

# Física I-IME

2º Semestre de 2016

Instituto de Física  
Universidade de São Paulo

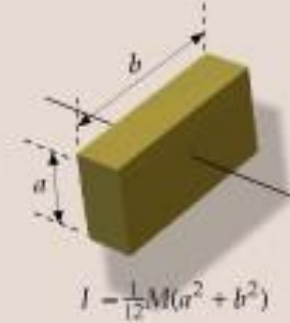
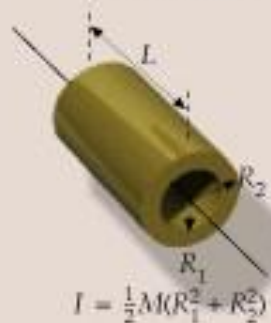
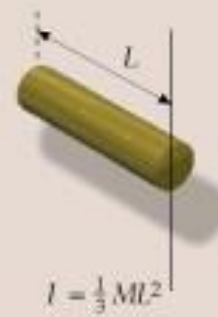
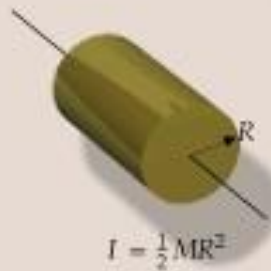
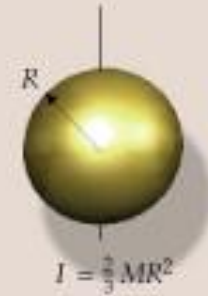
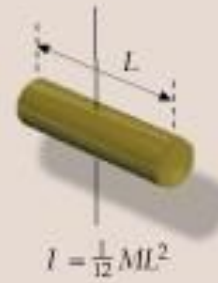
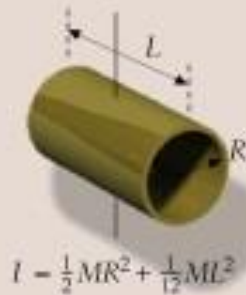
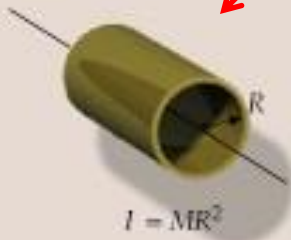
Professor: **Luiz Nagamine**

**E-mail:** [nagamine@if.usp.br](mailto:nagamine@if.usp.br)

**Fone:** 3091.6877

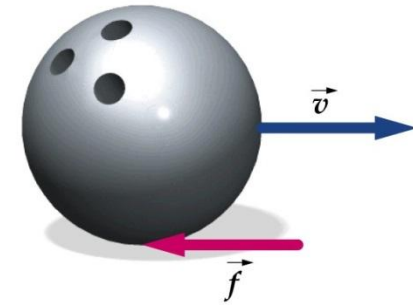
$$I = \int r^2 dm$$

**cascas**



## Rolamento sem deslizar

Quando temos atrito estático, se considera que não há perda de energia no sistema, ou seja, que o sistema é conservativo. Isto é aproximadamente correto.



**Exemplo:** Uma bola de boliche, com 11 cm de raio e 7,2 kg, rola sem deslizar a 2,0 m/s . Ela continua a rolar sem deslizar, ao subir uma rampa até a altura  $h$ , quando atinge o repouso. Determine  $h$ .

Vamos considerar o sistema bola-pista-Terra. Não existem forças externas e nem forças internas dissipativas, então a Energia Mecânica se conserva.

$$W_{ext} = \Delta E_{mec} + W_{nc} \qquad 0 = \Delta E_{mec} + 0$$

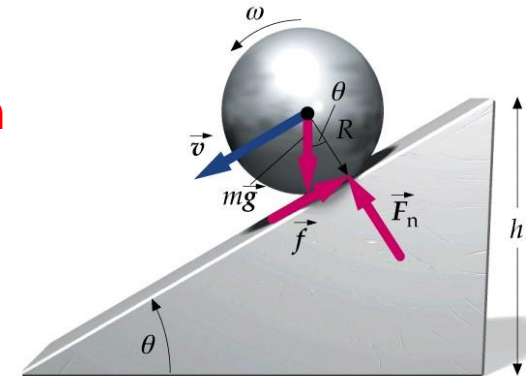
$$U_f + K_f = U_i + K_i \qquad 0 + mgh = 0 + \frac{1}{2}mv_{cm_i}^2 + \frac{1}{2}I_{cm}\omega_i^2$$

Com  $I = \frac{2}{5}mR^2$

$$h = \frac{7v_{cm_i}^2}{10g} = 29cm$$

## Rolamento sem deslizar

Uma bola maciça, de raio  $R$  e massa  $m$ , desce rolando um plano inclinado com ângulo  $\theta$ , sem deslizar. Determine a força de atrito e a aceleração do centro de massa.



