes:
  1. F_{net} é a soma de todas as *forças externas (resultante)*
  2. M é a massa total e constante do sistema **fechado**
  3. a_{com} é a aceleração do *centro de massa*

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6-2 Segunda Lei de para um Sistema de Partículas

Exemplos Usando a eq. de mov. do centro de massa:

- Colisão no bilhar: forças são internas apenas, $F = 0$ e $a = 0$
- Bastão de beisebol: $a = g$, logo c.m. segue trajetória gravitacional
- Fogos explodindo: forças da explosão são internas, então somente a força gravitacional age no sistema e o c.m. segue trajetória gravitacional desde que a resistência do ar possa ser ignorada para os fragmentos.

As forças internas da explosão não podem alterar a trajetória do centro de massa.

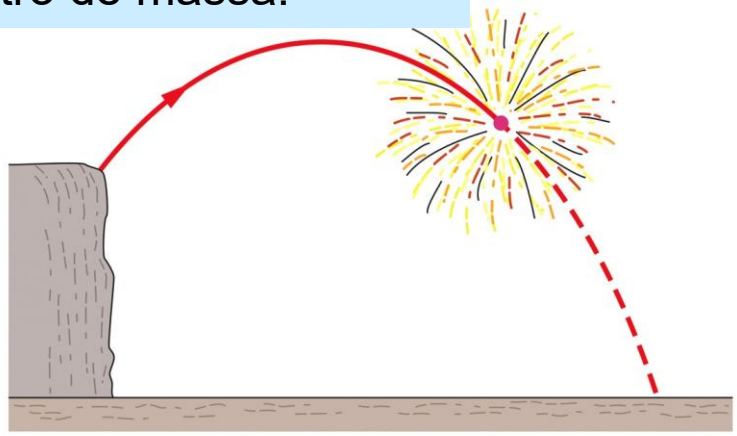


Figure 9-5

Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-2 Segunda Lei de para um Sistema de Partículas

Checkpoint 2

Dois patinadores sobre gelo sem atrito seguram os lados opostos de uma haste de massa desprezível. Um eixo se encontra sobre ela, com origem no centro de massa do sistema dos dois patinadores. Um patinador, Fred, pesa o dobro que a outra patinadora, Ethel. Onde os patinadores se encontram se (a) Fred puxa mão ante mão ao longo da haste de modos a puxar Ethel para si, (b) Ethel puxa mão ante mão para levar a si mesma até Fred, e (c) ambos os patinadores puxam mão ante mão?

Answer: The system consists of Fred, Ethel and the pole. All forces are internal. Therefore the com will remain in the same place. Since the origin is the com, they will meet at the origin in all three cases! (Of course the origin where the com is located is closer to Fred than to Ethel.)

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-3 Momento Linear

- O **momento linear** é definido como:

$$\vec{p} = m\vec{v} \qquad \textbf{Eq. (9-22)}$$

- O momento:
  - Aponta no mesmo sentido e direção que a velocidade
  - Só pode ser alterado por uma força externa

A taxa temporal de alteração de momento de uma partícula é igual à força resultante agindo sobre a partícula e está na direção daquela força.

- Podemos escrever a segunda lei de Newton como:

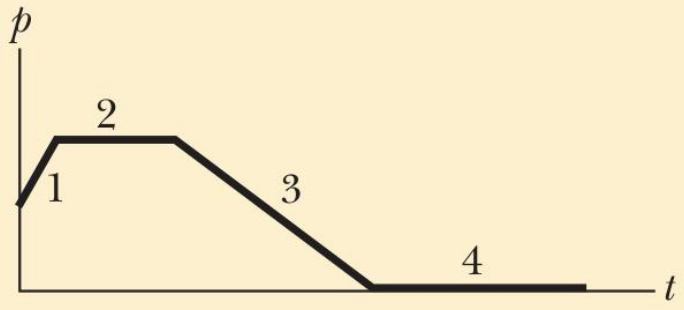
$$\vec{F}_{\text{net}} = \frac{d\vec{p}}{dt}. \qquad \textbf{Eq. (9-23)}$$

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-3 Momento Linear

Checkpoint 3

A figura fornece a magnitude p do momento linear versus o tempo t para uma partícula se movendo ao longo de um eixo. Uma força direcionada ao longo do eixo age sobre a partícula. (a) Ordene as quatro regiões indicadas de acordo com a magnitude da força, a maior primeiro. (b) Em qual região a partícula está desacelerando?



Answer: (a) 1, 3, 2 & 4 (b) region 3

- Podemos somar os momentos para um sistema de partículas para encontrar:

$$\vec{P} = M\vec{v}_{\text{com}} \quad \text{(momento linear, sistema de partículas),}$$

Eq. (9-25)

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-3 Momento Linear

O momento linear de um sistema de partículas é igual ao produto da massa total M do sistema e a velocidade do centro de massa.

- Tomando a derivada temporal podemos escrever a segunda lei de Newton para um sist. de partículas como:

$$\vec{F}_{\text{net}} = \frac{d\vec{P}}{dt} \quad \text{(sistema de partículas)}, \qquad \textbf{Eq. (9-27)}$$

- A força externa resultante num sistema altera seu momento linear
- Sem uma força resultante externa, o momento linear total de um sistema não pode mudar

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-4 Impulso e Colisão

- Numa colisão, o momento da partícula pode mudar
- Definimos o **impulso *J*** agindo durante uma colisão:

$$\vec{J} = \int_{t_i}^{t_f} \vec{F}(t)\, dt \qquad \textbf{Eq. (9-30)}$$

- Isto significa que o impulso aplicado é igual à variação de momento do objeto durante a colisão:

$$\Delta\vec{p} = \vec{J} \quad \text{(teorema do momento linear-impulso).} \qquad \textbf{Eq. (9-31)}$$

- Esta equação pode ser reescrita componente por componente, como outras equações vetoriais

