

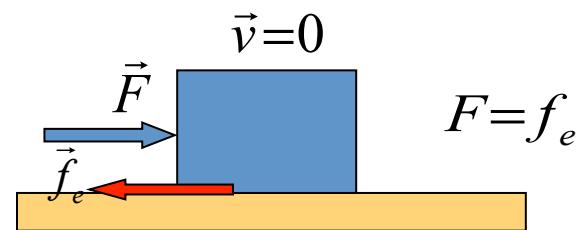
# F-128 – Física Geral I

Aula Exploratória – 06

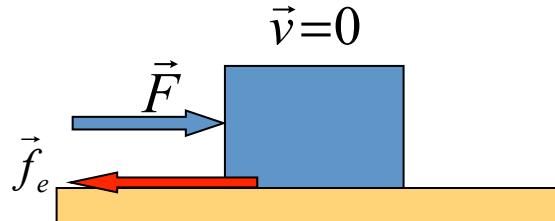
Unicamp – IFGW

# Atrito estático e atrito cinético

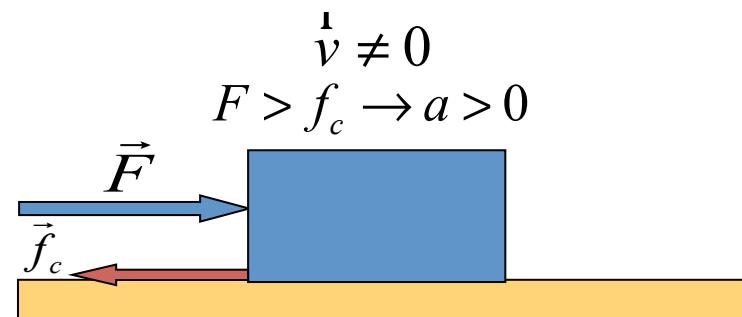
Ausência de forças horizontais



A força de atrito estático é máxima  
na *iminênci*a de deslizamento.



$$0 \leq f_e \leq \mu_e N$$



$$f_c = \mu_c N$$

→ A força de atrito sobre um corpo tem sempre sentido **oposto** ao seu movimento (ou à tendência de movimento ) **em relação ao outro corpo**.

# Força de arraste e velocidade terminal

A força de arraste em um fluido é uma força dependente da velocidade (ao contrário da força de atrito vista até agora) e apresenta dois regimes:



## a) Fluxo turbulento: velocidades altas

$$\text{Força de arraste: } F_D = \frac{1}{2} \rho A C v^2$$

$C$ : coeficiente de arraste (adimensional)

$A$ : área da seção transversal do corpo

$\rho$  : densidade do meio



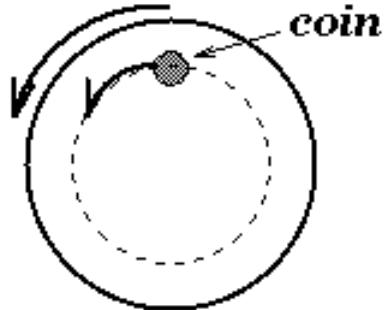
## b) Fluxo viscoso: velocidades baixas

$$\text{Força de arraste: } F_D = 6\pi\eta r v$$

$r$  : raio do objeto

$\eta$  : viscosidade do meio ( $\text{N.s/m}^2$ )

# Atrito e movimento circular



$$N - mg = 0$$

$$f_e \leq \mu_e N = \mu_e mg$$



Para que a moeda não deslize e caia do disco:

$$m \frac{v^2}{r} = f_e \leq \mu_e mg \quad \rightarrow$$

$$\frac{v^2}{r} = \omega^2 r \leq \mu_e g$$

*Outro jeito para  
medir o coeficiente  
de atrito!*

# Força normal e movimento circular

Um carro faz uma curva numa estrada **sem atrito**, superelevada de um ângulo  $\theta$ . Qual é a velocidade do carro para que ele não derrapse?

Componente  $x$  (centrípeta):

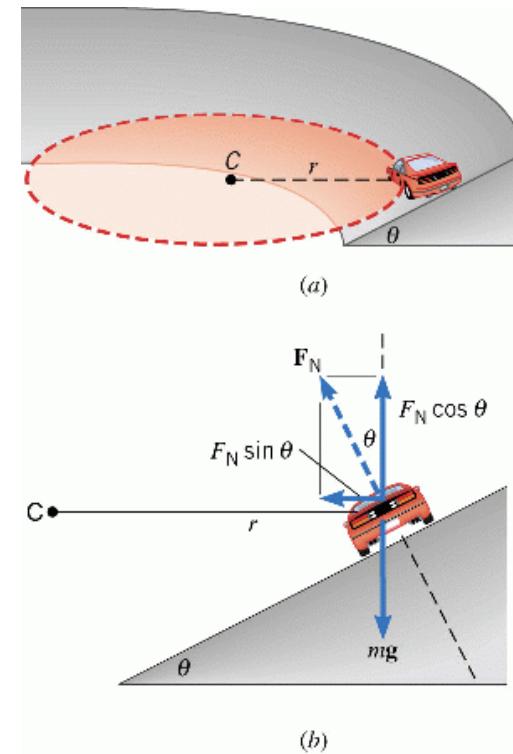
$$F_N \sin \theta = m \frac{v^2}{r} \quad (1)$$

