Parte I:Fundamentos de mecânica clássica

Capítulo I.1.2 Dinâmica da Partícula

universidade de aveiro

Dinâmica: Relação entre o estado de movimento de um corpo e as causas deste.

Galileu (1564-1642) inferiu que, se fosse possível remover todas as interações entre um corpo e o exterior, então a velocidade deste não mais sofreria qualquer alteração - a propriedade de Inércia

1ª lei Newton: Uma partícula livre move-se com velocidade constante ou está em repouso

Referencial Inercial ou Galileano

- A **1ª lei de Newton** define um conjunto especial de sistemas referenciais: os **referenciais inerciais**.
- Um **referencial de inércia** é aquele onde é válida a **1ª Lei de Newton** e como melhor aproximação é entendido como um:
  - referencial que não é acelerado em relação às “estrelas fixas”;
  - move-se pois com velocidade de translação constante em relação a estas;
  - um referencial inercial não roda relativamente às mesmas (caso contrário teria aceleração).

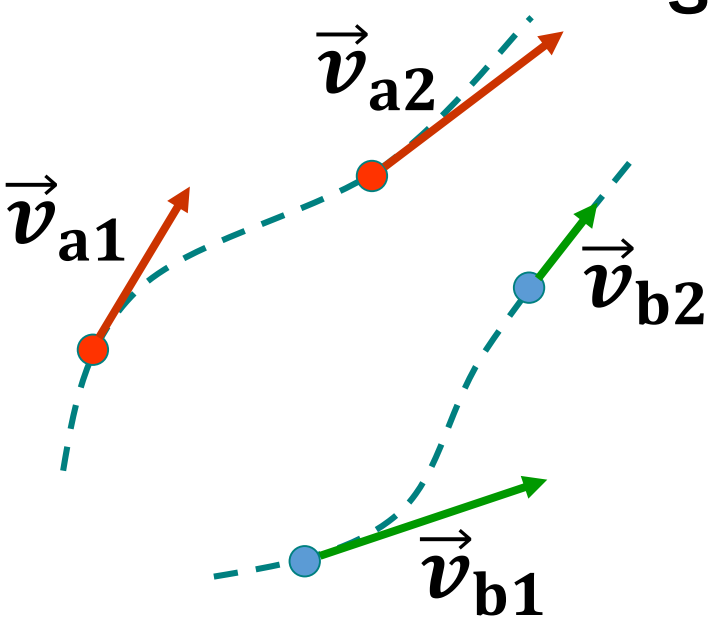
Será a Terra um Referencial de Inércia?

A aceleração devida ao movimento de rotação da Terra é 0.3% da aceleração devida à gravidade.

OK!!!

As leis de Newton valem num sistema inercial que leve em consideração somente a aceleração da Terra em torno do seu eixo e na órbita em torno do Sol

- **Consequências da 1ª Lei: Princípio da conservação do momento linear**



Sistema: partícula a + partícula b

$$\vec{p}_{\mathbf{sistema}} = \vec{p}_{\mathbf{a}} + \vec{p}_{\mathbf{b}}$$

Instante t_1 $\overrightarrow{p^1}_{\mathbf{sistema}} = \vec{p}_{\mathbf{a1}} + \vec{p}_{\mathbf{b1}}$

Instante t_2 $\overrightarrow{p^2}_{\mathbf{sistema}} = \vec{p}_{\mathbf{a2}} + \vec{p}_{\mathbf{b2}}$

O MOMENTO LINEAR TOTAL DE UM SISTEMA COMPOSTO POR DUAS PARTÍCULAS SUJEITAS APENAS ÀS SUAS INTERAÇÕES MÚTUAS PERMANECE CONSTANTE

$$\overrightarrow{p^1}_{\mathbf{sistema}} = \overrightarrow{p^2}_{\mathbf{sistema}}$$

2^a e 3^a Leis de Newton

$$\overrightarrow{p^1}_{\text{sistema}} = \overrightarrow{p^2}_{\text{sistema}}$$

2ª Lei

$$\vec{F} = \frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t}$$

$$\Delta\vec{p}_{\mathrm{a}} = -\Delta\vec{p}_{\mathrm{b}}$$

$$\frac{\Delta\vec{p}_a}{\Delta t} = -\frac{\Delta\vec{p}_b}{\Delta t}$$

Calculando no limite em que $\Delta t \to 0$

$$\frac{\mathrm{d}\vec{p}_a}{\mathrm{d}t} = -\frac{\mathrm{d}\vec{p}_b}{\mathrm{d}t}$$

$$m_{\mathrm{a}}\frac{\mathrm{d}\vec{v}_a}{\mathrm{d}t} = -m_{\mathrm{b}}\frac{\mathrm{d}\vec{v}_b}{\mathrm{d}t}$$

$$\vec{F}_{\mathrm{a,b}} = -\vec{F}_{\mathrm{b,a}}$$

3ª Lei

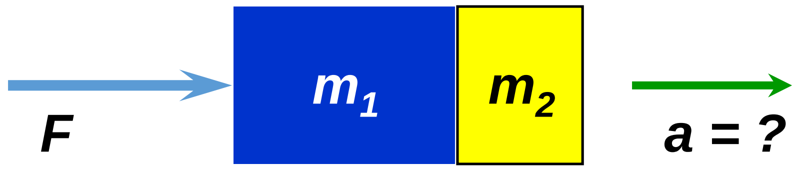
A força exercida no corpo *a* pelo corpo *b* é simétrica da força exercida no corpo *b* pelo corpo *a*

Par ação-reação

2^{a} Lei de Newton: Movimento rectilíneo

- Dois corpos de massas m_1 e m_2 , tais que $m_1 = 2m_2$

- Se encostarmos m_1 e m_2 e aplicarmos a mesma força *F*, qual será a aceleração do conjunto ?



$$a = 2/3\ a_1$$

- Qual a força *que* m_1 exerce em m_2 ?

$$F_2 = 1/3\ F$$

Exercício #4

Um bloco de massa m = 10 kg está em repouso na origem sobre uma superfície horizontal (plano OXY) sem atrito. Para t =0, atua sobre o bloco uma força de intensidade variável

$\vec{F} = (4t^2 - t)\hat{e}_x$ (N)

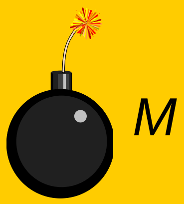
Determine:

a) a expressão do impulso da força em função do tempo.
b) o impulso da força em t = 4 s.
c) a variação do momento linear nos 4 s iniciais.
d) a velocidade do bloco no instante t = 4 s.
e) a velocidade do bloco em função do tempo.
f) a posição do bloco em função do tempo.

Aplicações da conservação da quantidade de movimento: **Explosão a 1D**

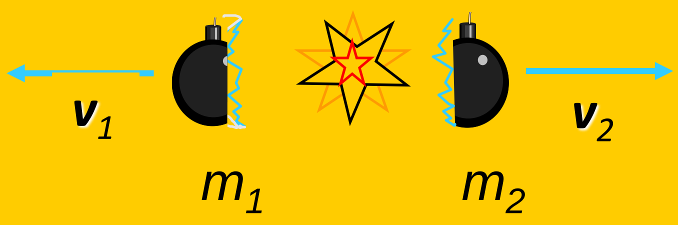
- $\boldsymbol{P}$ é conservado (forças externas são nulas).

