

FÍSICA I

Prof. Dr. Patricio R. Impinnisi

Aula 5: Força e Movimento Parte 2

Força e Movimento – Parte 2

FORÇA DE ATRITO

Vamos dar uma olhada mais detalhada na **força de atrito**

A força de atrito está presente (e é necessária) em muitos casos:

Ao levantar objetos

Ao caminhar, andar de bicicleta ou automóvel

Ao pregar pregos, apertar parafusos, tecer...

Nesses casos ela é necessária em outros **queremos eliminar ela...**

Aumentar a eficiência dos motores

Reduzir o consumo de gasolina (reduzir o atrito com o ar)

Melhorar desempenho de ventiladores

Manter objetos em movimento

FORÇA DE ATRITO

Força de atrito estático e dinâmico

Imagine três experimentos mentais, que consistem em empuxar um livro sobre a mesa

Empurre momentaneamente o livro e ele para....

Mantenha o livro se movendo com velocidade constante...para isso...

Tire o livro da posição de repouso aumentando a força sobre ele...

Força de atrito estático

Pode ter qualquer valor entre zero e um valor máximo

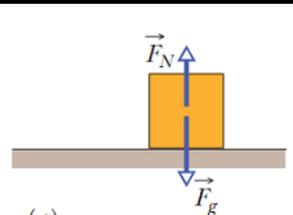
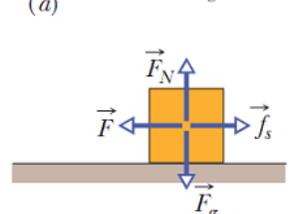
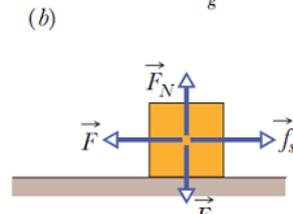
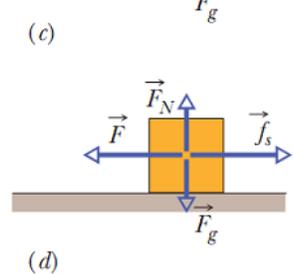
Força de atrito dinâmico

Só tem um valor e é menor que o valor máximo da força de atrito estático

FORÇA DE ATRITO

Força de atrito estático e dinâmico

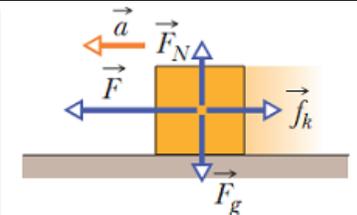
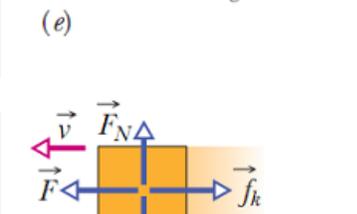
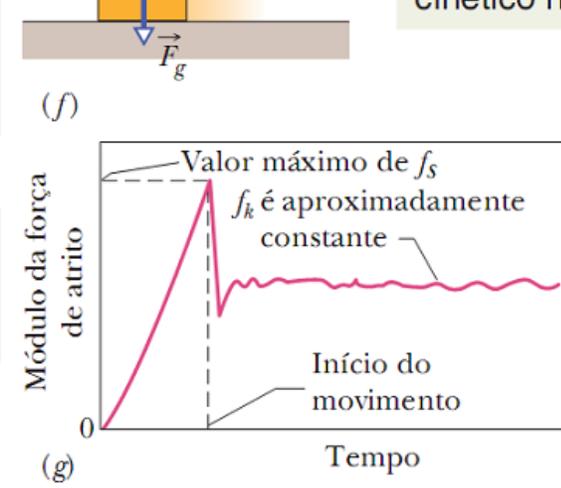
Vejam os novamente nosso exemplo anterior...

<p>Como não é aplicada nenhuma força horizontal, não há atrito e não há movimento.</p>	 <p>(a)</p>	<p>Força de atrito = 0</p>
<p>A força aplicada \vec{F} é equilibrada pela força de \vec{f}_s. Não há movimento.</p>	 <p>(b)</p>	<p>Força de atrito = F</p>
<p>A força aplicada é maior, mas continua a ser equilibrada pela força de atrito. Não há movimento.</p>	 <p>(c)</p>	<p>Força de atrito = F</p>
<p>A força aplicada é ainda maior, mas continua a ser equilibrada pela força de atrito. Não há movimento.</p>	 <p>(d)</p>	<p>Força de atrito = F</p>

Finalmente, a força aplicada supera a força de atrito estático. O bloco começa a se mover e sofre uma aceleração.

Para manter a velocidade constante, é preciso reduzir a força aplicada, já que a força de atrito agora é menor.

A força de atrito estático aumenta para equilibrar a força aplicada.

 <p>(e)</p>	<p>Força de atrito cinético $< F$</p>
 <p>(f)</p>	<p>A força de atrito cinético não muda</p>
 <p>(g)</p>	<p>O valor da força de atrito cinético não depende da força aplicada.</p>

