como o deslocamento, possuem um módulo e uma orientação (5 m para cima, por exemplo), e obedecem às regras da álgebra vetorial.

**Soma Geométrica de Vetores** Dois vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$ podem ser somados geometricamente desenhando-os na mesma escala e posicionando-os com a extremidade de um na origem do outro. O vetor que liga a origem do primeiro à extremidade do segundo é o vetor soma, $\vec{s}$. Para subtrair $\vec{b}$ de $\vec{a}$ invertemos o sentido de $\vec{b}$ para obter $-\vec{b}$ e somamos $-\vec{b}$ a $\vec{a}$. A soma vetorial é comutativa e associativa.

**Componentes de um Vetor** As *componentes* (escalares) $a_x$ e $a_y$ de um vetor bidimensional $\vec{a}$ em relação ao eixos de um sistema de coordenadas $xy$ são obtidas traçando retas perpendiculares aos eixos a partir da origem e da extremidade de $\vec{a}$. As componentes são dadas por

$$a_x = a\cos\theta \text{ e } a_y = a\,\text{sen}\,\theta, \qquad (3\text{-}5)$$

onde $\theta$ é o ângulo entre $\vec{a}$ e o semi-eixo $x$ positivo. O sinal algébrico de uma componente indica seu sentido em relação ao eixo correspondente. Dadas as componentes, podemos encontrar o módulo e a orientação de um vetor $\vec{a}$ através das equações

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \text{ e } \tan\theta = \frac{a_y}{a_x}. \qquad (3\text{-}6)$$

**Notação com Vetores Unitários** Os *vetores unitários* $\hat{\mathrm{i}}$, $\hat{\mathrm{j}}$ e $\hat{\mathrm{k}}$ têm módulo unitário e sentido igual ao sentido positivo dos eixos $x$, $y$ e $z$, respectivamente, em um sistema de coordenadas dextrogiro. Podemos expressar um vetor $\vec{a}$ em termos de vetores unitários como

$$\vec{a} = a_x\hat{\mathrm{i}} + a_y\hat{\mathrm{j}} + a_z\hat{\mathrm{k}}, \qquad (3\text{-}7)$$

onde $a_x\hat{\mathrm{i}}$, $a_y\hat{\mathrm{j}}$ e $a_z\hat{\mathrm{k}}$ são as **componentes vetoriais** de $\vec{a}$, e $a_x$, $a_y$ e $az$ são as **componentes escalares**.

**Soma de Vetores na Forma de Componentes** Para somar vetores na forma de componentes, usamos as regras

$$r_x = a_x + b_x \quad r_y = a_y + b_y \quad r_z = a_z + b_z. \qquad (3\text{-}11 \text{ a } 3\text{-}13)$$

onde $\vec{a}$ e $\vec{b}$ são os vetores a serem somados e $\vec{r}$ é o vetor soma.

**Produto de um Escalar por um Vetor** O produto de um escalar $s$ por um vetor $\vec{v}$ é um vetor de módulo $sv$ com a mesma orientação de $\vec{v}$ se $s$ é positivo e com a orientação oposta se $s$ é negativo. Para dividir $\vec{v}$ por $s$, multiplicamos $\vec{v}$ por $1/s$.

**O Produto Escalar** O **produto escalar** de dois vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$ é representado por $\vec{a}\cdot\vec{b}$ e é igual à grandeza *escalar* dada por

$$\vec{a}\cdot\vec{b} = ab\cos\phi, \qquad (3\text{-}20)$$

onde $\phi$ é o menor dos ângulos entre as direções de $\vec{a}$ e $\vec{b}$. O produto escalar é o produto do módulo de um dos vetores pela componente escalar do outro em relação ao primeiro. Em termos dos vetores unitários,

$$\vec{a}\cdot\vec{b} = (a_x\hat{\mathrm{i}} + a_y\hat{\mathrm{j}} + a_z\hat{\mathrm{k}})\cdot(b_x\hat{\mathrm{i}} + b_y\hat{\mathrm{j}} + b_z\hat{\mathrm{k}}), \qquad (3\text{-}22)$$

que pode ser expandida de acordo com a lei distributiva. Note que $\vec{a}\cdot\vec{b} = \vec{b}\cdot\vec{a}$.

**O Produto Vetorial** O **produto vetorial** de dois vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$, representado por $\vec{a}\times\vec{b}$, é um *vetor* $\vec{c}$ cujo módulo $c$ é dado por

$$c = ab\,\text{sen}\,\phi, \qquad (3\text{-}27)$$

onde $\phi$ é o menor dos ângulos entre as direções de $\vec{a}$ e $\vec{b}$. A orientação de $\vec{c}$ é perpendicular ao plano definido por $\vec{a}$ e $\vec{b}$, e é dada pela regra da mão direita, como mostra a Fig. 3-21. Note que $\vec{a}\times\vec{b} = -(\vec{b}\times\vec{a})$. Em termos dos vetores unitários,

$$\vec{a}\times\vec{b} = (a_x\hat{\mathrm{i}} + a_y\hat{\mathrm{j}} + a_z\hat{\mathrm{k}})\times(b_x\hat{\mathrm{i}} + b_y\hat{\mathrm{j}} + b_z\hat{\mathrm{k}}), \qquad (3\text{-}29)$$

que pode ser expandida de acordo com a lei distributiva.

## PERGUNTAS

**1** Como a mascote da Universidade da Flórida é um jacaré, a equipe de golfe da universidade joga em um campo onde existe um lago com jacarés. A Fig. 3-23 mostra uma vista aérea da região em torno de um dos buracos do campo com um sistema de coordenadas $xy$ superposto. As tacadas da equipe devem levar a bola da origem até o buraco, que está nas coordenadas (8 m, 12 m), mas a bola pode sofrer apenas os seguintes deslocamentos, que podem ser usados mais de uma vez:

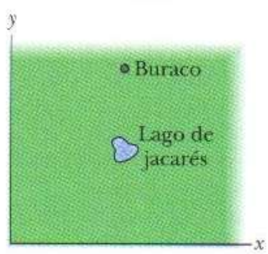


FIG. 3-23 Pergunta 1.

$$\vec{d}_1 = (8\text{ m})\hat{\mathrm{i}} + (6\text{ m})\hat{\mathrm{j}}, \quad \vec{d}_2 = (6\text{ m})\hat{\mathrm{j}}, \quad \vec{d}_3 = (8\text{ m})\hat{\mathrm{i}}.$$

O lago está nas coordenadas (8 m, 6 m). Se um membro da equipe lança a bola no lago, é imediatamente transferido para a Universidade Estadual da Flórida, a eterna rival. Que seqüência de deslocamentos deve ser usada por um membro do time para evitar o lago?

**2** A Eq. 3-2 mostra que a soma de dois vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$ é comutativa. Isso significa que a subtração é comutativa, ou seja, que $\vec{a} - \vec{b} = \vec{b} - \vec{a}$?

**3** A soma dos módulos de dois vetores pode ser igual ao módulo da soma dos mesmos vetores? Justifique sua resposta.

**4** Os dois vetores da Fig. 3-24 estão em um plano $xy$. Determine os sinais das componentes $x$ e $y$, respectivamente, de (a) $\vec{d}_1 + \vec{d}_2$; (b) $\vec{d}_1 - \vec{d}_2$; (c) $\vec{d}_2 - \vec{d}_1$.

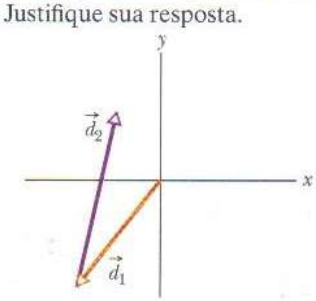


FIG. 3-24 Pergunta 4.

**5** Se $\vec{d} = \vec{a} + \vec{b} + (-\vec{c})$, é verdade que (a) $\vec{a} + (-\vec{d}) = \vec{c} + (-\vec{b})$; (b) $\vec{a} = (-\vec{b}) + \vec{d} + \vec{c}$; (c) $\vec{c} + (-\vec{d}) = \vec{a} + \vec{b}$?

**6** Descreva dois vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$ tais que

(a) $\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}$ e $a + b = c$;

(b) $\vec{a} + \vec{b} = \vec{a} - \vec{b}$;

(c) $\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}$ e $a^2 + b^2 = c^2$.

**7** Quais dos sistemas de eixos na Fig. 3-25 são sistemas de coordenadas dextrogiros? Como de costume, a letra que identifica o eixo está no semi-eixo positivo.

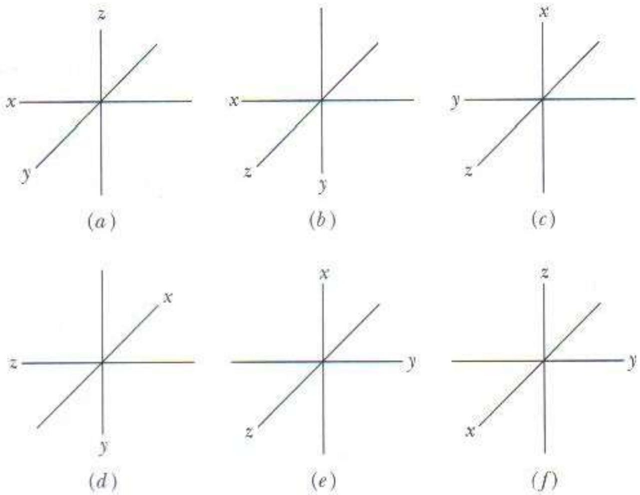


FIG. 3-25 Pergunta 7.

**8** A Fig. 3-26 mostra um vetor $\vec{A}$ e outros quatro vetores de mesmo módulo e orientações diferentes. (a) Quais dos outros quatro vetores têm o mesmo produto escalar com $\vec{A}$? (b) Quais têm um produto escalar com $\vec{A}$ negativo?

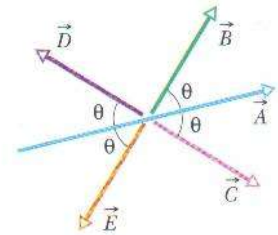


FIG. 3-26 Pergunta 8.

**9** Se $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ e $\vec{v}$ é perpendicular a $\vec{B}$, qual é a orientação de $\vec{B}$ nas três situações da Fig. 3-27 se a constante $q$ é (a) positiva e (b) negativa?

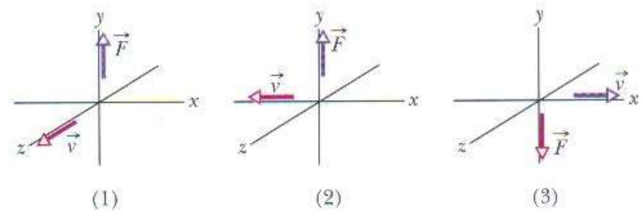


FIG. 3-27 Pergunta 9.

**10** Se $\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{a} \cdot \vec{c}$, $\vec{b}$ é necessariamente igual a $\vec{c}$?

## PROBLEMAS

• – ••• O número de pontos indica o grau de dificuldade do problema

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

### seção 3-4 Componentes de Vetores

**•1** A componente $x$ do vetor $\vec{A}$ é $-25{,}0$ m e a componente $y$ é $+40{,}0$ m. (a) Qual é o módulo de $\vec{A}$? (b) Qual é o ângulo entre a orientação de $\vec{A}$ e o semi-eixo $x$ positivo?

**•2** Expresse os seguintes ângulos em radianos: (a) 20,0°; (b) 50,0°; (c) 100°. Converta os seguintes ângulos para graus: (d) 0,330 rad; (e) 2,10 rad; (f) 7,70 rad.

**•3** Quais são (a) a componente $x$ e (b) a componente $y$ de um vetor $\vec{a}$ do plano $xy$ que faz um ângulo de 250° no sentido anti-horário como o semi-eixo $x$ positivo e tem um módulo de 7,3 m?

**•4** Na Fig. 3-28, uma máquina pesada é erguida com o auxílio de uma rampa que faz um ângulo $\theta = 20{,}0°$ com a horizontal, na qual a máquina percorre uma distância $d = 12{,}5$ m. (a) De quanto a máquina foi erguida verticalmente? (b) Qual é a distância vertical percorrida pela máxima? (c) Qual é a distância horizontal?

**•5** O objetivo de um navio é chegar a um porto situado 120 km ao norte do ponto de partida, mas uma tempestade inesperada o leva para um local situado 100 km a leste do ponto de partida. (a) Que distância o navio deve percorrer e (b) que rumo deve tomar para chegar ao destino?

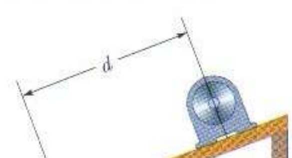


FIG. 3-28 Problema 4.

**•6** Um vetor deslocamento $\vec{r}$ no plano $xy$ tem 15 m de comprimento e faz um ângulo $\theta = 30°$ com o semi-eixo $x$ positivo, como mostra a Fig. 3-29. Determine (a) a componente $x$ e (b) a componente $y$ do vetor.

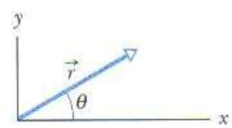


FIG. 3-29 Problema 6.

**••7** As dimensões de uma sala são 3,00 m (altura) × 3,70 m × 4,30 m. Uma mosca parte de um canto da sala e vai pousar em um canto diagonalmente oposto. (a) Qual é o módulo do deslocamento da mosca? (b) A distância percorrida pode ser menor que este valor? (c) Pode ser maior? (d) Pode ser igual? (e) Escolha um sistema de coordenadas apropriado e expresse as componentes do vetor deslocamento em termos de vetores unitários. (f) Se a mosca caminhar, em vez de voar, qual o comprimento do caminho mais curto para o outro canto? (*Sugestão:* O problema pode ser resolvido sem fazer cálculos complicados. A sala é como uma caixa; desdobre as paredes para representá-las em um único plano antes de procurar uma solução).

### seção 3-6 Soma de Vetores através de Suas Componentes

**•8** Um carro viaja 50 km para leste, 30 km para o norte e 25 km em uma direção 30° a leste do norte. Desenhe o diagrama vetorial e determine (a) o módulo e (b) o ângulo do deslocamento total do carro em relação ao ponto de partida.

**•9** (a) Determine a soma $\vec{a} + \vec{b}$, em termos de vetores unitários, para $\vec{a} = (4{,}0\text{ m})\hat{i} + (3{,}0\text{ m})\hat{j}$ e $\vec{b} = (-13{,}0\text{ m})\hat{i} + (7{,}0\text{ m})\hat{j}$. Determine (b) o módulo e (c) o sentido de $\vec{a} + \vec{b}$.

•**10** Uma pessoa caminha da seguinte forma: 3,1 km para o norte, 2,4 km para oeste e 5,2 km para o sul. (a) Desenhe o diagrama vetorial que representa este movimento. (b) Que distância e (c) em que direção deve voar um pássaro em linha reta do mesmo ponto de partida ao mesmo ponto de chegada?

•**11** Uma pessoa deseja chegar a um ponto que está a 3,40 km de sua localização atual, em uma direção 35,0° ao norte do leste. As ruas por onde pode passar são todas na direção norte-sul ou na direção leste-oeste. Qual é a menor distância que a pessoa precisa percorrer para chegar ao destino?

•**12** Para os vetores $\vec{a} = (3{,}0\text{ m})\hat{\text{i}} + (4{,}0\text{ m})\hat{\text{j}}$ e $\vec{b} = (5{,}0\text{ m})\hat{\text{i}} + (-2{,}0\text{ m})\hat{\text{j}}$, determine $\vec{a} + \vec{b}$ (a) em termos de vetores unitários e em termos (b) do módulo e (c) do ângulo (em relação a $\hat{\text{i}}$). Determine $\vec{b} - \vec{a}$ (d) em termos de vetores unitários e em termos (e) do módulo e (f) do ângulo.

•**13** Dois vetores são dados por

$$\vec{a} = (4{,}0\text{ m})\hat{\text{i}} - (3{,}0\text{ m})\hat{\text{j}} + (1{,}0\text{ m})\hat{\text{k}}$$

e

$$\vec{b} = (-1{,}0\text{ m})\hat{\text{i}} + (1{,}0\text{ m})\hat{\text{j}} + (4{,}0\text{ m})\hat{\text{k}}.$$

Em termos de vetores unitários, determine (a) $\vec{a} + \vec{b}$, (b) $\vec{a} - \vec{b}$ e (c) um terceiro vetor, $\vec{c}$, tal que $\vec{a} - \vec{b} + \vec{c} = 0$.

•**14** Determine as componentes (a) $x$, (b) $y$ e (c) $z$ da soma $\vec{r}$ dos deslocamentos $\vec{c}$ e $\vec{d}$ cujas componentes em metros ao longo dos três eixos são $c_x = 7{,}4$, $c_y = -3{,}8$, $c_z = -6{,}1$, $d_x = 4{,}4$, $d_y = -2{,}0$, $d_z = 3{,}3$.

•**15** Uma formiga, enlouquecida pelo sol em um dia quente, sai correndo em um plano $xy$. As componentes $(x; y)$ de quatro corridas consecutivas em linha reta são as seguintes, todas em centímetros: (30,0; 40,0), ($b_x$; −70,0), (−20,0; $c_y$);(−80,0; −70,0). O deslocamento resultante das quatro corridas tem componentes (−140; −20,0). Determine (a) $b_x$ e (b) $c_y$. Determine (c) o módulo e (d) o ângulo (em relação ao semi-eixo $x$ positivo) do deslocamento total.

•**16** Na soma $\vec{A} + \vec{B} = \vec{C}$, o vetor $\vec{A}$ tem um módulo de 12,0 m e um ângulo de 40,0° no sentido anti-horário em relação ao semi-eixo $x$ positivo, e o vetor $\vec{C}$ tem um módulo de 15,0 m e um ângulo de 20,0° no sentido anti-horário em relação ao semi-eixo $x$ negativo. Determine (a) o módulo de $\vec{B}$ e (b) o ângulo de $\vec{B}$ em relação ao semi-eixo $x$ positivo.

•**17** Os vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$ na Fig. 3-30 têm módulos iguais a 10,0 m e os ângulos são $\theta_1 = 30°$ e $\theta_2 = 105°$. Determine as componentes (a) $x$ e (b) $y$ da soma vetorial $\vec{r}$ dos dois vetores, (c) o módulo de $\vec{r}$ e (d) o ângulo que $\vec{r}$ faz com o semi-eixo $x$ positivo.

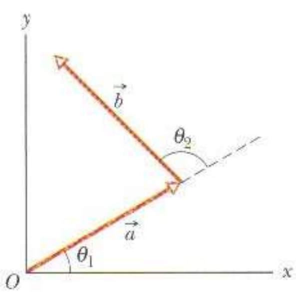


**FIG. 3-30** Problema 17.

•**18** Você deve executar quatro deslocamentos sucessivos na superfície plana num deserto, começando na origem de um sistema de coordenadas $xy$ e terminando nas coordenadas (−140 m, 30 m). As componentes de seus deslocamentos são, respectivamente, as seguintes, em metros: (20, 60), ($b_x$, −70), (−20, $c_y$) e (−60, −70). Determine (a) $b_x$ e (b) $c_y$. Determine (c) o módulo e (d) o ângulo (em relação ao semi-eixo $x$ positivo) do deslocamento total.

•**19** Três vetores, $\vec{a}$, $\vec{b}$ e $\vec{c}$, têm módulos iguais a 50 m e estão em um plano $xy$. Suas orientações em relação ao sentido semi-eixo $x$ positivo são 30°, 195° e 315°, respectivamente. Determine (a) o módulo e (b) o ângulo do vetor $\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}$ e (c) o módulo e (d) o ângulo de $\vec{a} - \vec{b} + \vec{c}$. Determine (e) o módulo e (f) o ângulo de um quarto vetor, $\vec{d}$, tal que $(\vec{a} + \vec{b}) - (\vec{c} + \vec{d}) = 0$.

•**20** (a) Qual é a soma dos quatro vetores seguintes em termos de vetores unitários? (b) Para esta soma, quais são (b) o módulo, (c) o ângulo em graus e (d) o ângulo em radianos?

| | |
|---|---|
| $\vec{E}$: 6,00 m a + 0,900 rad | $\vec{F}$: 5,00 m a − 75,0° |
| $\vec{G}$: 4,00 m a + 1,20 rad | $\vec{H}$: 6,00 m a − 210° |

•**21** Em um jogo de xadrez ao ar livre, no qual as peças ocupam o centro de quadrados com 1,00 m de lado, um cavalo é movido da seguinte forma: (1) dois quadrados para a frente e um quadrado para a direita; (2) dois quadrados para a esquerda e um quadrado para a frente; (3) dois quadrados para a frente e um quadrado para a esquerda. Determine (a) o módulo e (b) o ângulo (em relação ao sentido "para a frente") do deslocamento total do cavalo após a série de três movimentos.

••**22** Um explorador polar foi surpreendido por uma nevasca, que reduziu a visibilidade a praticamente zero, quando retornava ao acampamento. Para chegar ao acampamento ele deveria caminhar 5,6 km para o norte, mas quando o tempo melhorou percebeu que na realidade havia caminhado 7,8 km em uma direção 50° ao norte do leste. (a) Que distância e (b) em que sentido deve caminhar para voltar à base?