- Antes da explosão: $\vec{\boldsymbol{P}} = \vec{\boldsymbol{0}}$

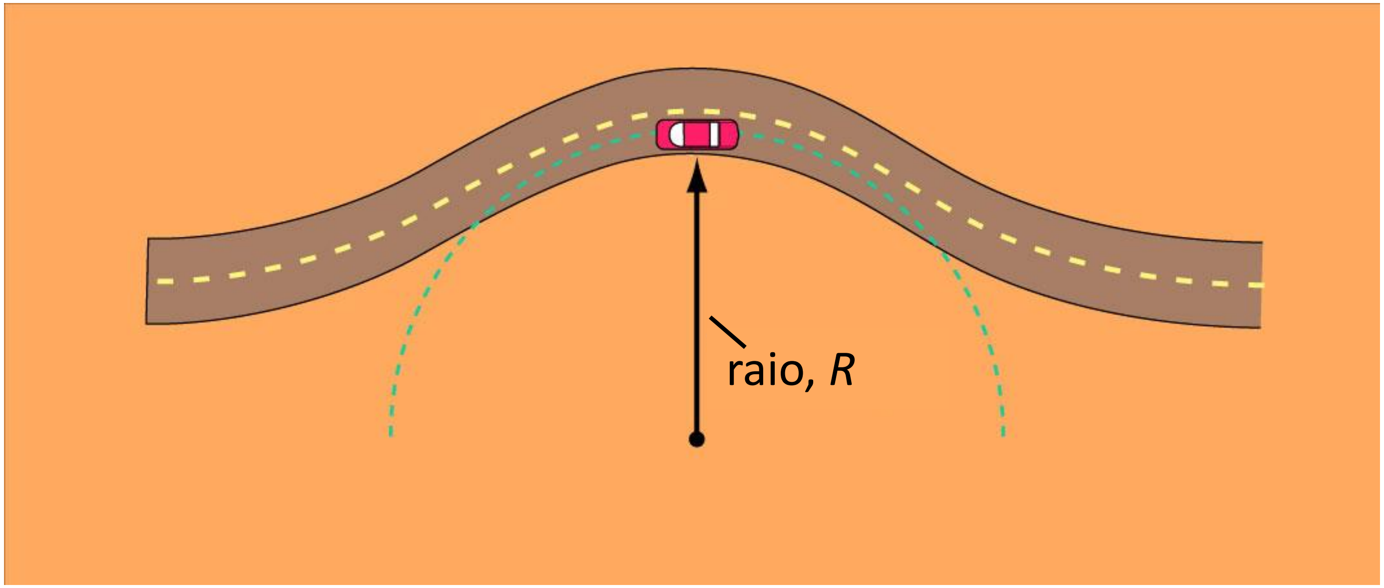


- Após a explosão: $\vec{\boldsymbol{P}} = m_1\vec{\boldsymbol{v}}_1 + m_2\vec{\boldsymbol{v}}_2 = 0$

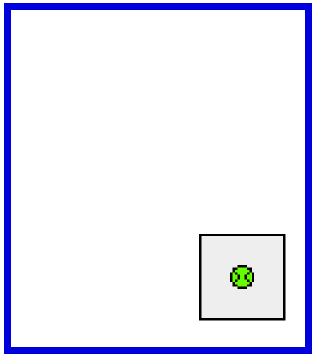
$$m_1\vec{\boldsymbol{v}}_1 = -\, m_2\vec{\boldsymbol{v}}_2$$



2ª Lei de Newton: Movimento circular uniforme



A resultante das forças que atuam no carro comportar-se-á como uma força centrípeta permitindo-lhe efetuar a curva

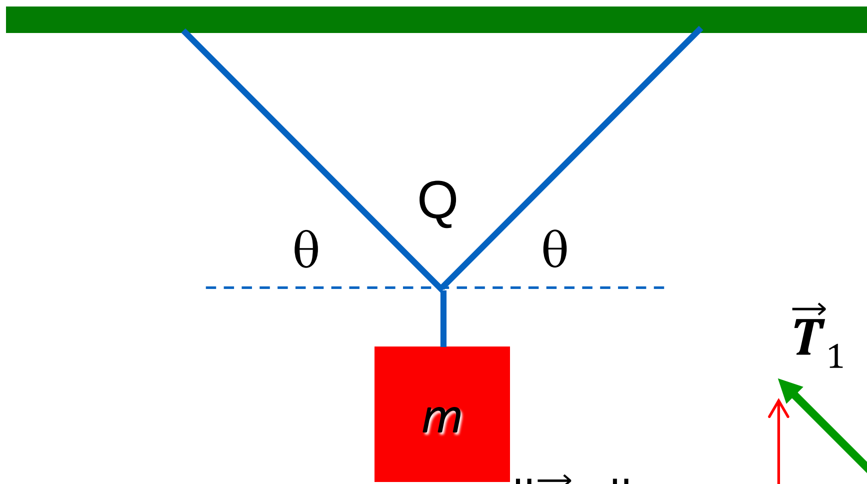


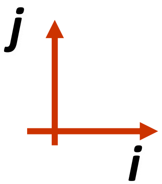
$$\vec{F}_c = m\frac{v^2}{R}\hat{u}_n$$

Equilíbrio

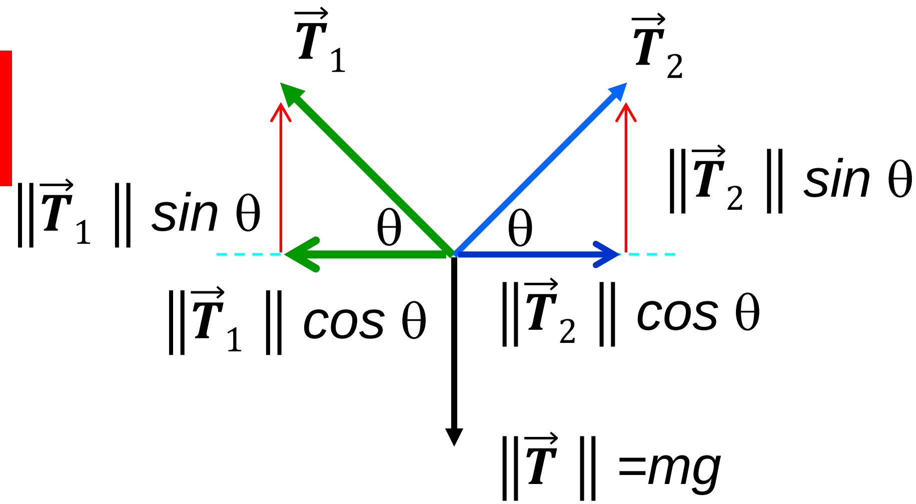
$$\sum_i \vec{F}_i = \vec{0}$$

Massa m em Equilíbrio Estático

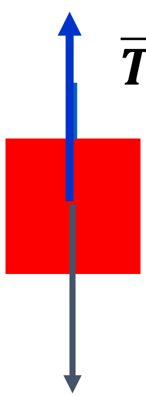




Ponto Q



Massa m



$\|\vec{T}\| = \|\vec{P}\|$

$\vec{P} = m\vec{g}$

$F_{x,Res.} = -\|\vec{T}_1\|\cos\theta + \|\vec{T}_2\|\cos\theta = 0$

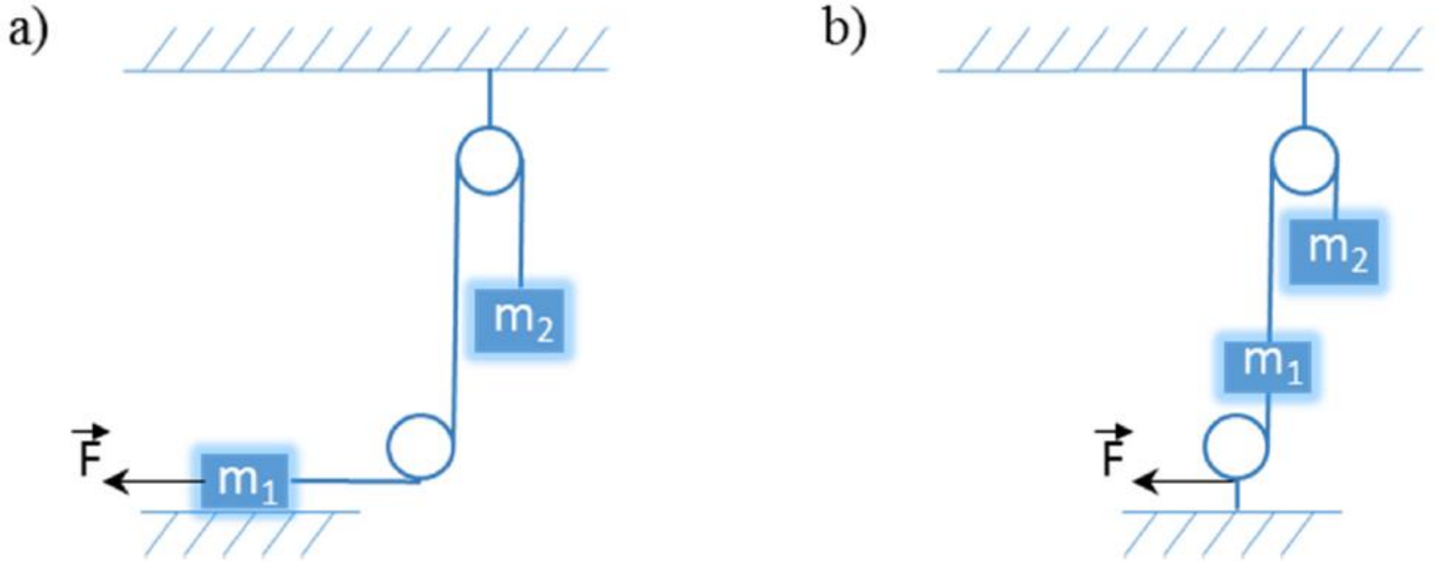
$F_{y,Res.} = \|\vec{T}_1\|\sin\theta + \|\vec{T}_2\|\sin\theta - mg = 0$

$$\|\vec{T}_1\| = \|\vec{T}_2\| = \frac{mg}{2\sin\theta}$$

Exercício #5

Calcule a aceleração dos corpos da figura e a tensão nas cordas.

