Física I- Força e Movimento

Resumo dos Conceitos

Extraído do capítulo 5 do livro: Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1. GEN | LTC. Edição do Kindle.

Mecânica Newtoniana

Para que a velocidade de um objeto varie (ou seja, para que o objeto sofra aceleração), é preciso que ele seja submetido a uma força (empurrão ou puxão) exercida por outro objeto. A mecânica newtoniana descreve a relação entre acelerações e forças.

Força

A força é uma grandeza vetorial cujo módulo é definido em termos da aceleração que imprimiria a uma massa de um quilograma. Por definição, uma força que produz uma aceleração de 1 m/s^2 em uma massa de 1 kg tem um módulo de 1 newton (1 N). Uma força tem a mesma orientação que a aceleração produzida pela força. Duas ou mais forças podem ser combinadas segundo as regras da álgebra vetorial. A força resultante é a soma de todas as forças que agem sobre um corpo.

Primeira Lei de Newton

Quando a força resultante que age sobre um corpo é nula, o corpo permanece em repouso ou se move em linha reta com velocidade escalar constante.

Referenciais Inerciais

Os referenciais para os quais as leis de Newton são válidas são chamados referenciais inerciais. Os referenciais para os quais as leis de Newton não são válidas são chamados referenciais não inerciais.

Massa

A massa de um corpo é a propriedade que relaciona a aceleração do corpo à força responsável pela aceleração. A massa é uma grandeza escalar.

Segunda Lei de Newton

A força resultante res que age sobre um corpo de massa m está relacionada com a aceleração do corpo por meio da equação

$$\vec{F}_{res} = m\vec{a}$$

que pode ser escrita em termos das componentes:

$$F_{\text{res},x} = ma_x \qquad F_{\text{res},y} = ma_y \qquad \text{e} \qquad F_{\text{res},z} = ma_z.$$

De acordo com a segunda lei, em unidades do SI,

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2$$

O diagrama de corpo livre é um diagrama simplificado no qual apenas um corpo é considerado. Esse corpo é representado por um ponto ou por um desenho. As forças externas que agem sobre o corpo são representadas por vetores, e um sistema de coordenadas é superposto ao desenho, orientado de modo a simplificar a solução.

Algumas Forças Especiais

A força gravitacional $\vec{F}_g$ exercida sobre um corpo é um tipo especial de atração que um segundo corpo exerce sobre o primeiro. Na maioria das situações apresentadas neste livro, o segundo corpo é a Terra ou outro astro. No caso da Terra, a força é orientada para baixo, em direção ao solo, que é considerado um referencial inercial. Nessas condições, o módulo de $\vec{F}_g$ é

$$F_g = mg$$

em que m é a massa do corpo e g é o módulo da aceleração em queda livre. O peso P de um corpo é o módulo da força para cima necessária para equilibrar a força gravitacional a que o corpo está sujeito. O peso de um corpo está relacionado à massa através da equação

$$P = mg$$

A força normal $\vec{F}_N$ é a força exercida sobre um corpo pela superfície na qual o corpo está apoiado. A força normal é sempre perpendicular à superfície. A força de atrito $\vec{f}$ é a força exercida sobre um corpo quando o corpo desliza ou tenta deslizar em uma superfície. A força é sempre paralela à superfície e tem o sentido oposto ao do deslizamento. Em uma superfície ideal, a força de atrito é desprezível. Quando uma corda está sob tração, cada extremidade da corda exerce uma força sobre um corpo. A força é orientada na direção da corda, para fora do corpo. No caso de uma corda sem massa (uma corda de massa desprezível), as trações nas duas extremidades da corda têm o mesmo módulo T, mesmo que a corda passe por uma polia sem massa e sem atrito (uma polia de massa desprezível cujo eixo tem um atrito desprezível).

Terceira Lei de Newton

Se um corpo C aplica a um corpo B uma força $\vec{F}_{BC}$ o corpo B aplica ao corpo C uma força $\vec{F}_{CB}$ tal que

$$\vec{F}_{BC} = -\vec{F}_{CB}$$

Aplicações das Leis de Newton

Seguem exemplos detalhados de aplicações das Leis de Newton em sistemas mecânicos simples.

