

Física 1

5 – Aplicações das Leis de Newton

Primeira lei de Newton

Partículas em equilíbrio

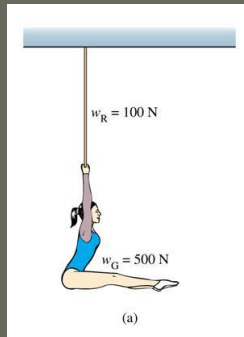
Condição de equilíbrio de uma partícula:

$$\sum \mathbf{F} = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum F_z = 0 \end{array} \right. \Rightarrow \mathbf{a} = 0$$

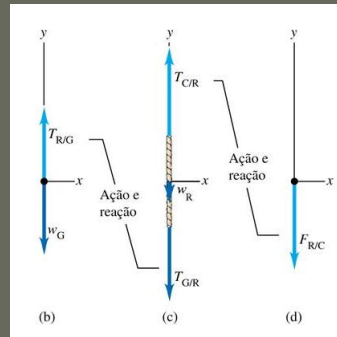
Sem aceleração, a partícula mantém seu estado de movimento, ou seja, permanece em repouso ou em movimento com velocidade constante.

Primeira lei de Newton

Ginasta pendurada em repouso



(a) Uma ginasta pendurada em repouso na extremidade de uma corda vertical



(b) Diagrama do corpo livre para a ginasta

(c) Diagrama do corpo livre para a corda

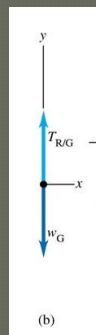
(d) Força exercida sobre o teto pela corda

©2004 by Pearson Education

Primeira lei de Newton

Ginasta pendurada em repouso

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{T}_{R/G} + \mathbf{w}_G = 0$$



(b)
Ginasta

Forças em x:

$$\sum F_x = 0$$

Forças em y:

$$\sum F_y = 0$$

$$T_{R/G} - w_G = 0$$

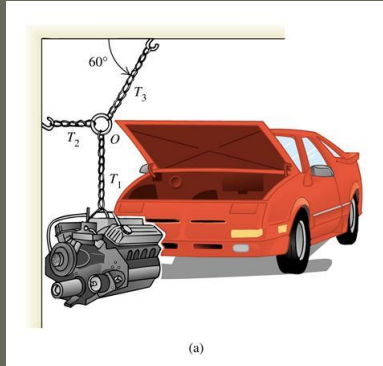
$$\boxed{T_{R/G} = m_G g}$$

$w_G \rightarrow$ peso da ginasta
 $m_G \rightarrow$ massa da ginasta
 $T_{R/G} \rightarrow$ tensão na corda

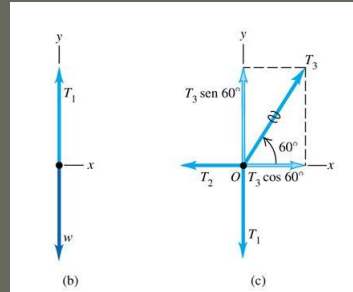
©2004 by Pearson Education

Primeira lei de Newton

Motor em repouso sustentado por cordas



(a) O motor de um automóvel com peso w está suspenso por uma corrente ligada ao ponto O a duas outras correntes. As correntes e o anel possuem massas desprezíveis



(b) Diagrama do corpo livre do automóvel

(c) Diagrama do corpo livre do anel, mostrando a força T_3 decomposta em seus componentes

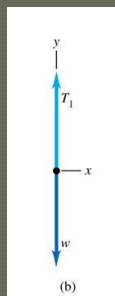
©2004 by Pearson Education

Primeira lei de Newton

Motor em repouso sustentado por cordas

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{T}_1 + \mathbf{w} = 0$$

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{T}_1 + \mathbf{T}_2 + \mathbf{T}_3 = 0$$



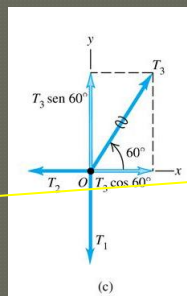
Motor

Forças em y :

$$\sum F_y = 0$$

$$T_1 - w = 0$$

$$T_1 = mg$$



Aro

Forças em y :

$$\sum F_y = 0$$

$$T_3 \sin 60^\circ - T_1 = 0$$

$$T_3 = \frac{mg}{\sin 60^\circ}$$

Forças em x :

$$\sum F_x = 0$$

$$T_3 \cos 60^\circ - T_2 = 0$$

$$T_2 = \frac{mg}{\sin 60^\circ} \cos 60^\circ$$

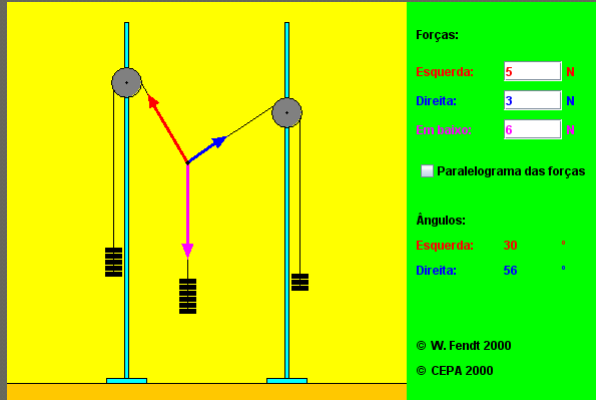
$$T_2 = mg \cot 60^\circ$$

$w \rightarrow$ peso do motor
 $T_1 \rightarrow$ tensão na corda vertical
 $T_2 \rightarrow$ tensão na corda horizontal
 $T_3 \rightarrow$ tensão na corda inclinada

©2004 by Pearson Education

Primeira lei de Newton

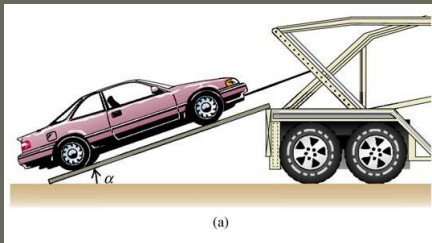
Equilíbrio de três forças



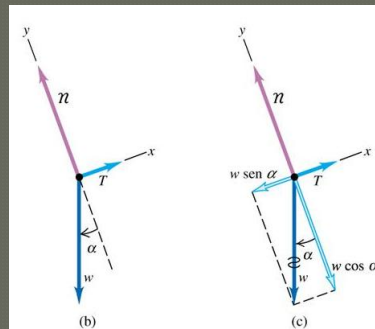
© 2000, Walter Fendt

Primeira lei de Newton

Carro em repouso numa rampa



(a) Um cabo mantém um carro sobre a rampa



(b) Diagrama do corpo livre do carro

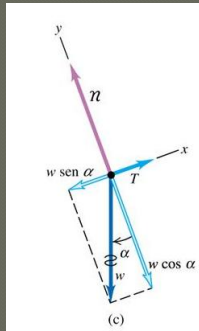
(c) O peso $w \sin \alpha$ atua de cima para baixo ao longo do plano inclinado e $w \cos \alpha$ é perpendicular ao plano

©2004 by Pearson Education

Primeira lei de Newton

Carro em repouso numa rampa

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{T} + \boldsymbol{\eta} + \mathbf{w} = 0$$



Carro

Forças em x:

$$\sum F_x = 0$$

$$T - w \sin \alpha = 0$$

$$T = mg \sin \alpha$$

Forças em y:

$$\sum F_y = 0$$

$$\eta - w \cos \alpha = 0$$

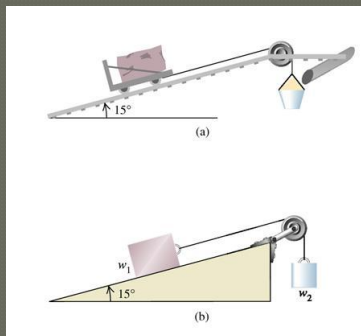
$$\eta = mg \cos \alpha$$

$w \rightarrow$ peso do carro
 $m \rightarrow$ massa do carro
 $T \rightarrow$ tensão no cabo
 $\eta \rightarrow$ força normal

