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

6 Forças e Movimento – II

6.1 Questões

Q 6-10

Cite bla-bla-bla...

▶

6.2 Problemas e Exercícios

6.2.1 Propriedades do Atrito

E 6-1 (6-1 na 6ª edição)

Um armário de quarto com massa de 45 kg, incluindo gavetas e roupas, está em repouso sobre o assoalho. (a) Se o coeficiente de atrito estático entre o móvel e o chão for 0.45, qual a menor força horizontal que uma pessoa deverá aplicar sobre o armário para colocá-lo em movimento? (b) Se as gavetas e as roupas, que têm 17 kg de massa, forem removidas antes do armário ser empurrado, qual a nova força mínima?

▶ (a) O diagrama de corpo livre deste problema tem quatro forças. Na horizontal: apontando para a direita está a força aplicada $\mathbf{F}$, para a esquerda a força de atrito $\mathbf{f}$. Na vertical, apontando para cima temos a força normal $\mathbf{N}$ do piso, para baixo a força mg da gravidade. Escolhendo o eixo x na horizontal e o eixo y na vertical. Como o armário está em equilíbrio (não se move), a segunda lei de Newton fornece-nos como componentes x e y as seguintes equações

$$\begin{aligned} F - f &= 0, \\ N - mg &= 0. \end{aligned}$$

Donde vemos que $F = f$ e $N = mg$.
Quando F aumenta, f aumenta também, até que $f = \mu_s N$. Neste instante o armário começa a mover-se. A força mínima que deve ser aplicada para o armário começar a mover-se é

$$F = \mu_s N = \mu_s mg = (0.45)(45)(9.8) = 200 \text{ N}.$$

(b) A equação para F continua a mesma, mas a massa é agora $45 - 17 = 28$ kg. Portanto

$$F = \mu_s mg = (0.45)(28)(9.8) = 120 \text{ N}.$$

P 6-2 (6-3 na 6ª)

Um jogador de massa $m = 79$ kg escorrega no campo e seu movimento é retardado por uma força de atrito $f = 470$ N. Qual é o coeficiente de atrito cinético μ_c entre o jogador e o campo?

▶ Neste problema, o diagrama de corpo livre tem apenas três forças: Na horizontal, apontando para a esquerda, a força $\mathbf{f}$ de atrito. Na vertical, apontando para cima temos a força normal $\mathbf{N}$ do solo sobre o jogador, e para baixo a força mg da gravidade.
A força de atrito está relacionada com a força normal através da relação $f = \mu_c N$. A força normal N é obtida considerando-se a segunda lei de Newton. Como a componete vertical da acelerac cão é zero, também o é a componente vertical da segunda lei de Newton, que nos diz que

$$N - mg = 0,$$

ou seja, que $N = mg$. Portanto

$$\mu_c = \frac{f}{N} = \frac{f}{mg} = \frac{470}{(79)(9.8)} = 0.61 .$$

E 6-8 (6-5 na 6ª)

Uma pessoa empurra horizontalmente uma caixa de 55 kg, para movê-la sobre o chão, com uma força de 220 N. O coeficiente de atrito cinético é 0.35. (a) Qual o módulo da força de atrito? (b) Qual a acelelração da caixa?

▶ (a) O diagrama de corpo livre tem quatro forças. Na horizontal, apontando para a direita temos a força $\mathbf{F}$ que a pessoa faz sobre a caixa, e apontando para a esquerda a força de atrito $\mathbf{f}$. Na vertical, para cima a força normal $\mathbf{N}$ do piso, e para baixo a força mg da gravidade.
A magnitude da força da gravidade é dada por $f = \mu_c N$, onde μ_c é o coeficiente de atrito cinético. Como a componente vertical da aceleração é zero, a segunda lei de Newton diz-nos que, igualmente, a soma das componentes verticais da força deve ser zero: $N - mg = 0$, ou seja, que $N = mg$. Portanto

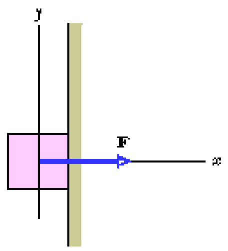
$$f = \mu_c N = \mu_c mg = (0.35)(55)(9.8) = 189 \text{ N}.$$

(b) A aceleração é obtida da componente horizontal da segunda lei de Newton. Como $F - f = ma$, temos

$$a = \frac{F - f}{m} = \frac{220 - 189}{55} = 0.56 \text{ m/s}^2.$$

E 6-11 (6-9 na 6^a)

Uma força horizontal F de 12 N comprime um bloco pesando 5 N contra uma parede vertical (Fig. 6-18). O coeficiente de atrito estático entre a parede e o bloco é 0.6, e o coeficiente de atrito cinético é 0.4. Suponha que inicialmente o bloco não esteja em movimento. (a) O bloco se moverá? (b) Qual a força exercida pela parede sobre o bloco, em notação de vetores unitários?



