Exercícios Resolvidos de Dinâmica Clássica

Jason Alfredo Carlson Gallas
professor titular de física teórica,
Doutor em Física pela Universidade Ludwig Maximilian de Munique, Alemanha

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física

Matéria para a PRIMEIRA prova.
Numeração conforme a **quarta** edição do livro. Em vermelho, em parêntesis: numeração da **(sexta) edição.**
"Fundamentos de Física", Halliday, Resnick e Walker.

Esta e outras listas encontram-se em: *http://www.if.ufrgs.br/~jgallas*

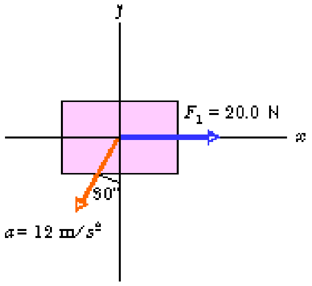
Contents

5.2 Problemas e Exercícios

5.2.1 Segunda Lei de Newton

E 5-7 (5-7/6^a edição)

Na caixa de 2 kg da Fig. 5-36, são aplicadas duas forças, mas somente uma é mostrada. A aceleração da caixa também é mostrada na figura. Determine a segunda força (a) em notação de vetores unitários e (b) em módulo e sentido.



[Fig. 5-36 Enlarged.] Exercise 7.

► **(a)** Chamemos as duas forças de $\mathbf{F}_1$ e $\mathbf{F}_2$. De acordo com a segunda lei de Newton, $\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = m\mathbf{a}$, de modo que $\mathbf{F}_2 = m\mathbf{a} - \mathbf{F}_1$. Na notação de vetores unitários temos $\mathbf{F}_1 = 20\,\mathbf{i}$ e

$$\mathbf{a} = -12\ \text{sen}\,30^o\,\mathbf{i} - 12\cos 30^o\,\mathbf{j} = -6\,\mathbf{i} - 10.4\,\mathbf{j}.$$

Portanto

$$\begin{aligned}\mathbf{F}_2 &= (2)(-6)\,\mathbf{i} + (2)(-10.4)\,\mathbf{j} - 20\,\mathbf{i}\\ &= [-32\,\mathbf{i} - 21\,\mathbf{j}]\ \text{N}.\end{aligned}$$

(b) O módulo de $\mathbf{F}_2$ é dado por

$$F_2 = \sqrt{F_{2x}^2 + F_{2y}^2} = \sqrt{(-32)^2 + (-21)^2} = 38\ \text{N}.$$

O ângulo que $\mathbf{F}_2$ faz com o eixo x positivo é dado por

$$\tan\theta = \frac{F_{2y}}{F_{2x}} = \frac{-21}{-32} = 0.656.$$

O ângulo é ou 33^o ou $33^o + 180^o = 213^o$. Como ambas componentes F_{2x} e F_{2y} são negativas, o valor correto é 213^o.

5.2.2 Algumas Forças Específicas

E 5-11 (5-???/6^a)

Quais são a massa e o peso de (a) um trenó de 630 kg e (b) de uma bomba térmica de 421 kg?

► **(a)** A massa é igual a 630 kg, enquanto que o peso é $P = mg = (630)(9.8) = 6174$ N.
(b) A massa é igual a 421 kg, enquanto que o peso é $P = mg = (421)(9.8) = 4125.8$ N.

E 5-14 (5-11/6^a)

Uma determinada partícula tem peso de 22 N num ponto onde $g = 9.8$ m/s^2. (a) Quais são o peso e a massa da partícula, se ela for para um ponto do espaço onde $g = 4.9$ m/s^2? (b) Quais são o peso e a massa da partícula, se ela for deslocada para um ponto do espaço onde a aceleração de queda livre seja nula?

► **(a)** A massa é

$$m = \frac{P}{g} = \frac{22}{9.8} = 2.2\ \text{kg}.$$

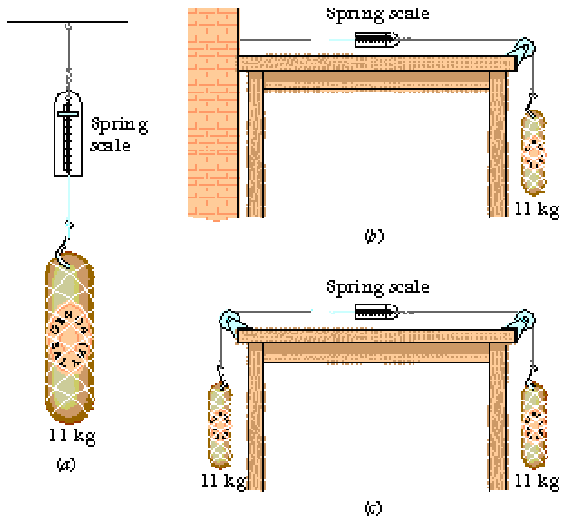
Num local onde $g = 4.9$ m/s^2 a massa continuará a ser 2.2 kg, mas o peso passará a ser a metade:

$$P = mg = (2.2)(4.9) = 11\ \text{N}.$$

(b) Num local onde $g = 0$ m/s^2 a massa continuará a ser 2.2 kg, mas o peso será ZERO.