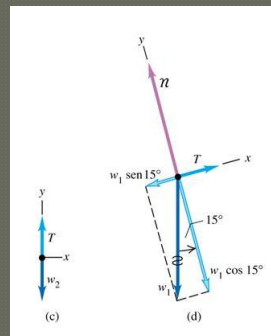
©2004 by Pearson Education

Primeira lei de Newton

Balde suspenso sustentando um carrinho na rampa



- (a) Um balde com barro puxa para cima um carrinho com um bloco de granito
 (b) Modelo idealizado do sistema



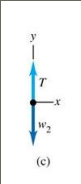
- (c) Diagrama do corpo livre do balde
 (d) Diagrama do corpo livre do carrinho com o bloco

©2004 by Pearson Education

Primeira lei de Newton

Balde suspenso sustentando um carrinho na rampa

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{T} + \mathbf{w}_2 = 0$$



Balde

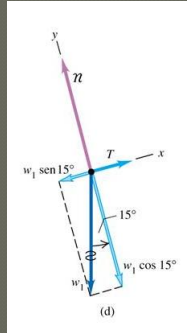
Forças em y:

$$\sum F_y = 0$$

$$T - w_2 = 0$$

$$T = m_2 g$$

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{T} + \mathbf{w}_1 + \boldsymbol{\eta} = 0$$



Carrinho

Forças em x:

$$\sum F_x = 0$$

$$T - w_1 \sin 15^\circ = 0$$

$$T = m_1 g \sin 15^\circ$$

Forças em y:

$$\sum F_y = 0$$

$$\eta - w_1 \cos 15^\circ = 0$$

$$\eta = m_1 g \cos 15^\circ$$

$w_1 \rightarrow$ peso do carrinho-bloco
 $m_1 \rightarrow$ massa do carrinho-bloco
 $w_2 \rightarrow$ peso do balde-barro
 $m_2 \rightarrow$ massa do balde-barro
 $T \rightarrow$ tensão na corda

©2004 by Pearson Education

Segunda lei de Newton

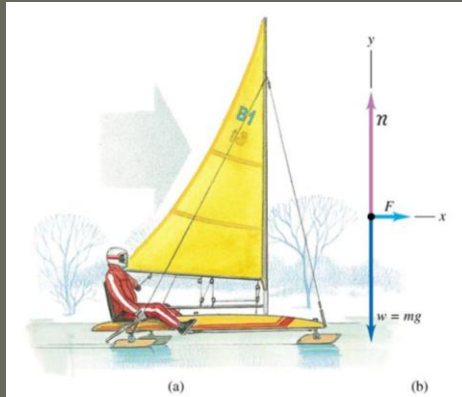
Dinâmica das partículas

$$\sum \mathbf{F} = m\mathbf{a} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = ma_x \\ \sum F_y = ma_y \\ \sum F_z = ma_z \end{array} \right.$$

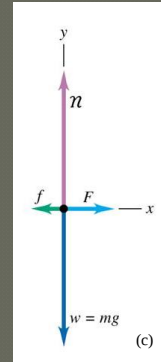
A aplicação de uma força resultante a uma partícula provoca uma aceleração proporcional à massa do corpo e na mesma direção e sentido da força.

Segunda lei de Newton

Barco deslizando no gelo



- (a) Um barco projetado para deslizar no gelo está em repouso
 (b) Diagrama do corpo livre para o barco e o velejador sem considerar o atrito



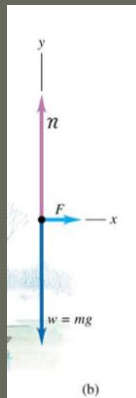
- (c) Diagrama do corpo livre para o barco e o velejador considerando uma força de atrito f que se opõe ao movimento

©2004 by Pearson Education

Segunda lei de Newton

Barco deslizando no gelo

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{F} + \boldsymbol{\eta} + \mathbf{w} = m\mathbf{a}$$



Barco
(sem atrito)

Forças em x:

$$\sum F_x = ma_x$$

$$F = ma_1$$

$$a_1 = \frac{F}{m}$$

Forças em y:

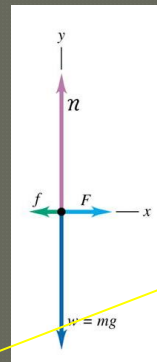
$$\sum F_y = 0$$

$$\eta - w = 0$$

$$\eta = mg$$

 $w \rightarrow$ peso do barco $\eta \rightarrow$ força normal $F \rightarrow$ força do vento $f \rightarrow$ força de atrito cinético

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{F} + \boldsymbol{\eta} + \mathbf{w} + \mathbf{f} = m\mathbf{a}$$



Barco
(com atrito)

Forças em x:

$$\sum F_x = ma_x$$

$$F - f = ma_2$$

$$F - \mu_c \eta = ma_2$$

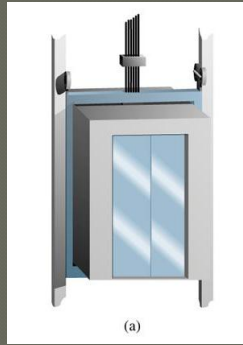
$$F - \mu_c mg = ma_2$$

$$a_2 = \frac{F}{m} - \mu_c g$$

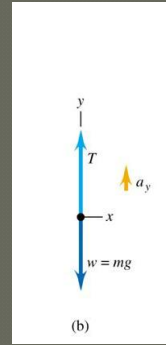
©2004 by Pearson Education

Segunda lei de Newton

Elevador desacelerando ao descer



(a) Um elevador de carga, descendo, diminui sua velocidade até atingir o repouso



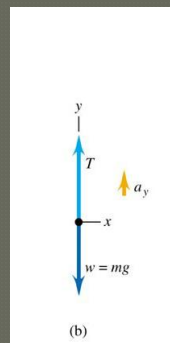
(b) Diagrama do corpo livre para o elevador

©2004 by Pearson Education

Segunda lei de Newton

Elevador desacelerando ao descer

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{T} + \mathbf{w} = m\mathbf{a}$$



Elevador

Forças em x:

$$\sum F_x = 0$$

Forças em y:

$$\sum F_y = ma_y$$

$$T - w = ma$$

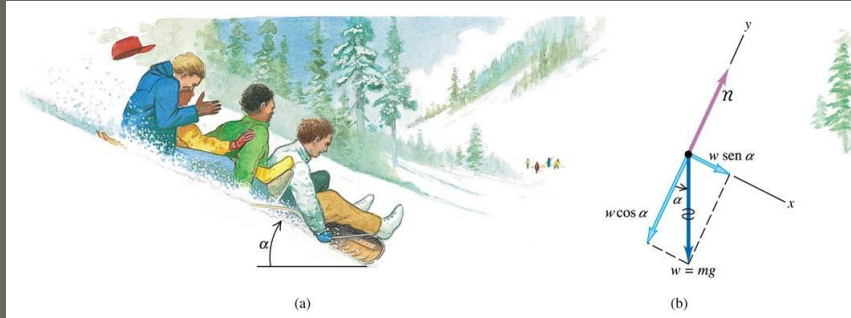
$$a = \frac{1}{m} T - w$$

$w \rightarrow$ peso do elevador
 $T \rightarrow$ tensão no cabo de sustentação do elevador

©2004 by Pearson Education

Segunda lei de Newton

Tobogã deslizando morro abaixo na neve



(a) Um tobogã carregado desliza para baixo de uma montanha pela encosta sem atrito

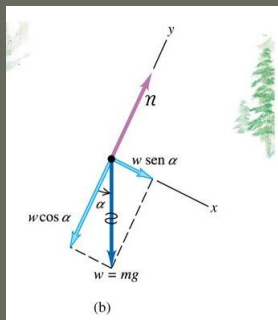
(b) O diagrama do corpo livre mostra que o componente x do peso, $w \sin \alpha$, é o responsável pela aceleração do tobogã montanha abaixo

