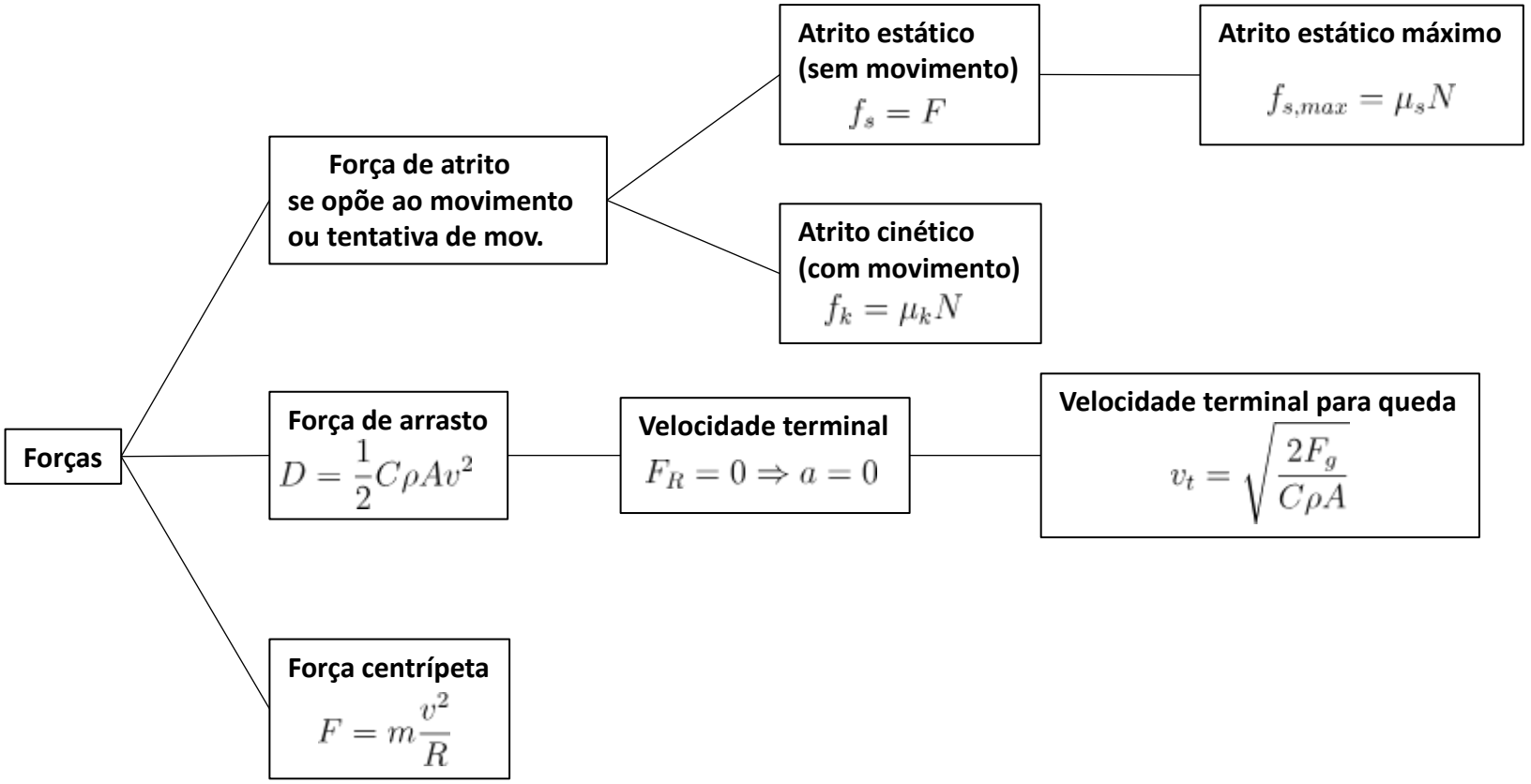
Capítulo 6

Força e Movimento–II

WILEY

Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Cap. 6 – Força e movimento - II



6-1 Atrito

- Forças de atrito são essenciais para:
  - Levantar coisas
  - Andar, bicicleta, dirigir para qualquer lugar
  - Escrever com um lápis
  - Construir com pregos, fiar tecidos, etc…
- Mas superar as forças de atrito também é importante:
  - Eficiência em motores (20% do combustível em um veículo serve para se contrapor ao atrito na tração)
  - Roller skates, ventiladores
  - Qualquer coisa que desejamos que permaneça em mov.

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

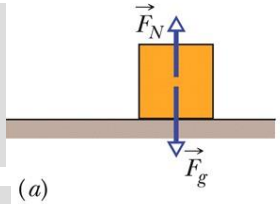
6-1 Atrito

- Três experimentos:
  - Deslizar um livro sobre uma mesa. O livro desacelera e para, então deve existir uma aceleração paralela à superfície e em sentido oposto ao movimento.
  - Empurrar um livro com uma velocidade constante sobre uma mesa. Deve existir uma força de módulo igual e sentido oposto, caso contrário o livro deveria acelerar. Novamente a força é paralela à superfície e em sentido oposto ao movimento.
  - Empurrar um baú ou outro objeto pesado que não se move. Para manter o baú parado, uma força igual e oposta deve se opor a você. Se você empurrar com mais força, a força oposta também aumenta a fim de manter o baú parado. Continue empurrando com força. Eventualmente a força de oposição atingirá um máximo e o baú irá se mover.

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

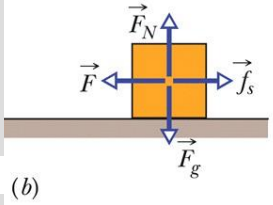
6-1 Atrito

Não há tentativa de deslizar. Então, nenhum atrito e nenhum movimento.



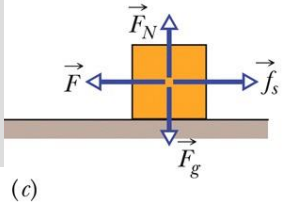
Força de atrito = 0

A força ***F*** tenta deslizar, mas é contrabalanceada pela força de atrito. Nenhum movimento.



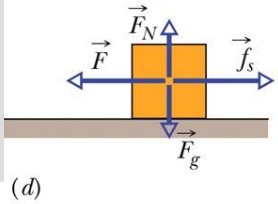
Força de atrito = *F*

A força ***F*** agora é mais intensa, mas ainda é equilibrada pela força de atrito. Nenhum movimento.