Componente  $y$  (vertical):

$$F_N \cos \theta = mg \quad (2)$$

$(1) \div (2)$ :

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{v^2}{rg} \longrightarrow v = \sqrt{gr \operatorname{tg} \theta}$$



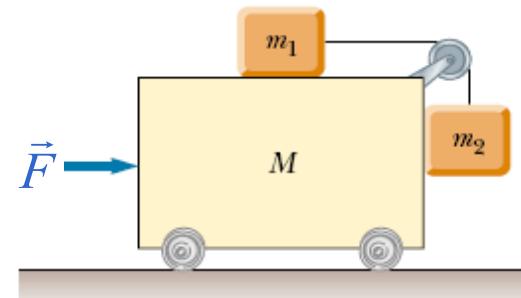
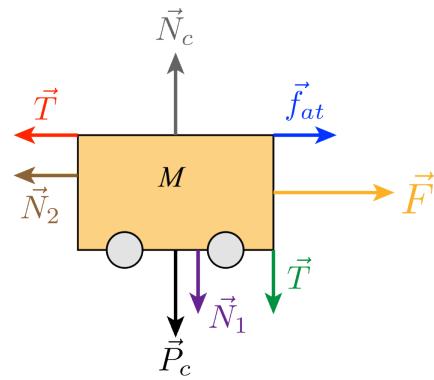
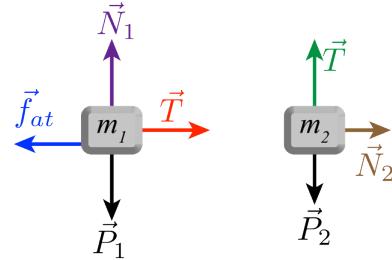
# Exercício 01

O carrinho da figura está em contato com os dois blocos, de massas  $m_1$  e  $m_2$ . O coeficiente de atrito estático entre  $m_1$  e o carrinho é  $\mu_e$  e todos os outros atritos são desprezíveis.

- faça um diagrama das forças que agem sobre o carrinho e sobre os blocos;
- que força mínima horizontal deve ser aplicada ao carrinho para que os blocos não se movam em relação a ele?

Resp:

a)



b)  $F_{\min} = \frac{g(m_1 + M + m_2)}{m_1} (m_2 - \mu_e m_1)$

# Exercício 02

A figura mostra um pêndulo cônico no qual um peso, preso na extremidade inferior do fio, move-se em uma circunferência horizontal com velocidade constante. A massa do peso é igual a 0,04 kg, o fio tem comprimento de 0,9 m e massa desprezível, e o raio da circunferência é 15 cm. Calcule:

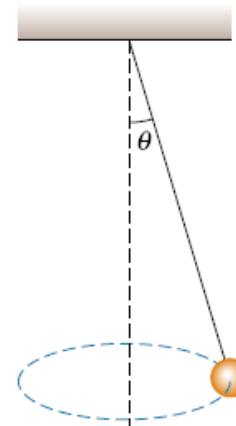
- a) a tração no fio;
- b) a aceleração radial do peso;
- c) o período do movimento.

Resp:

a)  $T \cos \theta = mg \Rightarrow T = \frac{mg}{\cos \theta} = 0,068 \text{ N}$

b)  $T \sin \theta = mv^2 / r \Rightarrow a = \frac{T \sin \theta}{m} \cong 0,28 \text{ m/s}^2$

c)  $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{1,37} \cong 4,58 \text{ s}$



# Exercício 03

Um barco de 1000 kg está navegando a 10 m/s quando seu motor é desligado. A intensidade da força de atrito  $f_k$  entre o barco e a água é proporcional à velocidade  $v$  do barco:  $f_k = 70v$ , onde  $v$  é dada em m/s e  $f_k$  em newtons. Encontre o tempo necessário para que a velocidade do barco se reduza para 5,0 m/s.

Resp:

$$m \frac{dv}{dt} = -kv \Rightarrow \frac{dv}{dt} + \frac{k}{m}v = 0$$

$$v = v_0 e^{-\frac{k}{m}t} \Rightarrow t = 9,9 \text{ s}$$

# Exercício 04

Uma pequena esfera de massa  $m$ , ligada à extremidade de um fio de comprimento  $R$ , descreve uma trajetória circular vertical em torno de um ponto fixo  $O$ .