©2004 by Pearson Education

Segunda lei de Newton

Tobogã deslizando morro abaixo na neve

$$\sum \mathbf{F} = \boldsymbol{\eta} + \mathbf{w} = m\mathbf{a}$$



Tobogã

Forças em x :

$$\sum F_x = ma_x$$

$$w \sin \alpha = ma$$

$$mg \sin \alpha = ma$$

$$a = g \sin \alpha$$

Forças em y :

$$\sum F_y = 0$$

$$\eta - w \cos \alpha = 0$$

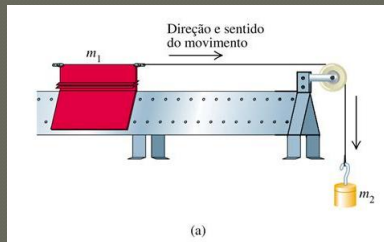
$$\eta = mg \cos \alpha$$

$w \rightarrow$ peso do trenó
 $\eta \rightarrow$ força normal

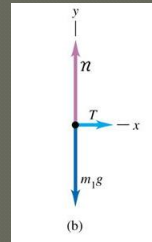
©2004 by Pearson Education

Segunda lei de Newton

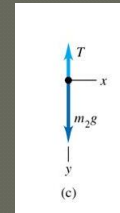
Peso caindo acelera o cavaleiro



(a) Um peso de laboratório acelera um cavaleiro ao longo de um trilho de ar



(b) Diagrama do corpo livre para o cavaleiro (massa m_1)



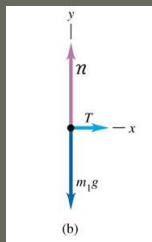
(c) Diagrama do corpo livre para o peso de laboratório (massa m_2)

©2004 by Pearson Education

Segunda lei de Newton

Peso caindo acelera o cavaleiro

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{T} + \mathbf{\eta} + \mathbf{w} = m\mathbf{a}$$



Cavaleiro

Forças em x:

$$\sum F_x = ma_x$$

$$T = m_1 a$$

Forças em y:

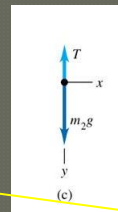
$$\sum F_y = 0$$

$$\eta - w_1 = 0$$

$$\eta = mg$$

$w_1 \rightarrow$ peso do cavaleiro
 $w_2 \rightarrow$ peso do corpo que cai
 $\eta \rightarrow$ força normal ao cavaleiro
 $T \rightarrow$ tensão no fio

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{T} + \mathbf{w} = m\mathbf{a}$$



Peso

Forças em y:

$$\sum F_y = ma_y$$

$$T - w_2 = m_2 a$$

$$T - m_2 g = m_2 a$$

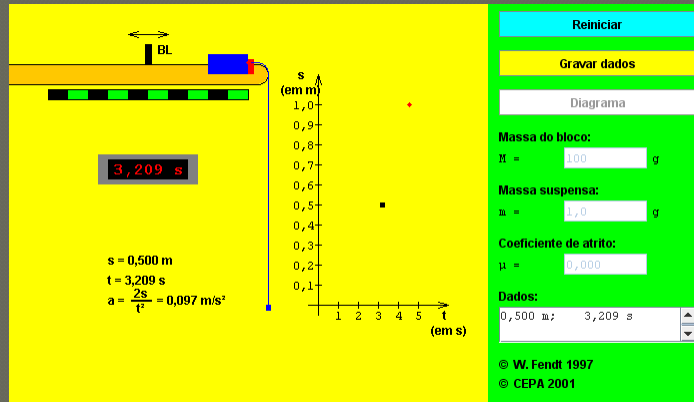
$$m_1 a - m_2 g = m_2 a$$

$$a = \frac{m_2 g}{m_1 - m_2}$$

©2004 by Pearson Education

Segunda lei de Newton

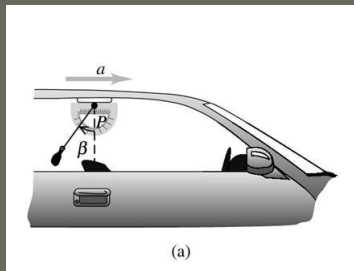
Peso caindo acelera o cavaleiro



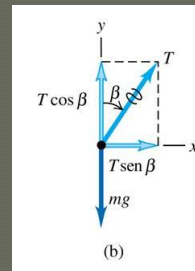
© Walter Fendt 1997, CEPA 2001

Segunda lei de Newton

Acelerômetro simples



(a) Um acelerômetro simples



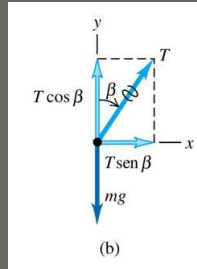
(b) Diagrama do corpo livre para o peso de chumbo

©2004 by Pearson Education

Segunda lei de Newton

Acelerômetro simples

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{T} + \mathbf{w} = m\mathbf{a}$$



Peso de chumbo

Forças em x:

$$\sum F_x = ma_x$$

$$T \sin \beta = ma$$

$$\frac{mg}{\cos \beta} \sin \beta = ma$$

$$a = g \tan \beta$$

Forças em y:

$$\sum F_y = 0$$

$$T \cos \beta - w = 0$$

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

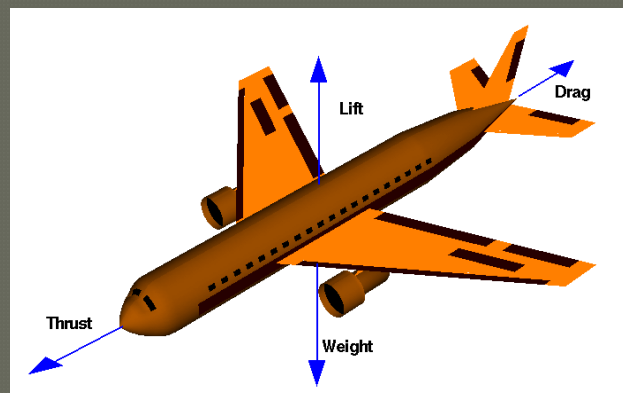
$$T = \frac{mg}{\cos \beta}$$

$w \rightarrow$ peso do acelerômetro
 $T \rightarrow$ tensão no fio

©2004 by Pearson Education

Segunda lei de Newton

Quatro forças que agem num avião

Thrust $\rightarrow$ empuxo do motorDrag $\rightarrow$ arrasto do arLift $\rightarrow$ sustentaçãoWeight $\rightarrow$ peso do avião

Segunda lei de Newton

Forças aerodinâmicas em ação



W → peso do avião
 T → empuxo do motor
 D → arrasto do ar
 L → força de sustentação
 v → velocidade



<http://www.youtube.com/watch?v=43tiYFq-tQ>

Forças de atrito

Definição e características

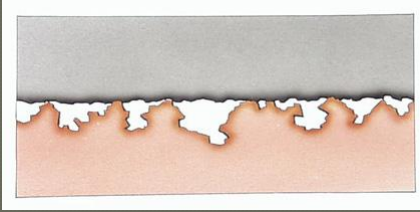
Atrito é uma força natural que atua apenas quando um objeto está em contacto com outro e sofre a ação de outra força que tende a colocá-lo em movimento.

Esta força é causada pelo contacto dos dois corpos ou meio em que se move o corpo em movimento - neste caso especial, designado por viscosidade.

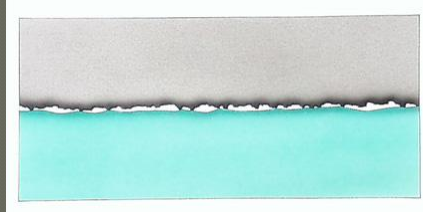
A força de atrito é de origem eletromagnética.

