Capítulo 5

1. Neste problema temos que lidar apenas com forças horizontais (a força da gravidade não está envolvida. Usamos um sistema de coordenadas no qual o semieixo x positivo corresponde à direção leste e o semieixo y positivo corresponde à direção norte. O cálculo pode ser feito em uma calculadora científica, usando a notação módulo-ângulo (com unidades do SI implícitas).

$$\vec{a}=\frac{\vec{F}}{m}=\frac{(9{,}0\angle 0°)+(8{,}0\angle 118°)}{3{,}0}=(2{,}9\angle 53°)$$

Assim, o módulo da aceleração é 2,9 m/s^2.

2. Usamos a Segunda Lei de Newton (Eq. 5-1). A força resultante aplicada ao bloco de madeira é $\vec{F}_{\text{res}}=\vec{F}_1+\vec{F}_2$. A soma vetorial é executada usando a notação dos vetores unitários e a aceleração do bloco é calculada usando a relação $\vec{a}=\left(\vec{F}_1+\vec{F}_2\right)/m$.

(a) No primeiro caso,

$$\vec{a}=\frac{\vec{F}_1+\vec{F}_2}{m}=\frac{\left[(3{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{i}}+(4{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{j}}\right]+\left[(-3{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{i}}+(-4{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{j}}\right]}{2{,}0\text{ kg}}=0$$

(b) No segundo caso,

$$\vec{a}=\frac{\vec{F}_1+\vec{F}_2}{m}=\frac{\left[(3{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{i}}+(4{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{j}}\right]+\left[(-3{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{i}}+(4{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{j}}\right]}{2{,}0\text{ kg}}=(4{,}0\text{ m/s}^2)\hat{\mathrm{j}}$$

(c) No terceiro caso,

$$\vec{a}=\frac{\vec{F}_1+\vec{F}_2}{m}=\frac{\left[(3{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{i}}+(4{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{j}}\right]+\left[(3{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{i}}+(-4{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{j}}\right]}{2{,}0\text{ kg}}=(3{,}0\text{ m/s}^2)\hat{\mathrm{i}}$$

3. Usamos a Segunda Lei de Newton (mais especificamente, a Eq. 5-2).

(a) A componente x da força é

$$F_x=ma_x=ma\cos 20{,}0°=(1{,}00\text{ kg})(2{,}00\text{ m/s}^2)\cos 20{,}0°=1{,}88\text{ N}.$$

(b) A componente y da força é

$$F_y=ma_y=ma\,\text{sen}\,20{,}0°=(1{,}0\text{ kg})(2{,}00\text{ m/s}^2)\,\text{sen}\,20{,}0°=0{,}684\text{ N}.$$

(c) Na notação dos vetores unitários, a força resultante é

$$\vec{F}=F_x\hat{\mathrm{i}}+F_y\hat{\mathrm{j}}=(1{,}88\text{ N})\hat{\mathrm{i}}+(0{,}684\text{ N})\hat{\mathrm{j}}.$$

4. Como $\vec{v}$ = constante, $\vec{a}=0$ e, portanto,

$$\vec{F}_{\text{res}}=\vec{F}_1+\vec{F}_2=m\vec{a}=0.$$

Isso significa que a outra força é

$$\vec{F}_2=-\vec{F}_1=(-2\text{ N})\,\hat{\mathrm{i}}+(6\text{ N})\,\hat{\mathrm{j}}.$$

5. Como a força resultante aplicada ao asteroide é $\vec{F}_{\text{res}}=\vec{F}_1+\vec{F}_2+\vec{F}_3$, a aceleração do asteroide é dada por $\vec{a}=\left(\vec{F}_1+\vec{F}_2+\vec{F}_3\right)/m$.

(a) Na notação dos vetores unitários, as forças exercidas pelos astronautas são:

$$\vec{F}_1 = (32\ \text{N})(\cos 30^\circ\,\hat{\text{i}} + \text{sen}\,30^\circ\,\hat{\text{j}}) = (27{,}7\ \text{N})\hat{\text{i}} + (16\ \text{N})\hat{\text{j}}$$
$$\vec{F}_2 = (55\ \text{N})(\cos 0^\circ\,\hat{\text{i}} + \text{sen}\,0^\circ\,\hat{\text{j}}) = (55\ \text{N})\hat{\text{i}}$$
$$\vec{F}_3 = (41\ \text{N})\left[\cos(-60^\circ)\hat{\text{i}} + \text{sen}(-60^\circ)\hat{\text{j}}\right] = (20{,}5\ \text{N})\hat{\text{i}} - 35{,}5\ \text{N})\hat{\text{j}}$$

A aceleração do asteroide é, portanto,

$$\vec{a} = \frac{(27{,}7\hat{\text{i}} + 16\hat{\text{j}})\ \text{N} + (55\hat{\text{i}})\ \text{N} + (20{,}5\hat{\text{i}} - 35{,}5\ \hat{\text{j}})\ \text{N}}{120\ \text{kg}} = (0{,}86\ \text{m/s}^2)\hat{\text{i}} - (0{,}16\ \text{m/s}^2)\hat{\text{j}}.$$

(b) O módulo do vetor aceleração é

$$|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{(0{,}86\ \text{m/s}^2)^2 + \left(-0{,}16\ \text{m/s}^2\right)^2} = 0{,}88\ \text{m/s}^2\ .$$

(c) O ângulo do vetor aceleração com o semieixo x positivo é

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{a_y}{a_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{-0{,}16\ \text{m/s}^2}{0{,}86\ \text{m/s}^2}\right) = -11^\circ\ .$$

6. De acordo com a Segunda Lei de Newton, se o pneu permanece em repouso, a força resultante deve ser nula:

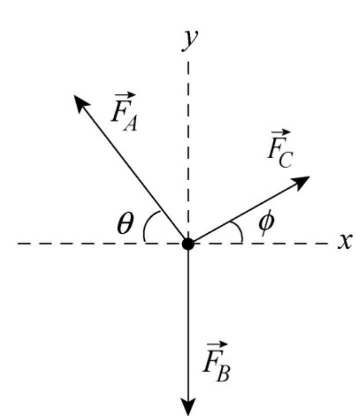
$$\vec{F}_{\text{res}} = \vec{F}_A + \vec{F}_B + \vec{F}_C = m\vec{a} = 0.$$

De acordo com o diagrama de corpo livre à direita, temos:

$$0 = \sum F_{\text{res},x} = F_C \cos\phi - F_A \cos\theta$$
$$0 = \sum F_{\text{res},y} = F_A\,\text{sen}\,\theta + F_C\,\text{sen}\,\phi - F_B$$

Para calcular o valor de F_B, precisamos conhecer o ângulo ϕ. Como $F_A = 220\ \text{N}$, $F_C = 170\ \text{N}$ e $\theta = 47^\circ$, a primeira equação nos dá:

$$\cos\phi = \frac{F_A\cos\theta}{F_C} = \frac{(220\ \text{N})\cos 47{,}0^\circ}{170\ \text{N}} = 0{,}883 \quad \Rightarrow \quad \phi = 28{,}0^\circ$$



Substituindo esse valor na segunda equação, temos:

$$F_B = F_A \operatorname{sen}\theta + F_C \operatorname{sen}\phi = (220\text{ N})\operatorname{sen}47{,}0° + (170\text{ N})\operatorname{sen}28{,}0 = 241\text{ N}.$$

7. PENSE A caixa está sendo acelerada por duas forças. Podemos usar a segunda lei de Newton para determinar o valor da segunda força.

FORMULE Vamos chamar as duas forças de $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$. De acordo com a segunda lei de Newton, $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = m\vec{a}$, e portanto, $\vec{F}_2 = m\vec{a} - \vec{F}_1$. Note que, como a aceleração está no terceiro quadrante, a força $\vec{F}_2$ também deve estar no terceiro quadrante.

ANALISE (a) Na notação dos vetores unitários, $\vec{F}_1 = (20{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{i}}$ e

$$\vec{a} = -\left(12{,}0\operatorname{sen}30{,}0°\text{ m/s}^2\right)\hat{\mathrm{i}} - \left(12{,}0\cos 30{,}0°\text{ m/s}^2\right)\hat{\mathrm{j}} = -\left(6{,}00\text{ m/s}^2\right)\hat{\mathrm{i}} - \left(10{,}4\text{ m/s}^2\right)\hat{\mathrm{j}}$$

Assim, a segunda força é

$$\begin{aligned}\vec{F}_2 &= m\vec{a} - \vec{F}_1\\ &= (2{,}00\text{ kg})\left(-6{,}00\text{ m/s}^2\right)\hat{\mathrm{i}} + (2{,}00\text{ kg})\left(-10{,}4\text{ m/s}^2\right)\hat{\mathrm{j}} - (20{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{i}}\\ &= (-32{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{i}} - (20{,}8\text{ N})\hat{\mathrm{j}}.\end{aligned}$$

(b) O módulo de $\vec{F}_2$ é $|\vec{F}_2| = \sqrt{F_{2x}^2 + F_{2y}^2} = \sqrt{(-32{,}0\text{ N})^2 + (-20{,}8\text{ N})^2} = 38{,}2\text{ N}.$

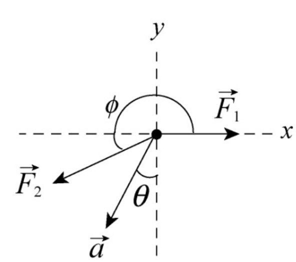
(c) O ângulo que $\vec{F}_2$ faz com o semieixo x positivo pode ser determinado a partir da relação

$$\tan\phi = \left(\frac{F_{2y}}{F_{2x}}\right) = \frac{-20{,}8\text{ N}}{-32{,}0\text{ N}} = 0{,}656$$

De acordo com essa relação, o ângulo pode ser 33,0° ou 33,0° + 180° = 213°. Uma vez que tanto a componente x como a componente y são negativas, a resposta correta é ϕ = 213° com o semieixo x positivo. Uma resposta alternativa é 213° – 360° = –147°.

APRENDA O resultado é mostrado na figura. O cálculo confirma nossa expectativa de que $\vec{F}_2$ esteja no terceiro quadrante (o mesmo quadrante de $\vec{a}$). A força total é

$$\begin{aligned}\vec{F}_{\text{res}} &= \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = (20{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{i}} + \left[(-32{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{i}} - (20{,}8\text{ N})\hat{\mathrm{j}}\right]\\ &= (-12{,}0\text{ N})\hat{\mathrm{i}} - (20{,}8\text{ N})\hat{\mathrm{j}}\end{aligned}$$



que aponta na direção de $\vec{a}$.

8. Note que $m\vec{a} = (-16\text{ N})\hat{\mathrm{i}} + (12\text{ N})\hat{\mathrm{j}}$. De acordo com a Segunda Lei de Newton, a terceira força é

$$\vec{F}_3 = m\vec{a} - \vec{F}_1 - \vec{F}_2 = (-34\text{ N})\hat{\mathrm{i}} - (12\text{ N})\hat{\mathrm{j}}.$$

9. Para resolver o problema, note que a aceleração é a derivada segunda da função posição e que a força está relacionada à aceleração através da Segunda Lei de Newton. Derivando duas vezes a função $x(t) = -15{,}0 + 2{,}00t + 4{,}00t^3$ em relação a t, obtemos

$$\frac{dx}{dt} = 2{,}00 - 12{,}0t^2, \quad \frac{d^2x}{dt^2} = -24{,}0t$$

Derivando duas vezes a função $y(t) = 25{,}0 + 7{,}00t - 9{,}00t^2$ em relação a t, obtemos

$$\frac{dy}{dt}=7,00-18,0t, \quad \frac{d^2y}{dt^2}=-18,0$$

(a) A aceleração é

$$\vec{a}=a_x\hat{\mathrm{i}}+a_y\hat{\mathrm{j}}=\frac{d^2x}{dt^2}\hat{\mathrm{i}}+\frac{d^2y}{dt^2}\hat{\mathrm{j}}=(-24,0t)\hat{\mathrm{i}}+(-18,0)\hat{\mathrm{j}}.$$

No instante $t=0,700$ s, $\vec{a}=(-16,8)\hat{\mathrm{i}}+(-18,0)\hat{\mathrm{j}}$ e

$$a=|\vec{a}|=\sqrt{(-16,8)^2+(-18,0)^2}=24,6 \text{ m/s}^2.$$

O módulo da força é $F=ma=(0,34 \text{ kg})(24,6 \text{ m/s}^2)=8,37$ N.

(b) O ângulo que $\vec{F}$ e $\vec{a}=\vec{F}/m$ fazem com o semieixo x positivo é

$$\theta=\tan^{-1}\left(\frac{a_y}{a_x}\right)=\tan^{-1}\left(\frac{-18,0 \text{ m/s}^2}{-16,8 \text{ m/s}^2}\right)=47,0° \text{ ou } -133°.$$

Como sabemos que $\vec{F}$ está no terceiro quadrante, escolhemos o segundo ângulo ($-133°$).

(c) A direção do movimento é a direção do vetor velocidade:

$$\vec{v}(t)=v_x\hat{\mathrm{i}}+v_y\hat{\mathrm{j}}=\frac{dx}{dt}\hat{\mathrm{i}}+\frac{dy}{dt}\hat{\mathrm{j}}=(2,00-12,0t^2)\hat{\mathrm{i}}+(7,00-18,0t)\hat{\mathrm{j}}.$$

No instante $t=0,700$ s, $\vec{v}(t=0,700 \text{ s})=(-3,88 \text{ m/s})\hat{\mathrm{i}}+(-5,60 \text{ m/s})\hat{\mathrm{j}}$. Assim, o ângulo entre $\vec{v}$ e o semieixo x positivo é

$$\theta_v=\tan^{-1}\left(\frac{v_y}{v_x}\right)=\tan^{-1}\left(\frac{-5,60 \text{ m/s}}{-3,88 \text{ m/s}}\right)=55,3° \text{ ou } -125°.$$

Como sabemos que $\vec{v}$ está no terceiro quadrante, escolhemos o segundo ângulo ($-125°$).

10. Para resolver o problema, note que a aceleração é a derivada segunda da função posição e que a força está relacionada à aceleração através da Segunda Lei de Newton. Derivando duas vezes a função $x(t)=-13,00+2,00t+4,00t^2-3,00t^3$ em relação a t, obtemos

$$\frac{dx}{dt}=2,00+8,00t-9,00t^2, \quad \frac{d^2x}{dt^2}=8,00-18,0t$$

A força que age sobre a partícula no instante $t=3,40$ s é

$$\vec{F}=m\frac{d^2x}{dt^2}\hat{\mathrm{i}}=(0,150)\left[8,00-18,0(3,40)\right]\hat{\mathrm{i}}=(-7,98 \text{ N})\hat{\mathrm{i}}$$

11. A velocidade é a derivada da posição em relação ao tempo e a aceleração é a derivada da velocidade. Assim, $a = 2c - 3(2)(2,0)t$. De acordo com a Segunda Lei de Newton, $F = (2,0)a = 4,0c - 24t$ (com unidades do SI implícitas). Sabemos que no instante t = 3,0 s, $F = -36$ N. Assim, $-36 = 4,0c - 24(3,0)$, daqual $c = 9,0$ m/s^2.

12. A inclinação do gráfico nos dá $a_x = 3,0$ m/s^2. Aplicando a Segunda Lei de Newton à componente x das forças (e chamando de θ o ângulo entre F_1 e F_2), temos:

$$F_1 + F_2\cos\theta = m\,a_x \quad \Rightarrow \quad \theta = 56°.$$

13. (a) A partir do fato de que $T_3 = 9,8$ N, concluímos que a massa do disco D é 1,0 kg. Conhecendo a massa do disco D e sabendo que o disco C e o disco D, juntos, produzem uma tração $T_2 = 49$ N, concluímos que a massa do disco C é 4,0 kg. Conhecendo a massa dos discos C e D e sabendo que os discos B, C e D, juntos, produzem uma tração $T_1 = 58,8$ N, concluímos que a massa do disco B é 1,0 kg. Sabendo que todos os discos, juntos, exercem uma força de 98 N, concluímos que a massa do disco A é 4,0 kg.

(b) m_B = 1,0 kg, como foi visto no item (a).

(c) m_C = 4,0 kg, como foi visto no item (a).

(d) m_D = 1,0 kg, como foi visto no item (a).

14. Três forças verticais agem sobre o bloco: uma força gravitacional de 3,0 N, para baixo; uma força de 1,0 N para cima, exercida por uma mola; a força normal, para cima, exercida pela superfície na qual o bloco está apoiado. Como o bloco está em repouso,

$$\sum F_y = 0 = F_N + (1{,}0\text{ N}) + (-3{,}0\text{ N})$$

o que nos dá F_N = 2,0 N (para cima).

(a) De acordo com a Terceira Lei de Newton, a força exercida pelo bloco sobre a superfície tem o mesmo módulo que a força exercida pela superfície sobre o bloco: 2,0 N.

(b) De acordo com a Terceira Lei de Newton, a força exercida pelo bloco sobre a superfície tem o sentido oposto ao da força exercida sobre o bloco pela superfície. Assim, o sentido é para baixo.