FORÇA DE ATRITO

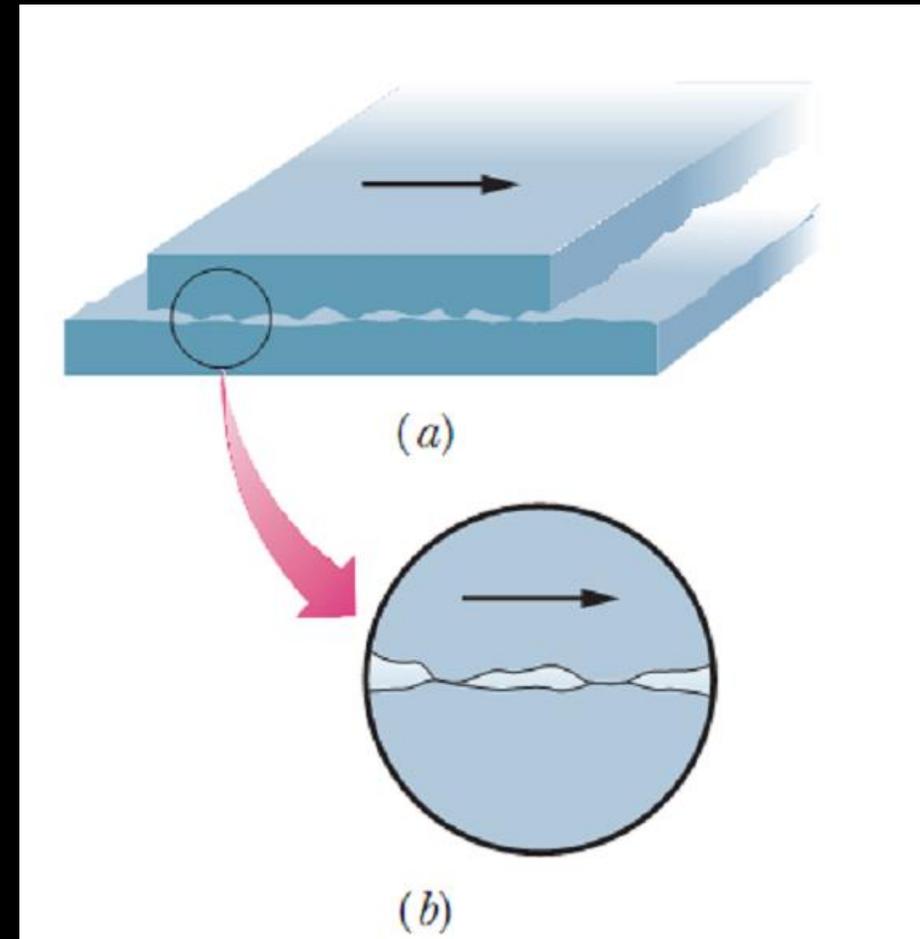
Força de atrito estático e dinâmico

Qual o mecanismo que gera a força de atrito?

Evidentemente o atrito acontece nos **pontos de contato** entre as superfícies (é um fato)

Desta forma, aumentar a força normal à superfície aumenta o atrito pois aumenta o número de pontos de contato (é uma consequência)

Duas superfícies idealmente planas se fundiriam numa única peça (ou podem gerar uma solda a frio se tiverem um grande número de pontos de contato)



FORÇA DE ATRITO

Força de atrito estático e dinâmico

Como calculamos a força de atrito?

Se o corpo não se move a **força de atrito estática** (\vec{f}_s) é igual à força aplicada mas, de sentido contrario

Como sabemos, o módulo f_s pode tomar qualquer valor entre zero e um valor máximo

Esse valor máximo $f_{s,máx}$ é dado pela equação: $f_{s,máx} = F_N \mu_s$

Depois de vencer a $f_{s,máx}$ o corpo começa a se mover

Em movimento ele passa a experimentar a força de atrito \vec{f}_k , $\vec{f}_k < \vec{f}_{s,máx}$

O valor do módulo f_k é dado pela equação: $f_k = F_N \mu_k$

Qual a unidade e qual o dimensional dos coeficientes μ_s e μ_k ?

FORÇA DE ATRITO

Força de atrito estático e dinâmico

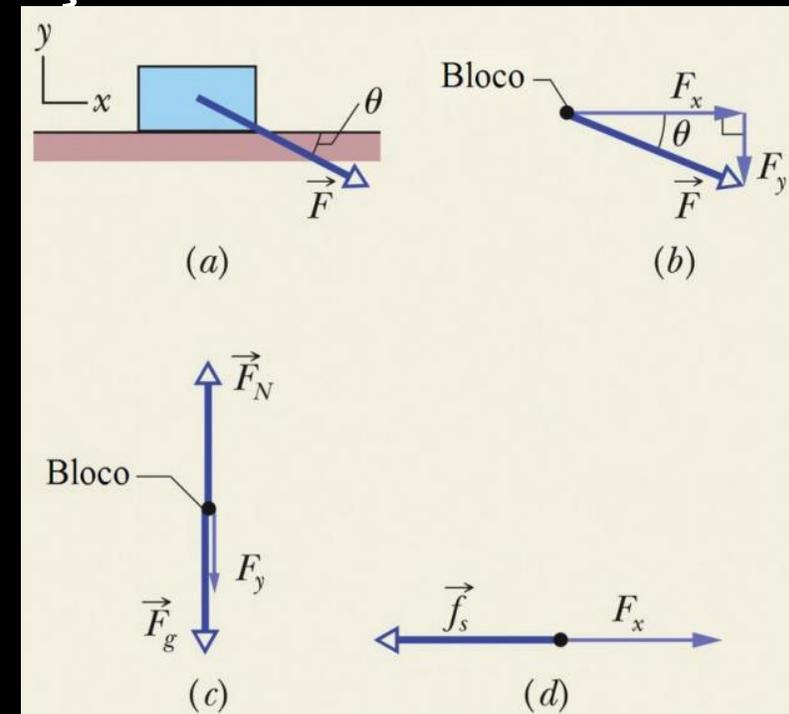
Os coeficientes de atrito μ_s e μ_k são determinados experimentalmente

No nosso estudo vamos supor que μ_k não varia com a velocidade

Perceba que as equações que determinam as forças de atrito não são equações vetoriais

Como proceder no caso de forças inclinadas?