Aplique ao caso em que m_1 = 50 g, m_2 = 80 g e $\|\vec{\boldsymbol{F}}\|$ = 1N.



Resolução

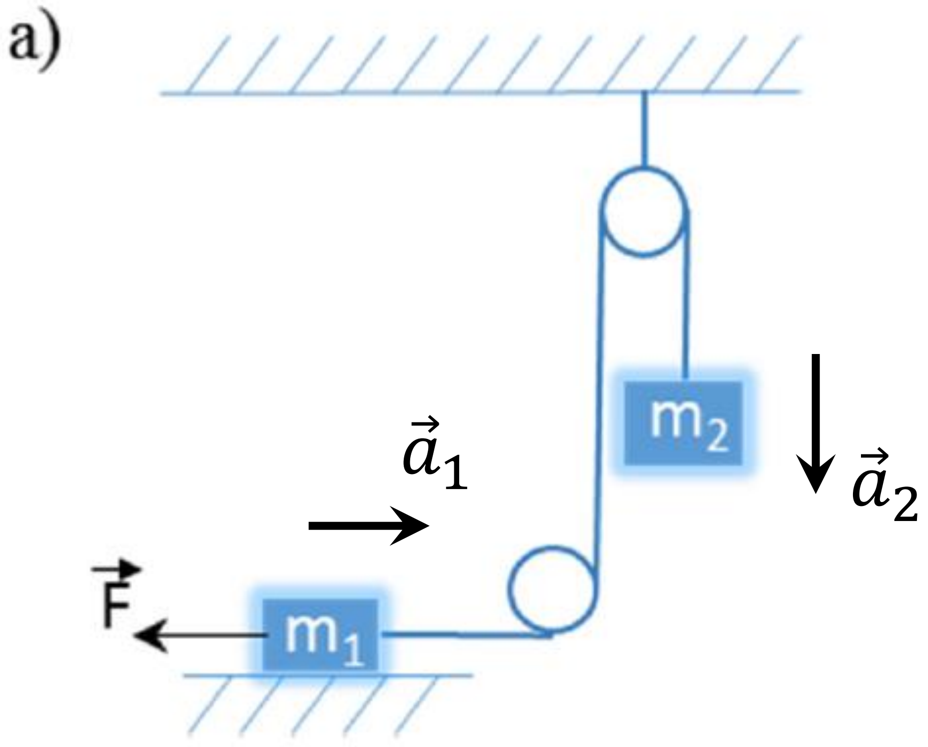
Metodologia de resolução:

i) Atribuir um sentido ao movimento e um sistema de eixos para cada massa

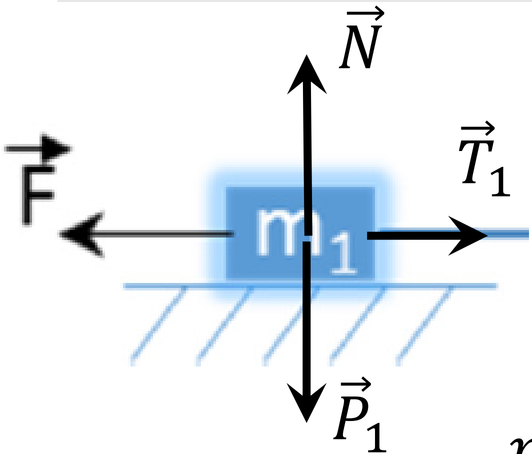
ii) Representar o diagrama das forças que atuam em cada massa

iii) Escrever a equação do movimento de translação para cada massa

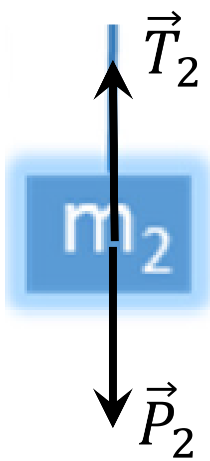
Exercício #5a



Resolução



$$\begin{array}{l} m_1\!: \\ \\ m_2\!: \end{array}\left\{\begin{array}{l} \sum \overrightarrow{F_i} = m_1\vec{a}_1 \\ \\ \sum \overrightarrow{F_i} = m_2\vec{a}_2 \end{array}\right. \Leftrightarrow \left\{\begin{array}{c} \vec{F} + \vec{N} + \vec{P}_1 + \vec{T}_1 = m_1\vec{a}_1 \\ \\ \vec{T}_2 + \vec{P} = m_2\vec{a}_2 \end{array}\right.$$



Resolução

$$\vec{N} = N\hat{e}_y$$
$$\vec{P} = -m_1 g\hat{e}_y$$
$$\vec{F} = -F\hat{e}_x$$
$$\vec{T}_1 = T_1\hat{e}_x$$

$$\begin{cases} (N - m_1 g)\hat{e}_y + (T_1 - F)\hat{e}_x = m_1 a_1 \hat{e}_x \\ (T_2 - m_2 g)\hat{e}_y = -m_2 a_2 \hat{e}_y \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} (N - m_1 g)\hat{e}_y = \vec{0} \\ (T_1 - F)\hat{e}_x = m_1 a_1 \hat{e}_x \\ T_2 - m_2 g = -m_2 a_2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} N = m_1 g \\ T_1 - F = m_1 a_1 \\ T_2 - m_2 g = -m_2 a_2 \end{cases}$$

Como todo o sistema se desloca com igual valor de aceleração, então $\|\vec{a}_1\| = \|\vec{a}_2\|$ e $a_1 = a_2 = a$. Além disso, $\|\vec{T}_1\| = \|\vec{T}_2\| = T$.

Resolução

$$\begin{cases} N = m_1 g \\ T - F = m_1 a \\ T - m_2 g = -m_2 a \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} T - 1 = m_1 a \\ T - m_2 g = -m_2 a \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \dfrac{T-1}{T - m_2 g} = -\dfrac{m_1}{m_2} \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} (T-1)m_2 = -m_1 T + m_1 m_2 g \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} T - 1 = \dfrac{m_1(m_2 g - T)}{m_2} \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} T - 1 = 0{,}625(0{,}784 - T) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} T - 1 = 0{,}49 - 0{,}625T \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} T(1 + 0{,}625) = 1{,}49 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a = \dfrac{T-1}{m_1} = -1{,}56\ \mathrm{ms^{-2}} \\ T = 0{,}92\ \mathrm{N} \end{cases}$$