15. PENSE Neste problema, um salame pode ser pendurado de várias formas em uma balança de mola. Para obter as respostas, devemos aplicar corretamente o conceito de peso.

FORMULE Em primeiro lugar, observamos que a leitura da balança de mola é proporcional ao peso do salame. Nos três casos mostrados na Fig. 5-34, a aceleração da balança é zero, o que significa que as duas cordas exercem forças iguais sobre a balança. A força indicada na escala da balança é igual à força de tração de uma das cordas. Nos três casos, como a aceleração do salame é zero, a força de tração da corda ligada ao salame é igual ao peso do salame. Assim, a leitura da balança é *mg*, em que *m* é a massa do salame.

ANALISE Nos três casos, a leitura da balança é

$$w = mg = (11{,}0\text{ kg})\,(9{,}8\text{ m/s}^2) = 108\text{ N}$$

APRENDA O peso de um objeto deve ser medido sem que o objeto esteja acelerado verticalmente em relação ao solo. Quando isso não é verdade, o peso medido é chamado de peso aparente.

16. (a) O inseto tem seis pernas e a componente vertical da tração em cada perna é $T\,\text{sen}\,\theta$, sendo $\theta = 40°$. Aplicando a Segunda Lei de Newton à componente vertical das forças envolvidas, vemos que, para que a aceleração seja zero na direção vertical, devemos ter

$$6T\,\text{sen}\,\theta = mg \Rightarrow T = \frac{mg}{6\,\text{sen}\,\theta}$$

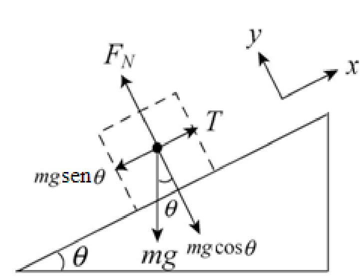
o que nos dá $T/mg \approx 0{,}26$.

(b) Como o ângulo θ é medido em relação à horizontal, quando o inseto "estica as pernas" o ângulo θ aumenta (se aproxima de $90°$), o que faz sen θ aumentar (se aproximar de 1); em consequência, T diminui.

17. PENSE Um bloco ligado a uma corda está em repouso em um plano inclinado. Podemos aplicar a segunda lei de Newton para calcular a força de tração da corda e a força normal que o plano inclinado exerce sobre o bloco.

FORMULE A figura mostra o diagrama de corpo livre do bloco. Como a aceleração do bloco é zero, as componentes da segunda equação de Newton são

$$T - mg\,\text{sen}\,\theta = 0$$
$$F_N - mg\cos\theta = 0$$



em que T é a força de tração da corda e F_N é a força normal que o plano inclinado exerce sobre o bloco.

ANALISE (a) A primeira das equações anteriores nos dá

$$T = mg\,\text{sen}\,\theta = (8{,}5\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)\,\text{sen}\,30° = 42\ \text{N}$$

(b) A segunda equação nos dá

$$F_N = mg\cos\theta = (8{,}5\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2)\cos 30° = 72\ \text{N}$$

(c) Quando a corda é cortada, ela deixa de exercer uma força sobre o bloco, e o bloco começa a escorregar. Como a componente x da segunda lei de Newton passa a ser $-mg\ \text{sen}\ \theta = ma$, a aceleração do bloco é dada por

$$a = -g\,\text{sen}\,\theta = -(9{,}8\ \text{m/s}^2)\,\text{sen}30° = -4{,}9\ \text{m/s}^2$$

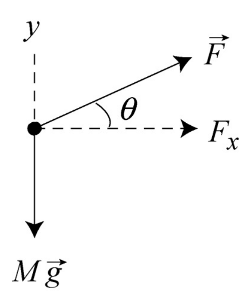
O sinal negativo mostra que o sentido da aceleração é para baixo. O módulo da aceleração é 4,9 m/s².

APRENDA Como a força normal F_N que o plano inclinado exerce sobre o bloco continua a ser igual a $mg\cos\theta$ depois que a corda é cortada, o bloco permanece em contato com a superfície do plano inclinado enquanto escorrega para baixo. Como mostra a equação $a = -g\ \text{sen}\,\theta$, a aceleração do bloco depois que a corda é cortada depende do ângulo θ do plano inclinado. A aceleração é máxima para $\theta = 90°$, caso em que a superfície do plano inclinado é vertical e a aceleração do bloco é $-g$, a aceleração de queda livre.

18. A figura mostra o diagrama de corpo livre do sistema. A força exercida por John Massis foi

$$F = 2{,}5mg = 2{,}5(80\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2) = 1960\ \text{N}\cdot$$

Como o movimento foi na horizontal, a Segunda Lei de Newton nos dá $F_x = F\cos\theta = Ma_x$, em que M é a massa total dos dois vagões. Assim, a aceleração dos vagões foi



$$a_x = \frac{F\cos\theta}{M} = \frac{(1960\ \text{N})\cos 30°}{(7{,}0\times10^5\ \text{N}/9{,}8\ \text{m/s}^2)} = 0{,}024\ \text{m/s}^2.$$

De acordo com a Eq. 2-16, a velocidade dos vagões quando Massis parou de puxar era

$$v_x = \sqrt{2a_x\Delta x} = \sqrt{2(0{,}024\ \text{m/s}^2)(1{,}0\ \text{m})} = 0{,}22\ \text{m/s}.$$

19. PENSE Neste problema, estamos interessados na força que deve ser aplicada a um trenó para que ele atinja uma determinada velocidade em um dado intervalo de tempo.

FORMULE Em termos de módulos, a segunda lei de Newton pode ser escrita na forma $F = ma$, em que $F = \left|\vec{F}_{\text{tot}}\right|$, $a = |\vec{a}|$ e m é a massa (que é uma grandeza positiva). O módulo da aceleração pode ser calculado usando as equações da cinemática para aceleração constante (Tabela 2-1). Explicitando a aceleração na equação $v = v_0 + at$, que se aplica ao caso em que a aceleração é constante, obtemos $a = v/t$ (que podemos interpretar em termos de módulos, tornando desnecessário o uso de um sistema de coordenadas). Assim, a força necessária é $F = ma = mv/t$.

ANALISE Em unidades do SI, a velocidade é

$$v = (1600\ \text{km/h})\ (1000\ \text{m/km})/(3600\ \text{s/h}) = 444\ \text{m/s}$$

e a força é

$$F = m\frac{v}{t} = (500\,\text{kg})\,\frac{444\,\text{m/s}}{1{,}8\,\text{s}} = 1{,}2\times10^5\ \text{N}$$

APRENDA Como mostra a expressão $F = mv/t$, quanto menor o tempo para atingir uma dada velocidade, maior a força necessária.

20. A força $\vec{F}$ e a trajetória do passageiro são horizontais. O semieixo x positivo está na direção do movimento do passageiro, o que significa que a aceleração do passageiro tem um valor negativo e a força é exercida no sentido negativo do eixo x: $\vec{F} = -F\,\hat{\text{i}}$. Usando a Eq. 2-16 com

$$v_0 = (53\ \text{km/h})(1000\ \text{m/km})/(3600\ \text{s/h}) = 14{,}7\ \text{m/s}$$

e $v = 0$, a aceleração é dada por

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \;\Rightarrow\; a = -\frac{v_0^2}{2\Delta x} = -\frac{(14{,}7\ \text{m/s})^2}{2(0{,}65\ \text{m})} = -167\ \text{m/s}^2.$$

De acordo com a Segunda Lei de Newton,

$$\vec{F} = m\vec{a} \;\Rightarrow\; -F = (41\ \text{kg})\,(-167\,\text{m/s}^2)$$

o que nos dá $F = 6{,}8 \times 10^3$ N.

21. (a) A inclinação dos gráficos nos dá as componentes da aceleração, $a_x = 3{,}00\ \text{m/s}^2$ e $a_y = -5{,}00\ \text{m/s}^2$. O módulo do vetor aceleração é, portanto,

$$a = \sqrt{(3{,}00\ \text{m/s}^2)^2 + (-5{,}00\ \text{m/s}^2)^2} = 5{,}83\ \text{m/s}^2,$$

e a força pode ser calculada multiplicando esse valor pela massa do pacote (m = 2,00 kg). O resultado é $F = ma$ = 11,7 N.

(b) A orientação da força é a mesma da aceleração:

$$\theta = \tan^{-1}\,[(-5{,}00\ \text{m/s}^2)/(3{,}00\ \text{m/s}^2)] = -59{,}0°.$$

22. (a) A moeda fica em queda livre. Assim, sua aceleração em relação ao solo é

$$\vec{a}_{\text{moeda}} = \vec{g} = (-9{,}8\ \text{m/s}^2)\hat{\text{j}}.$$

(b) Como o homem está sofrendo uma aceleração para baixo dada por $\vec{a}\,'_{\text{homem}} = 1{,}24\vec{g} = (-12{,}15\ \text{m/s}^2)\hat{\text{j}}$, a aceleração da moeda em relação ao homem é

$$\vec{a}_{\text{rel}} = \vec{a}_{\text{moeda}} - \vec{a}\,'_{\text{homem}} = (-9{,}8\ \text{m/s}^2)\hat{\text{j}} - (-12{,}15\ \text{m/s}^2)\hat{\text{j}} = (+2{,}35\ \text{m/s}^2)\hat{\text{j}}.$$

(c) O tempo que a moeda leva para chegar ao teto é

$$t = \sqrt{\frac{2h}{a_{\text{rel}}}} = \sqrt{\frac{2(2{,}20\ \text{m})}{2{,}35\ \text{m/s}^2}} = 1{,}37\ \text{s}.$$

(d) Como a gravidade é a única força que age sobre a moeda, a força a que a moeda está submetida é

$$\vec{F}_{\text{moeda}} = m\vec{a}_{\text{moeda}} = m\vec{g} = (0{,}567\times10^{-3}\ \text{kg})(-9{,}8\ \text{m/s}^2)\hat{\text{j}} = (-5{,}56\times10^{-3}\ \text{N})\hat{\text{j}}.$$

(e) No referencial do homem, a moeda se move para cima com aceleração constante. A força aparente a que a moeda está submetida é

$$\vec{F}_{\text{ap}} = m\vec{a}_{\text{rel}} = (0{,}567\times10^{-3}\ \text{kg})(+2{,}35\ \text{m/s}^2)\hat{\text{j}} = (+1{,}33\times10^{-3}\ \text{N})\hat{\text{j}}.$$

23. (a) Tomando como referência o ângulo que o cipó faz com a horizontal e na notação dos vetores unitários, a tração do cipó é

$$\vec{T} = T\cos 68,0\hat{\mathrm{i}} + T\,\mathrm{sen}\,68,0\hat{\mathrm{j}} = (285\ \mathrm{N})\hat{\mathrm{i}} + 705\ \mathrm{N})\hat{\mathrm{j}}.$$

(b) Durante o salto, a única outra força que age sobre Tarzan é o peso. Assim,

$$\vec{F}_{\mathrm{res}} = \vec{T} + \vec{P} = (285\ \mathrm{N})\hat{\mathrm{i}} + (705\ \mathrm{N})\hat{\mathrm{j}} - (820\ \mathrm{N})\hat{\mathrm{j}} = (285N)i - (115\ \mathrm{N})\hat{\mathrm{j}}.$$

(c) O módulo da força é

$$\left|\vec{F}_{\mathrm{res}}\right| = \sqrt{285^2 + (-115)^2} = 307\ \mathrm{N}$$

(d) O ângulo da força é

$$\theta = \tan^{-1}\left(-\frac{115}{285}\right) = -22^{\mathrm{o}}$$

(e) Como $|\vec{a}| = \left|\vec{F}_{\mathrm{res}}\right|/m$, em que $m = P/g = 83{,}7$ kg, $|\vec{a}| = 3{,}67\ \mathrm{m/s^2}$.

(f) Como $\vec{a}$ tem a mesma orientação de $\vec{F}_{\mathrm{res}}$, o ângulo da aceleração é -22^{o} .

24. Tomando como referência o eixo x mostrado na Fig. 5-39, $\vec{F}_1 = (20\ \mathrm{N})\hat{\mathrm{i}}$. De acordo com a Segunda Lei de Newton, $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = m\vec{a}$, em que $m = 2{,}0$ kg. Assim, temos:

$$\vec{F}_2 = \left[\left(2{,}0\vec{a} - 20\right)\ \mathrm{N}\right]\hat{\mathrm{i}}$$

(a) Se $\vec{a} = (+10\ \mathrm{m/s^2})\ \hat{\mathrm{i}}$, $\vec{F}_2 = 0$.

(b) Se $\vec{a} = (+20\mathrm{m/s^2})\ \hat{\mathrm{i}}$, $\vec{F}_2 = (20\mathrm{N})\hat{\mathrm{i}}$.

(c) Se $\vec{a} = 0$, $\vec{F}_2 = (-20\mathrm{N})\hat{\mathrm{i}}$.

(d) Se $\vec{a} = (-10\ \mathrm{m/s^2})\ \hat{\mathrm{i}}$, $\vec{F}_2 = (-40\mathrm{N})\hat{\mathrm{i}}$.

(e) Se $\vec{a} = (-20\ \mathrm{m/s^2})\ \hat{\mathrm{i}}$, $\vec{F}_2 = (-60\mathrm{N})\hat{\mathrm{i}}$.

25. (a) A aceleração é

$$a = \frac{F}{m} = \frac{20\ \mathrm{N}}{900\,\mathrm{kg}} = 0{,}022\ \mathrm{m/s^2}\ .$$

(b) A distância percorrida em 1 dia (= 86.400 s) é

$$s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}\left(0{,}0222\,\mathrm{m/s^2}\right)\left(86.400\,\mathrm{s}\right)^2 = 8{,}3 \times 10^7\ \mathrm{m}.$$

(c) A velocidade após 1 dia de viagem é

$$v = at = \left(0{,}0222\ \mathrm{m/s^2}\right)\left(86.400\ \mathrm{s}\right) = 1{,}9 \times 10^3\ \mathrm{m/s}.$$

Esse valor corresponde a quase 7000 km/h.

26. Para facilitar a solução, vamos supor que a linha esteja na horizontal, alinhada com a trajetória do salmão. Tomando o semieixo x positivo no sentido da velocidade do salmão (ou seja, para longe do pescador), a aceleração do peixe é negativa e a linha é tracionada no sentido negativo do eixo x. De acordo com a Eq. 2-16, temos (para $v = 0$):

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \quad \Rightarrow \quad a = -\frac{v_0^2}{2\Delta x} = -\frac{(2{,}8 \text{ m/s})^2}{2(0{,}11 \text{ m})} = -36 \text{ m/s}^2.$$

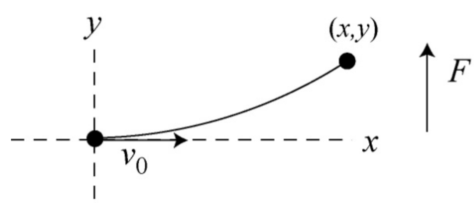
De acordo com a Eq. 5-1,

$$\vec{T} = m\vec{a} \quad \Rightarrow \quad -T = (8{,}7\,\text{kg})(-36\,\text{m/s}^2) = 3{,}1\times10^2 \text{ N},$$

em que 8,7 kg = 85 N/9,8 m/s² é a massa do salmão.

27. PENSE A trajetória de um elétron que se move horizontalmente sob a influência de uma força vertical sofre uma deflexão na direção da força.

FORMULE A figura que se segue mostra a trajetória do elétron. A aceleração é vertical e, na prática, a única força que age sobre o elétron é a força eletrostática; a força da gravidade é muito menor e pode ser desprezada. Vamos tomar o sentido positivo do eixo x como sendo o mesmo da velocidade inicial v_0 do elétron, o sentido positivo do eixo y como sendo o mesmo da força eletrostática, e a origem como sendo a posição inicial do elétron.



Como a força e a aceleração são constantes, podemos usar as equações da Tabela 2-1: $x = v_0 t$ e

$$y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{F}{m}\right)t^2$$

ANALISE O tempo que o elétron leva para percorrer uma distância horizontal x é $t = x/v_0$ e a deflexão na direção da força para x = 30 mm é

$$y = \frac{1}{2}\frac{F}{m}\left(\frac{x}{v_0}\right)^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{4{,}5\times10^{-16}\text{ N}}{9{,}11\times10^{-31}\text{ kg}}\right)\left(\frac{30\times10^{-3}\text{ m}}{1{,}2\times10^{7}\text{ m/s}}\right)^2 = 1{,}5\times10^{-3}\text{ m}$$

APRENDA Como a força aplicada é constante, a aceleração na direção y também é constante e a trajetória do elétron é uma parábola do tipo $y = ax^2$, em que a é uma constante.

28. Tomando o semieixo x positivo no sentido da velocidade do carro, a aceleração é negativa e a força do freio é aplicada no sentido negativo do eixo x.