Força de atrito = *F*

A força ***F*** agora é mais intensa, mas ainda é equilibrada pela força de atrito. Nenhum movimento.

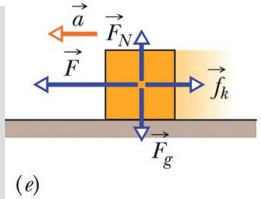


Força de atrito = *F*

Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

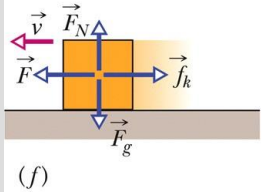
Figura 6-1

Finalmente a força aplicada superou a força de atrito estático. O bloco desliza e acelera.



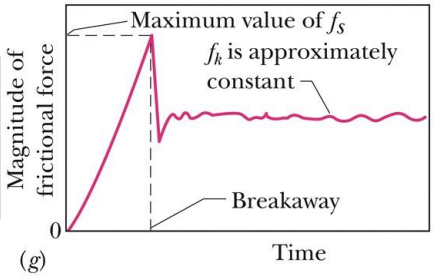
Força de atrito cinético fraca

Para manter a velocidade a força ***F*** é reduzida para se igualar à força de atrito menos intensa.



Mesma força de atrito cinético fraca

A força de atrito estático só pode se igualar à força aplicada.



A força de atrito cinético só pode ter um valor (sem se igualar).

Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6-1 Atrito

- Dois tipos de força de atrito
- **Força de atrito estático**:
  - A força de oposição que evita que o objeto se mova pode ter módulo desde 0 N até um valor máximo.
  - Uma vez atingido este máximo as forças deixam de estar em equilíbrio e a resultante é diferente de zero fazendo com que o objeto comece a se mover.
- **Força de atrito cinético**:
  - A força de oposição que age no objeto em movimento tem apenas um valor.
  - Geralmente menor que a força de atrito estático máxima.

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6-1 Atrito

- Estrutura microscópica: superfícies são rugosas
- Atrito ocorre quando pontos de contato deslizam uns sobre os outros
- Duas superfícies de metal preparadas especialmente podem fundir a frio e ser impossível deslizar, porque existiria muito contato entre as superfícies
- Uma força maior normal à superfície de contato aumenta o atrito porque as superfícies são pressionadas umas contra as outras (maior contato)
- Deslizar neste caso é mais difícil devido à rugosidade, produz som

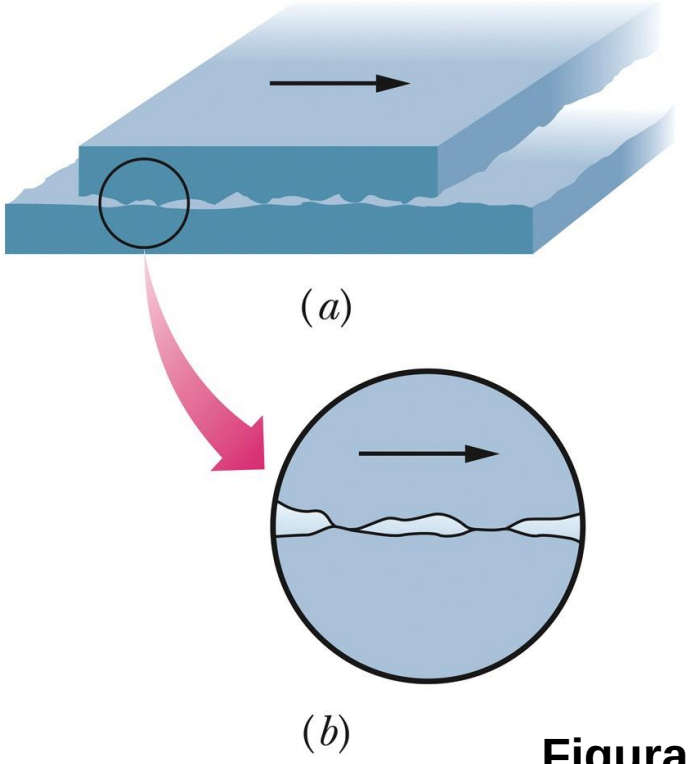


Figura 6-2

Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6-1 Atrito

- As propriedades do atrito

1. Se um corpo não se move, então a força aplicada e a força de atrito se equilibram (se cancelam) na direção paralela à superfície: iguais em módulo, sentidos opostos
2. O módulo de f_s tem um máximo $f_{s,max}$ dado por:

$$f_{s,\max} = \mu_s F_N, \qquad \text{Eq. (6-1)}$$

onde μ_s é o coeficiente de atrito estático. Se a força aplicada aumenta para além de $f_{s,max}$, o deslizamento ocorre.

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6-1 Atrito

- As propriedades do atrito

  3. Uma vez que o movimento se inicie, a força de atrito decresce para f_k dada por:

$$f_k = \mu_k F_N, \qquad \text{Eq. (6-2)}$$

  onde μ_k é o **coeficiente de atrito cinético**.

- O módulo F_N da força normal mede o quão intenso as superfícies estão sendo pressionadas uma contra outra
- Os valores dos coeficientes de atrito não possuem unidade física e precisam ser determinados experimentalmente

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6-1 Atrito

- Assuma que μ_k não depende da velocidade
- Note que estas equações não são vetoriais



Checkpoint 1

Um bloco repousa sobre uma superfície. (a) Qual é a magnitude da força de atrito sobre ele vinda da superfície? (b) Se uma força horizontal de 5 N é agora aplicada sobre o bloco, mas o bloco não se move, qual é a magnitude da força de atrito sobre ele? (c) Se o valor máximo da força de atrito estático no bloco é 10 N, ele se moverá se o módulo horizontalmente aplicado da força é 8 N? (d) E se for 12 N? (e) Qual é o módulo da força de atrito no caso do item (c)?

