

Equação (2.8), como já era esperado. Substituindo essa expressão de v na Equação (2.18), obtemos

$$x = x_0 + \int_0^t v \, dt = x_0 + \int_0^t (v_0 + at) \, dt.$$

Podemos colocar v_0 e a para fora do sinal de integral porque essas grandezas são constantes. Logo

$$x = x_0 + v_0 \int_0^t dt + a \int_0^t t \, dt = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2.$$

Esse resultado é idêntico ao indicado na Equação (2.12). As expressões para v e x , Equações (2.17) e (2.18), deduzidas para situações com aceleração variável, também valem quando a aceleração é constante.

RESUMO

CONCEITOS BÁSICOS

partícula, 30

velocidade média, 31

gráfico $x-t$, 32

velocidade instantânea, 33

derivada, 33

velocidade escalar, 33

diagrama do movimento, 35

aceleração média, 36

aceleração instantânea, 37

gráfico $v-t$, 38

gráfico $a-t$, 40

queda livre, 44

aceleração da gravidade, 45

- Quando uma partícula se move em linha reta, descrevemos sua posição em relação a uma origem O especificando uma coordenada tal como x .
- A velocidade média da partícula durante um intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$ é definida como

$$v_m = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}. \quad (2.2)$$

A velocidade instantânea para qualquer tempo t é definida como

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}. \quad (2.3)$$

- A aceleração média da partícula durante um intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$ é definida como

$$a_m = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}. \quad (2.4)$$

A aceleração instantânea para qualquer tempo t é definida como

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}. \quad (2.5)$$

- Quando a aceleração é constante, a posição x e a velocidade v para qualquer tempo t são relacionadas com a aceleração a , a posição inicial x_0 , e a velocidade inicial v_0 (ambas para $t = 0$) pelas seguintes equações:

$$v = v_0 + at \quad (\text{somente para aceleração constante}), \quad (2.8)$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (\text{somente para aceleração constante}), \quad (2.12)$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0) \quad (\text{somente para aceleração constante}), \quad (2.13)$$

$$x - x_0 = \left(\frac{v_0 + v}{2} \right) t \quad (\text{somente para aceleração constante}). \quad (2.14)$$

- A queda livre é um caso particular de movimento com aceleração constante. O módulo da aceleração da gravidade é uma grandeza positiva g . A aceleração de um corpo em queda livre é *sempre* orientada de cima para baixo.
- Quando a aceleração não é constante mas é conhecida em função do tempo, podemos determinar a velocidade e a posição em função do tempo integrando a função da aceleração.

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

Q2.1 O velocímetro de um automóvel mede a velocidade escalar ou o vetor velocidade? Explique.

Q2.2 Maria afirma que uma velocidade com módulo igual a 60 km/h é equivalente a uma velocidade com módulo igual a 17 m/s. Qual foi o erro percentual cometido por ela nessa conversão de unidades?

Q2.3 O limite de velocidade nas estradas de alguns países da Europa é de 110 km/h. Diga qual é o valor desse limite em m/s com aproximação de três algarismos significativos.

Q2.4 Em que condições uma velocidade média pode ser igual a uma velocidade instantânea?

Q2.5 Para um determinado intervalo de tempo, o deslocamento total é dado pelo produto da velocidade média pelo intervalo de tempo. Essa afirmação continua válida mesmo quando a velocidade não é constante? Explique.

Q2.6 Sob quais condições o módulo do vetor velocidade média é igual ao módulo da velocidade escalar?

Q2.7 Para fazer um mesmo percurso, um carro de potência menor levou o dobro do tempo de outro carro com maior potência. Como estão relacionadas as velocidades médias desses carros?

Q2.8 Um motorista em Massachusetts foi submetido a julgamento por excesso de velocidade. A evidência contra o motorista foi o depoimento de um policial que notou que o carro do acusado estava emparelhado com um segundo carro que o ultrapassou. Segundo o policial, o segundo carro já havia ultrapassado o limite de velocidade. O motorista acusado se defendeu alegando que "o segundo carro me ultrapassou, portanto eu não estava acelerando". O Juiz deu a sentença contra o motorista, porque, pelas palavras do Juiz, "se dois carros estão emparelhados, ambos estavam acelerando". Se você fosse o advogado de defesa do motorista acusado, como contestaria?

Q2.9 É possível ter deslocamento nulo e velocidade média diferente de zero? É uma velocidade instantânea? Ilustre suas respostas usando um gráfico $x-t$.

Q2.10 Pode existir uma aceleração nula e uma velocidade diferente de zero? Ilustre suas respostas usando um gráfico $v-t$.

Q2.11 É possível ter uma velocidade nula e uma aceleração média diferente de zero? Velocidade nula e uma aceleração instantânea diferente de zero? Ilustre suas respostas usando um gráfico $v-t$.

Q2.12 Um automóvel está se deslocando de leste para oeste. Ele pode ter uma velocidade orientada para oeste e ao mesmo tempo uma aceleração orientada para leste? Em que circunstâncias?

Q2.13 A caminhonete oficial da Figura 2.2 está em $x_1 = 277$ m para $t_1 = 16,0$ s, e em $x_2 = 19$ m para $t_2 = 25,0$ s. a) Desenhe dois diferentes gráficos possíveis para o movimento da caminhonete. As duas velocidades médias v_m durante os intervalos de tempo de t_1 até t_2 possuem o mesmo valor nos dois gráficos? Explique.

Q2.14 Em movimento com aceleração constante, a velocidade de uma partícula é igual à metade da soma da velocidade inicial com a velocidade final. Isto é verdade quando a aceleração não é constante? Explique.

Q2.15 Você lança uma bola de beisebol verticalmente para cima e ela atinge uma altura máxima maior do que sua altura. O módulo da aceleração é maior enquanto ela está sendo lançada ou logo depois que ela deixa a sua mão? Explique.

Q2.16 Prove as seguintes afirmações: i) Desprezando os efeitos do ar, quando você lança qualquer objeto verticalmente para cima, ele possui a mesma velocidade em seu ponto de lançamento tanto durante a ascensão quanto durante a queda. ii) O tempo total da trajetória é igual ao dobro do tempo que o objeto leva para atingir sua altura máxima.

Q2.17 No Exemplo 2.7, substituindo $y = -18,4$ m na Equação (2.13) obtemos $v = \pm 24,2$ m/s. A raiz negativa é a velocidade para $t = 4,00$ s. Explique o significado da raiz positiva.

Q2.18 A posição inicial e a velocidade inicial de um veículo são conhecidas e faz-se um registro da aceleração a cada instante. Pode a posição do veículo depois de um certo tempo ser determinada a partir destes dados? Caso seja possível, explique como isto poderia ser feito.

EXERCÍCIOS

SEÇÃO 2.2 DESLOCAMENTO, TEMPO E VELOCIDADE MÉDIA

2.1 Um foguete transportando um satélite é acelerado verticalmente a partir da superfície terrestre. Após 1,15 s de seu lançamento, o foguete atravessa o topo de sua plataforma de lançamento a 63 m acima do solo. Depois de 4,75 s adicionais ele se encontra a 1,00 km acima do solo. Calcule o módulo da velocidade média do foguete para a) o trecho do voo correspondente ao intervalo de 4,75 s; b) os primeiros 5,90 s do seu voo.

2.2 Em uma experiência, um pombo-correio foi retirado de seu ninho, levado para um local a 5150 km do ninho e libertado. Ele retorna ao ninho depois de 13,5 dias. Tome a origem no ninho e estenda um eixo $+Ox$ até o ponto onde ele foi libertado. Qual a velocidade média do pombo-correio em m/s a) para o voo de retorno ao ninho? b) para o trajeto todo, desde o momento em que ele é retirado do ninho até seu retorno?

2.3 Uma viagem de carro de San Diego a Los Angeles dura 2 h e 20 min quando você dirige o carro com uma velocidade média de 105 km/h. Em uma sexta-feira na parte da tarde, contudo, o trânsito está muito pesado e você percorre a mesma distância com uma velocidade média de 70 km/h. Calcule o tempo que você leva nesse percurso.

2.4 De um pilar até um poste. Começando em um pilar, você corre 200 m de oeste para leste (o sentido do eixo $+Ox$) com uma velocidade média de 5,0 m/s e a seguir corre 280 m de leste para oeste com uma velocidade média de 4,0 m/s até um poste. Calcule a) sua velocidade escalar do pilar até o poste; b) o módulo do vetor velocidade média do pilar até o poste.

2.5 a) Seu carro velho pode desenvolver uma velocidade média de 8,0 m/s durante 60 s; a seguir melhorar o desempenho e uma velocidade média de 20,0 m/s durante 60 s. Calcule sua velocidade média para o intervalo total de 120 s. b) Suponha que a velocidade de 8,0 m/s seja mantida durante um deslocamento de 240 m, seguido de uma velocidade média de 20,0 m/s em outro deslocamento de 240 m. Calcule a velocidade média para o deslocamento total. c) Em qual dos dois casos a velocidade escalar do percurso total é igual à média das duas velocidades escalares?

2.6 Um carro percorre um trecho retilíneo ao longo de uma estrada. Sua distância a um sinal de parada é uma função do tempo dada por $x(t) = \alpha t^2 - \beta t^3$, onde $\alpha = 1,50$ m/s² e $\beta = 0,0500$ m/s³. Calcule a velocidade média do carro para os seguintes intervalos de tempo: a) $t = 0$ até $t = 2,00$ s; b) $t = 0$ até $t = 4,00$ s; c) $t = 2,00$ s até $t = 4,00$ s.

SEÇÃO 2.3 VELOCIDADE INSTANTÂNEA

2.7 Um carro pára em um semáforo. A seguir ele percorre um trecho retilíneo de modo que sua distância ao sinal é dada por $x(t) = bt^2 - ct^3$, onde $b = 2,40$ m/s² e $c = 0,120$ m/s³. a) Calcule a velocidade média do carro para o intervalo de tempo $t = 0$ até $t = 10,0$ s. b) Calcule a velocidade instantânea do carro para i) $t = 0$; ii) $t = 5,0$ s; iii) $t = 10,0$ s. c) Quanto tempo após partir do repouso o carro retorna novamente ao repouso?

2.8 Uma professora de física sai de sua casa e se dirige a pé para o campus. Depois de 5 min começa a chover e ela retorna para casa. Sua distância da casa em função do tempo é indicada pelo

gráfico da Figura 2.25. Em qual dos pontos indicados sua velocidade é a) zero? b) constante e positiva? c) constante e negativa? d) crescente em módulo? e) decrescente em módulo?

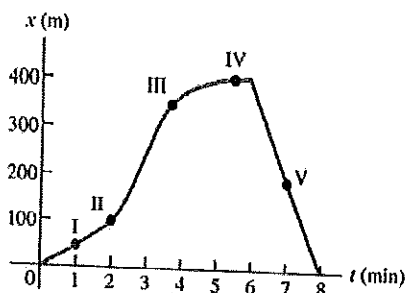


FIGURA 2.25 Exercício 2.8.

SEÇÃO 2.4 ACELERAÇÃO INSTANTÂNEA E ACELERAÇÃO MÉDIA

2.9 Em um teste de um novo modelo de automóvel da empresa Motores Incríveis, o velocímetro é calibrado para ler m/s em vez de km/h. A série de medidas a seguir foi registrada durante o teste ao longo de uma estrada retilínea muito longa:

Tempo (s)	0	2	4	6	8	10	12	14	16
Velocidade (m/s)	0	0	2	6	10	16	19	22	22

- a) Calcule a aceleração média durante cada intervalo de 2,0 s. A aceleração é constante? Ela é constante em algum trecho do teste?
 b) Faça um gráfico $v-t$ dos dados tabelados usando escalas de 1 cm = 1 s no eixo horizontal e de 1 cm = 2 m/s no eixo vertical. Desenhe uma curva entre os pontos plotados. Medindo a inclinação dessa curva, calcule a aceleração instantânea para os tempos $t = 9$ s, $t = 13$ s e $t = 15$ s.

2.10 A Figura 2.26 mostra a velocidade em função do tempo de um carro movido a energia solar. O motorista acelera a partir de um sinal de parada e se desloca durante 20 s com velocidade constante de 60 km/h, e a seguir pisa no freio e pára 40 s após sua partida do sinal. Calcule sua aceleração média para os seguintes intervalos de tempo: a) $t = 0$ até $t = 10$ s; b) $t = 30$ s até $t = 40$ s; c) $t = 10$ s até $t = 30$ s; d) $t = 0$ até $t = 40$ s.

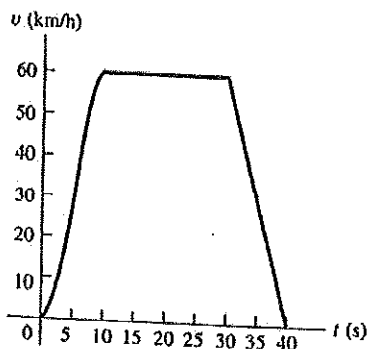


FIGURA 2.26 Exercícios 2.10 e 2.11.

2.11 Tome como referência o Exercício 2.10 e a Figura 2.26.
 a) Em qual intervalo de tempo a aceleração instantânea a possui seu maior valor positivo? b) Em qual intervalo de tempo a aceleração instantânea a possui seu maior valor negativo? c) Qual é a aceleração instantânea a para $t = 20$ s? d) Qual é a aceleração instantânea a para $t = 35$ s? e) Faça um diagrama do movimento (como o da Figura 2.10b ou o da Figura 2.11b) mostrando a posição, a velocidade e a aceleração do carro para os tempos $t = 5$ s, $t = 15$ s, $t = 25$ s e $t = 35$ s.

2.12 Um astronauta saiu da Estação Espacial Internacional para testar um novo veículo espacial. Seu companheiro permanece a bordo e registra as seguintes variações de velocidade, cada uma ocorrendo em intervalos de 10 s. Determine o módulo, a direção e o sentido da aceleração média em cada intervalo. Suponha que o sentido positivo seja da direita para a esquerda. a) No início do intervalo o astronauta se move para a direita ao longo do eixo Ox com velocidade de 15,0 m/s e no final do intervalo ele se move para a direita com velocidade de 5,0 m/s. b) No início do intervalo o astronauta se move a 5,0 m/s para a esquerda e no final se move para a esquerda com velocidade de 15,0 m/s. c) No início do intervalo ele se move para a direita com velocidade de 15,0 m/s e no final se move para a esquerda com velocidade de 15,0 m/s.

2.13 a) Com base em sua experiência de dirigir um automóvel, estime o módulo da aceleração média de um carro quando pisa forte no freio em uma pista de alta velocidade até uma parada repentina. b) Explique por que essa aceleração média poderia ser considerada positiva ou negativa.

2.14 A velocidade de um carro em função do tempo é dada por $v(t) = \alpha + \beta t^2$, onde $\alpha = 3,00$ m/s e $\beta = 0,100$ m/s³. a) Calcule a aceleração média do carro para o intervalo de tempo de $t = 0$ a $t = 5,00$ s. b) Calcule a aceleração instantânea para i) $t = 0$; ii) $t = 5,00$ s. c) Desenhe gráficos acurados $v-t$ e $a-t$ para o movimento do carro entre $t = 0$ e $t = 5,00$ s.

2.15 A Figura 2.27 mostra a coordenada de uma aranha que se desloca lentamente ao longo do eixo Ox . a) Faça um gráfico de sua velocidade e aceleração em função do tempo. b) Faça um diagrama do movimento (como o da Figura 2.10b ou o da Figura 2.11b) mostrando a posição, a velocidade e a aceleração da aranha para cinco tempos: $t = 2,5$ s, $t = 10$ s, $t = 20$ s, $t = 30$ s e $t = 37,5$ s.

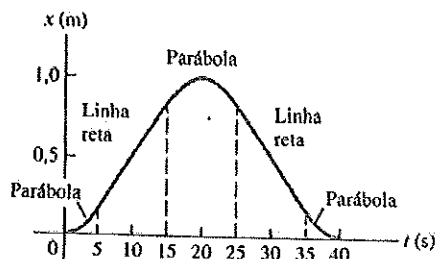


FIGURA 2.27 Exercício 2.15.