(a) De acordo com a Eq. 2-16 e em unidades do SI (notando que $v = 0$ e v_0 = 40(1000/3600) = 11,1 m/s),

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \quad \Rightarrow \quad a = -\frac{v_0^2}{2\Delta x} = -\frac{(11{,}1 \text{ m/s})^2}{2(15 \text{ m})} = -4{,}12 \text{ m/s}^2.$$

De acordo com a Eq. 5-1,

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad \Rightarrow \quad -F = (1327 \text{ kg})(-4{,}12 \text{ m/s}^2) = 5{,}5\times10^3 \text{ N},$$

em que 1327 kg = 1,3 × 10⁴ N/9,8 m/s² é a massa do carro.

(b) De acordo com a Eq. 2-11, $t = -v_0/a$ = 2,7 s.

(c) Manter a força constante equivale a manter a aceleração constante, caso em que, como mostra a Eq. 2-16, para $v = 0$, existe uma proporcionalidade direta entre Δx e v_0^2. Assim, se v_0 é multiplicada por 2, a distância percorrida até o carro parar é multiplicada por 4.

(d) De acordo com a Eq. 2-11, existe uma proporcionalidade direta entre t e v_0; assim, se v_0 é multiplicada por 2, o tempo necessário para o carro parar é multiplicado por 2.

29. Escolhendo o sentido positivo do eixo y como sendo para cima, $\vec{a} = (-3{,}00 \text{ m/s}^2)\hat{\text{j}}$ (que vamos chamar simplesmente de a por se tratar de um problema unidimensional). De acordo com a Eq. 5-12, a massa do bombeiro é $m = P/g = 72{,}7$ kg.

(a) Chamamos a força exercida pelo poste sobre o bombeiro de F_{bp} e usamos a Eq. 5-1. Como $F_{\text{res}} = m\vec{a}$,

$$F_{\text{bp}} - F_g = ma \quad \Rightarrow \quad F_{\text{bp}} - 712 \text{ N} = (72{,}7 \text{ kg})(-3.00 \text{ m/s}^2)$$

o que nos dá $F_{\text{bp}} = 494$ N.

(b) O fato de que o resultado é positivo mostra que $\vec{F}_{\text{bp}}$ aponta para cima.

(c) De acordo com a Terceira Lei de Newton, $\vec{F}_{\text{bp}} = -\vec{F}_{\text{pb}}$; assim, $|\vec{F}_{\text{pb}}| = 494$ N.

(d) O sentido de $\vec{F}_{\text{bp}}$ é para baixo.

30. A força exercida pelo galho e a trajetória do palito são horizontais. Escolhendo como sentido positivo do eixo x o sentido do movimento do palito, a aceleração do palito é negativa e a força exercida pelo galho é aplicada no sentido negativo do eixo x. Usando a Eq. 2-16 com $v_0 = 220$ m/s e $v = 0$, temos:

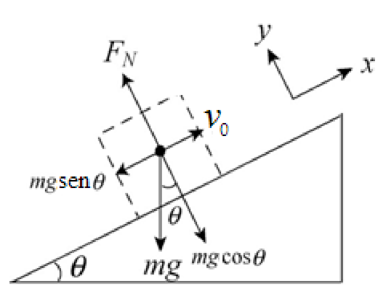
$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \quad \Rightarrow \quad a = -\frac{v_0^2}{2\Delta x} = -\frac{(220 \text{ m/s})^2}{2(0{,}015 \text{ m})} = -1{,}61 \times 10^6 \text{ m/s}^2.$$

Assim, o módulo da força exercida pelo galho sobre o palito é

$$F = m|a| = (1{,}3 \times 10^{-4} \text{ kg})(1{,}61 \times 10^6 \text{ m/s}^2) = 2{,}1 \times 10^2 \text{ N}.$$

31. PENSE Este problema envolve a análise do movimento de um bloco que escorrega para cima e depois para baixo em um plano inclinado.

FORMULE A figura a seguir mostra o diagrama de corpo livre do bloco. $\vec{F}_N$ é a força normal que a superfície do plano inclinado exerce sobre o bloco, e $m\vec{g}$ é a força gravitacional a que o bloco está sujeito. Vamos tomar o sentido positivo do eixo x como sendo para cima, paralelamente à superfície do plano inclinado, e o sentido positivo do eixo y como sendo o sentido da força normal exercida sobre o bloco pela superfície do plano inclinado.



Como a componente x da segunda lei de Newton é mg sen $\theta = -ma$, a aceleração é $a = -g$ sen θ. Colocando a origem na base do plano inclinado, podemos usar as seguintes equações da Tabela 2-1 para o movimento do bloco ao longo do eixo x: $v^2 = v_0^2 + 2ax$ e $v = v_0 + at$. Como o bloco para momentaneamente ao atingir o ponto mais alto do trajeto, de acordo com a segunda equação, isso ocorre no instante $t = -v_0/a$

ANALISE (a) A coordenada x do ponto em que o bloco atinge o ponto mais alto do trajeto é

$$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = v_0\left(\frac{-v_0}{a}\right) + \frac{1}{2}a\left(\frac{-v_0}{a}\right)^2 = -\frac{1}{2}\frac{v_0^2}{a} = -\frac{1}{2}\left(\frac{(3{,}50\ \text{m/s})^2}{-\left(9{,}8\ \text{m/s}^2\right)\text{sen}\ 32{,}0°}\right) = 1{,}18\ \text{m}.$$

(b) O tempo que o bloco leva para chegar a esse ponto é

$$t = \frac{v_0}{a} = -\frac{v_0}{-g\,\text{sen}\,\theta} = -\frac{3{,}50\,\text{m/s}}{-(9.8\,\text{m/s}^2)\,\text{sen}\,32{,}0°} = 0{,}674\ \text{s}$$

(c) Como o problema não envolve forças dissipativas, é de se esperar que a velocidade do bloco ao chegar de volta ao ponto de partida seja igual à velocidade inicial. Uma forma de demonstrar que isso é verdade é fazer $x = 0$ na equação $x = v_0 t + at^2/2$ para determinar o tempo total de percurso (tempo de subida mais tempo de descida). O resultado é

$$t = -\frac{2v_0}{a} = -\frac{2v_0}{-g\,\text{sen}\,\theta} = -\frac{2(3{,}50\ \text{m/s})}{-(9{,}8\ \text{m/s}^2)\ \text{sen}\,32{,}0°} = 1{,}35\ \text{s}$$

A velocidade do bloco ao chegar de volta ao ponto de partida é, portanto,

$$v = v_0 + at = v_0 - gt\,\text{sen}\,\theta = 3{,}50\ \text{m/s} - (9{,}8\ \text{m/s}^2)(1{,}35\ \text{s})\text{sen}32° = -3{,}50\ \text{m/s}$$

O sinal negativo indica que o sentido da velocidade é para baixo.

APRENDA Como era esperado, a velocidade do bloco ao chegar de volta ao ponto de partida é igual à velocidade inicial. Como vamos ver no Capítulo 8, esse fato é uma consequência da lei de conservação da energia. Se houvesse atrito entre o bloco e a superfície do plano inclinado, a velocidade do bloco ao chegar de volta ao ponto de partida seria menor que a velocidade inicial.

32. (a) Se o disco está em repouso,

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = (6{,}00\angle 150°) + (7{,}00\angle -60{,}0°) + \vec{F}_3 = 0,$$

em que os ângulos estão expressos em referência ao semieixo x positivo da Fig. 5-39. Assim,

$$\vec{F}_3 = -(6{,}00\angle 150°) - (7{,}00\angle -60{,}0°) = (1{,}70\ \text{N})\hat{\text{i}} + (3{,}06\ \text{N})\hat{\text{j}}.$$

(b) Se o disco está se movendo com velocidade constante, a aceleração é nula, a força resultante é nula e, portanto, a resposta é a mesma do item anterior.

(c) Nesse caso, a aceleração é $\vec{a} = \dfrac{d\vec{v}}{dt} = (13{,}0\ \text{m/s}^2)\hat{\text{i}} - (14{,}0\ \text{m/s}^2)\hat{\text{j}}$. Usando a equação $\vec{F}_{\text{res}} = m\vec{a}$ (com $m = 0{,}025$ kg), obtemos:

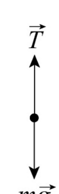
$$\vec{F}_3 = (2{,}02\ \text{N})\ \hat{\text{i}} + (2{,}71\ \text{N})\ \hat{\text{j}}.$$

33. O diagrama de corpo livre do sistema é mostrado na figura a seguir. Seja $\vec{T}$ a tração do cabo e seja $m\vec{g}$ o peso do elevador. Tomando o sentido para cima como positivo, a Segunda Lei de Newton nos dá $T - mg = ma$, em que a é a aceleração do elevador. A tração do cabo é, portanto, $T = m(g + a)$. Para calcular a aceleração, usamos a Eq. 2-16, $v^2 = v_0^2 + 2ay$, com $v = 0$, $v_0 = -12$ m/s e $y = -42$ m. O resultado é o seguinte:

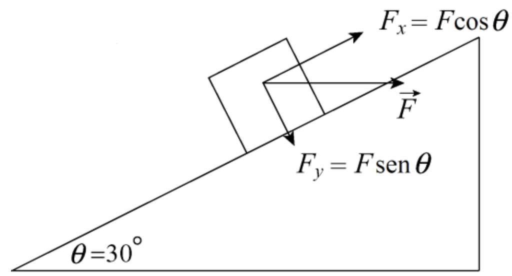
$$a = -\frac{v_0^2}{2y} = -\frac{(-12\ \text{m/s})^2}{2(-42\ \text{m})} = 1{,}71\ \text{m/s}^2.$$

Agora podemos calcular a tração:

$$\begin{aligned} T &= m(g + a) \\ &= (1600\ \text{kg})\left(9{,}8\ \text{m/s}^2 + 1{,}71\ \text{m/s}^2\right) \\ &= 1{,}8 \times 10^4\ \text{N}. \end{aligned}$$



34. Vamos separar a força horizontal em duas componentes, uma ao longo do plano e outra perpendicular, como mostra a figura.



(a) Aplicando a Segunda Lei de Newton às componentes x das forças, temos:

$$F\ \cos\theta - mg\ \mathrm{sen}\,\theta = ma.$$

Para $a = 0$, essa equação nos dá $F = 566$ N.

(b) Aplicando a Segunda Lei de Newton às componentes y das forças, temos:

$$F_N - F\ \mathrm{sen}\,\theta - mg\cos\theta = 0$$

o que nos dá $F_N = 1{,}13 \times 10^3$ N.

35. Podemos calcular a aceleração a partir da velocidade:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}\left(8{,}00t\ \hat{\mathrm{i}} + 3{,}00t^2\ \hat{\mathrm{j}}\right)\ \mathrm{m/s} = (8{,}00\ \hat{\mathrm{i}} + 6{,}00t\ \hat{\mathrm{j}})\ \mathrm{m/s^2}.$$

(a) O módulo da força que age sobre a partícula é

$$F = ma = m\,|\vec{a}| = (3{,}00)\sqrt{(8{,}00)^2 + (6{,}00t)^2} = (3{,}00)\sqrt{64{,}0 + 36{,}0\,t^2}\ \mathrm{N}.$$

Assim, $F = 35{,}0$ N corresponde a $t = 1{,}415$ s e o vetor aceleração nesse instante é

$$\vec{a} = [8{,}00\ \hat{\mathrm{i}} + 6{,}00(1{,}415)\ \hat{\mathrm{j}}]\ \mathrm{m/s^2} = (8{,}00\ \mathrm{m/s^2})\ \hat{\mathrm{i}} + (8{,}49\ \mathrm{m/s^2})\hat{\mathrm{j}}.$$

O ângulo que o vetor $\vec{a}$ faz com o semieixo x positivo é

$$\theta_a = \tan^{-1}\left(\frac{a_y}{a_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{8{,}49\ \mathrm{m/s^2}}{8{,}00\ \mathrm{m/s^2}}\right) = 46{,}7°.$$

(b) O vetor velocidade no instante $t = 1{,}415$ s é

$$\vec{v} = \left[8{,}00(1{,}415)\ \hat{\mathrm{i}} + 3{,}00(1{,}415)^2\ \hat{\mathrm{j}}\right]\mathrm{m/s} = (11{,}3\ \mathrm{m/s})\ \hat{\mathrm{i}} + (6{,}01\ \mathrm{m/s})\hat{\mathrm{j}}.$$

O ângulo que o vetor $\vec{v}$ faz com o semieixo x positivo é

$$\theta_v = \tan^{-1}\left(\frac{v_y}{v_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{6{,}01\ \mathrm{m/s}}{11{,}3\ \mathrm{m/s}}\right) = 28{,}0°.$$

36. (a) Se a velocidade do esquiador é constante, a aceleração é nula, o que significa que a força "encosta acima" deve ser igual (em módulo) à força "encosta abaixo": $T = mg\ \mathrm{sen}\ \theta$. Assim, com $m = 50$ kg e $\theta = 8{,}0°$, a tração da corda é 68 N.

(b) Com uma aceleração encosta acima de 0,10 m/s², temos, de acordo com a Segunda Lei de Newton,

$$T - mg \text{ sen } \theta = ma \quad \Rightarrow \quad T - (50 \text{ kg})(9{,}8 \text{ m/s}^2)\text{sen}\, 8{,}0° = (50 \text{ kg})(0{,}10 \text{ m/s}^2)$$

o que nos dá $T = 73$ N.

37. (a) Como o atrito é nulo, a única força horizontal a que o trenó está submetido é a força exercida pela moça. A aceleração do trenó pode ser calculada usando a Segunda Lei de Newton:

$$a_t = \frac{F}{m_t} = \frac{5{,}2 \text{ N}}{8{,}\text{kg}} = 0{,}62 \text{ m/s}^2 \ .$$

(b) De acordo com a Terceira Lei de Newton, a força que o trenó exerce sobre a moça é igual (em módulo) à força que a moça exerce sobre o trenó, 5,2 N. A aceleração da moça pode ser calculada usando a Segunda Lei de Newton:

$$a_m = \frac{F}{m_m} = \frac{5{,}2 \text{ N}}{40 \text{ kg}} = 0{,}13 \text{ m/s}^2 \ .$$

(c) As acelerações do trenó e da moça têm sentidos opostos. Supondo que a moça está inicialmente na origem e se move no sentido positivo do eixo x, sua coordenada é dada por $x_m = \frac{1}{2}a_m t^2$. O trenó está inicialmente no ponto $x_0 = 15$ m e se move no sentido negativo do eixo x; sua coordenada é dada por $x_t = x_0 - \frac{1}{2}a_t t^2$. O trenó e a moça se encontram quando $x_m = x_t$, ou $\frac{1}{2}a_m t^2 = x_0 - \frac{1}{2}a_t t^2$.

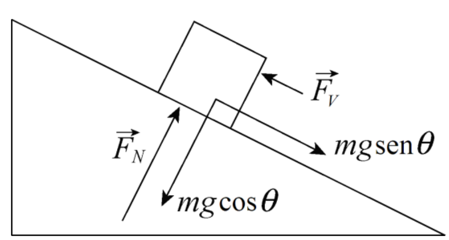
Isso acontece no instante

$$t = \sqrt{\frac{2x_0}{a_m + a_t}}.$$

Nesse instante, a moça percorreu uma distância

$$x_g = \frac{1}{2}a_m t^2 = \frac{x_0 a_m}{a_m + a_t} = \frac{(15 \text{ m})(0{,}13 \text{ m/s}^2)}{0{,}13 \text{ m/s}^2 + 0{,}62 \text{ m/s}^2} = 2{,}6 \text{ m}.$$

38. O esquiador está representado por um bloco na figura a seguir. A força do vento foi chamada de $\vec{F}_v$ e pode ser "encosta acima" ou "encosta abaixo" (na figura, o vento está soprando encosta acima). O sentido positivo do eixo x é encosta acima.



(a) Se a velocidade do esquiador é constante, a aceleração é nula; assim, aplicando a Segunda Lei de Newton às componentes paralelas à superfície da encosta, temos:

$$mg \text{ sen } \theta - F_v = 0$$

o que nos dá $F_v = 68$ N (encosta acima).

(b) Para nossa escolha de eixos, $a = 1{,}0$ m/s². De acordo com a Segunda Lei de Newton,

$$mg \text{ sen } \theta - F_v = ma$$

o que nos dá $F_v = 28$ N (encosta acima).

(c) Nesse caso, a equação

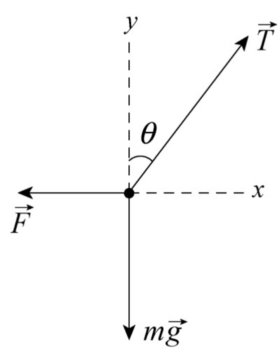
$$mg \text{ sen } \theta - F_v = ma$$

nos dá $F_v = -12$ N. Isso significa que, nesse caso, o vento sopra no sentido oposto ao que está representado na figura. Em outras palavras, para que a aceleração do esquiador seja 2,0 m/s^2, é preciso que exista um vento de módulo 12 N soprando *encosta abaixo*.