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-4 Impulso e Colisão

- Dada F_{avg} e a duração:

$$J = F_{\text{avg}}\,\Delta t. \qquad \textbf{Eq. (9-35)}$$

- Integrando: precisamos saber apenas a área embaixo da curva de força

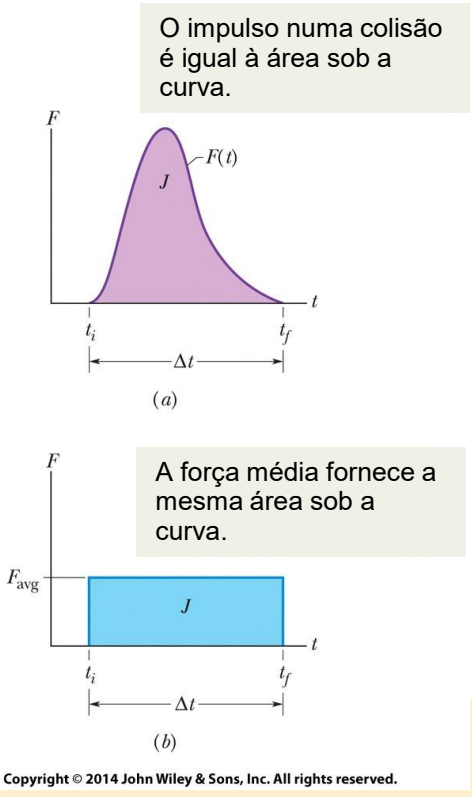


Figura 9-9

Checkpoint 4

Um paraquedista cujo paraquedas falha ao abrir aterrissa na neve; ele se machuca levemente. Tivesse ele aterrissado no chão duro, o tempo de parada teria sido 10 vezes menor e a colisão letal. A presença da neve aumenta, diminui ou mantém inalterados os valores de (a) a variação de momento do paraquedista, (b) o impulso de parada do paraquedista, e (c) a força de parada do paraquedista?

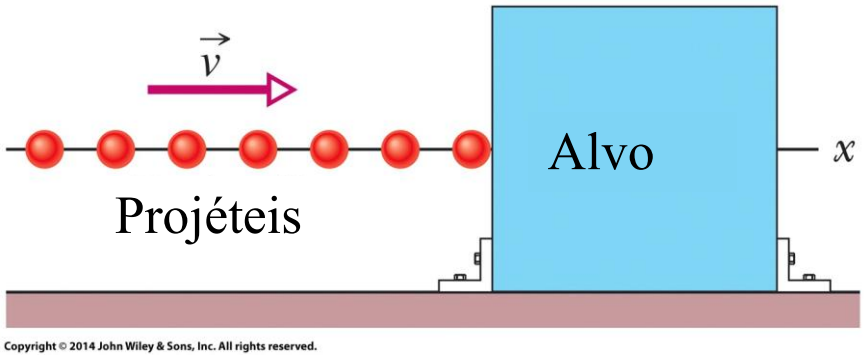
Answer: (a) unchanged (b) unchanged (c) decreased

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-4 Impulso e Colisão

- Para uma sequência de *n* projéteis, cada um passa por uma variação de momento *Δp*

$$J = -n\,\Delta p, \quad \textbf{Eq. (9-36)}$$



Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Figure 9-10

- A força média é: $$F_{\text{avg}} = \frac{J}{\Delta t} = -\frac{n}{\Delta t}\Delta p = -\frac{n}{\Delta t} m\,\Delta v. \quad \textbf{Eq. (9-37)}$$
- Se a partícula para:

$$\Delta v = v_f - v_i = 0 - v = -v, \quad \textbf{Eq. (9-38)}$$

- Se as partículas ricocheteiam para trás com velocidade igual: $$\Delta v = v_f - v_i = -v - v = -2v. \quad \textbf{Eq. (9-39)}$$

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

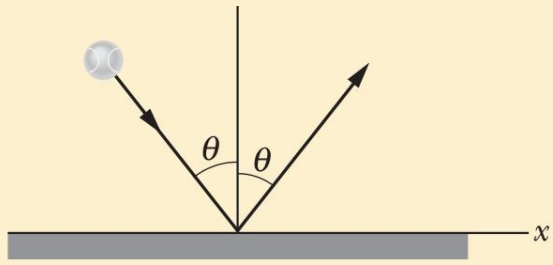
9-4 Impulso e Colisão

- O produto *n.m* é a massa total para *n* colisões então podemos escrever:

$$F_{\text{avg}} = -\frac{\Delta m}{\Delta t}\Delta v. \quad \textbf{Eq. (9-40)}$$

Checkpoint 5

A figura mostra uma vista de cima de uma bola quicando numa parede vertical sem alteração no módulo de sua velocidade. Considere a variação no momento linear da bola. (a) A componente em x da variação é positiva, negativa ou zero? (b) A componente em y é positiva, negativa ou zero? (c) Qual a direção e sentido da variação?



Answer: (a) zero (b) positive (c) along the positive *y*-axis (normal force)

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-5 Conservação de Momento Linear

- Para um impulso igual a zero encontramos:

$$\vec{P} = \text{constant} \quad \text{(closed, isolated system)}. \qquad \text{Eq. (9-42)}$$

- O que quer dizer que:

Se nenhuma força externa age sobre um sistema de partículas, o momento linear total ***P*** do sistema não pode mudar.

- Isto é chamado de **lei da conservação do momento linear**
- Verifique as componentes da força resultante externa para saber se pode aplicar isto

Se a componente da força externa resultante num sistema fechado é zero ao longo de um eixo, então a componente do momento linear do sistema ao longo daquele eixo não pode mudar.

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-5 Conservação de Momento Linear

- Forças internas podem alterar os momentos de partes do sistema, mas não podem mudar o momento linear de todo o sistema
- Não confunda momento com energia



Checkpoint 6

Um dispositivo inicialmente estacionário repousando sobre uma superfície sem atrito explode em duas partes, as quais então escorregam sobre o chão, uma delas na direção e sentido positivo de x. (a) Qual é a soma dos momentos das duas peças após a explosão? (b) Pode a segunda parte se mover num ângulo com relação ao eixo x? (c) Qual é a direção e sentido do momento da segunda parte?