2.16 Um microprocessador controla a posição do pára-choque dianteiro de um carro usado em um teste. A posição é dada pela equação $x(t) = 2,17$ m + $(4,8$ m/s²) $t^2 - (0,100$ m/s⁶) t^6 . Determine a) sua posição e aceleração para os instantes em que o carro possui velocidade zero. b) Desenhe gráficos $x-t$, $v-t$ e $a-t$ para o movimento do pára-choque entre $t = 0$ e $t = 2,00$ s.

SEÇÃO 2.5 MOVIMENTO COM ACELERAÇÃO CONSTANTE

2.17 Um antlope que se move com aceleração constante leva 7,00 s para percorrer uma distância de 70,0 m entre dois pontos. Ao passar pelo segundo ponto, sua velocidade é de 15,0 m/s. a) Qual era sua velocidade quando passava pelo primeiro ponto? b) Qual era sua aceleração?

2.18 Ao ser lançado pela catapulta da plataforma de um porta-aviões, um caça a jato atinge a velocidade de decolagem de 270 km/h em uma distância aproximada de 90 m. Suponha aceleração constante. a) Calcule a aceleração do caça em m/s². b) Calcule o tempo necessário para o caça atingir essa velocidade de decolagem.

2.19 Airbag de Automóvel. O corpo humano pode sobreviver a um trauma por acidente com aceleração negativa (parada súbita) quando o módulo de aceleração é menor do que 250 m/s^2 (cerca de 25 g). Suponha que você sofra um acidente de automóvel com velocidade de 105 km/h e seja amortecido por um *airbag* que se infla automaticamente. Qual deve ser a distância que o *airbag* se deforma para que você consiga sobreviver?

2.20 Um avião precisa de 280 m de pista para atingir a velocidade necessária para decolagem. Se ele parte do repouso, se move com aceleração constante e leva $8,0 \text{ s}$ no percurso, qual é sua velocidade no momento da decolagem?

2.21 Um carro está parado na rampa de acesso de uma auto-estrada, esperando uma diminuição do tráfego. O motorista verifica que existe um espaço vazio entre um caminhão com 18 rodas e uma caminhonete e acelera seu carro para entrar na auto-estrada. O carro parte do repouso, se move ao longo de uma linha reta e atinge uma velocidade de 20 m/s no final da rampa de 120 m de comprimento. a) Qual é a aceleração do carro? b) Quanto tempo ele leva para percorrer a rampa? c) O tráfego na auto-estrada se move com uma velocidade constante de 20 m/s . Qual é o deslocamento do tráfego enquanto o carro atravessa a rampa?

2.22 As Figuras 2.12, 2.13, 2.14 e 2.15 foram desenhadas para movimento com aceleração constante com valores positivos de x_0 , v_0 e a . Refaça essas quatro figuras para os seguintes casos: a) $x_0 < 0$, $v_0 < 0$, $a < 0$; b) $x_0 > 0$, $v_0 < 0$, $a > 0$; c) $x_0 > 0$, $v_0 > 0$, $a < 0$.

2.23 No instante $t = 0$, um carro está se movendo ao longo de uma auto-estrada no Estado de São Paulo com uma velocidade constante de 30 m/s . Esse movimento continua durante 20 s . A seguir, para não atrapalhar o tráfego, o motorista resolve acelerar com uma taxa constante, elevando a velocidade do carro até 40 m/s . O carro se move durante 10 s com esta nova velocidade. Porém o motorista avista um policial em uma motocicleta escondido atrás de uma árvore e diminui sua velocidade com uma taxa constante de $4,0 \text{ m/s}^2$ até que a velocidade do carro se reduza ao limite legal de 30 m/s . Ele então mantém essa velocidade e acena para o policial quando passa por ele 5 s mais tarde. a) Para o movimento do carro desde o instante $t = 0$ até o momento em que ele cruza com o policial, desenhe gráficos acurados $x-t$, $v-t$ e $a-t$. b) Faça um diagrama do movimento (como o da Figura 2.10b ou o da Figura 2.11b) mostrando a posição, a velocidade e a aceleração do carro.

2.24 Para $t = 0$ um carro pára em um semáforo. Quando a luz fica verde, o carro começa a acelerar com uma taxa constante, elevando sua velocidade para 20 m/s , 8 s depois de a luz ficar verde. Ele se move com essa nova velocidade por uma distância de 60 m . A seguir, o motorista avista uma luz vermelha no cruzamento seguinte e começa a diminuir a velocidade com uma taxa constante. O carro pára no sinal vermelho a 180 m da posição para $t = 0$. a) Para o movimento do carro, desenhe gráficos acurados de $x-t$, $v-t$ e $a-t$. b) Faça um diagrama do movimento (como o da Figura 2.10b ou o da Figura 2.11b) mostrando a posição, a velocidade e a aceleração do carro.

2.25 O gráfico da Figura 2.28 mostra a velocidade da motocicleta de um policial em função do tempo. a) Calcule a aceleração instantânea para $t = 3 \text{ s}$, $t = 7 \text{ s}$ e $t = 11 \text{ s}$. b) Qual foi o deslocamento do policial nos 5 s iniciais? E nos 9 s iniciais? E nos 13 s iniciais?

2.26 O gráfico da Figura 2.29 mostra a aceleração de um modelo de locomotiva que se move no eixo Ox . Faça um gráfico da velocidade e da posição sabendo que $x = 0$ e $v = 0$ para $t = 0$.

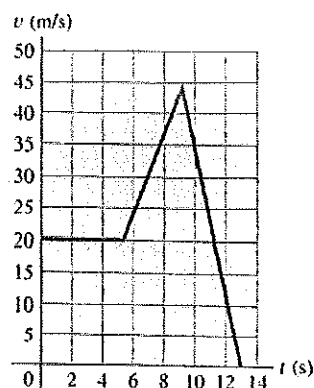


FIGURA 2.28 Exercício 2.25.

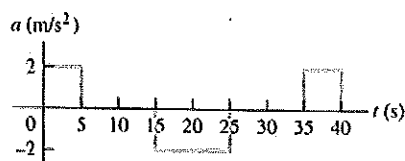


FIGURA 2.29 Exercício 2.26.

2.27 Uma espaçonave se dirige em linha reta para a Base Lunar I situada a uma distância de 384.000 km da Terra. Suponha que ela acelere $20,0 \text{ m/s}^2$ durante os primeiros $15,0$ minutos da viagem e a seguir viaje com velocidade constante até os últimos $15,0$ minutos, quando acelera a $-20,0 \text{ m/s}^2$, atingindo o repouso exatamente quando toca a Lua. a) Qual foi a velocidade máxima atingida? b) Qual foi a fração do percurso total durante o qual ela viajou com velocidade constante? c) Qual foi o tempo total da viagem?

2.28 Um trem de metrô parte do repouso em uma estação e acelera com uma taxa constante de $1,60 \text{ m/s}^2$ durante $14,0 \text{ s}$. Ele viaja com velocidade constante durante $70,0 \text{ s}$ e reduz a velocidade com uma taxa constante de $3,50 \text{ m/s}^2$ até parar na estação seguinte. Calcule a distância total percorrida.

2.29 Dois carros, A e B, se movem no eixo Ox . O gráfico da figura 2.30 mostra as posições de A e B em função do tempo. a) Faça um diagrama do movimento (como o da Figura 2.10b ou o da Figura 2.11b) mostrando a posição, a velocidade e a aceleração do carro para $t = 0$, $t = 1 \text{ s}$ e $t = 3 \text{ s}$. b) Para que tempo(s), caso exista algum, A e B possuem a mesma posição? c) Faça um gráfico da velocidade contra o tempo para A e B. d) Para que tempo(s), caso exista algum, A e B possuem a mesma velocidade? e) Para que tempo(s), caso exista algum, o carro B passa o carro A?

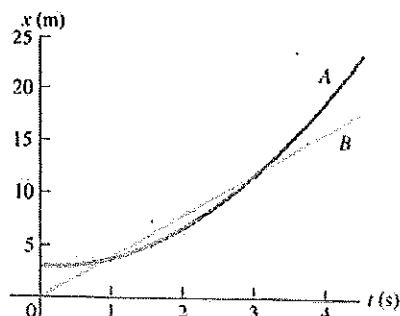


FIGURA 2.30 Exercício 2.29.

2.30 Quando um sinal luminoso fica verde, um carro que estava parado começa o movimento com aceleração constante de $3,20 \text{ m/s}^2$. No mesmo instante, um caminhão que se desloca com velocidade constante de $20,0 \text{ m/s}$ ultrapassa o carro. a) Qual a distância percorrida a partir do sinal para que o carro ultrapasse o caminhão? b) Qual é a velocidade do carro no momento em que ultrapassa o caminhão? c) Faça um gráfico $x-t$ dos movimentos desses dois veículos. Considere $x = 0$ o ponto de interseção inicial. d) Faça um gráfico $v-t$ dos movimentos desses dois veículos.

2.31 Como no Exemplo 2.5, um carro se move com velocidade constante de módulo igual a v_c . No momento em que o carro passa por um policial numa motocicleta, a motocicleta é acelerada a partir do repouso com uma aceleração a_M . a) Faça um gráfico $x-t$ dos movimentos desses dois veículos. Mostre que quando a motocicleta ultrapassa o carro a velocidade da motocicleta é igual ao dobro da velocidade do carro, qualquer que seja o valor de a_M . b) Seja d a distância percorrida pela motocicleta até alcançar o carro. Em termos de d , qual foi a distância percorrida pela motocicleta até que sua velocidade fosse igual à do carro?

SEÇÃO 2.6 QUEDA LIVRE DE CORPOS

2.32 Se a resistência do ar sobre as gotas de chuva pudesse ser desprezada poderíamos considerar essas gotas objetos em queda livre. a) As nuvens que dão origem a chuvas estão em alturas típicas de algumas centenas de metros acima do solo. Estime a velocidade de uma gota de chuva ao cair no solo se ela pudesse ser considerada um corpo em queda livre. Forneça essa estimativa em m/s e km/h . b) Estime (pela sua experiência pessoal sobre chuva) a velocidade real de uma gota de chuva ao cair no solo. c) Com base nos resultados (a) e (b), verifique se é uma boa aproximação desprezar a resistência do ar sobre as gotas de chuva. Explique.

2.33 a) Se uma pulga pode dar um salto e atingir uma altura de $0,440 \text{ m}$, qual seria sua velocidade inicial ao sair do solo? b) Durante quanto tempo ela permanece no ar?

2.34 Descida na Lua. Um módulo explorador da Lua está pousando na Base Lunar I (Figura 2.31). Ele desce lentamente sob a ação dos retro-propulsores do motor de descida. O motor se separa do módulo quando ele se encontra a $5,0 \text{ m}$ da superfície lunar e possui uma velocidade para baixo igual a $0,8 \text{ m/s}$. Ao se separar do motor, o módulo inicia uma queda livre. Qual é a velocidade do módulo no instante em que ele toca a superfície? A aceleração da gravidade na Lua é igual a $1,6 \text{ m/s}^2$.

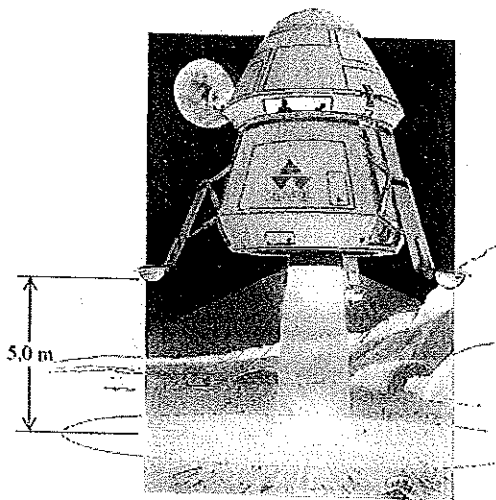


FIGURA 2.31 Exercício 2.34.

2.35 Um teste simples para o tempo de reação. Uma régua de medição é mantida verticalmente acima de sua mão com a extremidade inferior entre o polegar e o indicador. Ao ver a régua sendo largada, você a segura com estes dois dedos. Seu tempo de reação pode ser calculado pela distância percorrida pela régua, medida diretamente pela posição dos seus dedos na escala da régua. a) Deduza uma relação para seu tempo de reação em função da distância d . b) Calcule o tempo de reação supondo uma distância medida igual a $17,6 \text{ cm}$.

2.36 Um tijolo é largado (velocidade inicial nula) do alto de um edifício. Ele atinge o solo em $2,50 \text{ s}$. A resistência do ar pode ser desprezada, de modo que o tijolo está em queda livre. a) Qual é a altura do edifício? b) Qual é o módulo da velocidade quando ele atinge o solo? c) Faça gráficos $a-t$, $v-t$ e $y-t$ para o movimento do tijolo.

2.37 Maria lança seu anel verticalmente para cima a partir do telhado de um edifício, a 12 m acima do solo, com uma velocidade inicial de $5,0 \text{ m/s}$. Despreze a resistência do ar. Determine o módulo e o sentido a) da velocidade média do anel, b) da aceleração média do anel. c) Calcule o tempo que o anel leva para atingir o solo desde o momento em que ele foi lançado. d) Qual é a velocidade do anel quando ele atinge o solo? e) Faça gráficos $a-t$, $v-t$ e $y-t$ para o movimento do anel.

2.38 Um balonista de ar quente que se desloca verticalmente para cima com velocidade constante de módulo igual a $5,0 \text{ m/s}$ deixa cair um saco de areia no momento em que ele está a uma distância de $40,0 \text{ m}$ acima do solo (Figura 2.32). Depois que ele é largado, o saco de areia passa a se mover em queda livre. a) Calcule a posição e a velocidade do saco de areia $0,20 \text{ s}$ e $1,00 \text{ s}$ depois que ele é largado. b) Calcule o tempo que o saco de areia leva para atingir o solo desde o momento em que ele foi lançado. c) Qual é a velocidade do saco de areia quando ele atinge o solo? d) Qual é a altura máxima em relação ao solo atingida pelo saco de areia? e) Faça gráficos $a-t$, $v-t$ e $y-t$ para o movimento do saco de areia.

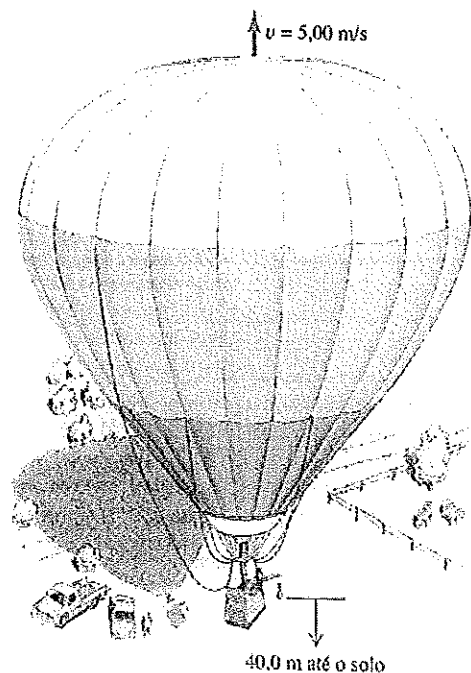


FIGURA 2.32 Exercício 2.38.

2.39 Um estudante no topo de um edifício joga uma bola com água verticalmente para baixo. A bola deixa a mão do estudante

com uma velocidade de 6,0 m/s. A resistência do ar é ignorada, de modo que a bola pode ser considerada em queda livre após o lançamento. a) Calcule sua velocidade depois de 2,0 s de queda. b) Qual a distância percorrida nesses 2,0 s? c) Qual o módulo da velocidade quando a bola caiu 10,0 m? d) Faça gráficos $a-t$, $v-t$ e $y-t$ para o movimento.

2.40 Um ovo é atirado verticalmente de baixo para cima de um ponto próximo da cornija na extremidade superior de um edifício alto. Ele passa rente da cornija em seu movimento para baixo, atingindo um ponto a 50,0 m abaixo da cornija 5,0 s após ele abandonar a mão do lançador. Despreze a resistência do ar. a) Calcule a velocidade inicial do ovo. b) Qual a altura máxima atingida acima do ponto inicial do lançamento? c) Qual o módulo da velocidade nessa altura máxima? d) Qual o módulo e o sentido da aceleração nessa altura máxima? e) Faça gráficos de $a-t$, $v-t$ e $y-t$ para o movimento do ovo.