E 5-18 (5-9/6^a)

(a) Um salame de 11 kg está preso por uma corda a uma balança de mola, que está presa ao teto por outra corda (Fig. 5-43a). Qual a leitura da balança? (b) Na Fig. 5-43b, o salame está suspenso por uma corda que passa por uma roldana e se prende a uma balança de mola que, por sua vez, está presa à parede por outra corda. Qual a leitura na balança? (c) Na Fig. 5-43c, a parede foi substituída por outro salame de 11 kg, à esquerda, e o conjunto ficou equilibrado. Qual a leitura na balança agora?



[Fig. 5-43 Enlarged.] Exercise 18.

Em todos os três casos a balança não está acelerando, o que significa que as duas cordas exercem força de igual magnitude sobre ela. A balança mostra a magnitude de qualquer uma das duas forças a ela ligadas. Em cada uma das situações a tensão na corda ligada ao salame tem que ter a mesma magnitude que o peso do salame pois o salame não está acelerando. Portanto a leitura da balança é mg, onde m é a massa do salame. Seu valor é

$$P = (11)(8.9) = 108\ \text{N}.$$

5.2.3 Aplicação das Leis de Newton

P 5-21 (5-19/6^a)

Um foguete experimental pode partir do repouso e alcançar a velocidade de 1600 km/h em 1.8 s, com aceleração constante. Qual a intensidade da força média necessária, se a massa do foguete é 500 kg?

▶ Basta usarmos $F = ma$, onde F é a magnitude da força, a a aceleração, e m a massa do foguete.
A aceleração é obtida usando-se uma relação simples da cinemática, a saber, $v = at$. Para $v = 1600$ km/h $= 1600/3.6 = 444$ m/s, temos que $a = 444/1.8 = 247$ m/s^2. Com isto a força média é dada por

$$F = ma = (500)(247) = 1.2 \times 10^5 \text{ N}.$$

E 5-23 (5-??/6^a)

Se um nêutron livre é capturado por um núcleo, ele pode ser parado no interior do núcleo por uma *força forte*. Esta força forte, que mantém o núcleo coeso, é nula fora do núcleo. Suponha que um nêutron livre com velocidade inicial de 1.4×10^7 m/s acaba de ser capturado por um núcleo com diâmetro $d = 10^{-14}$ m. Admitindo que a força sobre o nêutron é constante, determine sua intensidade. A massa do nêutron é 1.67×10^{-27} kg.

▶ A magnitude da força é $F = ma$, onde a é a aceleração do nêutron. Para determinar a aceleração que faz o nêutron parar ao percorrer uma distância d, usamos

$$v^2 = v_0^2 + 2ad.$$

Desta equação obtemos sem problemas

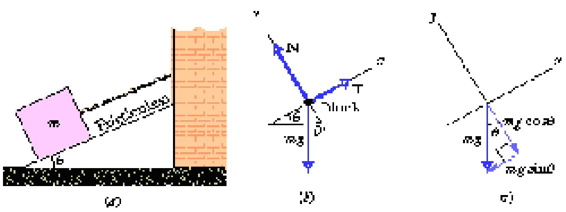
$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2d} = \frac{-(1.4 \times 10^7)^2}{2(10^{-14})} = -9.8 \times 10^{27} \text{ m/s}^2.$$

A magnitude da força é

$$F = ma = (1.67 \times 10^{-27})(9.8 \times 10^{27}) = 16.4 \text{ N}.$$

E 5-28 (5-15/6^a)

Veja a Fig. 5-27. Vamos considerar a massa do bloco igual a 8.5 kg e o ângulo $\theta = 30^o$. Determine (a) a tensão na corda e (b) a força normal aplicada sobre o bloco. (c) Determine o módulo da aceleração do bloco se a corda for cortada.