[Fig. 6-18 Enlarged.] Exercise 11.

► (a) O diagrama de corpo isolado consiste aqui de quatro vetores. Na horizontal, apontando para a direita, temos a força F e apontando para a esquerda a força normal N. Na vertical, apontando verticalmente para baixo temos o peso mg, e apontando para cima a força de atrito f.

Para determinar se o bloco cai, precisamos encontrar a magnitude f da força de fricção nevessária para mante-lo sem acelerar bem como encontrar a força da parede sobre o bloco. Se $f < \mu_s N$ o bloco não desliza pela parede mas se $f > \mu_s N$ o bloco irá deslizar.

A componente horizontal da segunda lei de Newton requer que $F - N = 0$, de modo que $F = N = 12$ N e, portanto, $\mu_s N = (0.6)(12) = 7.2$ N. A componente vertical diz que $f - mg = 0$, de modo que $f = mg = 5$ N.

Como $f < \mu_s N$, vemos que o bloco não desliza.

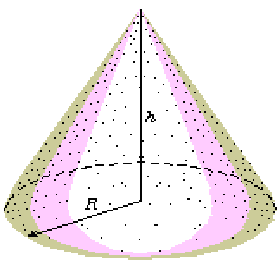
(b) Como o bloco não se move, $f = 5$ N e $N = 12$ N. A força da parede no bloco é

$$\mathbf{F}_p = -N\mathbf{i} + f\mathbf{j} = (-12\mathbf{i} + 5\mathbf{j})\text{ N.}$$

NOTE: os resultados são radicalmente diferentes se por engano usassemos μ_c em vez de μ_s!

P 6-17 (6-11 na 6^a)

Um trabalhador deseja empilhar um monte de areia, em forma de cone, dentro de uma área circular. O raio do círculo é R e nenhuma areia vaza para fora do círculo (Fig. 6-22). Se μ_e é o coeficiente de atrito estático entre a camada de areia da suprfície inclinada e a camada imediatamente abaixo (sobre a qual a camada superior pode deslizar), mostre que o maior volume de areia que pode ser empilhado desta forma é $\pi\mu_e R^3/3$. (O volume de um cone é $Ah/3$, onde A é a área da base e h a altura do cone.)



[Fig. 6-22 Enlarged.] Problem 17.

► A secção reta do cone é um triângulo isósceles (tem dois lados iguais) cuja base mede $2R$ e cuja altura é h. Como a área da base é fixa, o problema consiste em ir-se depositando areia de modo a fazer h ter o maior valor possivel. Ao ir-se depositando areia a inclinaçao da superficie lateral aumenta, até tornar-se tão grande que toda areia que for adicionada começa deslizar. Desejamos determinar a maior altura h (i.e. a maior inclinação) para a qual a areia não deslize.

Para tanto consideramos o diagrama de corpo isolado de um grão de areia na situação imediatamente de que a superficie possa deslizar. Sobre tal grão atuam três forças: a força $P = mg$ da gravidade, a força normal N e a força f do atrito que impede o grão de deslizar. Como o grão não desliza, sua aceleração é zero.

Escolhemos como eixo x um eixo paralelo à superficie e apontando para baixo, como eixo y um eixo apontando na mesma direção da normal N, e chamamos de θ o ângulo que a superfície lateral faz com a base. Com estas escolhas, as componente x e y da segunda lei de Newton são dadas, respectivamente, por

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

Para que o grão não deslize devemos ter $f < \mu_e N$. Isto significa ter-se

$$mg \text{ sen } \theta < \mu_e mg \cos\theta$$

isto é $\tan\theta < \mu_e$. A superficie do cone terá a maior inclinação (e, simultaneamente, a maior altura) quando

$$\tan\theta = \mu_e.$$

Entretanto, da figura vemos que $h = R\tan\theta = R\mu_e$. Como a área da base é $A = \pi R^2$, temos, finalmente, que

$$V = \frac{Ah}{3} = \frac{\pi\mu_e R^3}{3}.$$

P 6-22 (6-13 na 6^a)

Uma caixa de 68 kg é puxada pelo chão por uma corda que faz um ângulo de 15^o acima da horizontal. (a) Se o coeficiente de atrito estático é 0.5, qual a tensão mínima necessária para iniciar o movimento da caixa? (b) Se $\mu_c = 0.35$, qual a sua aceleração inicial?