2.41 O *Sonic Wind No. 2* é uma espécie de trenó movido por um foguete, usado para investigar os efeitos fisiológicos de acelerações elevadas. Ele se desloca em uma pista retilínea com 1070 m de comprimento. Partindo do repouso pode atingir uma velocidade de 224 m/s em 0,900 s. a) Calcule a aceleração em m/s^2 supondo que ela seja constante. b) Qual a razão entre essa aceleração e a aceleração de um corpo em queda livre (g)? c) Qual a distância percorrida em 0,900 s? d) Um artigo publicado por uma revista afirma que no final de uma corrida a velocidade desse trenó diminui de 283 km/h até zero em 1,40 s e que durante este intervalo de tempo a aceleração é maior que 40 g . Esses valores são coerentes?

2.42 Uma pedra grande é expelida verticalmente de baixo para cima por um vulcão com velocidade inicial de 40,0 m/s. Despreze a resistência do ar. a) Qual é o tempo que a pedra leva,

após o lançamento, para que sua velocidade seja de 20,0 m/s de baixo para cima? b) Qual o tempo que a pedra leva, após o lançamento, para que sua velocidade seja de 20,0 m/s de cima para baixo? c) Quando o deslocamento da pedra é igual a zero? d) Quando a velocidade da pedra é igual a zero? e) Qual o módulo e o sentido da aceleração enquanto a pedra i) está se movendo de baixo para cima? ii) está se movendo de cima para baixo? iii) está no ponto mais elevado da sua trajetória? f) Faça gráficos $a-t$, $v-t$ e $y-t$ para o movimento.

2.43 Suponha que a aceleração da gravidade seja de apenas 0,98 m/s^2 em vez de 9,8 m/s^2 , porém a velocidade inicial para você pular ou lançar uma bola continua sendo a mesma. a) Calcule a altura que você poderia atingir caso desse um salto para cima, sabendo que a altura atingida pelo salto com $g = 9,8 m/s^2$ é igual a 0,75 m. b) Até que altura você poderia lançar uma bola, caso você lançasse a mesma bola até uma altura de 18 m supondo $g = 9,8 m/s^2$? c) Supondo que você possa pular com segurança de uma janela para uma calçada situada a uma altura de 2,0 m da janela, considerando $g = 9,8 m/s^2$, calcule a altura máxima da janela, considerando o valor reduzido da aceleração da gravidade.

***SEÇÃO 2.7 VELOCIDADE E POSIÇÃO POR INTEGRAÇÃO**

***2.44** A aceleração de um ônibus é dada por $a(t) = \alpha t$, onde $\alpha = 1,2 m/s^3$. a) Se a velocidade do ônibus para $t = 1,0 s$ é igual a 5,0 m/s, qual é sua velocidade para $t = 2,0 s$? b) Se a posição do ônibus para $t = 1,0 s$ é igual a 6,0 m, qual sua posição para $t = 2,0 s$? c) Faça gráficos $a-t$, $v-t$ e $x-t$ para esse movimento.

***2.45** A aceleração de uma motocicleta é dada por $a(t) = At - Bt^2$, onde $A = 1,5 m/s^3$ e $B = 0,120 m/s^4$. A motocicleta está em repouso na origem no instante $t = 0$. a) Calcule sua velocidade e posição em função do tempo. b) Calcule a velocidade máxima que ela pode atingir.

PROBLEMAS

2.46 Em uma competição de bicicletas com percurso de 30 km, você percorre os primeiros 15 km com uma velocidade média de 12 km/h. Qual deve ser sua velocidade escalar média nos 15 km restantes para que sua velocidade escalar média no percurso total de 30 km seja de a) 6 km/h? b) 18 km/h? c) Dada a referida velocidade média para os primeiros 15 km, você poderia ou não atingir uma velocidade escalar média de 24 km/h no percurso total de 30 km? Explique.

2.47 A posição de uma partícula entre $t = 0$ e $t = 2,0 s$ é dada por $x(t) = (3,00 m/s^3)t^3 - (10,0 m/s^2)t^2 + (9,00 m/s)t$. a) Faça gráficos de $x-t$, $v-t$ e $a-t$ para essa partícula. b) Para que tempo(s) entre $t = 0$ e $t = 2,00 s$ a partícula está em repouso? O resultado obtido por você está de acordo com o gráfico $v-t$ da parte (a)? c) Para qual tempo calculado na parte (b) a aceleração da partícula é positiva ou negativa? Mostre que em cada caso podemos obter a mesma resposta pelo gráfico $v-t$ ou pela função $a(t)$. d) Para que tempo(s) entre $t = 0$ e $t = 2,00 s$ a velocidade da partícula não varia instantaneamente? Localize esse ponto nos gráficos $a-t$ e $v-t$ da parte (a). e) Qual a maior distância entre a partícula e a origem ($x = 0$) no intervalo entre $t = 0$ e $t = 2,00 s$? f) Para que tempo(s) entre $t = 0$ e $t = 2,00 s$ a partícula está aumentando de velocidade com a maior taxa? Para que tempo(s) entre $t = 0$ e $t = 2,00 s$ a partícula está diminuindo de velocidade com a maior taxa? Localize esses pontos nos gráficos $a-t$ e $v-t$ da parte (a).

2.48 Em uma gincana, cada concorrente corre 25,0 m transportando um ovo equilibrado em uma colher, dá a volta e

retorna ao ponto de partida. Elaine corre os primeiros 25,0 m em 20,0 s. Quando volta, ela se sente mais segura e leva apenas 15,0 s. Qual o módulo do vetor velocidade média para a) os 25,0 m? b) a viagem de volta? c) Qual o módulo do vetor velocidade média no percurso todo quando ela volta ao ponto de partida? d) Qual é a velocidade escalar média no percurso todo quando ela volta ao ponto de partida?

2.49 Daniel dirige na Estrada I-80 em Seward, no Estado de Nebraska, e segue por um trecho retilíneo de leste para oeste com uma velocidade média com módulo igual a 88 km/h. Depois de percorrer 76 km, ele atinge a saída de Aurora (Figura 2.33). Percebendo que ele foi longe demais, retorna 34 km de oeste para leste até a saída para York com uma velocidade média com módulo igual a 72 km/h. Para a viagem total desde Seward até a saída de York, qual é a) sua velocidade escalar média? b) o módulo do vetor velocidade média?

2.50 Tráfego em uma auto-estrada. De acordo com um artigo da revista *Scientific American* (maio de 1990), circulam normalmente em uma auto-estrada americana cerca de 2400 veículos por hora em cada pista com velocidade de 96 km/h para um tráfego considerado regular. Depois desse limite o fluxo do tráfego começa a ficar "turbulento" (com acelerações e paradas). a) Se cada veículo possui comprimento aproximadamente igual a 4,6 m, qual é o espaçamento médio entre os veículos para a densidade do tráfego mencionado? b) Um sistema automático para evitar colisões que opera com sinais de radar ou sonar, e que pode

acelerar ou parar um veículo quando necessário, poderia reduzir sensivelmente a distância entre os veículos. Supondo uma distância de 9,2 m (igual a dois comprimentos de carro), quantos veículos por hora poderiam circular em cada pista com velocidade de 96 km/h?

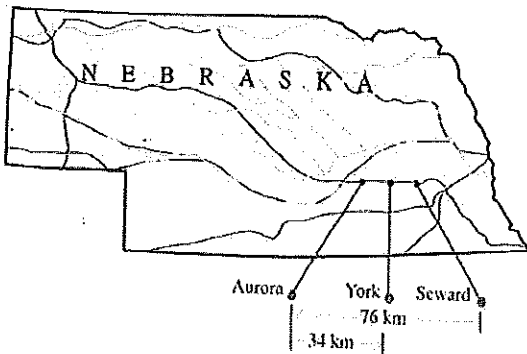


FIGURA 2.33 Problema 2.49.

2.51 Um velocista pode acelerar até sua velocidade máxima em 4,0 s. Ele então mantém esta velocidade durante o trajeto restante em uma competição de 100 m, terminando a corrida com um tempo total de 9,1 s. a) Qual a aceleração média do velocista durante os 4,0 s iniciais? b) Qual sua aceleração média durante os últimos 5,1 s? c) Qual sua aceleração média durante a corrida toda? d) Explique por que sua resposta do item (c) não é a média das respostas (a) e (b).

2.52 Um trenó está em repouso no alto de uma montanha e escorrega para baixo com aceleração constante. Em um dado instante está a 14,4 m de distância do topo; 2,00 s mais tarde está a 25,6 m de distância do topo; 2,00 s mais tarde está a 40,0 m de distância do topo e 2,00 s mais tarde está a 57,6 m de distância do topo. a) Qual o módulo da velocidade média do trenó durante cada um dos intervalos de 2,0 s depois de passar pelo ponto a 14,4 m de distância do topo? b) Qual a aceleração do trenó? c) Qual a velocidade escalar do trenó quando ele passa pelo ponto a 14,4 m de distância do topo? d) Quanto tempo ele leva para ir do topo até o ponto a 14,4 m de distância do topo? e) Qual a distância percorrida pelo trenó durante o primeiro segundo depois de passar pelo ponto a 14,4 m de distância do topo?

2.53 Um carro de 3,5 m de comprimento se desloca com velocidade constante de 20 m/s aproximando-se de um cruzamento (Figura 2.34). A largura do cruzamento é de 20 m. A luz do sinal fica amarela quando a frente do carro está a 50 m do início do cruzamento. Quando o motorista pisa no freio, o carro diminui de velocidade com uma taxa igual a $-3,8 \text{ m/s}^2$. Se em vez de pisar no freio o motorista pisar no acelerador, o carro aumenta de velocidade com uma taxa igual a $2,3 \text{ m/s}^2$. A luz fica amarela durante 3,0 s. Despreze o tempo de reação do motorista. Para evitar que o carro fique no espaço do cruzamento, o motorista deve pisar no freio ou no acelerador?

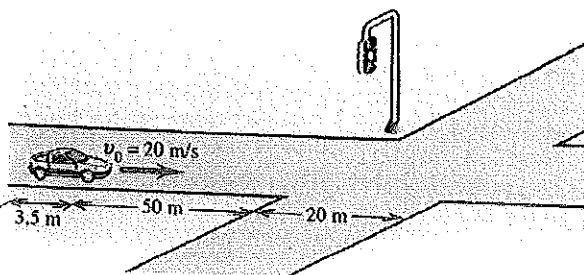


FIGURA 2.34 Problema 2.53.

2.54 O maquinista de um trem de passageiros que viaja com velocidade $v_p = 25,0 \text{ m/s}$ avista um trem de carga cuja traseira se encontra a 200,0 m de distância da frente do trem de passageiros (Figura 2.35). O trem de carga se desloca no mesmo sentido do trem de passageiros com velocidade $v_c = 15,0 \text{ m/s}$. O maquinista imediatamente aciona o freio, produzindo uma aceleração constante igual a $-0,100 \text{ m/s}^2$, enquanto o trem de carga continua com a mesma velocidade. Considere $x = 0$ como o local onde se encontra a frente do trem de passageiros quando o freio é acionado. a) As vacas das vizinhanças assistirão a uma colisão? b) Caso a resposta anterior seja positiva, em que ponto ocorrerá a colisão? c) Faça um gráfico simples mostrando a posição da frente do trem de passageiros e a traseira do trem de carga.

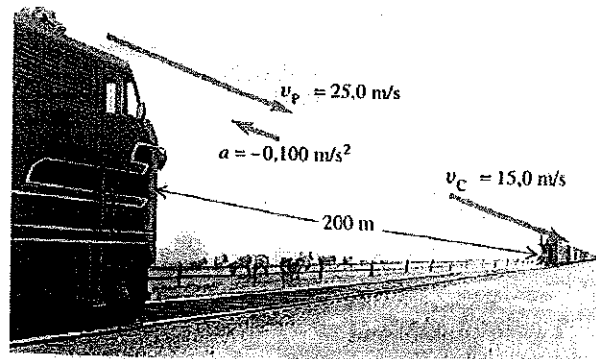


FIGURA 2.35 Problema 2.54.

2.55 Uma barata grande pode desenvolver uma velocidade igual a 1,50 m/s em intervalos de tempo curtos. Suponha que ao ligar a lâmpada em um motel você aviste uma barata que se move com velocidade de 1,50 m/s na mesma direção e sentido que você. Se você está a 0,90 m atrás da barata com velocidade de 0,80 m/s, qual deve ser sua aceleração mínima para que você alcance a barata antes que ela se esconda embaixo de um móvel situado a 1,20 m da posição inicial dela?

2.56 Considere a situação descrita no Exemplo 2.5. O exemplo é ligeiramente irreal, porque se o policial está acelerado ele deve ultrapassar o motorista. Em uma perseguição real, ele deve ultrapassar o motorista e depois diminuir a velocidade para ficar com a mesma velocidade do motorista. Suponha que o policial do Exemplo 2.5 acelere sua motocicleta a partir do repouso com aceleração de $2,5 \text{ m/s}^2$ até que sua velocidade seja de 20 m/s. Ele diminui sua velocidade com uma taxa constante até se emparelhar com o carro para $x = 360 \text{ m}$ deslocando-se com a mesma velocidade do carro de 15,0 m/s. a) Qual o tempo necessário para o policial se emparelhar com o carro? b) Qual o tempo no qual o policial deixa de acelerar e passa a diminuir de velocidade? Nesse instante, qual a distância entre o policial e o sinal? Qual a distância entre ele e o carro nesse instante? c) Encontre a aceleração do policial quando sua velocidade diminui. d) Desenhe um diagrama $x-t$ para os dois veículos. e) Desenhe um diagrama $v-t$ para os dois veículos.

2.57 Um automóvel e um caminhão partem do repouso no mesmo instante, estando o automóvel uma certa distância atrás do caminhão. O caminhão possui aceleração constante de $2,10 \text{ m/s}^2$ e o automóvel tem aceleração de $3,40 \text{ m/s}^2$. O automóvel ultrapassa o caminhão depois que o caminhão se deslocou 40,0 m. a) Qual o tempo necessário para que o automóvel ultrapasse o caminhão? b) Qual era a distância inicial entre o automóvel e o caminhão? c) Qual a velocidade desses veículos quando eles estão lado a lado? d) Em um único diagrama, desenhe a posição de cada veículo em função do tempo. Considere $x = 0$ como a posição inicial do caminhão.

2.58 Dois motoristas malucos resolvem dirigir um de encontro ao outro. No instante $t = 0$, a distância entre os dois carros é D , o carro 1 está em repouso e o carro 2 se move da direita para a esquerda com velocidade v_0 . O carro 1 começa a acelerar a partir de $t = 0$ com aceleração constante a . O carro 2 continua a se mover com velocidade constante. a) Em que instante ocorrerá a colisão? b) Ache a velocidade do carro 1 imediatamente antes de colidir com o carro 2. c) Faça diagramas $x-t$ e $v-t$ para o carro 1 e para o carro 2. Desenhe curvas para cada veículo usando o mesmo eixo.

2.59 Em seu Mustang, José contorna uma curva e atinge uma estrada retilínea no campo enquanto se desloca a 20 m/s e avista um trator que espalha adubo bloqueando completamente a pista a uma distância de 37 m à sua frente. Surpreso, ele pisa no freio depois de 0,80 s de tempo de reação, conseguindo parar bem próximo do trator. Considerando o mesmo tempo de reação e a mesma aceleração, se ele estivesse a 25,0 m/s em vez de 20 m/s, a) qual seria sua velocidade ao colidir com o trator? b) quanto tempo de vida ele teria desde o momento em que viu o trator até o instante da colisão?