1. Determine as componentes x e y da força
2. Equilibre as componentes verticais F_y , F_g e F_N
3. Equilibre as componentes horizontais f e F_x
4. Identifique e calcule as incógnitas



FORÇA DE ARRASTO

Força de Arrasto e Velocidade Terminal

Esta força se manifesta quando um **objeto** se movimenta **imerso num fluído**

Toda vez que existe uma velocidade relativa entre um objeto e um fluido (no qual o objeto está imerso) aparece uma **força de arrasto** que:

1. **Se opõe ao movimento** relativo
2. **É paralela** ao movimento

Vamos **limitar nosso estudo** a objetos imersos no **ar**, com velocidade relativa suficientemente elevada para tornar o movimento do **ar turbulento** e a forma geométrica destes objetos **não será aerodinâmica**

Nesse caso a força de arrasto é dada por:

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

FORÇA DE ARRASTO

Força de Arrasto e Velocidade Terminal

Nesta equação $D = \frac{1}{2} C \rho A v^2$

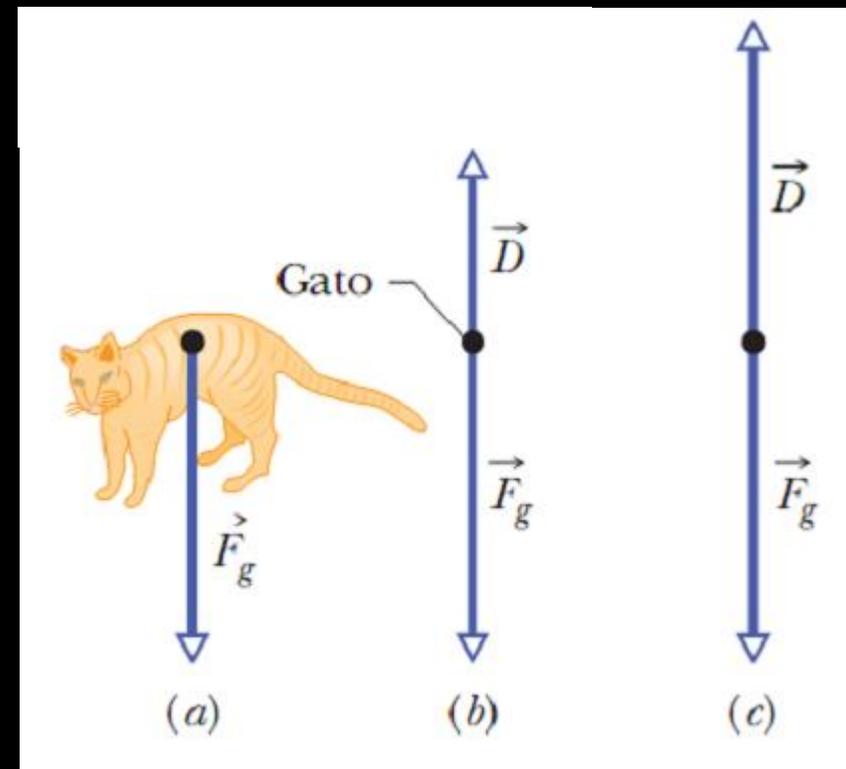
ρ é a densidade do fluido (no nosso caso do ar)

A é a área transversal perpendicular à velocidade do fluido

v é a velocidade relativa do objeto respeito do fluido

C é o coeficiente de arrasto (considerado constante mas, de fato depende de v)

Comportamento desta força:



FORÇA DE ARRASTO

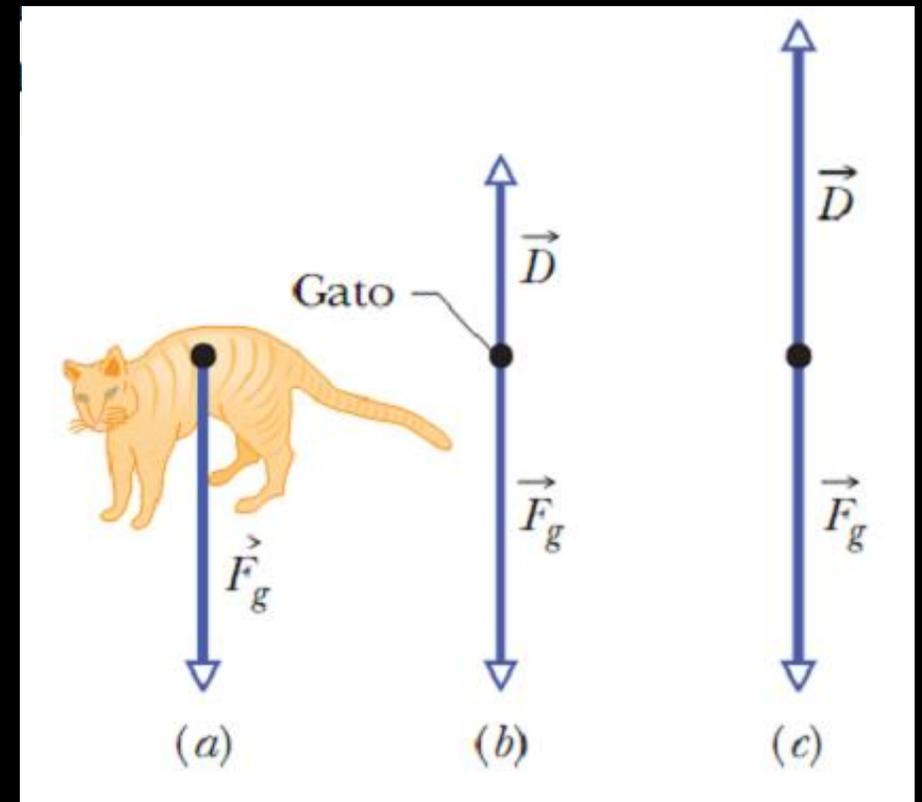
Força de Arrasto e Velocidade Terminal

A força de arrasto no ar age sobre objetos em queda

Quando a força de arrasto se torna igual à força gravitacional o objeto passa a se mover com uma velocidade constante: **a velocidade terminal.**

$$D - F_g = ma \quad v_t = \sqrt{\frac{2F_g}{C\rho A}}$$

Aumentando A diminuimos a v_t
(paraquedistas)