Answer: (a) zero (b) no (c) the negative *x* direction

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-6 Momento e Energia Cinética em Colisões

- Tipos de colisões:
- **Colisões elásticas**:
  - Energia cinética total permanece inalterada (conservada)
  - Uma aproximação útil para situações cotidianas
  - Em colisões reais, alguma energia é sempre transferida
- **Colisões inelásticas**: alguma energia é transferida
- **Colisões perfeitamente inelásticas**:
  - Os objetos ficam grudados
  - Grande perda de energia cinética

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-6 Momento e Energia Cinética em Colisões

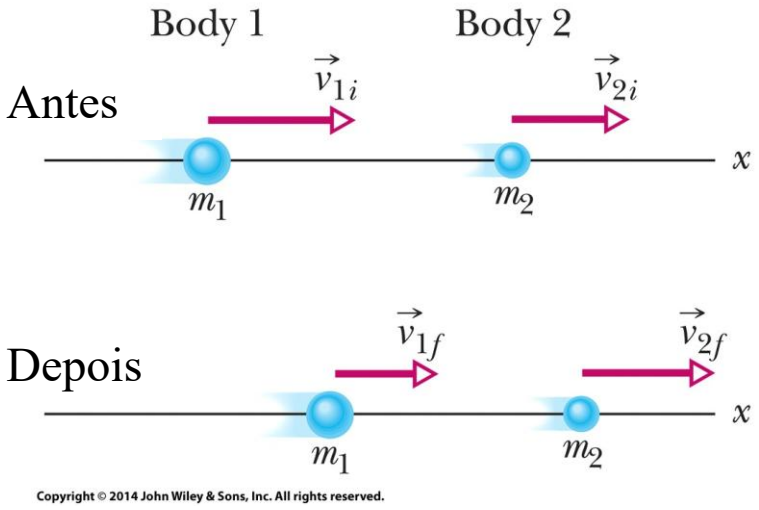
- Para uma dimensão:
- Colisão inelástica

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}. \qquad \textbf{Eq. (9-51)}$$

- Colisão perfeitamente inelástica, alvo em repouso:

$$m_1 v_{1i} = (m_1 + m_2) V \qquad \textbf{Eq. (9-52)}$$

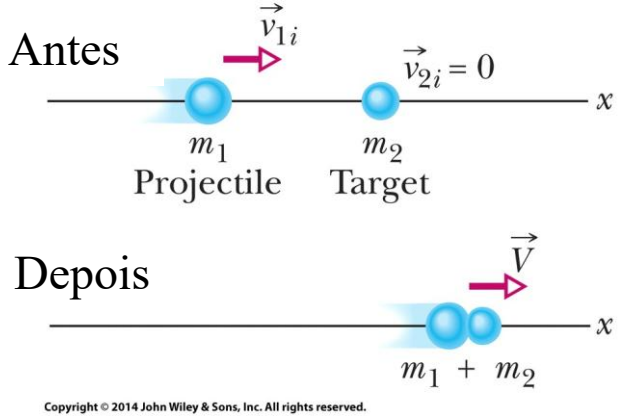
Aqui está a montagem genérica para uma colisão inelástica.



Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Figura 9-14

Em uma colisão totalmente inelástica, os corpos ficam grudados.



Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Figura 9-15

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

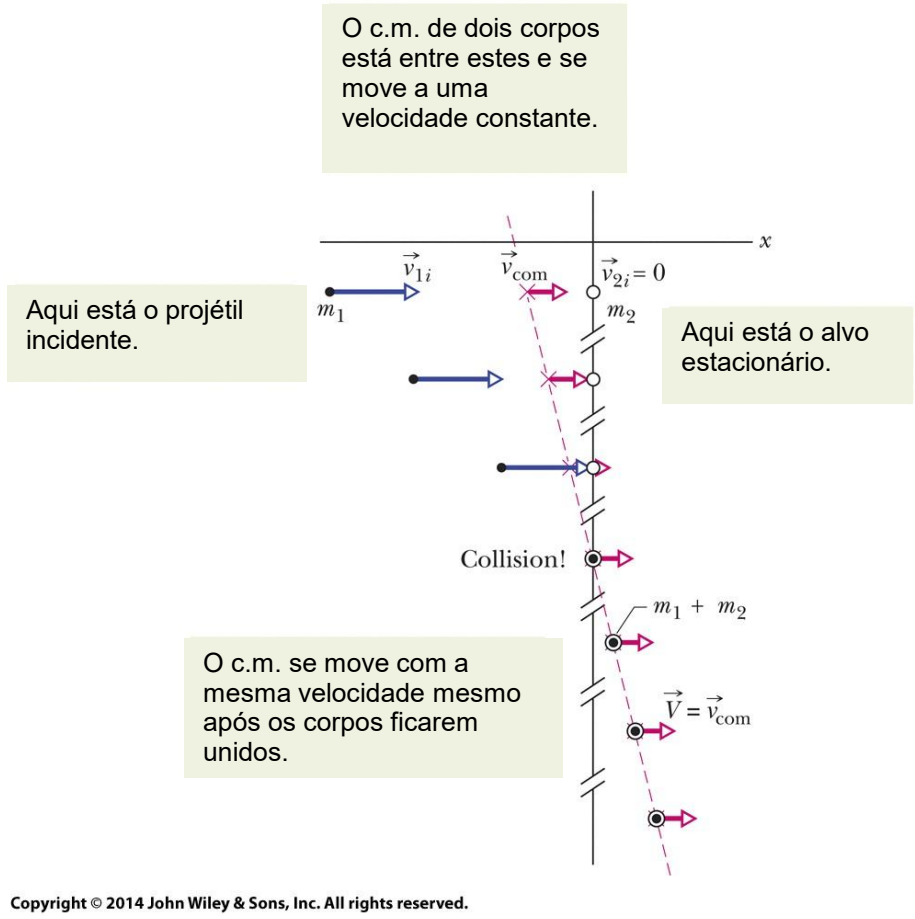
9-6 Momento e Energia Cinética em Colisões

- A velocidade do centro de massa permanece inalterada

$$\vec{v}_{\text{com}} = \frac{\vec{P}}{m_1 + m_2} = \frac{\vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i}}{m_1 + m_2}.$$

Eq. (9-56)

- Figura 9-16 mostra quadro a quadro a colisão perfeitamente inelástica, mostrando a velocidade do centro de massa



Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Figure 9-16

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-6 Momento e Energia Cinética em Colisões



Checkpoint 7

O corpo 1 e o corpo 2 estão numa colisão totalmente inelástica unidimensional. Qual é seu momento se seus momentos iniciais são respectivamente, (a) 10 kg.m/s e 0; (b) 10 kg.m/s e 4 kg.m/s; (c) 10 kg.m/s e -4 kg.m/s ?