▶ **(a)** O diagrama de corpo isolado é mostrado na Fig. 5-27 do livro texto. Como a aceleração do bloco é zero, a segunda lei de Newton fornece-nos

$$\begin{aligned} T - mg \,\text{sen}\,\theta &= 0 \\ N - mg\cos\theta &= 0. \end{aligned}$$

A primeira destas equações nos permite encontrar a tensão na corda:

$$T = mg \,\text{sen}\,\theta = (8.5)(9.8)\ \text{sen}\,30^o = 42 \text{ N}.$$

(b) A segunda das equações acima fornece-nos a força normal:

$$N = mg\cos\theta = (8.5)(9.8)\cos 30^o = 72 \text{ N}.$$

(c) Quando a corda é cortada ela deixa de fazer força sobre o bloco, que passa a acelerar. A componente x da segunda lei de Newton fica sendo agora $-mg \,\text{sen}\,\theta = ma$, de modo que

$$a = -m \,\text{sen}\,\theta = -(9.8)\ \text{sen}30^o = -4.9 \text{ m/s}^2.$$

O sinal negativo indica que a aceleração é plano abaixo.

E 5-33 (5-???/6^a)

Um elétron é lançado horizontalmente com velocidade de 1.2×10^7 m/s no interior de um campo elétrico, que exerce sobre ele uma força vertical constante de 4.5×10^{-16} N. A massa do elétron é 9.11×10^{-31} kg. Determine a distância vertical de deflexão do elétron, no intervalo de tempo em que ele percorre 30 mm, horizontalmente.

▶ A aceleração do elétron é vertical e, para todos efeitos, a única força que nele atua é a força elétrica; a força gravitacional é totalmente desprezível frente à força elétrica. Escolha o eixo x no sentido da velocidade inicial e o eixo y no sentido da força elétrica. A origem é escolhida como sendo a posição inicial do elétron. Como a aceleração e força são constantes, as equações cinemáticas são

$$x = v_0 t \qquad \text{e} \qquad y = \tfrac{1}{2}at^2 = \tfrac{1}{2}\frac{F}{m}t^2,$$

onde usamos $F = ma$ para eliminar a aceleração. O tempo que o elétron com velocidade v_0 leva para viajar uma distância horizontal de $x = 30$ mm é $t = x/v_0$ e sua deflexão na direção da força é

$$\begin{aligned} y &= \tfrac{1}{2}\frac{F}{m}\left(\frac{x}{v_0}\right)^2 \\ &= \tfrac{1}{2}\left(\frac{4.5 \times 10^{-16}}{9.11 \times 10^{-31}}\right)\left(\frac{30 \times 10^{-3}}{1.2 \times 10^7}\right)^2 \\ &= 1.5 \times 10^{-3} \text{ m} = 0.0015\text{mm}. \end{aligned}$$

É jogando elétrons contra um tubo de imagens que sua TV funciona... Isto será estudado nos capítulos 23 e 24 do livro.

P 5-38 (5-29/6^a)

Uma esfera de massa 3×10^{-4} kg está suspensa por uma corda. Uma brisa horizontal constante empurra a esfera de maneira que ela faça um ângulo de 37^o com a vertical de repouso da mesma. Determine (a) a intensidade da força aplicada e (b) a tensão na corda.

▶ **(a)** Suponhamos a brisa soprando horizontalmente da direita para a esquerda. O diagrama de corpo isolado para a esfera tem três forças: a tensão T na corda, apontando para cima e para a direita e fazendo um ângulo $\theta = 37^o$ com a vertical, o peso mg apontando verticalmente para baixo, e a força F da brisa, apontando horizontalmente para a esquerda.
Como a esfera não está acelerada, a força resultante deve ser nula. A segunda lei de Newton nos diz que as componentes horizontais e verticais das forças satisfazem as relações, respectivamente,

$$\begin{aligned} T\,\text{sen}\,\theta - F &= 0, \\ T\cos\theta - mg &= 0. \end{aligned}$$

Eliminando T entre estas duas equações obtemos

$$\begin{aligned} F = mg\,\tan\theta &= (3\times10^{-4})(9.8)\,\tan 37^o \\ &= 2.21\times10^{-3}\text{ N}. \end{aligned}$$

(b) A tensão pedida é

$$T = \frac{mg}{\cos\theta} = \frac{(3\times10^{-4})(9.8)}{\cos 37^o} = 3.68\times10^{-3}\text{ N}.$$

Perceba que talvez fosse mais simples ter-se primeiro determinado T e, a seguir, F, na ordem contrária do que pede o problema.

P 5-39 (5-??/6^a)

Uma moça de 40 kg e um trenó de 8.4 kg estão sobre a superfície de um lago gelado, separados por 15 m. A moça aplica sobre o trenó uma força horizontal de 5.2 N, puxando-o por uma corda, em sua direção. (a) Qual a aceleração do trenó? (b) Qual a aceleração da moça? (c) A que distância, em relação à posição inicial da moça, eles se juntam, supondo nulas as forças de atrito?