Answer: (a) 0 (b) 5 N (c) no (d) yes (e) 8 N

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6-1 Atrito

Exemplo Para a força aplicada num determinado ângulo:

- Decomponha a força em componentes *x* e *y*
- Avalie as componentes verticais (F_N, F_g, F_y)
- Avalie as componentes horizontais (f, F_x)
- Resolva para as desconhecidas, lembrando que F_N e f estão relacionadas

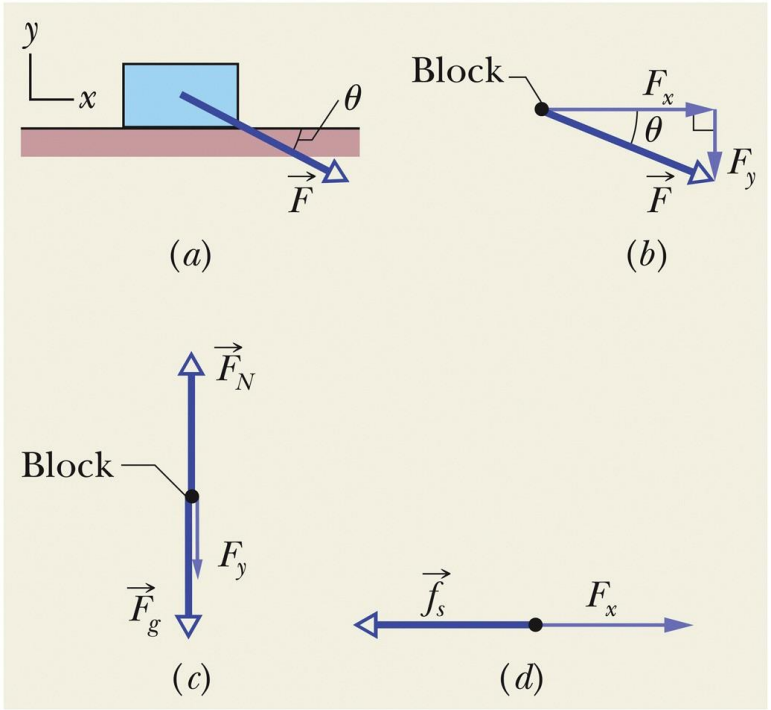


Figura 6-3

Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6-2 Força de arrasto e velocidade terminal

- Um **fluido** é qualquer coisa que pode fluir (gás ou líquido)
- Quando existe uma velocidade relativa entre o fluido e um objeto existe uma **força de arrasto**:
  - Que se opõe ao movimento relativo
  - E aponta ao longo da direção e no sentido do escoamento, relativo ao corpo
- Aqui nós estudaremos a força de arrasto para o
  - Ar
  - Com o corpo que não é aerodinâmico
  - Para movimento rápido o suficiente para que o ar se torne turbulento (forme redemoinhos)

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

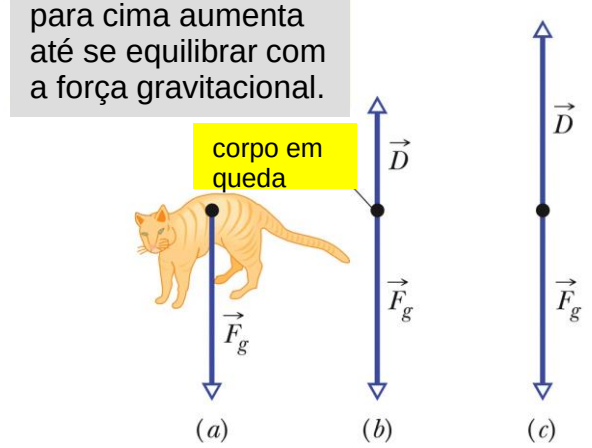
6-2 Força de arrasto e velocidade terminal

- Para este caso a força de arrasto é:

$$D = \tfrac{1}{2} C \rho A v^2,$$

Eq. (6-14)

Conforme aumenta a velocidade do gato, a força de arrasto para cima aumenta até se equilibrar com a força gravitacional.



Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Figura 6-6

- Onde:
  - *v* é a velocidade relativa
  - *ρ* é a densidade do ar (massa/volume)
  - *C* é o coeficiente de arrasto determinado experimentalmente
  - *A* é a área da seção transversal (reta) efetiva do corpo (área medida perpendicular à velocidade relativa)
- Na verdade, *C* não é um constante para todos os valores de *v*

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6-2 Força de arrasto e velocidade terminal

- A força de arrasto do ar se opõe a queda de um objeto

$$D - F_g = ma, \qquad \textbf{Eq. (6-15)}$$

- Uma vez que a força de arrasto se iguale à força gravitacional, o objeto cai numa **velocidade terminal** constante:

$$v_t = \sqrt{\frac{2F_g}{C\rho A}}. \qquad \textbf{Eq. (6-16)}$$

- A velocidade terminal pode aumentar reduzindo-se A
- A velocidade terminal pode diminuir aumentando-se A
- Paraquedistas usam isto para controlar a queda

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6-2 Força de arrasto e velocidade terminal

Exemplo A velocidade de uma gota de chuva:

- Gota esférica sente uma força gravitacional $F = mg$:
  - Expresso em termos da densidade da água

$$F_g = V\rho_w g = \tfrac{4}{3}\pi R^3 \rho_w g.$$

- Então colocando isto na eq. de velocidade terminal e usando os valores do texto:
  - Use $A = \pi R^2$ para a seção transversal

$$v_t = \sqrt{\frac{2F_g}{C\rho_a A}} = \sqrt{\frac{8\pi R^3 \rho_w g}{3C\rho_a \pi R^2}} = \sqrt{\frac{8R\rho_w g}{3C\rho_a}}$$

$$= \sqrt{\frac{(8)(1.5\times 10^{-3}\ \text{m})(1000\ \text{kg/m}^3)(9.8\ \text{m/s}^2)}{(3)(0.60)(1.2\ \text{kg/m}^3)}}$$

$$= 7.4\ \text{m/s} \approx 27\ \text{km/h}. \qquad \text{(Answer)}$$

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6-3 Movimento Circular Uniforme

- Relembrando que movimento circular requer uma aceleração centrípeta

$$a = \frac{v^2}{R}$$ **Eq. (6-17)**

Exemplos Você é um passageiro:

- Para um carro fazendo uma curva o carro acelera em direção ao centro da curva devido a uma **força centrípeta** provida pelo atrito dos pneus. Sua inércia faz com que você queira continuar em linha reta e você sente a pressão do seu banco e pode até ser empurrado contra o lado do seu carro. Estas forças para dentro da curva o mantém em movimento circular uniforme junto com o carro.
- Para um ônibus espacial, o ônibus é mantido em órbita pela força gravitacional da Terra como uma força centrípeta. Esta força também age em cada átomo de seu corpo e mantém você em órbita ao redor da Terra. Você pode flutuar sem a sensação de força, mas está sujeito a uma aceleração centrípeta.