Answer: (a) 10 kg m/s (b) 14 kg m/s (c) 6 kg m/s

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-7 Colisões Elásticas em Uma Dimensão

- Energia cinética total é conservada em colisões elásticas

Numa colisão elástica, a energia cinética de cada corpo colidindo pode mudar, mas a energia cinética total do sistema não pode mudar.

- Para um alvo estacionário, leis de conservação nos dá:

$$m_1 v_{1i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f} \quad \text{(momento linear).} \qquad \textbf{Eq. (9-63)}$$

$$\tfrac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 = \tfrac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \tfrac{1}{2} m_2 v_{2f}^2 \quad \text{(energia cinética).} \qquad \textbf{Eq. (9-64)}$$

Aqui está a montagem genérica para colisão elástica com alvo estacionário.

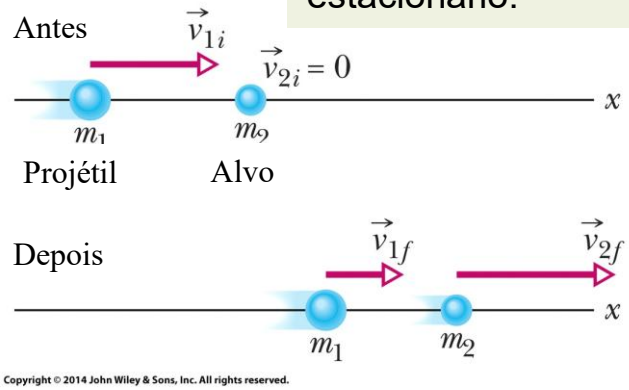


Figure 9-18

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-7 Colisões Elásticas em Uma Dimensão

- Com alguma álgebra obtemos:

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} \qquad \text{Eq. (9-67)}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i}. \qquad \text{Eq. (9-68)}$$

- Resultados
  - Massas iguais: $v_{1f} = 0$, $v_{2f} = v_{1i}$: o 1º. objeto para
  - Alvo massivo, $m_2 >> m_1$: o 1º. objeto retorna, velocidade quase inalterada
  - Projétil massivo: $v_{1f} \approx v_{1i}$, $v_{2f} \approx 2v_{1i}$: o 1º. objeto continua indo. O alvo voa pra frente com o dobro da velocidade

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-7 Colisões Elásticas em Uma Dimensão

- Para um alvo que se move, obtemos:

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_{2i} \quad \textbf{Eq. (9-75)}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_{2i}. \quad \textbf{Eq. (9-76)}$$

Aqui está a montagem genérica para colisão elástica com alvo móvel.

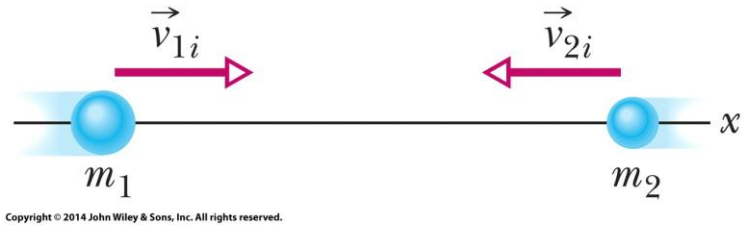


Figura 9-19

Checkpoint 8

Qual é o momento linear final do alvo da Fig. 9-18 se o momento linear inicial do projétil é 6 kg.m/s e o momento linear final do projétil é (a) 2 kg.m/s e (b) -2 kg.m/s? (c) Qual é a energia cinética final do alvo se as energias cinéticas inicial e final dos projéteis são, respectivamente, 5 L e 2 J ?

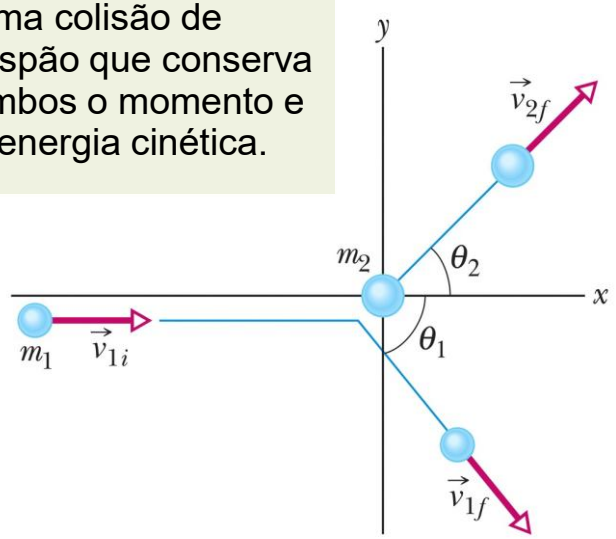
Answer: (a) 4 kg m/s (b) 8 kg m/s (c) 3 J

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-8 Colisões em Duas Dimensões

- Aplicar a conservação de momento ao longo de cada eixo
- Aplicar conservação de energia para colisões elásticas

Uma colisão de raspão que conserva ambos o momento e a energia cinética.



Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Figura 9-21

Exemplo Para Fig. 9-21 para um alvo imóvel:

- Em x: $$m_1 v_{1i} = m_1 v_{1f} \cos\theta_1 + m_2 v_{2f} \cos\theta_2, \qquad \textbf{Eq. (9-79)}$$
- Em y: $$0 = -m_1 v_{1f} \sin\theta_1 + m_2 v_{2f} \sin\theta_2. \qquad \textbf{Eq. (9-80)}$$
- Energia: $$\tfrac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 = \tfrac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \tfrac{1}{2} m_2 v_{2f}^2 \qquad \textbf{Eq. (9-81)}$$

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-8 Colisões em Duas Dimensões

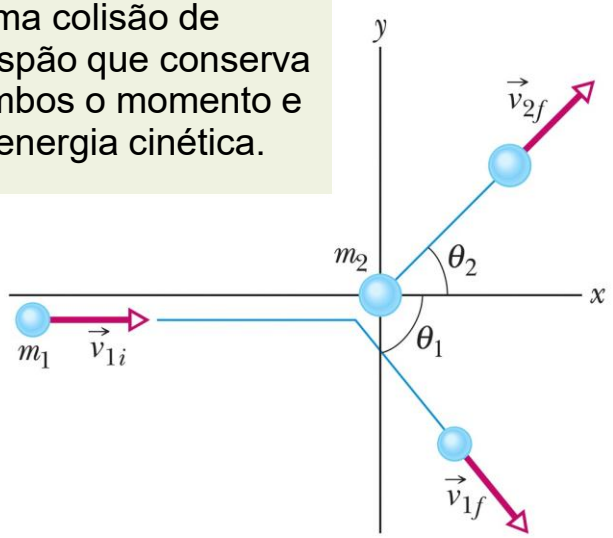
- Estas 3 equações para um alvo imóvel possuem 7 variáveis desconhecidas (desde que $v_{2i} = 0$) : se sabemos 4 delas podemos resolver para as demais.

Checkpoint 9

Na Fig. 9-21, suponha que o projétil tem um momento inicial 6 kg.m/s, uma componente final em x de 4 kg.m/s, e uma componente final em y de -3 kg.m/s. Para o alvo, quais então são (a) a componente final em x do momento e (b) a final em y do momento?

Answer: (a) 2 kg m/s (b) 3 kg m/s

Uma colisão de raspão que conserva ambos o momento e a energia cinética.



Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Figura 9-21

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-9 Sistemas com Variação de Massa: Um Foguete

- Foguete e exaustão formam um sistema isolado
- Conserva momento

  $P_i = P_f$
- Reescrevemos como:

$$Mv = -dM\,U + (M + dM)(v + dv),$$

Eq. (9-83)

- *** *dM* é negativa!!!!!
- Simplificamos usando veloc. relativa, definida como:

$$U = v + dv - v_{\text{rel}}.$$

Eq. (9-84)

A ejeção de massa na traseira de um foguete aumenta sua velocidade.

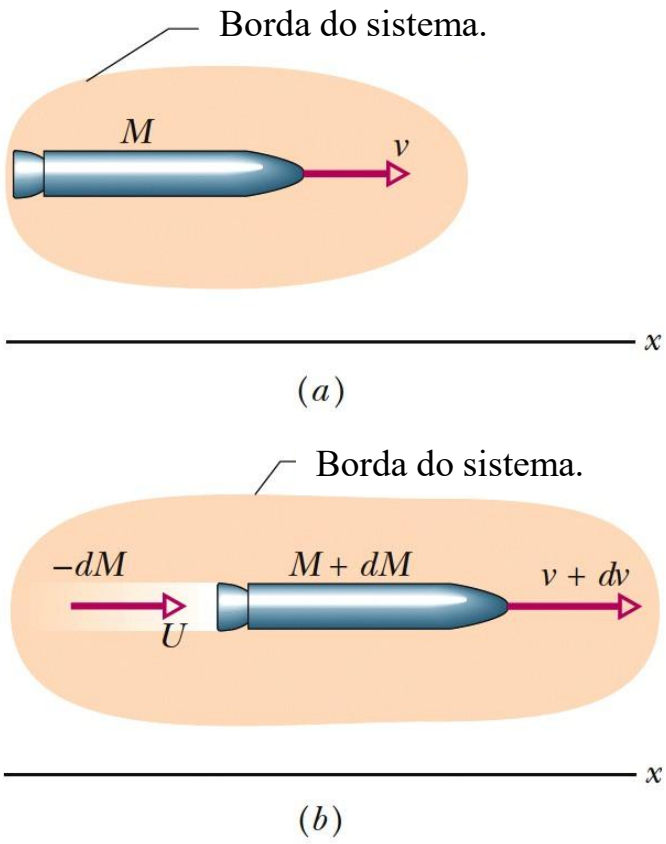


Figura 9-22

Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9-9 Sistemas com Variação de Massa: Um Foguete

- Depois de substituir na Eq. 9-83 e alguma álgebra, a primeira equação de foguete é:

$$Rv_{\text{rel}} = Ma \qquad \textbf{Eq. (9-87)}$$

- *R* é a taxa de consumo de combustível (massa/tempo)
- O lado esquerdo da equação é o ***empuxo***, *T*
- Cálculo da variação de velocidade para um dado consumo de combustível como a segunda equação do foguete:

$$v_f - v_i = v_{\text{rel}} \ln \frac{M_i}{M_f} \qquad \textbf{Eq. (9-88)}$$

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9 Sumário

Momento Linear & 2ª. Lei de Newton

- Mom. Linear definido como:

$$\vec{P} = M\vec{v}_{\text{com}} \qquad \textbf{Eq. (9-25)}$$

- 2ª. Lei de Newton:

$$\vec{F}_{\text{net}} = \frac{d\vec{P}}{dt} \qquad \textbf{Eq. (9-27)}$$

Conservação de Momento Linear

$$\vec{P} = \text{constant} \quad \text{(closed, isolated system).}$$

Eq. (9-42)

Colisão e Impulso

- Definido como:

$$\vec{J} = \int_{t_i}^{t_f} \vec{F}(t)\, dt \qquad \textbf{Eq. (9-30)}$$

- Impulso causa variações no momento linear

Colisão Inelástica em 1D

- Momento é conservado ao longo daquela dimensão

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

Eq. (9-51)