••**23** O oásis $B$ está 25 km a leste do oásis $A$. Partindo do oásis $A$, um camelo percorre 24 km em uma direção 15° ao sul do leste e 8,0 km para o norte. A que distância o camelo está do oásis $B$?

••**24** Dois besouros correm em um deserto plano, partindo do mesmo ponto. O besouro 1 corre 0,50 m para leste e 0,80 m em uma direção 30° ao norte do leste. O besouro 2 corre 1,6 m em uma direção 40° ao leste do norte e depois corre em outra direção. Quais devem ser (a) o módulo e (b) o sentido da segunda corrida do segundo besouro para que ele termine na mesma posição final que o primeiro besouro?

••**25** Se $\vec{B}$ é somado a $\vec{C} = 3{,}0\hat{\text{i}} + 4{,}0\hat{\text{j}}$, o resultado é um vetor no sentido do semi-eixo $y$ positivo, com um módulo igual ao de $\vec{C}$. Qual é o módulo de $\vec{B}$?

••**26** O vetor $\vec{A}$, paralelo ao eixo $x$, deve ser somado ao vetor $\vec{B}$, que tem um módulo de 7,0 m. A soma é um vetor paralelo ao eixo $y$, com um módulo 3 vezes maior que o de $\vec{A}$. Qual é o módulo de $\vec{A}$?

••**27** Para se orientarem, as formigas de jardim costumam criar uma rede de trilhas marcadas por feromônios. Partindo do formigueiro, cada uma dessas trilhas se bifurca repetidamente em duas trilhas que formam um ângulo de 60°. Quando uma formiga perdida encontra uma trilha, pode saber em que direção fica o formigueiro ao chegar ao primeiro ponto de bifurcação. Se estiver se afastando do formigueiro, encontrará duas trilhas que formam ângulos pequenos com a direção em que estava se movendo, 30° para a esquerda e 30° para a direita. Se estiver se aproximando do formigueiro, encontrará apenas uma trilha com essa característica, 30° para a esquerda ou 30° para a direita. A Fig. 3-31 mostra uma rede de trilhas típica, com segmentos de reta de 2,0 cm de comprimento e bifurcações simétricas de 60°. Determine (a) o módulo e (b) o ângulo (em relação ao semi-eixo $x$ positivo) do deslocamento até o formigueiro (encontre-o na figura) de uma formiga que entra na rede de trilhas no ponto $A$. Determine (c) o módulo e (d) o ângulo de uma formiga que entra na rede de trilhas no ponto $B$.

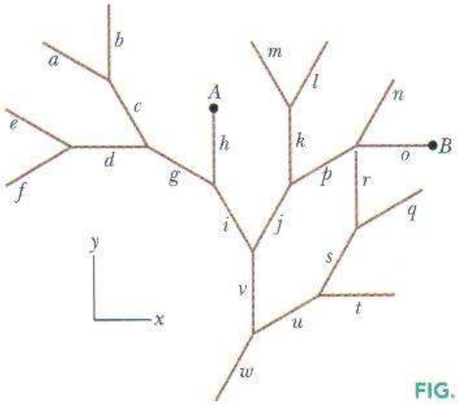

FIG. 3-31 Problema 27.

**••28** São dados dois vetores:

$$\vec{a} = (4{,}0\text{ m})\hat{i} - (3{,}0\text{ m})\hat{j} \text{ e } \vec{b} = (6{,}0\text{ m})\hat{i} - (8{,}0\text{ m})\hat{j}.$$

Determine (a) o módulo e (b) o ângulo (em relação a $\hat{i}$) de $\vec{a}$. Determine (c) o módulo e (d) o ângulo de $\vec{b}$. Determine (e) o módulo e (f) o ângulo de $\vec{a} + \vec{b}$; (g) o módulo e (h) o ângulo de $\vec{b} - \vec{a}$; (i) o módulo e (j) o ângulo de $\vec{a} - \vec{b}$. (k) Determine o ângulo entre as direções de $\vec{b} - \vec{a}$ e $\vec{a} - \vec{b}$.

**••29** Se $\vec{d}_1 + \vec{d}_2 = 5\vec{d}_3$, $\vec{d}_1 - \vec{d}_2 = 3\vec{d}_3$ e $\vec{d}_3 = 2\hat{i} + 4\hat{j}$, determine em termos dos vetores unitários, (a) $\vec{d}_1$ e (b) $\vec{d}_2$.

**••30** Determine a soma dos quatro vetores a seguir (a) em termos dos vetores unitários e em termos (b) do módulo e (c) do ângulo.

$\vec{A} = (2{,}00\text{ m})\hat{i} + (3{,}00\text{ m})\hat{j}$ $\quad\vec{B}$: 4,00 m, a +65,0°

$\vec{C} = (-4{,}00\text{ m})\hat{i} + (-6{,}00\text{ m})\hat{j}$ $\quad\vec{D}$: 5,00 m, a −235°

**•••31** Na Fig. 3.32, um cubo de aresta $a$ tem um de seus vértices posicionado na origem de um sistema de coordenadas $xyz$. A *diagonal do cubo* é uma reta que vai de um vértice a outro do cubo, passando pelo centro. Em termos dos vetores unitários, qual é a diagonal do cubo que passa pelo vértice cujas coordenadas são (a) (0, 0, 0), (b) $(a, 0, 0)$ (c) $(0, a, 0)$ e (d) $(a, a, 0)$? (e) Determine os ângulos que as diagonais do cubo fazem com as arestas vizinhas. (f) Determine o comprimento das diagonais do cubo em termos de $a$.

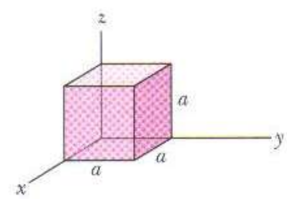

FIG. 3-32 Problema 31.

**seção 3-7 Vetores e as Leis da Física**

**•32** Na Fig. 3-33, um vetor $\vec{a}$ com um módulo de 17,0 m faz um ângulo $\theta$ = 56,0° no sentido anti-horário como o semi-eixo $x$ positivo. Quais são as componentes (a) $a_x$ e (b) $a_y$ do vetor? Um segundo sistema de coordenadas está inclinado de um ângulo $\theta'$ = 18° em relação ao primeiro. Quais são as componentes (c) $a'_x$ e (d) $a'_y$ neste novo sistema de coordenadas?

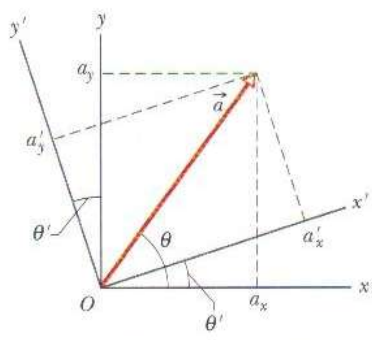

FIG. 3-33 Problema 32.

**seção 3-8 Multiplicação de Vetores**

**•33** Dois vetores, $\vec{r}$ e $\vec{s}$, estão no plano $xy$. Seus módulos são 4,50 unidades e 7,30 unidades, respectivamente, e eles estão orientados a 320° e 85,0°, respectivamente, no sentido anti-horário em relação ao semi-eixo $x$ positivo. Quais são os valores de (a) $\vec{r} \cdot \vec{s}$ e (b) $\vec{r} \times \vec{s}$?

**•34** Se $\vec{d}_1 = 3\hat{i} - 2\hat{j} + 4\hat{k}$ e $\vec{d}_2 = -5\hat{i} + 2\hat{j} - \hat{k}$, determine $(\vec{d}_1 + \vec{d}_2) \cdot (\vec{d}_1 \times 4\vec{d}_2)$

**•35** Três vetores são dados por $\vec{a} = 3{,}0\hat{i} + 3{,}0\hat{j} - 2{,}0\hat{k}$, $\vec{b} = -1{,}0\hat{i} - 4{,}0\hat{j} + 2{,}0\hat{k}$ e $\vec{c} = 2{,}0\hat{i} + 2{,}0\hat{j} + 1{,}0\hat{k}$. Determine (a) $\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{c})$, (b) $\vec{a} \cdot (\vec{b} + \vec{c})$ e (c) $\vec{a} \times (\vec{b} + \vec{c})$.

**•36** Dois vetores são dados por $\vec{a} = 3{,}0\hat{i} + 5{,}0\hat{j}$ e $\vec{b} = 2{,}0\hat{i} + 4{,}0\hat{j}$. Determine (a) $\vec{a} \times \vec{b}$, (b) $\vec{a} \cdot \vec{b}$, (c) $(\vec{a} + \vec{b}) \cdot \vec{b}$ e (d) a componente de $\vec{a}$ em relação a $\vec{b}$. [*Sugestão:* Para resolver o item (d) considere a Eq. 3-20 e a Fig. 3-20.]

**•37** Para os vetores da Fig. 3-34, com $a$ = 4, $b$ = 3 e $c$ = 5, determine (a) o módulo e (b) a orientação de $\vec{a} \times \vec{b}$, (c) o módulo e (d) a orientação de $\vec{a} \times \vec{c}$ e (e) o módulo e (f) orientação de $\vec{b} \times \vec{c}$. (Embora exista, o eixo $z$ não é mostrado na figura.)

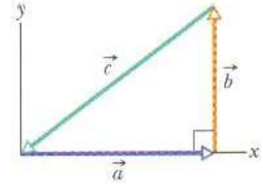

FIG. 3-34 Problemas 37 e 50.

**••38** O deslocamento $\vec{d}_1$ está no plano $yz$, faz um ângulo de 63,0° com o semi-eixo $y$ positivo, tem uma componente $z$ positiva e um módulo de 4,50 m. O deslocamento $\vec{d}_2$ está no plano $xz$, faz um ângulo de 30,0° com o semi-eixo $x$ positivo, tem uma componente $z$ positiva e um módulo de 1,40 m. Determine (a) $\vec{d}_1 \cdot \vec{d}_2$; (b) $\vec{d}_1 \times \vec{d}_2$ e (c) o ângulo entre $\vec{d}_1$ e $\vec{d}_2$.

**••39** Use a definição de produto escalar, $\vec{a} \cdot \vec{b} = ab \cos\theta$, e o fato de que $\vec{a} \cdot \vec{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$ para calcular o ângulo entre os dois vetores dados por $\vec{a} = 3{,}0\hat{i} + 3{,}0\hat{j} + 3{,}0\hat{k}$ e $\vec{b} = 2{,}0\hat{i} + 1{,}0\hat{j} + 3{,}0\hat{k}$.

**••40** Determine $3\vec{C} \cdot (2\vec{A} \times \vec{B})$ para os três vetores a seguir.

$\vec{A} = 2{,}00\hat{i} + 3{,}00\hat{j} - 4{,}00\hat{k}$

$\vec{B} = -3{,}00\hat{i} + 4{,}00\hat{j} + 2{,}00\hat{k}$ $\quad\vec{C} = 7{,}00\hat{i} - 8{,}00\hat{j}$

**••41** O vetor $\vec{A}$ tem módulo igual a 6,00 unidades, o vetor $\vec{B}$ tem módulo igual a 7,00 unidades e $\vec{A} \cdot \vec{B} = 14{,}0$. Qual é o ângulo entre $\vec{A}$ e $\vec{B}$?

**••42** No produto $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$, faça $q = 2$,

$$\vec{v} = 2{,}0\hat{i} + 4{,}0\hat{j} + 6{,}0\hat{k} \text{ e } \vec{F} = 4{,}0\hat{i} - 20\hat{j} + 12\hat{k}.$$

Determine $\vec{B}$, em termos dos vetores unitários, para $B_x = B_y$.

**••43** Os três vetores na Fig. 3-35 têm módulos $a$ = 3,00 m, $b$ = 4,00 m e $c$ = 10,0 m; $\theta$ = 30,0°. Determine (a) a componente $x$ e (b) a componente $y$ de $\vec{a}$; (c) a componente $x$ e (d) a componente $y$ de $\vec{b}$; (e) a componente $x$ e (f) a componente $y$ de $\vec{c}$. Se $\vec{c} = p\vec{a} + q\vec{b}$, quais são os valores de (g) $p$ e (h) $q$?

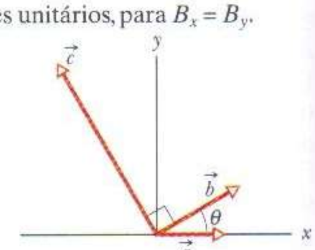

FIG. 3-35 Problema 43.

**••44** Em um encontro de mímicos, o mímico 1 se desloca de $\vec{d}_1 = (4{,}0\text{ m})\hat{i} + (5{,}0\text{ m})\hat{j}$ e o mímico 2 se desloca de $\vec{d}_2 = (-3{,}0\text{ m})\hat{i} + (4{,}0\text{ m})\hat{j}$. Determine (a) $\vec{d}_1 \times \vec{d}_2$, (b) $\vec{d}_1 \cdot \vec{d}_2$, (c) $(\vec{d}_1 + \vec{d}_2) \cdot \vec{d}_2$ e (d) a componente de $\vec{d}_1$ em relação a $\vec{d}_2$. [*Sugestão:* Para resolver o item (d), veja a Eq. 3-20 e a Fig. 3-20.]

**Problemas Adicionais**

**45** Uma *falha* em uma rocha é uma ruptura ao longo da qual faces opostas da rocha deslizaram uma em relação à outra. Na Fig.

3-36, os pontos $A$ e $B$ coincidiam antes de a rocha em primeiro plano deslizar para a direita. O deslocamento total $\vec{AB}$ está no plano da falha. A componente horizontal de $\vec{AB}$ é o *rejeito horizontal AC*. A componente de $\vec{AB}$ dirigida para baixo no plano da falha é o *rejeito de mergulho AD*. (a) Qual é o módulo do deslocamento total $\vec{AB}$ se o rejeito horizontal é 22,0 m e o rejeito de mergulho é 17,0 m? (b) Se o plano da falha faz um ângulo $\phi$ = 52,0° com a horizontal, qual é a componente vertical de $\vec{AB}$?

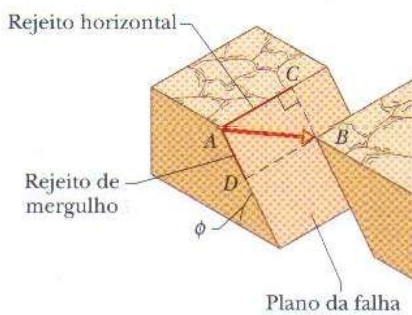


**FIG. 3-36** Problema 45.

**46** Dois vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$ têm componentes, em metros, $a_x = 3{,}2$, $a_y = 1{,}6$, $b_x = 0{,}50$ e $b_y = 4{,}5$. (a) Determine o ângulo entre $\vec{a}$ e $\vec{b}$. Existem dois vetores no plano $xy$ que são perpendiculares a $\vec{a}$ e têm um módulo de 5,0 m. Um deles, o vetor $\vec{c}$, tem uma componente $x$ positiva; o outro, o vetor $\vec{d}$, tem uma componente $x$ negativa. Determine (b) a componente $x$ e (c) a componente $y$ de $\vec{c}$; (d) a componente $x$ e (e) a componente $y$ de $\vec{d}$.

**47** Um vetor $\vec{a}$ de módulo 10 unidades e outro vetor $\vec{b}$ de módulo 6,0 unidades fazem um ângulo de 60°. Determine (a) o produto escalar dos dois vetores e (b) o módulo do produto vetorial $\vec{a} \times \vec{b}$.

**48** O vetor $\vec{a}$ tem módulo 5,0 m e aponta para leste. O vetor $\vec{b}$ tem módulo 4,0 m e aponta na direção 35° a oeste do norte. Determine (a) o módulo e (b) a orientação do vetor $\vec{a} + \vec{b}$. Determine (c) o módulo e (d) a orientação do vetor $\vec{b} - \vec{a}$. (e) Desenhe os diagramas vetoriais correspondentes às duas combinações de vetores.

**49** Uma partícula sofre três deslocamentos sucessivos em um plano: $\vec{d}_1$, 4,00 m para sudoeste, $\vec{d}_2$, 5,00 m para leste e $\vec{d}_3$, 6,00 m em uma direção 60,0° ao norte do leste. Use um sistema de coordenadas com o eixo $y$ apontando para o norte e o eixo $x$ apontando para o leste. Determine (a) a componente $x$ e (b) a componente $y$ de $\vec{d}_1$. Determine (c) a componente $x$ e (d) a componente $y$ de $\vec{d}_2$. Determine (e) a componente $x$ e (f) a componente $y$ de $\vec{d}_3$. Considere o deslocamento *total* da partícula após os três deslocamentos. Determine (g) a componente $x$, (h) a componente $y$, (i) o módulo e (j) a orientação do deslocamento total. Para que a partícula volte ao ponto de partida (k), que distância deve percorrer e (l) em que direção deve se deslocar?

**50** Para os vetores da Fig. 3.34, com $a = 4$, $b = 3$ e $c = 5$, calcule (a) $\vec{a} \cdot \vec{b}$, (b) $\vec{a} \cdot \vec{c}$ e (c) $\vec{b} \cdot \vec{c}$.

**51** Um barco a vela parte do lado americano do lago Erie para um ponto no lado canadense, 90,0 km ao norte. O navegante, contudo, termina 50,0 km a leste do ponto de partida. (a) Que distância e (b) em que sentido deve navegar para chegar ao ponto desejado?

**52** Determine a soma dos quatro vetores a seguir (a) em termos dos vetores unitários e em termos (b) do módulo e (c) do ângulo em relação ao semi-eixo $x$ positivo.

$\vec{P}$: 10,0 m, 25,0°, sentido anti-horário em relação a $+x$

$\vec{Q}$: 12,0 m, 10,0°, sentido anti-horário em relação a $+y$

$\vec{R}$: 8,00 m, 20,0°, sentido horário em relação a $-y$

$\vec{S}$: 9,00 m, 40,0°, sentido anti-horário em relação a $-y$

**53** Os vetores $\vec{A}$ e $\vec{B}$ estão no plano $xy$. $\vec{B}$ tem módulo 8,00 e ângulo 130°; $\vec{B}$ tem componentes $B_x = -7{,}72$ e $B_y = -9{,}20$. Determine os ângulos entre o semi-eixo $y$ negativo e (a) o vetor $\vec{A}$, (b) o vetor $\vec{A} \times \vec{B}$ e (c) o vetor $\vec{A} \times (\vec{B} + 3{,}00\hat{k})$.

**54** São dados três deslocamentos em metros: $\vec{d}_1 = 4{,}0\hat{i} + 5{,}0\hat{j} - 6{,}0\hat{k}$, $\vec{d}_2 = -1{,}0\hat{i} + 2{,}0\hat{j} + 3{,}0\hat{k}$ e $\vec{d}_3 = 4{,}0\hat{i} + 3{,}0\hat{j} + 2{,}0\hat{k}$. (a) Determine $\vec{r} = \vec{d}_1 - \vec{d}_2 + \vec{d}_3$. (b) Determine o ângulo entre $\vec{r}$ e o semi-eixo $z$ positivo. (c) Determine a componente de $\vec{d}_1$ em relação a $\vec{d}_2$. (d) Qual é a componente de $\vec{d}_1$ que é perpendicular a $\vec{d}_2$ e está no plano de $\vec{d}_1$ e $\vec{d}_2$? (*Sugestão:* Para resolver o item (c), considere a Eq. 3-20 e a Fig. 3-20; para resolver o item (d), considere a Eq. 3-27.)

**55** Os vetores $\vec{A}$ e $\vec{B}$ estão no plano $xy$. $\vec{A}$ tem módulo 8,00 e ângulo 130°; $\vec{B}$ tem componentes $B_x = -7{,}72$ e $B_y = -9{,}20$. (a) Determine $5\vec{A} \cdot \vec{B}$. Determine $4\vec{A} \times 3\vec{B}$ (b) em termos dos vetores unitários e (c) através do módulo e do ângulo em coordenadas esféricas (veja a Fig. 3-37). (d) Determine o ângulo entre os vetores $\vec{A}$ e $4\vec{A} \times 3\vec{B}$. (*Sugestão:* Pense um pouco antes de iniciar os cálculos.) Determine $\vec{A} + 3{,}00\hat{k}$ (e) em termos dos vetores unitários e (f) através do módulo e do ângulo em coordenadas esféricas.

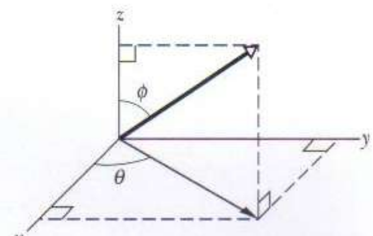


**FIG. 3-37** Problema 55.

**56** O vetor $\vec{d}_1$ está no sentido negativo do eixo $y$ e o vetor $\vec{d}_2$ está no sentido positivo do eixo $x$. Determine a orientação (a) de $\vec{d}_2/4$ e (b) de $\vec{d}_1/(-4)$. Determine o módulo (c) de $\vec{d}_1 \cdot \vec{d}_2$ e (d) de $\vec{d}_1 \cdot (\vec{d}_2/4)$. Determine a orientação do vetor (e) $\vec{d}_1 \times \vec{d}_2$ e (f) do vetor $\vec{d}_2 \times \vec{d}_1$. Determine o módulo (g) de $\vec{d}_1 \times \vec{d}_2$ e (h) de $\vec{d}_2 \times \vec{d}_1$. Determine (i) o módulo e (j) a orientação de $\vec{d}_1 \times (\vec{d}_2/4)$.