► **(a)** O diagrama de corpo isolado tem quatro forças. Apontando para a direita e fazendo um ângulo de $\theta = 15^o$ com a horizontal temos a tensão $\mathbf{T}$ na corda. Horizontalmente para a esquerda aponta a força de atrito $\mathbf{f}$. Na vertical, para cima aponta a força normal $\mathbf{N}$ do chão sobre a caixa, e para baixo a força mg da gravidade.

Quando a caixa ainda não se move as acelerações são zero e, consequentemente, tambê o são as respectivas componentes da força resultante. Portanto, a segunda lei de Newton nos fornece para as componente horizontal e vertical as equações, respectivamente,

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

Esta equações nos dizem que $f = T\cos\theta$ e que $N = mg - T\ \text{sen}\,\theta$.
Para a caixa permanecer em repouso f tem que ser menor do que $\mu_s N$, ou seja,

$$T\cos\theta < \mu_s(mg - T\ \text{sen}\,\theta).$$

Desta expressão vemos que a caixa começará a mover-se quando a tensão T for tal que os dois lados da equação acima compemsem-se:

$$T\cos\theta = \mu_s(mg - T\ \text{sen}\,\theta),$$

donde tiramos facilmente que

$$\begin{aligned} T = \frac{\mu_s mg}{\cos\theta + \mu_s\ \text{sen}\,\theta} &= \frac{(0.5)(68)(9.8)}{\cos 15^o + 0.5\ \text{sen}\,15^o} \\ &= 304\ \text{N}. \end{aligned}$$

(b) Quando a caixa se move, a segunda lei de Newton nos diz que

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

Agora, porém temos

$$f = \mu_c N = \mu_c(mg - T\ \text{sen}\,\theta),$$

onde tiramos N da segunda equação acima. Substituindo este f na primeira das equações acima temos

$$T\cos\theta - \mu_c(mg - T\ \text{sen}\,\theta) = ma,$$

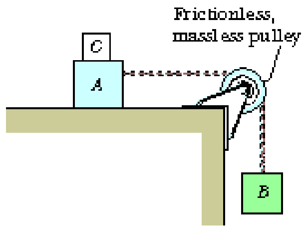
de onde tiramos facilmente que

$$\begin{aligned} a &= \frac{T(\cos\theta + \mu_c\ \text{sen}\,\theta)}{m} - \mu_c g \\ &= \frac{(304)(\cos 15^o + 0.35\ \text{sen}\,15^o)}{68} - (0.35)(9.8) \\ &= 1.3\ \text{m/s}^2. \end{aligned}$$

Perceba bem onde se usa μ_s e onde entra μ_c.

P 6-24 **(6-15 na 6^a)**

Na Fig. 6-24, A e B são blocos com pesos de 44 N e 22 N, respectivamente. (a) Determine o menor peso (bloco C) que deve ser colocado sobre o bloco A para impedi-lo de deslizar, sabendo que o coeficiente μ_e entre A e a mesa é 0.2. (b) Se o bloco C for repentinamente retirado, qual será a aceleração do bloco A, sabendo que μ_c entre A e a mesa é 0.15?



[Fig. 6-24 Enlarged.] Problem 24.