FORÇA DE ARRASTO

Exemplo

Qual é a velocidade terminal de uma gota de água esférica de 1,5 mm de diâmetro?

$$v_t = \sqrt{\frac{2F_g}{C\rho A}}$$

$$F_g = V\rho a = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho_a g$$

$$v_t = \sqrt{\frac{8\pi R^3 \rho_a g}{3C\rho_{ar}\pi R^2}}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{8R\rho_a g}{3C\rho_{ar}}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} m \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}}{3 \cdot 0,6 \cdot 1,2 \frac{kg}{m^3}}} = 7,4 \frac{m}{s} \cong 27 \frac{km}{h}$$

MCU

Movimento Circular Uniforme

Para descrever um MCU é necessária uma aceleração centrípeta $a = \frac{v^2}{R}$

A aceleração é causada por alguma força, neste caso não é um novo tipo de força!, pode ser **qualquer força** que produz uma aceleração radial
Esta força será descrita pela equação:

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

Analisemos dois exemplos:

Movimento Circular Uniforme

1. Quando um carro faz uma curva
2. Uma estação espacial

Aparentemente são casos iguais, mas **não são iguais**.

No caso do carro você sente a curva (compressão contra as portas)

No espaço os astronautas flutuam como se não estivesse sendo submetido a nenhuma força

Qual a razão desta diferença?

No carro a força centrípeta é a compressão contra as portas

Na estação espacial é a atração gravitacional (sem compressão)

Astronautas não sentem seu peso pois estão em **queda livre**

Movimento Circular Uniforme

Como toda criança sabe, a roda-gigante é um brinquedo de parque de diversões com assentos montados em uma grande roda que gira em torno de um eixo horizontal. Quando você anda de roda-gigante com velocidade constante, qual é a direção da sua aceleração \vec{a} e da força normal \vec{F}_N exercida pelo assento (que está sempre na vertical) quando você passa (a) pelo ponto mais alto e (b) pelo ponto mais baixo da roda? (c) O módulo de \vec{a} no ponto mais alto da roda é maior ou menor que no ponto mais baixo? (d) O módulo de \vec{F}_N no ponto mais alto da roda é maior ou menor que no ponto mais baixo?

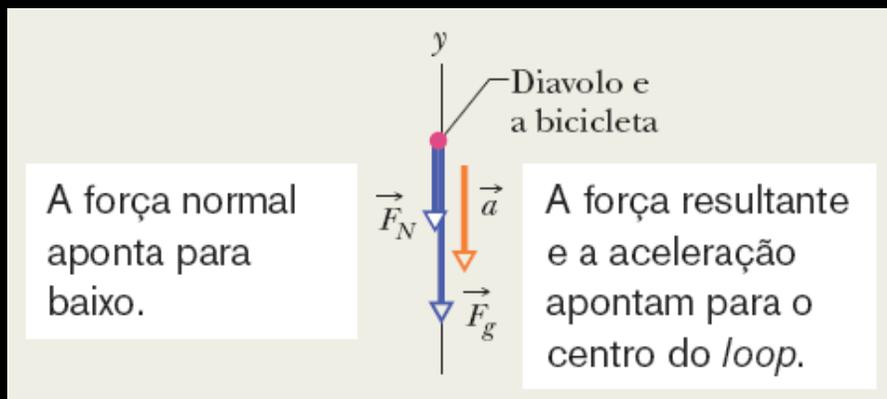
Respostas: (a) a é para baixo, F_N é para cima (b) a é para cima, F_N é para cima (c) igual (d) maior