▶ **(a)** Como o atrito é desprezível, a força da moça no trenó é a única força horizontal que existe no trenó. As forças verticais, a força da gravidade e a força normal do gelo, anulam-se.

A aceleração do trenó é

$$a_t = \frac{F}{m_t} = \frac{5.2}{8.4} = 0.62\text{ m/s}^2.$$

(b) De acordo com a terceira lei de Newton, a força do trenó na moça também é de 5.2 N. A aceleração da moça é, portanto,

$$a_m = \frac{F}{m_m} = \frac{5.2}{40} = 0.13\text{ m/s}^2.$$

(c) A aceleração do trenó e da moça tem sentidos opostos. Suponhamos que a moça parta da origem e mova-se na direção positiva do eixo x. Sua coordenada é

$$x_m = \tfrac{1}{2}a_m t^2.$$

O trenó parte de $x = x_0 = 15$ m e move-se no sentido negativo de x. Sua coordenada é dada por

$$x_t = x_0 - \tfrac{1}{2}a_t t^2.$$

Eles se encontram quando $x_m = x_t$, ou seja quando

$$\tfrac{1}{2}a_m t^2 = x_0 - \tfrac{1}{2}a_t t^2,$$

donde tiramos facilmente o instante do encontro:

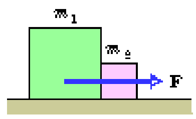
$$t = \sqrt{\frac{2x_0}{a_m + a_t}},$$

quando então a moça terá andado uma distância

$$\begin{aligned} x_m = \tfrac{1}{2}a_m t^2 &= \frac{x_0 a_m}{a_m + a_t} \\ &= \frac{(15)(0.13)}{0.13 + 0.62} = 2.6\text{ m}. \end{aligned}$$

P 5-40 (5-31/6^a)

Dois blocos estão em contato sobre uma mesa sem atrito. Uma força horizontal é aplicada a um dos blocos, como mostrado na Fig. 5-45. (a) Se $m_1 = 2.3$ kg e $m_2 = 1.2$ kg e $F = 3.2$ N, determine a força de contato entre os dois blocos. (b) Mostre que, se a mesma força F for aplicada a m_2, ao invés de m_1, a força de contato entre os dois blocos é 2.1 N, que não é o mesmo valor obtido em (a). Explique a diferença.



[Fig. 5-45 Enlarged.]
Problem 40.

▶ **(a)** O diagrama de corpo isolado para a massa m_1 tem quatro forças: na vertical, $m_1 g$ e N_1, na horizontal, para a direita a força aplicada F e, para a esquerda, a força de contato $-f$ que m_2 exerce sobre m_1. O diagrama de corpo isolado para a massa m_2 contém três forças: na

vertical, m_2g e N_2 e, na horizontal, apontando para a direita, a força f. Note que o par de forças $-f$ e f é um par ação-reação, conforme a terceira lei de Newton.
A segunda lei de Newton aplicada para m_1 fornece

$$F - f = m_1 a,$$

onde a é a aceleração. A segunda lei de Newton aplicada para m_2 fornece

$$f = m_2 a.$$

Observe que como os blocos movem-se juntos com a mesma aceleração, podemos usar o mesmo símbolo a em ambas equações.
Da segunda equação obtemos $a = f/m_2$ que substituída na primeira equação dos fornece f:

$$f = \frac{Fm_2}{m_1 + m_2} = \frac{(3.2)(1.2)}{2.3 + 1.2} = 1.1 \text{ N}.$$

(b) Se **F** for aplicada em m_2 em vez de m_1, a força de contato é

$$f = \frac{Fm_1}{m_1 + m_2} = \frac{(3.2)(2.3)}{2.3 + 1.2} = 2.1 \text{ N}.$$

A aceleração dos blocos é a mesma nos dois casos. Como a força de contato é a única força aplicada a um dos blocos, parece correto atribuir-se aquele bloco a mesma aceleração que ao bloco ao qual **F** é aplicada. No segundo caso a força de contato acelera um bloco com maior massa do que no primeiro, de modo que deve ser maior.

P 5-44 (5-33/6^a)

Um elevador e sua carga, juntos, têm massa de 1600 kg. Determine a tensão no cabo de sustentação quando o elevador, inicialmente descendo a 12 m/s, é parado numa distância de 42 m com aceleração constante.