39. É mais fácil resolver primeiro o item (b). A figura abaixo mostra o diagrama de corpo livre do sistema, com a tração da corda $\vec{T}$, o peso da esfera $m\vec{g}$ e a força da brisa $\vec{F}$. Como a esfera está em repouso, a força resultante é nula e as componentes x e y das forças envolvidas obedecem às seguintes equações:

$$T \text{ sen } \theta - F = 0$$

$$T \cos \theta - mg = 0$$



Explicitando T na segunda equação, obtemos:

$$T = mg/\cos\theta = (3{,}0 \times 10^{-4} \text{ kg})\,(9{,}8 \text{ m/s}^2)\,/\cos 37° = 3{,}7 \times 10^{-3} \text{ N}.$$

Explicitando F na primeira equação, obtemos:

$$F = T \text{ sen } \theta = (3{,}7 \times 10^{-3} \text{ N}) \text{ sen } 37° = 2{,}2 \times 10^{-3} \text{ N}.$$

40. A aceleração de um objeto, sujeito apenas ao próprio peso, que sobe um plano inclinado sem atrito de ângulo θ, é $a = -g \text{ sen}\theta$. A inclinação do gráfico da Fig. 5-41 mostra que $a = -2{,}50$ m/s^2, o que nos dá $\theta = 14{,}8°$. Como a soma das componentes das forças perpendiculares à superfície do plano inclinado deve ser nula, já que a aceleração da caixa nessa direção é nula, $F_N = mg \cos\theta$. Assim, o módulo na força normal que a rampa exerce sobre a caixa é (5,00 kg)(9,8 m/s^2) cos 14,8º = 47,4 N.

41. A massa da caixa é m = (449 N)/(9,80 m/s^2) = 45,8 kg e escolhemos o sentido positivo do eixo y como sendo para cima.

(a) De acordo com a Segunda Lei de Newton, temos:

$$T - mg = ma \;\Rightarrow\; a = \frac{387 \text{ N} - 449 \text{ N}}{45{,}8 \text{ kg}}$$

o que nos dá $a = -1{,}4$ m/s^2 (ou $|a| = 1{,}4$ m/s^2). O sinal negativo indica que o vetor aceleração aponta para baixo. Qualquer aceleração para baixo de módulo maior que esse valor é aceitável, já que resultaria em valores menores da tensão do cabo.

(b) Usamos a Eq. 2-16 com y no lugar de x, $y - y_0 = -6{,}1$ m e $\theta_0 = 0$. O resultado é o seguinte:

$$|v| = \sqrt{2a\Delta y} = \sqrt{2\left(-1{,}35 \text{ m/s}^2\right)\left(-6{,}1 \text{ m}\right)} = 4{,}1 \text{ m/s}.$$

42. Vamos tomar a direção do movimento como eixo $+\hat{\text{i}}$ e escolher o eixo $+\hat{\text{j}}$ de tal forma que a força $\vec{F}_c$ exercida pelo cavalo esteja no primeiro quadrante. As componentes da força exercida pela água são chamadas de F_x e F_y.

(a) Aplicando a Segunda Lei de Newton às componentes *x* e *y* das forças envolvidas, temos:

$$(7900\ \text{N})\cos 18^\circ + F_x = ma$$
$$(7900\ \text{N})\,\text{sen}\,18^\circ + F_z = 0$$

Fazendo a = 0,12 m/s^2 e m = 9500 kg, obtemos $F_x = -\,6{,}4 \times 10^3$ N e $F_y = -\,2{,}4 \times 10^3$ N. O módulo da força exercida pela água é, portanto,

$$F_{\text{água}} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 6{,}8 \times 10^3\ \text{N}.$$

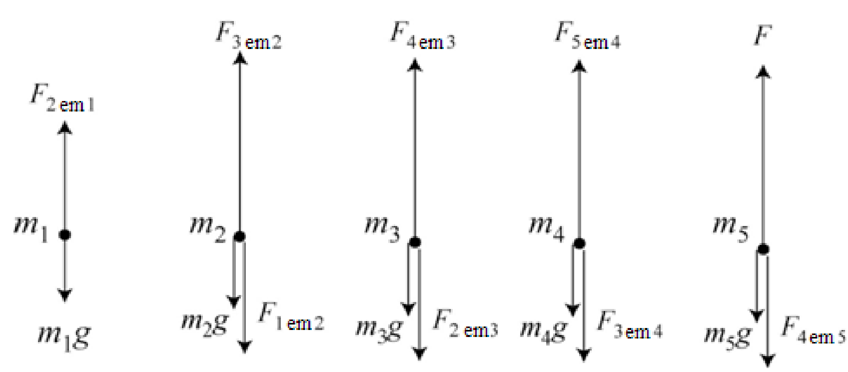
(b) O ângulo em relação ao semieixo *x* positivo é dado por

$$\tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right) = 21^\circ \text{ ou } 201^\circ$$

Os sinais das componentes mostram que a segunda escolha é a correta. Assim, o ângulo da força exercida pela água sobre a barcaça faz um ângulo de 201° com a direção do movimento da barcaça.

43. PENSE Uma corrente com cinco elos está sendo acelerada verticalmente para cima por uma força externa, e queremos calcular as forças exercidas pelos elos sobre os elos vizinhos.

FORMULE Os elos estão numerados de baixo para cima. As forças a que o primeiro elo está sujeito são a força gravitacional $m\vec{g}$, que aponta para baixo, e a força $\vec{F}_{2\text{ em }1}$ do elo 2 sobre o elo 1, que aponta para cima, como mostra o diagrama de corpo livre, abaixo (que não foi desenhado em escala). Considerando o sentido para cima como positivo, a aplicação da segunda lei de Newton ao primeiro elo nos dá $F_{2\text{ em }1} - m_1 g = m_1 a$. As equações para os outros elos podem ser escritas de forma semelhante, com base nos diagramas de corpo livre da figura a seguir.



ANALISE (a) Como $F_{2\text{ em }1} - m_1 g = m_1 a$, a força que o elo 2 exerce sobre o elo 1 é

$$F_{2\text{em}1} = m_1(a+g) = (0{,}100\ \text{kg})(2{,}5\ \text{m/s}^2 + 9{,}80\ \text{m/s}^2) = 1{,}23\ \text{N}$$

(b) De acordo com um dos diagramas de corpo livre, as forças a que o segundo elo está sujeito são a força gravitacional $m_2\vec{g}$, que aponta para baixo, a força $\vec{F}_{1\text{ em }2}$ exercida pelo elo 1, que aponta para baixo, e a força $\vec{F}_{3\text{ em }2}$ exercida pelo elo 3, que aponta para cima. De acordo com a terceira lei de Newton, $\vec{F}_{1\text{ em }2}$ e $\vec{F}_{2\text{ em }1}$ são iguais em módulo, ou seja, $F_{1\text{ em }2} = F_{2\text{ em }1}$. Aplicando a segunda lei de Newton ao segundo elo, obtemos

$$F_{3\text{em}2} - F_{1\text{em}2} - m_2 g = m_2 a$$

Portanto,

$$F_{3\text{em}2} = m_2(a+g) + F_{1\text{em}2} = (0{,}100\ \text{kg})\ (2{,}50\ \text{m/s}^2 + 9{,}80\ \text{m/s}^2) + 1{,}23\ \text{N} = 2{,}46\ \text{N}$$

(c) Aplicando a segunda lei de Newton ao terceiro elo, obtemos $\vec{F}_{4\text{ em }3} - \vec{F}_{2\text{ em }3} - m_3 g = m_3 a$, o que nos dá

$$F_{4\text{em}3} = m_3(a+g) + F_{2\text{em}3} = (0{,}100\text{ N})\,(2{,}50\text{ m/s}^2 + 9{,}80\text{ m/s}^2) + 2{,}46\text{ N} = 3{,}69\text{ N}$$

em que usamos a terceira lei de Newton para substituir $F_{2\text{ em }3}$ por $F_{3\text{ em }2}$.

(d) Aplicando a segunda lei de Newton ao quarto elo, obtemos

$$F_{5\text{em}4} - F_{3\text{em}4} - m_4 g = m_4 a$$

o que nos dá

$$F_{5\text{em}4} = m_4(a+g) + F_{3\text{em}4} = (0{,}100\text{ kg})\,(2{,}50\text{ m/s}^2 + 9{,}80\text{ m/s}^2) + 3{,}69\text{ N} = 4{,}92\text{ N}$$

em que usamos a terceira lei de Newton para substituir $F_{3\text{ em }4}$ por $F_{4\text{ em }3}$.

(e) Aplicando a segunda lei de Newton ao quinto elo, obtemos $F - F_{4\text{ em }5} - m_5 g = m_5 a$, o que nos dá

$$F = m_5(a+g) + F_{4\text{em}5} = (0{,}100\text{ kg})\,(2{,}50\text{ m/s}^2 + 9{,}80\text{ m/s}^2) + 4{,}92\text{ N} = 6{,}15\text{ N}$$

em que usamos a terceira lei de Newton para substituir $F_{4\text{ em }5}$ por $F_{5\text{ em }4}$.

(f) Como todos os elos têm a mesma massa ($m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m_5 = m$) e a mesma aceleração, eles estão sujeitos à mesma força:

$$F_{\text{tot}} = ma = (0{,}100\text{ kg})\,(2{,}50\text{ m/s}^2) = 0{,}250\text{ N}$$

APRENDA Para resolver este problema, usamos, além da segunda lei de Newton, que relaciona força e aceleração, a terceira lei de Newton, segundo a qual, para dois elos vizinhos *i* e *j*, $\vec{F}_{i\text{ em }j} = -\vec{F}_{j\text{ em }i}$.

44. (a) O termo "desaceleração" significa que o vetor aceleração e o vetor velocidade têm sentidos opostos. Tomando o sentido para cima do eixo *y* como positivo e sabendo que, de acordo com o enunciado do problema, a velocidade do elevador aponta para baixo, a aceleração é $a = +2{,}4\text{ m/s}^2$. De acordo com a segunda lei de Newton,

$$T - mg = ma \quad \Rightarrow \quad m = \frac{T}{g+a} = \frac{89}{9{,}8+2{,}4} = 7{,}3\text{ kg.}$$

(b) Como a aceleração é a mesma do item (a), repetindo o cálculo anterior para o valor da massa calculado no item (a) e considerando o valor de *T* como incógnita, obtemos, naturalmente, $T = 89$ N. Isso é natural, já que o valor da velocidade do elevador não entrou nos cálculos.

45. (a) A massa do elevador é $m = (27.800/9{,}80) = 2837$ kg e (tomando o sentido para cima do eixo *y* como positivo) a aceleração é $a = +1{,}22\text{ m/s}^2$. De acordo com a Segunda Lei de Newton,

$$T - mg = ma \;\Rightarrow\; T = m(g + a)$$

o que nos dá $T = 3{,}13 \times 10^4$ N.

(b) O termo "desaceleração" significa que o vetor aceleração tem o sentido oposto ao do vetor velocidade (que, de acordo com o enunciado do problema, aponta para cima). Assim, a aceleração agora é $a = -1{,}22\text{ m/s}^2$ e a tensão do cabo é

$$T = m\,(g + a) = 2{,}43 \times 10^4\text{ N}\,.$$

46. Usando a_{me} para designar a "aceleração da moeda em relação ao elevador" e a_{es} para designar a "aceleração do elevador em relação ao solo", temos:

$$a_{\text{me}} + a_{\text{es}} = a_{\text{ms}} \quad \Rightarrow \quad -8{,}00\text{ m/s}^2 + a_{\text{es}} = -9{,}80\text{ m/s}^2$$

o que nos dá $a_{\text{es}} = -1{,}80\text{ m/s}^2$. Escolhemos o sentido positivo do eixo *y* como para cima. Nesse caso, a Segunda Lei de Newton (no referencial do solo) nos dá $T - mg = ma_{\text{es}}$ e, portanto,

$$T = mg + ma_{es} = m(g + a_{es}) = (2000 \text{ kg})(8{,}00 \text{ m/s}^2) = 16{,}0 \text{ kN}.$$

47. De acordo com a Eq. 4-26, a velocidade de lançamento foi

$$v_0 = \sqrt{\frac{gR}{\text{sen}\, 2\theta}} = \sqrt{\frac{(9{,}8 \text{ m/s}^2)(69 \text{ m})}{\text{sen}\, 2(53°)}} = 26{,}52 \text{ m/s}.$$

As componentes horizontal e vertical da velocidade são:

$$v_x = v_0 \cos\theta = (26{,}52 \text{ m/s})\cos 53° = 15{,}96 \text{ m/s}$$
$$v_y = v_0 \,\text{sen}\,\theta = (26{,}52 \text{ m/s})\,\text{sen}\, 53° = 21{,}18 \text{ m/s}.$$

Como a aceleração é constante, podemos usar a Eq. 2-16 para analisar o movimento. A componente da aceleração na direção horizontal é

$$a_x = \frac{v_x^2}{2x} = \frac{(15{,}96 \text{ m/s})^2}{2(5{,}2 \text{ m})\cos 53°} = 40{,}7 \text{ m/s}^2,$$

e a componente da força é

$$F_x = ma_x = (85 \text{ kg})(40{,}7 \text{ m/s}^2) = 3460 \text{ N}.$$

A componente da aceleração na direção vertical é

$$a_y = \frac{v_y^2}{2y} = \frac{(21{,}18 \text{ m/s})^2}{2(5{,}2 \text{ m})\,\text{sen}\, 53°} = 54{,}0 \text{ m/s}^2.$$

A componente da força é

$$F_y = ma_y + mg = (85 \text{ kg})(54{,}0 \text{ m/s}^2 + 9{,}80 \text{ m/s}^2) = 5424 \text{ N}.$$

Assim, o módulo da força é

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(3460 \text{ N})^2 + (5424 \text{ N})^2} = 6434 \text{ N} \approx 6{,}4\times 10^3 \text{ N}.$$

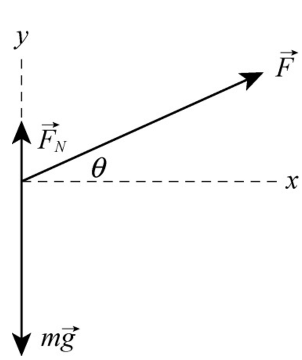
48. Aplicando a Segunda Lei de Newton ao elevador *B* (de massa *m*), temos:

$$a = \frac{T}{m} - g = 4{,}89 \text{ m/s}^2.$$

Aplicando a Segunda Lei de Newton à caixa (de massa m_c), temos:

$$F_N = m_c(g + a) = 176 \text{ N}.$$

49. A figura a seguir mostra o diagrama de corpo livre do bloco (que não foi desenhado em escala). $\vec{F}_N$ é a força normal exercida pelo piso e $m\vec{g}$ é a força da gravidade.



(a) Aplicando a Segunda Lei de Newton ao eixo x, obtemos a equação $F \cos\theta = ma$, na qual m é a massa do bloco e a é a componente x da aceleração. Temos:

$$a = \frac{F\cos\theta}{m} = \frac{(12{,}0\,\text{N})\cos 25{,}0°}{5{,}00\,\text{kg}} = 2{,}18\ \text{m/s}^2.$$

Aplicando a Segunda Lei de Newton ao eixo y, obtemos a equação $F_N + F\,\text{sen}\theta - mg = 0$, na qual F_N é o módulo normal. Essa equação só é válida para valores positivos de F_N; valores negativos significam que o bloco não está mais em contato com o piso e, portanto, $F_N = 0$. O resultado é o seguinte:

$$F_N = mg - F\,\text{sen}\theta = (5{,}00\ \text{kg})(9{,}80\ \text{m/s}^2) - (12{,}0\ \text{N})\,\text{sen}\,25{,}0° = 43{,}9\ \text{N}.$$

Assim, o bloco permanece em contato com o piso.

(b) Se F é a força mínima para a qual o bloco deixa o piso, $F_N = 0$ e a aplicação da Segunda Lei de Newton ao eixo y nos dá

$$F\,\text{sen}\theta - mg = 0 \quad \Rightarrow \quad F = \frac{mg}{\text{sen}\,\theta} = \frac{(5{,}00\ \text{kg})(9{,}80\ \text{m/s}^2)}{\text{sen}\,25{,}0^o} = 116\ \text{N}.$$

(c) Aplicando a mesma equação do item (a) com a força F encontrada no item (b), temos:

$$a = \frac{F\cos\theta}{m} = \frac{(116\,\text{N})\cos 25{,}0°}{5{,}00\,\text{kg}} = 21{,}0\ \text{m/s}^2.$$

50. (a) A força total que age sobre o *sistema* (cuja massa total é $M = 80{,}0$ kg) é o peso das caixas que estão penduradas ($m_B + m_C = 50{,}0$ kg). O módulo da aceleração é, portanto, $a = (m_B + m_C)g/M = 6{,}125$ m/s². Aplicando a Segunda Lei de Newton à caixa C e tomando o sentido positivo do eixo y como para baixo, obtemos:

$$m_C g - T_{BC} = m_C a,$$

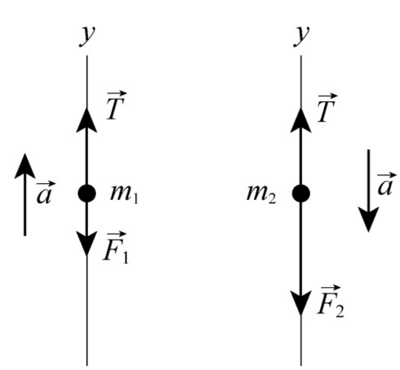
o que nos dá $T_{BC} = 36{,}8$ N.