$$F_N - F_g = ma$$

MCU

Movimento Circular Uniforme

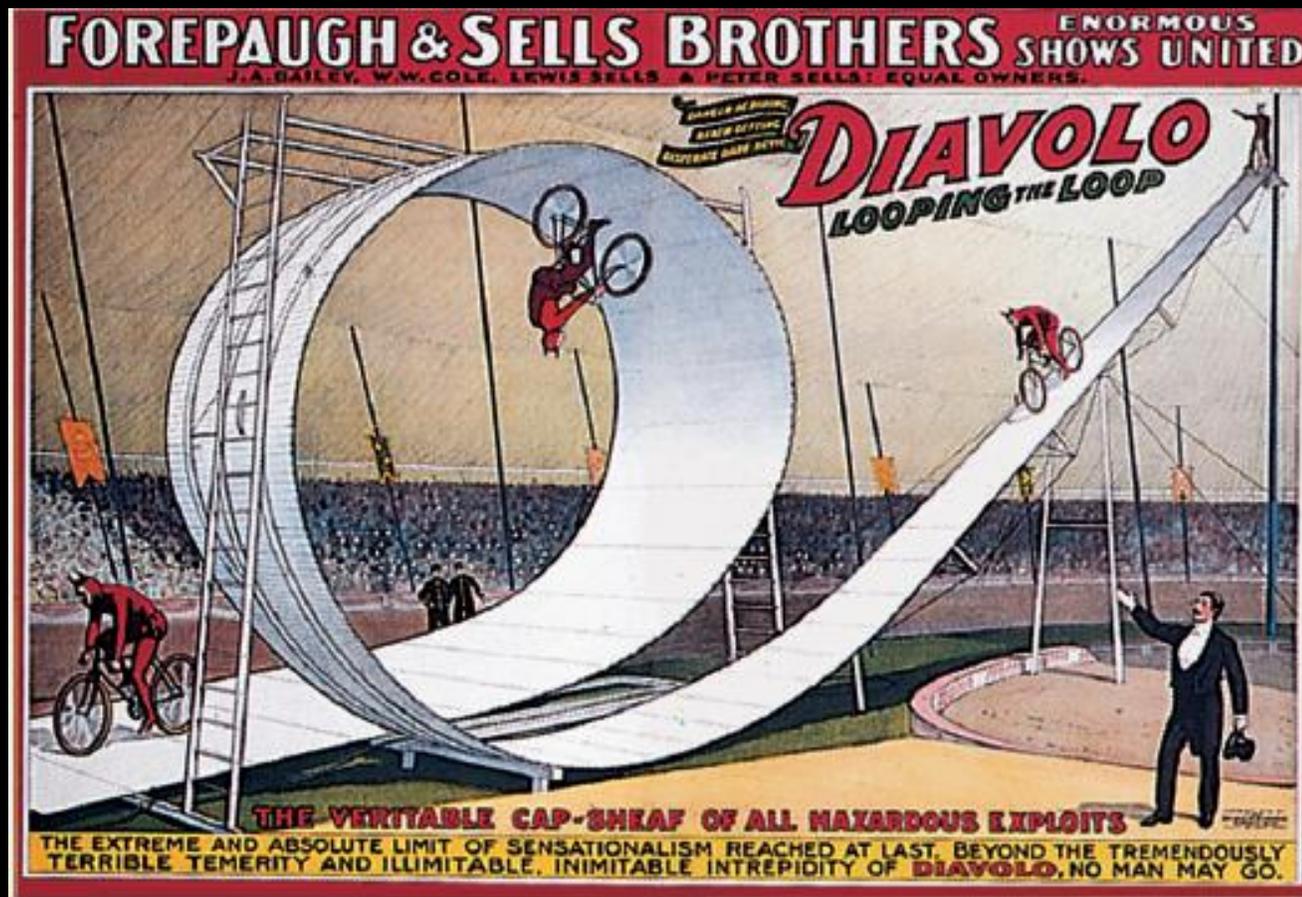
Vamos analisar o loop de bicicleta
A questão é calcular a velocidade mínima para poder executar o loop
No alto do loop teremos:



$$-F_N - mg = m \left(\frac{v^2}{R} \right)$$

Para $R=2,7$ m fazendo $F_N=0$ teremos:

$$v = \sqrt{gR} = 5,1 \text{ m/s}$$



Movimento Circular Uniforme

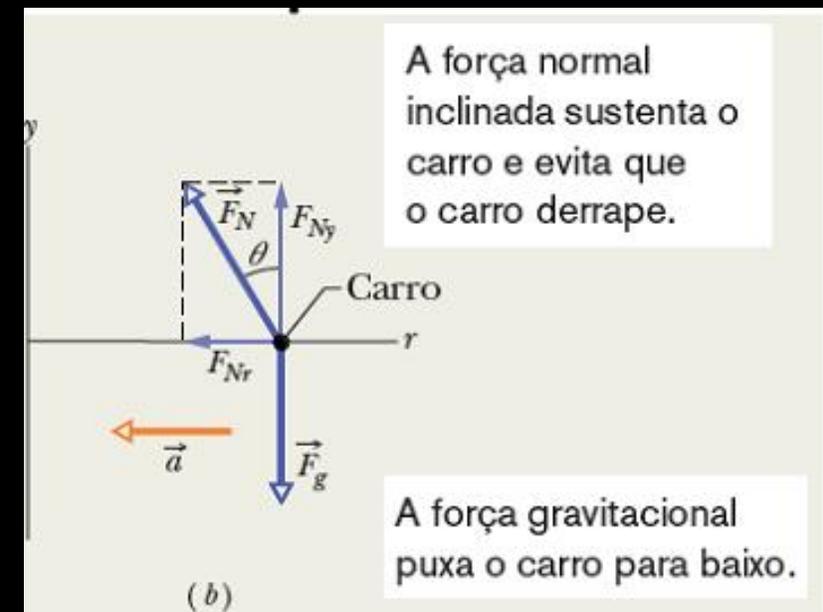
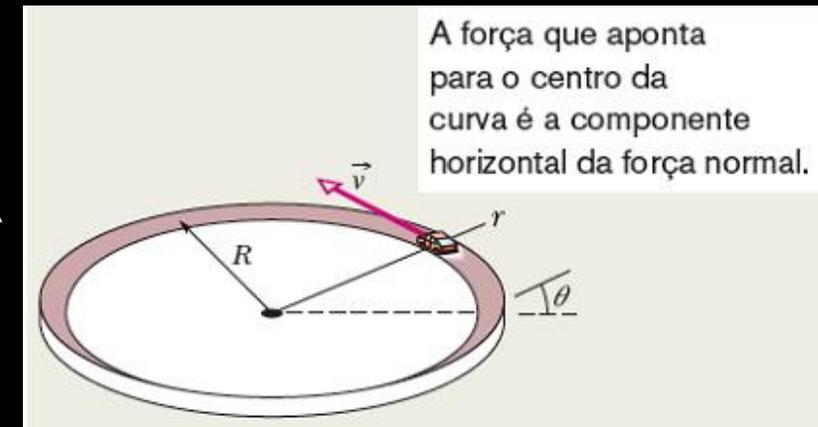
Vamos analisar um carro numa curva compensada