Resolução

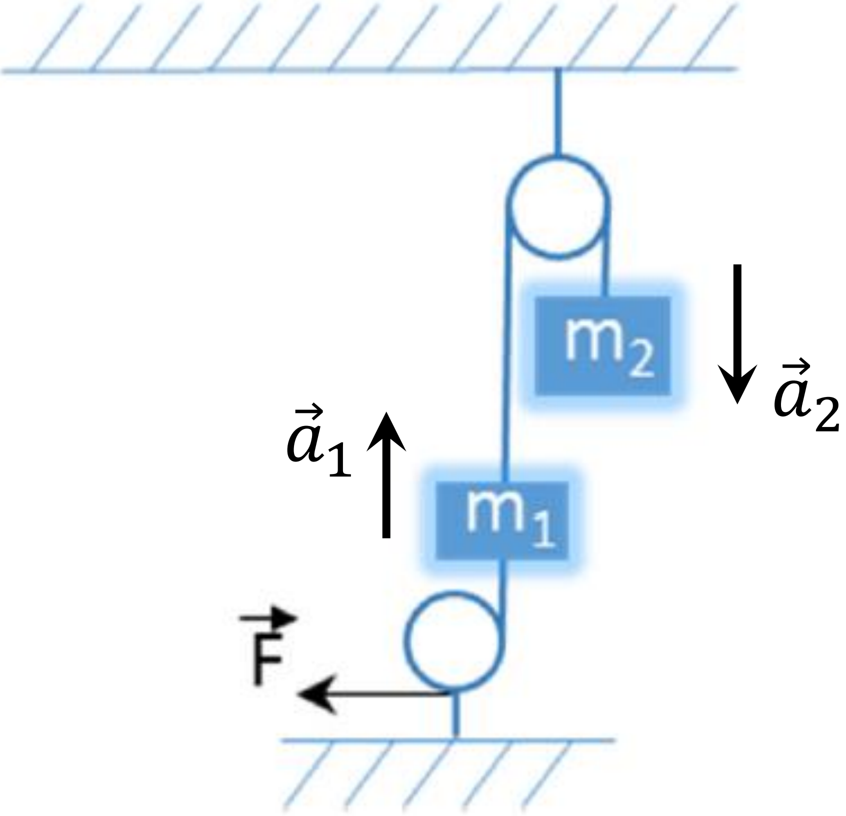
A componente escalar de $\vec{a}$ deu negativa, o que significa que o sentido do movimento é contrário ao arbitrado inicialmente, e portanto:

$$\vec{a}_1 = -1{,}66\hat{e}_x$$

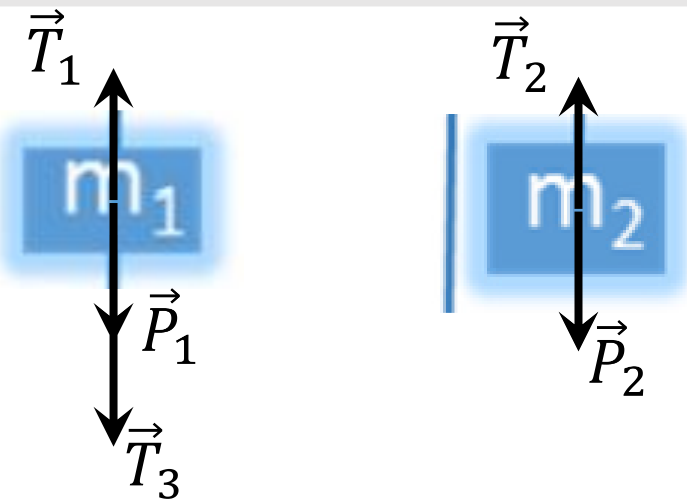
$$\vec{a}_2 = 1{,}66\hat{e}_y$$

Exercício #5b

b)



Resolução



$$\|\vec{T}_3\| = \|\vec{F}\|$$
$$\|\vec{T}_1\| = \|\vec{T}_2\|$$
$$\|\vec{a}_1\| = \|\vec{a}_2\|$$

$$\begin{array}{l} m_2: \\ m_1: \end{array} \begin{cases} \vec{T}_2 + \vec{P}_2 = m_2\vec{a}_2 \\ \vec{T}_1 + \vec{P}_1 + \vec{T}_3 = m_1\vec{a}_1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} T - m_2 g = -m_2 a \\ T - m_1 g - F = m_1 a \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \dfrac{-T + m_2 g}{m_2} = a \\ T - m_1 g - F = m_1 a \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} - \\ T - m_1 g - F = m_1 \left[\dfrac{-T + m_2 g}{m_2}\right] \end{cases}$$

Resolução

$$\Leftrightarrow \begin{cases} T = -\dfrac{m_1}{m_2}T + \dfrac{m_1}{m_2}m_2 g + m_1 g + F \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} T + \dfrac{m_1}{m_2}T = 2m_1 g + F \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} T(m_1 + m_2) = 2m_1 m_2 g + F m_2 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} T = \dfrac{m_2(2m_1 g + F)}{m_1 + m_2} = \dfrac{80 \times 10^{-3}(2 \times 50 \times 10^{-3} \times 10 + 1)}{130 \times 10^{-3}} = 1{,}23\ \mathrm{N} \end{cases}$$

$$a = \frac{-T + m_2 g}{m_2} = \frac{-1{,}23 + 80 \times 10^{-3} \times 10}{80 \times 10^{-3}} = -5{,}38\ \mathrm{ms}^{-2}$$

Conclusão: o movimento é no sentido contrário ao atribuído

No elevador.....

Um homem de pé sobre uma balança:

$\vec{N}$

$\vec{P}$

$\vec{N}$ é força de Reação Normal

= leitura na balança

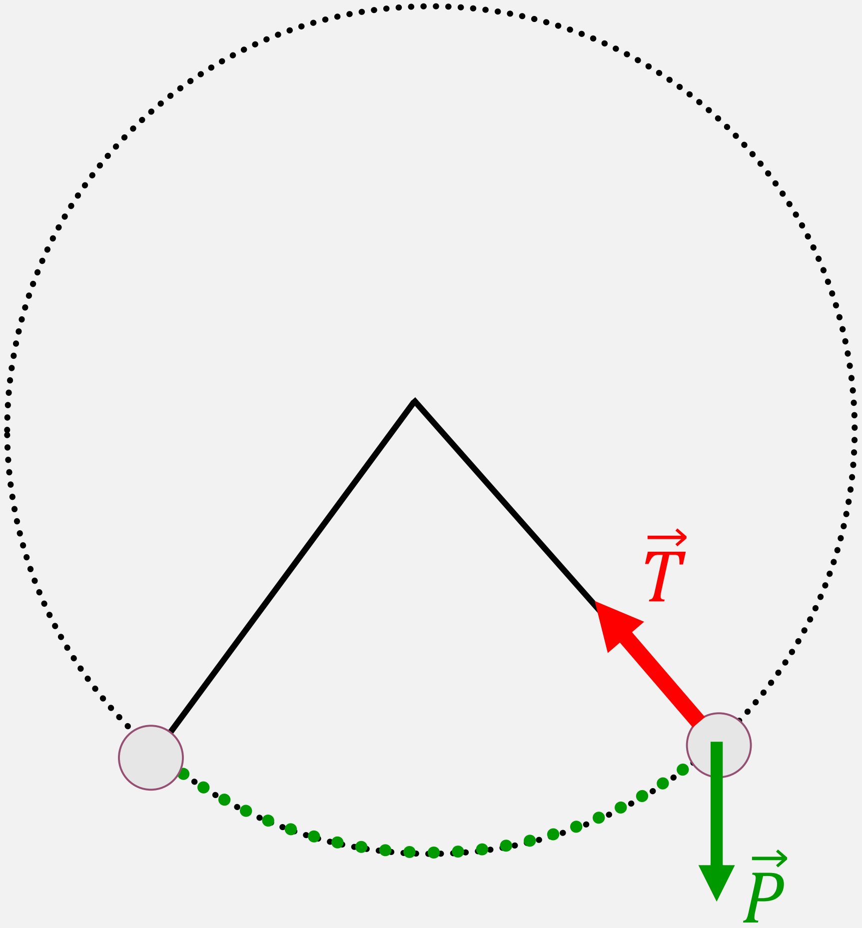
Balança dinamómetro

Se a = 0==> $\|\vec{N}\| = \|\vec{P}\|$ ‘peso aparente’ = normal

Na subida ==> $\|\vec{N}\| = \|\vec{P}\| + m\|\vec{a}\|$ ‘peso aparente’ maior

Na descida ==> $\|\vec{N}\| = \|\vec{P}\| - m\|\vec{a}\|$ ‘peso aparente’ menor

Pêndulo simples (movimento no plano vertical)