(b) De acordo com a Eq. 2-15 (escolhendo o sentido para a direita como sentido positivo do eixo x), temos: $x - x_0 = 0 + at^2/2 = 0{,}191$ m.

51. A figura a seguir mostra os diagramas de corpo livre dos blocos m_1 e m_2. As únicas forças que agem sobre os blocos são a tensão da corda $\vec{T}$ e as forças gravitacionais $\vec{F}_1 = m_1 g$ e $\vec{F}_2 = m_2 g$. De acordo com a Segunda Lei de Newton, temos:

$$T - m_1 g = m_1 a$$

$$m_2 g - T = m_2 a$$



Resolvendo esse sistema de equações, obtemos:

$$a = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}\right) g$$

Substituindo esse resultado em uma das equações, temos:

$$T = \left(\frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2}\right) g$$

(a) Para m_1 = 1,3 kg e m_2 = 2,8 kg, a aceleração é

$$a=\left(\frac{2,80\text{ kg}-1,30\text{ kg}}{2,80\text{ kg}+1,30\text{ kg}}\right)(9,80\text{ m/s}^2)=3,59\text{ m/s}^2\approx 3,6\text{ m/s}^2.$$

(b) Para m_1 = 1,3 kg e m_2 = 2,8 kg, a tensão da corda é

$$T=\frac{2(1,30\text{ kg})(2,80\text{ kg})}{1,30\text{ kg}+2,80\text{ kg}}(9,80\text{ m/s}^2)=17,4\text{ N}\approx 17\text{ N}.$$

52. Ao considerar o conjunto homem-corda-saco de areia como um sistema, devemos tomar cuidado com a escolha do sentido do movimento para que as equações sejam coerentes. Vamos considerar positivo o sentido do movimento do homem e negativo o sentido do movimento do saco de areia. Nesse caso, a força resultante que age sobre o sistema é a diferença entre o peso do homem e o peso do saco de areia, e a massa do sistema é a soma da massa do homem com a massa do saco de areia. Assim, aplicando a Segunda Lei de Newton ao sistema, obtemos a seguinte equação:

$$(85\text{ kg})(9,8\text{ m/s}^2)-(65\text{ kg})(9,8\text{ m/s}^2)=(150\text{ kg})a$$

o que nos dá a = 1,3 m/s². De acordo com a Eq. 2-16, temos:

$$v=\sqrt{2a(y-y_0)}=\sqrt{2(1,3\text{ m/s}^2)(10\text{ m})}=5,1\text{ m/s}.$$

53. Aplicamos a Segunda Lei de Newton duas vezes: primeiro aos três blocos como um todo e depois ao primeiro bloco. Escolhemos o sentido para a direita na Fig. 5-48 como sentido positivo do eixo x.

(a) Fazendo $m_{\text{total}} = m_1 + m_2 + m_3$ = 67,0 kg, aplicamos a Eq. 5-2 ao movimento do sistema sob a ação da força T_3. O resultado é o seguinte:

$$T_3=m_{\text{total}}a \quad\Rightarrow\quad 65,0\text{ N}=(67,0\text{ kg})a$$

o que nos dá a = 0,970 m/s² como aceleração do sistema (e, portanto, como aceleração de qualquer dos blocos).

(b) Aplicando a Eq. 5-2 ao bloco 1, temos:

$$T_1=m_1a=(12,0\text{ kg})(0,970\text{ m/s}^2)=11,6\text{ N}.$$

(c) Para determinar T_2, podemos analisar as forças que agem sobre o bloco 3 ou analisar as forças que agem sobre o conjunto formado pelos blocos 1 e 2. Vamos usar a segunda abordagem.

$$T_2=(m_1+m_2)a=(12,0\text{ kg}+24,0\text{ kg})(0,970\text{ m/s}^2)=34,9\text{ N}.$$

54. Para começar, consideramos todos os pinguins (numerados de 1 a 4, começando pela esquerda) como um único sistema, ao qual aplicamos a Segunda Lei de Newton:

$$T_4=(m_1+m_2+m_3+m_4)a \quad\Rightarrow\quad 222\text{ N}=(12\text{ kg}+m_2+15\text{ kg}+20\text{ kg})a.$$

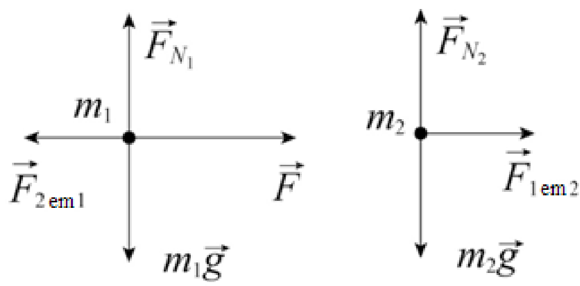
Em seguida, consideramos os pinguins 3 e 4 como um sistema, ao qual também aplicamos a Segunda Lei de Newton:

$$\begin{aligned}&T_4-T_2=(m_3+m_4)a\\&111\text{ N}=(15\text{ kg}+20\text{ kg})a \quad\Rightarrow\quad a=3,2\text{ m/s}^2\end{aligned}$$

Substituindo na primeira equação, obtemos m_2 = 23 kg.

55. PENSE Neste problema, uma força horizontal é aplicada a um bloco, que, por sua vez, exerce uma força sobre outro bloco. Os dois blocos se movem com a mesma aceleração.

FORMULE A figura mostra os diagramas de corpo livre dos dois blocos para a situação do item (a). $\vec{F}$ é a força aplicada ao bloco 1, e $\vec{F}_{1\text{ em }2}$ é a força que o bloco 1 exerce sobre o bloco 2. Note que, de acordo com a terceira lei de Newton, o bloco 2 exerce uma força $\vec{F}_{2\text{ em }1} = -\vec{F}_{1\text{ em }2}$ sobre o bloco 1.

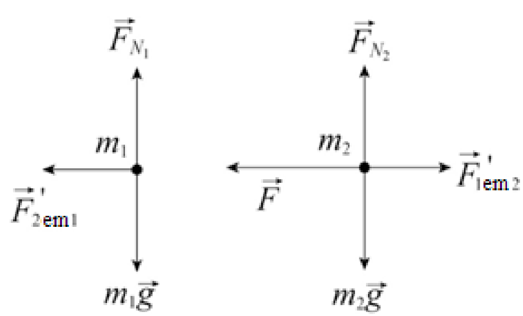


Aplicando a segunda lei de Newton ao bloco 1, obtemos a equação $F - F_{2\text{ em }1} = m_1 a$, em que a é a aceleração. Aplicando a segunda lei de Newton ao bloco 2, obtemos a equação $F_{1\text{ em }2} = m_2 a$. Como os blocos se movem juntos, eles sofrem a mesma aceleração.

ANALISE (a) A segunda equação nos dá a relação $a = F_{1\text{ em }2}/m_2$, que podemos substituir na primeira equação para obter $F - F_{2\text{ em }1} = m_1 F_{1\text{ em }2}/m_2$. Como $F_{2\text{ em }1} = F_{1\text{ em }2}$, temos

$$F_{2\,\text{em}\,1} = F_{1\,\text{em}\,2} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} F = \frac{1{,}2\text{ kg}}{2{,}3\text{ kg} + 1{,}2\text{ kg}}(3{,}2\text{ N}) = 1{,}1\text{ N}.$$

(b) Se a força $\vec{F}$ for aplicada ao bloco 2, no sentido oposto ao do caso anterior, os diagramas de corpo livre dos dois blocos ficarão assim:



A força de contato entre os dois blocos será

$$F'_{2\text{em}1} = F'_{1\text{em}2} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} F = \frac{2{,}3\text{ kg}}{2{,}3\text{ kg} + 1{,}2\text{ kg}}(3{,}2\text{ N}) = 2{,}1\text{ N}$$

(c) Note que a aceleração dos blocos é a mesma nos dois casos. No item (a), a força $F_{1\text{ em }2}$ é a única força horizontal aplicada ao bloco de massa m_2; no item (b), $F'_{2\text{ em }1}$ é a única força horizontal aplicada ao bloco de massa m_1. Como $F_{1\text{ em }2} = m_2 a$ no item (a), $F'_{2\text{ em }1} = m_1 a$ no item (b) e $m_1 > m_2$, para que as acelerações sejam iguais nos dois casos, devemos ter $F'_{2\text{ em }1} > F_{1\text{ em }2}$, ou seja, a força entre os blocos é maior na situação descrita no item (b).

APRENDA Este problema mostra que, no caso em que dois blocos de massas diferentes forem acelerados juntos por uma força externa, a força de contato entre os blocos será maior se a força externa for aplicada ao bloco de menor massa, como no item (b). No caso especial em que os blocos têm massas iguais, $m_1 = m_2 = m$, $F'_{2\text{ em }1} = F_{2\text{ em }1} = F/2$.

56. Como as duas situações envolvem a mesma força aplicada e a mesma massa total, a aceleração deve ser a mesma nos dois casos.

(a) Na situação da figura (b), de acordo com a Terceira Lei de Newton, se o bloco *A* empurra o bloco *B* com uma força de 10 N, o bloco *B* também empurra o bloco *A* com uma força de 10 N. Assim, a força (externa) que produz a aceleração do bloco *B* na situação da figura (a) (20 N) é duas vezes maior que a força (interna) que produz a mesma aceleração do bloco *A* na situação da figura (b)

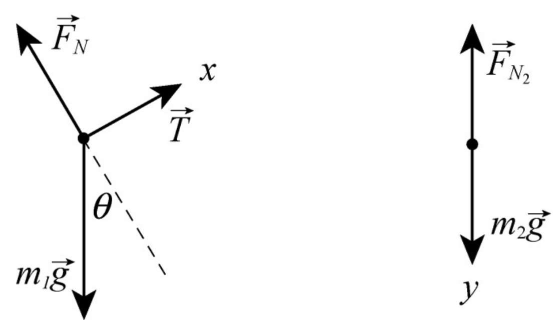
(10 N). De acordo com a Segunda Lei de Newton, a massa do bloco B é duas vezes maior que a massa do bloco A. Como a massa total é 12,0 kg, isso significa que a massa do bloco B é m_B = 8,00 kg e a massa do bloco A é m_A = 4,00 kg. Aplicando a Segunda Lei de Newton ao bloco B na situação da figura (a), a = (20,0 N)/(8,00 kg) = 2,50 m/s². Naturalmente, aplicando a Segunda Lei de Newton ao bloco A na situação da figura (b), obtemos o mesmo resultado para a aceleração: a = (10,0 N)/(4,00 kg) = 2,50 m/s².

(b) $\vec{F}_a = (12{,}0\text{ kg})(2{,}50\text{ m/s}^2)\,\hat{\text{i}} = (30{,}0\text{ N})\,\hat{\text{i}}$.

57. Os diagramas de corpo livre dos dois blocos são mostrados na figura a seguir. T é a tensão da corda e θ = 30° é o ângulo do plano inclinado. No caso do bloco 1, tomamos o eixo x paralelo à superfície do plano inclinado, apontando para cima, e o eixo y perpendicular ao plano inclinado, também apontando para cima. No caso do bloco 2, tomamos o eixo y apontando verticalmente para baixo. Desta forma, as acelerações dos dois blocos podem ser representadas pelo mesmo símbolo a, sem contradições. Aplicando a Segunda Lei de Newton aos eixos x e y do bloco 1 e ao eixo y do bloco 2, temos:

$$\begin{aligned} T - m_1 g \operatorname{sen}\theta &= m_1 a \\ F_N - m_1 g \cos\theta &= 0 \\ m_2 g - T &= m_2 a \end{aligned}$$

A primeira e a terceira dessas equações formam um sistema que podemos usar para calcular os valores de a e T. A segunda equação não é necessária para resolver o problema, já que a força normal não é pedida nem faz parte da solução (como aconteceria se houvesse atrito).



(a) Somando membro a membro a terceira equação à primeira, temos:

$$m_2 g - m_1 g \operatorname{sen}\theta = m_1 a + m_2 a.$$

Explicitando a aceleração a, obtemos:

$$a = \frac{(m_2 - m_1 \operatorname{sen}\theta)g}{m_1 + m_2} = \frac{[2{,}30\text{ kg} - (3{,}70\text{ kg})\operatorname{sen}30{,}0^\circ](9{,}80\text{ m/s}^2)}{3{,}70\text{ kg} + 2{,}30\text{ kg}} = 0{,}735\text{ m/s}^2$$

(b) Como o valor de a é positivo, a aceleração do bloco que está pendurado é para baixo.

(c) A tensão da corda é

$$T = m_1 a + m_1 g \operatorname{sen}\theta = (3{,}70\text{ kg})(0{,}735\text{ m/s}^2) + (3{,}70\text{ kg})(9{,}80\text{ m/s}^2)\operatorname{sen}30{,}0^\circ = 20{,}8\text{ N}.$$

58. Vamos considerar positivo o movimento para cima do sistema homem-cadeira.

(a) Quando o homem está puxando a corda com uma força igual à tensão T da corda, a força total para cima a que está sujeito o sistema homem-cadeira é $2T$, já que as duas extremidades da corda exercem uma força T sobre o sistema. Assim, de acordo com a Segunda Lei de Newton, temos:

$$2T - mg = ma$$

e, portanto, para a = 0, T = 466 N.

(b) Para $a = +1{,}30$ m/s^2, a equação do item (a) nos dá $T = 527$ N .

(c) Se o homem não está segurando a corda (e, em vez disso, a corda é puxada por outra pessoa com uma força igual à tensão T), apenas uma extremidade da corda exerce uma força T sobre o sistema e, assim, de acordo com a Segunda Lei de Newton,

$$T - mg = ma$$

e, portanto, para $a = 0$, $T = 931$ N.

(d) Para $a = +1{,}30$ m/s^2, a equação do item (c) nos dá $T = 1{,}05 \times 10^3$ N.

(e) Como a corda exerce uma força T sobre a borda esquerda da polia e uma força T sobre a borda direita, a força total é $2T = 931$ N.

(f) A força é $2T = 1{,}05 \times 10^3$ N.

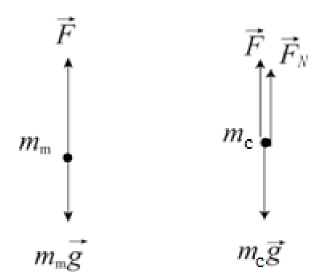
(g) A força é $2T = 1{,}86 \times 10^3$ N.

(h) A força é $2T = 2{,}10 \times 10^3$ N.

59. PENSE Este problema envolve a aplicação da terceira lei de Newton. Ao subir na árvore, o macaco exerce uma força para baixo sobre a corda, e a corda exerce uma força para cima sobre o macaco.

FORMULE Vamos tomar o sentido positivo do eixo y como sendo para cima, tanto no caso do macaco como no caso do caixote, e chamar de $\vec{F}$ a força que o macaco exerce sobre a corda.

A figura (que não foi desenhada em escala) mostra os diagramas de corpo livre do macaco e do caixote. Como, de acordo com a Terceira Lei de Newton, a corda exerce sobre o macaco uma força para cima igual em módulo à força que o macaco exerce sobre a corda, a aplicação, ao macaco, da segunda lei de Newton nos dá



$$F - m_m g = m_m a_m$$

em que m_m é a massa do macaco e a_m é a aceleração do macaco.

Como a massa da corda é desprezível, a força que a corda exerce sobre o caixote é igual à força que o macaco exerce sobre a corda. A aplicação da Segunda Lei de Newton ao caixote nos dá

$$F + F_N - m_c g = m_c a_c$$

em que m_c é a massa do caixote, a_c é a aceleração do caixote e F_N é a força normal que o solo exerce sobre o caixote. Se F é a força mínima necessária para levantar o caixote, $F_N = 0$, $a_c = 0$ e, de acordo com a equação anterior, $F = m_c g$.

ANALISE (a) Substituindo F por $m_c g$ na equação de movimento do macaco e explicitando a_m, obtemos

$$a_m = \frac{F - m_m g}{m_m} = \frac{(m_p - m_m)g}{m_m} = \frac{(15\text{ kg} - 10\text{ kg})(9{,}8\text{ m/s}^2)}{10\text{ kg}} = 4{,}9\text{ m/s}^2$$

(b) Como foi visto, a aplicação da segunda lei de Newton ao movimento do caixote nos dá $F - m_c g = m_c a_c'$, e a aplicação da Segunda Lei de Newton ao movimento do macaco nos dá $F - m_m g = m_m a_m'$. Se a aceleração do caixote é para baixo, a aceleração do macaco é para cima, ou seja, $a_m' = -a_c'$. Explicitando F na primeira equação, temos

$$F = m_c\left(g + a_c'\right) = m_c\left(g - a_m'\right)$$

Substituindo F pelo seu valor na segunda equação, obtemos

$$m_c(g - a_m') - m_m g = m_m a_m'$$

o que nos dá

$$a'_m = \frac{(m_c - m_m)g}{m_c + m_m} = \frac{(15\text{ kg} - 10\text{ kg})(9{,}8\text{ m/s}^2)}{15\text{ kg} + 10\text{ kg}} = 2{,}0\text{ m/s}^2$$

(c) O resultado é positivo, o que indica que a aceleração do macaco é para cima.