Vamos aplicar a Segunda Lei de Newton à bola (rotação e translação). (o peso e a normal na polia, não geram torque)

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{ext} = I_{cm} \alpha = f_e R \\ F_{ext} = m a_{cm} \end{array} \right.$$

Com  $a_{cm} = R\alpha$

$$mg \sin \theta - f_e = m a_{cm}$$

$$mg \sin \theta - \frac{I_{cm} a_{cm}}{R} = m a_{cm}$$

$$a_{cm} = \frac{g \sin \theta}{1 + \frac{I_{cm}}{mR^2}}$$

$$F_e = \frac{mg \sin \theta}{1 + \frac{mR^2}{I_{cm}}}$$

Com

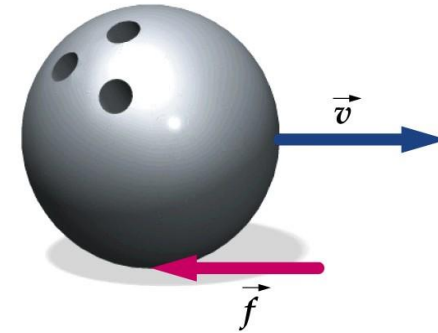
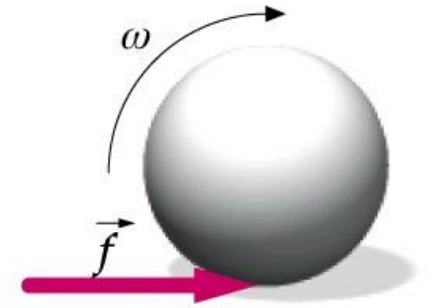
$$I_{cm} = \frac{2}{5} mR^2$$

## Rolamento com deslizamento

Quando temos atrito dinâmico, se considera que haja perda de energia no sistema, ou seja, que o sistema não é conservativo. Parte da energia é convertida em calor.

O sentido da força de atrito é definido pela relação entre a velocidade angular e a velocidade do centro de massa.

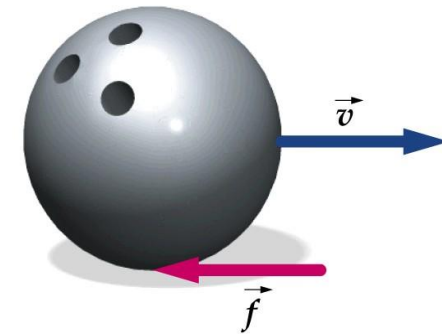
**Exemplo:** Uma bola de boliche, de massa  $m$  e raio  $R$ , é lançada sem rolamento, com velocidade de 5,0 m/s. O coeficiente de atrito cinético é 0,08. Determine (a) o tempo que a bola leva derrapando. (b) a distância deste trajeto.



Vamos aplicar a Segunda Lei de Newton à bola (rotação e translação).

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{ext} = I_{cm} \alpha = F_e R \\ F_{ext} = m a_{cm} \end{array} \right. \quad \text{Com } a_{cm} = R \alpha$$

## Rolamento com deslizamento



$$\tau_{ext} = I_{cm} \alpha = f_c R$$

Com  $a_{cm} = R\alpha$

$$F_{ext} = ma_{cm}$$

$$-f_c = ma_{cm} = -\mu_c mg$$

$$a_{cm} = -\mu_c g$$

$$v_{cm} = v_0 - \mu_c g t$$

$$\alpha = \frac{f_c R}{I_{cm}} = \frac{\mu_c mg R}{\frac{2}{5} m R^2} = \frac{5 \mu_c g}{2 R}$$

$$\omega = \omega_0 + \frac{5 \mu_c g}{2 R} t$$

Mas, quando não deslizar

$$v_{cm} = R\omega$$

$$v_0 - \mu_c g t = \frac{5 \mu_c g R}{2 R} t$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t = \frac{2v_0}{7\mu_c g} \\ \Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} a_{cm} t^2 = \frac{12v_0^2}{49\mu_c g} \end{array} \right.$$