► **(a)** Aqui temos DOIS diagramas de corpo isolado. O diagrama para o corpo B tem apenas duas forças: para cima, a magnitude da tensão T na corda, e para baixo a magnitude P_B do peso do bloco B. O diagrama para o corpo composto por A+C tem quatro forças. Na horizontal, apontando para a direita temos a tensão T na corda, e apontando para a esquerda a magnitude f da força de atrito. Na vertical, para cima temos a normal N exercida pela mesa sobre os blocos A+C, e para baixo o peso P_{AC}, peso total de A+C.
Vamos supor que os blocos estão parados (não acelerados), e escolher o eixo x apontando para a direita e o eixo y apontando para cima. As componentes x e y da segunda lei de Newton são, respectivamente,

$$\begin{aligned} T - f &= 0, \\ N - P_{AC} &= 0. \end{aligned}$$

Para o bloco B tomamos o sentido para baixo como sendo positivo, obtendo que

$$P_B - T = 0.$$

Portanto temos que $T = P_B$ e, consequentemente, que $f = T = P_B$. Temos também que $N = P_{AC}$.
Para que não ocorra deslizamento, é necessário que f seja menor que $\mu_e N$, isto é que $P_B < \mu_e P_{AC}$. O menor valor que P_{AC} pode ter com os blocos ainda parados é

$$P_{AC} = \frac{P_B}{\mu_e} = \frac{22}{0.2} = 110\ \text{N}.$$

Como o peso do bloco A é 44 N, vemos que o menor peso do bloco C é

$$P_C = 110 - 44 = 66\ \text{N}.$$

(b) Quando existe movimento, a segunda lei de Newton aplicada aos dois diagramas de corpo isolado nos fornece as equações

$$\begin{aligned} T - f &= \frac{P_A}{g}a, \\ N - P_A &= 0, \\ P_B - T &= \frac{P_B}{g}a. \end{aligned}$$

Além destas, temos $f = \mu_c N$, onde $N = P_A$ (da segunda equação acima). Da terceira acima tiramos $T = P_B - (P_B/g)a$. Substituindo as duas últimas expressões na primeira equação acima obtemos

$$P_B - \frac{P_B}{g}a - \mu_c P_A = \frac{P_A}{g}a.$$

Isolando a encontramos, finalmente,

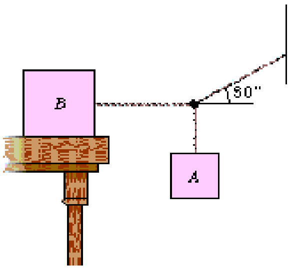
$$\begin{aligned} a = \frac{g(P_B - \mu_c P_A)}{P_A + P_B} &= \frac{(9.8)[22 - (0.15)(44)]}{44 + 22} \\ &= 2.3 \text{ m/s}^2. \end{aligned}$$

Perceba bem onde entra μ_e e onde se usa μ_c.

6.2.2 Força de Viscosidade e a Velocidade Limite

P 6-30 (6-19 na 6^a)

O bloco B da Fig. 6-30 pesa 711 N. O coeficiente de atrito estático entre o bloco e a superfície horizontal é 0.25. Determine qual o peso máximo do bloco A para o qual o sistema ainda permanece equilibrado.



[Fig. 6-30 Enlarged.] Problem 30.

► No nó onde o peso P_A está aplicado temos três forças aplicadas: (i) o peso P_A, para baixo, (ii) uma força T, para a direita, fazendo um ângulo $\theta = 30^o$ com a horizontal, (iii) uma força T_1, apontando horizontalmente para a esquerda, na direção do corpo B. Para que não haja movimento, tais forças devem equilibrar-se. Portanto, escolhendo o eixo x horizontal e o eixo y vertical, encontramos para as componentes x e y, respectivamente,

$$\begin{aligned} T_1 \cos\theta - T &= 0 \\ T_1 \text{sen}\theta - P_A &= 0. \end{aligned}$$

Por outro lado, no corpo B temos quatro forças aplicadas: P_B, N, T_1 e a força f de atrito. Esta forças estão dispostas de modo que as componentes x e y nos forneçam as seguintes equações adicionais:

$$\begin{aligned} T_1 - f &= 0, \\ N - P_B &= 0. \end{aligned}$$

Eliminando-se as duas tensões T e T_1 obtemos expressões que fornecem f e N em termos de P_A e P_B. Devemos então escolher P_A de modo que $f = \mu_e N$. Do primeiro conjunto de equações obtemos

$$T_1 = P_A/\tan\theta.$$

Substituindo-a na primeira das equações do segundo conjunto de equações obtemos

$$f = P_A/\tan\theta.$$

O bloco B permanecerá parado quando $f < \mu_e N$. O maior valor possível para P_A será aquele para o qual