Trajetória circular

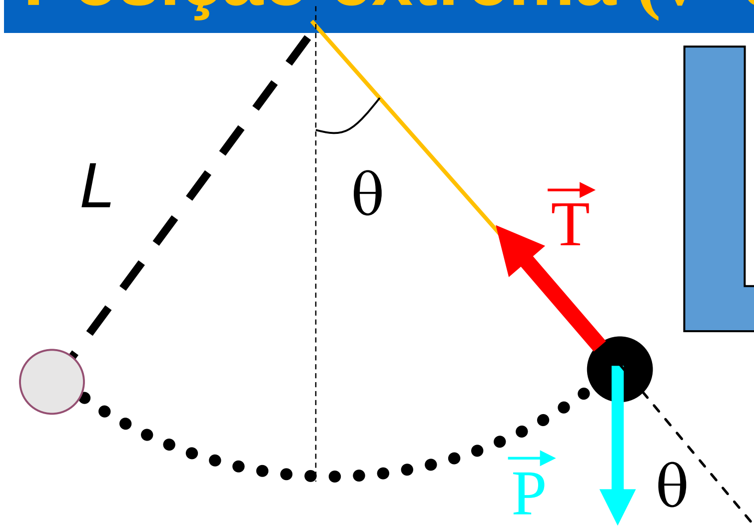
Forças: $\vec{P}$ $\vec{T}$

Em qualquer posição:

$$\vec{\boldsymbol{T}} + \vec{\boldsymbol{P}} = m\vec{\boldsymbol{a}}$$

$$\vec{\boldsymbol{a}} = \vec{\boldsymbol{a}}_t + \vec{\boldsymbol{a}}_n$$

Posição extrema (v=0)

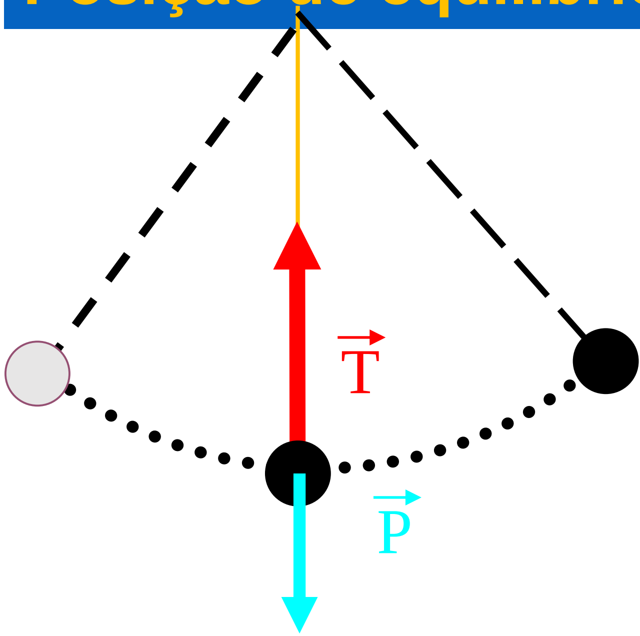


$$\vec{T} + \vec{P} = m\vec{a} \qquad \vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$$

$$\begin{cases} \|\vec{T}\| - \|\vec{P}\|\cos\theta = m\|\vec{a}_n\| \\ \|\vec{P}\|\,\mathrm{sen}\,\theta = m\|\vec{a}_t\| \end{cases}$$

$$\begin{cases} \|\vec{T}\| - \|\vec{P}\|\cos\theta = m\dfrac{v^2}{L} = 0 \\ \|\vec{P}\|\,\mathrm{sen}\,\theta = m\|\vec{a}_t\| \end{cases}$$

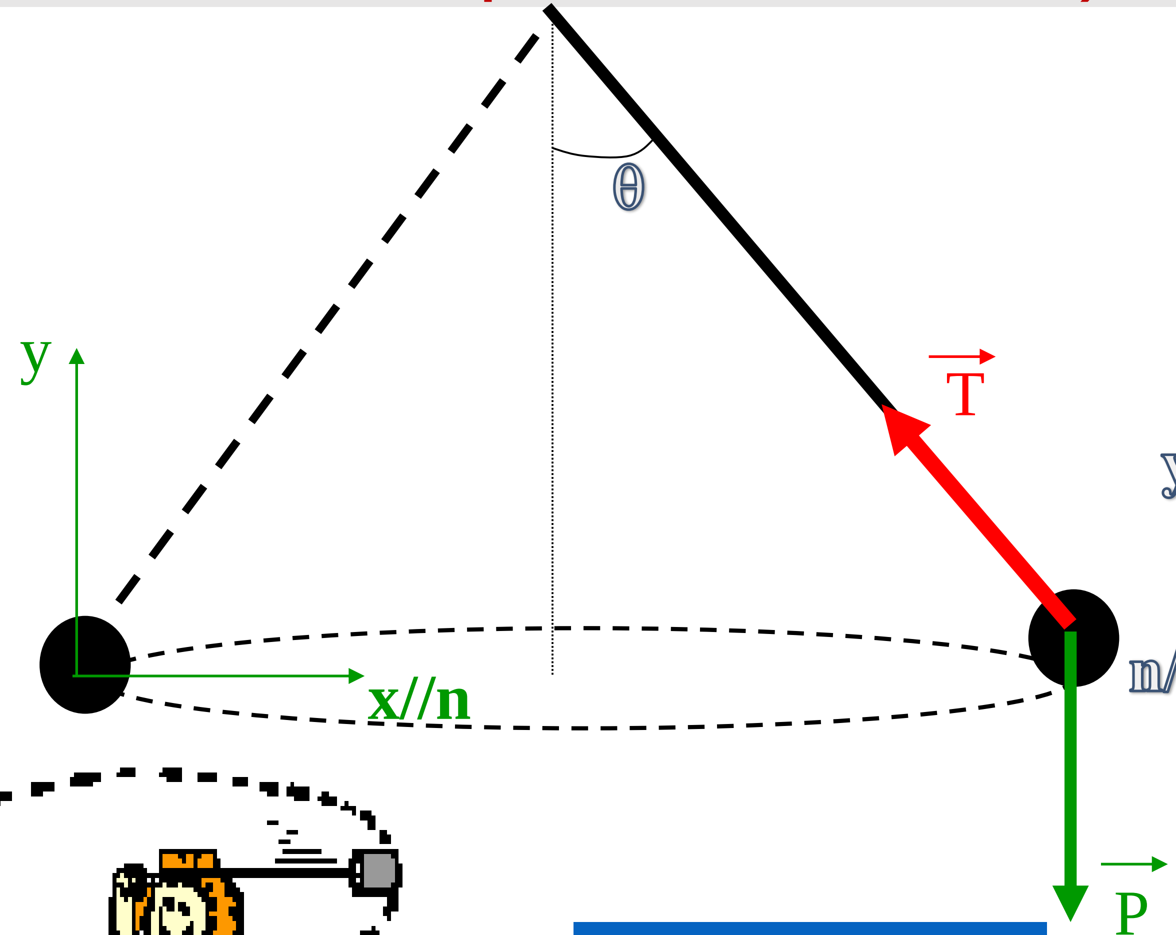
Posição de equilíbrio (θ=0)



$$\begin{cases} \|\vec{T}\| - \|\vec{P}\| = m\dfrac{v^2}{L} \\ \|\vec{a}_t\| = 0 \end{cases}$$

Máxima tensão!

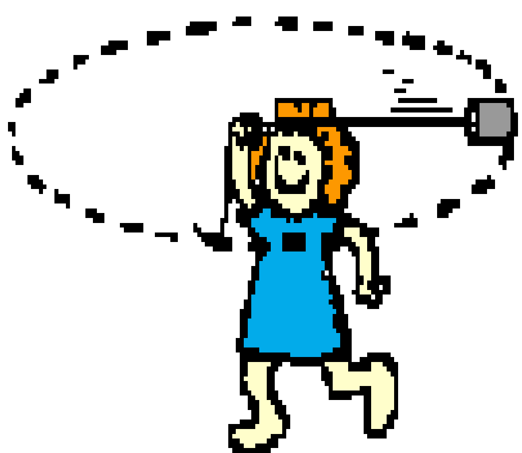
Pêndulo cónico (movimento circular e uniforme no plano horizontal)



$$\sum \vec{F_i} = m\vec{a} \Leftrightarrow$$

$$\vec{P} + \vec{T} = m\vec{a} \Leftrightarrow$$

$$\begin{cases} y & \|\vec{T}\| cos\theta = \|\vec{P}\| \\ n//x & \|\vec{T}\| sen\theta = m\|\vec{a}_n\| \end{cases}$$

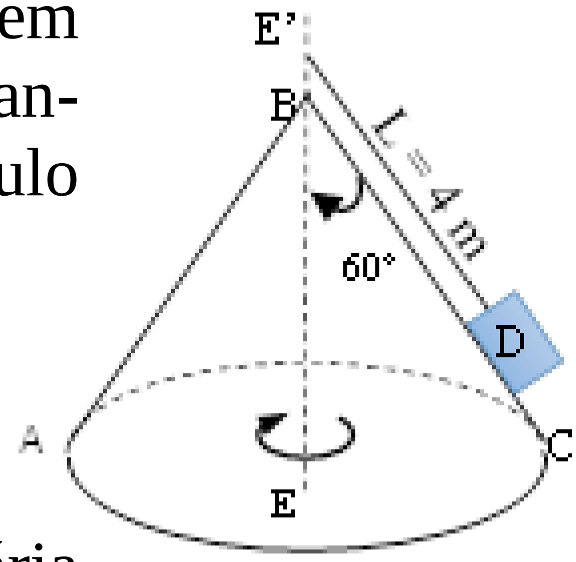


Quanto vale a aceleração tangencial?