(d) Explicitando a força de tração da corda na equação de movimento do caixote, temos

$$F = m_c(g - a'_m) = (15\text{ kg})(9{,}8\text{ m/s}^2 - 2{,}0\text{ m/s}^2) = 120\text{N}$$

APRENDA As situações descritas nos itens (b), (c) e (d) são semelhantes às de uma máquina de Atwood. Se $m_c > m_m$, o caixote acelera para baixo e o macaco acelera para cima.

60. A componente horizontal da aceleração é determinada pela componente horizontal da força.

(a) Se a taxa de variação do ângulo é

$$\frac{d\theta}{dt} = (2{,}00\times10^{-2})°/\text{s} = (2{,}00\times10^{-2})°/\text{s}\cdot\left(\frac{\pi\text{ rad}}{180°}\right) = 3{,}49\times10^{-4}\text{ rad/s},$$

como $F_x = F\cos\theta$, a taxa de variação da aceleração é

$$\frac{da_x}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{F\cos\theta}{m}\right) = -\frac{F\,\text{sen}\,\theta}{m}\frac{d\theta}{dt} = -\frac{(20{,}0\text{ N})\,\text{sen}\,25{,}0°}{5{,}00\text{ kg}}\left(3{,}49\times10^{-4}\text{ rad/s}\right)$$
$$= -5{,}90\times10^{-4}\text{ m/s}^3.$$

(b) Se a taxa de variação do ângulo é

$$\frac{d\theta}{dt} = -(2{,}00\times10^{-2})°/\text{s} = -(2{,}00\times10^{-2})°/\text{s}\cdot\left(\frac{\pi\text{ rad}}{180°}\right) = -3{,}49\times10^{-4}\text{ rad/s},$$

a taxa de variação da aceleração é

$$\frac{da_x}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{F\cos\theta}{m}\right) = -\frac{F\,\text{sen}\,\theta}{m}\frac{d\theta}{dt} = -\frac{(20{,}0\text{ N})\,\text{sen}\,25{,}0°}{5{,}00\text{ kg}}\left(-3{,}49\times10^{-4}\text{ rad/s}\right)$$
$$= +5{,}90\times10^{-4}\text{ m/s}^3.$$

61. PENSE Quando a massa inerte de um balão de ar quente diminui, a aceleração do balão para cima aumenta.

FORMULE As forças que agem sobre o balão são a força gravitacional $m\vec{g}$ (que aponta para baixo) e a força de empuxo do ar $\vec{F}_a$ (que aponta para cima). Vamos tomar o sentido positivo do eixo *y* como sendo para cima e chamar de *a* o *módulo* da aceleração. Quando a massa do balão é *M* (antes que o lastro seja descartado), a aceleração é para baixo e a aplicação da segunda lei de Newton ao balão nos dá

$$Mg - F_a = Ma$$

Depois que o lastro é descartado, a massa do balão passa a ser $M - m$ (em que *m* é a massa do lastro), e a aceleração passa a ser para cima. Nesse caso, a Segunda Lei de Newton nos dá

$$F_a - (M - m)g = (M - m)a.$$

Combinando as duas equações, podemos obter o valor de *m*.

ANALISE A primeira equação nos dá $F_a = M(g - a)$; substituindo F_a por seu valor na segunda equação, obtemos

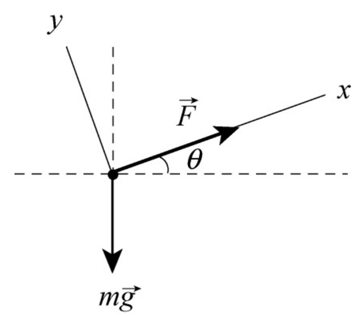
$$M(g-a)-(M-m)g=(M-m)a \;\Rightarrow\; m=\frac{2Ma}{g+a}$$

APRENDA No caso geral, se um lastro de massa m' é descartado, o balão sofre uma aceleração a' dada por

$$m' = M\frac{a'+a}{g+a}$$

ou seja, quanto maior é a massa descartada, maior é a aceleração para cima. Para $a' = a$, obtemos $m' = 2Ma/(g + a)$, o valor que havíamos calculado para as condições do problema.

62. Para resolver o problema, notamos que a aceleração em uma certa direção depende apenas das componentes das forças nessa direção.



(a) De acordo com o diagrama de corpo livre acima, a componente da força resultante na direção do eixo x é

$$F_{\text{res},x}=F-mg\,\text{sen}\,\theta=380,0\text{ N}-(7,260\text{ kg})(9,80\text{ m/s}^2)\,\text{sen}\,30°=344,4\text{ N},$$

o que nos dá

$$a_x=F_{\text{res},x}/m=(344,4\text{ N})/(7,260\text{ kg})=47,44\text{ m/s}^2.$$

De acordo com a Eq. 2-16, a velocidade do peso no final da fase de aceleração é

$$v=\sqrt{v_0^2+2a_x(x-x_0)}=\sqrt{(2,500\text{ m/s})^2+2(47,44\text{ m/s}^2)(1,650\text{ m})}=12,76\text{ m/s}.$$

(b) Para $\theta = 42°$, temos:

$$a_x=\frac{F_{\text{res},x}}{m}=\frac{F-mg\,\text{sen}\,\theta}{m}=\frac{380,0\text{ N}-(7,260\text{ kg})(9,80\text{ m/s}^2)\,\text{sen}\,42,00°}{7,260\text{ kg}}=45,78\text{ m/s}^2,$$

e a velocidade final é

$$v=\sqrt{v_0^2+2a_x(x-x_0)}=\sqrt{(2,500\text{ m/s})^2+2(45,78\text{ m/s}^2)(1,650\text{ m})}=12,54\text{ m/s}.$$

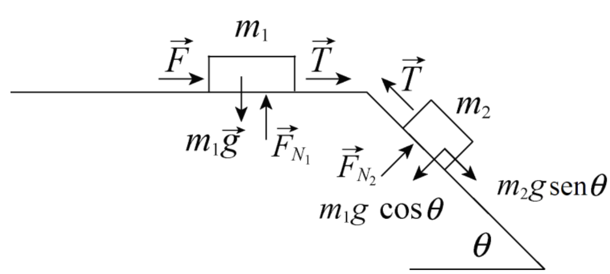
(c) A redução da velocidade de arremesso associada à mudança do ângulo de $30,00°$ para $42,00°$ é

$$\frac{12,76\text{ m/s}-12,54\text{ m/s}}{12,76\text{ m/s}}=0,0169=1,69\%.$$

63. (a) A aceleração (que é igual a F/m neste problema) é a derivada da velocidade. Assim, a velocidade é a integral de F/m, de modo que podemos calcular a "área sob a curva" no gráfico (15 unidades) e dividir pela massa (3) para obter $v - v_o = 15/3 = 5$. Como $v_o = 3{,}0$ m/s, $v = 8{,}0\,\text{m/s}$.

(b) Como a resposta do item (a) é positiva, $\vec{v}$ aponta no sentido positivo do eixo x.

64. Vamos tomar o sentido positivo do eixo x para o bloco de massa $m_2 = 1{,}0$ kg como "encosta abaixo" e o sentido positivo do eixo x para o bloco de massa $m_1 = 3{,}0$ kg como "para a direita"; assim, as acelerações dos dois blocos terão o mesmo sinal.



(a) Aplicando a Segunda Lei de Newton ao eixo x de cada bloco, temos:

$$m_2 g\,\text{sen}\,\theta - T = m_2 a$$
$$F + T = m_1 a$$

Somando as duas equações membro a membro e explicitando a aceleração, temos:

$$a = \frac{m_2 g\,\text{sen}\,\theta + F}{m_1 + m_2}$$

Para $F = 2{,}3$ N e $\theta = 30°$, temos $a = 1{,}8$ m/s^2. Substituindo em uma das equações, obtemos $T = 3{,}1$ N.

(b) Vamos considerar o caso "crítico" no qual F atingiu o valor que anula a tensão na corda. De acordo com a primeira equação do item (a), quando isso acontece, $a = g\,\text{sen}\,30°$; assim, $a = 4{,}9$ m/s^2. Substituindo na segunda equação do item (a) (e fazendo $T = 0$), obtemos:

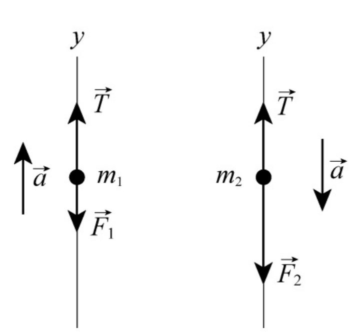
$$F = (3{,}0\text{ kg})(4{,}9\text{ m/s}^2) = 14{,}7\text{ N} \approx 15\text{ N}$$

65. As figuras mostram os diagramas de corpo livre dos dois recipientes. As únicas forças que agem sobre os recipientes são a tensão da corda e a força gravitacional. De acordo com a Segunda Lei de Newton, temos:

$$T - m_1 g = m_1 a$$
$$m_2 g - T = m_2 a$$

Resolvendo este sistema de equações, temos:

$$a = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}\right) g$$



(a) No instante $t = 0$, $m_{10} = 1{,}30$ kg. Para $dm_1/dt = -0{,}200$ kg/s, a taxa de variação da aceleração com o tempo é

$$\frac{da}{dt}=\frac{da}{dm_1}\frac{dm_1}{dt}=-\frac{2m_2g}{(m_2+m_{10})^2}\frac{dm_1}{dt}=-\frac{2(2,80\text{ kg})(9,80\text{ m/s}^2)}{(2,80\text{ kg}+1,30\text{ kg})^2}\left(-0.200\text{ kg/s}\right)=0,653\text{ m/s}^3.$$

(b) No instante $t=3,00$ s,

$$m_1=m_{10}+(dm_1/dt)t=1,30\text{ kg}+(-0,200\text{ kg/s})(3,00\text{ s})=0,700\text{ kg}$$

e a taxa de variação da aceleração com o tempo é

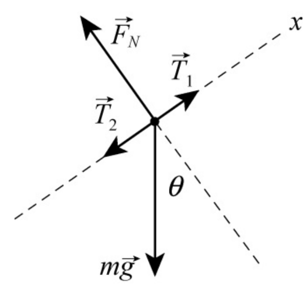
$$\frac{da}{dt}=\frac{da}{dm_1}\frac{dm_1}{dt}=-\frac{2m_2g}{(m_2+m_1)^2}\frac{dm_1}{dt}=-\frac{2(2,80\text{ kg})(9,80\text{ m/s}^2)}{(2,80\text{ kg}+0,700\text{ kg})^2}\left(-0,200\text{ kg/s}\right)=0,896\text{ m/s}^3.$$

(c) A aceleração atinge o valor máximo para

$$0=m_1=m_{10}+(dm_1/dt)t=1,30\text{ kg}+(-0.200\text{ kg/s})t$$

ou $t=6,50$ s.

66. A figura mostra o diagrama de corpo livre do sistema.



Aplicando a Segunda Lei de Newton às componentes das forças na direção *x*, temos:

$$T_1-T_2-mg\,\text{sen}\,\theta=ma\,,$$

e, portanto, a diferença pedida é

$$T_1-T_2=m\left(g\,\text{sen}\,\theta+a\right)=\left(2800\text{ kg}\right)\left[(9,8\text{ m/s}^2)\,\text{sen}\,35°+0,81\text{ m/s}^2\right]=1,8\times10^4\text{ N}.$$

67. Em primeiro lugar, analisamos o sistema como um todo, considerando "positivos" os movimentos no sentido horário (em outras palavras, o sentido para baixo é positivo para o bloco *C*, o sentido para a direita é positivo para o bloco *B*, e o sentido para cima é positivo para o bloco *A*). De acordo com a Segunda Lei de Newton, $m_Cg - m_Ag = Ma$, em que $M = m_A + m_B + m_C$ é a massa total do sistema. Explicitando *a*, temos:

$$a = g(m_C - m_A)/M = 1{,}63\text{ m/s}^2.$$

Em seguida, aplicamos a Segunda Lei de Newton apenas ao bloco *C*: $m_Cg - T = m_C\,a$. De acordo com essa equação, a tensão da corda que sustenta o bloco *C* é

$$T = m_Cg(2m_A + m_B)/M = 81{,}7\text{ N}.$$

68. Usamos primeiro a Eq. 4-26 para calcular a velocidade inicial do peso:

$$y-y_0=(\tan\theta)x-\frac{gx^2}{2(v'\cos\theta)^2}.$$

Para $\theta = 34{,}10°$, $y_0 = 2{,}11$ m e $(x, y) = (15{,}90 \text{ m}, 0)$, obtemos uma velocidade $v' = 11{,}85$ m/s. Durante esta fase, a aceleração é

$$a = \frac{v'^2 - v_0^2}{2L} = \frac{(11{,}85 \text{ m/s})^2 - (2{,}50 \text{ m/s})^2}{2(1{,}65 \text{ m})} = 40{,}63 \text{ m/s}^2.$$

A força média durante a fase de aceleração é

$$F = m(a + g \operatorname{sen}\theta) = (7{,}260 \text{ kg})\left[40{,}63 \text{ m/s}^2 + (9{,}80 \text{ m/s}^2)\operatorname{sen} 34{,}10°\right] = 334{,}8 \text{ N}.$$

69. Começamos por examinar um problema ligeiramente diferente: uma situação semelhante à da figura, mas sem a presença da corda. A ideia é a seguinte: se, na ausência da corda, a aceleração do bloco *A* for igual ou maior que a aceleração do bloco *B*, a tensão da corda será zero. Na ausência da corda,

$$a_A = F_A / m_A = 3{,}0 \text{ m/s}^2$$

$$a_B = F_B / m_B = 4{,}0 \text{ m/s}^2$$

e, portanto, a tensão da corda não é zero. Vamos agora analisar (incluindo a corda) o movimento do sistema como um todo. De acordo com a Segunda Lei de Newton, temos: $Ma = F_A + F_B = 36$ N, em que M é a massa total do sistema. Como $M = 10$ kg, $a = 3{,}6$ m/s^2. Como as duas forças que agem (no mesmo sentido) sobre o bloco *A* são F_A e T, temos:

$$m_A a = F_A + T \quad \Rightarrow \quad T = 2{,}4 \text{ N}.$$

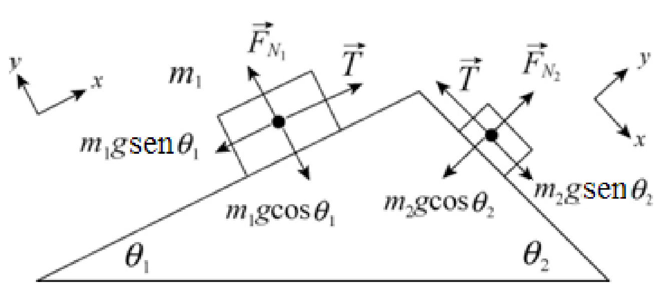
70. (a) Para uma descida de 0,50 m em "queda livre", a Eq. 2-16 nos dá uma velocidade de 3,13 m/s. Usando esse valor como "velocidade inicial" do movimento final (que acontece em uma extensão de 0,02 m), durante o qual a aceleração é a, calculamos que o módulo da aceleração média entre o instante em que os pés do homem tocam o solo e o instante em que o corpo se imobiliza é $a = 245$ m/s^2.

(b) De acordo com a Segunda Lei de Newton, $F - mg = ma \quad \Rightarrow \quad F = 20{,}4$ kN.

71. PENSE Este problema envolve duas caixas ligadas por uma corda e colocadas em um plano inclinado duplo. A existência da corda faz com que as duas caixas tenham a mesma aceleração.

FORMULE Para que a aceleração das duas caixas seja no mesmo sentido, vamos tomar o sentido positivo do eixo x como sendo "para cima" no plano inclinado, em que está a caixa 1, e como sendo "para baixo" no plano inclinado, em que está a caixa 2. As componentes x dos pesos das duas caixas são $m_1 g \operatorname{sen}\theta_1$ e $m_2 g \operatorname{sen}\theta_2$. A figura a seguir mostra os diagramas de corpo livre das duas caixas. De acordo com a segunda lei de Newton,

$$T - m_1 g \operatorname{sen}\theta_1 = m_1 a$$
$$m_2 g \operatorname{sen}\theta_2 - T = m_2 a$$



Somando as duas equações e explicitando a aceleração, obtemos a seguinte expressão:

$$a = \left(\frac{m_2 \operatorname{sen}\theta_2 - m_1 \operatorname{sen}\theta_1}{m_2 + m_1}\right) g$$

ANALISE Para $\theta_1 = 30°$ e $\theta_2 = 60°$, $a = 0{,}45$ m/s². Substituindo esse valor na primeira equação, obtemos o valor da tração da corda:

$$T = m_1 a + m_1 g \text{ sen } \theta_1 = (3{,}0)(0{,}45) + (3{,}0)(9{,}8)(0{,}5) = 16{,}1 \text{ N}$$

APRENDA Para os dados deste problema, m_2 sen $\theta_2 > m_1$ sen θ_1 e, portanto, $a > 0$, o que significa que a caixa 2 escorrega para baixo e a caixa 1 escorrega para cima.