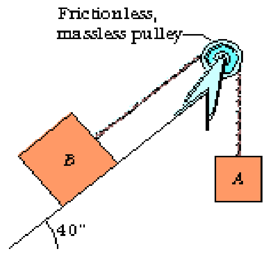
$$\frac{P_A}{\tan\theta} = \mu_e P_B,$$

donde obtemos

$$P_A = \mu_e P_B \tan\theta = (0.25)(711)(\tan 30^o) = 100 \text{ N}.$$

P 6-31 (6-21 na 6^a)

O corpo B na Fig. 6-31 pesa 102 N e o corpo A pesa 32 N. Os coeficientes de atrito entre B e o plano inclinado são $\mu_e = 0.56$ e $\mu_c = 0.25$. Determine a aceleração do sistema se (a) B estiver inicialmente em repouso, (b) B estiver se movendo para cima no plano inclinado e (c) B estiver se movendo para baixo.



[Fig. 6-31 Enlarged.] Problem 31.

P 6-43 (6-33 na 6^a)

Calcule a força da viscosidade sobre um míssil de 53 cm de diâmetro, viajando na velocidade de cruzeiro de 250 m/s, a baixa altitude, onde a densidade do ar é 1.2 kg/m^3. Suponha $C = 0.75$.

► Use a Eq. 6-18 do livro texto:

$$F_v = \frac{1}{2} C \rho A v^2,$$

onde ρ é a densidade do ar, A é a área da secção reta do míssil, v é a velocidade do míssil, e C é o coeficiente de viscosidade. A área éa dada por $A = \pi R^2$, onde $R = 0.53/2 = 0.265$ m é o raio do míssil. Portanto,

$$F_v = \frac{1}{2}(0.75)(1.2)(\pi)(0.265)^2(250)^2 = 6.2 \times 10^3 \text{ N}.$$

6.2.3 Movimento Circular Uniforme

E 6-47 (6-37 na 6^a)

Se o coeficiente de atrito estático dos pneus numa rodovia é 0.25, com que velocidade máxima um carro pode fazer uma curva plana de 47.5 m de raio, sem derrapar?

▶ A aceleração do carro quando faz a curva é v^2/R, onde v é a velocidade do carro e R é o raio da curva. Como a estrada é plana (horizontal), a única força que evita com que ele derrape é a força de atrito da estrada com os pneus. A componente horizontal da segunda lei de Newton é $f = mv^2/R$. Sendo N a força normal da estrada sobre o carro e m a massa do carro, a componente vertical da segunda lei nos diz que $N - mg = 0$. Portanto, $N = mg$ e $\mu_e N = \mu_e mg$. Se o carro não derrapa, $f < \mu_e mg$. Isto significa que $v^2/R < \mu_e g$, ou seja, que $v < \sqrt{\mu_e Rg}$.
A velocidade máxima com a qual o carro pode fazer a curva sem deslizar é, portanto, quando a velocidade coincidir com o valor á direita na desigualdade acima, ou seja, quando

$$v_{\text{max}} = \sqrt{\mu_e Rg} = \sqrt{(0.25)(47.5)(9.8)} = 11 \text{ m/s}.$$

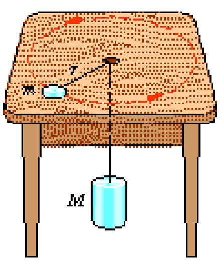
E 6-55 (∄ na 6^a)

No modelo de Bohr do átomo de hidrogênio, o elétron descreve uma órbita circular em torno do núcleo. Se o raio é 5.3×10^{-11} m e o elétron circula 6.6×10^{15} vezes por segundo, determine (a) a velocidade do elétron, (b) a aceleração do elétron (módulo e sentido) e (c) a força centrípeta que atua sobre ele. (Esta força é resultante da atração entre o núcleo, positivamente carregado, e o elétron, negativamente carregado.) A massa do elétron é 9.11×10^{-31} kg.

▶

E 6-56 (6-41 na 6^a)

A massa m está sobre uma mesa, sem atrito, presa a um peso de massa M, pendurado por uma corda que passa através de um furo no centro da mesa (veja Fig. 6-39). Determine a velocidade escalar com que m deve se mover para M permanecer em repouso.



[Fig. 6-39 Enlarged.] Exercise 56.