Forças de atrito

Origem



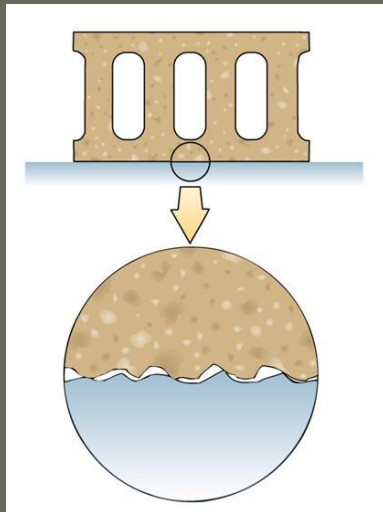
Inferior: Lixa de papel
Superior: Peso metálico de 1 kg
Visão microscópica.



Inferior: Acrílico
Superior: Peso metálico de 1 kg
Visão microscópica.

Forças de atrito

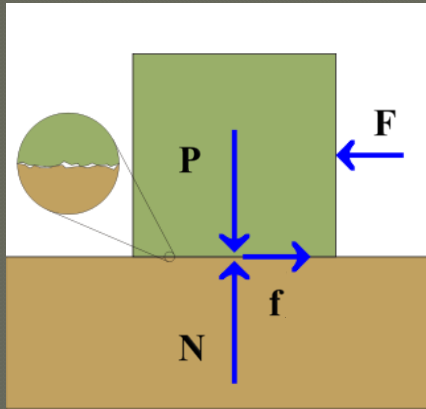
Origem



A força de atrito e a força normal decorrem de interações entre moléculas nos pontos mais elevados das superfícies de contato entre o bloco e o piso.

Forças de atrito

Origem



Quando a força externa F começa a atuar, o piso exerce uma força de atrito estático f sobre o bloco, cujo módulo é menor ou igual a μN .

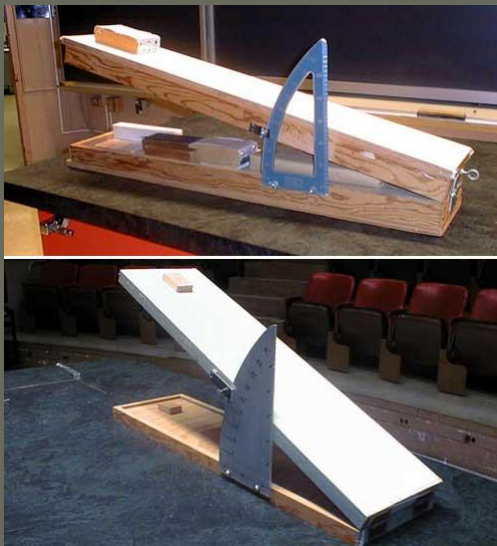
$$f \leq \mu N$$

No instante em que o bloco sujeito à força externa F está na iminência de deslizar, o módulo da força de atrito estático f é igual a μN .

$$f = \mu N$$

Forças de atrito

Coeficiente de atrito estático

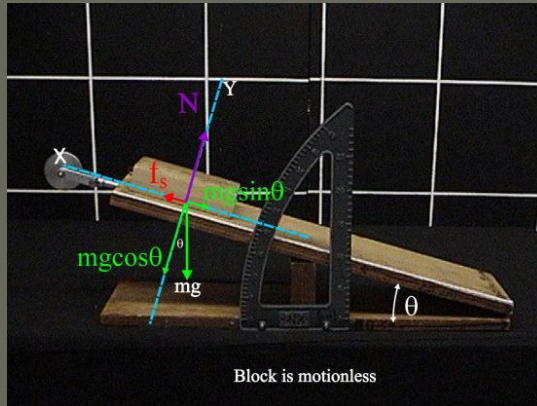


O coeficiente de atrito estático entre duas superfícies é igual à tangente do ângulo de inclinação máximo da rampa em que o bloco consegue permanecer em repouso.

$$\mu = \tan \theta$$

Forças de atrito

Coeficiente de atrito estático



Forças em y:

$$\sum F_y = 0$$

$$N = mg \cos \theta$$

Forças em x:

$$\sum F_x = 0$$

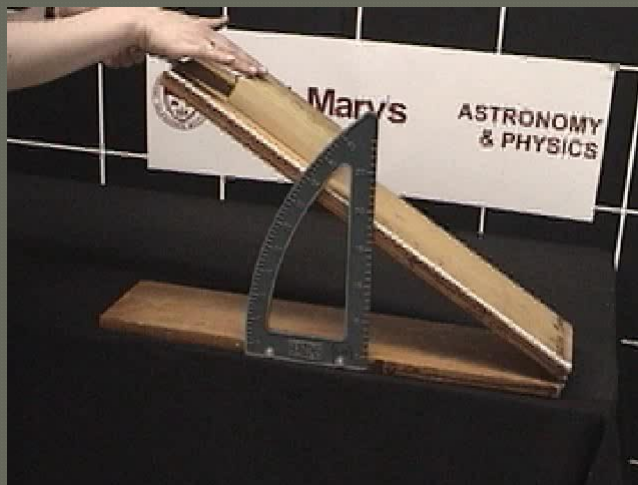
$$mg \sin \theta = f_s = \mu_s N$$

$$mg \sin \theta = \mu_s mg \cos \theta$$

$$\mu_s = \tan \theta$$

Forças de atrito

Medida do coeficiente de atrito estático



http://www.ap.smu.ca/demos/content/mechanics/static_friction/static_friction.html

Forças de atrito

Curiosidade envolvendo o coeficiente de atrito estático

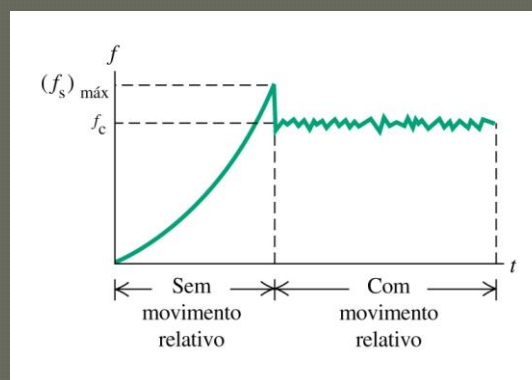


Devido ao baixo coeficiente de atrito estático entre a mesa, a toalha e o vidro, é possível puxar rapidamente a toalha sem perturbar as garrafas.

<http://br.youtube.com/watch?v=7gfWvexu4u4>

Forças de atrito

Forças de atrito estático e cinético

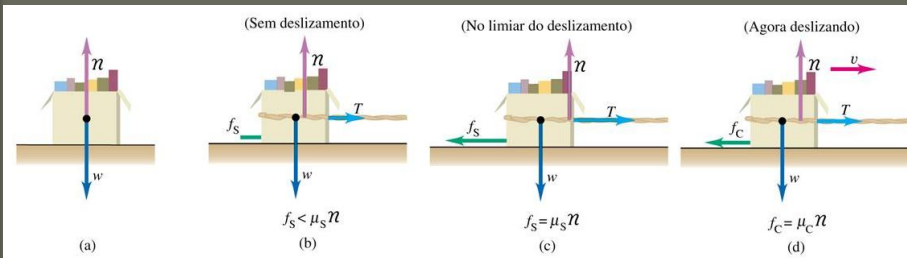


Em resposta a uma força externa aplicada, a força de atrito estático cresce até $(f_s)_{\text{máx}}$. A seguir as superfícies começam a deslizar entre si, e a força de atrito diminui até um valor constante f_c . A força de atrito cinético varia ligeiramente à medida que se formam e se quebram algumas ligações entre as moléculas.

©2004 by Pearson Education

Forças de atrito

Forças de atrito estático e cinético



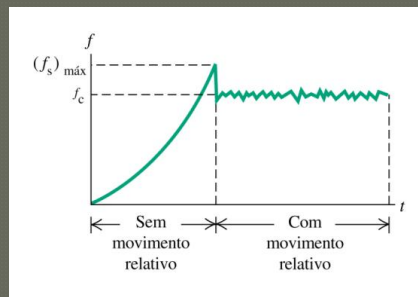
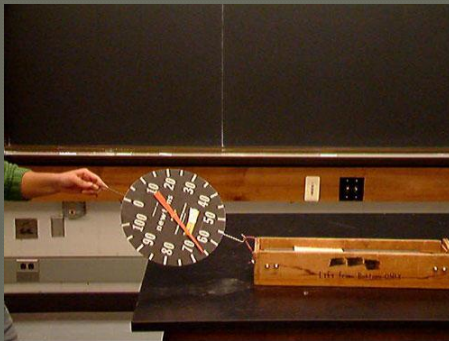
(a), (b), (c) Quando não existe movimento relativo entre as superfícies. O módulo da força de atrito estático f_s é menor do que ou igual a $\mu_s n$.