**57** São dados três vetores em metros:

$$\vec{d}_1 = -3{,}0\hat{i} + 3{,}0\hat{j} + 2{,}0\hat{k}$$
$$\vec{d}_2 = -2{,}0\hat{i} - 4{,}0\hat{j} + 2{,}0\hat{k}$$
$$\vec{d}_3 = 2{,}0\hat{i} + 3{,}0\hat{j} + 1{,}0\hat{k}.$$

Determine (a) $\vec{d}_1 \cdot (\vec{d}_2 + \vec{d}_3)$, (b) $\vec{d}_1 \cdot (\vec{d}_2 \times \vec{d}_3)$ e (c) $\vec{d}_1 \times (\vec{d}_2 + \vec{d}_3)$.

**58** Um jogador de golfe precisa de três tacadas para colocar a bola no buraco. A primeira tacada lança a bola 3,66 m para o norte, a segunda 1,83 m para o sudeste e a terceira 0,91 m para o sudoeste. Determine (a) o módulo e (b) a direção do deslocamento necessário para colocar a bola no buraco na primeira tacada.

**59** Considere um vetor $\vec{a}$ no sentido positivo do eixo $x$, um vetor $\vec{b}$ no sentido positivo do eixo $y$ e um escalar $d$. Qual é a orientação de $\vec{b}/d$ se $d$ é (a) positivo e (b) negativo? Qual é o módulo de (c) $\vec{a} \cdot \vec{b}$ e (d) $\vec{a} \cdot \vec{b}/d$? Qual é orientação (e) de $\vec{a} \times \vec{b}$ e (f) $\vec{b} \times \vec{a}$? (g) Qual é o módulo de $\vec{a} \times \vec{b}$? (h) Qual é o módulo de $\vec{b} \times \vec{a}$? Qual é (i) a amplitude e (j) a orientação de $\vec{a} \times \vec{b}/d$ se $d$ é positivo?

**60** Um vetor $\vec{d}$ tem módulo 2,5 m e aponta para o norte. Determine (a) o módulo e (b) a orientação de $4{,}0\vec{d}$. Determine (c) o módulo e (d) a orientação de $-3{,}0\vec{d}$.

**61** Suponha que $\hat{i}$ aponta para leste, $\hat{j}$ aponta para o norte e $\hat{k}$ aponta para cima. Determine os valores de (a) $\hat{i}\cdot\hat{k}$, (b) $(-\hat{k})\cdot(-\hat{j})$ e (c) $\hat{j}\cdot(-\hat{j})$. Determine as orientações (como, por exemplo, para leste ou para baixo) dos produtos vetoriais (d) $\hat{k}\times\hat{j}$, (e) $(-\hat{i})\times(-\hat{j})$ e (f) $(-\hat{k})\times(-\hat{j})$.

**62** Considere dois deslocamentos, um de módulo 3 m e outro de módulo 4 m. Mostre que os vetores deslocamento podem ser combinados para produzir um deslocamento de módulo (a) 7m, (b) 1 m e (c) 5m.

**63** Um banco no centro de Boston é assaltado (veja o mapa da Fig. 3-38). Os ladrões fogem de helicóptero, realizando três deslocamentos sucessivos: 32 km, 45° ao sul do leste; 53 km, 26° ao norte do oeste; 26 km, 18° a leste do sul. No final do terceiro vôo, são capturados. Em que cidade os ladrões foram presos?

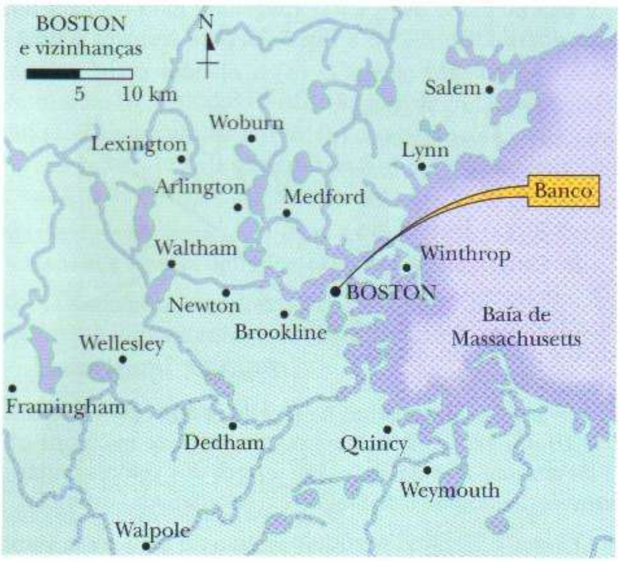


**FIG. 3-38** Problema 63.

**64** Uma roda com 45,0 cm de raio rola sem escorregar em um piso horizontal (Fig. 3-39). No instante $t_1$, o ponto $P$, pintado na borda da roda, está no ponto de contato entre a roda e o piso. Em um instante posterior $t_2$, a roda descreveu meia revolução. Quais são (a) o módulo e (b) o ângulo (em relação ao piso) do deslocamento do ponto $P$?

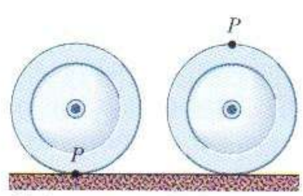


**FIG. 3-39** Problema 64.

**65** O vetor $\vec{A}$ tem um módulo de 12,0 m e faz um ângulo de 60,0° no sentido anti-horário com o semi-eixo $x$ positivo de um sistema de coordenadas $xy$. O vetor $\vec{B}$ é dado por $(12{,}0\text{ m})\hat{i} + (8{,}00\text{ m})\hat{j}$ no mesmo sistema de coordenadas. O sistema de coordenadas sofre uma rotação de 20,0° no sentido anti-horário em torno da origem para formar um sistema $x'y'$. Determine os vetores (a) $\vec{A}$ e (b) $\vec{B}$ em termos dos vetores unitários do novo sistema.

**66** Uma mulher caminha 250 m na direção 30° a leste do norte e 175 m na direção leste. Determine (a) o módulo e (b) o ângulo do deslocamento total. (c) Determine a distância percorrida pela mulher. (d) Qual é maior, a distância percorrida ou o módulo do deslocamento?

**67** (a) Determine, em termos dos vetores unitários, $\vec{r} = \vec{a} - \vec{b} + \vec{c}$ para $\vec{a} = 5{,}0\hat{i} + 4{,}0\hat{j} - 6{,}0\hat{k}$, $\vec{b} = -2{,}0\hat{i} + 2{,}0\hat{j} + 3{,}0\hat{k}$ e $\vec{c} = 4{,}0\hat{i} + 3{,}0\hat{j} + 2{,}0\hat{k}$. (b) Calcule o ângulo entre $\vec{r}$ e o semi-eixo $z$ positivo. (c) Determine a componente de $\vec{a}$ em relação a $\vec{b}$. (d) Determine a componente de $\vec{a}$ em uma direção perpendicular a $\vec{b}$, no plano definido por $\vec{a}$ e $\vec{b}$. (*Sugestão:* para resolver o item (c), veja a Eq. 3-20 e a Fig. 3-20; para resolver o item (d), veja a Eq. 3-27.)

**68** Se $\vec{a} - \vec{b} = 2\vec{c}$, $\vec{a} + \vec{b} = 4\vec{c}$ e $\vec{c} = 3\hat{i} + 4\hat{j}$, determine (a) $\vec{a}$ e (b) $\vec{b}$.

**69** Um manifestante, com sua placa de protesto, parte da origem de um sistema de coordenadas $xyz$, com o plano $xy$ na horizontal. Ele se desloca 40 m no sentido negativo do eixo $x$, faz uma curva de noventa graus à esquerda, caminha mais 20 m e sobe até o alto de uma torre com 25 m de altura. (a) Em termos de vetores unitários, qual é o deslocamento da placa do início ao fim? (b) O manifestante deixa cair a placa, que vai parar na base da torre. Qual é o módulo do deslocamento total, do início até este novo fim?

**70** Um vetor $\vec{d}$ tem um módulo de 3,0 m e aponta para o sul. Determine (a) o módulo e (b) a orientação do vetor $5{,}0\vec{d}$. Determine (c) o módulo e (d) a orientação do vetor $-2{,}0\vec{d}$.

**71** Se $\vec{B}$ é somado a $\vec{A}$, o resultado é $6{,}0\hat{i} + 1{,}0\hat{j}$. Se $\vec{B}$ é subtraído de $\vec{A}$, o resultado é $-4{,}0\hat{i} + 7{,}0\hat{j}$. Qual é o módulo de $\vec{A}$?

**72** Uma formiga-de-fogo, em busca de molho picante em uma área de piquenique, executa três deslocamentos sucessivos no nível do solo: $\vec{d}_1$, de 0,40 m para sudoeste (ou seja, 45° entre sul e oeste), $\vec{d}_2$, de 0,50 m para leste, e $\vec{d}_3$, de 0,60 m em uma direção 60° ao norte do leste. Suponha que o sentido positivo do eixo $x$ aponte para leste e o sentido positivo do eixo $y$ para o norte. Quais são (a) a componente $x$ e (b) a componente $y$ de $\vec{d}_1$? Quais são (c) a componente $x$ e (d) a componente $y$ de $\vec{d}_2$? Quais são (e) a componente $x$ e (f) a componente $y$ de $\vec{d}_3$?

Quais são (g) a componente $x$ e (h) a componente $y$, (i) o módulo e (j) o sentido do deslocamento total da formiga? Para a formiga voltar diretamente ao ponto de partida, (k) que distância deve percorrer e (l) em que direção deve se mover?

# PERGUNTAS

**1** A Fig. 4-24 mostra a posição inicial *i* e a posição final *f* de uma partícula. Determine (a) o vetor posição inicial $\vec{r}_i$ e (b) o vetor posição final $\vec{r}_f$ da partícula, ambos na notação de vetores unitários. (c) Qual é a componente *x* do deslocamento $\Delta\vec{r}$?

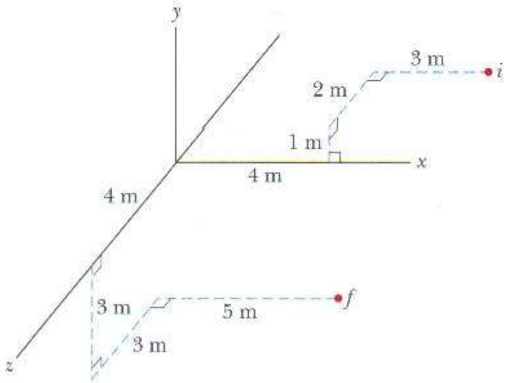


FIG. 4-24 Pergunta 1.

**2** A Fig. 4-25 mostra o caminho seguido por um gambá à procura de comida no lixo, a partir do ponto inicial *i*. O gambá levou o mesmo tempo *T* para ir de cada um dos pontos marcados até o ponto seguinte. Ordene os pontos *a*, *b* e *c* de acordo com o módulo da velocidade média do gambá para alcançá-los a partir do ponto inicial *i*, começando pelo maior.

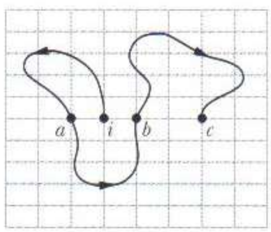


FIG. 4-25 Pergunta 2.

**3** Você tem que lançar um foguete, praticamente do nível do solo, com uma das velocidades iniciais especificadas pelos seguintes vetores: (1) $\vec{v}_0 = 20\hat{i} + 70\hat{j}$; (2) $\vec{v}_0 = -20\hat{i} + 70\hat{j}$; (3) $\vec{v}_0 = 20\hat{i} - 70\hat{j}$; (4) $\vec{v}_0 = -20\hat{i} - 70\hat{j}$. No seu sistema de coordenadas, *x* varia ao longo do nível do solo e *y* cresce para cima. (a) Ordene os vetores de acordo com o módulo da velocidade de lançamento do projétil, começando pelo maior. (b) Ordene os vetores de acordo com o tempo de vôo do projétil, começando pelo maior.

**4** A Fig. 4-26 mostra três situações nas quais projéteis idênticos são lançados do solo (a partir do mesmo nível) com velocidades escalares e ângulos iguais. Entretanto, os projéteis não caem no mesmo terreno. Ordene as situações de acordo com as velocidades escalares finais dos projéteis imediatamente antes de aterrissarem, começando pela maior.

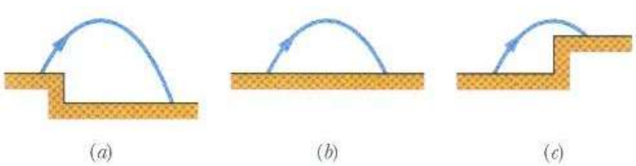


FIG. 4-26 Pergunta 4.

**5** Quando Paris foi bombardeada a mais de 100 km de distância na Primeira Guerra Mundial por um canhão apelidado de "Big Bertha", os projéteis foram lançados com um ângulo maior que 45° para atingirem uma distância maior, possivelmente até duas vezes maior que a 45°. Este resultado significa que a densidade do ar em grandes altitudes aumenta ou diminui com a altitude?

**6** Na Fig. 4-27, uma tangerina é arremessada para cima e passa pelas janelas 1, 2 e 3, que têm o mesmo tamanho e estão regularmente espaçadas na vertical. Ordene essas três janelas de acordo (a) com o tempo que a tangerina leva para passar e (b) com a velocidade média da tangerina durante a passagem, em ordem decrescente.

Na descida a tangerina passa pelas janelas 4, 5 e 6, que têm o mesmo tamanho e não estão regularmente espaçadas na horizontal. Ordene essas três janelas de acordo (c) com o tempo que a tangerina leva para passar por elas e (d) com a velocidade média da tangerina durante a passagem, em ordem decrescente.

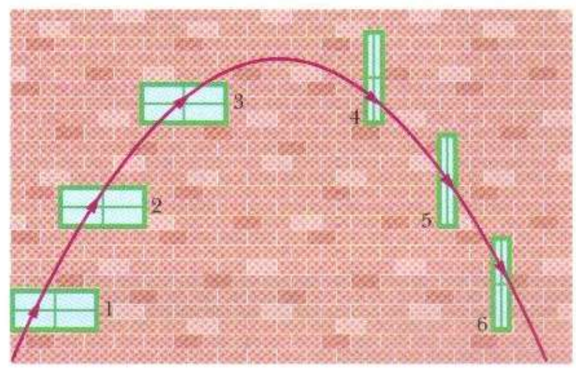


FIG. 4-27 Pergunta 6.

**7** A Fig. 4-28 mostra três trajetórias de uma bola de futebol chutada a partir do chão. Ignorando os efeitos do ar, ordene as trajetórias de acordo (a) com o tempo de percurso, (b) com a componente vertical da velocidade inicial, (c) com a componente horizontal da velocidade inicial e (d) com a velocidade escalar inicial, em ordem decrescente.

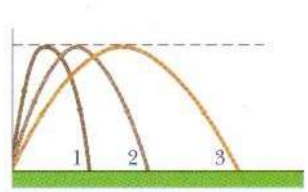


FIG. 4-28 Pergunta 7.

**8** O único uso decente de um bolo de frutas é na prática da catapulta. A curva 1 na Fig. 4-29 mostra a altura *y* de um bolo de frutas arremessado por uma catapulta em função do ângulo $\theta$ entre o vetor velocidade e o vetor aceleração durante o percurso. (a) Qual dos pontos assinalados por letras nessa curva corresponde ao choque do bolo de frutas com o solo? (b) A curva 2 é um gráfico semelhante para a mesma velocidade escalar inicial, mas um ângulo de lançamento diferente. Nesse caso, o bolo de frutas vai cair em um ponto mais distante ou mais próximo do ponto de lançamento?

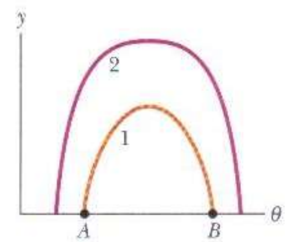


FIG. 4-29 Pergunta 8.

**9** Um avião que está voando horizontalmente com uma velocidade constante de 350 km/h, sobrevoando um terreno plano, deixa cair um fardo com suprimentos. Ignore o efeito do ar sobre o fardo. Quais são as componentes iniciais (a) vertical e (b) horizontal da velocidade inicial do fardo? (c) Qual é a componente horizontal da velocidade imediatamente antes de o fardo se chocar com o solo? (d) Se a velocidade do avião fosse de 450 km/h, o tempo de queda seria maior, menor ou igual?

**10** Uma bola é chutada a partir do chão, em um terreno plano, com uma certa velocidade inicial. A Fig. 4-30 mostra o alcance $R$ da bola em função do ângulo de lançamento $\theta_0$. Ordene os três pontos identificados no gráfico por letras de acordo (a) com o tempo que a bola permanece no ar e (b) com a velocidade da bola na altura máxima, em ordem decrescente.

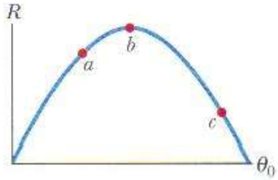


**FIG. 4-30** Pergunta 10.

**11** Na Fig. 4-31 a partícula $P$ está em movimento circular uniforme em torno da origem de um sistema de coordenadas $xy$. (a) Para que valores de $\theta$ a componente vertical $r_y$ do vetor posição possui maior módulo? (b) Para que valores de $\theta$ a componente vertical $v_y$ da velocidade da partícula possui maior módulo? (c) Para que valores de $\theta$ a componente vertical $a_y$ da aceleração da partícula possui maior módulo?

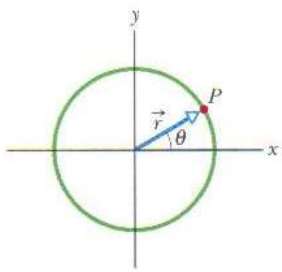


**FIG. 4-31** Pergunta 11.

**12** (a) É possível estar acelerando enquanto se viaja com velocidade escalar constante? É possível fazer uma curva (b) com aceleração nula e (c) com uma aceleração de módulo constante?

**13** A Fig. 4-32 mostra quatro trilhos (semicírculos ou quartos de círculo) que podem ser usados por um trem que se move com velocidade escalar constante. Ordene os trilhos de acordo com o módulo da aceleração do trem no trecho curvo, em ordem decrescente.

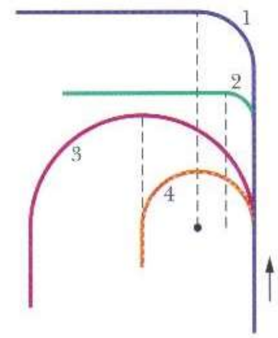


**FIG. 4-32** Pergunta 13.

## PROBLEMAS

• – ••• O número de pontos indica o grau de dificuldade do problema

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

### seção 4-2 Posição e Deslocamento

**•1** Um pósitron sofre um deslocamento $\Delta\vec{r} = 2{,}0\hat{i} - 3{,}0\hat{j} + 6{,}0\hat{k}$ e termina com o vetor posição $\vec{r} = 3{,}0\hat{j} - 4{,}0\hat{k}$, em metros. Qual era o vetor posição inicial do pósitron?

**•2** Uma semente de melancia possui as seguintes coordenadas: $x = -5{,}0$ m, $y = 8{,}0$ m e $z = 0$ m. Determine o vetor posição da semente (a) na notação de vetores unitários e como (b) um módulo e (c) um ângulo em relação ao sentido positivo do eixo $x$. (d) Desenhe o vetor em um sistema de coordenadas dextrogiro. Se a semente é transportada até as coordenadas (3,00 m, 0 m, 0 m), determine seu deslocamento (e) na notação de vetores unitários e como (f) um módulo e (g) um ângulo em relação ao sentido positivo do eixo $x$.

**•3** O vetor posição de um elétron é $\vec{r} = (5{,}0\text{ m})\hat{i} - (3{,}0\text{ m})\hat{j} + (2{,}0\text{ m})\hat{k}$. (a) Determine o módulo de $\vec{r}$. (b) Desenhe o vetor em um sistema de coordenadas dextrogiro.

**••4** O ponteiro dos minutos de um relógio de parede mede 10 cm da ponta até o eixo de rotação. O módulo e o ângulo do vetor deslocamento da sua ponta devem ser determinados para três intervalos de tempo. Determine (a) o módulo e (b) o ângulo associado ao deslocamento da ponta entre as posições correspondentes a quinze e trinta minutos depois da hora, (c) o módulo e (d) o ângulo correspondente à meia hora seguinte e (e) o módulo e (f) o ângulo correspondente à hora seguinte.

### seção 4-3 Velocidade Média e Velocidade Instantânea

**•5** O vetor posição de um íon é inicialmente $\vec{r} = 5{,}0\hat{i} - 6{,}0\hat{j} + 2{,}0\hat{k}$ e 10 s, depois passa a ser $\vec{r} = 2{,}0\hat{i} + 8{,}0\hat{j} - 2{,}0\hat{k}$, com todos os valores em metros. Na notação de vetores unitários, qual é a velocidade média $\vec{v}_{\text{méd}}$ durante os 10 s?