Exemplo 1

A figura 1 mostra um bloco *D* (o bloco deslizante), de massa *M = 3,3 kg*. O bloco está livre para se mover em uma superfície horizontal sem atrito e está ligado, por uma corda que passa por uma polia sem atrito, a um segundo bloco *P* (o bloco pendente), de massa *m = 2,1 kg*. As massas da corda e da polia podem ser desprezadas em comparação com a massa dos blocos. Enquanto o bloco pendente *P* desce, o bloco deslizante *D* acelera para a direita. Determine (a) a aceleração do bloco *D*, (b) a aceleração do bloco *P* e (c) a tração da corda.

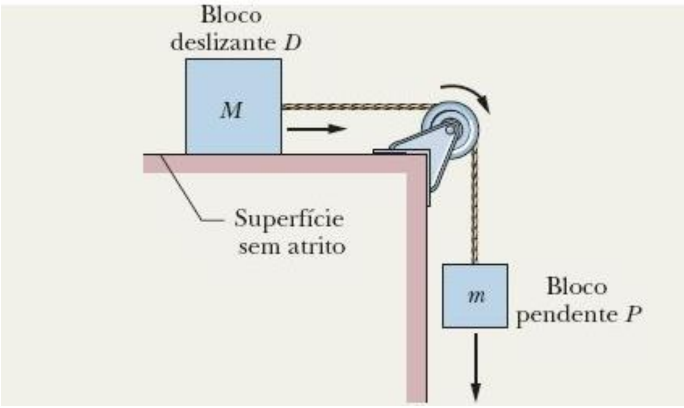


Figura 1. Sistema físico com dois blocos e uma polia. Bloco *D*, de massa *M*, está conectado a um bloco *P*, de massa *m*, por uma corda que passa por uma polia.

Solução

Foram dados dois corpos – o bloco deslizante e o bloco pendente – mas também é preciso levar em conta a Terra, que atua sobre os dois corpos. (Se não fosse a Terra, os blocos não se moveriam.) Como mostra a figura 2, cinco forças agem sobre os blocos:

1. A corda puxa o bloco *D* para a direita com uma força de módulo *T*.
2. A corda puxa o bloco *P* para cima com uma força cujo módulo também é *T*. Essa força para cima evita que o bloco caia livremente.
3. A Terra puxa o bloco D para baixo com uma força gravitacional $\vec{F}_{gD}$, cujo módulo é *Mg*.
4. A Terra puxa o bloco *P* para baixo com uma força gravitacional $\vec{F}_{gP}$, cujo módulo é *mg*.
5. A mesa empurra o bloco *D* para cima com uma força normal $\vec{F}_N$.

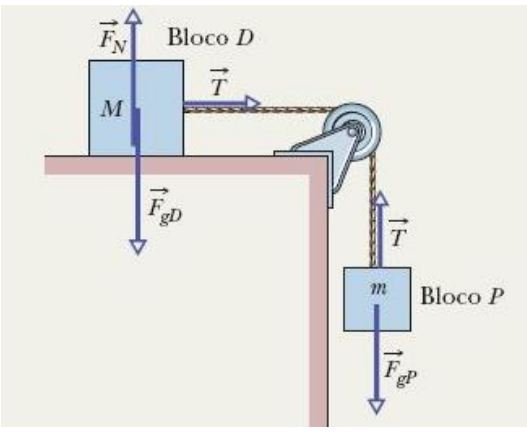


Figura 2. Forças que agem sobre os dois blocos do sistema físico com dois blocos e uma polia.

Existe outro fato digno de nota. Como estamos supondo que a corda é inextensível, se o bloco *P* desce 1 mm em certo intervalo de tempo, o bloco *D* se move 1 mm para a direita no mesmo intervalo. Isso significa que os blocos se movem em conjunto e as acelerações dos dois blocos têm o mesmo módulo *a*.

O sistema físico tem o seguinte diagrama de corpo livre.

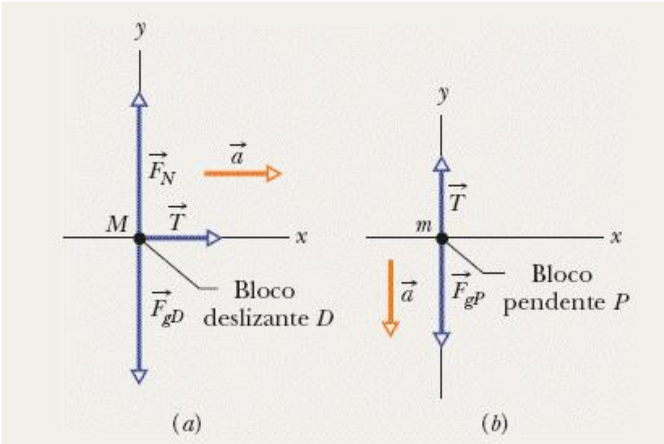


Figura 3. Diagrama de corpo livre com destaque para as forças atuando nos dois blocos de massas M e m.