(d) Quando existe o movimento relativo, o módulo da força de atrito cinético f_c é igual a $\mu_c n$.

©2004 by Pearson Education

Forças de atrito

Coeficiente de atrito cinético

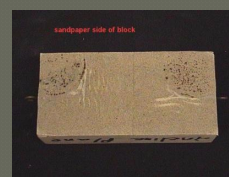
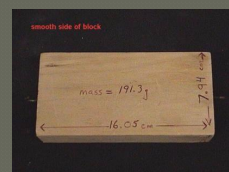


©2004 by Pearson Education

A medida do coeficiente de atrito cinético entre duas superfícies é feita com a ajuda de um dinamômetro, que mede a força necessária para arrastar um corpo sobre uma superfície horizontal.

Forças de atrito

Medida do coeficiente de atrito cinético



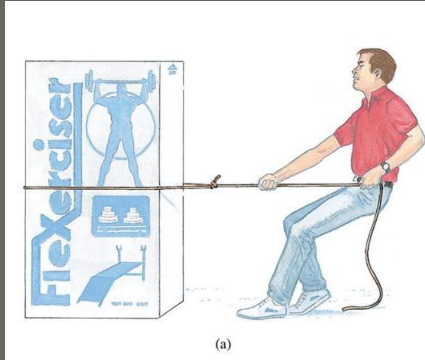
http://www.ap.smu.ca/demos/content/mechanics/friction_coefficient/friction_coefficient.html

Alguns coeficientes de atrito

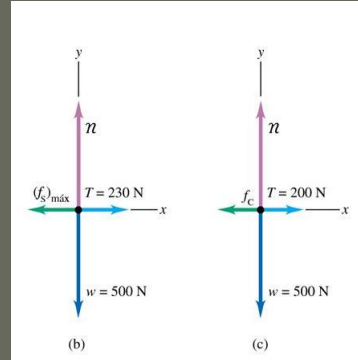
Materiais	Estático, μ_s	Cinético, μ_c
Aço – Aço	0,74	0,57
Alumínio – Aço	0,61	0,47
Cobre – Aço	0,53	0,36
Latão – Aço	0,51	0,44
Zinco – Ferro doce	0,85	0,21
Cobre – Ferro doce	1,05	0,29
Vidro – Vidro	0,94	0,40
Cobre – Vidro	0,68	0,53
Teflon – Teflon	0,04	0,04
Teflon – Aço	0,04	0,04
Borracha – Concreto (seco)	1,00	0,80
Borracha – Concreto (úmido)	0,30	0,25

Forças de atrito

Forças de atrito estático e cinético



(a) Puxando um engradado com uma força horizontal.



(b) Diagrama do corpo livre para o engradado quando ele inicia o movimento.

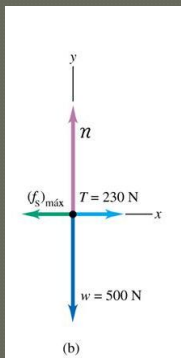
(c) Diagrama do corpo livre para o engradado quando ele se move com velocidade constante.

©2004 by Pearson Education

Forças de atrito

Forças de atrito estático e cinético

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{T} + \mathbf{n} + \mathbf{w} + \mathbf{f}_s = 0$$



Engradado
(limiar do
movimento)

Forças em y:

$$\sum F_y = 0$$

$$\eta = mg$$

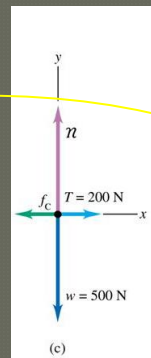
Forças em x:

$$\sum F_x = 0$$

$$T = \mu_s \eta$$

$$T = \mu_s mg$$

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{T} + \mathbf{n} + \mathbf{w} + \mathbf{f}_c = m\mathbf{a}$$



Engradado
(velocidade
constante)

Forças em x:

$$\sum F_x = ma_x$$

$$T - f_c = ma$$

$$T - \mu_c \eta = ma$$

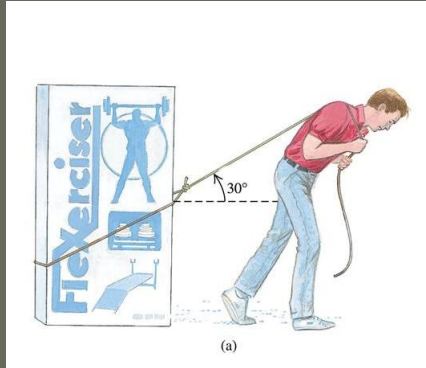
$$T - \mu_c mg = ma$$

$$a = \frac{T}{m} - \mu_c g$$

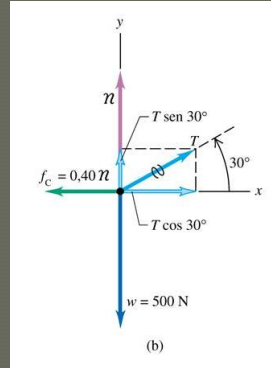
©2004 by Pearson Education

Forças de atrito

Forças de atrito estático e cinético



(a) Puxando um engradado com uma força que forma um ângulo com a horizontal.



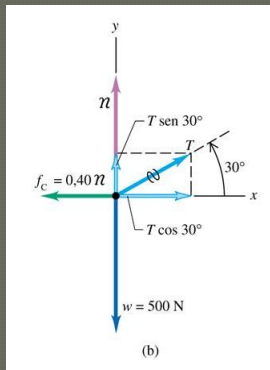
(b) Diagrama do corpo livre para o engradado quando ele se move com velocidade constante.

©2004 by Pearson Education

Forças de atrito

Forças de atrito estático e cinético

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{T} + \mathbf{n} + \mathbf{w} + \mathbf{f}_c = 0$$



Engradado
(velocidade constante)

Forças em y:

$$\sum F_y = 0$$

$$n + T \sin 30^\circ - mg = 0$$

$$n = mg - T \sin 30^\circ$$

Forças em x:

$$\sum F_x = 0$$

$$T \cos 30^\circ - f_c = 0$$

$$T \cos 30^\circ = \mu_c n$$

$$T \cos 30^\circ = \mu_c mg - T \mu_c \sin 30^\circ$$

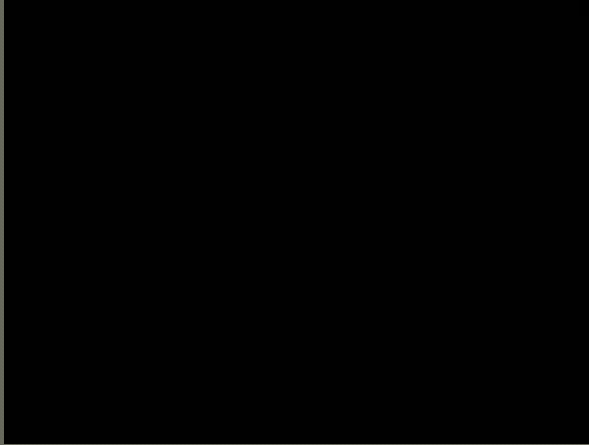
$$T \cos 30^\circ + \mu_c T \sin 30^\circ = \mu_c mg$$

$$T = \frac{\mu_c mg}{\cos 30^\circ + \mu_c \sin 30^\circ}$$

©2004 by Pearson Education

Forças de atrito

Freio ABS (Anti-blocking system)