▸ O diagrama de corpo isolado tem duas forças: para cima, a tensão T no cabo e, para baixo, a força mg da gravidade. Se escolhermos o sentido para cima como positivo, a segunda lei de Newton diz-nos que $T - mg = ma$, onde a é a aceleração. Portanto, a tensão é

$$T = m(g + a).$$

Para determinar a aceleração que aparece nesta equação usamos a relação

$$v^2 = v_0^2 + 2ay,$$

onde a velocidade final é $v = 0$, a velocidade inicial é $v_0 = -12$ e $y = -42$, a coordenada do ponto final. Com isto, encontramos

$$a = \frac{-v_0^2}{2y} = \frac{-(-12)^2}{2(-42)} = \frac{12}{7} = 1.71 \text{ m/s}^2.$$

Este resultado permite-nos determinar a tensão:

$$T = m(g + a) = (1600)(9.8 + 1.71) = 1.8 \times 10^4 \text{ N}.$$

P 5-52 (5-35/6^a)

Uma pessoa de 80 kg salta de pára-quedas e experimenta uma aceleração, para baixo, de 2.5 m/s^2. O pára-quedas tem 5 kg de massa. (a) Qual a força exercida, para cima, pelo ar sobre o pára-quedas? (b) Qual a força exercida, para baixo, pela pessoa sobre o pára-quedas?

▸ (a) O diagrama de corpo isolado para a pessoa+pára-quedas contém duas forças: verticalmente para cima a força F_a do ar, e para baixo a força gravitacional de um objeto de massa $m = (80+5) = 85$ kg, correspondente às massas da pessoa e do pára-quedas.
Considerando o sentido para baixo como positivo, A segunda lei de Newton diz-nos que

$$mg - F_a = ma,$$

onde a é a aceleração de queda. Portanto,

$$F_a = m(g - a) = (85)(9.8 - 2.5) = 620 \text{ N}.$$

(b) Consideremos agora o diagrama de corpo isolado apenas para o pára-quedas. Para cima temos F_a, e para baixo temos a força gravitacional sobre o pára-quedas de massa m_p. Além dela, para baixo atua também a força F_p, da pessoa. A segunda lei de Newton diz-nos então que $m_pg + F_p - F_a = m_pa$, donde tiramos

$$\begin{aligned} F_p = m_p(a - g) + F_a &= (5)(2.5 - 9.8) + 620 \\ &= 580 \text{ N}. \end{aligned}$$

P 5-55 (5-???/6^a)

Imagine um módulo de aterrisagem se aproximando da superfície de Callisto, uma das luas de Júpiter. Se o motor fornece uma força para cima (empuxo) de 3260 N, o módulo desce com velocidade constante; se o motor fornece apenas 2200 N, o módulo desce com uma aceleração de 0.39 m/s^2. (a) Qual o peso do módulo de aterrisagem nas proximidades da superfície de Callisto? (b) Qual a massa do módulo? (c) Qual a aceleração em queda livre, próxima à superfície de Callisto?

▶ Chamemos de g a aceleração da gravidade perto da superfície de Callisto, de m a massa do módulo de aterrisagem, de a a aceleração do módulo de aterrisagem, e de F o empuxo (a força para cima). Consideremos o sentido para baixo como o sentido positivo. Então $mg - F = ma$. Se o empuxo for $F_1 = 3260$ N, a aceleração é zero, donde vemos que

$$mg - F_1 = 0.$$

Se o empuxo for $F_2 = 2200$ N, a aceleração é $a_2 = 0.39$ m/s^2, e temos

$$mg - F_2 = ma_2.$$

(a) A primeira equação fornece o peso do módulo de aterrisagem:

$$P = mg = F_1 = 3260 \text{ N}.$$

(b) A segunda equação fornece a massa:

$$m = \frac{P - F_2}{a_2} = \frac{3260 - 2200}{0.39} = 2.7 \times 10^3 \text{ kg}.$$

(c) O peso dividido pela massa fornece a aceleração da gravidade no local, ou seja,

$$g = \frac{P}{m} = \frac{3260}{2.7 \times 10^3} = 1.2 \text{ m/s}^2.$$

P 5-57 (5-41/6ª)

Uma corrente formada por cinco elos, com massa de 0.10 kg cada um, é levantada verticalmente com uma aceleração constante de 2.50 m/s^2, como mostrado na Fig. 5-51. Determine (a) as forças que atuam entre elos adjacentes, (b) a força **F** exercida sobre o elo superior pela pessoa que levanta a corrente e (c) a força *resultante* que acelera cada elo.

[Fig. 5-51 Enlarged.] Problem 57.