Na análise do bloco deslizante de massa *M*, vemos que ao longo do eixo *x* há apenas uma componente de força, que é *T*. Assim, a equação $F_{res,\,x} = Ma_x$ se torna

$$T = Ma_x.$$

Podemos substituir a_x por *a*, visto que a aceleração *a* que é submetido o bloco deslizante é a mesma em módulo no bloco pendente. Assim temos,

$$T = Ma.$$

A equação acima contém duas incógnitas, *T* e *a*, ainda não podemos resolvê-la. Necessitamos de uma segunda equação para termos um sistema de duas equações e duas incógnitas. O sistema tem um segundo bloco que pode fornecer a peça que falta. Analisando-se as forças no diagrama de corpo livre do bloco pendente, temos a força resultante ao longo do eixo *y*, $F_{res,\,y} = ma_y$, podemos escrever

$$T - F_{gP} = ma_y.$$

Podemos agora substituir F_{gP} por *mg* e a_y por $-a$ (o valor é negativo porque o bloco P sofre aceleração no sentido negativo do eixo *y*). O resultado é

$$T - mg = -ma.$$

Agora temos um sistema de duas equações e duas incógnitas (*T* e *a*), como segue:

$$T = Ma \quad (1)$$

$$T - mg = -ma \quad (2)$$

Substituindo-se (1) em (2), temos

$$Ma - mg = -ma$$

Rearranjando-se os temos, chegamos à seguinte expressão:

$$Ma + ma = mg$$

Isolando-se a aceleração *a*, temos:

$$a = \frac{m}{M+m} g \qquad (3)$$

Substituindo-se (3) em (2), chegamos:

$$T - mg = -m \frac{m}{M+m} g$$

Seguem os próximos passos:

$$T = mg - m \frac{m}{M+m} g$$

$$T = \frac{mg(M+m) - m^2 g}{M+m}$$

$$T = \frac{mMg + m^2 g - m^2 g}{M+m}$$

A tração *T* tem a seguinte forma:

$$T = \frac{mM}{M+m} g \qquad (4)$$

A análise dimensional das equações (3) e (4) indicam resultados coerentes.

Procedendo-se à substituição dos valores, temos as seguintes respostas.

(a) e (b)

$$a = \frac{2{,}1\ kg}{3{,}3\ kg + 2{,}1\ kg} 9{,}8\ m/s^2$$

$$a = \frac{2{,}1\ kg}{5{,}4\ kg} 9{,}8\ m/s^2$$

$$a = 3{,}811\ m/s^2$$

A aceleração *a* é

$$a \approx 3{,}8\ m/s^2.$$

(c) A partir da equação (4), temos:

$$T = \frac{mM}{M+m} g = \frac{2{,}1\ kg.\,3{,}3\ kg}{3{,}3\ kg + 2{,}1\ kg} 9{,}8\ m/s^2$$

$$T = \frac{6{,}93\ kg}{5{,}4} 9{,}8\ m/s^2$$

A tração *T* vale:

$$T = 12{,}57\ N$$

$$T = 13\ N$$

Examine primeiro a equação (3). Observe que está dimensionalmente correta e que a aceleração *a* é sempre menor que *g*. Isso faz sentido, pois o bloco pendente não está em queda livre; a corda o puxa para cima. Examine em seguida a equação (4), que pode ser expressa como segue:

$$T = \frac{M}{M+m} mg \quad (4)$$

Nessa forma, fica mais fácil ver que a equação (4) também está dimensionalmente correta, já que tanto *T* quanto *mg* têm dimensões de força. A equação (4) também mostra que a tração da corda é menor que mg; portanto, é menor que a força gravitacional a que está submetido o bloco pendente. Isso é razoável; se *T* fosse maior que *mg*, o bloco pendente sofreria uma aceleração para cima.