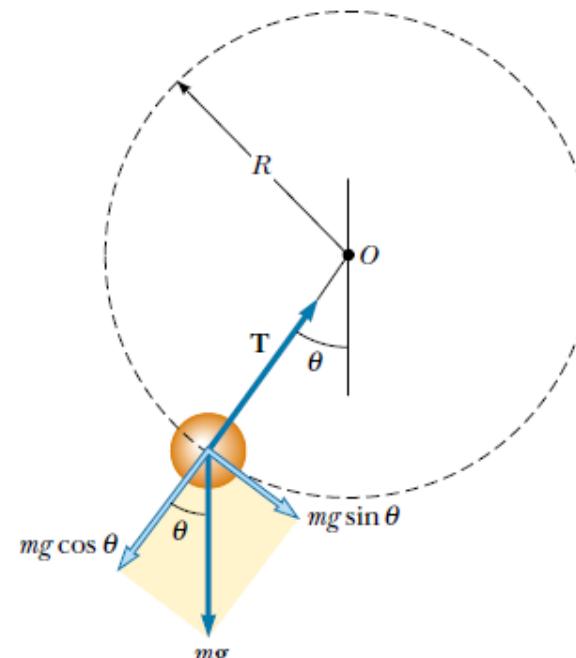
- determine a tração  $T$  no fio em qualquer instante quando a velocidade da esfera é  $v$  e o fio faz um ângulo  $\theta$  com a vertical;
- quais são o valor mínimo e o valor máximo de  $T$ ?
- em que posição da esfera provavelmente o fio se romperá se a velocidade aumentar?

Resp:

a)  $T = m \left( \frac{v^2}{R} + g \cos \theta \right)$

b)  $\theta = 180^\circ$  e  $\theta = 0$

c) no ponto mais baixo, onde  $T$  é máxima



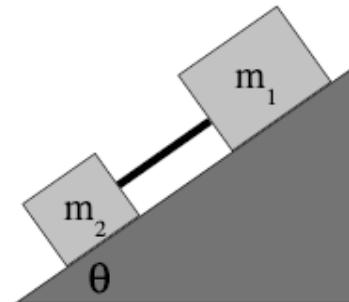
# Exercício 05

Uma caixa de formigas fêmeas (massa total  $m_1 = 1,65 \text{ kg}$ ) e uma caixa de formigas machos (massa total  $m_2 = 3,30 \text{ kg}$ ) descem um plano inclinado, ligadas por uma haste de massa desprezível paralela ao plano. O ângulo da rampa é  $30^\circ$ . Os coeficientes de atrito cinético entre a caixa de formigas fêmeas e a de formigas machos com o plano são  $\mu_f = 0,23$  e  $\mu_m = 0,11$ , respectivamente. Calcule:

- a tração na haste;
- a aceleração comum às duas caixas;
- como se alterariam as respostas a) e b) se as posições das caixas fossem invertidas?

$$T = g \cos \theta \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (\mu_f - \mu_m) \Rightarrow T = 1.14 \text{ N}$$

$$a = g \sin \theta - g \cos \theta \left( \frac{m_1 \mu_f + m_2 \mu_m}{m_1 + m_2} \right) \Rightarrow a = 3.70 \text{ m/s}^2$$



# Exercício 06-Opcional

- a) Um carro faz uma curva plana de raio  $R$ . Se o coeficiente de atrito entre os pneus e a estrada for igual a  $\mu_s$ , qual é a velocidade máxima com a qual o carro pode completar a curva sem deslizar?
- b) É possível inclinar o plano da curva num ângulo exato para que não seja necessário nenhum atrito. Nesse caso, o carro pode completar a curva sem deslizar, mesmo sobre uma pista de gelo com pneus de teflon. Para isso, qual deve ser o ângulo da inclinação lateral da curva?

Resp:

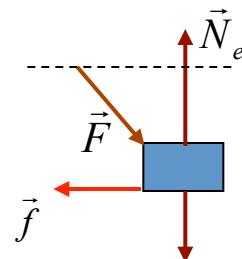
a)  $m \frac{v^2}{r} = \mu_s mg \Rightarrow v = \sqrt{\mu_s g r}$

b) ver slide 5

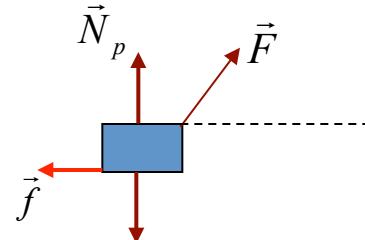
# Exercício 07-Opcional

Imagine que seu irmão mais novo ganhe um carrinho de rolimã sem rodas e cabe a você a tarefa de empurrá-lo no parque perto da sua casa. Se o chão é plano e você não está muito animado, qual a forma mais fácil de puxar seu irmão: empurrando o carrinho por trás ou puxando com uma corda pela frente? Suponha que, em ambos os casos, o ângulo  $\theta$  é o mesmo.

empurrando



pxuando



$N_p < N_e$ . Como  $f = \mu N$ , é mais fácil puxar o carrinho.