2.60 Um carro da polícia se desloca em linha reta com velocidade constante v_p . Um caminhão que se move no mesmo sentido com velocidade $\frac{3}{2} v_p$ ultrapassa o carro. A motorista que dirige o caminhão verifica que está acelerando e imediatamente começa a diminuir sua velocidade com uma taxa constante. Contudo, ela estava em um dia de sorte e o policial (ainda movendo-se com a mesma velocidade) passa pelo caminhão sem aplicar-lhe a multa. a) Mostre que a velocidade do caminhão no instante em que o carro da polícia passa por ele *não* depende do módulo da aceleração do caminhão no momento em que ele começa a diminuir sua velocidade e calcule o valor dessa velocidade. b) Faça um gráfico $x-t$ para os dois veículos.

2.61 O motorista de um carro deseja passar um caminhão que se desloca com velocidade constante de 20,0 m/s. Inicialmente, o carro também se desloca com velocidade de 20,0 m/s e seu pára-choque dianteiro está a 24,0 m atrás do pára-choque traseiro do caminhão. Ele acelera com taxa constante de $0,600 \text{ m/s}^2$, a seguir volta para a pista do caminhão quando a traseira do carro está a 26,0 m da frente do caminhão. Ele possui comprimento de 4,5 m e o comprimento do caminhão é igual a 21,0 m. a) Qual o tempo necessário para o carro ultrapassar o caminhão? b) Qual a distância percorrida pelo carro nesse intervalo de tempo? c) Qual é a velocidade final do carro?

***2.62** A velocidade de um objeto é dada por $v(t) = \alpha - \beta t^2$, onde $\alpha = 4,0 \text{ m/s}$ e $\beta = 2,0 \text{ m/s}^3$. Para $t = 0$, o objeto está em $x = 0$. a) Calcule a posição e a aceleração do objeto em função do tempo. b) Qual a distância *positiva máxima* entre o objeto e a origem?

***2.63** A aceleração de uma partícula é dada por $a(t) = -2,00 \text{ m/s}^2 + (3,00 \text{ m/s}^3)t$. a) Calcule a velocidade inicial v_0 de modo que a partícula tenha a mesma coordenada x para $t = 0 \text{ s}$. b) Qual seria sua velocidade para $t = 4,0 \text{ s}$?

2.64 Você está sobre o telhado do edifício de um físico, 46 m acima do solo (Figura 2.36). Seu professor de física, que possui 1,8 m de altura, está caminhando próximo do edifício com uma velocidade constante de 1,2 m/s. Se você deseja jogar um ovo na cabeça dele, em que ponto ele deve estar quando você largar o ovo? Suponha que o ovo esteja em queda livre.

2.65 Um estudante de física com bastante tempo livre deixa cair uma melancia do alto do telhado de um edifício. Ele escuta o barulho da melancia ao se spatifar 2,50 s depois do lançamento. Qual a altura do edifício? A velocidade do som no ar é igual a 340 m/s. Despreze a resistência do ar.

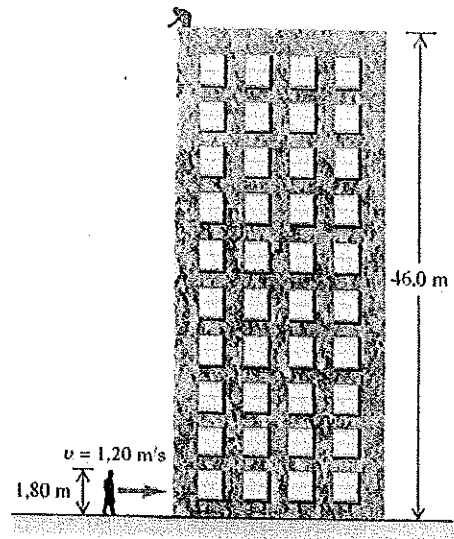


FIGURA 2.36 Problema 2.64.

2.66 Estime a velocidade máxima e o módulo da aceleração de um elevador. Você precisa usar suas observações sobre o tempo que o elevador leva para ir de um andar para outro, a distância vertical aproximada de um andar para outro e a distância percorrida quando o elevador acelera até sua velocidade máxima ou quando diminui de velocidade até parar.

2.67 Os visitantes de um parque de diversões observam uma mergulhadora saltar de uma plataforma situada a uma altura de 21,3 m de um pequeno lago. De acordo com o apresentador, a mergulhadora entra na água com velocidade de 25 m/s. Despreze a resistência do ar. a) A afirmação do anúncio está correta? b) A velocidade de 25 m/s poderia ser atingida caso a mergulhadora saltasse diretamente para cima sobre uma prancha de modo que abandonasse a prancha no momento em que ela se abaixa? Em caso afirmativo, qual deveria ser sua velocidade para cima? Essa velocidade inicial seria fisicamente atingível?

2.68 Um vaso de flores cai de um peitoril de uma janela e passa pela janela de baixo. Despreze a resistência do ar. Ele leva 0,420 s para passar por essa janela, cuja altura é igual a 1,90 m. Qual é a distância entre o topo dessa janela e o peitoril de onde o vaso caiu?

2.69 Uma bola de futebol é chutada verticalmente de baixo para cima e um estudante que está olhando para fora de uma janela a vê subir e passar por ele com velocidade de 5,00 m/s. A janela está a uma altura de 12,0 m acima do solo. Despreze a resistência do ar. a) Qual é a altura máxima atingida pela bola em relação ao solo? b) Qual é o tempo que a bola leva para ir do solo até a altura máxima?

2.70 Um modelo de foguete possui uma aceleração constante de baixo para cima igual a $40,0 \text{ m/s}^2$ enquanto seu motor está funcionando. O foguete é lançado verticalmente e o motor funciona durante 2,50 s até o combustível terminar. Depois que o motor pára de funcionar, o foguete está em queda livre. O movimento do foguete é puramente na vertical. a) Faça diagramas de $a-t$, $v-t$ e $y-t$ para o foguete. b) Qual a altura máxima atingida pelo foguete? c) Qual a velocidade do foguete imediatamente antes de ele se chocar com o solo? d) O tempo total de voo é igual ao dobro do tempo que o foguete leva para atingir a altura máxima? Explique. (Veja a Questão 2.16.)

2.71 Sérgio arremessa uma esfera de chumbo de 7 kg de baixo para cima, aplicando-lhe um impulso que a acelera a partir do

repouso até $45,0 \text{ m/s}^2$ para um deslocamento vertical de $64,0 \text{ cm}$. Ela sai da sua mão a $2,20 \text{ m}$ acima do solo. Despreze a resistência do ar. a) Qual a velocidade da esfera imediatamente após sair da sua mão? b) Qual a altura máxima atingida pela esfera? c) Qual o tempo que ele dispõe para sair da vertical antes que a esfera volte até a altura da sua cabeça, situada a $1,33 \text{ m}$ acima do solo?

2.72 Desejando testar a lei da gravidade, um estudante doido pula de um arranha-céu com altura de 180 m com um cronômetro na mão, iniciando sua queda livre (com velocidade inicial nula). Cinco segundos mais tarde, o Super-Homem entra em cena e mergulha do alto do edifício para salvá-lo. a) O Super-Homem dá um impulso com velocidade v_0 de cima para baixo com suas pernas de aço. A seguir ele cai com uma aceleração igual à de qualquer corpo em queda livre. Qual deve ser o valor de v_0 para que o Super-Homem possa segurar o estudante imediatamente antes de ele se chocar com o solo? b) Usando um mesmo gráfico, desenhe a posição do Super-Homem e do estudante em função do tempo. Considere a velocidade inicial do Super-Homem calculada no item (a). c) Quando a altura do arranha-céu for menor do que um certo limite, nem mesmo o Super-Homem seria capaz de salvar o estudante. Qual é essa altura mínima?

2.73 Outro estudante doido (veja o Problema 2.72) pula da Torre CN em Toronto, que possui uma altura de 553 m , iniciando sua queda livre. Sua velocidade inicial é igual a zero. Cinco segundos mais tarde, o Homem-Foguete entra em cena e mergulha do alto do edifício para salvá-lo. O Homem-Foguete parte com velocidade v_0 de cima para baixo. A fim de suavizar a queda final, ele segura o estudante a uma certa altura do solo e diminui a velocidade até atingir o solo com velocidade nula. A aceleração para cima necessária para isso é obtida por um dispositivo a jato transportado pelo Homem-Foguete, o qual é acionado no momento em que ele segura o estudante. Para que o percurso seja confortável para o estudante,

o módulo da aceleração não deve ser maior do que 5 g . a) Qual é a altura mínima acima do solo onde o Homem-Foguete segura o estudante? b) Qual deve ser o valor de v_0 para que o ele possa segurar o estudante na altura mínima calculada em (a)? c) Faça gráficos $y-t$, $v-t$ e $a-t$ para o Homem-Foguete e para o estudante. Em cada gráfico, desenhe as curvas para o Homem-Foguete e para o estudante usando os mesmos eixos.

2.74 Uma bola é lançada do solo diretamente de baixo para cima com velocidade v_0 . No mesmo instante, outra bola é largada do repouso a uma altura H , diretamente acima do ponto onde a primeira bola foi lançada para cima. Despreze a resistência do ar. a) Calcule o instante em que as duas bolas colidem. b) Ache o valor de H em termos de v_0 e g de modo que no momento da colisão a primeira bola atinja sua altura máxima.

2.75 Dois carros, A e B , se deslocam ao longo de uma linha reta. A distância de A ao ponto inicial é dada em função do tempo por $x_A(t) = \alpha t + \beta t^2$, onde $\alpha = 2,60 \text{ m/s}$ e $\beta = 1,20 \text{ m/s}^2$. A distância de B ao ponto inicial é dada em função do tempo por $x_B(t) = \gamma t^2 - \delta t^3$, onde $\gamma = 2,80 \text{ m/s}^2$ e $\delta = 0,20 \text{ m/s}^3$. a) Qual carro está na frente logo que eles saem do ponto inicial? b) Em que instante(s) os carros estão no mesmo ponto? c) Em que instante(s) a distância entre os carros A e B não aumenta nem diminui? d) Em que instante(s) os carros A e B possuem a mesma aceleração?

2.76 A queda da maçã de uma macieira pode ser considerada uma queda livre. A maçã está inicialmente a uma altura H acima do topo de um gramado espesso, o qual é constituído por camadas de grama de espessura h . Quando a maçã penetra na grama, ela diminui sua velocidade com uma taxa constante e atinge o solo com velocidade igual a zero. a) Ache a velocidade da maçã imediatamente antes de ela penetrar na grama. b) Ache a aceleração da maçã enquanto ela penetra na grama. c) Faça gráficos $y-t$, $v-t$ e $a-t$ para o movimento da maçã.

PROBLEMAS DESAFIADORES

2.77 Uma estudante está se deslocando com sua velocidade máxima de $5,0 \text{ m/s}$ para pegar um ônibus parado. Quando a estudante está a uma distância de $40,0 \text{ m}$ do ônibus, ele começa a se mover com aceleração constante igual a $0,170 \text{ m/s}^2$. a) Durante quanto tempo e qual é a distância percorrida para que a estudante alcance o ônibus? b) Quando a estudante alcança o ônibus, qual é a velocidade do ônibus? c) Faça um gráfico de $x-t$ para a estudante e para o ônibus. Considere $x = 0$ como a posição inicial da estudante. d) As equações usadas para calcular o tempo na parte (a) possuem uma segunda solução que corresponde a um tempo posterior para o qual a estudante e o ônibus estão na mesma posição caso continuassem com seus movimentos especificados. Explique o significado desta segunda solução. Qual a velocidade do ônibus neste ponto? e) Caso sua velocidade máxima fosse igual a $3,5 \text{ m/s}$ ela poderia alcançar o ônibus? f) Qual seria sua velocidade mínima para que ela pudesse alcançar o ônibus? Neste caso, quanto tempo e qual seria a distância percorrida para que a estudante pudesse alcançar o ônibus?

2.78 Estando inicialmente agachado, um atleta dá um salto vertical para atingir a altura máxima possível. Os melhores atletas permanecem cerca de $1,0 \text{ s}$ no ar (o "tempo de suspensão" no ar). Considere o atleta como uma partícula e denomine de y_M sua altura máxima acima do solo. Despreze a resistência do ar. Para explicar por que ele parece estar suspenso no ar, calcule a razão entre o tempo que ele leva para atingir a altura $y_M/2$ e o tempo que ele leva para atingir a altura y_M .

2.79 Uma bola é atirada de baixo para cima do canto superior do telhado de um edifício. Uma segunda bola é largada do mesmo ponto $1,00 \text{ s}$ mais tarde. Despreze a resistência do ar. a) Sabendo que a altura do edifício é igual a $20,0 \text{ m}$, qual deve ser a velocidade inicial da primeira bola para que ambas atinjam o solo no mesmo instante? Em um mesmo gráfico, desenhe a posição de cada bola em função do tempo medido a partir do lançamento da primeira bola. Considere a mesma situação, mas agora suponha que seja conhecida a velocidade inicial v_0 da primeira bola e que a altura h do edifício seja uma incógnita. b) Qual deve ser a altura do edifício para que ambas atinjam o solo no mesmo instante para os seguintes valores de v_0 : i) $6,0 \text{ m/s}$; ii) $9,5 \text{ m/s}$? c) Quando v_0 for superior a um certo valor máximo v_{Δ} , não existirá nenhum valor de h que satisfaça a condição de as bolas atingirem o solo no mesmo instante. O valor v_{Δ} possui uma interpretação física simples. Qual é ela? d) Quando v_0 for inferior a um certo valor mínimo v_{\min} , não existirá nenhum valor de h que satisfaça a condição de as bolas atingirem o solo no mesmo instante. O valor v_{\min} também possui uma interpretação física simples. Qual é ela?

2.80 Um excursionista atento vê uma pedra cair do alto de um morro vizinho e nota que ela leva $1,30 \text{ s}$ para cair a última terça parte da sua trajetória até o solo. Despreze a resistência do ar. a) Qual é a altura do morro em metros? b) Se na parte (a) você obtiver duas soluções de uma equação do segundo grau e usar apenas uma na resposta, o que representará a outra solução?

Quando a velocidade escalar não for constante, ainda existirá um componente radial de \vec{a} dado pela Equação (3.28) ou (3.30), mas existirá também um componente paralelo à trajetória; esse componente é igual à taxa de variação da velocidade escalar, dv/dt .

- Quando um corpo P se move em relação a um outro corpo (ou sistema de referência) B , e B se move em relação a A , designamos a velocidade de P relativa a B por \vec{v}_{PB} , a velocidade de P relativa a A por \vec{v}_{PA} e a velocidade de B relativa a A por \vec{v}_{BA} . Quando essas velocidades são paralelas à mesma linha reta, seus componentes ao longo dessa linha reta são relacionados por

$$v_{PA} = v_{PB} + v_{BA} \quad (\text{velocidade relativa no espaço}). \quad (3.33)$$

Generalizando, essas velocidades são relacionadas por

$$\vec{v}_{PA} = \vec{v}_{PB} + \vec{v}_{BA} \quad (\text{velocidade relativa no espaço}). \quad (3.36)$$

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

Q3.1 Um pêndulo simples (um corpo oscilando na extremidade de um fio) descreve um arco de círculo em cada oscilação. Qual é a direção e o sentido da aceleração nas extremidades da oscilação? E no ponto médio? Explique como você obteve cada resposta.

Q3.2 Refazer a Figura 3.9a supondo \vec{a} antiparalelo a \vec{v} . A partícula se move em linha reta? O que ocorre com a velocidade escalar?

Q3.3 Desprezando a resistência do ar, um projétil se move em uma trajetória parabólica. Existe algum ponto em que \vec{a} é paralelo a \vec{v} ? Perpendicular a \vec{v} ? Explique.

Q3.4 Quando um rifle é disparado para um alvo distante, a direção do cano não coincide com a do alvo. Por que não coincide? O ângulo da correção depende da distância ao alvo?

Q3.5 No mesmo instante em que a bala sai horizontalmente do cano de uma arma, você larga um corpo da mesma altura do cano. Desprezando a resistência do ar, qual dos dois chegará primeiro ao solo? Explique.

Q3.6 Um pacote é largado de um avião que voa em uma mesma altitude com velocidade constante. Desprezando a resistência do ar, qual seria a trajetória do pacote observada pelo piloto? E a trajetória observada por uma pessoa no solo?