Podemos também verificar se os resultados estão corretos estudando casos especiais para os quais sabemos de antemão qual é a resposta. Um caso simples é aquele em que *g = 0*, o que aconteceria se o experimento fosse realizado no espaço sideral. Sabemos que, nesse caso, os blocos ficariam imóveis, não existiriam forças nas extremidades da corda e, portanto, não haveria tração na corda. As equações preveem isso? Sim. Fazendo *g = 0* nas equações (3) e (4), encontramos *a = 0* e *T = 0*.

Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1 (p. 457). GEN | LTC. Edição do Kindle.

Exemplo 2

Na figura 4, uma corda puxa para cima uma caixa de biscoitos ao longo de um plano inclinado sem atrito cujo ângulo é θ = 30°. A massa da caixa é *m = 5,00 kg*, e o módulo da força exercida pela corda é *T = 25,0 N*. Qual é a componente a da aceleração da caixa na direção do plano inclinado?

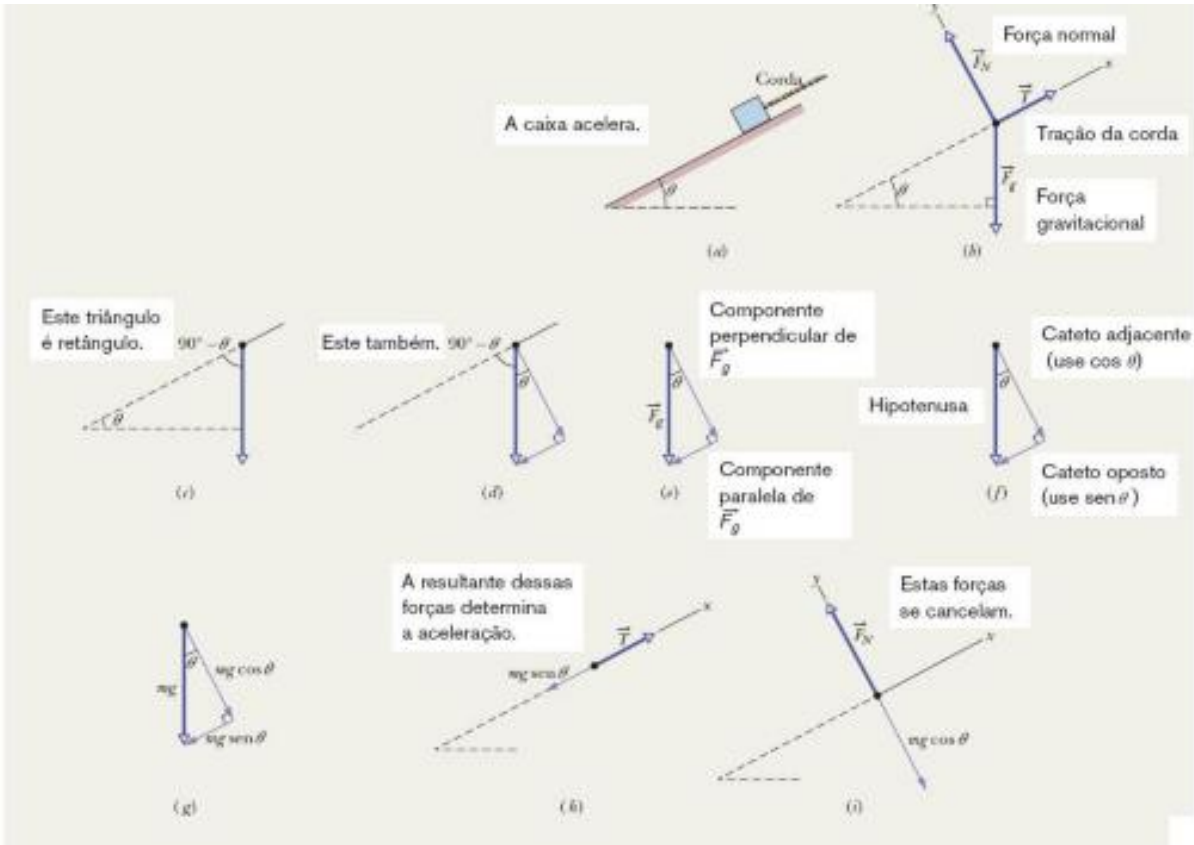


Figura 4. (a) Caixa sobe um plano inclinado, puxada por uma corda. (b) As três forças que agem sobre a caixa: a força da corda $\vec{T}$, a força gravitacional $\vec{F}_g$ e a força normal $\vec{F}_N$. (c)-(i) As componentes de $\vec{F}_g$ na direção do plano inclinado e na direção perpendicular.