Exercício #6

Um corpo D cuja massa é de 6 kg está sobre uma superfície cónica A B C e roda em torno do eixo EE' com uma velocidade angular de 10 rev/min. Calcule norma (módulo ou valor) da:

a) velocidade linear do corpo.
b) reação da superfície.
c) tensão no fio.
d) velocidade angular necessária para reduzir a reação do plano a zero.



Resolução

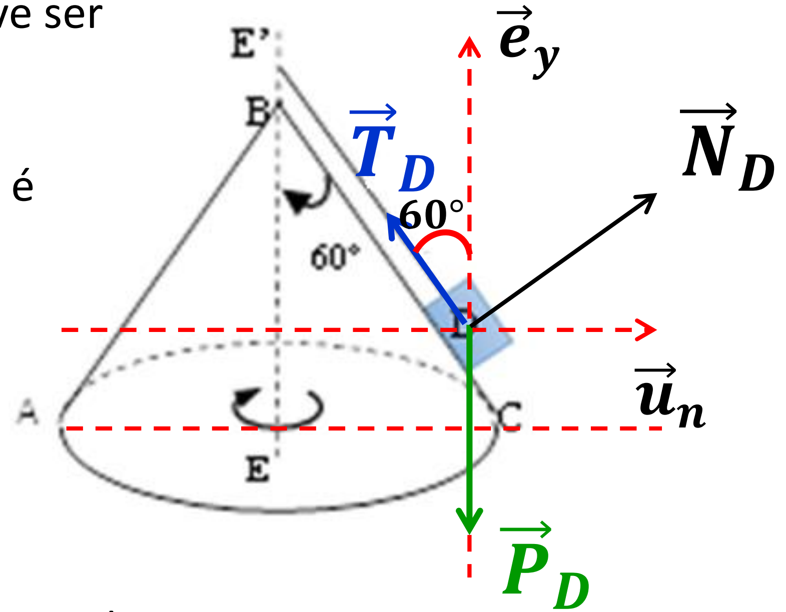
a),b) e c)

i)Representar o diagrama de forças e escrever a 2ª Lei de Newton para o corpo D. A escolha do referencial deve ser feita considerando que:

-a velocidade angular constante então o movimento é uniforme o que indica que a aceleração terá apenas componente centrípeta.

-o peso define a direção vertical e a força $\vec{N}_D$ é perpendicular ao fio que suporta o corpo D.

- Uma direção paralela ao segmento $\overline{AC}$ passa no centro da trajetória circular paralela à base do cone e corresponde à direção normal ou centrípeta.



Resolução

a) De acordo com a figura $R = L\text{sen}60°$. Como $v = \omega R = \frac{2\pi\times 10}{60} \times 4\frac{\sqrt{3}}{2} = 3{,}62\ \text{m/s}$

b) e c) $\sum \overrightarrow{F_i} = m_D\vec{a} \Leftrightarrow \vec{P}_D + \vec{N}_D + \vec{T}_D = m_D\vec{a}$

Decompondo cada uma das forças usando o referencial escolhido temos:

$$\vec{P}_D = -m_D g\,\vec{e}_y$$
$$\vec{N}_D = \|\vec{N}_D\|[\sin 30°\vec{u}_n + \cos 30°\,\vec{e}_y]$$
$$\vec{T}_D = \|\vec{T}_D\|[-\sin 60°\vec{u}_n + \cos 60°\,\vec{e}_y]$$

$$\begin{cases}(-m_D g\ + \|\vec{N}_D\|\cos 30° + \|\vec{T}_D\|\cos 60°)\vec{e}_y = \vec{0} \\ (\|\vec{N}_D\|\sin 30° - \|\vec{T}_D\|\sin 60°)\ \vec{u}_n = -m_D a\,\vec{u}_n\end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases}(-m_D g\ + \|\vec{N}_D\|\cos 30° + \|\vec{T}_D\|\cos 60°)\vec{e}_y = \vec{0} \\ (\|\vec{N}_D\|\sin 30° - \|\vec{T}_D\|\sin 60°)\ \vec{u}_n = -m_D\frac{v^2}{R}\,\vec{u}_n\end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} m_D g = \|\vec{N}_D\|\cos 30° + \|\vec{T}_D\|\cos 60° \\ \|\vec{N}_D\|\sin 30° - \|\vec{T}_D\|\sin 60° = -m_D\frac{v^2}{R}\end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases}\|\vec{T}_D\| = 49{,}2\ \text{N} \\ \|\vec{N}_D\| = 39{,}5\ \text{N}\end{cases}$$

Resolução

d) Fazendo a normal igual a zero tem-se:

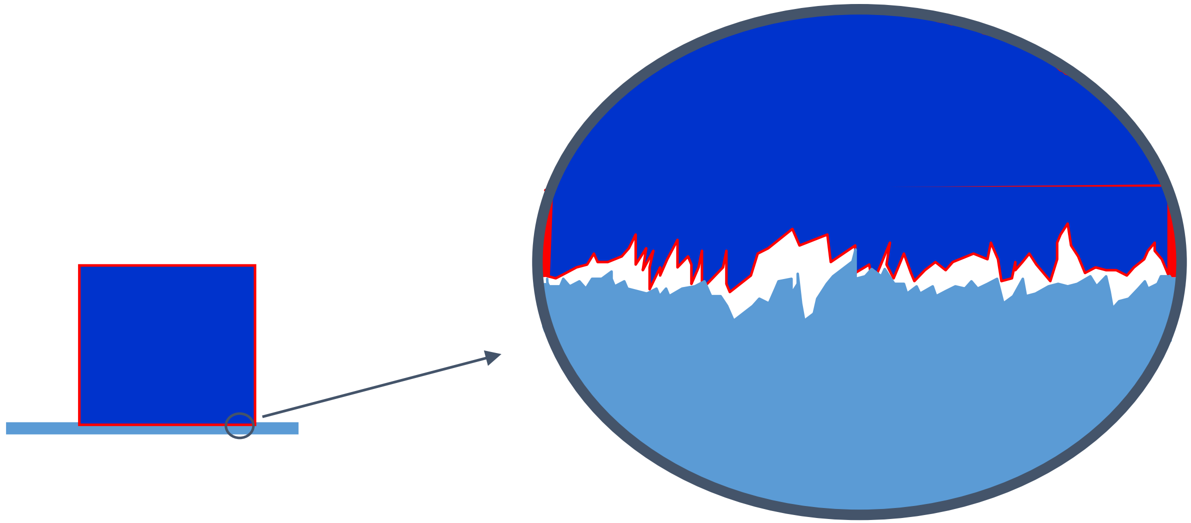
$$\begin{cases} \left(-m_D g + \left\|\vec{T}_D\right\| \cos 60°\right) \vec{e}_y = \vec{0} \\ \left(-\left\|\vec{T}_D\right\| \sin 60°\right) \vec{u}_n = m_D \dfrac{v^2}{R} \vec{u}_n \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \left\|\vec{T}_D\right\| \cos 60° = m_D g \\ \left\|\vec{T}_D\right\| \sin 60° = m_D \omega^2 R \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \left\|\vec{T}_D\right\| \cos 60° = m_D g \\ \operatorname{tg} 60° = \dfrac{\omega^2 R}{g} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \left\|\vec{T}_D\right\| = \dfrac{m_D g}{\cos 60°} \\ \operatorname{tg} 60° = \dfrac{\omega^2 R}{g} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \left\|\vec{T}_D\right\| = \dfrac{m_D g}{\cos 60°} = 117{,}6\ N \\ \omega = \sqrt{\dfrac{g \operatorname{tg} 60°}{R}} = 2{,}2\ \mathrm{rad/s} \end{cases}$$