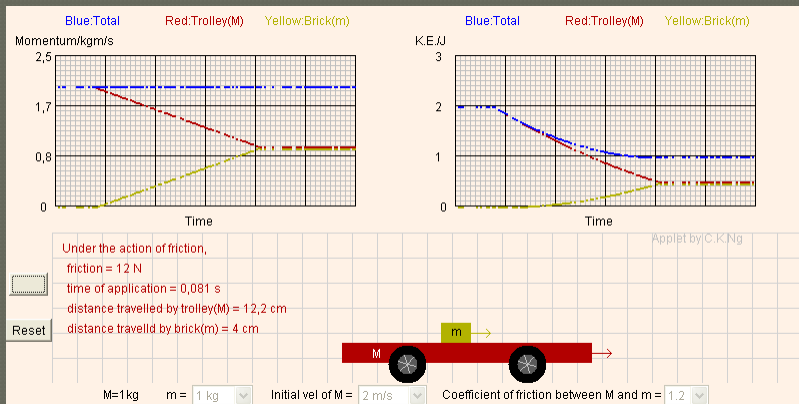


O ABS impede o travamento das rodas durante a frenagem. Assim, a desaceleração do veículo dá-se pela atuação da força de atrito estático.

http://www.youtube.com/watch?v=BRu83Zj_Kfo&NR=1

Forças de atrito

Queda sobre uma superfície em movimento



Forças de atrito

Atrito de rolamento

A força de atrito de rolamento (f_r) é aquela que desacelera naturalmente o movimento de uma roda que rola sobre uma superfície horizontal plana.

$$f_r = \mu_r N$$



Forças de atrito

Atrito de rolamento

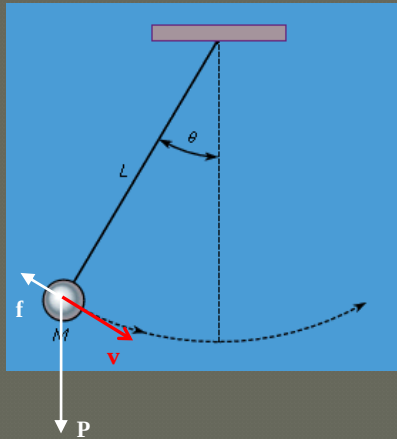
A origem da força de atrito de rolamento está na deformação sofrida pela roda e na separação das superfícies durante o rolamento. A energia requerida para isso vem da energia cinética da roda.



©2000 by How Stuff Works

Forças de atrito

Arrasto



Para velocidades baixas, a força de arrasto (f) é proporcional à velocidade do corpo.

$$f = kv$$

A constante k depende do tamanho e forma do corpo e da densidade do meio.

P = força peso; f = força de arrasto do ar; v = velocidade

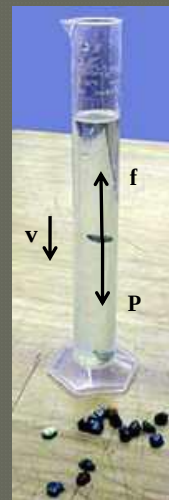
© 1998 by Encyclopaedia Britannica

Forças de atrito

Arrasto em meio líquido - Viscosidade



Viscosidade



$$f = kv$$

Forças de atrito

Velocidade terminal



Forças de atrito

Velocidade terminal

A velocidade terminal é a velocidade máxima com que um corpo se desloca num meio viscoso sob ação do seu peso.



Para velocidades elevadas, a força de arrasto (f) é proporcional ao quadrado da velocidade.

$$f = Dv^2$$

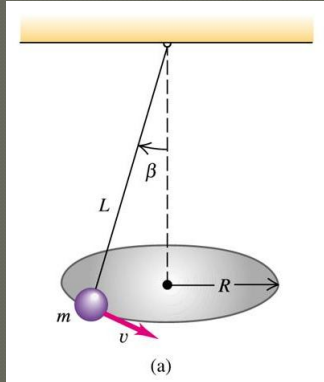
A constante D depende do tamanho e forma do corpo e da densidade do meio.

$$\begin{aligned} P + f &= 0 \\ a &= 0 \end{aligned}$$

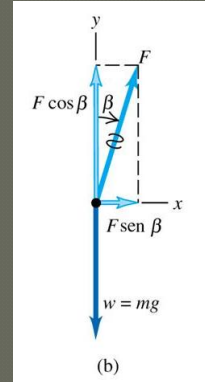
P = força peso; f = força de arrasto do ar

Dinâmica do movimento circular

O pêndulo cônico



(a) O peso na extremidade do fio se move com movimento circular uniforme.



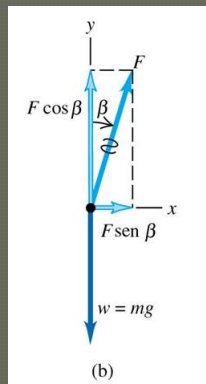
(b) Diagrama do corpo livre para o peso. O sentido do eixo +Ox é orientado para o centro do círculo.

©2004 by Pearson Education

Dinâmica do movimento circular

O pêndulo cônico

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{\eta} + \mathbf{w} = m\mathbf{a}$$



Pêndulo

Forças em y:

$$\sum F_y = 0$$

$$F \cos \beta - w = 0$$

$$F = \frac{mg}{\cos \beta}$$

Forças em x:

$$\sum F_x = ma_x$$

$$F \sin \beta = ma_c$$

$$\frac{mg}{\cos \beta} \sin \beta = m \frac{v^2}{r}$$

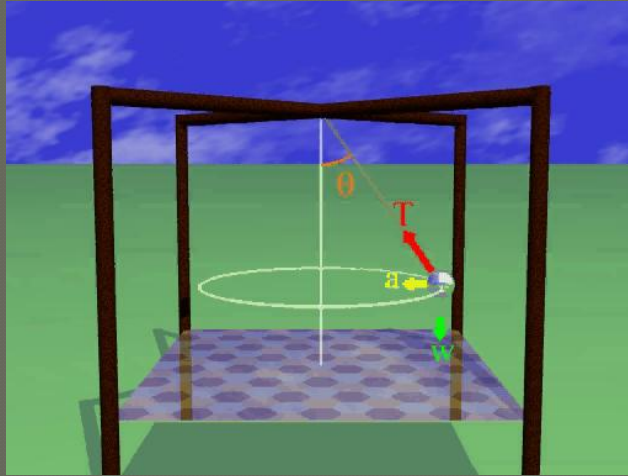
$$v = \sqrt{gr \tan \beta}$$

w → peso do pêndulo
F → tensão no fio

©2004 by Pearson Education

Dinâmica do movimento circular

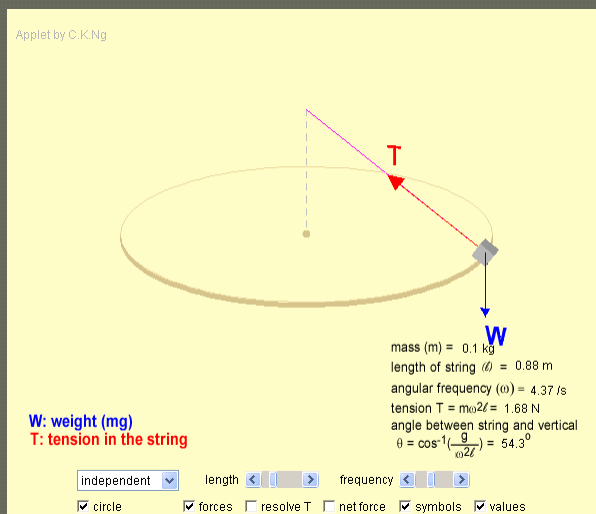
O pêndulo cônico



http://www.youtube.com/watch?v=VyhR1Hf1_OU

Dinâmica do movimento circular

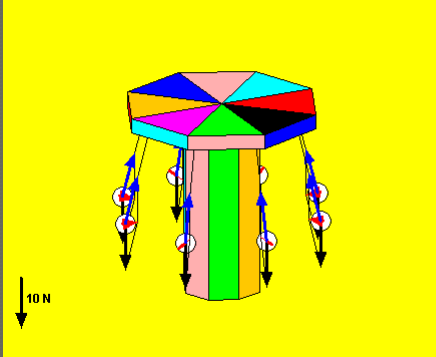
O pêndulo cônico



© 2007, Chiu-king Ng

Dinâmica do movimento circular

O carrossel

- ☐ Carrossel
- ☒ Carrossel com forças
- ☐ Esquema
- ☐ Valores numéricos

Pausa / Continuar

☐ Câmera lenta

Período: s

Distância entre as cordas suspensas e o eixo da rotação: m

Comprimento da corda: m

Massa: kg

© W. Fendt 1999, CEPA 2001

© Walter Fendt 1999, CEPA 2001

Dinâmica do movimento circular

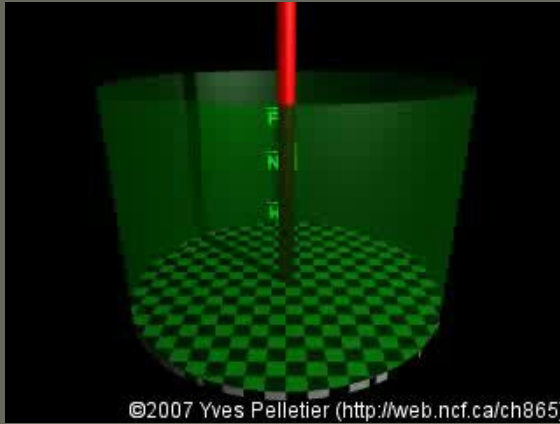
O rotor



<http://br.youtube.com/watch?v=GwKOxpMNz7E>

Dinâmica do movimento circular

O rotor



©2007 Yves Pelletier (<http://web.ncf.ca/ch865>)

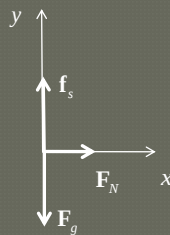
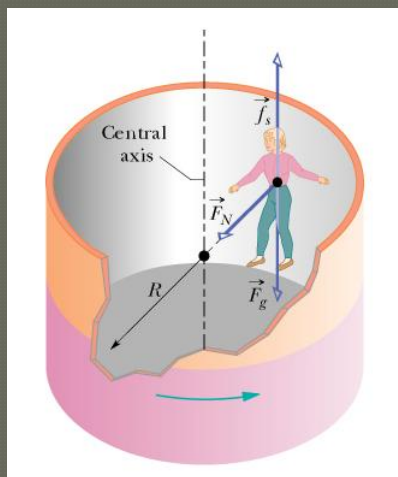


A força de atrito (f) impede a pessoa de escorregar. A força responsável pelo movimento circular da pessoa (força centrípeta, F_c) é a normal (N).

<http://www.youtube.com/watch?v=LdyJLLumCEc>

Dinâmica do movimento circular

O rotor



Forças em y :

$$\sum F_y = 0$$

$$f_s - F_g = 0$$

$$\mu_s F_N = mg$$

$$F_N = \frac{mg}{\mu_s}$$

Forças em x :

$$\sum F_x = ma_x$$

$$F_N = ma_c$$

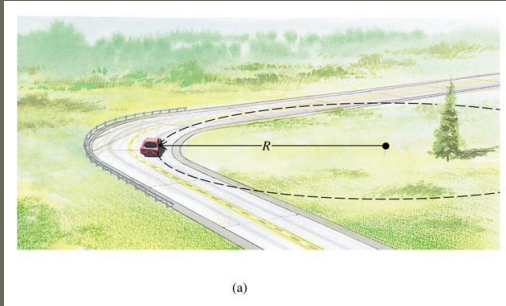
$$\frac{mg}{\mu_s} = m \frac{v^2}{R}$$

$$v = \sqrt{\frac{gR}{\mu_s}}$$

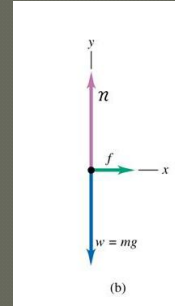
©2002 by John Wiley & Sons

Dinâmica do movimento circular

Carro na curva plana



(a) Um carro esportivo contornando uma curva em uma estrada plana.



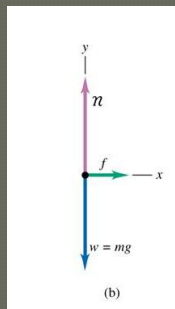
(b) Diagrama do corpo livre para o carro. O sentido do eixo +Ox é orientado para o centro do círculo.

©2004 by Pearson Education

Dinâmica do movimento circular

Carro na curva plana

$$\sum \mathbf{F} = \boldsymbol{\eta} + \mathbf{w} + \mathbf{f} = m\mathbf{a}$$



Carro

Forças em y:

$$\sum F_y = 0$$

$$\eta - w = 0$$

$$\eta = mg$$

Forças em x:

$$\sum F_x = ma_x$$

$$f = ma_c$$

$$\mu_e \eta = m \frac{v^2}{R}$$

$$\mu_e mg = m \frac{v^2}{R}$$

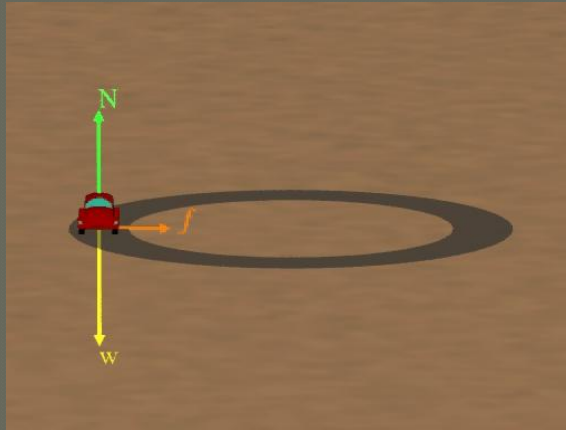
$$v = \sqrt{\mu_e g R}$$

$w \rightarrow$ peso do carro
 $\eta \rightarrow$ força normal
 $f \rightarrow$ força de atrito estático

©2004 by Pearson Education

Dinâmica do movimento circular

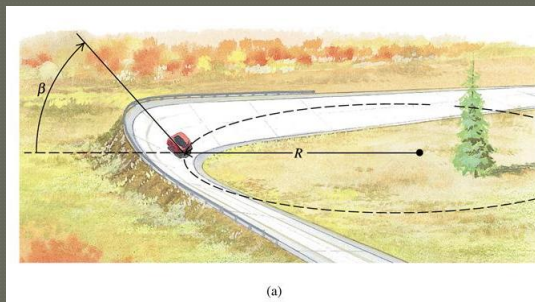
Carro na curva plana



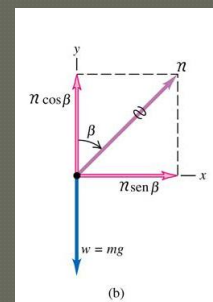
<http://br.youtube.com/watch?v=TahcJy1AlXI>

Dinâmica do movimento circular

Carro na curva inclinada



(a)



(b)

(a) Um carro esportivo contornando uma curva em uma estrada inclinada lateralmente. Caso o plano da curva possua inclinação com um ângulo β correto, não é necessário nenhum atrito para completar a curva com velocidade v .

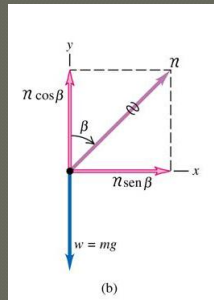
(b) Diagrama do corpo livre para o carro. O sentido do eixo $+Ox$ é orientado para o centro do círculo.