Q3.7 Desenhe os seis gráficos para os componentes x e y da posição, da velocidade e da aceleração em função do tempo para movimento de um projétil com $x_0 = y_0 = 0$ e $0 < \alpha_0 < 90^\circ$.

Q3.8 Supondo $y_0 = 0$ e α_0 negativo, y nunca pode ser positivo para um projétil. Contudo, a expressão de h encontrada no Exemplo 3.9 parece que fornece uma altura máxima positiva para α_0 negativo. Explique essa aparente contradição.

Q3.9 Supondo que uma rã possa pular sempre com a mesma velocidade inicial em qualquer direção que ela pule (para a frente ou diretamente de baixo para cima), como a altura máxima que ela

pode atingir se relaciona com o alcance horizontal máximo $R_{\text{max}} = v_0^2/g$?

Q3.10 Suponha que o dardo tranquilizante da Figura 3.21 seja atirado com uma velocidade v_0 relativamente pequena, de modo que o dardo já tenha ultrapassado a altura máxima de sua trajetória e esteja descendo quando ele atinge o macaco (que ainda está no ar quando isso ocorre). No instante em que o dardo estava na altura máxima, a altura do macaco em relação ao solo era a mesma, maior ou menor do que essa altura máxima? Explique sua resposta com um diagrama.

Q3.11 Em um movimento circular uniforme, qual é a velocidade média e a aceleração média para uma revolução? Explique.

Q3.12 Em um movimento circular uniforme, como varia a aceleração quando a velocidade cresce de um fator igual a 3? Quando o raio decresce de um fator igual a 2?

Q3.13 Em um movimento circular uniforme, a aceleração é perpendicular à velocidade em cada instante, embora ambas mudem de direção continuamente. O movimento circular uniforme é o único movimento que goza dessa propriedade ou existe algum outro?

Q3.14 As gotas da chuva vistas através do vidro lateral de um carro em movimento caem em uma direção diagonal. Por quê? A explicação é a mesma ou diferente para a diagonal vista através do pára-brisa?

Q3.15 No caso de uma chuva forte, o que determina a melhor posição do guarda-chuva?

Q3.16 Você se encontra na margem oeste de um rio cujas águas se escoam do sul para o norte com velocidade de 1,2 m/s. Sua velocidade de natação em relação à água é igual a 1,5 m/s e o rio possui 60 m de largura. Qual é a trajetória em relação ao solo para você atravessar o rio no menor intervalo de tempo possível? Explique seu raciocínio.

EXERCÍCIOS

SEÇÃO 3.2 VETOR POSIÇÃO E VETOR VELOCIDADE

3.1 Um esquilo possui coordenadas x e y (1,1 m e 3,4 m) para $t_1 = 0$ e coordenadas (5,3 m e -0,5 m) para $t_2 = 3,0$ s. Para esse intervalo de tempo, calcule a) os componentes da velocidade média; b) o módulo e direção da velocidade média.

3.2 Um rinoceronte está na origem do sistema de coordenadas para $t_1 = 0$. Para o intervalo de tempo entre $t_1 = 0$ e $t_2 = 12,0$ s, sua velocidade média possui componente $x = -3,8$ m/s e componente $y = 4,9$ m/s. Para $t_2 = 12,0$ s, a) quais são as coordenadas x e y do rinoceronte? b) qual é a distância entre a origem e o rinoceronte?

3.3 Um projetista de páginas da Internet cria uma animação na qual um ponto da tela do computador possui posição $\vec{r} = [4,0 \text{ cm} + (2,5 \text{ cm/s}^2)t^2]\hat{i} + (5,0 \text{ cm/s})t\hat{j}$. a) Ache o módulo, a direção e o sentido da velocidade média do ponto para o intervalo entre $t_1 = 0$ e $t_2 = 2,0$ s. b) Ache o módulo, a direção e o sentido da velocidade instantânea para $t_1 = 0$ e $t_2 = 2,0$ s. c) Faça um desenho da trajetória do ponto no intervalo entre $t_1 = 0$ e $t_2 = 2,0$ s e mostre as velocidades calculadas em (b).

3.4 Se $\vec{r} = bt^2\hat{i} + ct^3\hat{j}$, onde b e c são constantes positivas, quando o vetor velocidade faz um ângulo de $45,0^\circ$ com o eixo Ox ou com o eixo Oy ?

SEÇÃO 3.3 VETOR ACELERAÇÃO

3.5 Um avião a jato está voando a uma altura constante. No instante $t_1 = 0$, os componentes da velocidade são $v_x = 90 \text{ m/s}$, $v_y = 110 \text{ m/s}$. No instante $t_2 = 30,0$ s, os componentes são $v_x = -170 \text{ m/s}$, $v_y = 40 \text{ m/s}$. a) Faça um esboço do vetor velocidade para t_1 e para t_2 . Qual a diferença entre estes vetores? Para esse intervalo de tempo, calcule b) os componentes da aceleração média, c) o módulo, a direção e o sentido da aceleração média.

3.6 A velocidade de um cachorro correndo em um campo aberto possui componentes $v_x = 2,6 \text{ m/s}$, $v_y = -1,8 \text{ m/s}$ para $t_1 = 10,0$ s. Para o um intervalo de tempo entre $t_1 = 10,0$ s e $t_2 = 20,0$ s, a aceleração média do cachorro possui módulo igual a $0,45 \text{ m/s}^2$, formando um ângulo de $31,0^\circ$ medido considerando uma rotação do eixo $+Ox$ para o eixo $+Oy$. Para $t_2 = 20,0$ s, a) quais são os componentes x e y da velocidade do cachorro? b) Ache o módulo, a direção e o sentido da velocidade do cachorro. c) Faça um desenho mostrando o vetor velocidade para t_1 e para t_2 . Qual é a diferença entre estes vetores?

3.7 Um pássaro voando em um plano xy possui coordenadas $x = \alpha t$ e $y = 3,0 \text{ m} - \beta t^2$, onde $\alpha = 2,4 \text{ m/s}$ e $\beta = 1,2 \text{ m/s}^2$. a) Faça um esboço da trajetória do pássaro entre $t = 0$ e $t = 2,0$ s. b) Ache o vetor velocidade e o vetor aceleração do pássaro em função do tempo. c) Ache o módulo, a direção e o sentido do vetor velocidade e do vetor aceleração do pássaro para $t = 2,0$ s. d) Faça um esboço do vetor velocidade e do vetor aceleração do pássaro para $t = 2,0$ s. Nesse instante, a velocidade escalar do pássaro está aumentando, diminuindo ou é constante? O pássaro está fazendo uma volta? Em caso positivo, em que sentido?

3.8 Uma partícula segue uma trajetória indicada na Figura 3.31. Entre os pontos B e D , a trajetória é uma linha reta. Desenhe o vetor aceleração em A , C e E para os casos em que a) a partícula se move com velocidade escalar constante; b) a partícula se move com velocidade escalar que cresce uniformemente; c) a partícula se move com velocidade escalar que decresce uniformemente.

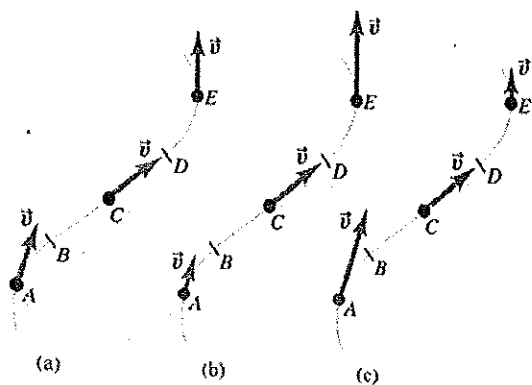


FIGURA 3.31 Exercício 3.8.

SEÇÃO 3.4 MOVIMENTO DE UM PROJÉTIL

3.9 Um livro de física escorrega horizontalmente para fora do topo de uma mesa com velocidade de $1,10 \text{ m/s}$. Ele colide com o solo em $0,350$ s. Desprezando a resistência do ar, ache a) a altura do topo da mesa até o solo; b) a distância horizontal entre a extremidade da mesa e o ponto onde ele colidiu com o solo; c) os componentes da velocidade do livro e o módulo, a direção e o sentido da velocidade imediatamente antes de o livro atingir o solo; d) faça diagramas $x-t$, $y-t$, v_x-t e v_y-t para o movimento.

3.10 Um helicóptero militar em missão de treinamento voa horizontalmente com velocidade de $60,0 \text{ m/s}$ e acidentalmente deixa cair uma bomba (felizmente não ativa) a uma altura de 300 m . Despreze a resistência do ar. a) Quanto tempo a bomba leva para atingir o solo? b) Qual a distância horizontal percorrida pela bomba durante a queda? c) Ache os componentes da velocidade na direção horizontal e na vertical imediatamente antes de a bomba atingir o solo. d) Faça diagramas $x-t$, $y-t$, v_x-t e v_y-t para o movimento da bomba. e) Mantida constante a velocidade do helicóptero, onde estaria ele no momento em que a bomba atingisse o solo?

3.11 Uma bola de futebol é chutada com velocidade inicial $v_0 = 15,0 \text{ m/s}$, formando um ângulo inicial $\alpha_0 = 45,0^\circ$. a) Ache o tempo T quando a bola atinge a altura máxima. b) Nos três instantes $t_1 = T - 0,50$ s, $t_2 = T$ e $t_3 = T + 0,50$ s, ache os componentes x e y do vetor posição. c) Para os instantes t_1 , t_2 e t_3 determine o módulo, a direção e o sentido do vetor velocidade. d) Para os instantes t_1 , t_2 e t_3 determine os componentes do vetor aceleração que sejam paralelos (ou antiparalelos) ao vetor velocidade e ache os componentes do vetor aceleração que sejam perpendiculares ao vetor velocidade. e) Faça um esboço da trajetória da bola. Nesse esboço, identifique a posição da bola nos instantes t_1 , t_2 e t_3 . Em cada um desses pontos, desenhe o vetor velocidade e os componentes paralelos e perpendiculares do vetor aceleração. f) Discuta como a velocidade escalar e a direção do movimento da bola variam com o tempo nos instantes t_1 , t_2 e t_3 e explique como os vetores do seu desenho descrevem essas variações.

3.12 Uma bola de tênis rola para fora da extremidade de uma mesa situada a uma altura igual a $0,750 \text{ m}$ acima do solo e atinge o solo em um ponto situado a $1,40 \text{ m}$ da extremidade da mesa. Despreze a resistência do ar. a) Ache o tempo de percurso. b) Ache o módulo da velocidade inicial. c) Ache o módulo, a direção e o sentido da velocidade da bola imediatamente antes de a bola atingir o solo. d) Faça diagramas $x-t$, $y-t$, v_x-t e v_y-t para o movimento.

3.13 Uma pistola de sinalização atira uma bala luminosa com velocidade inicial (velocidade na saída do cano) igual a 120 m/s . a) Se a bala é atirada a 55° acima da horizontal em uma região plana de Brasília, qual é seu alcance horizontal? Despreze a resistência do ar. b) Se a bala fosse atirada nas mesmas condições em uma região plana da Lua, onde $g = 1,6 \text{ m/s}^2$, qual seria seu alcance horizontal?

3.14 Pelé chuta uma bola de futebol com velocidade inicial tal que o componente vertical é igual a $16,0 \text{ m/s}$ e o componente horizontal é igual a $20,0 \text{ m/s}$. Despreze a resistência do ar. a) Que tempo a bola leva para atingir a altura máxima de sua trajetória? b) Qual a altura desse ponto? c) Quanto tempo a bola leva (desde o momento do chute inicial) até o instante em que ela retorna ao mesmo nível inicial? Qual é a relação entre esse tempo e o calculado no item (a)? d) Que distância horizontal ela percorreu durante esse tempo? e) Faça diagramas $x-t$, $y-t$, v_x-t e v_y-t para o movimento.

3.15 Mark McGwire bate uma bola de beisebol de forma que ela abandona o bastão com velocidade de $30,0 \text{ m/s}$ formando um

ângulo de $36,9^\circ$ acima da horizontal. Despreze a resistência do ar.
a) Ache os dois instantes para os quais a altura da bola está a $10,0$ m acima do nível inicial. b) Calcule o componente vertical e o componente horizontal da velocidade da bola em cada um dos dois tempos calculados no item (a). c) Determine o módulo, a direção e o sentido da velocidade da bola quando ela retorna ao nível inicial.

3.16 Um taco golpeia uma bola de golfe em uma pequena elevação acima do solo com uma velocidade de $12,0$ m/s e um ângulo inicial de $51,0^\circ$ acima da horizontal. A bola atinge o campo $2,08$ s após a tacada. Despreze a resistência do ar. a) Quais são os componentes da aceleração da bola durante o voo? b) Quais são os componentes da velocidade da bola no início e no final de sua trajetória? c) Qual é a distância horizontal percorrida pela bola? d) Por que a expressão de R obtida no Exemplo 3.9 não pode ser usada para dar a resposta correta do item (c)? e) Qual era a altura da bola no momento em que ela saiu do taco? f) Faça diagramas $x-t$, $y-t$, v_x-t e v_y-t para o movimento.

3.17 Em um parque de diversões você pode ganhar uma girafa inflável se conseguir encaixar uma moeda de 25 centavos em um prato pequeno. O prato está sobre uma prateleira acima do ponto em que a moeda deixa sua mão, a uma distância horizontal de $2,1$ m deste ponto (Figura 3.32). Se você lança a moeda com velocidade de $6,4$ m/s formando um ângulo de 60° acima da horizontal, a moeda se encaixa no prato. Despreze a resistência do ar. a) Qual a altura da prateleira em relação ao nível da sua mão? b) Qual é o componente vertical da velocidade da moeda imediatamente antes de a moeda pousar no prato?

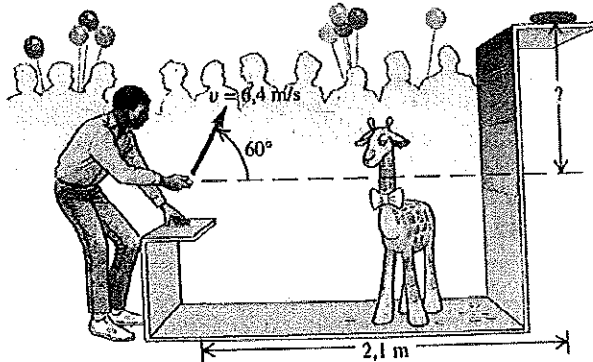


FIGURA 3.32 Exercício 3.17.

3.18 Suponha que o ângulo inicial α_0 da Figura 3.21 seja $42,0^\circ$ e que d seja igual a $3,0$ m. Onde o dardo e o macaco se encontrarão se a velocidade inicial do dardo for a) $12,0$ m/s? b) $8,0$ m/s? c) O que ocorreria se a velocidade inicial do dardo fosse $4,0$ m/s? Faça um esboço da trajetória em cada caso.

3.19 Um homem está parado no alto de um edifício de $15,0$ m de altura e atira uma pedra com velocidade de módulo de $30,0$ m/s formando um ângulo inicial de $33,0^\circ$ acima da horizontal. Despreze a resistência do ar. Calcule a) a altura máxima acima do telhado atingida pela pedra; b) o módulo da velocidade da pedra imediatamente antes de ela atingir o solo; c) a distância horizontal entre a base do edifício e o ponto onde ela atinge o solo. d) Faça diagramas $x-t$, $y-t$, v_x-t e v_y-t para o movimento.

SEÇÃO 3.5 MOVIMENTO CIRCULAR

3.20 Em seu primeiro dia de trabalho em uma fábrica de eletrodomésticos, você é solicitado a informar o que é necessário fazer para que a centrífuga de uma máquina de lavar triplique sua aceleração centrípeta. Você impressiona a sua chefe respondendo imediatamente. O que você diz a ela?

3.21 A Terra possui um raio igual a 6380 km e faz um giro completo em 24 horas. a) Qual é a aceleração radial de um objeto no equador da Terra? Dê sua resposta em m/s^2 e como uma fração de g . b) Se a_{rad} no equador fosse maior do que g , os objetos seriam ejetados da Terra e voariam para o espaço. (Veremos a razão disso no Capítulo 5.) Qual deveria ser o período mínimo de rotação da Terra para que isso ocorresse?