▶ Para M permanecer em repouso a tensão T na corda tem que igualar a força gravitacional Mg sobre M. A tensão é fornecida pela força centrípeta que mantém m em sua órbita circular: $T = mv^2/r$, onde r é o raio da órbita. Portanto, $Mg = mv^2/r$, donde tiramos sem problemas que

$$v = \sqrt{\frac{Mgr}{m}}.$$

P 6-62 (6-43 na 6^a)

Um estudante de 68 kg, numa roda-gigante com velocidade constante, tem um peso aparente de 550 N no ponto mais alto. (a) Qual o seu peso aparente no ponto mais baixo? (b) E no ponto mais alto, se a velocidade da roda-gigante dobrar?

> **Atenção**: *observe que o enunciado deste problema na quarta edição do livro fala em "peso aparente de 56 kg", fazendo exatamente aquilo que não se deve fazer: confundir entre si, peso e massa.*
>
> *A origem do problema está na tradução do livro.*
>
> *O livro original diz que "um estudante de 150 libras" ....*"*tem um peso aparente de 125 libras".*
>
> *O tradutor não percebeu que, como se pode facilmente ver no Apêndice F, "libra" é tanto uma unidade de massa, quanto de peso. E é preciso prestar atenção para não confundir as coisas.*
>
> *Assim, enquanto que as 150 libras referem-se a uma massa de 68 kg, as 125 libras referem-se a um peso de 550 N.*

▶ (a) No topo o acento empurra o estudante para cima com uma força de magnitude F_t, igual a 550 N. A Terra puxa-o para baixo com uma força de magnitude P, igual a $68g = (68)(9.8) = 666$ N. A força líquida apontando para o centro da órbita circular é $P - F_t$ e, de acordo com a segunda lei de Newton, deve ser igual a mv^2/R, onde v é a velocidade do estudante e R é o raio da órbita. Portanto

$$m\frac{v^2}{R} = P - F_t = 666 - 550 = 116 \text{ N}.$$

Chamemos de F_b a magnitude da força do acento sobre o estudante quando ele estiver no ponto mais baixo. Tal força aponta para cima, de modo que a força líquida que aponta para o centro do círculo é $F_b - P$. Assim sendo, temos $F_b - P = mv^2/R$, donde tiramos

$$F_b = m\frac{v^2}{R} + P = 116 + 666 = 782 \text{ N},$$

que correspondem a uma massa aparente de

$$m_b = \frac{F_b}{g} = \frac{782}{9.8} = 79.7 \text{ kg}.$$

(b) No topo temos $P - F_t = mv^2/R$, de modo que

$$F_t = P - m\frac{v^2}{R}.$$

Se a velocidade dobra, mv^2/R aumenta por um fator de 4, passando a ser $116 \times 4 = 464$ N. Então

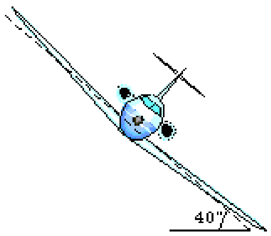
$$F_t = 666 - 464 = 202 \text{ N},$$

correspondendo a uma massa efetiva de

$$m_t = \frac{F_t}{g} = \frac{202}{9.8} = 20.6 \text{ kg}.$$

P 6-65 **(6-45 na 6^a)**

Um avião está voando num círculo horizontal com uma velocidade de 480 km/h. Se as asas do avião estão inclinadas 40^o sobre a horizontal, qual o raio do círculo que o avião faz? Veja a Fig. 6-41. Suponha que a força necessária seja obtida da "sustentação aerodinâmica", que é perpendicular à superfície das asas.



[Fig. 6-41 Enlarged.] Problem 65.

▶ O diagrama de corpo isolado do avião contém duas forças: a força mg da gravidade, para baixo, e a força F, apontando para a direita e fazendo um ângulo de θ com a horizontal. Como as asas estão inclinadas 40^o com a horizontal, a força de sustentação é perpendicular as asas e, portanto, $\theta = 90^o - 40^o = 50^o$.
Como o centro da órbita esta para a direita do avião, escolhemos o eixo x para a direita e o eixo y para cima. A componente x e y da segunda lei de Newton são, respectivamente,

$$\begin{aligned} F\cos\theta &= m\frac{v^2}{R}, \\ F\,\text{sen}\,\theta - mg &= 0, \end{aligned}$$

onde R é o raio da órbita. Eliminando F entre as duas equações e rearranjando o resultado, obtemos