Solução

Aplicaremos a segunda lei de Newton ao movimento da caixa ao longo do eixo x:

$$F_{res,\,x} = ma_x.$$

A componente a_x é a única componente da aceleração diferente de zero (a caixa não salta para fora do plano, o que seria estranho, nem penetra no plano, o que seria ainda mais estranho). Assim, vamos chamar a aceleração ao longo do plano simplesmente de a. Como a força $\vec{T}$ aponta no sentido positivo do eixo x e a componente da força gravitacional *mg sen* θ aponta no sentido negativo do eixo x, temos:

$$T - mg\sin\theta = ma$$

Substituindo por valores numéricos e explicitando *a*, obtemos:

$$a = 0{,}1\ m/s^2.$$

O resultado é positivo, o que indica que a aceleração da caixa é para cima. Se diminuíssemos gradualmente o módulo da força $\vec{T}$ até anular a aceleração, a caixa passaria a se mover com velocidade constante. Se diminuíssemos ainda mais o módulo de $\vec{T}$, a aceleração se tornaria negativa, apesar da força exercida pela corda.

Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1 (p. 457). GEN | LTC. Edição do Kindle.

Exemplo 3

Na figura 5, um passageiro, de massa *m = 72,2 kg*, está de pé em uma balança de banheiro no interior de um elevador. Estamos interessados na leitura da balança quando o elevador está parado e quando está se movendo para cima e para baixo. (a) Escreva uma equação que expresse a leitura da balança em função da aceleração vertical do elevador. (b) Qual é a leitura da balança se o elevador está parado ou está se movendo para cima com uma velocidade constante de 0,50 m/s? (c) Qual é a leitura da balança se o elevador sofre uma aceleração, para cima, de 3,20 m/s^2? Qual é a leitura se o elevador sofre uma aceleração, para baixo, de 3,20 m/s^2?

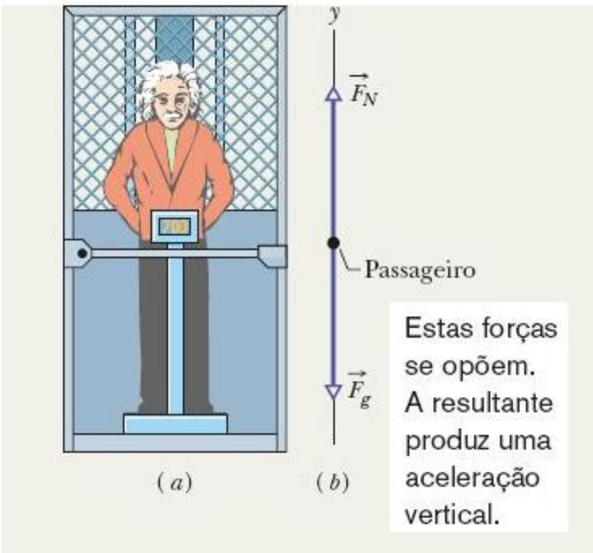


Figura 5. (a) Passageiro de pé em uma balança que indica o peso ou o peso aparente. (b) O diagrama de corpo livre do passageiro mostrando a força normal $\vec{F}_N$ exercida pela balança e a força gravitacional $\vec{F}_g$.

Solução

A leitura é igual ao módulo da força normal $\vec{F}_N$ que a balança exerce sobre o passageiro. Como mostra o diagrama de corpo livre da figura 5b, a única outra força que age sobre o passageiro é a força gravitacional $\vec{F}_g$. Podemos relacionar as forças que agem sobre o passageiro à aceleração usando a segunda lei de Newton ($\vec{F}_{res} = m\vec{a}$).

Como as duas forças e a aceleração a que o passageiro está sujeito são verticais, na direção do eixo *y* da figura 5b, podemos usar a segunda lei de Newton para as componentes *y* ($F_{res,\,y} = ma_y$) e escrever

$$F_N - F_g = ma$$

$$F_N = F_g + ma$$

Isso significa que a leitura da balança, que é igual a F_N, depende da aceleração vertical. Substituindo F_g por mg, obtemos

$$F_N = mg + ma$$

$$F_N = m(g + a)$$

para qualquer valor da aceleração *a*. Se a aceleração é para cima, o valor de *a* é positivo; se a aceleração é para baixo, o valor de *a* é negativo.