72. Se a velocidade da partícula é constante, a aceleração é nula e, portanto, a força resultante a que a partícula está submetida também é nula, ou seja,

$$\vec{F}_{\text{res}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0 \,.$$

Assim, a terceira força é dada por

$$\vec{F}_3 = -\vec{F}_1 - \vec{F}_2 = -\left(2\hat{\mathrm{i}} + 3\hat{\mathrm{j}} - 2\hat{\mathrm{k}}\right)\text{N} - \left(-5\hat{\mathrm{i}} + 8\hat{\mathrm{j}} - 2\hat{\mathrm{k}}\right)\text{N} = \left(3\hat{\mathrm{i}} - 11\hat{\mathrm{j}} + 4\hat{\mathrm{k}}\right)\text{ N.}$$

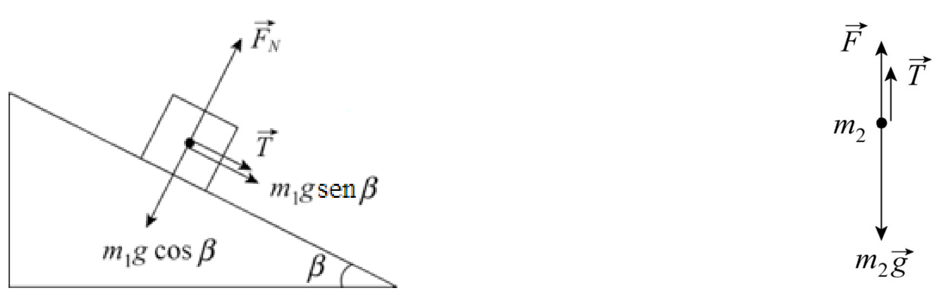
Este resultado não depende da velocidade da partícula.

73. PENSE Este problema envolve dois objetos ligados por uma corda. Um dos objetos é submetido a uma força externa, e a existência da corda faz com que os dois objetos tenham a mesma aceleração.

FORMULE A figura a seguir (que não está desenhada em escala) mostra os diagramas de corpo livre dos dois objetos. Vamos primeiro analisar as forças que agem sobre o objeto 1. Vamos tomar o sentido positivo do eixo *x* como sendo "para baixo" (paralelo a $\vec{T}$). Levando em conta que o objeto 1 possui uma aceleração *a* no sentido positivo do eixo *x*, a segunda lei de Newton nos dá

$$T + m_1 g \,\text{sen}\,\beta = m_1 a$$

No caso do objeto 2, a aplicação da segunda lei de Newton nos dá a relação $F + T - Mg = M\left(-5{,}5 \text{ m/s}^2\right)$, em que a tração da corda aparece como uma força para cima. Combinando as duas equações, podemos obter os valores de *T* e de β.



ANALISE Vamos resolver primeiro o item (b). Combinando as duas equações anteriores, obtemos

$$\begin{aligned}\text{sen}\,\beta &= \frac{(m_1 + m_2)a + F - m_2 g}{m_1 g} = \frac{(1{,}0 \text{ kg} + 2{,}0 \text{ kg})(5{,}5 \text{ m/s}^2) + 6{,}0 \text{ N} - (2{,}0 \text{ kg})(9{,}8 \text{ m/s}^2)}{(1{,}0 \text{ kg})(9{,}8 \text{ m/s}^2)} \\ &= 0{,}296\end{aligned}$$

que nos dá $\beta = 17{,}2°$.

(a) Substituindo β pelo seu valor na primeira equação, obtemos

$$T = m_1(a - g \,\text{sen}\beta) = (1{,}0 \text{ kg})\left[5{,}5 \text{ m/s}^2 - (9{,}8 \text{ m/s}^2)\text{sen}17{,}2°\right] = 2{,}60 \text{ N}$$

APRENDA Para $\beta = 0$, o problema se torna o mesmo que foi discutido no Exemplo 5.03 do livro, e os valores da aceleração e da tração da corda se reduzem às expressões obtidas nesse exemplo, $a = m_2 g/(m_1 + m_2)$ e $T = m_1 m_2 g/(m_1 + m_2)$.

74. Neste problema, precisamos considerar apenas forças horizontais (a força da gravidade não está envolvida). Sem perda de generalidade, podemos supor que uma das forças é paralela ao eixo *x* e a outra faz um ângulo de 80° no sentido anti-horário com o eixo *x*. Nesse caso, usando a notação módulo-ângulo, temos:

$$\vec{F}_{\text{res}} = (20 \angle 0) + (35 \angle 80) = (43 \angle 53) \Rightarrow \ |\vec{F}_{\text{res}}| = 43 \text{ N}.$$

Assim, a massa é $m = (43 \text{ N})/(20 \text{ m/s}^2) = 2{,}2$ kg.

75. Como o objetivo é determinar o menor módulo possível de $\vec{F}_{\text{res}}$, se a soma dos módulos de $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$ for menor ou igual a $|\vec{F}_1|$, as duas forças deverão apontar no sentido oposto ao de $\vec{F}_1$ (que é o sentido positivo do eixo *x*).

(a) Orientamos $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$ no sentido negativo do eixo *x*; assim, o módulo da força resultante é 50 – 30 – 20 = 0 e a aceleração do pneu é zero.

(b) Orientamos $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$ no sentido negativo do eixo *x*. O pneu sofre uma aceleração no sentido positivo do eixo *x* cujo módulo é

$$a = \frac{F_1 - F_2 - F_3}{m} = \frac{50\,\text{N} - 30\,\text{N} - 10\,\text{N}}{12\,\text{kg}} = 0{,}83 \text{ m/s}^2 .$$

(c) Nesse caso, devemos encontrar o ângulo para o qual as componentes *y* de $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$ se cancelam mutuamente e as componentes *x* se somam para cancelar $\vec{F}_1$. Como $|\vec{F}_2| = |\vec{F}_3|$, sabemos que o ângulo que uma das forças faz para cima com o eixo *x* deve ser igual ao ângulo que a outra força faz para baixo com o eixo *x*. (Vamos chamar esse ângulo de θ.) A condição para que a soma das componentes *x* das três forças seja zero é

$$-50 \text{ N} = F_{2x} + F_{3x} = -(30\text{N})\cos\theta - (30\text{N})\cos\theta$$

o que nos dá

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{50\,\text{N}}{60\,\text{N}}\right) = 34° .$$

76. (a) Um pequeno trecho da corda possui massa e é puxado para baixo pela força gravitacional da Terra. Esse trecho só não é acelerado para baixo porque trechos vizinhos exercem uma força para cima que cancela a força gravitacional. Como a tensão é uma força exercida *ao longo* da corda, não pode ter uma componente vertical, a menos que a corda se desvie da horizontal.

(b) Desprezando a curvatura da corda e considerando o bloco e a corda um objeto único, a única força horizontal é a força aplicada $\vec{F}$. De acordo com a Segunda Lei de Newton, $F = (M + m)a$, em que a é a aceleração e o sentido positivo é tomado como para a direita. A aceleração do bloco (e da corda) é, portanto, $a = F/(M + m)$ para a direita.

(c) A força da corda, F_c, é a única força a que o bloco está submetido. Desprezando a curvatura da corda, essa força é horizontal. Assim, de acordo com a Segunda Lei de Newton,

$$F_c = Ma = \frac{MF}{M + m}$$

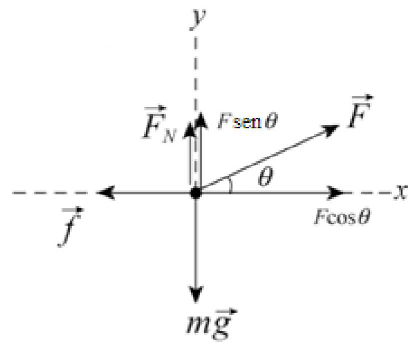
em que foi usada a expressão obtida no item (b) para a aceleração do bloco.

(d) Considerando o bloco e metade da corda um objeto único de massa $M + m/2$ submetido a uma tensão T_m, a Segunda Lei de Newton nos dá:

$$T_m = \left(M + \frac{1}{2}m\right)a = \frac{(M + m/2)F}{(M + m)} = \frac{(2M + m)F}{2(M + m)}$$

na qual foi usada a expressão obtida no item (b) para a aceleração do bloco.

77. PENSE O problema envolve um caixote que está sendo puxado por uma corda. Podemos usar a Segunda Lei de Newton para analisar o movimento do caixote.



FORMULE Embora se trate de um problema bidimensional, precisamos analisar apenas as componentes x dos vetores para obter as respostas pedidas. Note que, como $a_y = 0$, podemos chamar a componente x da aceleração simplesmente de a. Vamos tomar o sentido positivo do eixo x como sendo para a direita. Essa figura (que não foi desenhada em escala) mostra o diagrama de corpo livre do caixote. A componente x da força de tração da corda é

$$F_x = F\cos\theta = (450\text{ N})\cos 38° = 355\text{ N}$$

e a força que se opõe ao movimento (e, portanto, aponta no sentido negativo do eixo x) tem módulo $f = 125$ N.

ANALISE (a) De acordo com a Segunda Lei de Newton,

$$F_x - f = ma \Rightarrow a = \frac{F\cos\theta - f}{m} = \frac{355\text{ N} - 125\text{ N}}{310\text{ kg}} = 0{,}74\text{m/s}^2$$

(b) Nesse caso, usamos a Eq. 5-12 para calcular a massa: $m' = P/g = 31{,}6$ kg. De acordo com a segunda lei de Newton,

$$F_x - f = m'a' \;\Rightarrow\; a' = \frac{F_x - f}{m'} = \frac{355\text{ N} - 125\text{ N}}{31{,}6\text{ kg}} = 7{,}3\text{ m/s}^2$$

APRENDA A força horizontal que se opõe ao movimento do caixote é a força de atrito entre o caixote e o piso, que será discutida no Capítulo 6.

78. Escolhemos um eixo x "encosta acima" para a caixa de massa m_2 e um eixo x para a direita para a caixa de massa m_1. (Assim, as acelerações das duas caixas têm o mesmo módulo e o mesmo sentido.) As forças paralelas à superfície do plano inclinado que atuam sobre a caixa de massa m_2 são, em módulo, a força aplicada F, a tensão T da corda e a componente x do peso do bloco, m_2g sen θ. A única força que atua sobre a caixa de massa m_1 é a tensão T da corda. De acordo com a Segunda Lei de Newton, temos:

$$F - T - m_2 g \operatorname{sen}\theta = m_2 a$$
$$T = m_1 a$$

Combinando as duas equações, obtemos

$$F - m_2 g \operatorname{sen}\theta = (m_1 + m_2)a$$

o que nos dá

$$a = \frac{12\text{ N} - (1{,}0\text{ kg})(9{,}8\text{ m/s}^2)\operatorname{sen} 37°}{1{,}0\text{ kg} + 3{,}0\text{ kg}} = 1{,}53\text{ m/s}^2.$$

Assim, a tensão é $T = m_1a = (3{,}0\text{ kg})(1{,}53\text{ m/s}^2) = 4{,}6$ N.

79. (a) A massa da partícula é

$$m = P/g = (22\ \text{N})/(9{,}8\ \text{m/s}^2) = 2{,}2\ \text{kg}.$$

Em um local onde a aceleração gravitacional é $g' = 4{,}9\ \text{m/s}^2$, a massa continua a ser 2,2 kg, mas o peso passa a ser $P' = mg' = (2{,}2\ \text{kg})\ (4{,}0\ \text{m/s}^2) = 11\ \text{N}$.

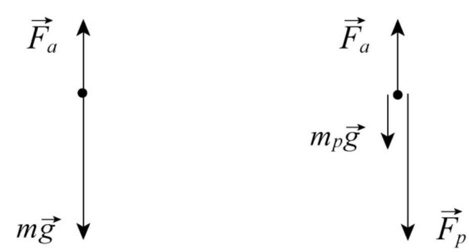
(b) $m = 2{,}2$ kg.

(c) Se $g = 0$, o peso é zero.

(d) $m = 2{,}2$ kg.

80. Escolhemos o sentido positivo do eixo y como sendo para baixo.

(a) A figura da esquerda, a seguir, mostra o diagrama de corpo livre do conjunto paraquedas-paraquedista, considerado um único objeto de massa 80 kg + 5,0 kg = 85 kg.



$\vec{F}_a$ é a força que o ar exerce sobre o paraquedas e $m\vec{g}$ é a força da gravidade. De acordo com a Segunda Lei de Newton, $mg - F_a = ma$, em que a é a aceleração. Explicitando F_a, obtemos

$$F_a = m(g - a) = (85\ \text{kg})(9{,}8\ \text{m/s}^2 - 2{,}5\ \text{m/s}^2) = 620\ \text{N}.$$

(b) A figura da direita, no item a, mostra o diagrama de corpo livre do paraquedas. $\vec{F}_a$ é a força do ar, $m_p\vec{g}$ é a força da gravidade e $\vec{F}_p$ é a força do paraquedista. De acordo com a Segunda Lei de Newton,

$$m_p g + F_p - F_a = m_p a.$$

Explicitando F_p, obtemos

$$F_p = m_p(a - g) + F_a = (5{,}0\ \text{kg})(2{,}5\ \text{m/s}^2 - 9{,}8\ \text{m/s}^2) + 620\ \text{N} = 580\ \text{N}.$$

81. A massa do piloto é $m = 735/9{,}8 = 75$ kg. Chamando a força que a nave exerce sobre o piloto (através do assento, provavelmente) de $\vec{F}$ e escolhendo o sentido positivo do eixo y como sendo para cima, a Segunda Lei de Newton nos dá

$$F - mg_{\text{Lua}} = ma \quad \Rightarrow \quad F = (75\ \text{kg})(1{,}6\ \text{m/s}^2 + 1{,}0\ \text{m/s}^2) = 195\ \text{N}.$$

82. Com unidades do SI implícitas, a força resultante a que a caixa está submetida é

$$\vec{F}_{\text{res}} = (3{,}0 + 14\cos 30^\circ - 11)\hat{\text{i}} + (14\,\text{sen}\,30^\circ + 5{,}0 - 17)\hat{\text{j}}$$

o que nos dá $\vec{F}_{\text{res}} = (4{,}1\ \text{N})\hat{\text{i}} - (5{,}0\text{N})\hat{\text{j}}$

(a) De acordo com a Segunda Lei de Newton, temos:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{res}}{m} = (1{,}0\ \text{m/s}^2)\hat{\text{i}} - (1{,}3\ \text{m/s}^2)\hat{\text{j}}.$$

(b) O módulo de $\vec{a}$ é $a=\sqrt{(1{,}0\ \text{m/s}^2)^2+\left(-1{,}3\ \text{m/s}^2\right)^2}=1{,}6\ \text{m/s}^2$.

(c) O ângulo é $\tan^{-1}$ [(–1,3 m/s²)/(1,0 m/s²)] = –50° (ou seja, 50° no sentido horário em relação ao semieixo x positivo).

83. PENSE Este problema envolve as três grandezas que aparecem na segunda lei de Newton: força, massa e aceleração.

FORMULE Chamando de F o módulo da força desconhecida, sabemos que $F=m_1a_1=m_2a_2$. Como conhecemos a_1 e a_2, podemos expressar as massas m_1 e m_2 em função de F por meio das relações $m_1 = F/a_1$ e $m_2 = F/a_2$ e usar a segunda lei de Newton para calcular a aceleração que a força F produz em objetos de massas $m_2 + m_1$ e $m_2 - m_1$.

ANALISE (a) No caso de um objeto de massa $m_2 - m_1$ submetido à força F, temos

$$a=\frac{F}{m_2-m_1}=\frac{F}{(F/a_2)-(F/a_1)}=\frac{a_1a_2}{a_1-a_2}=\frac{(12{,}0\ \text{m/s}^2)(3{,}30\ \text{m/s}^2)}{12{,}0\ \text{m/s}^2-3{,}30\ \text{m/s}^2}=4{,}55\ \text{m/s}^2$$

(b) No caso de um objeto de massa $m_2 + m_1$, temos

$$a'=\frac{F}{m_2+m_1}=\frac{F}{(F/a_2)+(F/a_1)}=\frac{a_1a_2}{a_1+a_2}=\frac{(12{,}0\ \text{m/s}^2)(3{,}30\ \text{m/s}^2)}{12{,}0\ \text{m/s}^2+3{,}30\ \text{m/s}^2}=2{,}59\ \text{m/s}^2$$

APRENDA Para a mesma força aplicada, quanto maior for a massa de um objeto, menor será a aceleração. Como, neste problema, $a_1>a>a_2>a'$, sabemos que $m_1<m_2-m_1<m_2<m_2+m_1$.