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6-3 Movimento Circular Uniforme

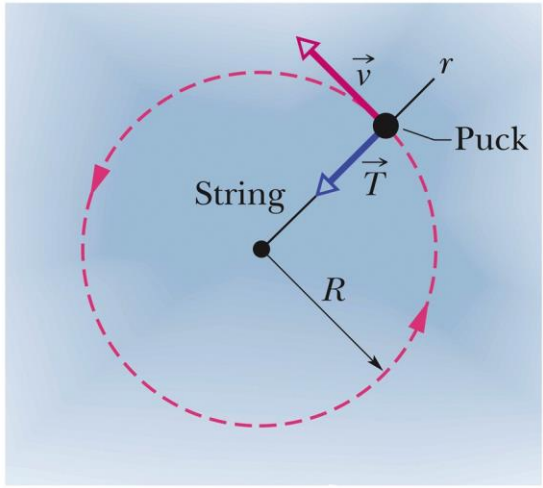
- Força centrípeta não é um novo tipo de força, é simplesmente uma aplicação de força

$$F = m\frac{v^2}{R}$$

Eq. (6-18)

Uma força centrípeta acelera um corpo mudando a direção da velocidade do corpo sem contudo alterar seu módulo

- Para uma pedra num barbante, a tensão no barbante providencia a força centrípeta necessária para manter o movimento circular



Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

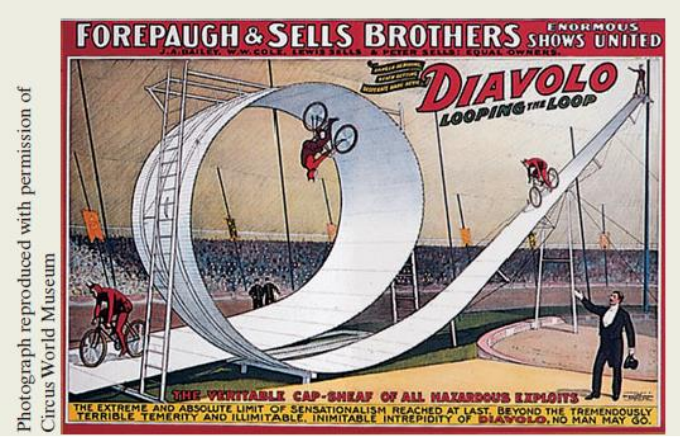
A pedra move num movimento circular uniforme somente por causa de uma força apontada para o centro.

Figura 6-8

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

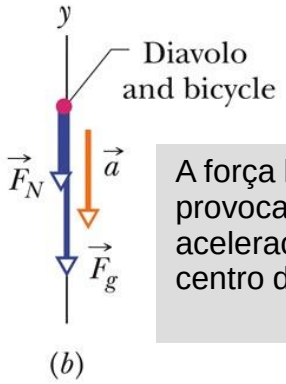
6-3 Movimento Circular Uniforme

Exemplo Bicicleta (ou motocicleta) fazendo um loop vertical:



Photograph reproduced with permission of Circus World Museum

A força normal é advinda da parte superior do loop.



A força líquida provoca a aceleração para o centro do loop.

Figure 6-9

Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

- No topo do loop temos:

$$-F_N - mg = m\left(-\frac{v^2}{R}\right). \qquad \textbf{Eq. (6-19)}$$

- Resolvendo para *v* e substituindo nossos próprios valores, incluindo $F_N = 0$ para o valor mínimo:

$$v = \sqrt{gR} = \sqrt{(9.8\ \text{m/s}^2)(2.7\ \text{m})}$$
$$= 5.1\ \text{m/s}.$$

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6-3 Movimento Circular Uniforme

Exemplo Carro numa curva inclinada:

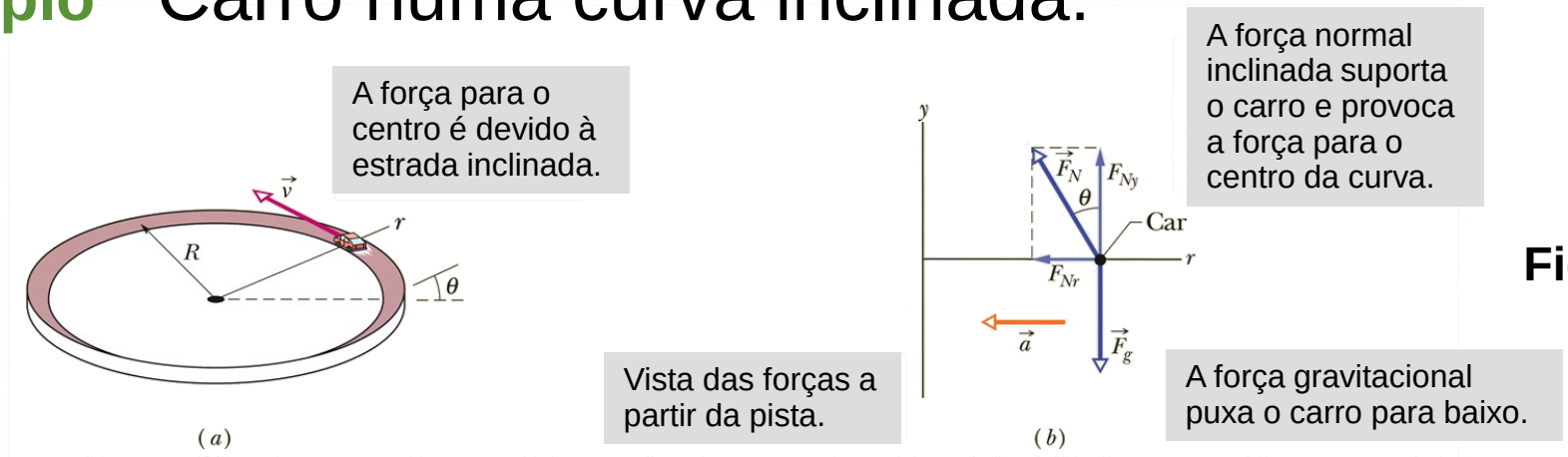


Figura 6-11

Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

- Some as componentes ao longo da direção radial:

$$-F_N \sin\theta = m\left(-\frac{v^2}{R}\right). \qquad \textbf{Eq. (6-23)}$$

- Some as componentes ao longo da direção vertical:

$$F_N \cos\theta = mg. \qquad \textbf{Eq. (6-24)}$$

- Divida e substitua :

$$\theta = \tan^{-1}\frac{v^2}{gR}$$

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6-3 Movimento Circular Uniforme

Exemplo E no caso de uma curva sem inclinação, mas o carro com asa traseira?