3.22 Um modelo de rotor de helicóptero possui quatro lâminas, cada qual com $3,40$ m de comprimento desde o eixo central até sua extremidade. O modelo gira em um túnel de vento com 550 rev/min. a) Qual é a velocidade linear da extremidade da lâmina em m/s ? b) Qual é a aceleração radial da extremidade da lâmina expressa como múltiplo da aceleração da gravidade, g ?

3.23 Em um teste de um "aparelho para g ", um voluntário gira em um círculo horizontal de raio igual a $7,0$ m. Qual é o período da rotação para que a aceleração centrípeta possua módulo de a) $3,0g$? b) $10g$?

3.24 O raio da órbita da Terra em torno do Sol (suposta circular) é igual a $1,50 \times 10^8$ km, e a Terra percorre esta órbita em 365 dias. a) Qual é o módulo da velocidade orbital da Terra em m/s ? b) Qual é a aceleração radial da Terra no sentido do Sol em m/s^2 ? c) Repita os cálculos de (a) e de (b) para o planeta Mercúrio (raio da órbita = $5,79 \times 10^7$ km, período da órbita = 88,0 dias).

3.25 Uma roda-gigante com raio igual a $14,0$ m está girando em torno de um eixo horizontal passando pelo seu centro (Figura 3.33). A velocidade linear de uma passageira em sua periferia é igual a $7,00$ m/s. Determine o módulo, a direção e o sentido da aceleração da passageira a) no ponto mais baixo do movimento circular, b) no ponto mais alto do movimento circular. c) Quanto tempo leva a roda-gigante para completar uma revolução?

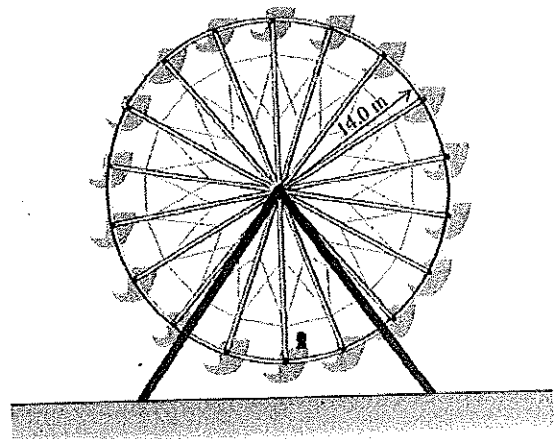


FIGURA 3.33 Exercícios 3.25 e 3.26.

3.26 A roda-gigante da Figura 3.33, que gira no sentido contrário ao dos ponteiros de um relógio, começa a se mover. Em dado instante, um passageiro na periferia da roda e passando no ponto mais baixo do movimento circular se move a $3,00$ m/s e está ganhando velocidade com uma taxa de $0,500$ m/s^2 . a) Determine o

módulo, a direção e o sentido da aceleração do passageiro nesse instante. b) Faça um desenho do passageiro e da roda-gigante mostrando o vetor velocidade e o vetor aceleração.

3.27 Uma pista de corrida plana possui forma elíptica. (Consulte um manual de matemática ou uma enciclopédia para caracterizar uma elipse.) Um carro viaja ao longo dessa pista com velocidade escalar constante. a) Faça um desenho mostrando o vetor velocidade e o vetor aceleração do carro em cinco pontos diferentes dessa trajetória. b) O vetor aceleração do carro sempre aponta para o centro geométrico da elipse? Explique. c) Para qual(is) ponto(s) da elipse a aceleração do carro possui maior módulo? Explique.

SEÇÃO 3.6 VELOCIDADE RELATIVA

3.28 Um vagão plano aberto de um trem se desloca para a direita com velocidade de $13,0 \text{ m/s}$ relativa a um observador fixo no solo. Uma motoneta está se deslocando sobre o vagão (Figura 3.34). Qual é a velocidade (módulo e sentido) da motoneta em relação ao vagão se a sua velocidade em relação a um observador fixo no solo é a) $18,0 \text{ m/s}$ para a direita? b) $3,0 \text{ m/s}$ para a esquerda? c) zero?

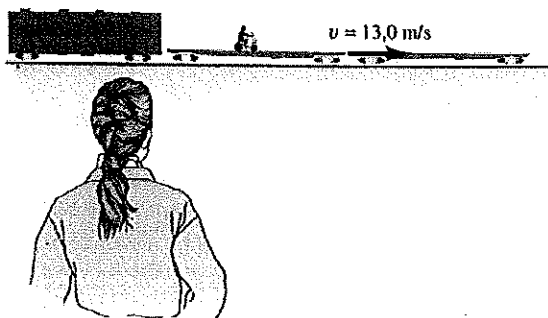


FIGURA 3.34 Exercício 3.28.

3.29 A "esteira rolante horizontal" do terminal de um aeroporto possui comprimento igual a $35,0 \text{ m}$ e se desloca a $1,0 \text{ m/s}$. Suponha uma mulher se deslocando a $1,5 \text{ m/s}$ em relação à esteira e partindo da extremidade da esteira. Quanto tempo leva para atingir a outra extremidade da esteira se ela se move a) no mesmo sentido da esteira? b) em sentido contrário ao da esteira?

3.30 Dois píeres estão localizados em um rio; o píer B está situado a 1500 m de A corrente abaixo (Figura 3.35). Dois amigos devem fazer um percurso do píer A ao píer B e depois voltar. Um deles vai de barco com velocidade constante de

$4,00 \text{ km/h}$ em relação à água. O outro caminha pela margem do rio com velocidade constante de $4,00 \text{ km/h}$. A velocidade do rio é igual a $2,80 \text{ km/h}$ no sentido de A para B. Calcule o tempo de cada um para fazer o percurso de ida e volta.

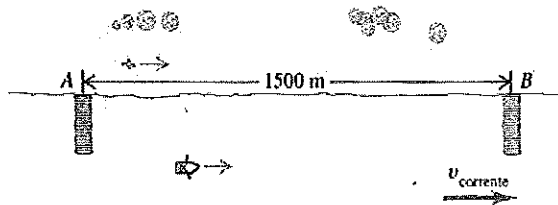


FIGURA 3.35 Exercício 3.30.

3.31 Uma canoa possui velocidade de $0,40 \text{ m/s}$ do sul para leste em relação à Terra. A canoa se desloca em um rio que escoia a $0,50 \text{ m/s}$ do oeste para leste em relação à Terra. Determine o módulo, a direção e o sentido da velocidade da canoa em relação ao rio.

3.32 O piloto de um avião deseja voar de leste para oeste. Um vento de $80,0 \text{ km/h}$ sopra do norte para o sul. a) Se a velocidade do avião em relação ao ar (sua velocidade se o ar estivesse em repouso) é igual a $320,0 \text{ km/h}$, qual deve ser a direção que o piloto deve escolher? b) Qual é a velocidade do avião em relação ao solo? Ilustre sua solução com um diagrama vetorial.

3.33 A água de um rio se escoia com velocidade de $2,0 \text{ m/s}$ do norte para o sul. Um homem dirige um barco com motor através do rio; sua velocidade em relação à água é igual a $4,2 \text{ m/s}$ de oeste para leste. A largura do rio é igual a 800 m . a) Determine o módulo, a direção e o sentido da sua velocidade em relação à Terra. b) Quanto tempo é necessário para atravessar o rio? c) A que distância ao sul do ponto inicial ele atingirá a margem oposta?

3.34 a) Em que direção o barco do Exercício 3.33 deveria se deslocar para atingir a margem oposta diretamente a leste do ponto inicial? (Sua velocidade em relação à água permanece igual a $4,2 \text{ m/s}$.) b) Qual a velocidade do barco em relação à Terra? c) Quanto tempo é necessário para atravessar o rio?

3.35 Um avião ultraleve aponta de norte para sul, e seu indicador de velocidade em relação ao ar mostra 35 m/s . O avião está submetido a um vento de 10 m/s que sopra na direção sudoeste em relação à Terra. a) Faça um diagrama vetorial mostrando a relação entre os vetores dados e \vec{v}_{PE} (a velocidade do avião em relação à Terra). b) Usando a coordenada x para o leste e a coordenada y para o norte, determine os componentes de \vec{v}_{PE} . c) Determine o módulo, a direção e o sentido de \vec{v}_{PE} .

PROBLEMAS

3.36 Um modelo de foguete se move no plano xy (o sentido positivo do eixo vertical Oy é de baixo para cima). A aceleração do foguete possui os componentes $a_x(t) = \alpha t^2$ e $a_y(t) = \beta - \gamma t$, onde $\alpha = 2,50 \text{ m/s}^4$, $\beta = 9,00 \text{ m/s}^3$ e $\gamma = 1,40 \text{ m/s}^3$. Para $t = 0$, o foguete está na origem e possui velocidade $\vec{v}_0 = v_{0x} \hat{i} + v_{0y} \hat{j}$, sendo $v_{0x} = 1,00 \text{ m/s}$ e $v_{0y} = 7,00 \text{ m/s}$. a) Determine o vetor velocidade e o vetor posição em função do tempo. b) Qual a altura máxima atingida pelo foguete? c) Faça um desenho da trajetória do foguete. d) Qual o deslocamento horizontal do foguete quando ele retorna para o ponto $y = 0$?

3.37 Um estudante se move em um plano xy num quarto escuro tentando localizar uma nota de R\$ 50. As coordenadas do estudante em função do tempo são $x(t) = \alpha t$ e $y(t) = 15,0 \text{ m} - \beta t^2$, onde $\alpha = 1,20 \text{ m/s}$ e $\beta = 0,500 \text{ m/s}^2$. Embora o estudante não saiba, a nota de R\$ 50 se encontra na origem. a) Em que instantes a velocidade do estudante é perpendicular à sua aceleração? b) Em quais instantes a velocidade do estudante não varia instantaneamente? c) Em quais instantes a velocidade do estudante é perpendicular ao seu vetor posição? Onde se encontra o estudante nesses instantes? d) Qual é a distância mínima entre a

nota de R\$ 50 e o estudante? Em que instante essa distância mínima é atingida? e) Faça um desenho da trajetória do infeliz estudante.

3.38 Um pássaro voa em um plano xy com um vetor velocidade dado por $\vec{v} = (\alpha - \beta t^2)\hat{i} + \gamma t\hat{j}$, sendo $\alpha = 2,4 \text{ m/s}$, $\beta = 1,6 \text{ m/s}^3$ e $\gamma = 4,0 \text{ m/s}^2$. Em $t = 0$ o pássaro está na origem. O sentido positivo do eixo vertical Oy é de baixo para cima. a) Determine o vetor posição e o vetor aceleração do pássaro em função do tempo. b) Qual é a altura do pássaro (coordenada y) quando ele voa sobre $x = 0$ pela primeira vez depois de $t = 0$?

3.39 Um Piper Warrior, um pequeno avião com quatro lugares, necessita de 300 m de pista para levantar voo. Sua velocidade de decolagem é igual a 88 km/h. A seguir ele se inclina com velocidade constante de 88 km/h ao longo de uma trajetória retilínea, passando rente uma linha de transmissão com 15 m de altura situada a uma distância horizontal de 460 m do local onde o avião decola. a) Qual era a aceleração inicial do Piper (suposta constante) durante seu movimento na pista para decolar? b) Depois de o Piper decolar, qual era seu ângulo de voo acima da horizontal? c) Qual era sua taxa de elevação (em m/s)? d) Qual o tempo decorrido desde o início do movimento até o instante em que o Piper passa rente à linha de transmissão?

3.40 Um instrutor (que também é professor de física) treina um atleta a arremessar um dardo de modo que ele saia da mão do atleta, a uma altura h , com velocidade $\sqrt{25gh/18}$ formando um ângulo de $36,9^\circ$ acima da horizontal. O dardo continua voando até atingir o solo. O campo em torno do atleta é plano e a resistência do ar é desprezível. a) Faça um desenho da velocidade horizontal do dardo em função do tempo e da velocidade vertical do dardo em função do tempo. b) Calcule a altura máxima alcançada pelo dardo. c) Calcule a distância horizontal que o dardo percorreu desde o instante em que ele deixou a mão do atleta até o instante em que atingiu o solo.

3.41 Uma equipe de demolição usa dinamite para explodir um edifício velho. Fragmentos da explosão voam em todas as direções, e mais tarde são encontrados num raio de 50 m da explosão. Faça uma estimativa da velocidade máxima atingida pelos fragmentos da explosão. Descreva todas as hipóteses que você usar.

3.42 Uma dublê de cinema pula de um helicóptero em voo a 30,0 m acima do solo com velocidade constante cujo componente vertical é igual a 10,0 m/s de baixo para cima e cujo componente horizontal é igual a 15,0 m/s do norte para o sul. Despreze a resistência do ar. a) Em que lugar do solo (em relação ao ponto onde ela abandonou o helicóptero) a dublê colocou almofadas de espuma para amortecer sua queda? b) Faça diagramas $x-t$, $y-t$, v_x-t e v_y-t para o movimento.

3.43 No combate a incêndios em florestas, aviões jogam água para ajudar equipes que trabalham no solo. Um piloto em treinamento lança uma caixa com corante vermelho, na esperança de atingir um alvo no solo. Se o avião está voando horizontalmente a 90,0 m acima do solo com velocidade de 64,0 m/s, a que distância horizontal do alvo deve o piloto lançar a caixa? Despreze a resistência do ar.

3.44 Uma garota joga um saco com água a um ângulo de $50,0^\circ$ acima da horizontal com velocidade de 12,0 m/s. O componente horizontal da velocidade do saco é direcionado para o carro que se aproxima da garota com velocidade constante de 8,00 m/s (Figura 3.36). Supondo que o saco atinja o carro na mesma altura em que ele abandona a mão da garota, qual é a distância máxima que o carro pode estar da garota quando o saco é jogado? Despreze a resistência do ar.

3.45 Maior alcance de uma bola de beisebol. De acordo com o *Guinness Book of World Records*, o recorde de alcance de uma

bola de beisebol foi obtido em uma batida feita por Roy "Dizzy" Carlyle. A bola percorreu uma distância horizontal de 188 m até atingir o solo fora do campo. a) Supondo que a bola tenha sido lançada a $45,0^\circ$ acima da horizontal e desprezando a resistência do ar, qual era a velocidade inicial da bola para que isso ocorresse, sabendo-se que a bola foi batida em um ponto a 0,9 m acima do nível do solo? Suponha que o solo seja perfeitamente plano. b) Em que ponto a bola passou acima da cerca de 3,0 m de altura, sabendo-se que a cerca estava a uma distância de 116 m do ponto do lançamento da bola?

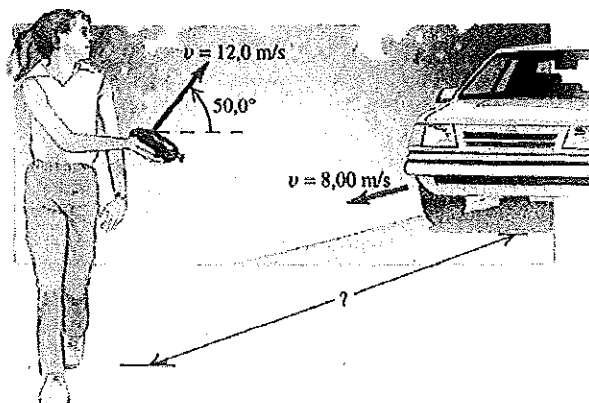


FIGURA 3.36 Problema 3.44.

3.46 Um dia após sua graduação, você decidiu lançar um fósforo aceso no topo de uma lixeira cilíndrica (diâmetro D e altura $2D$) cheia de papéis velhos com exercícios para casa. Para tornar esse evento mais esportivo, a parte inferior da lixeira está no mesmo nível do ponto em que o fósforo deixa a sua mão, e a lixeira está a uma distância horizontal de $6D$ do ponto em que o fósforo deixa a sua mão. Você lança o fósforo com ângulo de $45,0^\circ$ acima da horizontal. Ache o valor máximo e o valor mínimo da velocidade inicial do lançamento para que o fósforo entre pela parte superior da lixeira. Despreze a resistência do ar e dê sua resposta em termos de g e de D .