▶ **(a)** Enumere os elos de baixo para cima. As forças atuando no elo bem de baixo são a força da gravidade mg, para baixo, e a força F_{21} do elo 2 sobre o elo 1, para cima. Suponha a direção "para cima" como sendo positiva.
Aplicada ao elo 1, a segunda Lei de Newton fornece $F_{21} - mg = ma$. Portanto

$$F_{21} = m(g + a) = (0.10)(9.8 + 2.5) = 1.23 \text{ N}.$$

As forças atuando no elo 2 são: a força mg da gravidade, para baixo, a força F_{12} para baixo (do elo 1 sobre o elo 2), e a força F_{32} do elo 3, para cima. A segunda Lei de Newton para o segundo elo é $F_{32} - F_{12} - mg = ma$, de modo que

$$\begin{aligned} F_{32} &= m(g+a) + F_{12} \\ &= (0.1)(9.8 + 2.5) + 1.23 = 2.46 \text{ N}. \end{aligned}$$

Para o elo 3 temos $F_{43} - F_{23} - mg = ma$, ou seja,

$$\begin{aligned} F_{43} &= m(g+a) + F_{23} \\ &= (0.1)(9.8 + 2.5) + 2.46 = 3.69 \text{ N}, \end{aligned}$$

onde usamos $F_{23} = F_{32}$.
Para o elo 4 temos $F_{54} - F_{34} - mg = ma$, ou seja,

$$\begin{aligned} F_{54} &= m(g+a) + F_{34} \\ &= (0.1)(9.8 + 2.5) + 3.69 = 4.92 \text{ N}, \end{aligned}$$

onde usamos $F_{34} = F_{43}$.
(b) Para o elo do topo temos $F - F_{45} - mg = ma$, ou seja,

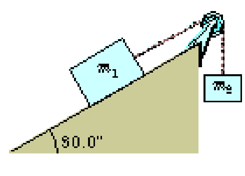
$$\begin{aligned} F &= m(g+a) + F_{45} \\ &= (0.1)(9.8 + 2.5) + 4.92 = 6.15 \text{ N}, \end{aligned}$$

onde usamos $F_{45} = F_{54}$.
(c) Cada elo tem a mesma massa e a mesma aceleração, de modo que a força resultante em cada um deles é

$$F_{\text{res}} = ma = (0.1)(2.5) = 0.25 \text{ N}.$$

P 5-58 (5-43/6ª)

Um bloco de massa $m_1 = 3.7$ kg está sobre um plano com 30^o de inclinação, sem atrito, preso por uma corda que passa por uma polia, de massa e atrito desprezíveis, e tem na outra extremidade um segundo bloco de massa $m_2 = 2.3$ kg, pendurado verticalmente (Fig. 5-52). Quais são (a) os módulos das acelerações de cada bloco e (b) o sentido da aceleração de m_2? (c) Qual a tensão na corda?



[Fig. 5-52 Enlarged.] Problem 58.

▶ **(a)** Primeiro, fazemos o diagrama de corpo isolado para cada um dos blocos.
Para m_2, apontando para cima temos a magnitude T da tensão na corda, e apontando para baixo o peso $m_2 g$.
Para m_1, temos três forças: (i) a tensão T apontando para cima, ao longo do plano inclinado, (ii) a normal

N perpendicular ao plano inclinado e apontando para cima e para a esquerda, e (iii) a força peso $m_1 g$, apontando para baixo, fazendo um ângulo $\theta = 30^o$ com o prolongamento da normal.
Para m_1, escolhemos o eixo x paralelo ao plano inclinado e apontando para cima, e o eixo y na direção da normal ao plano. Para m_2, escolhemos o eixo y apontando para baixo. Com estas escolhas, a aceleração dos dois blocos pode ser representada pela mesma letra a.
As componentes x e y da segunda lei de Newton para m_1 são, respectivamente,

$$\begin{aligned} T - m_1 g \text{ sen}\theta &= m_1 a, \\ N - m_1 g \cos\theta &= 0. \end{aligned}$$

A segunda lei de Newton para m_2 fornece-nos

$$m_2 g - T = m_2 a.$$

Substituindo-se $T = m_1 a + m_1 g \text{ sen}\theta$ (obtida da primeira equação acima), nesta última equação, obtemos a aceleração:

$$\begin{aligned} a &= \frac{(m_2 - m_1 \text{ sen}\theta) g}{m_1 + m_2} \\ &= \frac{[2.3 - 3.7 \ \text{sen}\, 30^o](9.8)}{3.7 + 2.3} = 0.735 \text{ m/s}^2. \end{aligned}$$

(b) O valor de a acima é positivo, indicando que a aceleração de m_1 aponta para cima do plano inclinado, enquanto que a aceleração de m_2 aponta para baixo.
(c) A tensão T na corda pode ser obtida ou de

$$\begin{aligned} T &= m_1 a + m_1 g \text{ sen}\theta \\ &= (3.7)[0.735 + 9.8 \text{ sen}\, 30^o] = 20.84 \text{ N}, \end{aligned}$$

ou, ainda, da outra equação:

$$\begin{aligned} T &= m_2 g + m_2 a \\ &= (2.3)[9.8 - 0.735] = 20.84 \text{ N}. \end{aligned}$$

P 5-60 **(5-45/6^a)**

Um bloco é lançado para cima sobre um plano inclinado sem atrito, com velocidade inicial v_0. O ângulo de inclinação é θ. (a) Que distância ao longo do plano ele alcança? (b) Quanto tempo leva para chegar até lá? (c) Qual sua velocidade, quando retorna e chega embaixo? Calcule numericamente as respostas para $\theta = 32^o$ e $v_0 = 3.5$ m/s.