Vamos relacionar o ângulo com a velocidade

Na direção radial teremos: $-F_N \text{sen}\theta = m \left(-\frac{v^2}{R} \right)$

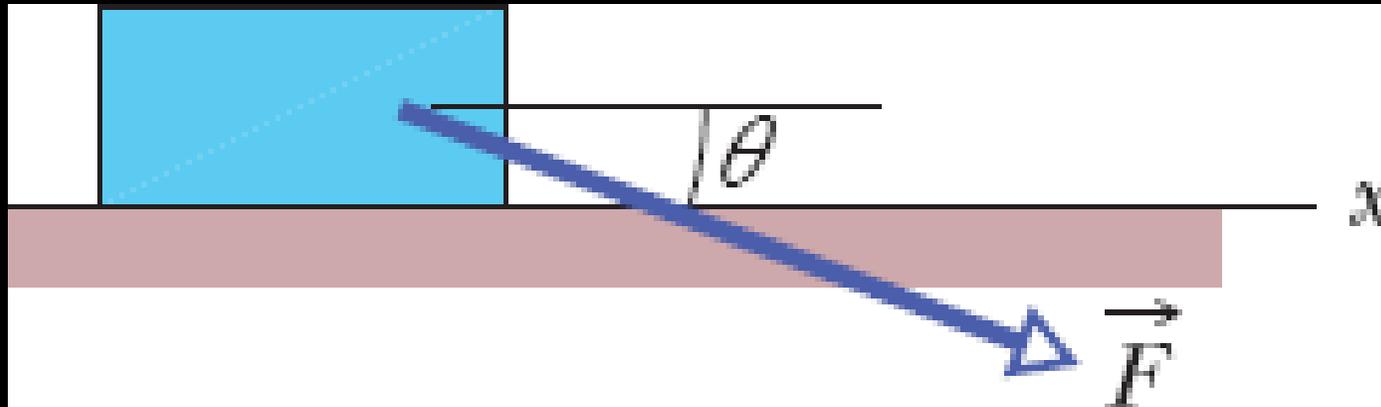
Na direção vertical: $F_N \text{cos}\theta = mg$

Logo... $\theta = \text{tg}^{-1} \frac{v^2}{gR}$



PERGUNTAS

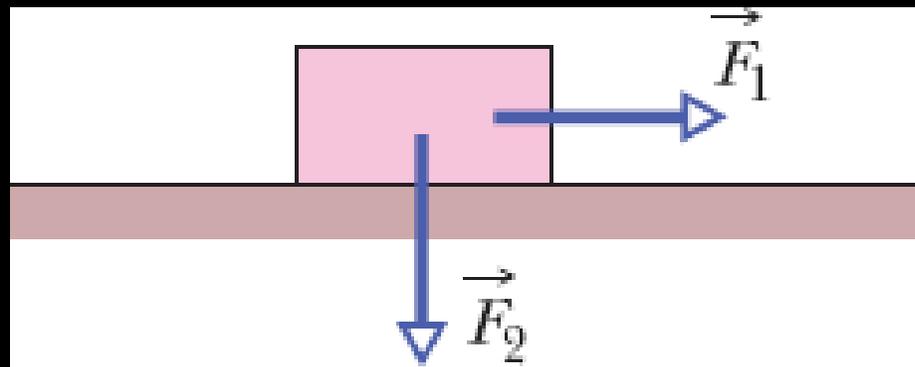
1. Na figura, se a caixa está parada e o ângulo θ entre a horizontal e a força \vec{F} aumenta, as grandezas a seguir aumentam, diminuem ou permanecem com o mesmo valor: (a) F_x ; (b) f_s (força de atrito estático); (c) F_N ; (d) $f_{s,máx}$? (e) Se a caixa está em movimento e θ aumenta, o módulo da força de atrito a que a caixa está submetida aumenta, diminui ou permanece o mesmo?



2. Se a força \vec{F} aponta para cima quais seriam as resposta da pergunta 1

PERGUNTAS

3. Na figura, uma força horizontal \vec{F}_1 de módulo 10 N é aplicada a uma caixa que está em um piso, mas a caixa não se move. Quando o módulo da força vertical \vec{F}_2 aumenta a partir de zero, as grandezas a seguir aumentam, diminuem ou permanecem as mesmas: (a) o módulo da força de atrito estático \vec{f}_s a que a caixa está submetida; (b) o módulo da força normal \vec{F}_N exercida pelo piso sobre a caixa; (c) o valor máximo $f_{s,\text{máx}}$ do módulo da força de atrito estático a que a caixa está submetida? (d) A caixa acaba escorregando?