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9 Sumário

Movimento do Centro de Massa

- Não é afetado por colisões/forças internas

Colisões em Duas Dimensões

- Aplicar conservação de momento ao longo de cada eixo individualmente
- Conserva *K* se elástica

Colisões Elásticas em Uma Dimensão

- *K* também é conservada

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} \qquad \textbf{Eq. (9-67)}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i}. \qquad \textbf{Eq. (9-68)}$$

Sist. de Massa Variável

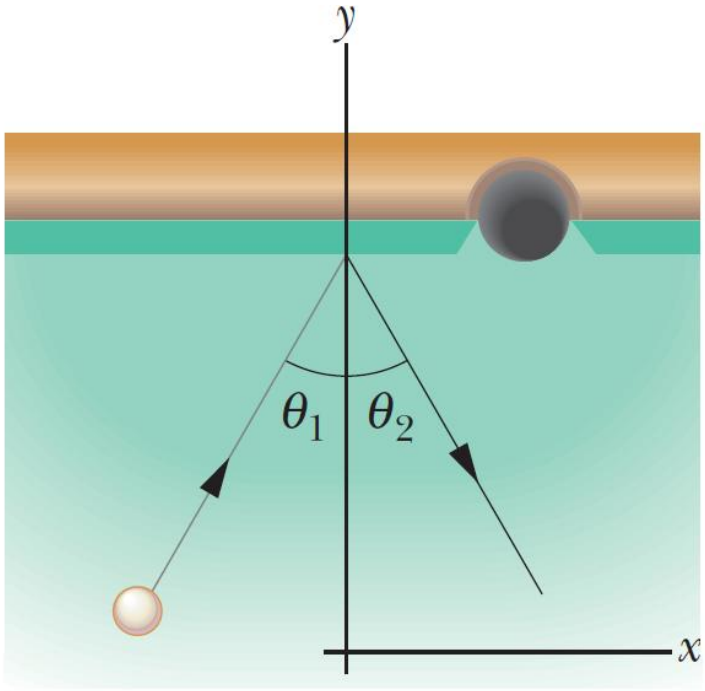
$$Rv_{\text{rel}} = Ma \quad \text{(first rocket equation).} \qquad \textbf{Eq. (9-87)}$$

$$v_f - v_i = v_{\text{rel}} \ln \frac{M_i}{M_f} \quad \text{(second rocket equation)} \qquad \textbf{Eq. (9-88)}$$

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9 Problemas

22) A figura abaixo mostra a vista de cima da trajetória de uma bola de bilhar com massa 0,165 kg, a qual se choca com a parte lateral da mesa. A velocidade inicial da bola é 2,00 m/s e o ângulo $\theta_1 = 30{,}0^o$. O choque reverte a componente y da velocidade da bola, mas não altera a componente x. Quais são (a) o ângulo θ_2 e (b) a variação no momento linear da bola em unidades de vetores unitários? (O fato da bola rolar é irrelevante para este problema).



© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9 Problemas

23) Até seus setenta anos, Henri LaMotte (figura ao lado) entreteve audiências se jogando de uma altura de 12 m em uma tina de água com 30 cm de profundidade. Assumindo que ele para exatamente quando atinge o fundo da tina de água e que sua massa era de 75 kg, encontre o impulso ocasionado nele pela água.



George Long/Getty Images, Inc.

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

9 Lista de exercícios

Halliday 9ª. Edição

Cap. 9:

Problemas 3; 13; 17; 26; 34; 45; 56; 64; 73; 77

Ou

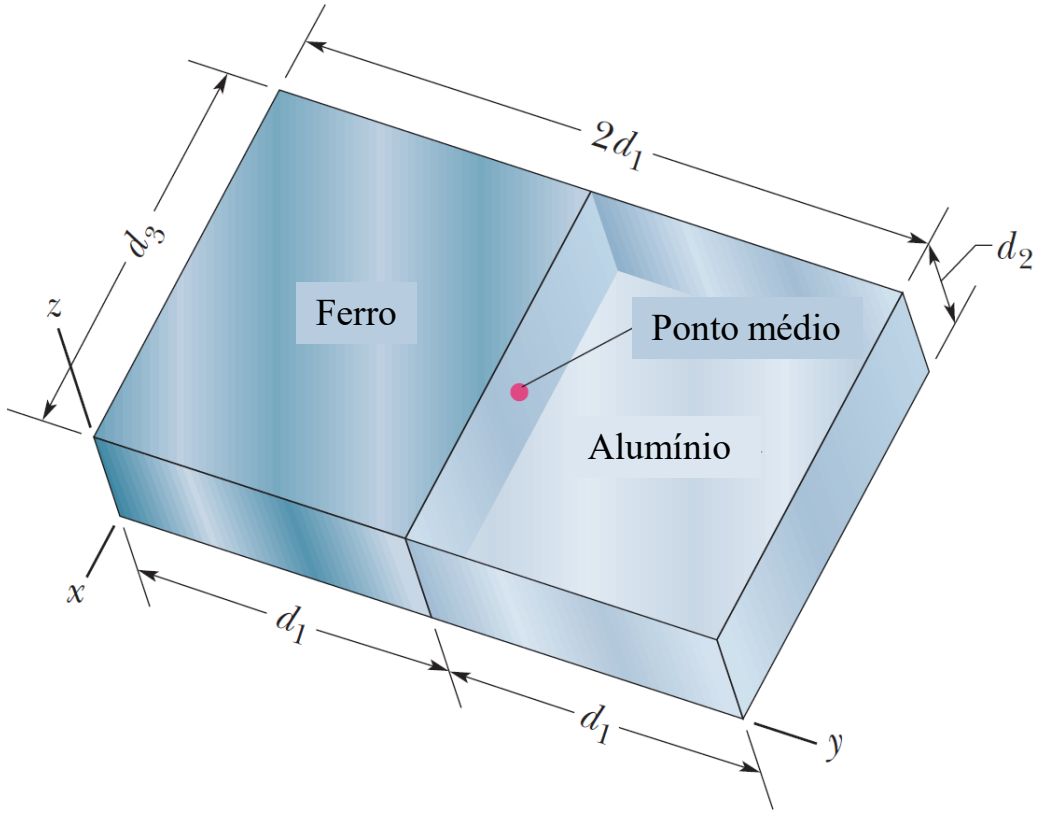
Halliday 10ª. Edição

Cap. 9:
Problemas 3; 13; 17; 26; 34; 45; 56; 64; 73; 77

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 9-3

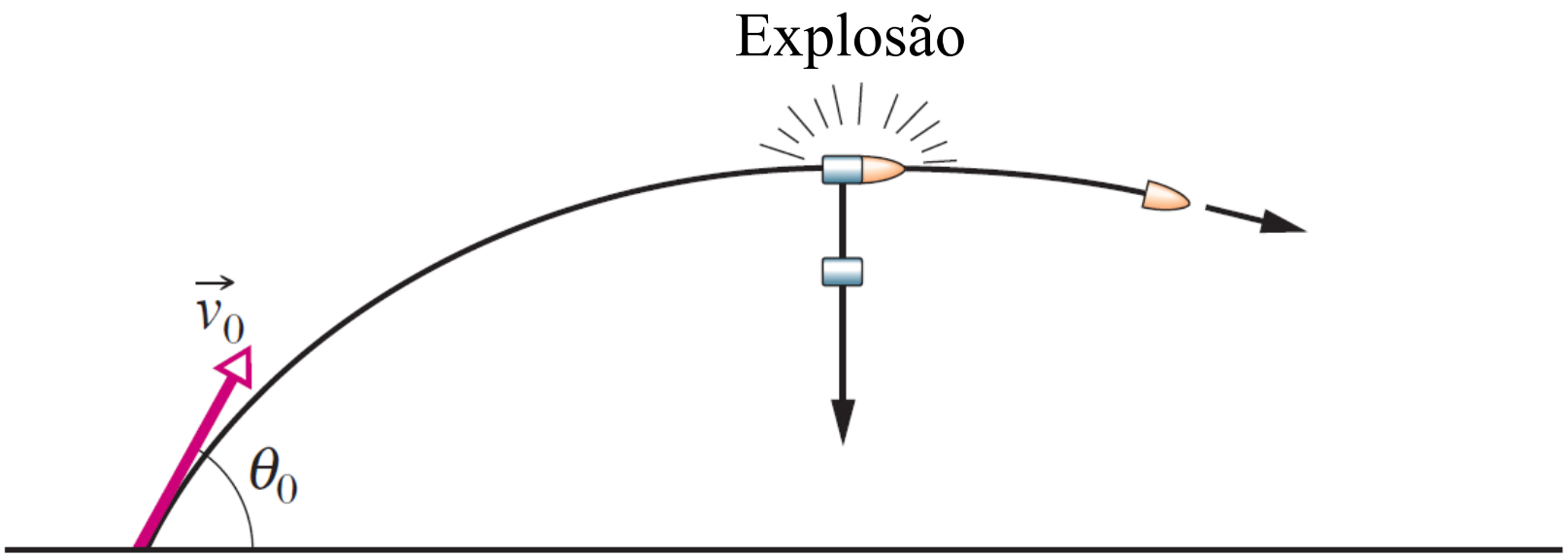
A figura abaixo mostra um sólido com dimensões d_1 = 11,0 cm; d_2 = 2,80 cm; e d_3 = 13,0 cm. Metade do sólido é composta de Alumínio (densidade 2,70 g/cm^3) e metade composta por Ferro (densidade 7,85 g/cm^3). Encontre as coordenadas do centro de massa deste sólido.



© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 9-13

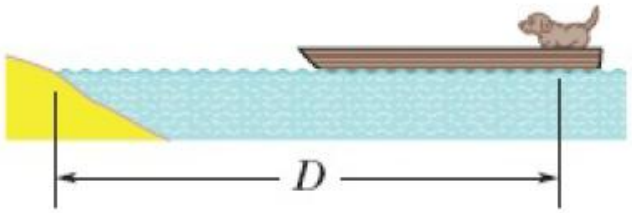
Um projétil é atirado com velocidade inicial de 20 m/s com um ângulo de 60 graus com a horizontal. Exatamente no topo da trajetória, o projétil explode em dois fragmentos com massas iguais (figura abaixo). Um fragmento, cuja velocidade imediatamente após a explosão é zero, cai verticalmente. Quão longe do canhão disparador aterrissará o outro fragmento, assumindo que o terreno é nivelado e que a resistência do ar é desprezível?



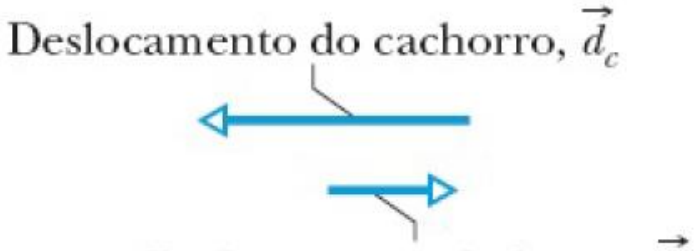
© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 9-17

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.)



(a)



(b)

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 9-26

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?

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 9-34

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.