©2004 by Pearson Education

Dinâmica do movimento circular

Carro na curva inclinada

$$\sum \mathbf{F} = \boldsymbol{\eta} + \mathbf{w} = m\mathbf{a}$$



Carro

Forças em x:

$$\sum F_y = 0$$

$$\eta \cos \beta - w = 0$$

$$\eta = \frac{mg}{\cos \beta}$$

$$\sum F_x = ma_x$$

$$\eta \sin \beta = ma_c$$

$$\frac{mg}{\cos \beta} \sin \beta = m \frac{v^2}{r}$$

$$v = \sqrt{gr \tan \beta}$$

$v \rightarrow$ velocidade em que o carro conseguiria fazer a curva mesmo que não houvesse atrito com o solo

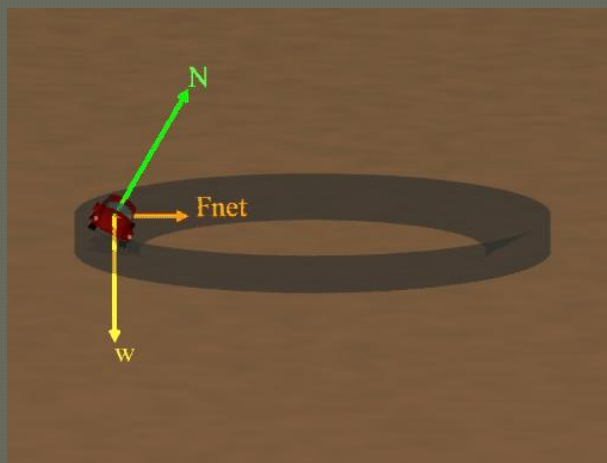
$w \rightarrow$ peso do carro

$\eta \rightarrow$ força normal

©2004 by Pearson Education

Dinâmica do movimento circular

Carro na curva inclinada



<http://www.youtube.com/watch?v=G7o4jIta3qc&NR=1>

Dinâmica do movimento circular

Avião em curva à direita

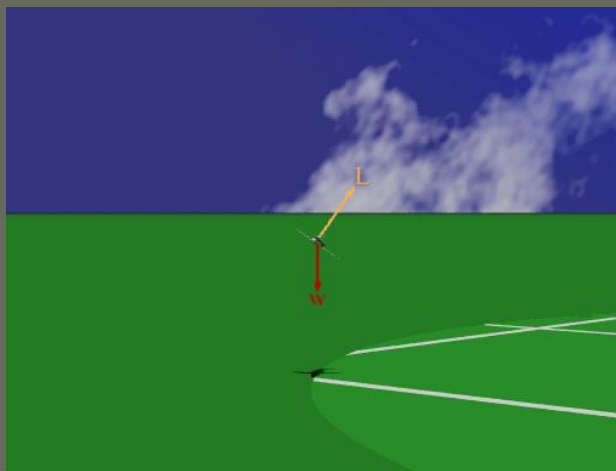


A força que o ar exerce sobre um avião F_{ar} pode ser decomposta em uma componente vertical, que atua como força de sustentação L e outra longitudinal ao corpo do avião D (arrasto) que é contrária ao movimento do avião.

Quando o avião se inclina para fazer uma curva circular, a componente horizontal de L age como força centrípeta F_c .

Dinâmica do movimento circular

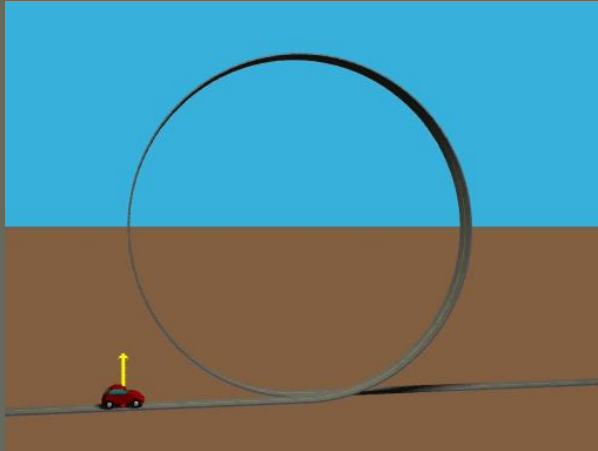
Avião em curva à esquerda



<http://www.youtube.com/watch?v=VOTXD763Lp8>

Dinâmica do movimento circular

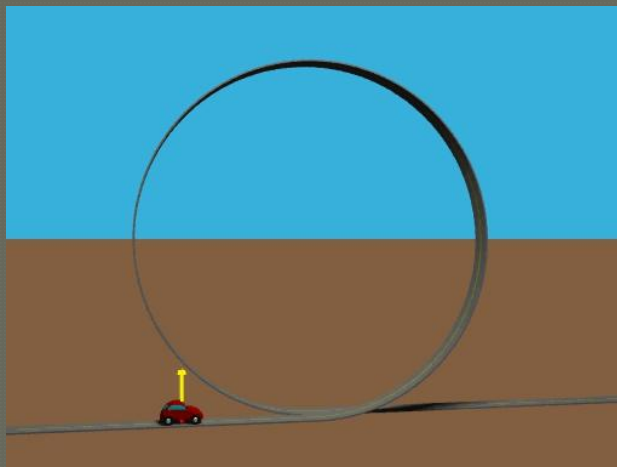
Carro percorrendo pista em loop – Velocidade adequada



<http://www.youtube.com/watch?v=rYYUevr2Rag>

Dinâmica do movimento circular

Carro percorrendo pista em loop – Velocidade inadequada



<http://www.youtube.com/watch?v=rYYUevr2Rag>

Dinâmica do movimento circular

Movimento circular vertical



A Mass Moving in a Vertical Circle

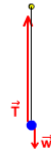
We show a mass moving in a vertical circle with negligible air resistance. The string is massless.

Also shown is the weight $\vec{w}$ of the mass and the force $\vec{T}$ exerted on the mass by the tension of the string.

Units are arbitrary.



Copyright © 2005 David M. Harrison



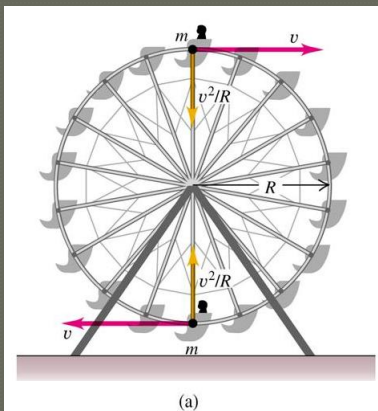
Speed of the mass:

Tension in units of the weight of the mass:

<http://faraday.physics.utoronto.ca/GeneralInterest/Harrison/Flash/ClassMechanics/VertCircular/VertCircular.html>

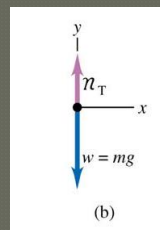
Dinâmica do movimento circular

Passageiro na roda gigante



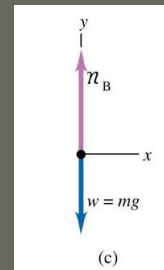
(a)

(a) O vetor aceleração do passageiro possui o mesmo módulo tanto no topo da roda gigante quanto em seu ponto inferior, apontando sempre para o centro do círculo.



(b)

(b) Diagrama do corpo livre do passageiro no topo do círculo.



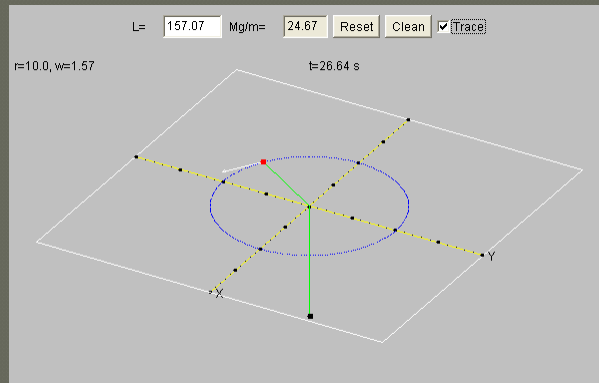
(c)

(c) Diagrama do corpo livre do passageiro no ponto inferior do círculo.

©2004 by Pearson Education

Dinâmica do movimento circular

O movimento circular da bola vermelha, amarrada ao fio verde de massa desprezível, desenvolve tensão no fio. O fio passa por um pequeno furo no centro da mesa e se liga à bola preta, que fica suspensa por causa da tensão gerada pelo movimento da bola verde.



SMF © 2006-2008, Simple Machines LLC