Força de atrito (em sólidos)

Superfícies de dois materiais em contacto

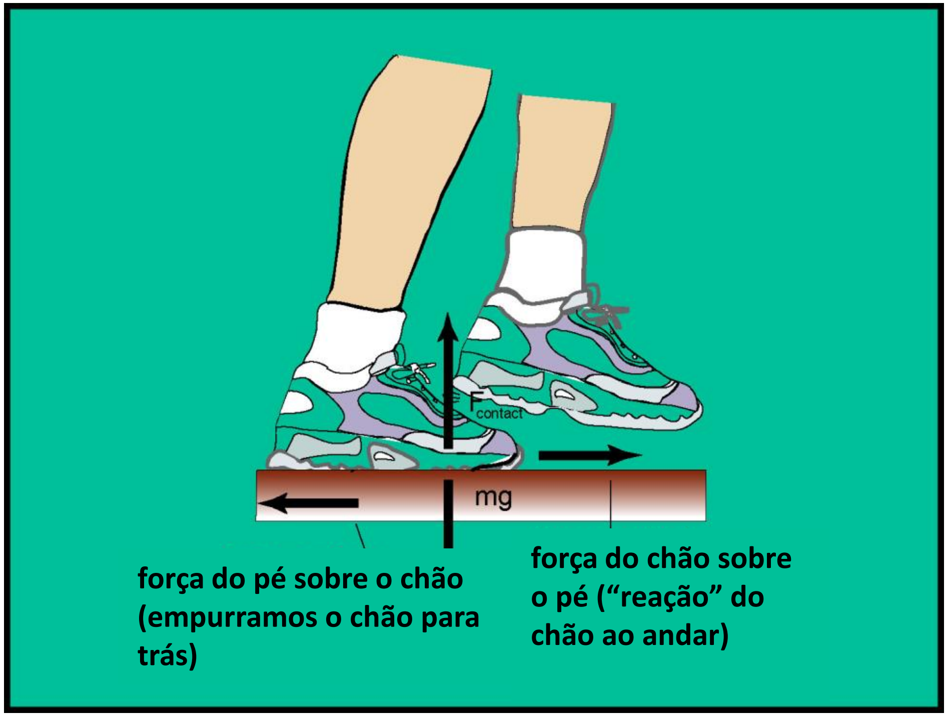
A força de atrito tende a impedir o movimento relativo das superfícies



Microscopicamente a força tem origem elétrica

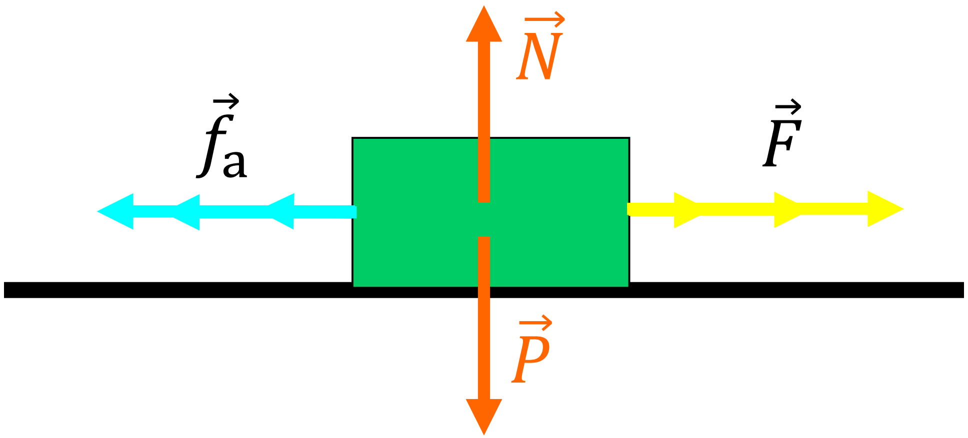
Lubrificação separa as superfícies

O atrito permite-nos andar!



Força de atrito (estático)

Consideremos um corpo sobre uma superfície plana, horizontal, com atrito e ao qual se aplica uma força $\vec{F}$, horizontal, para o tentar pôr em movimento, sem sucesso



O corpo não se move e assim $\vec{f}_a = -\vec{F}$

À medida que F aumenta a força de atrito também aumenta, até uma situação limite, em que o corpo inicia o movimento.

Força de atrito (estático)

Na situação limite, em que a força de atrito estático atinge o valor máximo, verifica-se que:

A força de atrito estático máxima é proporcional à normal exercida entre as superfícies

$$f_{a.e.max} = \mu_E N$$

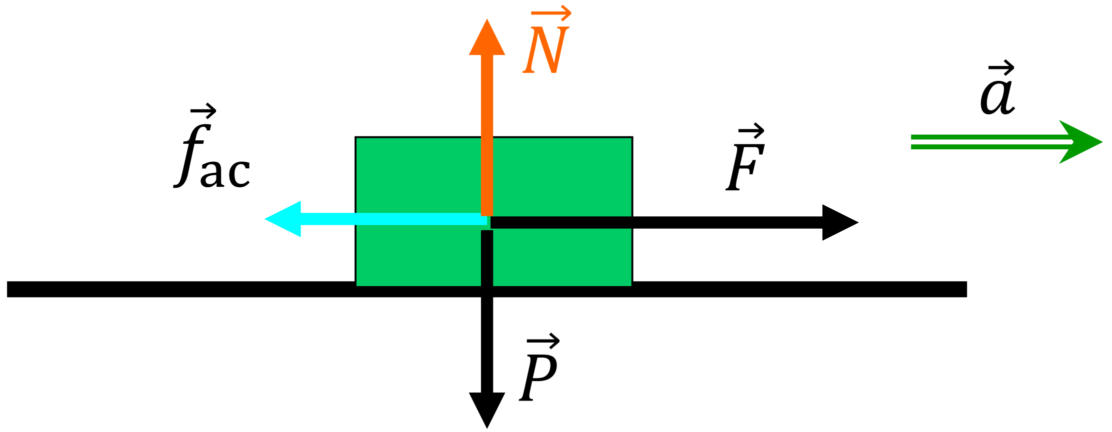
μ_E é o coeficiente de atrito estático, para as duas superfícies

Em geral, temos:

$$f_{a.e.} \leq \mu_E N$$

Força de atrito (cinético)

Quando o corpo entra em movimento, temos uma situação com atrito cinético e verifica-se que:



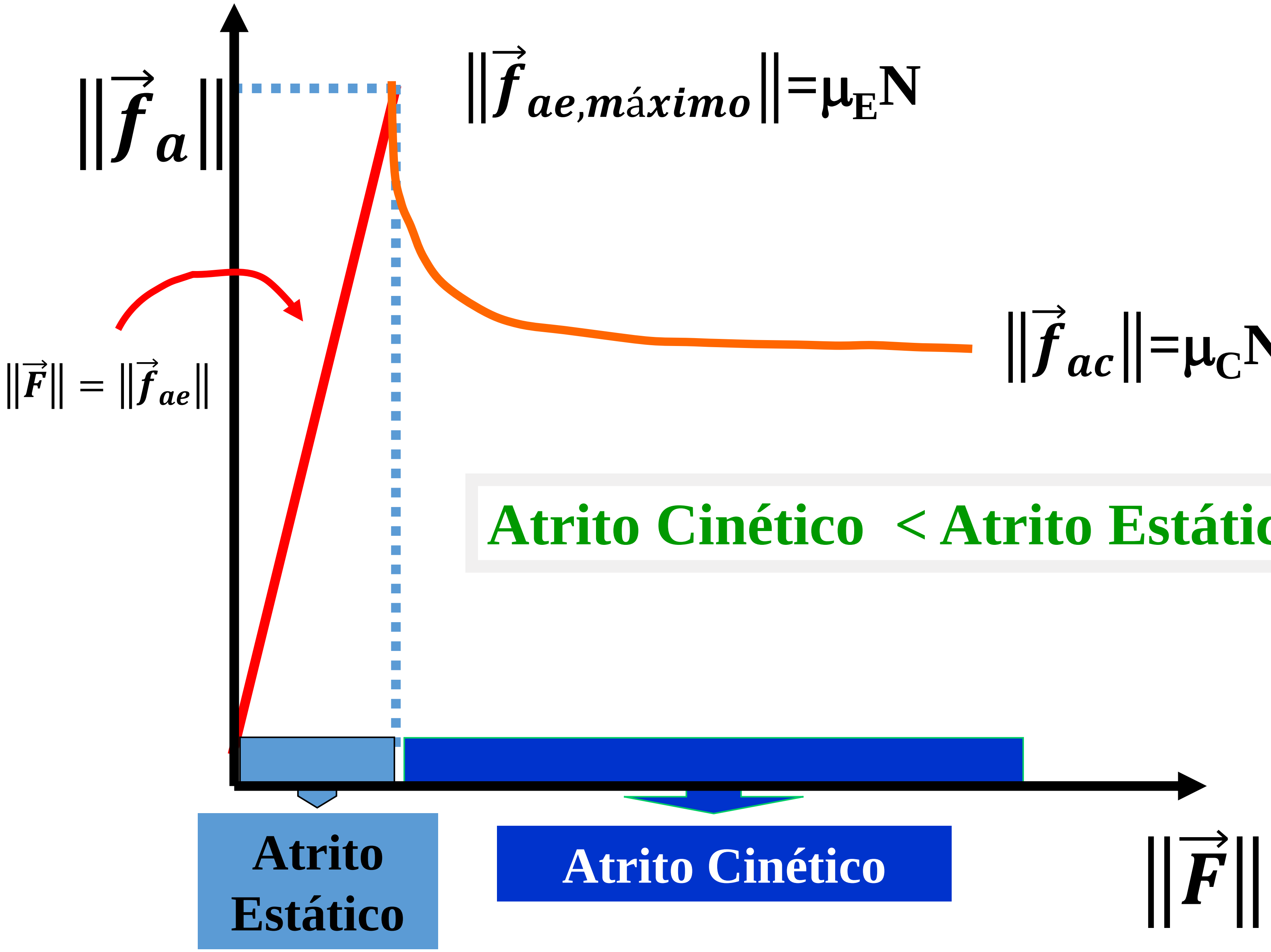
a força de atrito cinético é proporcional à normal exercida entre as superfícies