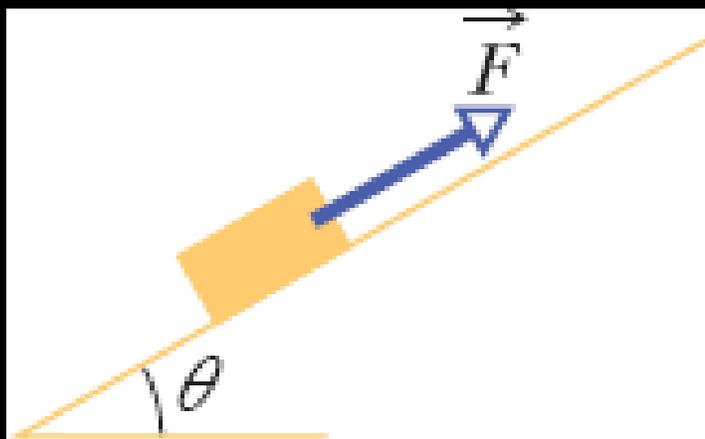
PERGUNTAS

4. Em três experimentos, três forças horizontais diferentes são aplicadas ao mesmo bloco que está inicialmente em repouso na mesma bancada. Os módulos das forças são $F_1 = 12 \text{ N}$, $F_2 = 8 \text{ N}$ e $F_3 = 4 \text{ N}$. Em cada experimento, o bloco permanece em repouso após a aplicação da força. Ordene as forças, em ordem decrescente, de acordo (a) com o módulo f_s da força de atrito estático que a bancada exerce sobre o bloco e (b) com o valor máximo $f_{s,\text{máx}}$ dessa força.

5. Se você pressiona um caixote de maçãs contra uma parede com tanta força que o caixote não escorrega parede abaixo, qual é a orientação (a) da força de atrito estático \vec{f}_s que a parede exerce sobre o caixote e (b) da força normal \vec{F}_N que a parede exerce sobre o caixote? Se você empurra o caixote com mais força, o que acontece (c) com f_s , (d) com F_N e (e) com $f_{s,\text{máx}}$?

PERGUNTAS

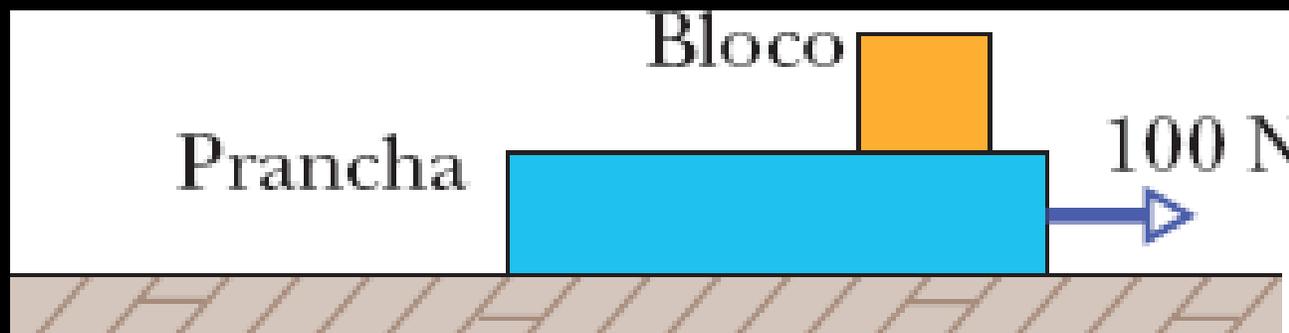
6. Na figura, um bloco de massa m é mantido em repouso em uma rampa pela força de atrito que a rampa exerce sobre o bloco. Uma força \vec{F} , dirigida para cima ao longo da rampa, é aplicada ao bloco e o módulo da força aumentado gradualmente a partir de zero. Durante esse aumento, o que acontece com a direção e o módulo da força de atrito que age sobre o bloco?



7. Responda à Pergunta 6 se a força \vec{F} estiver orientada para baixo ao longo da rampa. Quando o módulo de \vec{F} aumenta a partir de zero, o que acontece com a direção e o módulo da força de atrito que age sobre o bloco?

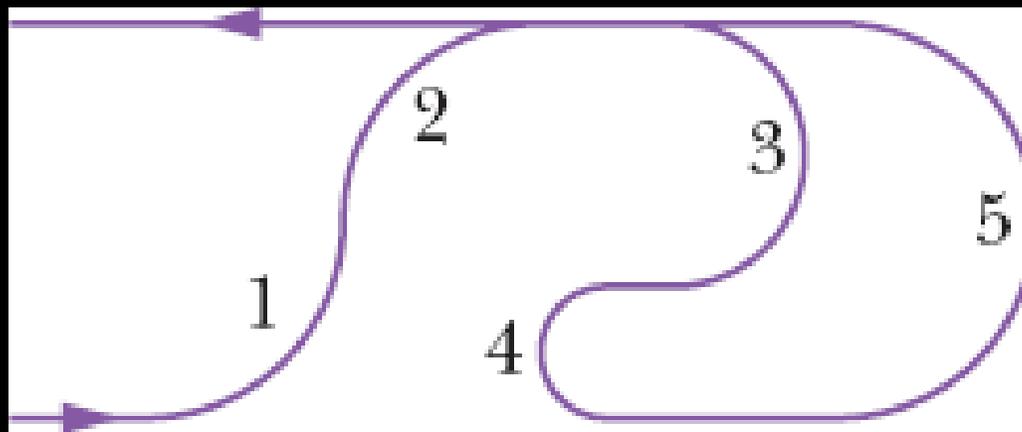
PERGUNTAS

8. Na figura, uma força horizontal de 100 N vai ser aplicada a uma prancha de 10 kg, para acelerar a prancha que está inicialmente em repouso em um piso liso sem atrito. Um bloco de 10 kg repousa na superfície da prancha; o coeficiente de atrito μ entre o bloco e a prancha não é conhecido e o bloco está solto, podendo escorregar na prancha. (a) Considerando essa possibilidade, qual é o intervalo de valores possíveis para o módulo a_p da aceleração da prancha? (Sugestão: Não é preciso fazer cálculos complicados; basta considerar valores extremos de μ) (b) Qual é o intervalo de valores possíveis para o módulo a_b da aceleração do bloco?