▶ O diagrama de corpo isolado contém duas forças: a força N normal à superfície, e o peso mg, para baixo. Escolha o eixo x paralelo ao plano e apontando para baixo, na direção da aceleração, e o eixo y na direção da força normal. A componente x da segunda lei de Newton nos diz que

$$m g \text{sen}\,\theta = ma,$$

de modo que a aceleração é $a = g\text{sen}\,\theta$.
(a) Escolha a origem embaixo, no ponto de partida. As equações cinemáticas para o movimento ao longo do eixo x são $x = v_0 t + at^2/2$ e $v = v_0 + at$. O bloco para quando $v = 0$. A segunda equação nos diz que a parada ocorre para $t = -v_0/a$. A coordenada em que o corpo para é

$$\begin{aligned} x &= v_0\Big(\frac{-v_0}{a}\Big) + \tfrac{1}{2} a \Big(\frac{-v_0}{a}\Big)^2 \\ &= -\tfrac{1}{2}\frac{v_0^2}{a} = -\tfrac{1}{2}\frac{v_0^2}{g \text{ sen}\theta} \\ &= -\tfrac{1}{2}\Big[\frac{(-3.5)^2}{9.8 \text{ sen}\, 32^o}\Big] = -1.18 \text{ m}. \end{aligned}$$

(b) O tempo decorrido até parar é

$$t = -\frac{v_0}{a} = -\frac{v_0}{g \text{ sen}\,\theta} = -\frac{-3.5}{9.8 \text{ sen}\, 32^o} = 0.674 \text{ s}.$$

(c) Primeiro coloque $x = 0$ na equação $x = v_0 t + at^2/2$ e resolva-a para t. O resultado é

$$t = -\frac{2v_0}{a} = -\frac{2v_0}{g \text{ sen}\,\theta} = -\frac{2(-3.5)}{9.8 \text{ sen}\, 32^o} = 1.35 \text{ s}.$$

Neste instante a velocidade é

$$v = v_0 + at = v_0 + a\frac{-2v_0}{a} = v_0 - 2v_0 = -v_0,$$

como era de esperar-se pois não existe dissipação no problema.
▶ NOTA: no capítulo 8 iremos aprender a resolver este problema de um modo bem mais fácil, usando conservação da energia. Chamando de h a altura que o bloco sobe, temos

$$\tfrac{1}{2} m v^2 = mgh.$$

Portanto o módulo da distância x ao longo do plano pode ser facilmente extraida da relação trigonométrica x sen $\theta = h$, ou seja,

$$x = \frac{v^2}{2g \text{ sen}\,\theta},$$

que coincide com o módulo do valor anteriormente calculado.

P 5-63 (5-47/6^a)

Um macaco de 10 kg sobe por uma corda de massa desprezível, que passa sobre o galho de uma árvore, sem atrito, e tem presa na outra extremidade uma caixa de 15 kg, que está no solo (Fig. 5-54). (a) Qual o módulo da aceleração mínima que o macaco deve ter para levantar a caixa do solo? Se, após levantar a caixa, o macaco parar de subir e ficar agarrado à corda, quais são (b) sua aceleração e (c) a tensão na corda?

▶ **(a)** Consideremos "para cima" como sendo os sentidos positivos tanto para o macaco quanto para a caixa. Suponhamos que o macaco puxe a corda para baixo com uma força de magnitude F. De acordo com a terceira lei de Newton, a corda puxa o macaco com uma força de mesma magnitude, de modo que a segunda lei de Newton aplicada ao macaco fornece-nos

$$F - m_m g = m_m a_m,$$

onde m_m e a_m representam a massa e a aceleração do macaco, respectivamente. Como a corda tem massa desprezível, a tensão na corda é o próprio F.
A corda puxa a caixa para cima com uma força de magnitude F, de modo que a segunda lei de Newton aplicada à caixa é

$$F + N - m_p g = m_p a_p,$$

onde m_p e a_p representam a massa e a aceleração da caixa, respectivamente, e N é a força normal exercida pelo solo sobre a caixa.
Suponhamos agora que $F = F_{min}$, onde F_{min} é a força mínima para levantar a caixa. Então $N = 0$ e $a_p = 0$, pois a caixa apenas 'descola' do chão, sem ter ainda começado a acelerar. Substituindo-se estes valores na segunda lei de Newton para a caixa obtemos que $F = m_p g$ que, quando substituída na segunda lei de Newton para o macaco (primeira equação acima), nos permite obter a aceleração sem problemas:

$$\begin{aligned} a_m = \frac{F - m_m g}{m_m} &= \frac{(m_p - m_m)g}{m_m} \\ &= \frac{(15-10)(9.8)}{10} = 4.9 \text{ m/s}^2. \end{aligned}$$