84. Supomos que o movimento acontece no sentido positivo do eixo x e que o refrigerador está inicialmente em repouso (caso em que a velocidade mencionada no texto resulta exclusivamente da aplicação da força $\vec{F}$). A única força que atua ao longo do eixo x é a componente x da força aplicada $\vec{F}$.

(a) Como $v_0 = 0$, a combinação das Eqs. 2-11 e 5-2 nos dá

$$F_x = m\left(\frac{v}{t}\right) \Rightarrow v_i = \left(\frac{F\cos\theta_i}{m}\right)t$$

para $i = 1$ (caso 1) ou $i = 2$ (caso 2). Como $\theta_1 = 0$ e $\theta_2 = \theta$, $v_2/v_1 = \cos\theta$.

(b) Como $v_0 = 0$, a combinação das Eqs. 2-16 e 5-2 nos dá

$$F_x = m\left(\frac{v^2}{2(x-x_0)}\right) \Rightarrow v_i = \sqrt{2\left(\frac{F\cos\theta_i}{m}\right)(x-x_0)}$$

para $i = 1$ (caso 1) ou $i = 2$ (caso 2). Como $\theta_1 = 0$ e $\theta_2 =\theta$, $v_2/v_1 = \sqrt{\cos\theta}$.

85. (a) Como o peso do artista é (52 kg)(9,8 m/s²) = 510 N, a corda arrebenta.

(b) De acordo com a Segunda Lei de Newton,

$$T - mg = ma \Rightarrow a = \frac{T}{m} - g$$

Para $T = 425$ N, $a = 1{,}6$ m/s².

86. Usamos a equação $P_p = mg_p$, em que P_p é o peso de um objeto de massa m na superfície de um planeta p e g_p é a aceleração da gravidade nesse planeta.

(a) O peso do astronauta na Terra é

$$P_T = mg_T = (75\ \text{kg})\ (9{,}8\ \text{m/s}^2) = 7{,}4\times10^2\ \text{N}.$$

(b) O peso do astronauta em Marte é

$$P_M = mg_M = (75\text{ kg})\ (3{,}7\text{ m/s}^2) = 2{,}8 \times 10^2\text{ N}.$$

(c) O peso do astronauta no espaço sideral é zero.

(d) A massa do astronauta é a mesma, 75 kg, para qualquer lugar.

87. Pela leitura da balança quando o elevador está parado, sabemos que a massa do objeto é $m = (65\text{ N})/(9{,}8\text{ m/s}^2) = 6{,}6$ kg. Escolhendo o sentido positivo do eixo y como sendo para cima, notamos que o objeto está sujeito a duas forças: a força da gravidade, $-mg$, e a força normal da balança, T. (De acordo com a Terceira Lei de Newton, T também é a força que o objeto exerce sobre a balança e, portanto, é a leitura da balança).

(a) Quando o elevador está subindo com velocidade constante, a aceleração é zero e, portanto, a leitura da balança é a mesma que se o elevador estivesse parado: $T = 65$ N.

(b) O termo "desaceleração" é usado quando o vetor aceleração aponta no sentido contrário ao do vetor velocidade. Como, de acordo com o enunciado, a velocidade é para cima, a aceleração é para baixo ($a = -2{,}4\text{ m/s}^2$). De acordo com a Segunda Lei de Newton, temos:

$$T - mg = ma \ \Rightarrow\ T = (6{,}6\text{ kg})(9{,}8\text{ m/s}^2 - 2{,}4\text{ m/s}^2) = 49\text{ N}.$$

88. Seja g a aceleração da gravidade perto da superfície de Calisto, m a massa da espaçonave, a a aceleração da espaçonave e F o empuxo do motor da espaçonave. Vamos escolher o sentido positivo do eixo y como para baixo. Nesse caso, de acordo com a Segunda Lei de Newton, $mg - F = ma$. Se para um empuxo F_1 a aceleração é zero, $mg - F_1 = 0$. Se para um empuxo F_2 a aceleração é a_2, $mg - F_2 = ma_2$.

(a) A primeira equação nos dá o peso da espaçonave: $mg = F_1 = 3260$ N.

(b) A segunda equação nos dá a massa da espaçonave:

$$m = \frac{mg - F_2}{a_2} = \frac{3260\text{ N} - 2200\text{ N}}{0{,}39\text{ m/s}^2} = 2{,}7 \times 10^3\text{ kg}.$$

(c) O peso dividido pela massa nos dá a aceleração da gravidade:

$$g = (3260\text{ N})/(2{,}7 \times 10^3\text{ kg}) = 1{,}2\text{ m/s}^2.$$

89. (a) Se $\vec{F}_{\text{res}} = 3F - mg = 0$, a força que o parafuso suporta é

$$F = \frac{1}{3}mg = \frac{1}{3}(1400\text{ kg})\left(9{,}8\text{ m/s}^2\right) = 4{,}6 \times 10^3\text{ N}$$

(b) Nesse caso, a força que cada parafuso suporta é dada por $3F - mg = ma$, ou seja,

$$F = \frac{1}{3}m(g + a) = \frac{1}{3}(1400\text{ kg})\left(9{,}8\text{ m/s}^2 + 2{,}6\text{ m/s}^2\right) = 5{,}8 \times 10^3\text{ N}.$$

90. (a) O módulo da aceleração necessária é dado por

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(0{,}10)\left(3{,}0 \times 10^8\text{ m/s}\right)}{(3{,}0\text{ dias})(86.400\text{ s/dia})} = 1{,}2 \times 10^2\text{ m/s}^2.$$

(b) O valor da aceleração em unidades de *g* é

$$a = \left(\frac{a}{g}\right) g = \left(\frac{1,2 \times 10^2\ \text{m/s}^2}{9,8\ \text{m/s}^2}\right) g = 12g.$$

(c) A força necessária é

$$F = ma = \left(1,20 \times 10^6\ \text{kg}\right)\left(1,2 \times 10^2\ \text{m/s}^2\right) = 1,4 \times 10^8\ \text{N}.$$

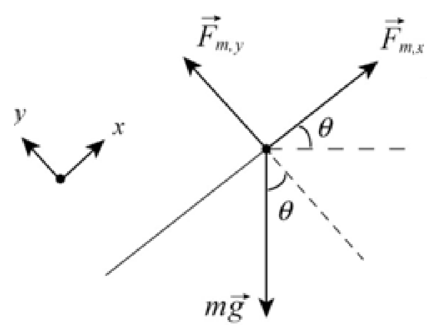
(d) Se a espaçonave percorre uma distância d = 0,1 mês-luz em um mês, o tempo necessário para percorrer 5,0 meses-luz é

$$t = \frac{d}{v} = \frac{5,0\ \text{meses-luz}}{0,1c} = 50\ \text{meses} \approx 4,2\ \text{anos}.$$

91. PENSE Este problema envolve uma motocicleta que sobe uma rampa com aceleração constante. Podemos usar a segunda lei de Newton para calcular a força resultante a que está submetido o piloto e a força que a motocicleta exerce sobre ele.

FORMULE A figura mostra o diagrama de corpo livre do piloto. $F_{m,y}$ e $F_{m,x}$ são as componentes *y* e *x* da força $\vec{F}_{m,r}$ que a motocicleta exerce sobre o piloto. A força resultante que age sobre o piloto é

$$F_{\text{res}} = ma$$



ANALISE (a) Como a força resultante é igual a *ma*, o módulo da força resultante que age sobre o piloto é

$$F_{\text{res}} = ma = (60,0\ \text{kg})\ (3,0\ \text{m/s}^2) = 1,8 \times 10^2\ \text{N}$$

(b) Para calcular a força que a motocicleta exerce sobre o piloto, aplicamos a segunda lei de Newton separadamente às componentes *x* e *y* do movimento. No caso do eixo *x*, temos

$$F_{m,r_x} - mg\ \text{sen}\ \theta = ma$$

o que, para m = 60,0 kg, a = 3,0 m/s² e θ = 10°, nos dá ${}_{m\ x}$ 282 N.

No caso do eixo *y*, em que a aceleração é zero, temos

$$F_{m,r_y} - mg \cos \theta = 0$$

o que nos dá $F_{m,\,y} = 579\ \text{N}$. De acordo com o teorema de Pitágoras,

$$F_{m,r} = \sqrt{F_{m,r_x}^2 + F_{m,r_y}^2} = \sqrt{(282\ \text{N})^2 + (579\ \text{N})^2} = 644\ \text{N}$$

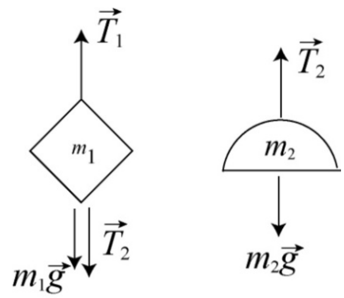
APRENDA A força exercida pela motocicleta sobre o piloto acelera o piloto na direção paralela à rampa e, ao mesmo tempo, mantém constante a distância entre o piloto e o piso ($a_y = 0$).

92. Chamamos o empuxo de T e escolhemos o sentido positivo do eixo *y* como para cima. De acordo com a Segunda Lei de Newton, temos:

$$T - Mg = Ma \ \Rightarrow\ a = \frac{2,6 \times 10^5\ \text{N}}{1,3 \times 10^4\ \text{kg}} - 9,8\ \text{m/s}^2 = 10\,\text{m/s}^2.$$

93. PENSE Este problema envolve peças de metal ligadas por cordas. Podemos usar o equilíbrio de forças para calcular a tração das cordas.

FORMULE A figura a seguir mostra os diagramas de corpo livre das peças 1 e 2.



Como a corda 2 está equilibrando apenas o peso da peça 2, $T_2 = m_2 g$. Por outro lado, a corda 1 está equilibrando o peso das duas peças e, portanto, $T_1 = (m_1 + m_2)g$.

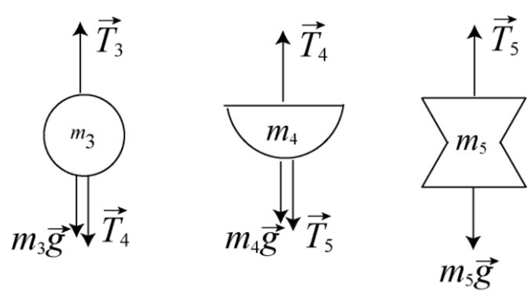
ANALISE (a) De acordo com a primeira equação, a tração da corda 2 é

$$T_2 = m_2 g = (4{,}5\text{ kg})(9{,}8\text{ m/s}^2) = 44\text{ N}$$

(b) De acordo com a segunda equação, a tração da corda 1 é

$$T_1 = (m_1 + m_2)g = (8{,}0\text{ kg})(9{,}8\text{ m/s}^2) = 78\text{ N}.$$

(c) A figura a seguir mostra os diagramas de corpo livre das peças 3, 4 e 5.



Como a corda 5 está equilibrando apenas o peso da peça 5,

$$T_5 = m_5 g = (5{,}5\text{ kg})(9{,}8\text{ m/s}^2) = 54\text{ N}$$

(d) De acordo com o enunciado do problema, a tração da corda 3 é $T_3 = 199$ N, o que significa que a corda equilibra o peso de uma massa de (199 N)/(9,80 m/s^2) = 20,3 kg. Como a massa total das peças 3 e 5 é 4,8 + 5,5 = 10,3 kg, a massa da peça 4 é m_4 = 20,3 kg – 10,3 kg = 10,0 kg e a massa cujo peso a tração da corda 4 deve equilibrar é

$$m_4 + m_5 = (10{,}0\text{ kg} + 5{,}50\text{ kg}) = 15{,}5\text{ kg}$$

assim, T_4 = (15,5 kg)(9,80 m/s^2) = 152 N.

APRENDA Outra forma de calcular T_4 é examinar as forças que agem sobre a peça 3, já que uma dessas forças é T_4. Aplicando a segunda lei de Newton à peça 3, obtemos $T_3 - m_3 g - T_4 = 0$, o que nos dá

$$T_4 = T_3 - m_3 g = 199\text{ N} - (4{,}8\text{ kg})(9{,}8\text{ m/s}^2) = 152\text{ N}$$

94. (a) Escrevemos a velocidade do tatu na forma $\vec{v} = v_x\,\hat{\mathrm{i}} + v_y\,\hat{\mathrm{j}}$. Como nenhuma força age sobre o tatu na direção *x*, a componente *x* da velocidade do tatu é constante: v_x = 5,0 m/s. Na direção *y* e no instante *t* = 3,0 s, temos (usando a Eq. 2-11 com $v_{0y} = 0$):

$$v_y = v_{0\,y} + a_y t = v_{0\,y} + \left(\frac{F_y}{m}\right)t = \left(\frac{17\text{ N}}{12\text{ kg}}\right)(3{,}0\text{ s}) = 4{,}3\text{ m/s}.$$

Assim, $\vec{v} = (5{,}0\text{ m/s})\hat{\mathrm{i}} + (4{,}3\text{ m/s})\hat{\mathrm{j}}$.

(b) Escrevemos o vetor posição do tatu na forma $\vec{r} = r_x\,\hat{\mathrm{i}} + r_y\,\hat{\mathrm{j}}$. No instante *t* = 3,0 s, r_x = (5,0 m/s) (3,0 s) = 15 m e (usando a Eq. 2-15 com v_{0y} = 0):

$$r_y = v_{0y}\,t + \frac{1}{2}a_y\,t^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{F_y}{m}\right)t^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{17\text{ N}}{12\text{ kg}}\right)(3{,}0\text{ s})^2 = 6{,}4\text{ m}.$$

O vetor posição no instante *t* = 3,0 s é, portanto, $\vec{r} = (15\text{ m})\hat{\mathrm{i}} + (6{,}4\text{ m})\hat{\mathrm{j}}$.

95. (a) O bloco que deve ser pendurado é o de 4,0 kg, já que o peso do bloco que está pendurado é responsável pela aceleração do sistema e, entre os dois blocos, o de 4,0 kg é de maior massa e, portanto, o de maior peso.

Para calcular a aceleração do sistema e a tensão da corda, aplicamos a Segunda Lei de Newton aos eixos vertical e horizontal, o que nos dá o seguinte sistema de equações:

$$\begin{aligned} m_1 g - T &= m_1 a \\ T &= m_2 a \end{aligned}$$

em que m_1 é a massa do bloco que está pendurado e m_2 é a massa do outro bloco.

(b) Somando membro a membro as equações acima, explicitando *a* e substituindo m_1 e m_2 por seus valores, temos:

$$a = \left(\frac{m_1}{m_1 + m_2}\right)g = \left(\frac{4{,}0\text{ kg}}{4{,}0\text{ kg} + 2{,}0\text{ kg}}\right)(9{,}8\text{ m/s}^2) = 6{,}5\text{ m/s}^2$$

(c) Substituindo *a* por seu valor na segunda equação, temos:

$$T = m_2 a = (2{,}0\text{ kg})(6{,}5\text{ m/s}^2) = 13\text{ N}.$$

96. De acordo com a Segunda Lei de Newton, o módulo da força é dado por *F* = *ma*, em que *a* é o módulo da aceleração do nêutron. Supondo que a aceleração é constante, podemos usar a Eq. 2-16, $v^2 = v_0^2 + 2ad$, para calcular o valor de *a*:

$$a = \frac{(v^2 - v_0^2)}{2d} = \frac{-(1{,}4 \times 10^7\text{ m/s})^2}{2(1{,}0 \times 10^{-14}\text{ m})} = -9{,}8 \times 10^{27}\text{ m/s}^2.$$

O módulo da força é, portanto,

$$F = ma = (1{,}67 \times 10^{-27}\text{ kg})(9{,}8 \times 10^{27}\text{ m/s}^2) = 16\text{ N}.$$

97. (a) A força resultante é

$$\vec{F}_{\text{res}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = (3{,}0\text{ N} + (-2{,}0\text{ N}))\hat{\mathrm{i}} + (4{,}0\text{ N} + (-6{,}0\text{ N}))\hat{\mathrm{j}}$$

o que nos dá $\vec{F}_{\text{res}} = (1{,}0\ \text{N})\hat{\text{i}} - (2{,}0\ \text{N})\hat{\text{j}}$.

(b) O módulo de $\vec{F}_{\text{res}}$ é $F_{\text{res}} = \sqrt{(1{,}0\ \text{N})^2 + (-2{,}0\ \text{N})^2} = 2{,}2\ \text{N}$.

(c) O ângulo de $\vec{F}_{\text{res}}$ é $\theta_F = \tan^{-1}\left(\dfrac{-2{,}0\ \text{N}}{1{,}0\ \text{N}}\right) = -63^{\circ}$.

(d) O módulo de $\vec{a}$ é $a = \dfrac{F_{res}}{m} = \dfrac{2{,}2\ \text{N}}{1{,}0\ \text{kg}} = 2{,}2\ \text{m/s}^2$.

(e) Como, de acordo com a segunda lei de Newton, $\vec{a}$ tem a mesma orientação que $\vec{F}_{\text{res}}$, $\theta_a = -63^{\circ}$. Na notação módulo-ângulo, $\vec{a} = 2{,}2\ \text{m/s}^2 \angle -63^{\circ}$.