**•6** A posição de um elétron é dada por $\vec{r} = 3{,}00t\hat{i} - 4{,}00t^2\hat{j} + 2{,}00\hat{k}$, com $t$ em segundos e $\vec{r}$ em metros. (a) Qual é a velocidade $\vec{v}(t)$ do elétron na notação de vetores unitários? Quanto vale $\vec{v}(t)$ no instante $t = 2{,}00$ s (b) na notação de vetores unitários e como (c) um módulo e (d) um ângulo em relação ao sentido positivo do eixo $x$?

**•7** Um trem com uma velocidade constante de 60,0 km/h se move na direção leste por 40,0 min, depois em uma direção que faz um ângulo de 50,0° a leste com a direção norte por 20,0 min e, finalmente, na direção oeste por mais 50,0 min. Quais são (a) o módulo e (b) o ângulo da velocidade média do trem durante essa viagem?

**••8** Um avião voa 483 km para leste, da cidade $A$ para a cidade $B$, em 45,0 min, e depois 966 km para o sul, da cidade $B$ para uma cidade $C$, em 1,5 h. Para a viagem inteira, determine (a) o módulo e (b) a direção do deslocamento do avião, (c) o módulo e (d) a direção da velocidade média e (e) a velocidade escalar média.

••9 A Fig. 4-33 mostra os movimentos de um esquilo em um terreno plano, do ponto $A$ (no instante $t = 0$) para os pontos $B$ (em $t = 5{,}00$ min), $C$ (em $t = 10{,}0$ min) e, finalmente, $D$ (em $t = 15{,}0$ min). Considere as velocidades médias do esquilo do ponto A para cada um dos outros três pontos. Entre essas velocidades médias determine (a) o módulo e (b) o ângulo da que possui o menor módulo e (c) o módulo e (d) o ângulo da que possui o maior módulo.

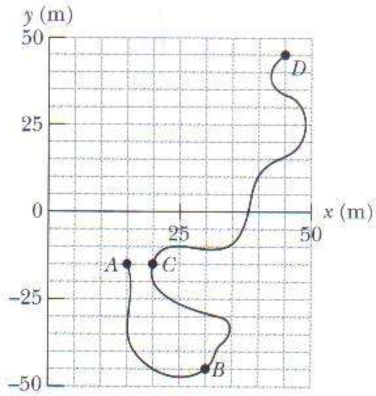


FIG. 4-33 Problema 9.

•••10 O vetor $\vec{r} = 5{,}00t\hat{\text{i}} + (et + ft^2)\hat{\text{j}}$ mostra a posição de uma partícula em função do tempo $t$. O vetor $\vec{r}$ está em metros, $t$ está em segundos e os fatores $e$ e $f$ são constantes. A Fig. 4-34 mostra o ângulo $\theta$ da direção do movimento da partícula em função de $t$ ($\theta$ é medido a partir do semi-eixo $x$ positivo). Determine (a) $e$ e (b) $f$, indicando suas unidades.

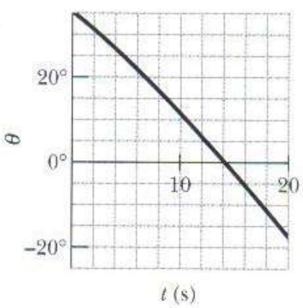


FIG. 4-34 Problema 10.

## seção 4-4 Aceleração Média e Aceleração Instantânea

•11 Uma partícula se move de tal forma que sua posição (em metros) em função do tempo (em segundos) é dada por $\vec{r} = \hat{\text{i}} + 4t^2\hat{\text{j}} + t\hat{\text{k}}$. Escreva expressões para (a) sua velocidade e (b) sua aceleração em função do tempo.

•12 A velocidade inicial de um próton é $\vec{v} = 4{,}0\hat{\text{i}} - 2{,}0\hat{\text{j}} + 3{,}0\hat{\text{k}}$; 4,0 s mais tarde, passa a ser $\vec{v} = -2{,}0\hat{\text{i}} - 2{,}0\hat{\text{j}} + 5{,}0\hat{\text{k}}$ (em metros por segundo). Para esses 4,0 s, determine quais são (a) a aceleração média do próton $\vec{a}_{\text{méd}}$ na notação de vetores unitários, (b) o módulo de $\vec{a}_{\text{méd}}$ e (c) o ângulo entre $\vec{a}_{\text{méd}}$ e o semi-eixo $x$ positivo.

•13 A posição $\vec{r}$ de uma partícula que se move em um plano $xy$ é dada por $\vec{r} = (2{,}00t^3 - 5{,}00t)\hat{\text{i}} + (6{,}00 - 7{,}00t^4)\hat{\text{j}}$ com $\vec{r}$ em metros e $t$ em segundos. Na notação de vetores unitários, calcule (a) $\vec{r}$, (b) $\vec{v}$ e (c) $\vec{a}$ para $t = 2{,}00$ s. (d) Qual é o ângulo entre o sentido positivo do eixo $x$ e uma reta tangente à trajetória da partícula em $t = 2{,}00$ s?

•14 Em um certo instante um ciclista está 40,0 m a leste do mastro de um parque, indo para o sul com uma velocidade de 10,0 m/s. Após 30,0 s o ciclista está 40,0 m ao norte do mastro, dirigindo-se para o leste com uma velocidade de 10,0 m/s. Para o ciclista, durante esse intervalo de 30,0 s quais são (a) o módulo e (b) a direção do deslocamento, (c) o módulo e (d) a direção da velocidade média e (e) o módulo e (f) a direção da aceleração média?

••15 Um carro se move sobre um plano $xy$ com componentes da aceleração $a_x = 4{,}0$ m/s² e $a_y = -2{,}0$ m/s². A velocidade inicial tem componentes $v_{0x} = 8{,}0$ m/s e $v_{0y} = 12$ m/s. Na notação de vetores unitários, qual é a velocidade do carro quando atinge a maior coordenada $y$?

••16 Um vento moderado acelera um seixo sobre um plano horizontal $xy$ com uma aceleração constante $\vec{a} = (5{,}00 \text{ m/s}^2)\hat{\text{i}} + (7{,}00 \text{ m/s}^2)\hat{\text{j}}$. No instante $t = 0$, a velocidade é $(4{,}00 \text{ m/s})\hat{\text{i}}$. Quais são (a) o módulo e (b) o ângulo da velocidade do seixo após ter se deslocado 12,0 m paralelamente ao eixo $x$?

••17 Uma partícula deixa a origem com uma velocidade inicial $\vec{v} = (3{,}00\hat{\text{i}})$ m/s e uma aceleração constante $\vec{a} = (-1{,}00\hat{\text{i}} - 0{,}500\hat{\text{j}})$ m/s². Quando ela atinge o máximo valor de sua coordenada $x$, quais são (a) a sua velocidade e (b) o seu vetor posição?

••18 A velocidade $\vec{v}$ de uma partícula que se move no plano $xy$ é dada por $\vec{v} = (6{,}0t - 4{,}0t^2)\hat{\text{i}} + 8{,}0\hat{\text{j}}$, com $\vec{v}$ em metros por segundo e $t$ (> 0) em segundos. (a) Qual é a aceleração no instante $t = 3{,}0$ s? (b) Em que instante (se isso é possível) a aceleração é nula? (c) Em que instante (se isso é possível) a velocidade é nula? (d) Em que instante (se isso é possível) a velocidade escalar da partícula é igual a 10 m/s?

•••19 A aceleração de uma partícula que se move apenas em um plano horizontal $xy$ é dada por $\vec{a} = 3t\hat{\text{i}} + 4t\hat{\text{j}}$, onde $\vec{a}$ está em metros por segundo ao quadrado e $t$ em segundos. Em $t = 0$, o vetor posição $\vec{r} = (20{,}0 \text{ m})\hat{\text{i}} + (40{,}0 \text{ m})\hat{\text{j}}$ indica a localização da partícula, que nesse instante tem uma velocidade $\vec{v} = (5{,}00 \text{ m/s})\hat{\text{i}} + (2{,}00 \text{ m/s})\hat{\text{j}}$. Em $t = 4{,}00$ s, determine (a) o vetor posição em termos dos vetores unitários e (b) o ângulo entre a direção do movimento e o semi-eixo $x$ positivo.

•••20 Na Fig. 4-35 a partícula $A$ se move ao longo da reta $y = 30$ m com uma velocidade constante $\vec{v}$ de módulo 3,0 m/s e paralela ao eixo $x$. No instante em que a partícula $A$ passa pelo eixo $y$ a partícula $B$ deixa a origem com velocidade inicial zero e aceleração constante $\vec{a}$ de módulo 0,40 m/s². Para que valor do ângulo $\theta$ entre $\vec{a}$ e o semi-eixo $y$ positivo acontece uma colisão?

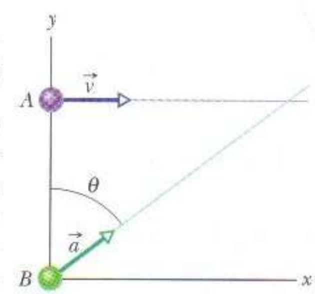


FIG. 4-35 Problema 20.

## seção 4-6 Análise do Movimento de um Projétil

•21 Um projétil é disparado horizontalmente de uma arma que está 45,0 m acima de um terreno plano, emergindo da arma com uma velocidade de 250 m/s. (a) Por quanto tempo o projétil permanece no ar? (b) A que distância horizontal do ponto de disparo ele se choca com o solo? (c) Qual é o módulo da componente vertical da velocidade quando o projétil se choca com o solo?

•22 No Campeonato Mundial de Atletismo de 1991, em Tóquio, Mike Powell saltou 8,95 m, batendo por 5 cm um recorde de 23 anos para o salto em distância estabelecido por Bob Beamon. Suponha que a velocidade de Powell no início do salto era de 9,5 m/s (aproximadamente igual à de um velocista) e que $g = 9{,}8$ m/s² em Tóquio. Calcule a diferença entre o alcance de Powell e o máximo alcance possível para uma partícula lançada com a mesma velocidade.

•23 O recorde atual de salto de motocicleta é de 77,0 m, estabelecido por Jason Renie. Suponha que ele parta da rampa fazendo um ângulo de 12° com a horizontal e que as alturas no início e no final do salto sejam iguais. Determine a velocidade inicial, desprezando a resistência do ar.

**•24** Uma pequena bola rola horizontalmente até a borda de uma mesa de 1,20 m de altura e cai no chão. A bola chega ao chão a uma distância horizontal de 1,52 m da borda da mesa. (a) Por quanto tempo a bola fica no ar? (b) Qual é a velocidade da bola no instante em que chega à borda da mesa?

**•25** Um dardo é arremessado horizontalmente com uma velocidade inicial de 10 m/s em direção a um ponto $P$, o centro de um alvo de parede. Ele atinge um ponto $Q$ do alvo, verticalmente abaixo de $P$, 0,19 s depois do arremesso. (a) Qual é a distância $PQ$? (b) A que distância do alvo foi arremessado o dardo?

**•26** Na Fig. 4-36, uma pedra é lançada em um rochedo de altura $h$ com uma velocidade inicial de 42,0 m/s e um ângulo $\theta_0 = 60{,}0°$ com a horizontal. A pedra cai em um ponto $A$, 5,50 s após o lançamento. Determine (a) a altura $h$ do rochedo, (b) a velocidade da pedra imediatamente antes do impacto em $A$ e (c) a máxima altura $H$ alcançada acima do solo.

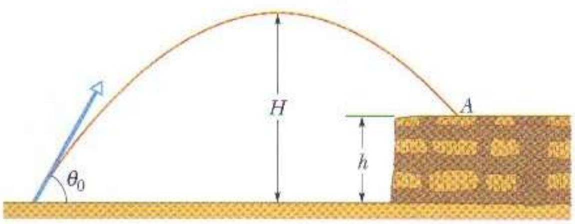


FIG. 4-36 Problema 26.

**•27** Um certo avião tem uma velocidade de 290,0 km/h e está mergulhando com um ângulo $\theta = 30{,}0°$ abaixo da horizontal quando o piloto libera um chamariz (Fig. 4-37). A distância horizontal entre o ponto de lançamento e o ponto onde o chamariz se choca com o solo é $d = 700$ m. (a) Quanto tempo o chamariz passou no ar? (b) De que altura foi lançado?

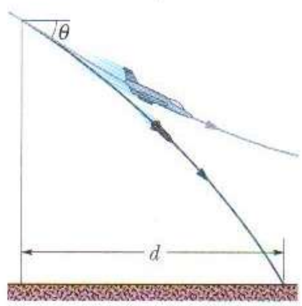


FIG. 4-37 Problema 27.

**•28** Uma pedra é lançada de uma catapulta no instante $t = 0$, com uma velocidade inicial de módulo 20,0 m/s e um ângulo de 40,0° acima da horizontal. Quais são os módulos das componentes (a) horizontal e (b) vertical do deslocamento da pedra em relação à catapulta em $t = 1{,}10$ s? Repita os cálculos para as componentes (c) horizontal e (d) vertical em $t = 1{,}80$ s e para as componentes (e) horizontal e (f) vertical em $t = 5{,}00$ s.

**••29** Um mergulhador salta com uma velocidade horizontal de 2,00 m/s de uma plataforma que está 10,0 m acima da superfície da água. (a) A que distância horizontal da borda da plataforma está o mergulhador 0,800 s após o início do salto? (b) A que distância vertical acima da superfície da água está o mergulhador nesse instante? (c) A que distância horizontal da borda da plataforma o mergulhador atinge a água?

**••30** O trebuchet era uma máquina de arremesso construída para atacar as muralhas de um castelo durante um cerco. Uma grande pedra podia ser arremessada contra uma muralha para derrubá-la. A máquina não era instalada perto da muralha, porque os operadores seriam um alvo fácil para as flechas disparadas do alto das muralhas do castelo. Em vez disso, o trebuchet era posicionado de tal forma que a pedra atingia a muralha na parte descendente de sua trajetória. Suponha que uma pedra seja lançada com uma velocidade $v_0 = 28{,}0$ m/s e um ângulo $\theta_0 = 40{,}0°$. Qual é a velocidade da pedra se ela atinge a muralha (a) no momento em que chega à altura máxima de sua trajetória parabólica e (b) depois de cair metade da altura máxima? (c) Qual é a diferença percentual entre as respostas dos itens (b) e (a)?

**••31** Um avião, mergulhando com velocidade constante em um ângulo de 53,0° com a vertical, lança um projétil a uma altitude de 730 m. O projétil chega ao solo 5,00 s após o lançamento. (a) Qual é a velocidade do avião? (b) Que distância o projétil percorre horizontalmente durante o percurso? Quais são as componentes (c) horizontal e (d) vertical da velocidade do projétil no momento em que chega ao solo?

**••32** Durante uma partida de tênis, um jogador saca a 23,6 m/s, com o centro da bola deixando a raquete horizontalmente a 2,37 m de altura em relação à quadra. A rede está a 12 m de distância e tem 0,90 m de altura. (a) A bola passa para o outro lado da quadra? (b) Quando a bola chega à rede, qual é a distância entre o centro da bola e o alto da rede? Suponha que, nas mesmas condições, a bola deixe a raquete fazendo um ângulo 5,00° abaixo da horizontal. Nesse caso, (c) a bola passa para o outro lado da quadra? (d) Quando a bola chega à rede, qual é a distância entre o centro da bola e o alto da rede?

**••33** Em uma cortada, um jogador de voleibol golpeia a bola com força, de cima para baixo, em direção à quadra adversária. É difícil controlar o ângulo de uma cortada. Suponha que uma bola seja cortada de uma altura de 2,30 m, com uma velocidade inicial de 20,0 m/s e um ângulo para baixo de 18,00°. Se o ângulo para baixo diminuir para 8,00°, a que distância adicional a bola atingirá a quadra adversária?

**••34** Uma bola de futebol é chutada a partir do chão com uma velocidade inicial de 19,5 m/s e um ângulo para cima de 45°. No mesmo instante um jogador a 55 m de distância, na direção do chute, começa a correr para receber a bola. Qual deve ser sua velocidade média para que alcance a bola imediatamente antes que toque o gramado?

**••35** A velocidade de lançamento de um projétil é cinco vezes maior que a velocidade na altura máxima. Determine o ângulo de lançamento $\theta_0$.

**••36** Um arremessador de peso de nível olímpico é capaz de lançar o peso com uma velocidade inicial $v_0 = 15{,}00$ m/s de uma altura de 2,160 m. Que distância horizontal é coberta pelo peso se o ângulo de lançamento $\theta_0$ é (a) 45,00° e (b) 42,00°? As respostas mostram que o ângulo de 45°, que maximiza o alcance dos projéteis, não maximiza a distância horizontal quando a altura inicial e a altura final são diferentes.

**••37** Uma bola é lançada a partir do solo. Quando ela atinge uma altura de 9,1 m sua velocidade é $\vec{v} = (7{,}6\hat{i} + 6{,}1\hat{j})$ m/s, com $\hat{i}$ horizontal e $\hat{j}$ para cima. (a) Qual é a altura máxima atingida pela bola? (b) Qual é a distância horizontal coberta pela bola? Quais são (c) o módulo e (d) o ângulo (abaixo da horizontal) da velocidade da bola no instante em que atinge o solo?

**••38** Você lança uma bola em direção a uma parede com uma velocidade de 25,0 m/s e um ângulo $\theta_0 = 40{,}0°$ acima da horizontal (Fig. 4-38). A parede está a uma distância $d$ = 22,0 m do ponto de lançamento da bola. (a) A que distância acima do ponto de lançamento a bola atinge a parede? Quais são as componentes (b) horizontal e (c) vertical da velocidade da bola ao atingir a parede? (d) Ao atingir a parede, ela já passou pelo ponto mais alto da trajetória?

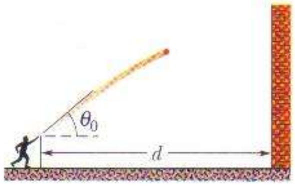

FIG. 4-38 Problema 38.

**••39** Um rifle que atira balas a 460 m/s é apontado para um alvo situado a 45,7 m de distância. Se o centro do alvo está na mesma altura do rifle, para que altura acima do alvo o cano do rifle deve ser apontado para que a bala atinja o centro do alvo?

**••40** Uma bola de beisebol deixa a mão do lançador horizontalmente com uma velocidade de 161 km/h. A distância até o rebatedor é 18,3 m. (a) Quanto tempo a bola leva para percorrer a primeira metade da distância? (b) E a segunda metade? (c) Que distância a bola cai livremente durante a primeira metade? (d) E durante a segunda metade? (e) Por que as respostas dos itens (c) e (d) não são iguais?

**••41** Na Fig. 4-39 uma bola é jogada para a esquerda a partir da extremidade esquerda de um terraço, situado a uma altura $h$ acima do solo. A bola chega ao solo 1,50 s depois, a uma distância $d$ = 25,0 m do edifício e fazendo um ângulo $\theta$ = 60,0° com a horizontal. (a) Determine o valor de $h$. (*Sugestão:* Uma forma de resolver o problema é inverter o movimento, como se você estivesse vendo um filme de trás para a frente.) Quais são (b) o módulo e (c) o ângulo em relação à horizontal com o qual a bola foi jogada?

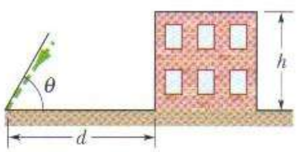

FIG. 4-39 Problema 41.

**••42** Uma bola de golfe recebe uma tacada no chão. A velocidade da bola em função do tempo é mostrada na Fig. 4-40, onde $t$ = 0 é o instante em que a bola foi golpeada. (a) Que distância a bola de golfe percorre na horizontal antes de voltar ao nível do solo? (b) Qual é a altura máxima atingida pela bola acima do solo?

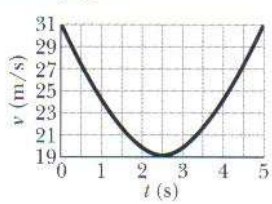

FIG. 4-40 Problema 42.

**••43** Na Fig. 4-41 uma bola é lançada com uma velocidade de 10,0 m/s e um ângulo de 50,0° com a horizontal. O ponto de lançamento fica na base de uma rampa de comprimento horizontal $d_1$ = 6,00 m e altura $d_2$ = 3,60 m. No topo da rampa está localizado um platô. (a) A bola aterrissa na rampa ou no platô? No momento em que a bola aterrissa, quais são (b) o módulo e (c) o ângulo do deslocamento da bola em relação ao ponto de lançamento?

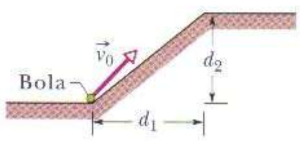

FIG. 4-41 Problema 43.

**••44** Em 1939 ou 1940 Emanuel Zacchini levou seu número de bala humana a novas alturas. Depois de ser disparado por um canhão, passou por cima de três rodas-gigantes antes de cair em uma rede (Fig. 4-42). (a) Tratando Zacchini como uma partícula, determine a que distância vertical ele passou da primeira roda-gigante. (b) Se ele atingiu a altura máxima ao passar pela roda-gigante do meio, a que distância vertical passou dessa roda-gigante? (c) A que distância do canhão devia estar posicionado o centro da rede (desprezando a resistência do ar)?