(b)

Para qualquer velocidade constante (zero ou diferente de zero), a aceleração do passageiro é zero. Substituindo esse e outros valores conhecidos na equação acima, obtemos

$$F_N = 72{,}2\ kg(9{,}8\ m/s^2 + 0\ m/s^2) = 707{,}56\ N$$

$$F_N \approx 708\ N$$

(c) Para a = 3,20 m/s^2, temos:

$$F_N = 72{,}2\ kg(9{,}8\ m/s^2 + 3{,}2\ m/s^2) = 938{,}6\ N$$

$$F_N \approx 939\ N$$

Para a = -3,20 m/s^2, temos:

$$F_N = 72{,}2\ kg(9{,}8\ m/s^2 - 3{,}2\ m/s^2) = 476{,}52\ N$$

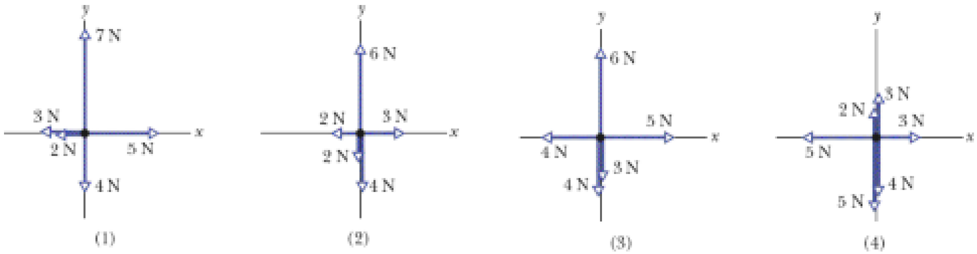
$$F_N \approx 477\ N$$

Se a aceleração é para cima (ou seja, se a velocidade de subida do elevador está aumentando ou se a velocidade de descida está diminuindo), a leitura da balança é maior que o peso do passageiro. Essa leitura é uma medida do peso aparente, pois é realizada em um referencial não inercial. Se a aceleração é para baixo (ou seja, se a velocidade de subida do elevador está diminuindo ou a velocidade de descida está aumentando), a leitura da balança é menor que o peso do passageiro.

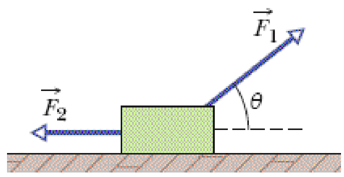
Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1 (pp. 463-464). GEN | LTC. Edição do Kindle.

Exercícios

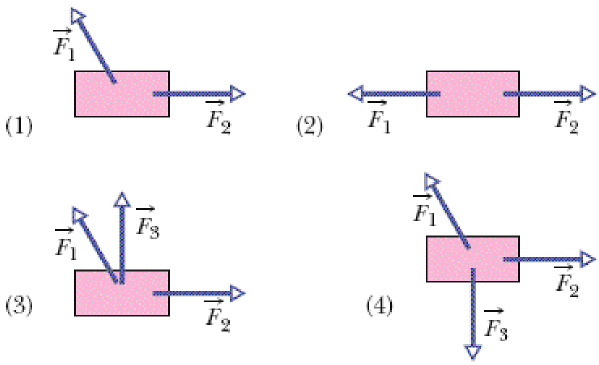
1. A figura abaixo mostra diagramas de corpo livre de quatro situações nas quais um objeto, visto de cima, é puxado por várias forças em um piso sem atrito. Em quais dessas situações a aceleração do objeto possui (a) uma componente x e (b) uma componente y? (c) Em cada situação, indique a orientação de citando um quadrante ou um semieixo.



2. Na figura abaixo, as forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ são aplicadas a uma caixa que desliza com velocidade constante em uma superfície sem atrito. Diminuímos o ângulo θ sem mudar o módulo de $\vec{F}_1$. Para manter a caixa deslizando com velocidade constante, devemos aumentar, diminuir, ou manter inalterado o módulo de $\vec{F}_2$?

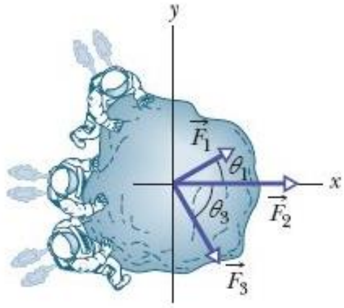


3. A figura abaixo mostra vistas superiores de quatro situações nas quais forças atuam sobre um bloco que está em um piso sem atrito. Em que situações é possível, para certos valores dos módulos das forças, que o bloco (a) esteja em repouso e (b) esteja em movimento com velocidade constante?