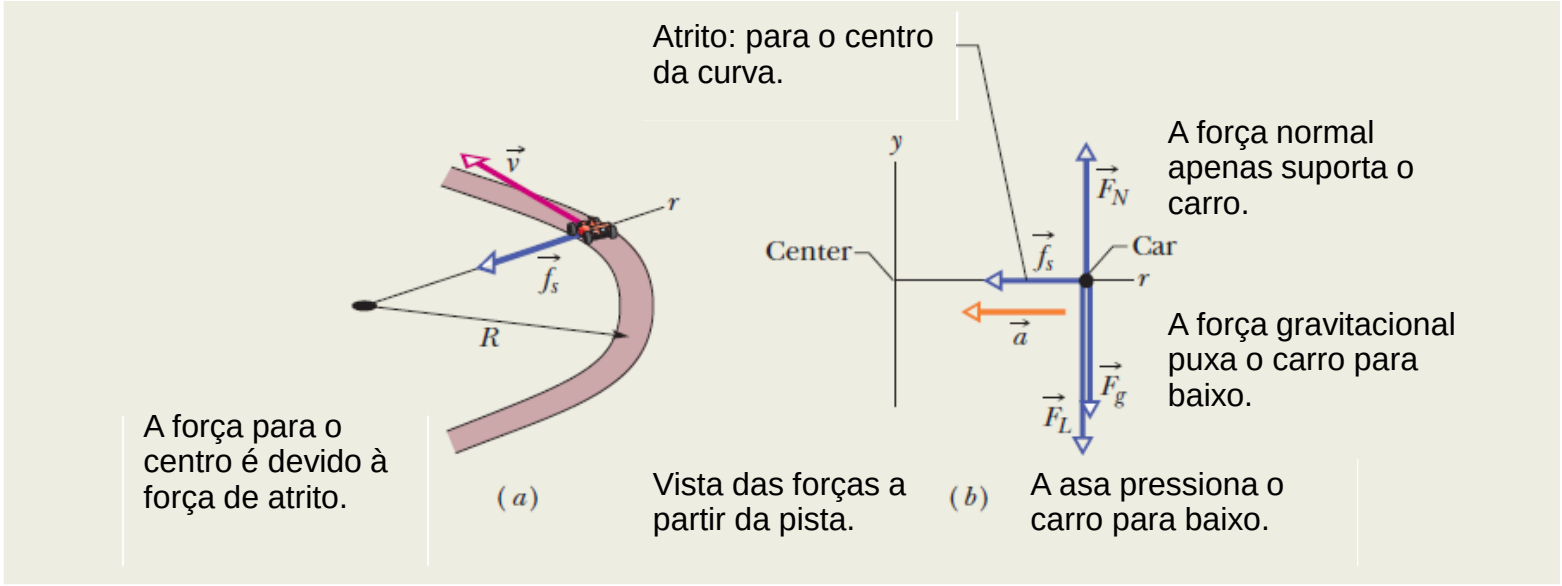


Figura 6-12

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6 Sumário

Atrito

- Se opõe ao sentido do movimento ou tentativa de mov.
- Estático se não se move
- Atrito estático pode aumentar até um máximo

$$f_{s,\max} = \mu_s F_N, \quad \textbf{Eq. (6-1)}$$

- Cinético se há movimento

$$f_k = \mu_k F_N, \quad \textbf{Eq. (6-2)}$$

Força de Arrasto

- Resistência entre um fluído e um objeto
- Se opõe ao movimento relativo
- Coef. de arrasto *C* determinado experimentalmente

$$D = \tfrac{1}{2} C \rho A v^2, \quad \textbf{Eq. (6-14)}$$

- Use a seção reta efetiva (área perpendicular à velocidade)