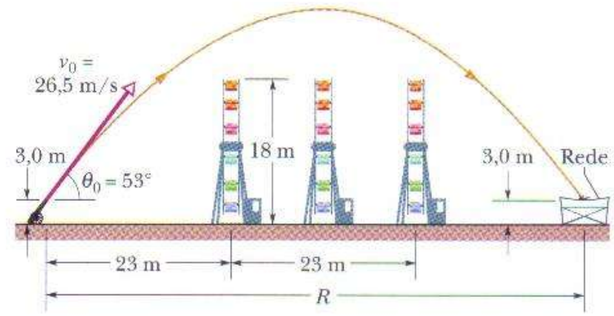

FIG. 4-42 Problema 44.

**••45** Quando vê um inseto pousado em uma planta perto da superfície da água, o peixe-arqueiro coloca o focinho para fora e lança um jato de água na direção do inseto para derrubá-lo na água (Fig. 4-43). Embora o peixe veja o inseto na extremidade de um segmento de reta de comprimento $d$, que faz um ângulo $\phi$ com a superfície da água, o jato deve ser lançado com um ângulo diferente, $\theta_0$, para que sua trajetória parabólica intercepte o inseto. Se $\phi$ = 36,0°, $d$ = 0,900 m e a velocidade de lançamento é 3,56 m/s, qual deve ser o valor de $\theta_0$ para que o jato esteja no ponto mais alto da trajetória quando atinge o inseto?

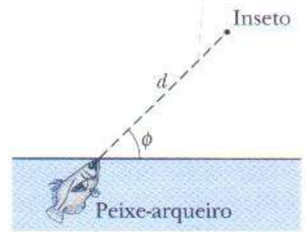

FIG. 4-43 Problema 45.

**••46** Na Fig. 4-44 uma bola é arremessada para o alto de um edifício, caindo 4,00 s depois a uma altura $h$ = 20,0 m acima da altura de lançamento. A trajetória da bola no final tem uma inclinação $\theta$ = 60° em relação à horizontal. (a) Determine a distância horizontal $d$ coberta pela bola. (Veja a sugestão do Problema 41.) Quais são (b) o módulo e (c) o ângulo (em relação à horizontal) da velocidade inicial da bola?

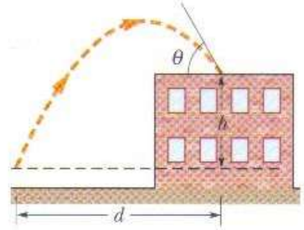

FIG. 4-44 Problema 46.

**••47** Um rebatedor golpeia uma bola quando o centro da bola está a 1,22 m acima do solo. A bola deixa o taco do rebatedor fazendo um ângulo de 45° com o solo. Nesse lançamento a bola tem um alcance horizontal (distância até voltar à *altura de lançamento*) de 107 m. (a) A bola conseguirá passar por um alambrado de 7,32 m de altura que está a uma distância horizontal de 97,5 m do ponto de lançamento? (b) Qual é a distância entre o alto do alambrado e o centro da bola quando a mesma chega ao alambrado?

**••48** Alguns jogadores de basquetebol parecem *flutuar* no ar durante um salto em direção à cesta. A ilusão depende em boa parte da capacidade de um jogador experiente de trocar rapidamente a bola de mão durante o salto, mas pode ser acentuada pelo fato de que o jogador percorre uma distância horizontal maior na parte superior do salto do que na parte inferior. Se um jogador salta com uma velocidade inicial $v_0$ = 7,00 m/s e um ângulo $\theta_0$ = 35,0°, que porcentagem do alcance do salto o jogador passa na parte superior do salto (entre a altura máxima e metade da altura máxima)?

**•••49** Os esquiadores experientes costumam dar um pequeno salto antes de chegar a uma encosta. Considere um salto no qual a velocidade inicial é $v_0 = 10$ m/s, o ângulo é $\theta_0 = 9{,}0°$, a pista antes do salto é aproximadamente plana e a encosta tem uma inclinação de 11,3°. A Fig. 4-45*a* mostra um *pré-salto* no qual o esquiador desce no início da encosta. A Fig. 4-45*b* mostra um salto que começa no momento em que o esquiador está chegando à encosta. Na Fig. 4-45*a* o esquiador desce aproximadamente na mesma altura em que começou o salto. (a) Qual é o ângulo $\phi$ entre a trajetória do esquiador e a encosta na situação da Fig. 4-45*a*? Na situação da Fig. 4-45*b* (b) o esquiador desce quantos metros abaixo da altura em que começou o salto e (c) qual é o valor de $\phi$? (A queda maior e o maior valor de $\phi$ podem fazer o esquiador perder o equilíbrio.)

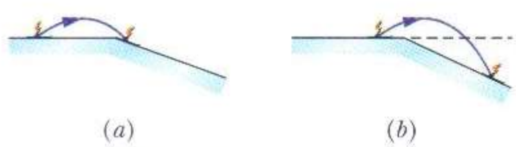


FIG. 4-45 Problema 49.

**•••50** Uma bola é lançada a partir do solo em direção a uma parede situada a uma distância $x$ (Fig. 4-46*a*). A Fig. 4-46*b* mostra a componente $v_y$ da velocidade da bola ao chegar à parede em função da distância $x$. Qual é o ângulo de lançamento?

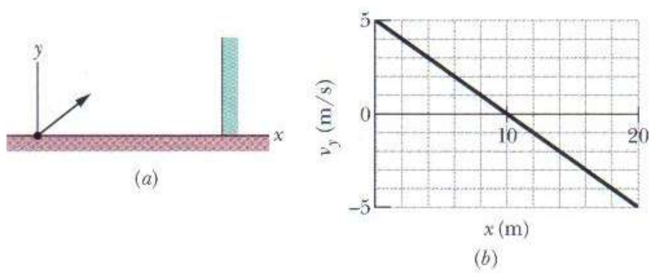


FIG. 4-46 Problema 50.

**•••51** O chute de um jogador de futebol americano imprime à bola uma velocidade inicial de 25 m/s. Quais são (a) o menor e (b) o maior ângulo de elevação que ele pode imprimir à bola para marcar um *field goal** a partir de um ponto situado a 50 m da meta, cujo travessão está 3,44 m acima do gramado?

**•••52** Uma bola é lançada a partir do solo com uma certa velocidade. A Fig. 4-47 mostra o alcance $R$ em função do ângulo de lançamento $\theta_0$. O tempo de percurso depende do valor de $\theta_0$; seja $t_{máx}$ o maior valor possível desse tempo. Qual é a menor velocidade que a bola possui durante o percurso se $\theta_0$ é escolhido de tal forma que o tempo de percurso é $0{,}5t_{máx}$?

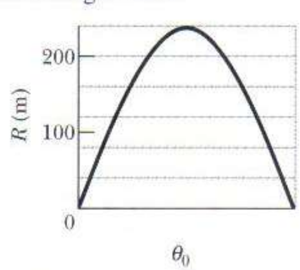


FIG. 4-47 Problema 52.

* Para marcar um *field goal* no futebol americano um jogador tem que fazer a bola passar por cima do travessão e entre as duas traves laterais. (N.T.)

**•••53** Uma bola rola horizontalmente do alto de uma escada com uma velocidade de 1,52 m/s. Os degraus têm 20,3 cm de altura e 20,3 cm de largura. Em que degrau a bola bate primeiro?

**•••54** Dois segundos após ter sido lançado a partir do solo, um projétil deslocou-se 40 m horizontalmente e 53 m verticalmente em relação ao ponto de lançamento. Quais são as componentes (a) horizontal e (b) vertical da velocidade inicial do projétil? (c) Qual é o deslocamento horizontal em relação ao ponto de lançamento no instante em que o projétil atinge a altura máxima em relação ao solo?

**•••55** Na Fig. 4-48 uma bola de beisebol é golpeada a uma altura $h = 1{,}00$ m e apanhada na mesma altura. Deslocando-se paralelamente a um muro, ela passa pelo alto do muro 1,00 s após ter sido golpeada e, novamente, 4,00 s depois, quando está descendo, em posições separadas por uma distância $D = 50{,}0$ m. (a) Qual é a distância horizontal percorrida pela bola do instante em que foi golpeada até ser apanhada? Quais são (b) o módulo e (c) o ângulo (em relação à horizontal) da velocidade da bola imediatamente após ter sido golpeada? (d) Qual é a altura do muro?

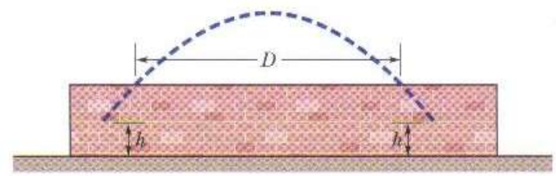


FIG. 4-48 Problema 55.

## seção 4-7 Movimento Circular Uniforme

**•56** Um viciado em aceleração centrípeta executa um movimento circular uniforme de período $T = 2{,}0$ s e raio $r = 3{,}00$ m. No instante $t_1$ sua aceleração é $\vec{a} = (6{,}00 \text{ m/s}^2)\hat{\text{i}} + (-4{,}00 \text{ m/s}^2)\hat{\text{j}}$. Nesse instante, quais são os valores de (a) $\vec{v} \cdot \vec{a}$ e (b) $\vec{r} \times \vec{a}$?

**•57** Em um parque de diversões uma mulher passeia em uma roda-gigante com 15 m de raio, completando cinco voltas em torno do eixo horizontal a cada minuto. Quais são (a) o período do movimento, (b) o módulo e (c) o sentido de sua aceleração centrípeta no ponto mais alto, e (d) o módulo e (e) o sentido de sua aceleração centrípeta no ponto mais baixo?

**•58** Qual é o módulo da aceleração de um velocista que corre a 10 m/s ao fazer uma curva com 25 m de raio?

**•59** Quando uma grande estrela se torna uma *supernova* seu núcleo pode ser tão comprimido que ela se transforma em uma *estrela de nêutrons*, com um raio de cerca de 20 km. Se uma estrela de nêutrons completa uma revolução a cada segundo, (a) qual é o módulo da velocidade de uma partícula situada no equador da estrela e (b) qual é o módulo da aceleração centrípeta da partícula? (c) Se a estrela de nêutrons gira mais depressa, as respostas dos itens (a) e (b) aumentam, diminuem ou permanecem as mesmas?

**•60** Um satélite se move em uma órbita circular, 640 km acima da superfície da Terra, com um período de 98,0 min. Quais são (a) a velocidade e (b) o módulo da aceleração centrípeta do satélite?

**•61** Um carrossel de um parque de diversões gira em torno de um eixo vertical com velocidade angular constante. Um homem em pé na borda do carrossel tem uma velocidade escalar constante de 3,66 m/s e uma aceleração centrípeta $\vec{a}$ de módulo 1,83 m/s². O vetor posição $\vec{r}$ indica sua posição em relação ao eixo do carrossel. (a) Qual é o módulo de $\vec{r}$? Qual é o sentido de $\vec{r}$ quando $\vec{a}$ aponta (b) para leste e (c) para o sul?

**•62** Um ventilador realiza 1200 revoluções por minuto. Considere um ponto situado na extremidade de uma das pás, que descreve uma circunferência com 0,15 m de raio. (a) Que distância este ponto percorre em uma revolução? Quais são (b) a velocidade do ponto e (c) o módulo de sua aceleração? (d) Qual é o período do movimento?

**••63** Uma bolsa a 2,00 m do centro e uma carteira a 3,00 m do centro descrevem um movimento circular uniforme no piso de um carrossel. Elas estão na mesma linha radial. Em um certo instante, a aceleração da bolsa é $(2{,}00\ \text{m/s}^2)\hat{i} + (4{,}00\ \text{m/s}^2)\hat{j}$. Qual é a aceleração da carteira nesse instante, em termos dos vetores unitários?

**••64** Uma partícula se move em uma trajetória circular em um sistema de coordenadas $xy$ horizontal, com velocidade escalar constante. No instante $t_1 = 4{,}00$ s ela está no ponto (5,00 m, 6,00 m) com velocidade $(3{,}00\ \text{m/s})\hat{j}$ e aceleração no sentido positivo de $x$. No instante $t_2 = 10{,}0$ s ela tem uma velocidade $(-3{,}00\ \text{m/s})\hat{i}$ e uma aceleração no sentido positivo de $y$. Quais são as coordenadas (a) $x$ e (b) $y$ do centro da trajetória circular se a diferença $t_2 - t_1$ é menor que um período?

**••65** Em $t_1 = 2{,}00$ s, a aceleração de uma partícula em movimento circular no sentido anti-horário é $(6{,}00\ \text{m/s}^2)\hat{i} + (4{,}00\ \text{m/s}^2)\hat{j}$. Ela se move com velocidade escalar constante. Em $t_2 = 5{,}00$ s, sua aceleração é $(4{,}00\ \text{m/s}^2)\hat{i} + (-6{,}00\ \text{m/s})\hat{j}$. Qual é o raio da trajetória da partícula se a diferença $t_2 - t_1$ é menor que um período?

**••66** Uma partícula descreve um movimento circular uniforme em um plano horizontal $xy$. Em um certo instante ela passa pelo ponto de coordenadas (4,00 m, 4,00 m) com uma velocidade de $-5{,}00\hat{i}$ m/s e uma aceleração de $+12{,}5\hat{j}$ m/s. Quais são as coordenadas (a) $x$ e (b) $y$ do centro da trajetória circular?

**•••67** Um menino faz uma pedra descrever uma circunferência horizontal com 1,5 m de raio 2,0 m acima do chão. A corda se parte e a pedra é arremessada horizontalmente, chegando ao solo depois de percorrer uma distância horizontal de 10 m. Qual era o módulo da aceleração centrípeta da pedra durante o movimento circular?

**•••68** Um gato pula em um carrossel que está descrevendo um movimento circular uniforme. No instante $t_1 = 2{,}00$ s a velocidade do gato é $\vec{v}_1 = (3{,}00\ \text{m/s})\hat{i} + (4{,}00\ \text{m/s})\hat{j}$, medida em um sistema de coordenadas horizontal $xy$. No instante $t_2 = 5{,}00$ s, a velocidade é $\vec{v}_2 = (-3{,}00\ \text{m/s})\hat{i} + (-4{,}00\ \text{m/s})\hat{j}$. Quais são (a) o módulo da aceleração centrípeta do gato e (b) a aceleração média do gato no intervalo de tempo $t_2 - t_1$, que é menor que um período?

### seção 4-8 Movimento Relativo em Uma Dimensão

**•69** Um cinegrafista está em uma picape que se move para oeste a 20 km/h enquanto filma um guepardo que também está se movendo para oeste 30 km/h mais depressa que a picape. De repente, o guepardo pára, dá meia-volta e passa a correr a 45 km/h para leste, de acordo com a estimativa de um membro da equipe, agora nervoso, de pé na margem da estrada, no caminho do guepardo. A mudança de velocidade do animal leva 2,0 s. Quais são (a) o módulo e (b) a orientação da aceleração do animal em relação ao cinegrafista e (c) o módulo e (d) a orientação da aceleração do animal em relação ao membro nervoso da equipe?

**•70** Um barco está navegando rio acima, no sentido positivo de um eixo $x$, a 14 km/h em relação à água do rio. A água do rio está correndo a 9,0 km/h em relação à margem. Quais são (a) o módulo e (b) a orientação da velocidade do barco em relação à margem? Uma criança no barco caminha da popa para a proa a 6,0 km/h em relação ao barco. Quais são (c) o módulo e (d) a orientação da velocidade da criança em relação à margem?

**••71** Um homem de aparência suspeita corre o mais rápido que pode por uma esteira rolante, levando 2,5 s para ir de uma extremidade a outra. Os seguranças aparecem e o homem volta ao ponto de partida, correndo o mais rápido que pode, levando 10,0 s. Qual é a razão entre a velocidade do homem e a velocidade da esteira?

### seção 4-9 Movimento Relativo em Duas Dimensões

**•72** Um jogador de rúgbi corre com a bola em direção à meta do adversário no sentido positivo de um eixo $x$. De acordo com as regras do jogo, ele pode passar a bola a um companheiro de equipe desde que a velocidade da bola em relação ao campo não possua uma componente $x$ positiva. Suponha que o jogador esteja correndo com uma velocidade de 4,0 m/s em relação ao campo quando passa a bola com uma velocidade $\vec{v}_{BJ}$ em relação a ele mesmo. Se o módulo de $\vec{v}_{BJ}$ é 6,0 m/s, qual é o menor ângulo que ela deve fazer com a direção $x$ para que o passe seja válido?

**••73** Dois navios, $A$ e $B$, deixam o porto ao mesmo tempo. O navio $A$ navega para noroeste a 24 nós e o navio $B$ navega a 28 nós em uma direção 40° a oeste do sul. (1 nó = 1 milha marítima por hora; veja o Apêndice D.) Quais são (a) o módulo e (b) a orientação da velocidade do navio $A$ em relação ao navio $B$? (c) Após quanto tempo os navios estarão separados por 160 milhas marítimas? (d) Qual será o curso de $B$ (orientação do vetor posição de $B$) em relação a $A$ nesse instante?

**••74** Um avião leve atinge uma velocidade do ar de 500 km/h. O piloto pretende chegar a um ponto 800 km ao norte, mas descobre que deve direcionar o avião 20,0° a leste do norte para atingir seu destino. O avião chega em 2,00 h. Quais eram (a) o módulo e (b) a orientação da velocidade do vento?

**••75** A neve está caindo verticalmente com uma velocidade constante de 8,0 m/s. Com que ângulo, em relação à vertical, os flocos de neve parecem estar caindo do ponto de vista do motorista de um carro que viaja em uma estrada plana e retilínea a uma velocidade de 50 km/h?

**••76** Depois de voar por 15 min em um vento de 42 km/h a um ângulo 20° ao sul do leste, o piloto de um avião sobrevoa uma cidade que está a 55 km ao norte do ponto de partida. Qual é a velocidade escalar do avião em relação ao ar?

**••77** Um trem viaja para o sul a 30 m/s (em relação ao solo) em meio a uma chuva que é soprada para o sul pelo vento. As trajetórias das gotas de chuva fazem um ângulo de 70° com a vertical quando medidas por um observador estacionário no solo. Um observador no trem, entretanto, vê as gotas caírem exatamente na vertical. Determine a velocidade escalar das gotas de chuva em relação ao solo.

**••78** Um rio de 200 m de largura corre para leste com uma velocidade constante de 2,0 m/s. Um barco com uma velocidade de 8,0 m/s em relação à água parte da margem sul em uma direção 30° a oeste do norte. Determine (a) o módulo e (b) a orientação da velocidade do barco em relação à margem. (c) Quanto tempo o barco leva para atravessar o rio?

**••79** Duas rodovias se cruzam, como mostra a Fig. 4-49. No instante indicado, um carro de polícia $P$ está a uma distância $d_P = 800$ m do cruzamento, movendo-se com uma velocidade escalar $v_P = 80$ km/h. O motorista $M$ está a uma distância $d_M = 600$ m do cruzamento, movendo-se com uma velocidade escalar $v_M = 60$ km/h. (a) Qual é a velocidade do motorista em relação ao carro da polícia na notação de vetores unitários? (b) No instante mostrado na Fig. 4-49, qual é o ângulo entre a velocidade calculada no item (a) e a reta que liga os dois carros? (c) Se os carros mantêm suas velocidades, as respostas dos itens (a) e (b) mudam quando os carros se aproximam da interseção?

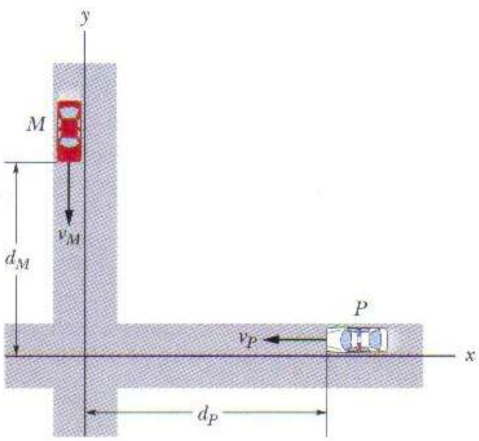


**FIG. 4-49** Problema 79.

**••80** Na vista superior da Fig. 4-50 os jipes $P$ e $B$ se movem em linha reta em um terreno plano e passam ao lado de um guarda de fronteira estacionário $A$. Em relação ao guarda, o jipe $B$ se move com uma velocidade escalar constante de 20,0 m/s e um ângulo $\theta_2 = 30{,}0°$. Também em relação ao guarda, $P$ acelerou a partir do repouso a uma taxa constante de 0,400 m/s$^2$ e um ângulo $\theta_1 = 60{,}0°$. Em um certo instante durante a aceleração, $P$ possui uma velocidade escalar de 40,0 m/s. Nesse instante, quais são (a) o módulo e (b) a orientação da velocidade de $P$ em relação a $B$ e (c) o módulo e a orientação da aceleração de $P$ em relação a $B$?