3.47 Você deseja jogar uma bola para um amigo segurá-la no meio do seu quarto. A distância entre o chão e o teto é igual a D e você lança a bola com velocidade $v_0 = \sqrt{6gD}$. Qual é a distância horizontal máxima (em termos de D) que a bola pode se deslocar sem que ela seja rebatida pelo teto? (Suponha que a bola tenha sido lançada do chão.)

3.48 Uma bola de beisebol é batida com ângulo de $60,0^\circ$ acima da horizontal e atinge um edifício a 18,0 m de distância em um ponto a 3,00 m acima do ponto de lançamento. Despreze a resistência do ar. a) Calcule o módulo da velocidade inicial da bola de beisebol (a velocidade de lançamento da bola de beisebol). b) Determine o módulo, a direção e o sentido da bola de beisebol imediatamente antes de ela atingir o edifício. c) Faça diagramas $x-t$, $y-t$, v_x-t e v_y-t para o movimento.

3.49 Um projétil é lançado com velocidade v_0 formando um ângulo α_0 com a horizontal. O ponto de lançamento está situado a uma altura h acima do solo. a) Desprezando a resistência do ar, mostre que a distância horizontal percorrida pelo projétil antes de ele atingir o solo é dada por

$$x = \frac{v_0 \cos \alpha_0}{g} \left(v_0 \sin \alpha_0 + \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha_0 + 2gh} \right).$$

Verifique que, se o ponto de lançamento estivesse situado no mesmo nível do solo, isto é, $h = 0$, essa expressão se reduziria ao alcance horizontal R encontrado no Exemplo 3.9. b) Para o caso

$v_0 = 10 \text{ m/s}$ e $h = 5,0 \text{ m}$, faça um gráfico de x em função do ângulo de lançamento α_0 para valores de α_0 de 0° a 90° . Seu gráfico deve mostrar que x é igual a zero para $\alpha_0 = 90^\circ$, mas x é diferente de zero para $\alpha_0 = 0$; explique a razão disso. c) Vimos no Exemplo 3.9 que, quando o projétil atinge o solo no mesmo nível em que ele é lançado, o alcance horizontal é máximo para $\alpha_0 = 45^\circ$. Para o caso desenhado no item (b), o ângulo de lançamento para o alcance horizontal máximo é igual a, maior que ou menor que 45° ? (Este problema fornece um resultado geral para o lançamento de um projétil lançado de um ponto mais elevado do que o ponto onde ele atinge o solo.)

3.50 Uma bola de neve rola do telhado de um celeiro que possui uma inclinação para baixo igual a 40° (Figura 3.37). A extremidade do telhado está situada a $14,0 \text{ m}$ acima do solo e a bola de neve possui velocidade de $7,00 \text{ m/s}$ quando ela abandona o telhado. Despreze a resistência do ar. a) A que distância do celeiro a bola de neve atingirá o solo caso não colida com nada durante sua queda? b) Faça diagramas $x-t$, $y-t$, v_x-t e v_y-t para o movimento da parte (a). c) Um homem de $1,9 \text{ m}$ de altura está parado a uma distância de $4,0 \text{ m}$ da extremidade do celeiro. Ele será atingido pela bola de neve?

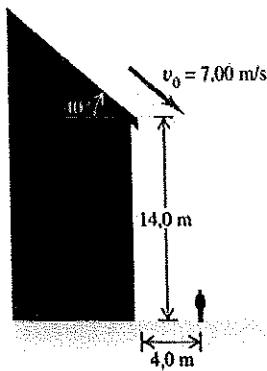


FIGURA 3.37 Problema 3.50.

3.51 a) Prove que um projétil lançado em um ângulo α_0 possui o mesmo alcance horizontal de outro lançado com a mesma velocidade em um ângulo $(90^\circ - \alpha_0)$. b) Uma rã pula com uma velocidade de $2,2 \text{ m/s}$ e chega ao solo a 25 cm de distância de seu ponto inicial. Para que ângulos acima da horizontal ela poderia ter pulado?

3.52 No trapézio voador. Em um novo circo, Maria oscila em um trapézio, projeta-se em um ângulo de 53° e deve ser segurada por João, cujas mãos estão a $6,1 \text{ m}$ acima e $8,2 \text{ m}$ horizontalmente do ponto de lançamento de Maria (Figura 3.38). Despreze a

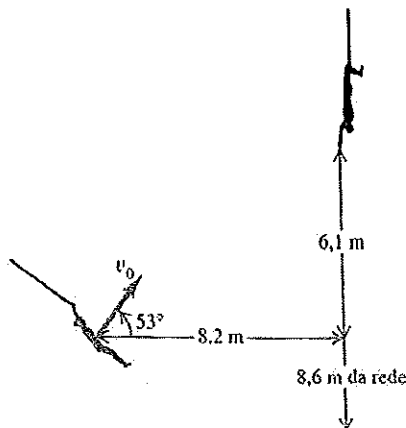


FIGURA 3.38 Problema 3.52.

resistência do ar. a) Qual deve ser a velocidade inicial de Maria para que ela seja segurada por João? b) Para a velocidade inicial calculada em (a), qual é o módulo, a direção e o sentido da velocidade de Maria quando ela é segurada por João? c) Supondo que Maria possua a velocidade inicial calculada em (a), faça diagramas $x-t$, $y-t$, v_x-t e v_y-t para o movimento dos dois trapezistas. Seus gráficos devem mostrar o movimento para cima até o instante em que Maria alcança João. d) Na noite de estréia, João não consegue segurar Maria. Qual a distância horizontal percorrida por Maria, a partir de seu ponto inicial, até o momento em que ela atinge a rede de segurança situada a $8,6 \text{ m}$ abaixo de seu ponto inicial?

3.53 Um professor de física faz proezas loucas em suas horas vagas. Sua última façanha foi saltar sobre um rio com sua motocicleta (Figura 3.39). A rampa de decolagem era inclinada de $53,0^\circ$, a largura do rio era de $40,0 \text{ m}$, e a outra margem estava a $15,0 \text{ m}$ abaixo do nível da rampa. O rio estava a 100 m abaixo do nível da rampa. Despreze a resistência do ar. a) Qual deveria ser sua velocidade para que ele pudesse alcançar a outra margem sem cair no rio? b) Caso sua velocidade fosse igual à metade do valor encontrado em (a), onde ele cairia?

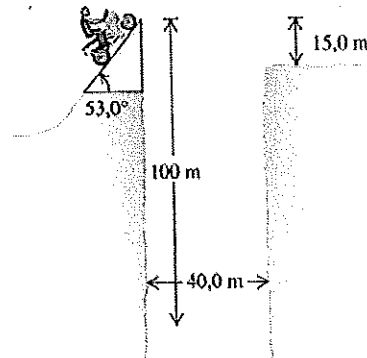


FIGURA 3.39 Problema 3.53.

3.54 Uma pedra é atirada do telhado de um edifício com velocidade v_0 , formando um ângulo α_0 com a horizontal. Despreze a resistência do ar. Determine o módulo, a direção e o sentido da velocidade da pedra imediatamente antes de atingir o solo e mostre que essa velocidade não depende de ângulo α_0 .

3.55 Um jogador de basquete recebe uma pancada na disputa de um lance. Como prêmio, ele poderá fazer dois lances livres. O centro da cesta está situado a uma distância horizontal de $4,21 \text{ m}$ da linha do lançamento livre e a uma altura de $3,05 \text{ m}$ acima do solo (Figura 3.40). Na primeira tentativa do lance livre, ele lança a bola com velocidade $v_0 = 4,88 \text{ m/s}$ formando um ângulo de 35° acima da horizontal. A bola é lançada a $1,83 \text{ m}$ acima do solo. Esse lançamento não atingiu a cesta. Despreze a resistência do ar. a) Qual a altura máxima atingida pela bola? b) Qual a distância ao longo do solo entre o ponto onde a bola atinge o solo e a linha do lançamento livre? c) No segundo lançamento livre, a bola entra na cesta. Para esse segundo lançamento, o jogador novamente lança a bola com um ângulo de 35° acima da horizontal e a uma altura de $1,83 \text{ m}$ acima do solo. Qual foi a velocidade inicial desse segundo lançamento? d) Para o segundo lançamento, qual a altura máxima atingida pela bola? Qual a distância ao longo do solo entre o ponto onde a bola atinge a cesta e a linha do lançamento livre?

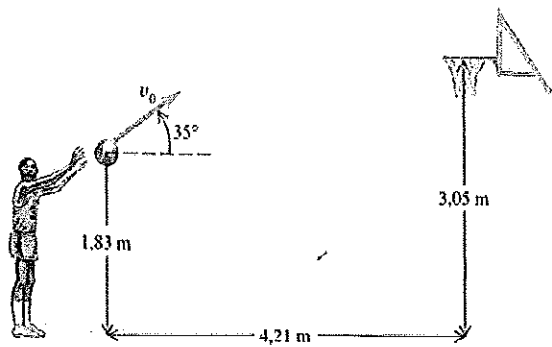


FIGURA 3.40 Problema 3.55.

3.56 Romeu joga um seixo na janela de Julieta para acordá-la. Infelizmente, o seixo não era muito pequeno e a velocidade inicial do lançamento também não era muito pequena. Imediatamente antes de quebrar o vidro da janela, o seixo se move horizontalmente, tendo já percorrido uma distância horizontal x e uma distância vertical y como um projétil. Determine o módulo, a direção e o sentido da velocidade inicial do seixo no momento em que ele abandona a mão de Romeu.

3.57 Um foguete está inicialmente em repouso no solo. Quando seu motor é ligado, ele dispara em linha reta com uma aceleração constante de módulo igual a g , formando um ângulo de $53,1^\circ$ acima da horizontal. O motor pára em um dado instante T após o lançamento, depois do qual o foguete se torna um projétil. Despreze a resistência do ar e suponha que g não depende da altura. a) Faça um diagrama do movimento do foguete, desde o momento em que ele é lançado até o instante em que ele retorna ao solo. Indique o vetor velocidade e o vetor aceleração em vários pontos ao longo da trajetória. b) Faça diagramas v_x-t e v_y-t para o movimento do foguete desde o momento em que ele é lançado até o instante em que ele retorna ao solo. c) Ache a altura máxima atingida pelo foguete. Sua resposta deve ser dada em função de T e de g . d) Ache a distância horizontal entre o ponto em que ele é lançado até o ponto em que ele retorna ao solo (isto é, seu alcance). Sua resposta deve ser dada em função de T e de g .

3.58 Em um filme de aventura, o herói joga uma granada de seu carro, que se desloca a $90,0 \text{ km/h}$, atingindo o carro do inimigo, que se desloca a $110,0 \text{ km/h}$. O carro do inimigo está a $15,8 \text{ m}$ à frente do carro do herói quando ele joga a granada. Se o lançamento é tal que sua velocidade inicial em relação a ele forma um ângulo de 45° acima da horizontal, qual deve ser o módulo da velocidade inicial? Os dois carros se deslocam no mesmo sentido numa estrada retilínea e plana. Despreze a resistência do ar. Ache o módulo da velocidade inicial em relação ao herói e em relação à Terra.

3.59 Uma pedra amarrada em uma corda se move no plano xy . Suas coordenadas são dadas em função do tempo por

$$x(t) = R \cos \omega t, \quad y(t) = R \sin \omega t,$$

onde R e ω são constantes. a) Mostre que a distância da pedra até a origem é constante e igual a R , ou seja, sua trajetória é uma circunferência de raio R . b) Mostre que em cada ponto o vetor velocidade é perpendicular ao vetor posição. c) Mostre que o vetor aceleração é sempre oposto ao vetor posição e possui módulo igual a $\omega^2 R$. d) Mostre que o módulo da velocidade da pedra é constante e igual a ωR . e) Combine os resultados das partes (c) e (d) para mostrar que a aceleração da pedra possui módulo constante igual a v^2/R .

3.60 A velocidade escalar de uma partícula que se move em um plano x,y é igual ao módulo da velocidade instantânea, $v = |\vec{v}| = (v_x^2 + v_y^2)^{1/2}$. a) Mostre que a taxa de variação da velocidade escalar é dada por $(v_x a_x + v_y a_y) / \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$. b) Use essa expressão para achar o valor de dv/dt no instante $t = 2,0 \text{ s}$ para o carro com controle remoto dos Exemplos 3.1, 3.2 e 3.3. Compare sua resposta com os componentes da aceleração encontrados no Exemplo 3.3. Explique por que sua resposta *não* é igual ao módulo da aceleração encontrado na parte (b) do Exemplo 3.2. c) Mostre que a taxa de variação da velocidade escalar pode ser expressa como $dv/dt = \vec{v} \cdot \vec{a}/v$ e use esse resultado para entender por que dv/dt é igual a a_{\parallel} , o componente de \vec{a} paralelo a \vec{v} .

3.61 Uma partícula se move em um plano x,y . Suas coordenadas são dadas em função do tempo por $x(t) = R(\omega t - \sin \omega t)$, $y(t) = R(1 - \cos \omega t)$, onde R e ω são constantes. a) Faça um esboço da trajetória da partícula. (Essa curva é a trajetória de um ponto que se desloca na periferia de uma roda que rola com velocidade escalar constante numa superfície horizontal. A curva traçada por esse ponto enquanto ele se move no espaço denomina-se *cicloide*.) b) Determine os componentes da velocidade e da aceleração da partícula em qualquer tempo t . c) Para que instantes a partícula está momentaneamente em repouso? Quais são as coordenadas da partícula nesses instantes? Determine o vetor aceleração. d) O módulo da aceleração é função do tempo? Compare com o movimento circular uniforme.

3.62 Você está voando em um avião leve, relatando as condições do tráfego para uma emissora de rádio. Seu vôo se dirige de oeste para leste sobre uma estrada. Os marcos da estrada abaixo indicam que sua velocidade é igual a $50,0 \text{ m/s}$ em relação ao solo e seu indicador de velocidade do ar também mostra $50,0 \text{ m/s}$. Contudo, a frente de seu avião aponta ligeiramente para uma direção sudeste e um funcionário do serviço de meteorologia informa a você que está soprando um vento de $20,0 \text{ m/s}$. Qual é a direção do vento?

3.63 O problema do pombo-correio. Lúcia está dirigindo de oeste para leste a 40 km/h . Seu irmão gêmeo Fernando dirige de leste para oeste a 30 km/h , se aproximando de Lúcia em um carro idêntico na mesma estrada retilínea. Quando a distância entre eles é de 42 km , Lúcia solta um pombo-correio que voa com velocidade constante de 50 km/h . (Todas as velocidades são em relação à Terra.) O pombo voa no sentido de Fernando, fica confuso e retorna no sentido de Lúcia, fica mais confuso e retorna no sentido de Fernando. Isso continua até que os gêmeos se encontram, instante em que o pombo-correio cai no chão exausto. Desprezando o tempo das mudanças de direção, qual foi a distância percorrida pelo pombo-correio?

3.64 Quando a velocidade de um trem é de $12,0 \text{ m/s}$ de oeste para leste, gotas de chuva caindo verticalmente em relação à Terra fazem traços inclinados de $30,0^\circ$ nas janelas do trem. a) Qual o componente horizontal da velocidade da gota de chuva em relação à Terra? E em relação ao trem? b) Qual o módulo da velocidade da gota de chuva em relação à Terra? E em relação ao trem?

3.65 Um piloto de avião coloca o curso da direção de leste para oeste com uma bússola e mantém uma velocidade em relação ao ar de 220 km/h . Depois de voar durante $0,500 \text{ h}$, ele se encontra sobre uma cidade a 120 km a oeste e 20 km ao sul da sua posição inicial. a) Ache a velocidade do vento (módulo, direção e sentido). b) Se a velocidade do vento fosse igual a 40 km/h do norte para o sul, em que direção o piloto deveria orientar seu curso para que pudesse se dirigir de leste para oeste. Considere a mesma velocidade em relação ao ar de 220 km/h .