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6 Sumário

Velocidade Terminal

- A velocidade máxima de queda de um objeto devido ao arrasto

$$v_t = \sqrt{\frac{2F_g}{C\rho A}}.$$ **Eq. (6-16)**

Mov. Circular Uniforme

- Aceleração centrípeta necessária para manter o movimento

$$a = \frac{v^2}{R}$$ **Eq. (6-17)**

- Força centrípeta

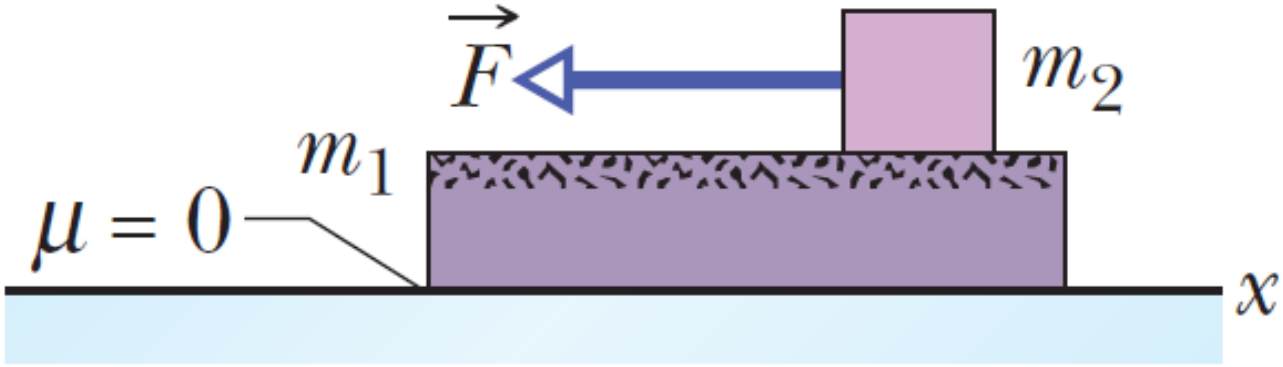
$$F = m\frac{v^2}{R}$$ **Eq. (6-18)**

- Força aponta em direção ao centro da curvatura

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6 Exercícios

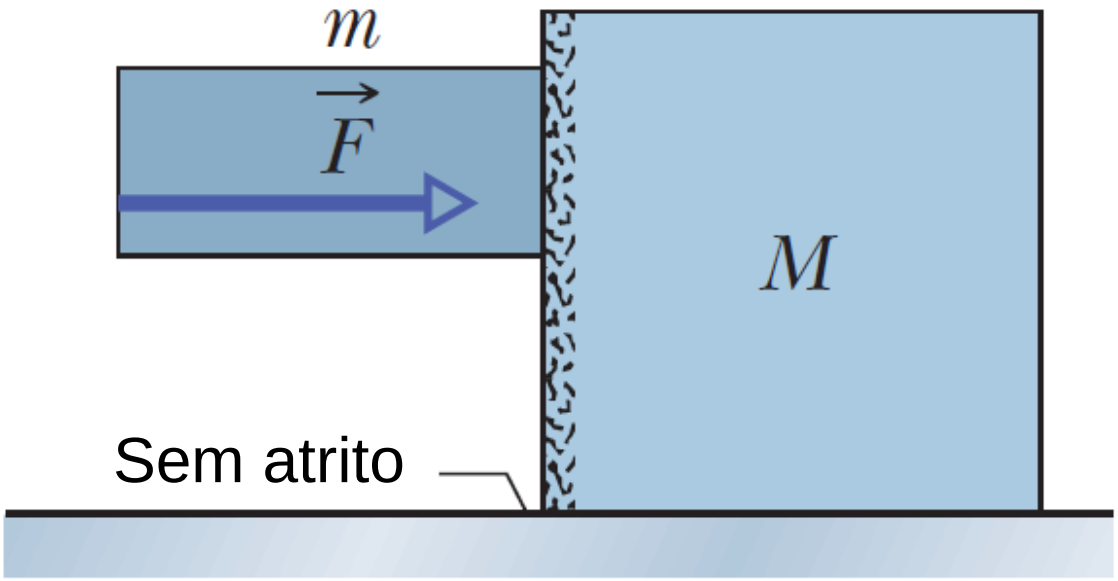
Ex. 6-34 Na figura abaixo um bloco de massa m_1 = 40 kg repousa sobre uma superfície sem atrito e um bloco de massa m_2 = 10 kg repousa sobre o primeiro bloco. Entre os dois blocos o coeficiente de atrito estático é 0,60 e o coeficiente de atrito cinético é 0,40. Uma força horizontal de módulo 100 N começa a puxar um dos blocos, como mostrado. Quais as acelerações (a) do bloco superior e (b) do bloco inferior?



© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6 Exercícios

Ex. 6-35 Na figura abaixo os dois blocos (m = 16 kg e M = 88 kg) não estão ligados um ao outro. O coeficiente de atrito estático entre os blocos é 0,38, mas a superfície embaixo do bloco maior é sem atrito. Qual é o módulo mínimo da força horizontal requerida para manter o bloco menor sem deslizar para baixo?



© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

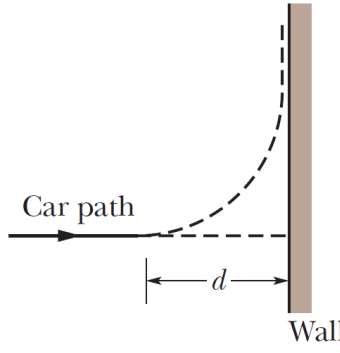
6 Exercícios

Ex. 6-40 Na modalidade downhill um esquiador é retardado por ambas uma força de arrasto pelo ar e uma força de atrito cinético dos esquis. Suponha que a inclinação da rampa é de 40,0 graus, a neve é seca e com coeficiente de atrito cinético de 0,0400, a massa do esquiador é de 85,0 kg, sua área de seção transversal (seção reta) é 1,30 metros quadrados, o coeficiente de arrasto C é 0,150 e a densidade do ar é 1,20 quilogramas por metro cúbico. Qual a velocidade terminal do esquiador neste caso?

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6 Exercícios

Ex. 6-58 *Frear ou fazer a curva?* A figura abaixo mostra a visão de cima da trajetória de um carro na direção de um muro. Assuma que o motorista comece a frear o carro quando a distância até o muro é de d = 107 m e assuma a massa do carro como 1.400 kg, sua velocidade inicial como 35 m/s e o coeficiente de atrito estático como 0,50. Assuma que o peso do carro está distribuído igualmente entre suas quatro rodas, mesmo durante a frenagem. (a) Qual é o módulo do atrito estático necessário (entre os pneus e a estrada) para fazer parar o carro na iminência de atingir o muro? (b) Qual é o atrito estático máximo? (c) Se o coeficiente de atrito cinético entre os pneus (deslizando) e a estrada é 0,40, qual é a velocidade com que o carro atinge o muro? (d) Qual é o módulo da força de atrito necessária para manter o carro numa trajetória circular de raio igual a d = 107 m e a uma velocidade de 35 m/s, de modos que o carro se move em um quarto de circunferência e então paralelo ao muro? (e) a força necessária é menor que o atrito estático máximo, de modos que a curva é possível?



© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

6 Lista de exercícios

Halliday 9ª. Edição

Cap. 6:

Problemas 1; 12; 19; 26; 30; 39; 51; 58; 63; 73

OU
Halliday 10ª. Edição
Cap. 6:
Problemas 1; 12; 19; 26; 30; 39; 51; 58; 63; 73

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 6-1

O piso de um vagão de trem está carregado de caixas soltas cujo coeficiente de atrito estático com o piso é 0,25. Se o trem está se movendo inicialmente com uma velocidade de 48 km/h, qual é a menor distância na qual o trem pode ser parado com aceleração constante sem que as caixas deslizem no piso?