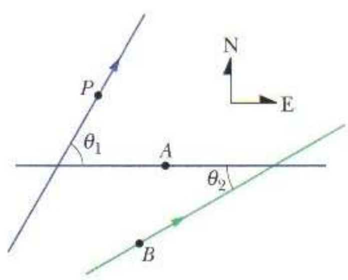


**FIG. 4-50** Problema 80.

**•••81** O navio $A$ está 4,0 km ao norte e 2,5 km a leste do navio $B$. O navio $A$ está viajando com uma velocidade de 22 km/h na direção sul; o navio $B$, com uma velocidade de 40,0 km/h em uma direção 37° ao norte do leste. (a) Qual é a velocidade de $A$ em relação a $B$ em termos dos vetores unitários, com $\hat{\imath}$ apontando para o leste? (b) Escreva uma expressão (em termos de $\hat{\imath}$ e $\hat{\jmath}$) para a posição de $A$ em relação a $B$ em função do tempo $t$, tomando $t = 0$ como o instante em que os dois navios estão nas posições aqui descritas. (c) Em que instante a separação entre os navios é mínima? (d) Qual é essa separação mínima?

**•••82** Um rio de 200 m de largura corre com uma velocidade uniforme de 1,1 m/s através de uma floresta, na direção leste. Um explorador deseja sair de uma pequena clareira na margem sul e atravessar o rio em um barco a motor que se move com uma velocidade escalar constante de 4,0 m/s em relação à água. Existe uma outra clareira na margem norte, 82 m rio acima a partir de um ponto da margem sul, exatamente em frente à clareira. (a) Em que direção o barco deve ser apontado para viajar em linha reta e chegar à clareira da margem norte? (b) Quanto tempo o barco leva para atravessar o rio e chegar à clareira?

## Problemas Adicionais

**83** Você é seqüestrado por estudantes de ciência política (que estão aborrecidos porque você disse a eles que a ciência política não é uma ciência de verdade). Embora esteja vendado, você pode estimar a velocidade do carro dos seqüestradores (pelo ronco do motor), o tempo de viagem (contando mentalmente os segundos) e a orientação da viagem (pelas curvas que o carro fez). A partir dessas pistas você sabe que foi conduzido ao longo do seguinte percurso: 50 km/h por 2,0 min, curva de 90° para a direita, 20 km/h por 4,0 min, curva de 90° para a direita, 20 km/h por 60 s, curva de 90° para a esquerda, 50 km/h por 60 s, curva 90° para a direita, 20,0 km/h por 2,0 min, curva de 90° para a esquerda, 50 km/h por 30 s. Nesse ponto, (a) a que distância você se encontra do ponto de partida e (b) em que direção em relação à direção inicial você está?

**84** *Cortina da morte.* Um grande asteróide metálico colide com a Terra e abre uma cratera no material rochoso abaixo do solo, lançando pedras para o alto. A tabela a seguir mostra cinco pares de velocidades e ângulos (em relação à horizontal) para essas pedras, com base em um modelo de formação de crateras. (Outras pedras, com velocidades e ângulos intermediários, também são lançadas.) Suponha que você está em $x = 20$ km quando o asteróide chega ao solo no instante $t = 0$ e na posição $x = 0$ (Fig. 4-51). (a) Em $t = 20$ s, quais são as coordenadas $x$ e $y$ das pedras, de $A$ a $E$, que foram lançadas em sua direção? (b) Plote essas coordenadas em um gráfico e desenhe uma curva passando pelos pontos para incluir pedras com velocidades e ângulos intermediários. A curva deve dar uma idéia do que você veria ao olhar na direção das pedras e do que os dinossauros devem ter visto durante as colisões de asteróides com a Terra, no passado remoto.

| Pedra | Velocidade (m/s) | Ângulo (graus) |
|---|---|---|
| $A$ | 520 | 14,0 |
| $B$ | 630 | 16,0 |
| $C$ | 750 | 18,0 |
| $D$ | 870 | 20,0 |
| $E$ | 1000 | 22,0 |

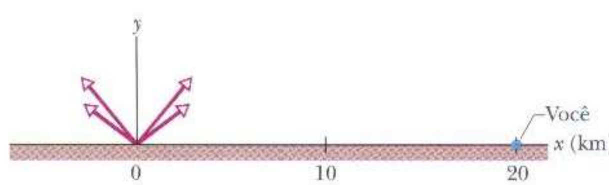


**FIG. 4-51** Problema 84.

**85** Na Fig. 4-52 uma bola de massa de modelar descreve um movimento circular uniforme, com um raio de 20,0 cm, na borda de uma roda que está girando no sentido anti-horário com um período de 5,00 ms. A bola se desprende da borda na posição correspondente a 5 horas (como se estivesse no mos-

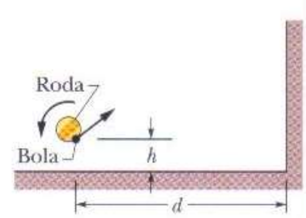


**FIG. 4-52** Problema 85.

trador de um relógio). Ela deixa a borda a uma altura $h = 1{,}20$ m acima do chão e a uma distância $d = 2{,}50$ m de uma parede. Em que altura a bola bate na parede?

**86** Uma partícula descreve um movimento circular uniforme em torno da origem de um sistema de coordenadas $xy$, movendo-se no sentido horário com um período de 7,00 s. Em um certo instante o vetor posição da partícula (em relação à origem) é $\vec{r} = (2{,}00\ \text{m})\hat{\text{i}} - (3{,}00\ \text{m})\hat{\text{j}}$. Qual é a velocidade da partícula nesse instante, em termos dos vetores unitários?

**87** Na Fig. 4-53, uma bola é lançada verticalmente para cima, a partir do solo, com uma velocidade inicial $v_0 = 7{,}00$ m/s. Ao mesmo tempo um elevador de serviço começa a subir, a partir do solo, com uma velocidade constante $v_c = 3{,}00$ m/s. Qual é a altura máxima atingida pela bola (a) em relação ao solo e (b) em relação ao piso do elevador? Qual é a taxa de variação da velocidade da bola (c) em relação ao solo e (d) em relação ao piso do elevador?

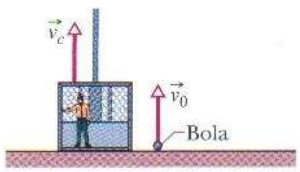


FIG. 4-53 Problema 87.

**88** Na Fig. 4-54$a$, um trenó se move no sentido negativo do eixo $x$ com uma velocidade escalar constante $v_t$, enquanto uma bola de gelo é atirada do trenó com uma velocidade $\vec{v}_0 = v_{0x}\hat{\text{i}} + v_{0y}\hat{\text{j}}$ em relação ao trenó. Quando a bola chega ao solo, seu deslocamento horizontal $\Delta x_{bs}$ em relação ao solo (da posição inicial à posição final) é medido. A Fig. 4-54$b$ mostra a variação de $\Delta x_{bs}$ com $v_t$. Suponha que a bola chega ao solo na altura aproximada em que foi lançada. Quais são os valores (a) de $v_{0x}$ e (b) de $v_{0y}$? O deslocamento da bola em relação ao trenó, $\Delta x_{bt}$, também pode ser medido. Suponha que a velocidade do trenó não muda depois que a bola é atirada. Quanto é $\Delta x_{bt}$ para $v_t$ igual a (c) 5,0 m/s e (d) 15 m/s?

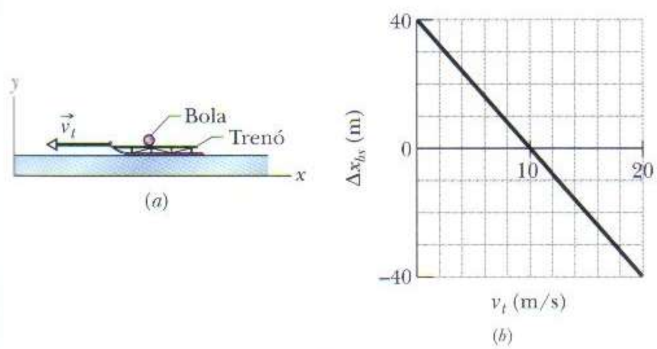


FIG. 4-54 Problema 88.

**89** Uma mulher que é capaz de remar um barco a 6,4 km/h em águas paradas se prepara para atravessar um rio longo e retilíneo com 6,4 km de largura e uma correnteza de 3,2 km/h. Tome $\hat{\text{i}}$ perpendicular ao rio e $\hat{\text{j}}$ apontando rio abaixo. Se a mulher pretende remar até um ponto na outra margem diametralmente oposto ao ponto de partida, (a) para que ângulo em relação a $\hat{\text{i}}$ deve apontar o barco e (b) quanto tempo leva para fazer a travessia? (c) Quanto tempo gastaria se, em vez disso, remasse 3,2 km *rio abaixo* e depois voltasse ao ponto de partida? (d) Quanto tempo gastaria se remasse 3,2 km *rio acima* e depois voltasse ao ponto de partida? (e) Para que ângulo deveria direcionar o barco para atravessar o rio no menor tempo possível? (f) Qual seria esse tempo?

**90** Na Fig. 4-55, uma estação de radar detecta um avião que se aproxima, vindo do leste. Quando é observado pela primeira vez o avião está a uma distância $d_1 = 360$ m da estação e $\theta_1 = 40°$ acima do horizonte. O avião é rastreado durante uma variação angular $\Delta\theta = 123°$ no plano vertical leste-oeste; sua distância no final dessa variação é $d_2 = 790$ m. Determine (a) o módulo e (b) a orientação do deslocamento do avião durante este período.

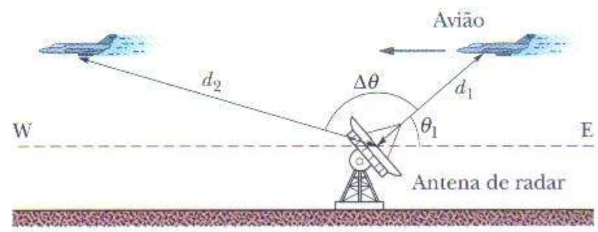


FIG. 4-55 Problema 90.

**91** Um rifle é apontado horizontalmente para um alvo a 30 m de distância. A bala atinge o alvo 1,9 cm abaixo do ponto para onde o rifle foi apontado. Determine (a) o tempo de percurso da bala e (b) a velocidade escalar da bala ao sair do rifle.

**92** Um trem francês de alta velocidade, conhecido como TGV (Train à Grande Vitesse), viaja a uma velocidade média de 216 km/h. (a) Se o trem faz uma curva a essa velocidade e o módulo da aceleração sentida pelos passageiros pode ser no máximo de $0{,}050g$, qual é o menor raio de curvatura dos trilhos que pode ser tolerado? (b) Com que velocidade o trem deve fazer uma curva com 1,00 km de raio para que a aceleração esteja no limite permitido?

**93** Um campo magnético pode forçar uma partícula a descrever uma trajetória circular. Suponha que um elétron que está descrevendo uma circunferência sofra uma aceleração radial de módulo $3{,}0 \times 10^{14}$ m/s² sob o efeito de um certo campo magnético. (a) Qual é o módulo da velocidade do elétron se o raio da trajetória circular é de 15 cm? (b) Qual é o período do movimento?

**94** O vetor posição de um próton é inicialmente $\vec{r} = 5{,}0\hat{\text{i}} - 6{,}0\hat{\text{j}} + 2{,}0\hat{\text{k}}$ e depois se torna $\vec{r} = -2{,}0\hat{\text{i}} + 6{,}0\hat{\text{j}} + 2{,}0\hat{\text{k}}$, com todos os valores em metros. (a) Qual é o vetor deslocamento do próton? (b) Esse vetor é paralelo a que plano?

**95** Uma partícula $P$ se move com velocidade escalar constante sobre uma circunferência de raio $r = 3{,}00$ m (Fig. 4-56) e completa uma revolução a cada 20,0 s. A partícula passa pelo ponto $O$ no instante $t = 0$. Expresse os vetores a seguir na notação módulo-ângulo (ângulo em relação ao sentido positivo de $x$). Determine o vetor posição da partícula, em relação a $O$, nos instantes (a) $t = 5{,}00$ s, (b) $t = 7{,}50$ s e (c) $t = 10{,}0$ s. (d) Determine o deslocamento da partícula no intervalo de 5,00 s entre o fim do quinto segundo e o fim do décimo segundo. Para esse mesmo intervalo, determine (e) a velocidade média e a velocidade (f) no início e (g) no fim do intervalo. Em seguida, determine a aceleração (h) no início e (i) no fim do intervalo.

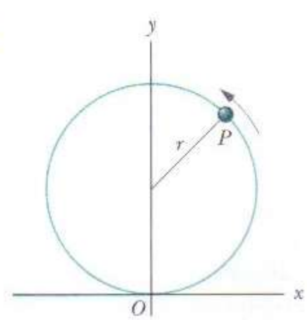


FIG. 4-56 Problema 95.

**96** Um trenó a vela se move na superfície de um lago congelado com uma aceleração constante produzida pelo vento. Em um certo instante a velocidade do trenó é $6{,}30\hat{i} - 8{,}42\hat{j}$. Três segundos depois, devido a uma mudança do vento, o trenó se encontra momentaneamente em repouso. Qual é a aceleração média do trenó nesse intervalo de 3 s?

**97** Em 3,50 h um balão se desloca 21,5 km para o norte, 9,70 km para leste e 2,88 km para cima em relação ao ponto de lançamento. Determine (a) o módulo da velocidade média do balão e (b) o ângulo que a velocidade média faz com a horizontal.

**98** Uma bola é lançada horizontalmente de uma altura de 20 m e chega ao solo com uma velocidade três vezes maior que a inicial. Determine a velocidade inicial.

**99** Um projétil é lançado com uma velocidade inicial de 30 m/s e um ângulo de 60° acima da horizontal. Determine (a) o módulo e (b) o ângulo da velocidade 2,0 s após o lançamento. (c) O ângulo do item (b) é acima ou abaixo da horizontal? Determine (d) o módulo e (e) o ângulo da velocidade 5,0 s após o lançamento. (f) O ângulo do item (e) é acima ou abaixo da horizontal?

**100** Um aeroporto dispõe de uma esteira rolante para ajudar os passageiros a atravessar um longo corredor. Lauro não usa a esteira rolante e leva 150 s para atravessar o corredor. Cora, que fica parada na esteira rolante, cobre a mesma distância em 70 s. Marta prefere andar na esteira rolante. Quanto tempo leva Marta para atravessar o corredor? Suponha que Lauro e Marta caminhem com a mesma velocidade.

**101** Um jogador de futebol americano chuta uma bola de tal forma que ela passa 4,5 s no ar e chega ao solo a 46 m do ponto de onde foi lançada. Se a bola deixa o pé do jogador 150 cm acima do solo, qual deve ser (a) o módulo e (b) o ângulo (em relação à horizontal) da velocidade inicial da bola?

**102** No voleibol feminino o alto da rede está 2,24 m acima do piso e a quadra mede 9,0 m por 9,0 m de cada lado da rede. Ao dar um saque viagem, uma jogadora bate na bola quando ela está 3,0 m acima do piso e a uma distância horizontal de 8,0 m da rede. Se a velocidade inicial da bola é horizontal, determine (a) a menor velocidade escalar que a bola deve ter para ultrapassar a rede e (b) a máxima velocidade que ela pode ter para atingir o piso dentro dos limites da quadra do outro lado da rede.

**103** A Fig. 4-57 mostra a trajetória retilínea de uma partícula em um sistema de coordenadas $xy$ quando a partícula é acelerada a partir do repouso em um intervalo de tempo $\Delta t_1$. A aceleração é constante. As coordenadas do ponto $A$ são (4,00 m, 6,00 m) e as do ponto $B$ são (12,0 m, 18,0 m). (a) Qual é a razão $a_y/a_x$ entre as componentes da aceleração? (b) Quais são as coordenadas da partícula se o movimento continua durante outro intervalo igual a $\Delta t_1$?

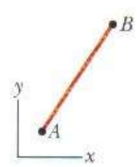


**FIG. 4-57** Problema 103.

**104** Um astronauta é posto em rotação em uma centrífuga horizontal com um raio de 5,0 m. (a) Qual é a velocidade escalar do astronauta se a aceleração centrípeta tem um módulo de $7{,}0g$? (b) Quantas revoluções por minuto são necessárias para produzir essa aceleração? (c) Qual é o período do movimento?

**105** (a) Qual é o módulo da aceleração centrípeta de um objeto no equador da Terra devido à rotação da Terra? (b) Qual deveria ser o período de rotação da Terra para que um objeto no equador tivesse uma aceleração centrípeta com um módulo de 9,8 m/s²?

**106** Uma pessoa sobe uma escada rolante enguiçada, de 15 m de comprimento, em 90 s. Ficando parada na mesma escada rolante, depois de consertada, a pessoa sobe em 60 s. Quanto tempo a pessoa leva se subir a escada e ela estiver em movimento? A resposta depende do comprimento da escada?

**107** Uma bola de beisebol é golpeada junto ao chão. A bola atinge a altura máxima 3,0 s após ter sido golpeada. Em seguida, 2,5 s após ter atingido a altura máxima, a bola passa rente a um alambrado que está a 97,5 m do ponto onde foi golpeada. Suponha que o solo é plano. (a) Qual é a altura máxima atingida pela bola? (b) Qual é a altura do alambrado? (c) A que distância do alambrado a bola atinge o chão?

**108** O alcance de um projétil depende não só de $v_0$ e $\theta_0$, mas também do valor $g$ da aceleração em queda livre, que varia de lugar para lugar. Em 1936 Jesse Owens estabeleceu o recorde mundial de salto em distância de 8,09 m nos Jogos Olímpicos de Berlim, onde $g = 9{,}8128$ m/s². Supondo os mesmos valores de $v_0$ e $\theta_0$, que distância o atleta teria pulado em 1956, nos Jogos Olímpicos de Melbourne, onde $g = 9{,}7999$ m/s²?

**109** Durante as erupções vulcânicas, grandes pedaços de pedra podem ser lançados para fora do vulcão; esses projéteis são conhecidos como *bombas vulcânicas*. A Fig. 4-58 mostra uma seção transversal do monte Fuji, no Japão. (a) Com que velocidade inicial uma bomba teria que ser lançada, com um ângulo $\theta_0 = 35°$ em relação à horizontal, a partir da cratera $A$, para cair no ponto $B$, a uma distância vertical $h = 3{,}30$ km e a uma distância horizontal $d = 9{,}40$ km? Ignore o efeito do ar sobre o movimento da bomba. (b) Qual seria o tempo de percurso? (c) O efeito do ar aumentaria ou diminuiria a resposta do item (a)?

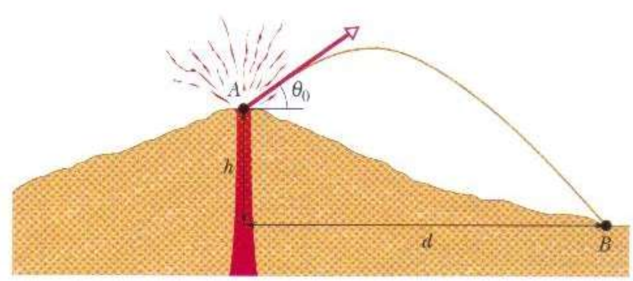


**FIG. 4-58** Problema 109.

**110** Vôos longos em latitudes médias no hemisfério norte encontram a chamada corrente de jato, um fluxo de ar para leste que pode afetar a velocidade do avião em relação à superfície da Terra. Se um piloto mantém uma certa velocidade em relação ao ar (a chamada *velocidade do ar*), a velocidade em relação ao solo é maior quando o vôo é na direção da corrente de jato e menor quando o vôo é na direção oposta. Suponha que um vôo de ida e volta esteja previsto entre duas cidades separadas por 4000 km, com o vôo de ida no sentido da corrente de jato e o vôo de volta no sentido oposto. O computador da empresa aérea recomenda uma velocidade do ar de 1000 km/h, para a qual a diferença entre as durações dos vôos de ida e de volta é de 70,0 min. Qual é a velocidade da corrente de jato que o computador usou nos cálculos?

**111** Uma partícula parte da origem no instante $t = 0$ com uma velocidade de $8{,}0\hat{j}$ m/s e se move no plano $xy$ com uma aceleração constante igual a $(4{,}0\hat{i} + 2{,}0\hat{j})$ m/s². Quando a coordenada $x$ da partícula é 29 m, quais são (a) a coordenada $y$ e (b) a velocidade escalar?

**112** Um velocista correndo em uma pista circular possui uma velocidade escalar constante de 9,2 m/s e uma aceleração centrípeta de módulo 3,8 m/s$^2$. Quais são (a) o raio da pista e (b) o período do movimento circular?

**113** Um elétron com uma velocidade horizontal inicial de módulo $1,00 \times 10^9$ cm/s penetra na região entre duas placas de metal horizontais eletricamente carregadas. Nessa região o elétron percorre uma distância horizontal de 2,00 cm e sofre uma aceleração constante para baixo de módulo $1,00 \times 10^{17}$ cm/s$^2$ devido às placas carregadas. Determine (a) o tempo que o elétron leva para percorrer os 2,00 cm; (b) a distância vertical que o elétron percorre durante esse tempo; os módulos da componente (c) horizontal e (d) vertical da velocidade quando o elétron sai da região entre as placas.

**114** Um elevador sem teto está subindo com uma velocidade constante de 10 m/s. Um menino que está no elevador arremessa uma bola para cima, na vertical, de uma altura 2,0 m acima do piso do elevador, no instante em que o piso do elevador se encontra 28 m acima do solo. A velocidade inicial da bola em relação ao elevador é de 20 m/s. (a) Qual é a altura máxima acima do solo atingida pela bola? (b) Quanto tempo a bola leva para cair de volta no piso do elevador?