PERGUNTAS

9. A figura mostra uma vista de cima da trajetória de um carrinho de parque de diversões que passa, com velocidade escalar constante, por cinco arcos circulares de raios R_0 , $2R_0$ e $3R_0$. Ordene os arcos de acordo com o módulo da força centrípeta que age sobre o carrinho ao passar por eles, começando pelo maior.



PERGUNTAS

10. Uma pessoa que está andando de roda-gigante passa pelas seguintes posições: (1) o ponto mais alto da roda, (2) o ponto mais baixo da roda, (3) o ponto médio da roda. Se a roda está girando com velocidade angular constante, ordene as três posições, em ordem decrescente, (a) de acordo com o módulo da aceleração centrípeta da pessoa; (b) de acordo com o módulo da força centrípeta resultante a que a pessoa está sujeita; (c) de acordo com o módulo da força normal a que a pessoa está sujeita.

PERGUNTAS

11. Em 1956, durante um voo de rotina, o piloto de provas Tom Attridge colocou seu jato de caça em um mergulho de 20° para testar os canhões de 20 mm da aeronave. Enquanto viajava mais depressa que o som a uma altitude de 4000 m, Attridge disparou várias vezes. Depois de esperar algum tempo para que os canhões esfriassem, disparou uma nova salva de tiros a 2000 m; nessa ocasião, o piloto estava a uma velocidade de 344 m/s, a velocidade dos projéteis em relação ao avião era de 730 m/s e o mergulho prosseguia, com um ângulo maior que o inicial.

De repente, a cobertura da cabine se despedaçou e a entrada de ar da turbina da direita foi danificada. Attridge fez um pouso forçado em uma floresta e conseguiu escapar da explosão que se seguiu ao pouso. Explique o que aparentemente aconteceu logo depois da segunda salva de tiros. (Pelo que se sabe, Attridge foi o primeiro piloto a derrubar a tiros seu próprio avião.)

PERGUNTAS

12. Um caixote está em uma rampa que faz um ângulo θ com a horizontal. Quando θ é aumentado a partir de zero, e antes que o caixote comece a escorregar, o valor das grandezas a seguir aumenta, diminui ou permanece o mesmo: (a) a componente paralela à rampa da força gravitacional que age sobre o caixote; (b) o módulo da força de atrito estático que a rampa exerce sobre o caixote; (c) a componente perpendicular à rampa da força gravitacional que age sobre o caixote; (d) o módulo da força normal que a rampa exerce sobre o caixote; (e) o valor máximo $f_{s,máx}$ da força de atrito estático?

RESPOSTAS ÀS PERGUNTAS

1. (a) diminui; (b) diminui; (c) aumenta; (d) aumenta; (e) aumenta
2. (a) diminui; (b) diminui; (c) diminui; (d) diminui; (e) diminui
3. (a) permanece o mesmo; (b) aumenta; (c) aumenta; (d) não
4. (a) F_1, F_2, F_3 ; (b) todas empatadas
5. (a) para cima; (b) horizontal, na sua direção; (c) não varia; (d) aumenta; (e) aumenta
6. A princípio, \vec{f}_s aponta para o alto da rampa e o módulo diminui de $mg \sin \theta$ para 0. Em seguida, f_s aponta para a base da rampa. O módulo aumenta até atingir o valor $f_{s,máx}$. Daí em diante, a força se torna a força de atrito cinético, que aponta para a base da rampa e cujo módulo é f_k (um valor constante e menor que $f_{s,máx}$).
7. A princípio, f_s aponta para o alto da rampa e o módulo aumenta a partir de $mg \sin \theta$ até atingir o valor $f_{s,máx}$. Daí em diante, a força se torna a força de atrito cinético, que aponta para a base da rampa e cujo módulo é f_k (um valor constante menor que $f_{s,máx}$).
8. (a) entre 5 m/s^2 e 10 m/s^2 ; (b) entre 0 e 5 m/s^2
9. 4, 3, depois 1, 2, e 5 empatados

10.
(a) todas iguais
(b) Todas iguais
(c) 2,3,1
11. Alcançou os projeteis que desaceleraram
12.
(a) aumenta
(b) Aumenta
(c) (d) e (e) diminui

RESUMO

Atrito

- Se opõe ao movimento ou à tentativa de movimento
- É estático se o objeto não se move
- O atrito estático pode aumentar até um valor máximo

$$f_k = \mu_k F_N \quad \text{Eq. (6-1)}$$

- É cinético se o objeto se move

$$f_{s,\text{máx}} = \mu_s F_N \quad \text{Eq. (6-2)}$$

Força de Arrasto

- Resistência entre um fluido e um objeto
- Se opõe ao movimento relativo
- O coeficiente de arrasto C é determinado experimentalmente

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

- Depende da área da seção reta efetiva (área perpendicular à velocidade relativa)

RESUMO

Velocidade Terminal

- É a velocidade máxima de um objeto em queda na presença de uma força de arrasto

$$v_t = \sqrt{\frac{2F_g}{C\rho A}}$$

Eq. (6-16)

Movimento Circular Uniforme

- Requer uma aceleração centrípeta para manter o movimento

$$a = \frac{v^2}{R}$$

Eq. (6-17)

- A força centrípeta responsável pela aceleração é dada por

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

Eq. (6-18)

- A força centrípeta aponta para o centro de curvatura

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

Lista disponível em:

<http://www.eletrica.ufpr.br/p/professores:patricio:inicial>

Disciplina TE303 (Física I)

Gabaritos disponíveis no mesmo endereço