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 6-12

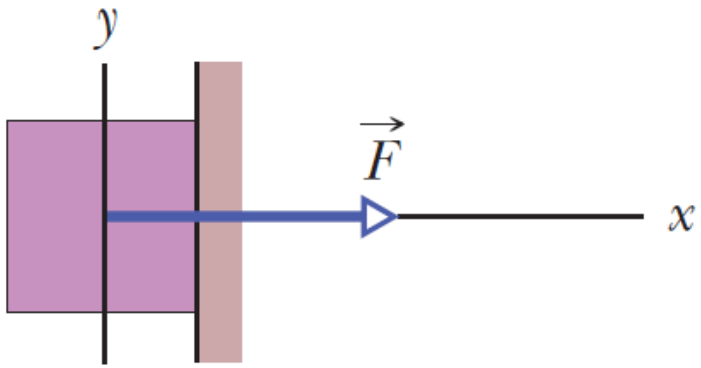
Por volta de 1915, Henry Sincosky, de Filadélfia, pendurou-se no caibro de um telhado apertando-o com os polegares de um lado e com os outros dedos do outro lado (Figura). A massa de Sincosky era de 79 kg. Se o coeficiente de atrito estático entre as mãos e o caibro era 0,70, qual foi, no mínimo, o módulo da força normal exercida sobre o caibro pelos polegares ou os dedos do lado oposto? (Depois de se pendurar, Sincosky ergueu o corpo e deslocou-se ao longo do caibro, trocando de mão. Se você não dá valor ao feito de Sincosky, tente repetir a proeza.)



© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 6-19

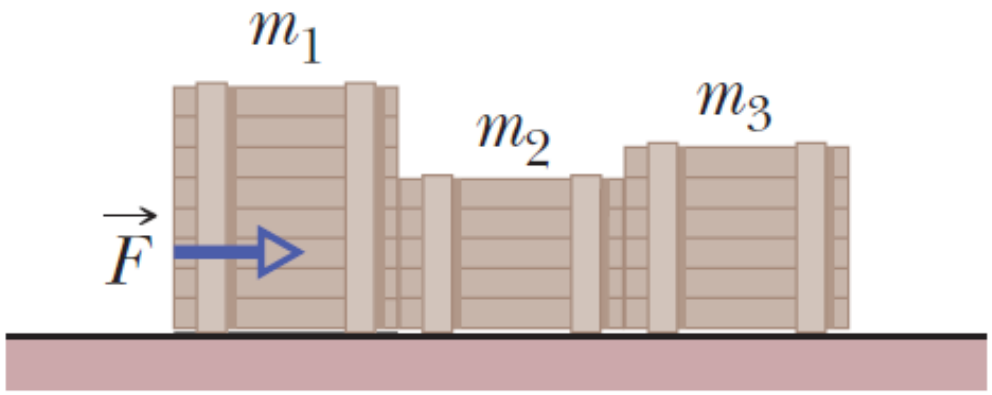
Uma força horizontal , de 12 N, empurra um bloco de 5,0 N de peso contra uma parede vertical (Figura). O coeficiente de atrito estático entre a parede e o bloco é 0,60 e o coeficiente de atrito cinético é 0,40. Suponha que o bloco não esteja se movendo inicialmente. (a) O bloco vai se mover? (b) Na notação dos vetores unitários, qual é a força que a parede exerce sobre o bloco?



© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 6-26

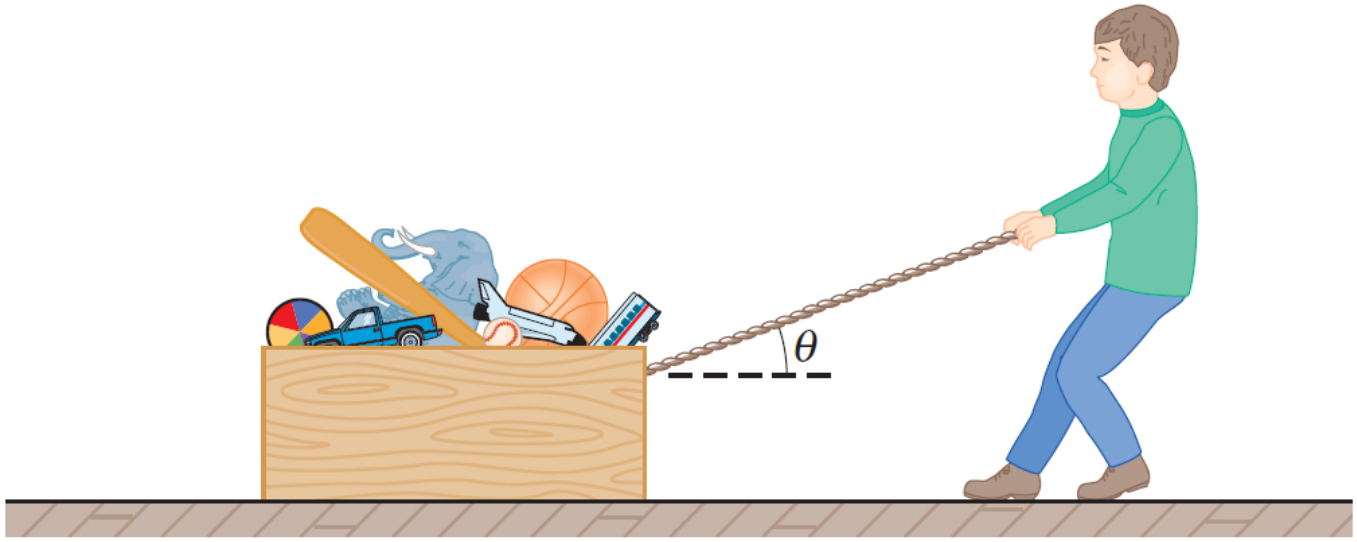
A Figura mostra três caixotes sendo empurrados em um piso de concreto por uma força horizontal de módulo 440 N. As massas dos caixotes são m_1 = 30,0 kg, m_2 = 10,0 kg e m_3 = 20,0 kg. O coeficiente de atrito cinético entre o piso e cada um dos caixotes é de 0,700. (a) Qual é o módulo F_{32} da força exercida sobre o bloco 3 pelo bloco 2? (b) Se os caixotes deslizassem em um piso polido, com um coeficiente de atrito cinético menor que 0,700, o módulo F_{32} seria maior, menor ou igual ao valor quando o coeficiente de atrito era 0,700?



© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 6-30

Uma caixa de brinquedos e seu conteúdo têm um peso total de 180 N. O coeficiente de atrito estático entre a caixa de brinquedos e o piso é 0,42. A criança da Figura tenta arrastar a caixa puxando-a por uma corda. (a) Se θ = 42°, qual é o módulo da força que a criança deve fazer sobre a corda para que a caixa esteja na iminência de se mover? (b) Escreva uma expressão para o menor valor do módulo da força F necessária para que a caixa se mova em função do ângulo θ. Determine (c) o valor de θ para o qual F é mínimo e (d) o valor mínimo de F.



© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

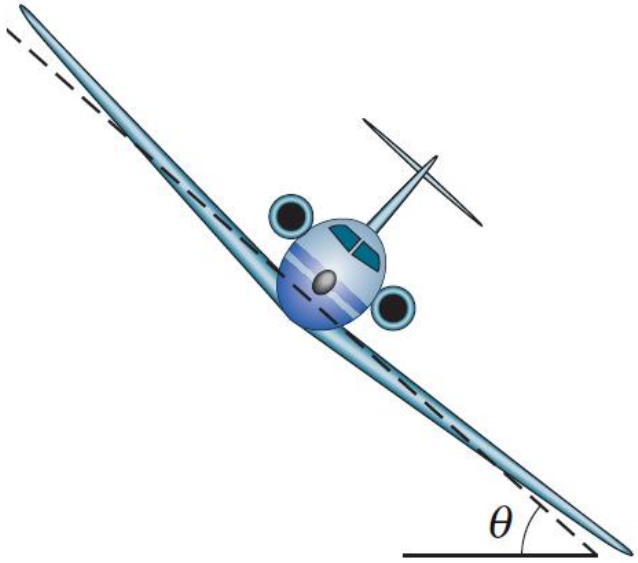
Problema 6-39

Calcule a razão entre a força de arrasto experimentada por um avião a jato voando a 1000 km/h a uma altitude de 10 km e a força de arrasto experimentada por um avião a hélice voando a metade da altitude com metade da velocidade. A massa específica do ar é 0,38 kg/m^3 a 10 km e 0,67 kg/m^3 a 5,0 km. Suponha que os aviões possuem a mesma área de seção reta efetiva e o mesmo coeficiente de arrasto *C*.

© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 6-51

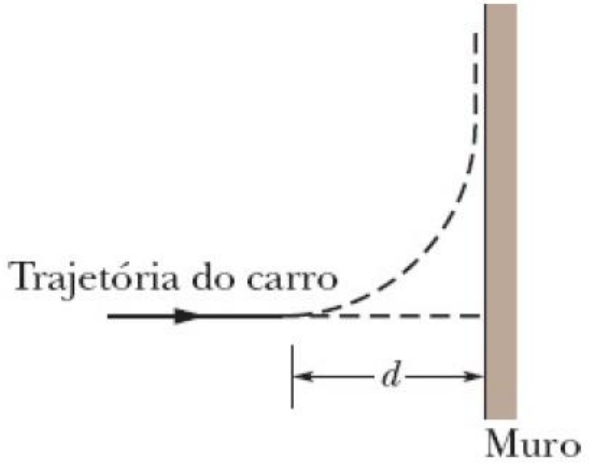
Um avião está voando em uma circunferência horizontal a uma velocidade de 480 km/h (Figura). Se as asas estão inclinadas de um ângulo $\theta = 40°$ com a horizontal, qual é o raio da circunferência? Suponha que a força necessária para manter o avião nessa trajetória resulte inteiramente de uma "sustentação aerodinâmica" perpendicular à superfície das asas.



© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 6-58

Frear ou fazer a curva? A figura abaixo mostra a visão de cima da trajetória de um carro na direção de um muro. Assuma que o motorista comece a frear o carro quando a distância até o muro é de d = 107 m e assuma a massa do carro como 1.400 kg, sua velocidade inicial como 35 m/s e o coeficiente de atrito estático como 0,50. Assuma que o peso do carro está distribuído igualmente entre suas quatro rodas, mesmo durante a frenagem. (a) Qual é o módulo do atrito estático necessário (entre os pneus e a estrada) para fazer parar o carro na iminência de atingir o muro? (b) Qual é o atrito estático máximo? (c) Se o coeficiente de atrito cinético entre os pneus (deslizando) e a estrada é 0,40, qual é a velocidade com que o carro atinge o muro? (d) Qual é o módulo da força de atrito necessária para manter o carro numa trajetória circular de raio igual a d = 107 m e a uma velocidade de 35 m/s, de modos que o carro se move em um quarto de circunferência e então paralelo ao muro? (e) a força necessária é menor que o atrito estático máximo, de modos que a curva é possível?



© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 6-63

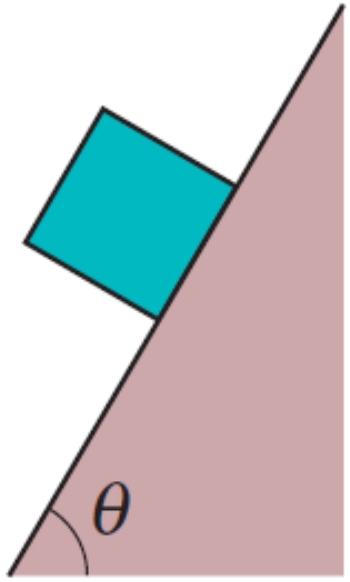
Na Figura, uma alpinista de 49 kg está subindo por uma “chaminé”. O coeficiente de atrito estático entre as botas e a pedra é 1,2; entre as costas e a pedra é 0,80. A alpinista reduziu a força que está fazendo contra a pedra até se encontrar na iminência de escorregar. (a) Desenhe um diagrama de corpo livre da moça. (b) Qual é o módulo da força que a moça exerce contra a pedra? (c) Que fração do peso da moça é sustentada pelo atrito dos sapatos?



© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Problema 6-73

Na Figura, o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o plano inclinado é 0,20 e o ângulo θ é 60°. Quais são (a) o módulo *a* e (b) o sentido (para cima ou para baixo ao longo do plano) da aceleração do bloco se ele está escorregando para baixo? Quais são (c) o módulo *a* e (d) o sentido da aceleração se o bloco está escorregando para cima?



© 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.