3.66 Um avião voa de um ponto diretamente sobre Metrópolis a um ponto diretamente sobre Brasópolis, a seguir faz uma volta e retorna ao ponto de partida. A velocidade do ar (isto é, a velocidade do avião em relação ao ar) é constante e igual a v durante o voo. Brasópolis está a uma distância D a leste de Metrópolis. a) Caso não exista vento, quanto tempo é necessário para a viagem de ida e volta? Quanto tempo é necessário para a viagem de ida e volta se o vento sopra com velocidade w , b) de oeste para leste, c) do norte para o sul? d) Supondo $D = 3,00 \times 10^2$ km, $v = 4,00 \times 10^3$ km/h e $w = 1,00 \times 10^2$ km/h, calcule o tempo necessário para a viagem de

ida e volta nos casos (a), (b) e (c). Qual dos três fornece a viagem de ida e volta mais lenta?

3.67 Um elevador se move de baixo para cima com velocidade constante de 2,50 m/s. Um parafuso no teto do elevador está frouxo e cai. a) Quanto tempo ele leva para atingir o piso do elevador? Qual é a velocidade do parafuso no momento em que ele atinge o piso do elevador b) para um observador dentro do elevador? c) E para um observador parado fora do elevador? d) Para o observador do item (c), qual é a distância percorrida pelo parafuso entre o teto e o piso do elevador?

PROBLEMAS DESAFIADORES

3.68 Um homem está sobre um vagão largo e aberto, que se desloca com velocidade de 9,10 m/s (Figura 3.41). Ele deseja lançar uma bola através de um aro em repouso a uma altura de 4,90 m de sua mão, de tal modo que a bola se mova horizontalmente quando ela passar através do aro. Ele lança a bola com velocidade de 10,8 m/s em relação a si próprio. a) Qual deve ser o componente vertical da velocidade inicial da bola? b) Quantos segundos após o lançamento da bola ela passará através do aro? c) A que distância horizontal à frente do aro ele deve lançar a bola? d) Quando a bola deixa a mão do homem, qual é a direção de sua velocidade relativa em relação ao vagão? E em relação a um observador em repouso no solo?

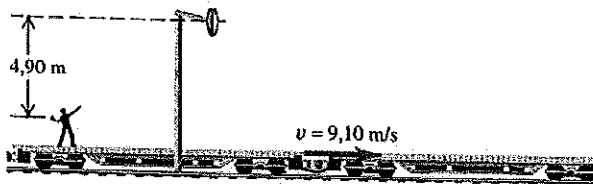


FIGURA 3.41 Problema Desafiador 3.68.

3.69 Uma espingarda dispara de baixo para cima um grande número de pequenas pelotas. Algumas delas se deslocam aproximadamente na vertical e outras divergem cerca de $1,0^\circ$ da vertical. Suponha que a velocidade inicial das pelotas seja uniforme para todas e igual a 150,0 m/s. Despreze a resistência do ar.

a) Dentro de que raio a partir do ponto do disparo as pelotas se distribuem? b) Caso haja 1000 pelotas e elas caiam em um círculo cujo raio foi calculado na parte (a), qual a probabilidade de que pelo menos uma pelota caia na cabeça da pessoa que fez o disparo? Suponha que seja de 10 cm o raio da sua cabeça. c) A resistência do ar de fato produz diversos efeitos. Ela faz diminuir a velocidade da pelota que sobe, faz diminuir o seu componente horizontal e limita a velocidade com a qual elas caem. Qual desses efeitos poderá fazer aumentar o raio no cálculo que você fez para responder ao item (a) e qual poderá fazer diminuir? O que você pensa sobre o efeito global da resistência do ar? (O efeito da resistência do ar sobre um componente da velocidade aumenta quando o módulo da velocidade desse componente aumenta.)

3.70 Um projétil é lançado de um ponto P . Ele se move de tal modo que sua distância ao ponto P é sempre crescente. Determine o ângulo máximo acima da horizontal com o qual o projétil foi lançado. Despreze a resistência do ar.

3.71 Uma bola de beisebol recebe uma velocidade inicial com módulo v_0 , formando um ângulo ϕ com um plano que está inclinado de um ângulo θ acima da horizontal (Figura 3.42).

a) Calcule a distância, medida ao longo do plano inclinado, entre o

ponto de lançamento e o ponto em que a bola colide com o plano inclinado. Suas respostas serão em termos de v_0 , g , θ e ϕ . b) Qual o ângulo ϕ que fornece o alcance máximo, medido ao longo do plano inclinado? (Nota: Você poderia se interessar pelos três diferentes métodos de solução apresentados por I. R. Lapidus na revista *Am. Jour. of Phys.*, Vol. 51, (1983), pp. 806 e 847. Veja também H. A. Buckmaster na revista *Am. Jour. of Phys.*, Vol. 53 (1985), pp. 638-641, para um estudo aprofundado deste e de outros problemas semelhantes.)

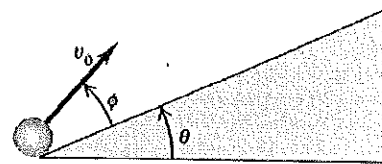


FIGURA 3.42 Problema Desafiador 3.71.

3.72 Considere o Problema Desafiador 3.71. a) Um arqueiro se encontra em um terreno com inclinação constante de $30,0^\circ$ e deseja atingir um alvo situado a uma distância de 60,0 m para cima do plano inclinado. O arco, a flecha e o centro do alvo estão situados a uma distância de 1,50 m acima do plano inclinado. A velocidade inicial da flecha no exato momento em que ela sai do arco possui módulo igual a 32,0 m/s. Para que ângulo acima da horizontal o arqueiro deve apontar para atingir o centro do alvo? Caso existam dois ângulos, ache o menor entre os dois. Você poderia resolver a equação que fornece o ângulo através de uma iteração, ou seja, pelo método das tentativas. Como esse ângulo estaria relacionado com o ângulo que seria obtido supondo-se um terreno plano com inclinação igual a zero? b) Repita o item (a) para uma inclinação para baixo constante e igual a $30,0^\circ$.

3.73 Sem nenhum motivo aparente, um cão *poodle* corre com velocidade constante $v = 5,00$ m/s em torno de um círculo com raio $R = 2,50$ m. Seja \vec{v}_1 o vetor velocidade no tempo t_1 e \vec{v}_2 o vetor velocidade no tempo t_2 . Considere $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ e $\Delta t = t_2 - t_1$. Lembre-se de que $\vec{a}_m = \Delta\vec{v}/\Delta t$. Para $\Delta t = 0,5$ s, $0,1$ s e $0,05$ s, calcule o módulo (com quatro algarismos significativos), a direção e o sentido (em relação a \vec{v}_1) da aceleração média \vec{a}_m . Compare seus resultados com a expressão geral da aceleração instantânea \vec{a} obtida no texto para o caso do movimento circular uniforme.

3.74 Um foguete projetado para colocar pequenas cargas em órbita é conduzido a uma altura de 12,0 km acima do nível do mar por uma aeronave convertida. Quando a aeronave está voando em linha reta com velocidade constante de 850 km/h, o foguete é

lançado. Depois do lançamento, a aeronave mantém a mesma altitude e velocidade e continua a voar em linha reta. O foguete cai durante um intervalo de tempo pequeno, depois do qual seu motor é acionado. Com o motor funcionando, o efeito combinado da gravidade e da força motriz produzem uma aceleração constante de módulo $3,00 g$ dirigida para cima e formando um ângulo de $30,0^\circ$ com a horizontal. Por razões de segurança, o foguete deve permanecer pelo menos a uma distância de $1,00 \text{ km}$ à frente da aeronave quando ele sobe até atingir a altura da aeronave. Sua tarefa é calcular o intervalo de tempo mínimo da queda do foguete antes do seu motor ser acionado. Despreze a resistência do ar. Sua solução deve incluir: i) um diagrama que mostre as trajetórias do voo do foguete e da aeronave, identificadas mediante seus respectivos vetores para a velocidade e a aceleração em diversos pontos; ii) um gráfico $x-t$ que mostre os movimentos do foguete e da aeronave; e iii) um gráfico $y-t$ que mostre os movimentos do foguete e da aeronave. Nos diagramas e

nos gráficos, indique o instante em que o foguete é lançado, o instante em que o motor é acionado e o instante em que o foguete sobe atingindo a altura da aeronave.

3.75 Dois estudantes estão praticando canoagem em um rio. Quando eles estão se dirigindo no sentido contrário ao da corrente, uma garrafa vazia cai acidentalmente da canoa. A seguir, eles continuam remando durante 60 minutos, atingindo um ponto $2,0 \text{ km}$ a montante do ponto inicial. Nesse ponto eles notam a falta da garrafa e, pensando na preservação do meio ambiente, dão uma volta e retornam no sentido da corrente. Eles recolhem a garrafa (que acompanhou o movimento da corrente) em um ponto situado a $5,00 \text{ km}$ a jusante do ponto onde eles retornaram. a) Supondo que o esforço feito para remar seja constante em todas as etapas do trajeto, qual a velocidade de escoamento do rio? b) Qual seria a velocidade da canoa em um lago calmo, supondo que o esforço feito para remar seja o mesmo?

exercida sobre o livro pela sua mão igual e oposta à força exercida sobre o livro pela Terra? j) É a força exercida sobre o livro pela Terra igual e oposta à força exercida sobre a Terra pelo livro? k) É a força exercida sobre o livro pela sua mão igual e oposta à força exercida sobre sua mão pelo livro? Finalmente, suponha que você retire subitamente sua mão enquanto o livro se move para cima. l) Quantas forças atuam agora sobre o livro? m) O livro está em equilíbrio?

4.21 Uma garrafa é empurrada sobre uma mesa e escorrega para fora da extremidade da mesa. Não despreze a resistência do ar. a) Quais forças atuam sobre a garrafa enquanto ela cai da mesa até o chão? b) Quais são as reações dessas forças; ou seja, sobre quais corpos e por quais corpos as reações são exercidas?

4.22 O piso de um elevador exerce uma força normal de 620 N de baixo para cima sobre um passageiro que pesa 650 N. Quais são as reações dessas duas forças? O passageiro está sendo acelerado? Em caso afirmativo, determine o módulo, a direção e o sentido da aceleração.

4.23 Uma estudante com massa de 45 kg pula de um trampolim elevado. Considerando a massa da Terra como $6,0 \times 10^{24}$ kg, qual é a aceleração da Terra no sentido da estudante quando ela se acelera no sentido da Terra com $9,8 \text{ m/s}^2$? Suponha que a força resultante sobre a Terra seja a força gravitacional que ela exerce sobre a Terra.

SEÇÃO 4.7 USO DAS LEIS DE NEWTON

4.24 Uma astronauta está ligada por um cabo forte a uma nave espacial. A astronauta junto com sua roupa e equipamentos possui massa total de 105 kg, enquanto a massa do cabo é desprezível. A massa da espaçonave é igual a $9,05 \times 10^4$ kg. A espaçonave está longe de qualquer corpo celeste, de modo que as forças gravitacionais externas sobre ela e sobre a astronauta são desprezíveis. Supomos também que a astronauta e a espaçonave estejam em repouso inicialmente em um sistema de referência inercial. A astronauta puxa o cabo com uma força de 80,0 N. a) Qual é a força que o cabo exerce sobre a astronauta? b) Visto que $\sum \vec{F} = m\vec{a}$, como pode um "cabo sem massa" ($m = 0$) exercer uma força? c) Qual é a aceleração da astronauta? d) Qual é a força que o cabo exerce sobre a espaçonave? e) Qual é a aceleração da espaçonave?

4.25 Um balde com água pesando 4,80 kg é acelerado de baixo para cima por uma corda de massa desprezível cuja tensão de ruptura é igual a 75,0 N. Calcule a aceleração máxima de baixo para cima que o balde pode ter sem que a corda se rompa.

PROBLEMAS

4.32 Uma bala de um rifle 22, se deslocando a 350 m/s, atinge um bloco de madeira, no qual ela penetra até uma profundidade de 0,130 m. A massa da bala é de 1,80 g. Suponha uma força retardadora constante. a) Qual é o tempo necessário para a bala parar? b) Qual é a força, em newtons, que a madeira exerce sobre a bala?

4.33 Dois cavalos puxam horizontalmente cordas amarradas a um tronco de árvore. As duas forças \vec{F}_1 e \vec{F}_2 que eles exercem sobre o tronco são tais que a força resultante \vec{R} possui módulo igual ao de \vec{F}_1 e faz um ângulo de 90° com \vec{F}_1 (Figura 4.28). Seja $F_1 = 1300 \text{ N}$ e $R = 1300 \text{ N}$. Determine o módulo, a direção e o sentido de \vec{F}_2 (em relação a \vec{F}_1).

4.26 Um elevador de massa m está se deslocando de baixo para cima com uma aceleração de módulo $|\vec{a}|$. A massa do cabo de suporte é desprezível. Qual é a tensão no cabo de suporte a) se o elevador aumenta de velocidade enquanto sobe? b) se o elevador diminui de velocidade enquanto sobe?

4.27 Duas caixas, uma de massa de 4,00 kg e outra de 6,00 kg, estão em repouso sobre a superfície sem atrito de um lago congelado, ligadas por uma corda leve (Figura 4.27). Uma mulher usando um tênis áspero (de modo que ela possa exercer tração sobre o solo) puxa horizontalmente a caixa de 6,00 kg com uma força F que produz uma aceleração de $2,50 \text{ m/s}^2$. a) Qual é o módulo da força F ? b) Qual é a tensão T na corda que conecta as duas caixas?

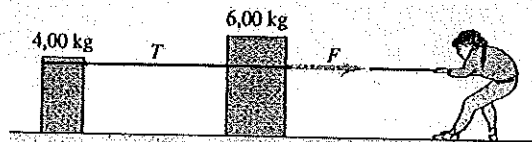


FIGURA 4.27 Exercícios 4.27 e 4.28.

4.28 Considere a Figura 4.27. As caixas estão sobre uma superfície horizontal sem atrito. A mulher (ainda usando tênis especiais para tração) aplica uma força horizontal $F = 50,0 \text{ N}$ sobre a caixa de 6,00 kg. As massas das cordas são desprezíveis. a) Faça um diagrama do corpo livre para a caixa de 4,00 kg, um diagrama do corpo livre para a caixa de 6,00 kg e um diagrama do corpo livre para a mulher. Para cada força, indique qual é o corpo que a exerce. b) Qual é o módulo da aceleração da caixa de 6,00 kg? c) Qual é a tensão T na corda que conecta as duas caixas?

4.29 Uma pára-quedista confia na resistência do ar (principalmente por causa do seu pára-quedas) para diminuir sua velocidade durante a queda. Sabendo que sua massa, incluindo a do pára-quedas, é igual a 55,0 kg e que a resistência do ar exerce uma força de baixo para cima de 620 N sobre ela e seu pára-quedas, qual é sua aceleração?

4.30 A posição de um helicóptero de treinamento de $2,75 \times 10^3 \text{ N}$ é dada por $\vec{r} = (0,020 \text{ m/s}^3)t^3 \hat{i} + (2,2 \text{ m/s})t \hat{j} - (0,060 \text{ m/s}^2)t^2 \hat{k}$. Ache a força resultante sobre o helicóptero para $t = 5,0 \text{ s}$.

4.31 Um objeto com massa m se move ao longo do eixo Ox . Sua posição em função do tempo é dada por $x(t) = At - Bt^3$, onde A e B são constantes. Calcule a força resultante sobre o objeto em função do tempo.

4.34 Uma pescadora orgulhosa suspende seu peixe em uma balança de molas presa no teto de um elevador. a) Se o elevador possui uma aceleração de baixo para cima igual a $2,45 \text{ m/s}^2$ e o ponteiro da balança indica 50,0 N, qual é o peso verdadeiro do peixe? b) Em que circunstâncias o ponteiro da balança indicará 30,0 N? c) Qual será a leitura da balança se o cabo do elevador se romper?

4.35 Dois adultos e uma criança desejam empurrar uma caixa apoiada sobre rodas no sentido x indicado na Figura 4.29. Os dois adultos empurram com forças \vec{F}_1 e \vec{F}_2 conforme mostra a figura. a) Determine o módulo, a direção e o sentido da menor força que a criança deve exercer. A força de atrito é desprezível. b) Se a