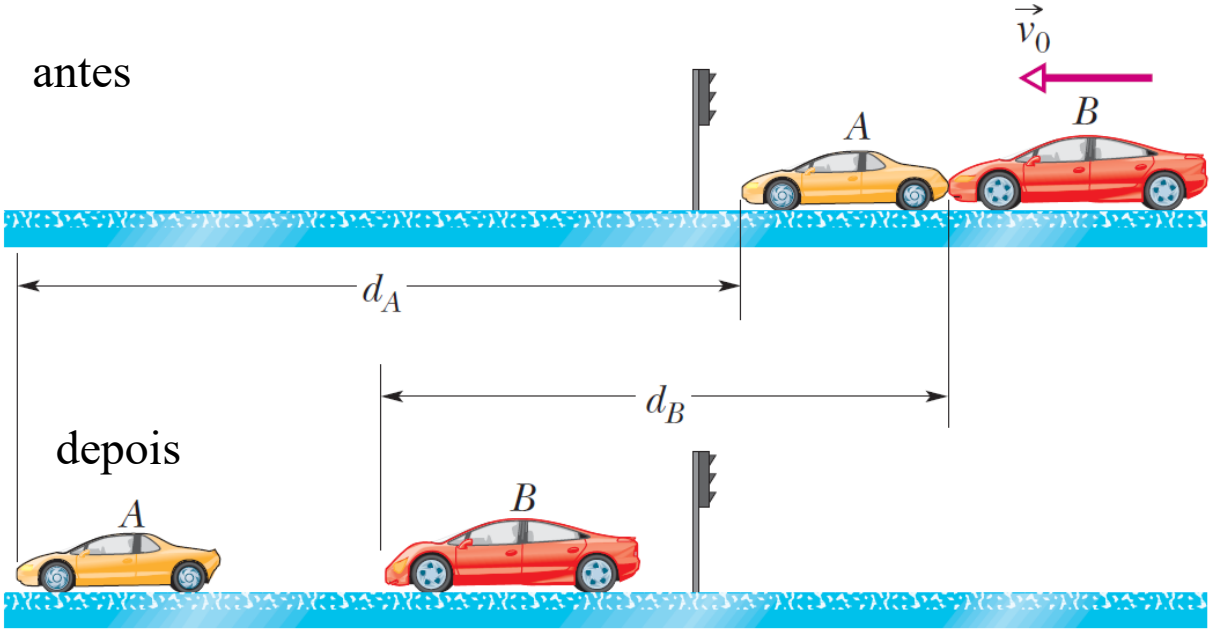
Problema 9-45

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.

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 9-56

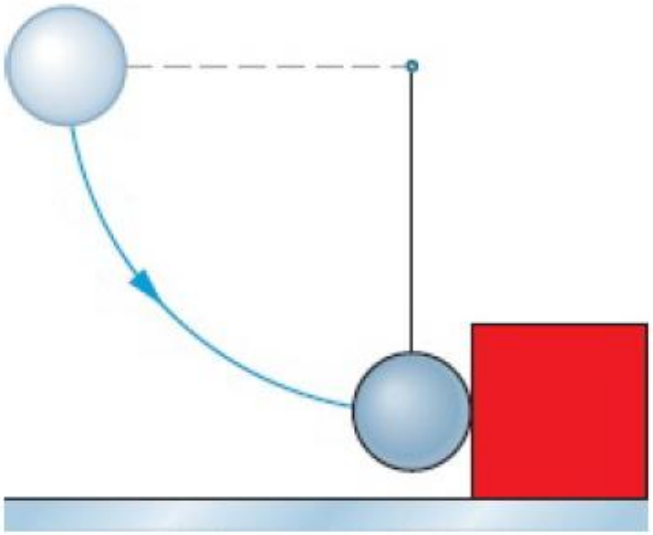
No instante “antes” da figura abaixo, o carro A (massa de 1.100 kg) está parado num semáforo quando é atingido por trás pelo carro B (massa de 1.400 kg). Ambos os carros então deslizam com as rodas travadas até que a força de atrito dos pneus com a rodovia (com coeficiente de atrito cinético mínimo de 0,13) consegue pará-los a uma distância de 8,2 m para o carro A e 6,1 m para o carro B. Quais são as velocidades de (a) carro A e (b) carro B no início do deslizamento, imediatamente após a colisão? (c) Assumindo que o momento linear é conservado durante a colisão, encontre a velocidade do carro B imediatamente antes da colisão. (d) Explique porque esta suposição pode não ser válida.



© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 9-64

Uma bola de aço, de massa 0,500 kg, está presa em uma extremidade de uma corda de 70,0 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 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.



© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

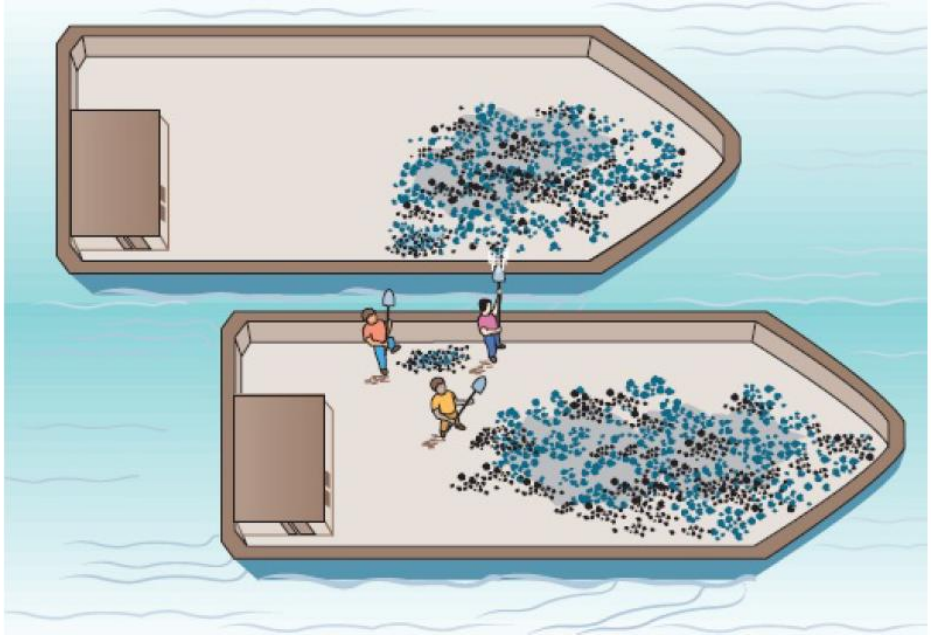
Problema 9-73

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.

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 9-77

Na Fig. 9-70, duas longas barcaças 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 barcaças e que a força de atrito entre as barcaças e a água não depende da massa das barcaças.



© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.