**115** Suponha que uma sonda espacial seja capaz de suportar uma aceleração de no máximo $20g$. (a) Qual é o menor raio de curvatura que a nave pode suportar quando está se movendo a um décimo da velocidade da luz? (b) Quanto tempo a sonda levaria para completar uma curva de 90° nessas condições?

**116** Com que velocidade inicial o jogador de basquetebol da Fig. 4-59 deve arremessar a bola, com um ângulo $\theta_0 = 55°$ acima da horizontal, para converter o lance livre? As distâncias horizontais são $d_1 = 1,0$ ft e $d_2 = 14$ ft e as alturas são $h_1 = 7,0$ ft e $h_2 = 10$ ft.

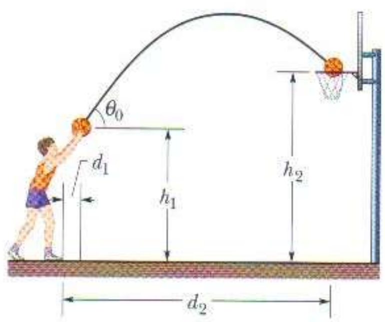


FIG. 4-59 Problema 116.

**117** Um vagão de madeira está se movendo em uma linha férrea retilínea com velocidade $v_1$. Um franco-atirador dispara uma bala (com velocidade inicial $v_2$) contra o vagão, usando um rifle de alta potência. A bala atravessa as duas paredes laterais, e os furos de entrada e saída ficam à mesma distância das extremidades do vagão. De que direção, em relação à linha férrea, a bala foi disparada? Suponha que a bala não foi desviada ao penetrar no vagão, mas a velocidade diminuiu de 20%. Suponha ainda que $v_1 = 85$ km/h e $v_2 = 650$ m/s. (Por que não é preciso conhecer a largura do vagão?)

**118** Você pretende atirar uma bola com uma velocidade escalar de 12,0 m/s em um alvo que está a uma altura $h = 5,00$ m acima do nível do qual você vai lançar a bola (Fig. 4-60). Você quer que a velocidade da bola seja horizontal no instante em que ela atinge o alvo. (a) Com que ângulo $\theta$ acima da horizontal você deve atirar a bola? (b) Qual é a distância horizontal do ponto de lançamento até o alvo? (c) Qual é a velocidade escalar da bola no momento em que atinge o alvo?

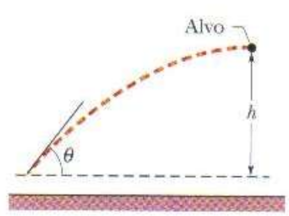


FIG. 4-60 Problema 118.

**119** A Fig. 4-61 mostra a trajetória seguida por um bêbado em um terreno plano, de um ponto inicial $i$ até um ponto final $f$. Os ângulos são $\theta_1 = 30,0°$, $\theta_2 = 50,0°$ e $\theta_3 = 80,0°$; as distâncias são $d_1 = 5,00$ m, $d_2 = 8,00$ m e $d_3 = 12,0$ m. Quais são (a) o módulo e (b) o ângulo do deslocamento do bêbado de $i$ até $f$?

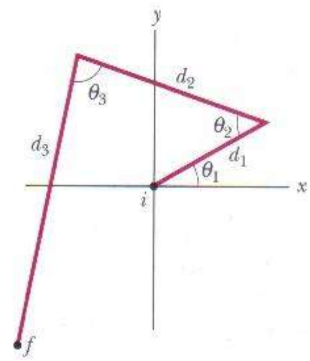


FIG. 4-61 Problema 119.

**120** Um projétil é disparado com uma velocidade inicial $v_0 = 30,0$ m/s, a partir do solo, com o objetivo de atingir um alvo que está no solo a uma distância $R = 20,0$ m, como mostra a Fig. 4-62. Quais são (a) o menor e (b) o maior ângulo de lançamento que permitem que o projétil atinja o alvo?

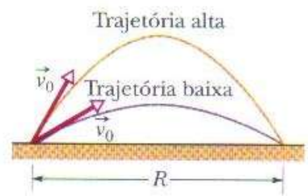


FIG. 4-62 Problema 120.

**121** O oásis $A$ está 90 km a oeste do oásis $B$. Um camelo parte de $A$ e leva 50 h para caminhar 75 km 37° ao norte do leste. Em seguida, leva 35 h para caminhar 65 km para o sul e descansa por 5,0 h. Quais são (a) o módulo e (b) o sentido do deslocamento do camelo em relação a $A$ até o ponto em que ele pára para descansar? Do instante em que o camelo parte do ponto $A$ até o final do período de descanso, quais são (c) o módulo e (d) o sentido da velocidade média do camelo e (e) sua velocidade escalar média? A última vez que o camelo bebeu água foi em $A$; ele deve estar em $B$ não mais do que 120 h após a partida para beber água novamente. Para que chegue a $B$ no último momento, quais devem ser (f) o módulo e (g) o sentido da velocidade média após o período de descanso?

**122** *Uma surpresa gráfica.* No instante $t = 0$, um burrito é lançado a partir de um terreno plano, com uma velocidade inicial de 16,0 m/s e um ângulo de lançamento $\theta_0$. Imagine um vetor posição $\vec{r}$ que ligue o ponto de lançamento ao burrito durante toda a trajetória. Plote o módulo $r$ do vetor posição em função do tempo para (a) $\theta_0 = 40,0°$ e (b) $\theta_0 = 80,0°$. Para $\theta_0 = 40,0°$, (c) em que instante $r$ atinge o valor máximo, (d) qual é esse valor e a que distância (e) horizontal e (f) vertical está o burrito em relação ao ponto de lançamento? Para $\theta_0 = 80,0°$, (g) em que instante $r$ atinge o valor máximo, (h) qual é esse valor e a que distância (i) horizontal e (j) vertical está o burrito em relação ao ponto de lançamento?

**123** No Exemplo 4-7$b$ uma bala é disparada por um canhão situado ao nível do mar com um ângulo de 45° com a horizontal e atinge uma distância de 686 m. Qual seria o aumento da distância atingida pela bala se o canhão estivesse a uma altura de 30 m?

**124** (a) Se um elétron é lançado horizontalmente com uma velocidade de $3,0 \times 10^6$ m/s, qual a distância vertical percorrida pelo elétron ao percorrer uma distância horizontal de 1,0 m? (b) A distância calculada no item (a) aumenta, diminui ou permanece a mesma quando a velocidade inicial aumenta?

**125** O módulo da velocidade de um projétil quando atinge a altura máxima é de 10 m/s. (a) Qual é o módulo da velocidade do projétil 1,0 s antes de atingir a altura máxima? (b) Qual é o módulo da velocidade do projétil 1,0 s depois de atingir a altura máxima? Se tomamos $x = 0$ e $y = 0$ como o ponto de altura máxima e consideramos como sentido positivo do eixo $x$ o sentido da velocidade do projétil nesse ponto, quais são (c) a coordenada

$x$ e (d) a coordenada $y$ do projétil 1,0 s antes de atingir a altura máxima e (e) a coordenada $x$ e (f) a coordenada $y$ do projétil 1,0 s depois de atingir a altura máxima?

**126** Um coelho assustado, que está se movendo a 6,0 m/s na direção leste, penetra em uma grande área plana de gelo com atrito desprezível. Enquanto o coelho desliza no gelo a força do vento faz com que ele adquira uma aceleração constante de 1,4 m/s$^2$ na direção norte. Escolha um sistema de coordenadas com a origem na posição inicial do coelho sobre o gelo e o sentido positivo do eixo $x$ apontando para leste. Em termos dos vetores unitários, quais são (a) a velocidade e (b) a posição do coelho após ter deslizado por 3,0 s?

**127** O piloto de um avião voa para leste em relação ao solo enquanto um vento sopra a 20 km/h na direção sul. Se a velocidade do avião na ausência de vento é 70 km/h, qual é a velocidade do avião em relação ao solo?

**128** O lançador em uma partida de softball arremessa a bola de um ponto situado 3,0 pés acima do solo. Um gráfico estroboscópico da posição da bola é mostrado na Fig. 4-63, onde as leituras estão separadas por 0,25 s e a bola foi lançada em $t = 0$. (a) Qual é o módulo da velocidade inicial da bola? (b) Qual é o módulo da velocidade da bola no instante que atinge a altura máxima em relação ao solo? (c) Qual é essa altura máxima?

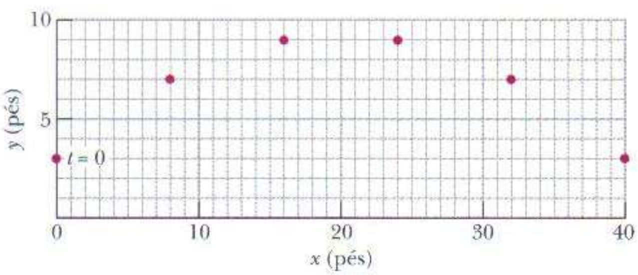


**FIG. 4-63** Problema 128.

**129** A polícia do estado americano de New Hampshire usa aviões para verificar se o limite de velocidade está sendo respeitado nas rodovias. Suponha que um dos aviões possui uma velocidade de cruzeiro de 135 mi/h no ar em repouso. Ele está voando para o norte, mantendo-se diretamente acima de uma rodovia norte-sul. Pelo rádio, um observador no solo informa ao piloto que está soprando um vento de 70,0 mi/h, mas se esquece de informar a direção e o sentido do vento. O piloto observa que, apesar do vento, o avião consegue voar 135 mi ao longo da rodovia em 1,00 h. Em outras palavras, a velocidade em relação ao solo é a mesma se não houvesse vento. (a) Qual é a direção do vento? (b) Qual é o curso do avião, ou seja, para que direção seu nariz está apontado?

**130** A posição $\vec{r}$ de uma partícula que se move no plano $xy$ é dada por $\vec{r} = 2t\hat{i} + 2\,\text{sen}[(\pi/4 \text{ rad/s})t]\hat{j}$, onde $\vec{r}$ está em metros e $t$ em segundos. (a) Calcule os valores das componentes $x$ e $y$ da posição da partícula para $t$ = 0; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 s e plote a trajetória da partícula no plano $xy$ para o intervalo $0 \le t \le 4{,}0$ s. (b) Calcule os valores das componentes da velocidade da partícula para $t$ = 1,0; 2,0 e 3,0 s. Mostre que a velocidade é tangente à trajetória da partícula e tem o mesmo sentido que o movimento da partícula em todos esses instantes traçando os vetores velocidade no gráfico da trajetória da partícula, plotado no item (a). (c) Calcule as componentes da aceleração da partícula nos instantes $t$ = 1,0; 2,0 e 3,0 s.

**131** Um golfista arremessa uma bola a partir de uma elevação, imprimindo à bola uma velocidade inicial de 43 m/s e um ângulo de 30° acima da horizontal. A bola atinge o campo a uma distância horizontal de 180 m do local do lançamento. Suponha que o campo seja plano. (a) Qual era a altura da elevação de onde foi arremessada a bola? (b) Qual era a velocidade da bola ao chegar ao campo?

**132** Uma competição de atletismo é realizada em um planeta de um sistema solar distante. Um arremessador de peso lança o peso de um ponto 2,0 m acima do nível do solo. Um gráfico estroboscópico da posição do peso aparece na Fig. 4-64, onde as leituras foram tomadas a cada 0,50 s e o peso foi arremessado no instante $t = 0$. (a) Qual é a velocidade inicial do peso, em termos dos vetores unitários? (b) Qual é o módulo da aceleração em queda livre no planeta? (c) Quanto tempo após ter sido arremessado o peso toca o solo? (d) Se um arremesso de peso for feito na Terra nas mesmas condições, quanto tempo após o lançamento o peso tocará o solo?

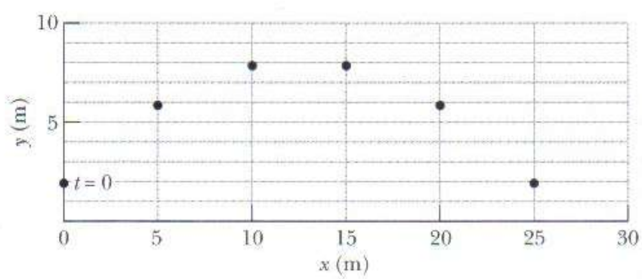


**FIG. 4-64** Problema 132.

# Respostas

## dos Testes e das Perguntas e Problemas Ímpares

### Capítulo 1

**PR** **1.** (a) $10^9$ $\mu$m; (b) $10^{-4}$; (c) $9{,}1 \times 10^5$ $\mu$m **3.** (a) 160 varas; (b) 40 cadeias **5.** (a) $4{,}00 \times 10^4$ km; (b) $5{,}10 \times 10^8$ km$^2$; (c) $1{,}08 \times 10^{12}$ km$^3$ **7.** $1{,}9 \times 10^{22}$ cm$^3$ **9.** $1{,}1 \times 10^3$ acres-pés **11.** $1{,}21 \times 10^{12}$ $\mu$s **13.** (a) 1,43; (b) 0,864 **15.** (a) 495 s; (b) 141 s; (c) 198 s; (d) $-245$ s **17.** C, D, A, B, E; o critério importante é a constância dos resultados, e não o seu valor **19.** $5{,}2 \times 10^6$ m **21.** (a) $1 \times 10^3$ kg; (b) 158 kg/s **23.** $9{,}0 \times 10^{49}$ átomos **25.** (a) $1{,}18 \times 10^{-29}$ m$^3$; (b) 0,282 nm **27.** 1750 kg **29.** $1{,}9 \times 10^5$ kg **31.** 1,43 kg/min **33.** (a) 22 *pecks*; (b) 5,5 *Imperial bushels*; (c) 200 L **35.** (a) 18,8 galões; (b) 22,5 galões **37.** (a) 11,3 m$^2$/L; (b) $1{,}13 \times 10^4$ m$^{-1}$; (c) $2{,}17 \times 10^{-3}$ pés$^2$/galão; (d) número de galões para pintar um pé quadrado **39.** 0,3 cord **41.** (a) 293 alqueires americanos; (b) $3{,}81 \times 10^3$ alqueires americanos **43.** $8 \times 10^2$ km **45.** 0,12 UA/min **47.** 3,8 mg/s **49.** 10,7 pimentas *habanero* **51.** (a) sim; (b) 8,6 segundos do universo **53.** (a) 3,88; (b) 7,65; (c) 156 ken$^3$; (d) $1{,}19 \times 10^3$ m$^3$ **55.** 1,2 m **57.** (a) $4{,}9 \times 10^{-6}$ parsecs; (b) $1{,}6 \times 10^{-5}$ anos-luz **59.** (a) 3,9 m, 4,8 m; (b) $3{,}9 \times 10^3$ mm, $4{,}8 \times 10^3$ mm; (c) 2,2 m$^3$, 4,2 m$^3$

### Capítulo 2

**T** **1.** b e c **2.** (verifique a derivada $dx/dt$) (a) 1 e 4; (b) 2 e 3 **3.** (a) positivo; (b) negativo; (c) negativo; (d) positivo **4.** 1 e 4 ($a = d^2x/dt^2$ deve ser constante) **5.** (a) positivo (deslocamento para cima ao longo do eixo $y$); (b) negativo (deslocamento para baixo ao longo do eixo $y$); (c) $a = -g = -9{,}8$ m/s$^2$
**P** **1.** (a) todas iguais; (b) 4, 1 e 2, 3 **3.** (a) negativo; (b) positivo; (c) sim; (d) positiva; (e) constante **5.** (a) positivo; (b) negativo; (c) 3 e 5; (d) 2 e 6, 3 e 5, 1 e 4 **7.** (a) 3, 2, 1; (b) 1, 2, 3; (c) todas iguais; (d) 1, 2, 3 **9.** (a) $D$; (b) $E$ **PR** **1.** (a) $+40$ km/h; (b) 40 km/h **3.** 13 m **5.** (a) 0; (b) $-2$ m; (c) 0; (d) 12 m; (e) $+12$ m; (f) $+7$ m/s **7.** 1,4 m **9.** 128 km/h **11.** 60 km **13.** (a) 73 km/h; (b) 68 km/h; (c) 70 km/h; (d) 0 **15.** (a) $-6$ m/s; (b) no sentido negativo; (c) 6 m/s; (d) diminuindo; (e) 2 s; (f) não **17.** (a) 28,5 cm/s; (b) 18,0 cm/s; (c) 40,5 cm/s; (d) 28,1 cm/s; (e) 30,3 cm/s **19.** $-20$ m/s$^2$ **21.** (a) m/s$^2$; (b) m/s$^3$; (c) 1,0 s; (d) 82 m; (e) $-80$ m; (f) 0; (g) $-12$ m/s; (h) $-36$ m/s; (i) $-72$ m/s; (j) $-6$ m/s$^2$; (k) $-18$ m/s$^2$; (l) $-30$ m/s$^2$; (m) $-42$ m/s$^2$ **23.** (a) $+1{,}6$ m/s; (b) $+18$ m/s **25.** (a) $3{,}1 \times 10^6$ s; (b) $4{,}6 \times 10^{13}$ m **27.** $1{,}62 \times 10^{15}$ m/s$^2$ **29.** (a) 30 s; (b) 300 m **31.** (a) 10,6 m; (b) 41,5 s **33.** (a) 3,56 m/s$^2$; (b) 8,43 m/s **35.** (a) 4,0 m/s$^2$; (b) positivo **37.** (a) $-2{,}5$m/s$^2$; (b) l; (d) 0; (e) 2 **39.** 40 m **41.** 0,90 m/s$^2$ **43.** (a) 15,0 m; (b) 94 km/h **45.** (a) 29,4 m; (b) 2,45 s **47.** (a) 31 m/s; (b) 6,4 s **49.** (a) 5,4 s; (b) 41 m/s **51.** 4,0 m/s **53.** (a) 20 m; (b) 59 m **55.** (a) 857 m/s$^2$; (b) para cima **57.** (a) $1{,}26 \times 10^3$ m/s$^2$; (b) para cima **59.** (a) 89 cm; (b) 22 cm **61.** 2,34 m **63.** 20,4 m **65.** (a) 2,25 m/s; (b) 3,90 m/s **67.** 100 m **69.** 0,56 m/s **71.** (a) 82 m; (b) 19 m/s **73.** (a) 2,00 s; (b) 12 cm; (c) $-9{,}00$ cm/s$^2$; (d) para a direita; (e) para a esquerda; (f) 3,46 s **75.** (a) 48,5 m/s; (b) 4,95 s; (c) 34,3 m/s; (d) 3,50 s **77.** 414 ms **79.** 90 m **81.** (a) 3,0 s; (b) 9,0 m **83.** 2,78 m/s$^2$ **85.** (a) 0,74 s; (b) 6,2 m/s$^2$ **87.** 17 m/s **89.** $+47$ m/s **91.** (a) 3,1 m/s$^2$; (b) 45 m; (c) 13 s **93.** (a) 1,23 cm; (b) por 4; (c) por 9; (d) por 16; (e) por 25 **95.** 25 km/h **97.** 1,2 h **99.** $4H$ **101.** (a) 3,2 s; (b) 1,3 s **103.** (a) 10,2 s; (b) 10,0 m **105.** (a) 8,85 m/s; (b) 1,00 m **107.** (a) 2,0 m/s$^2$; (b) 12 m/s; (c) 45 m **109.** 3,75 ms **111.** (a) 5,44 s; (b) 53,3 m/s; (c) 5,80 m **113.** (a) 9,08 m/s$^2$; (b) 0,926$g$; (c) 6,12 s; (d) 15,3$T_r$; (e) ao processo de frenagem; (f) 5,56 m