$$R = \frac{v^2}{g}\tan\theta.$$

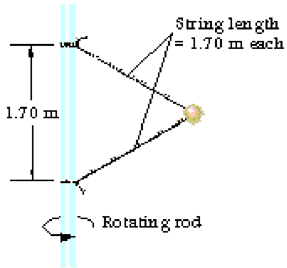
Para $v = 480$ km/h $= 133$ m/s, encontramos

$$R = \frac{(133)^2}{9.8}\tan 50^o = 2.2 \times 10^3 \text{ m}.$$

NOTE: existe força horizontal não-equilibrada, pois sem ela o avião não teria como fazer a curva! Em outras palavras, a soma das componentes horizontais neste problema *não* pode ser nula.

P 6-70 **(6-47 na 6^a)**

A Fig. 6-42 mostra uma bola de 1.34 kg presa a um eixo girante vertical por duas cordas de massa desprezível. As cordas estão esticadas e formam os lados de um triângulo equilátero. A tensão na corda superior é de 35 N. **(a)** Desenhe o diagrama de corpo isolado para a bola. **(b)** Qual a tensão na corda inferior? **(c)** Qual a força resultante sobre a bola, no instante mostrado na figura? **(d)** Qual a velocidade da bola?



[Fig. 6-42 Enlarged.] Problem 70.

▶ **(a)** Chame de T_c e T_b as tensões nas cordas de *cima* e de *baixo* respectivamente. Então o diagrama de corpo isolado para a bola contém três forças: para baixo atua o peso mg da bola. Para a esquerda, fazendo um ângulo $\theta = 30^o$ para cima, temos $\mathbf{T}_c$. Também para a esquerda, porém fazendo um ângulo $\theta = 30^o$ para baixo, temos a força $\mathbf{T}_b$. Como o triágulo é equilátero, perceba que o ângulo entre $\mathbf{T}_c$ e $\mathbf{T}_b$ tem que ser de 60^o sendo θ, como mostra a figura, a metade deste valor.
Observe ainda que a relação entre as magnitudes de $\mathbf{T}_c$ e $\mathbf{T}_b$ é $T_c > T_b$, pois $\mathbf{T}_c$ deve contrabalançar não apenas o peso da bola mas também a componente vertical (para baixo) de $\mathbf{T}_b$, devida á corda de baixo.
(b) Escolhendo o eixo horizontal x apontando para a esquerda, no sentido do centro da órbita circular, e o eixo y para cima temos, para a componente x da segunda lei de Newton

$$T_c\cos\theta + T_b\cos\theta = m\frac{v^2}{R},$$

onde v é a velocidade da bola e R é o raio da sua órbita.
A componente y é

$$T_c\,\text{sen}\,\theta - T_b\,\text{sen}\,\theta - mg = 0.$$

Esta última equação fornece a tensão na corda de baixo: $T_b = T_c - mg/\,\text{sen}\,\theta$. Portanto

$$T_b = 35 - \frac{(1.34)(9.8)}{\text{sen}\,30^o} = 8.74 \text{ N}.$$

(c) A força líquida é radial para a esquerda com magnitude

$$F_\ell = (T_c + T_b)\cos\theta = (35 + 8.74)\cos 30^o = 37.9 \text{ N}.$$

(d) A velocidade é obtida da equação $F_\ell = mv^2/R$, observando-se que o raio R da órbita é $(\tan\theta =$

$(1.7/2)/R$, veja a figura do livro):

$$R = \frac{1.7/2}{\tan 30^o} = 1.47 \text{ m}.$$

Portanto

$$v = \sqrt{\frac{R\,F_t}{m}} = \sqrt{\frac{(1.47)(37.9)}{1.34}} = 6.45 \text{ m/s}.$$

6.2.4 Problemas Adicionais

6-72 (6-20 na 6^a)

Uma força **P**, paralela a uma superfície inclinada 15^o acima da horizontal, age sobre um bloco de 45 N, como mostra a Fig. 6-43. Os coeficientes de atrito entre o bloco e a superfície são $\mu_e = 0.5$ e $\mu_c = 0.34$. Se o bloco inicialmente está em repouso, determine o módulo e o sentido da força de atrito que atua nele, para as seguinte intensidades de **P**: (a) 5 N, (b) 8 N, (c) 15 N.

►