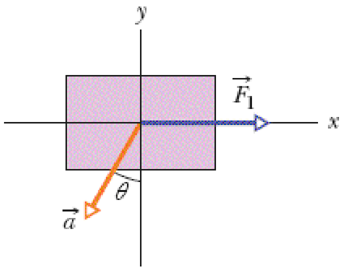


4. Apenas duas forças horizontais atuam em um corpo de *3,0 kg* que pode se mover em um piso sem atrito. Uma força é de *9,0 N* e aponta para o leste; a outra é de *8,0 N* e atua *62°* ao norte do oeste. Qual é o módulo da aceleração do corpo?
5. Se um corpo-padrão de *1 kg* tem uma aceleração de *2,00 m/s²* a *20,0°* com o semieixo x positivo, qual é (a) a componente x e (b) qual é a componente y da força resultante a que o corpo está submetido e (c) qual é a força resultante na notação dos vetores unitários?
6. Três astronautas, impulsionados por mochilas a jato, empurram e guiam um asteroide de 120 kg para uma base de manutenção, exercendo as forças mostradas na figura abaixo, com $F_1 = 32\ N$, $F_2 = 55\ N$, $F_3 = 41\ N$, $\theta_1 = 30°$ e $\theta_3 = 60°$. Determine a aceleração

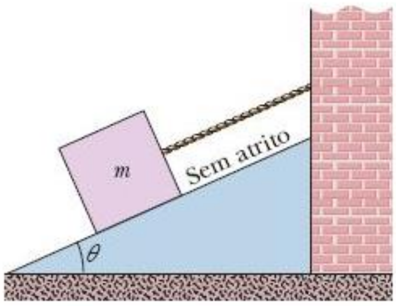
do asteroide (a) na notação dos vetores unitários e como (b) um módulo e (c) um ângulo em relação ao semieixo x positivo.



7. Duas forças agem sobre a caixa de *2,00* kg vista de cima na figura abaixo, mas apenas uma força é mostrada. Para $F_1 = 20,0\ N$, $a = 12,0\ m/s^2$ e θ = 30,0 °, determine a segunda força (a) na notação dos vetores unitários e como (b) um módulo e (c) um ângulo em relação ao semieixo *x* positivo.



8. Uma partícula de *0,340 kg* se move no plano *xy*, de acordo com as equações $x(t) = -15,00 + 2,00t - 4,00t^3$ e $y(t) = 25,00 + 7,00t - 9,00t^2$, com *x* e *y* em metros e *t* em segundos. No instante *t = 0,700 s*, quais são (a) o módulo e (b) o ângulo (em relação ao semieixo x positivo) da força resultante a que está submetida a partícula, e (c) qual é o ângulo da direção de movimento da partícula?
9. Na figura abaixo, a massa do bloco é *8,5 kg* e o ângulo θ é *30°*. Determine (a) a tração da corda e (b) a força normal que age sobre o bloco. (c) Determine o módulo da aceleração do bloco se a corda for cortada.



Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1. GEN | LTC. Edição do Kindle.

10. Qual é o módulo da força necessária para acelerar um trenó foguete de *500 kg* até *1.600 km/h* em *1,8 s*, partindo do repouso?

Respostas

1. 1. (a) 2, 3, 4; (b) 1, 3, 4; (c) 1, + y; 2, + x; 3, quarto quadrante; 4, terceiro quadrante
2. aumentar
3. 5. (a) 2 e 4; (b) 2 e 4
4. 2,9 m/s^2
5. (a) 1,88 N; (b) 0,684 N; (c) $(1{,}88\ N)\hat{\imath} + (0{,}684\ N)\hat{\jmath}$
6. (a) (0,86 m/s^2) $\hat{\imath}$ − (0,16 m/s^2) $\hat{\jmath}$; (b) 0,88 m/ s2; (c) − 11°
7. (a) (− 32,0 N) $\hat{\imath}$ − (20,8 N) $\hat{\jmath}$; (b) 38,2 N; (c) − 147 °
8. (a) 8,37 N; (b) − 133 °; (c) − 125 °
9. (a) 42 N; (b) 72 N; (c) 4,9 m/s^2
10. 1,2 × 10^5 N

Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1 (p. 1322). GEN | LTC. Edição do Kindle.