### Capítulo 3

**T** **1.** (a) 7 m ($\vec{a}$ e $\vec{b}$ no mesmo sentido); (b) l m ($\vec{a}$ e $\vec{b}$ em sentidos opostos) **2.** $c, d, f$ (a origem da segunda componente deve coincidir com a extremidade da primeira; $\vec{a}$ deve ligar a origem da primeira componente com a extremidade da segunda) **3.** (a), +; (b) +, −; (c) +, + (o vetor deve ser traçado da origem de $\vec{d}_1$ à extremidade de $\vec{d}_2$) **4.** (a) 90°; (b) 0° (os vetores são paralelos); (c) 180° (os vetores são antiparalelos) **5.** (a) 0° ou 180°; (b) 90° **P** **1.** A seqüência $\vec{d}_2$, $\vec{d}_1$ ou a seqüência $\vec{d}_2$, $\vec{d}_2$, $\vec{d}_3$. **3.** sim, se os vetores forem paralelos **5.** (a) sim; (b) sim; (c) não **7.** todos, menos ($e$) **9.** (a) $+x$ para (1), $+z$ para (2), $+z$ para (3); (b) $-x$ para (1), $-z$ para (2), $-z$ para (3)
**PR** **1.** (a) 47,2 m; (b) 122° **3.** (a) $-2{,}5$ m; (b) $-6{,}9$ m **5.** (a) 156 km; (b) 39,8° a oeste do norte **7.** (a) 6,42 m; (b) não; (c) sim; (d) sim; (e) uma possível resposta: $(4{,}30\text{ m})\hat{i} + (3{,}70\text{ m})\hat{j} + (3{,}00\text{ m})\hat{k}$; (f) 7,96 m **9.** (a) $(-9{,}0\text{ m})\hat{i} + (10\text{ m})\hat{j}$; (b) 13 m; (c) 132° **11.** 4,74 km **13.** (a) $(3{,}0\text{ m})\hat{i} - (2{,}0\text{ m})\hat{j} + (5{,}0\text{ m})\hat{k}$; (b) $(5{,}0\text{ m})\hat{i} - (4{,}0\text{ m})\hat{j} - (3{,}0\text{ m})\hat{k}$; (c) $(-5{,}0\text{ m})\hat{i} + (4{,}0\text{ m})\hat{j} + (3{,}0\text{ m})\hat{k}$ **15.** (a) $-70{,}0$ cm; (b) 80,0 cm; (c) 141 cm; (d) $-172°$ **17.** (a) 1,59 m; (b) 12,1 m; (c) 12,2 m; (d) 82,5° **19.** (a) 38 m; (b) $-37{,}5°$; (c) 130 m; (d) 1,2°; (e) 62 m; (f) 130° **21.** 5,39 m e 21,8° à esquerda ou para a frente **23.** 2,6 km **25.** 3,2 **27.** (a) 7,5 cm; (b) 90°; (c) 8,6 cm; (d) 48° **29.** (a) $8\hat{i} + 16\hat{j}$; (b) $2\hat{i} + 4\hat{j}$ **31.** (a) $a\hat{i} + a\hat{j} + a\hat{k}$; (b) $-a\hat{i} + a\hat{j} + a\hat{k}$; (c) $a\hat{i} - a\hat{j} + a\hat{k}$; (d) $-a\hat{i} - a\hat{j} + a\hat{k}$; (e) 54,7°; (f) $3^{0,5}a$ **33.** (a) $-18{,}8$ unidades; (b) 26,9 unidades, na direção $+z$ **35.** (a) $-21$; (b) $-9$; (c) $5\hat{i} - 11\hat{j} - 9\hat{k}$ **37.** (a) 12; (b) $+z$; (c) 12; (d) $-z$; (e) 12; (f) $+z$ **39.** 22° **41.** 70,5° **43.** (a) 3,00 m; (b) 0; (c) 3,46 m; (d) 2,00 m; (e) $-5{,}00$ m; (f) 8,66 m; (g) $-6{,}67$; (h) 4,33 **45.** (a) 27,8 m; (b) 13,4 m **47.** (a) 30; (b) 52 **49.** (a) $-2{,}83$ m; (b) $-2{,}83$ m; (c) 5,00 m; (d) 0; (e) 3,00 m; (f) 5,20 m; (g) 5,17 m; (h) 2,37 m; (i) 5,69 m; (j) 25° ao norte do leste; (k) 5,69 m; (l) 25° ao sul do oeste **51.** (a) 103 km; (b) 60,9° ao norte do oeste **53.** (a) 140°; (b) 90,0°; (c) 99,1° **55.** (a) $-83{,}4$; (b) $(1{,}14 \times 10^3)\hat{k}$; (c) $1{,}14 \times 10^3$, $\theta$ não é definido, $\phi = 0°$; (d) 90,0°; (e) $-5{,}14\hat{i} + 6{,}13\hat{j} + 3{,}00\hat{k}$; (f) 8,54, $\theta = 130°$, $\phi = 69{,}4°$ **57.** (a) 3,0 m$^2$; (b) 52 m$^3$; (c) $(11\text{ m}^2)\hat{i} + (9{,}0\text{ m}^2)\hat{j} + (3{,}0\text{ m}^2)\hat{k}$ **59.** (a) $+y$; (b) $-y$; (c) 0; (d) 0; (e) $+z$; (f) $-z$; (g) $ab$; (h) $ab$; (i) $ab/d$; (j) $+z$ **61.** (a) 0; (b) 0; (c) $-1$; (d) para oeste; (e) para cima; (f) para oeste **63.** Walpole (onde fica a penitenciária estadual) **65.** (a) $(9{,}19\text{ m})\hat{i}' + (7{,}71\text{ m})\hat{j}'$; (b) $(14{,}0\text{ m})\hat{i}' + (3{,}41\text{ m})\hat{j}'$ **67.** (a) $11\hat{i} + 5{,}0\hat{j} - 7{,}0\hat{k}$; (b) 120°; (c) $-4{,}9$; (d) 7,3 **69.** (a) $(-40\hat{i} - 20\hat{j} + 25\hat{k})$ m; (b) 45 m **71.** 4,1

### Capítulo 4

**T** **1.** (trace $\vec{v}$ tangente à trajetória, com a origem na trajetória) (a) primeiro; (b) terceiro **2.** (calcule a derivada segunda em relação ao tempo) (1) e (3) $a_x$ e $a_y$ são constantes e, portanto, $\vec{a}$ é constante; (2) e (4) $a_y$ é constante mas $a_x$ não é constante e, portanto, $\vec{a}$ não é constante **3.** não **4.** (a) $v_x$ é constante; (b) $v_y$ é inicialmente positiva, diminui até zero e depois se torna cada vez mais negativa; (c) $a_x = 0$ sempre; (d) $a_y = -g$ sempre **5.** (a) $-(4\text{ m/s})\hat{i}$; (b) $-(8\text{ m/s}^2)\hat{j}$ **P** **1.** (a) $(7\text{ m})\hat{i} + (1\text{ m})\hat{j} + (-2\text{ m})\hat{k}$; (b) $(5\text{ m})\hat{i} + (-3\text{ m})\hat{j} + (1\text{ m})\hat{k}$; (c) $(-2\text{ m})\hat{i}$

**3.** (a) todos iguais; (b) 1 e 2 (o foguete é disparado para cima), 3 e 4 (o foguete é disparado para baixo!) **5.** diminui **7.** (a) todas iguais; (b) todas iguais; (c) 3, 2, 1; (d) 3, 2 ,1 **9.** (a) 0; (b) 350 km/h; (c) 350 km/h; (d) igual (a componente vertical do movimento seria a mesma) **11.** (a) 90° e 270°; (b)0° e 180°; (c) 90° e 270° **13.** 2, 1 e 4, 3 **PR** **1.** $(-2{,}0\text{ m})\hat{i} + (6{,}0\text{ m})\hat{j} - (10\text{ m})\hat{k}$ **3.** (a) 6,2 m **5.** $(-0{,}70\text{ m/s})\hat{i} + (1{,}4\text{ m/s})\hat{j} - (0{,}40\text{ m/s})\hat{k}$ **7.** (a) 7,59 km/h; (b) 22,5° a leste do norte **9.** (a) 0,83 cm/s; (b) 0°; (c) 0,11 m/s; (d) −63° **11.** (a) $(8\text{ m/s}^2)t\hat{j} + (1\text{ m/s})\hat{k}$; (b) $(8\text{ m/s}^2)\hat{j}$ **13.** (a) $(6{,}00\text{ m})\hat{i} - (106\text{ m})\hat{j}$; (b) $(19{,}0\text{ m/s})\hat{i} - (224\text{ m/s})\hat{j}$; (c) $(24{,}0\text{ m/s}^2)\hat{i} - (336\text{ m/s}^2)\hat{j}$; (d) −85,2° **15.** $(32\text{ m/s})\hat{i}$ **17.** (a) $(-1{,}50\text{ m/s})\hat{j}$; (b) $(4{,}50\text{ m})\hat{i} - (2{,}25\text{ m})\hat{j}$ **19.** (a) $(72{,}0\text{ m})\hat{i} + (90{,}7\text{ m})\hat{j}$; (b) 49,5° **21.** (a) 3,03 s; (b) 758 m; (c) 29,7 m/s **23.** 43,1 m/s (155 km/h) **25.** (a) 18 cm; (b) 1,9 m **27.** (a) 10,0 s; (b) 897 m **29.** (a) 1,60 m; (b) 6,86 m; (c) 2,86 m **31.** (a) 202 m/s; (b) 806 m; (c) 161 m/s; (d) −171 m/s **33.** 3,35 m **35.** 78,5° **37.** (a) 11 m; (b) 23 m; (c) 17 m/s; (d) 63° **39.** 4,84 cm **41.** (a) 32,3 m; (b) 21,9 m/s; (c) 40,4° **43.** (a) na rampa; (b) 5,82 m; (c) 31,0° **45.** 64,8° **47.** (a) sim; (b) 2,56 m **49.** (a) 2,3°; (b) 1,4 m; (c) 18° **51.** (a) 31°; (b) 63° **53.** no terceiro **55.** (a) 75,0 m; (b) 31,9 m/s; (c) 66,9°; (d) 25,5 m **57.** (a) 12 s; (b) 4,1 m/s²; (c) para baixo; (d) 4,1 m/s²; (e) para cima **59.** (a) $1{,}3 \times 10^5$ m/s; (b) $7{,}9 \times 10^5$ m/s²; (c) aumentam **61.** (a) 7,32 m; (b) para oeste; (c) para o norte **63.** $(3{,}00\text{ m/s}^2)\hat{i} + (6{,}00\text{ m/s}^2)\hat{j}$ **65.** 2,92 m **67.** 160 m/s² **69.** (a) 13 m/s²; (b) para leste; (c) 13 m/s²; (d) para leste **71.** 1,67 **73.** (a) 38 nós; (b) 1,5° a leste do norte; (c) 4,2 h; (d) 1,5° a oeste do sul **75.** 60° **77.** 32 m/s **79.** (a) $(80\text{ km/h})\hat{i} - (60\text{ km/h})\hat{j}$; (b) 0°; (c) não **81.** (a) $(-32\text{ km/h})\hat{i} - (46\text{ km/h})\hat{j}$; (b) $[(2{,}5\text{ km}) - (32\text{ km/h})t]\hat{i} + [(4{,}0\text{ km}) - (46\text{ km/h})t]\hat{j}$; (c) 0,084 h; (d) $2 \times 10^2$ m **83.** (a) 2,7 km; (b) 76° no sentido horário **85.** 2,64 m **87.** (a) 2,5 m; (b) 0,82 m; (c) 9,8 m/s²; (d) 9,8 m/s² **89.** (a) − 30°; (b) 69 min; (c) 80 min; (d) 80 min; (e) 0°; (f) 60 min **91.** (a) 62 ms; (b) $4{,}8 \times 10^2$ m/s **93.** (a) $6{,}7 \times 10^6$ m/s; (b) $1{,}4 \times 10^{-7}$ s **95.** (a) 4,2 m, 45°; (b) 5,5 m, 68°; (c) 6,0 m, 90°; (d) 4,2 m, 135°; (e) 0,85 m/s, 135°; (f) 0,94 m/s, 90°; (g) 0,94 m/s, 180°; (h) 0,30 m/s², 180°; (i) 0,30 m/s², 270° **97.** (a) 6,79 km/h; (b) 6,96° **99.** (a) 16 m/s; (b) 23°; (c) acima; (d) 27 m/s; (e) 57°; (f) abaixo **101.** (a) 24 m/s; (b) 65° **103.** (a) 1,5; (b) (36 m, 54 m) **105.** (a) 0,034 m/s²; (b) 84 min **107.** (a) 44 m; (b) 13 m; (c) 8,9 m **109.** (a) $2{,}6 \times 10^2$ m/s; (b) 45 s; (c) aumentaria **111.** (a) 45 m; (b) 22 m/s **113.** (a) 2,00 ns; (b) 2,00 mm; (c) $1{,}00 \times 10^7$ m/s; (d) $2{,}00 \times 10^6$ m/s **115.** (a) $4{,}6 \times 10^{12}$ m; (b) $2{,}4 \times 10^5$ s **117.** 93° em relação à direção do movimento do vagão **119.** (a) 8,43 m; (b) −129° **121.** (a) 63 km; (b) 18° ao sul do leste; (c) 0,70 km/h; (d) 18° ao sul do leste; (e) 1,6 km/h; (f) 1,2 km/h; (g) 33° ao norte do leste **123.** $3 \times 10^1$ m **125.** (a) 14 m/s; (b) 14 m/s; (c) −10 m; (d) −4,9 m; (e) +10 m; (f) −4,9 m **127.** 67 km/h **129.** (a) 75° a leste do sul; (b) 30° a leste do norte. Existe uma segunda solução, com o leste substituído por oeste nas duas respostas. **131.** (a) 11 m; (b) 45 m/s

## Capítulo 5

**T** **1.** *c*, *d* e *e* **2.** (a) e (b) 2 N, para a esquerda (a aceleração é zero nas duas situações) **3.** (a) igual; (b) maior (a aceleração é para cima e, portanto, a força resultante é para cima) **4.** (a) igual; (b) maior; (c) menor **5.** (a) aumentam; (b) sim; (c) permanecem os mesmos; (d) sim **P** **1.** aumentar **3.** (a) 2 e 4; (b) 2 e 4 **5.** (a) 2, 3, 4; (b) 1, 3, 4; (c) 1, $+y$; 2, $+x$; 3, quarto quadrante; 4, terceiro quadrante **7.** (a) 20 kg; (b) 18 kg; (c) 10 kg; (d) todas iguais; (e) 3,2,1 **9.** (a) aumenta a partir do valor inicial *mg*; (b) diminui de *mg* até zero (e depois o bloco perde o contato com o piso) **11.** (a) *M*; (b) *M*; (c) *M*; (d) 2*M*; (e) 3*M*

**PR** **1.** (a) 1,88 N; (b) 0,684 N; (c) $(1{,}88\text{ N})\hat{i} + (0{,}684\text{ N})\hat{j}$ **3.** 2,9 m/s² **5.** (a) $(-32{,}0\text{ N})\hat{i} - (20{,}8\text{ N})\hat{j}$; (b) 38,2 N; (c) −147° **7.** (a) $(0{,}86\text{ m/s}^2)\hat{i} - (0{,}16\text{ m/s}^2)\hat{j}$; (b) 0,88m/s²; (c) −11° **9.** 9,0 m/s² **11.** (a) 8,37 N; (b) −133°; (c) -125° **13.** (a) 108 N; (b) 108 N; (c) 108 N **15.** (a) 4,0 kg; (b) 1,0 kg; (c) 4,0 kg; (d) 1,0 kg **17.** (a) $-9{,}80\hat{j}$ m/s²; (b) $2{,}35\hat{j}$ m/s²; (c) 1,37 s; (d) $(-5{,}56 \times 10^{-3}\text{ N})\hat{j}$; (e) $(1{,}333 \times 10^{-3}\text{ N})\hat{j}$ **19.** (a) 42 N; (b) 72 N; (c) 4,9 m/s² **21.** (a) 11,7 N; (b) − 59,0° **23.** (a) 0,022 m/s²; (b) $8{,}3 \times 10^4$ km; (c) $1{,}9 \times 10^3$ m/s **25.** $1{,}2 \times 10^5$ N **27.** (a) 494 N; (b) para cima; (c) 494 N; (d) para baixo **29.** 1,5 mm **31.** (a) 46,7°; (b) 28,0° **33.** (a) 0,62 m/s²; (b) 0,13 m/s²; (c) 2,6 m **35.** (a) 1,18 m; (b) 0,674 s; (c) 3,50 m/s **37.** (a) $2{,}2 \times 10^{-3}$N; (b) $3{,}7 \times 10^{-3}$ N **39.** $1{,}8 \times 10^4$ N **41.** (a) 31,3 kN; (b) 24,3 kN **43.** (a) 1,4 m/s²; (b) 4,1 m/s **45.** (a) 1,23 N; (b) 2,46 N; (c) 3,69 N; (d) 4,92 N; (e) 6,15 N; (f) 0,250 N **47.** (a) 2,18 m/s²; (b) 116 N; (c) 21,0 m/s² **49.** $6{,}4 \times 10^3$ N **51.** (a) 0,970 m/s²; (b) 11,6 N; (c) 34,9 N **53.** (a) 1,1 N **55.** (a) 3,6 m/s²; (b) 17 N **57.** (a) 4,9 m/s²; (b) 2,0 m/s²; (c) para cima; (d) 120 N **59.** (a) 0,735 m/s²; (b) para baixo; (c) 20,8 N **61.** $2Ma/(a+g)$ **63.** (a) 0,653 m/s³; (b) 0,896 m/s³; (c) 6,50 s **65.** 81,7 N **67.** (a) 8,0 m/s; (b) $+x$ **69.** (a) 13 597 kg; (b) 4917 L; (c) 6172 kg; (d) 20,075 L; (e) 45% **71.** (a) 0; (b) 0,83 m/s²; (c) 0 **73.** (a) 0,74 m/s²; (b) 7,3 m/s² **75.** (a) a corda arrebenta; (b) 1,6 m/s² **77.** 2,4 N **79.** (a) 4,6 m/s²; (b) 2,6 m/s² **81.** (a) 65 N; (b) 49 N **83.** (a) 11 N; (b) 2,2 kg; (c) 0; (d) 2,2 kg **85.** (a) $4{,}6 \times 10^3$ N; (b) $5{,}8 \times 10^3$ N **87.** (a) 4 kg; (b) 6,5 m/s²; (c) 13 N **89.** 195 N **91.** (a) 44 N; (b) 78 N; (c) 54 N; (d) 152 N **93.** 16N **95.** (a) $1{,}8 \times 10^2$ N; (b) $6{,}4 \times 10^2$ N **97.** (a) $(5{,}0\text{ m/s})\hat{i} + (4{,}3\text{ m/s})\hat{j}$; (b) $(15\text{ m})\hat{i} + (6{,}4\text{ m})\hat{j}$ **99.** 16 N **101.** (a) 2,6 N; (b) 17° **103.** (a) 4,1 m/s²; (b) 836 N

## Capítulo 6

**T** **1.** (a) zero (porque não há uma tentativa de deslizamento); (b) 5 N; (c) não; (d) sim; (e) 8 N **2.** ($\vec{a}$ aponta para o centro da trajetória circular) (a) $\vec{a}$ aponta para baixo, $\vec{F}_N$ aponta para cima; (b) $\vec{a}$ e $\vec{F}_N$ apontam para cima **P** **1.** (a) permanece o mesmo; (b) aumenta; (c) aumenta; (d) não **3.** (a) diminui; (b) diminui; (c) aumenta; (d) aumenta; (e) aumenta **5.** (a) para cima; (b) horizontal, na sua direção; (c) não varia; (d) aumenta; (e) aumenta **7.** A princípio, $\vec{f}_s$ aponta para cima ao longo da rampa e seu módulo aumenta a partir de $mg$ sen $\theta$ até atingir $f_{s,\text{máx}}$. Daí em diante a força se torna a força de atrito cinético, que aponta para cima ao longo da rampa e cujo módulo é $f_k$ (um valor constante menor que $f_{s,\text{máx}}$) . **9.** (a) todas iguais; (b) todas iguais; (c) 2, 3, 1 **11.** Primeiro 4, depois 3 e depois 1, 2 e 5 empatadas **PR** **1.** (a) $2{,}0 \times 10^2$ N; (b) $1{,}2 \times 10^2$ N **3.** (a) $1{,}9 \times 10^2$ N; (b) 0,56 m/s² **5.** 36 m **7.** (a) 11 N; (b) 0,14 m/s² **9.** (a) 6,0 N; (b) 3,6 N; (c) 3,1 N **11.** (a) $1{,}3 \times 10^2$ N; (b) não; (c) $1{,}1 \times 10^2$ N; (d) 46 N; (e) 17 N **13.** (a) $3{,}0 \times 10^2$ N; (b) 1,3 m/s² **15.** 2° **17.** (a) não; (b) $(-12\text{ N})\hat{i} + (5{,}0\text{N})\hat{j}$ **19.** (a) 19°; (b) 3,3 kN **21.** (a) $(17\text{ N})\hat{i}$; $(20\text{ N})\hat{i}$; (c) $(15\text{ N})\hat{i}$ **23.** $1{,}0 \times 10^2$ N **25.** 0,37 **27.** (a) 3,5 m/s²; (b) 0,21 N **29.** (a) 0; (b) $(-3{,}9\text{ m/s}^2)\hat{i}$; (c) $(-1{,}0\text{ m/s}^2)\hat{i}$ **31.** (a) 66 N; (b) 2,3 m/s² **33.** $4{,}9 \times 10^2$ N **35.** 9,9 s **37.** 2,3 **39.** (a) $3{,}2 \times 10^2$ km/h; (b) $6{,}5 \times 10^2$ km/h; (c) não **41.** 21 m **43.** 0,60 **45.** (a) 10 s; (b) $4{,}9 \times 10^2$ N; (c) $1{,}1 \times 10^3$ N **47.** $1{,}37 \times 10^3$ N **49.** (a) mais leve; (b) 778 N; (c) 223 N; (d) 1,11 kN **51.** 12° **53.** 2,2 km **55.** 1,81 m/s **57.** $2{,}6 \times 10^3$ N **59.** (a) 8,74 N; (b) 37,9 N; (c) 6,45 m/s; (d) na direção da haste **61.** (a) 69 km/h; (b) 139 km/h; (c) sim **63.** (a) 7,5 m/s²; (b) para baixo; (c) 9,5 m/s²; (d) para baixo **65.** (a) 27 N; (b) 3,0 m/s² **67.** (a) 35,3 N; (b) 39,7 N; (c) 320 N **69.** $g\,(\text{sen}\,\theta - 2^{0,5}\mu_k \cos\theta)$ **71.** (a) $3{,}0 \times 10^5$ N; (b) 1,2° **73.** 147 m/s **75.** (a) 56 N; (b) 59 N;