(b) Para a caixa e para o macaco, a segunda lei de Newton são, respectivamente,

$$\begin{aligned} F - m_p g &= m_p a_p, \\ F - m_m g &= m_m a_m. \end{aligned}$$

Agora a aceleração do pacote é para baixo e a do macaco para cima, de modo que $a_m = -a_p$. A primeira equação nos fornece

$$F = m_p(g + a_p) = m_p(g - a_m),$$

que quando substituida na segunda equação acima nos permite obter a_m:

$$\begin{aligned} a_m &= \frac{(m_p - m_m)g}{m_p - m_m} \\ &= \frac{(15-10)g}{15+10} = 2 \text{ m/s}^2. \end{aligned}$$

(c) Da segunda lei ne Newton para a caixa podemos obter que

$$F = m_p(g - a_m) = (15)(9.8 - 2.0) = 120 \text{ N}.$$

P 5-67 (5-49/6^a)

Um bloco de 5 kg é puxado sobre uma superfície horizontal, sem atrito, por uma corda que exerce uma força $F = 12$ N, fazendo um ângulo $\theta = 25^o$ com a horizontal, conforme a Fig. 5-57. (a) Qual a aceleração do bloco? (b) A força F é lentamente aumentada. Qual é esta força no instante anterior ao levantamento do bloco da superfície? (c) Qual a acelelra¸cão nesse mesmo instante?

▶ (a) A única força capaz de acelerar o bloco é fornecida pela componente horizontal da força aplicada. Portanto, a aceleração do bloco de massa $m = 5$ kg é dada por

$$a = \frac{F\ \cos 25^o}{m} = \frac{12\ \cos 25^o}{5} = 2.18 \text{ m/s}^2.$$

(b) Enquanto não existir movimento vertical do bloco, a força total resultante exercida verticalmente no bloco será dada por

$$F\ \ \text{sen}\, 25^o + N - mg = 0,$$

onde N representa a força normal exercida pelo solo no bloco. No instante em que o bloco é levantado teremos $N = 0$. Substituindo este valor na equação acima e resolvendo-a obtemos

$$F = \frac{mg}{\text{sen}\, 25^o} = \frac{(5)(9.8)}{\text{sen}\, 25^o} = 116 \text{ N}.$$

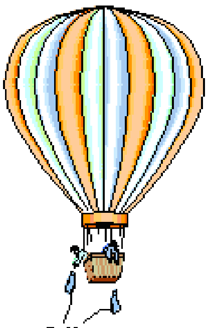
(c) A força horizontal neste instante é $F \cos 25^o$, onde $F = 116$ Newtons. Portanto, a aceleração horizontal será

$$a = \frac{F\ \cos 25^o}{m} = \frac{116\ \cos 25^o}{5} = 21 \text{ m/s}^2.$$

A aceleração vertical continuará a ser ZERO pois a força vertical líquida é zero.

P 5-70 (5-53/6^a)

Um balão de massa M, com ar quente, está descendo, verticalmente com uma aceleração a para baixo (Fig. 5-59). Que quantidade de massa deve ser atirada para fora do balão, para que ele suba com uma aceleração a (mesmo módulo e sentido oposto)? Suponha que a força de subida, devida ao ar, não varie em função da massa (carga de estabilização) que ele perdeu.



[Fig. 5-59 Enlarged.] Problem 70.

▶ As forças que atuam no balão são a força mg da gravidade, para baixo, e a força $\mathbf{F}_a$ do ar, para cima. Antes da massa de estabilização ser jogada fora, a aceleração é para baixo e a segunda lei de Newton fornece-nos

$$F_a - Mg = -Ma,$$

ou seja $F_a = M(g - a)$. Após jogar-se fora uma massa m, a massa do balão passa a ser $M - m$ e a aceleração é para cima, com a segunda lei de Newton dando-nos agora a seguinte expressão

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

Eliminando F_a entre as duas equações acima encontramos sem problemas que

$$m = \frac{2Ma}{a + g} = \frac{2M}{1 + g/a}.$$