$$f_{a.c.} = \mu_C N$$

μ_C é o coeficiente de atrito cinético, para as duas superfícies

Geralmente, a força de atrito não depende da área de contacto

Como varia a força de atrito com F



Alguns valores de coeficientes de atrito

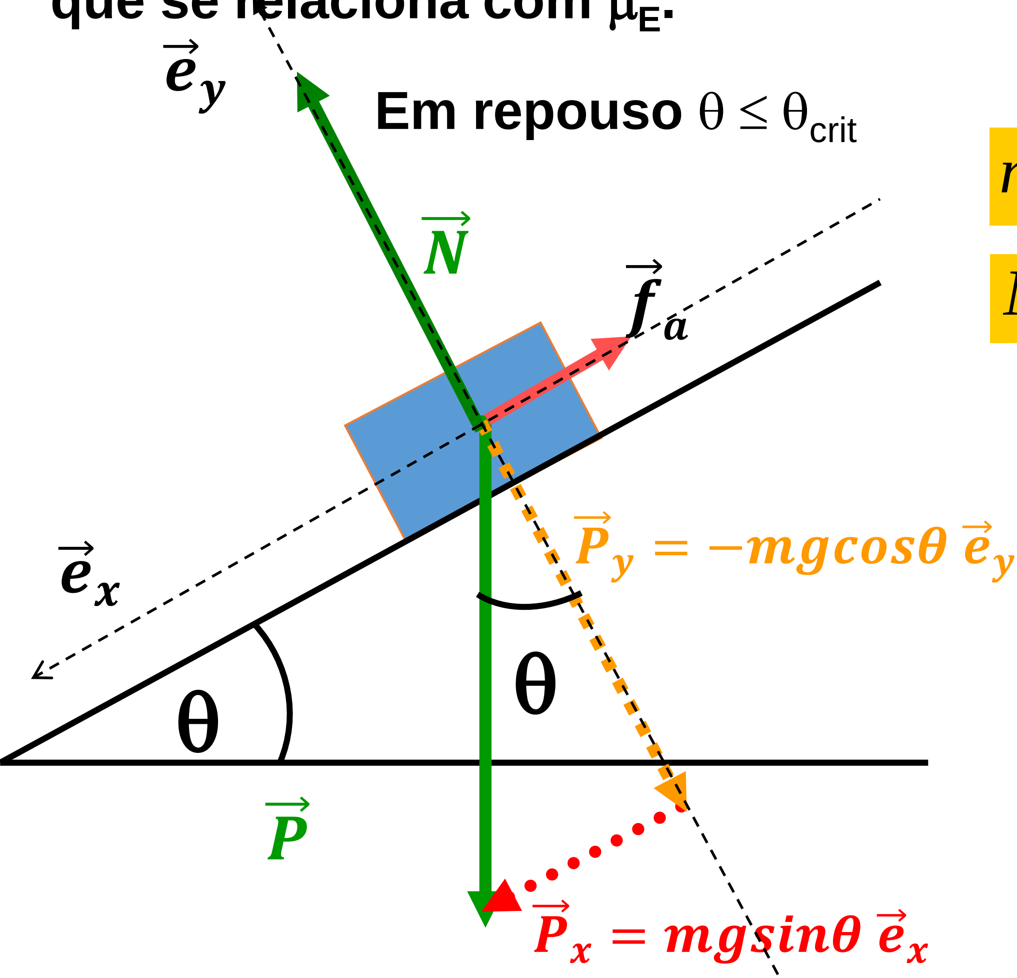
	μ_E	μ_C
Aço sobre aço	0,74	0,57
Cobre sobre aço	0,53	0,36
Borracha sobre cimento	1,0	0,8
Madeira sobre madeira	0,25-0,5	0,2
Gelo sobre aço	0,1	0,03
Teflon sobre teflon	0,04	0,04

Como medir μ?

Um corpo é colocado num plano inclinado, ficando em repouso. A inclinação θ é aumentada até um valor máximo (crítico) θ_{crit} que se relaciona com μ_E.

$$\sum \vec{F_i} = m\vec{a} \Leftrightarrow$$

$$\vec{P} + \vec{N} + \vec{f}_a = 0$$



$$\left.\begin{array}{l} \boxed{mg\,sin\theta - f_{ae} = 0} \\ \boxed{N - mg\,cos\,\theta = 0} \end{array}\right\} \boxed{f_{ae} = N\,tg\theta}$$

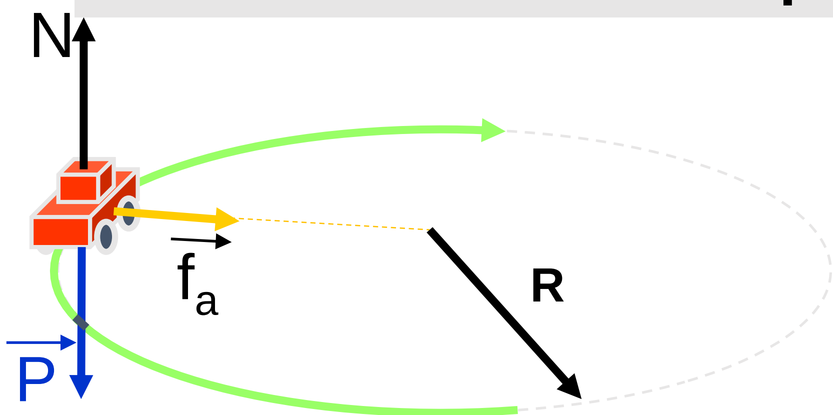
No limite, quando a força de atrito é máxima $\theta = \theta_{crit}$

$$f_{ae\,max} = \mu_E N = N\,tg\theta_{crit}$$

$$\boxed{\mu_E = tg\theta_{crit}}$$

$$\mu_E = 0{,}36 \Rightarrow \theta_{crit} = 20^o$$

Curvar numa superfície plana

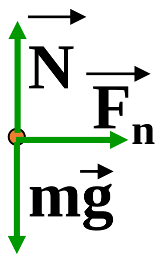


$$\sum \vec{F_i} = m\vec{a} \Leftrightarrow$$

$$\vec{P} + \vec{N} + \vec{f}_a = m\vec{a}_n$$

O atrito atua como $\vec{F}_n$

Se não houver derrapagem o atrito é estático



$$\|\vec{F}_n\| = \|\vec{f}_{a,e}\| \le \mu_e N$$

$$\frac{mv^2}{R} = \|\vec{F}_n\|$$

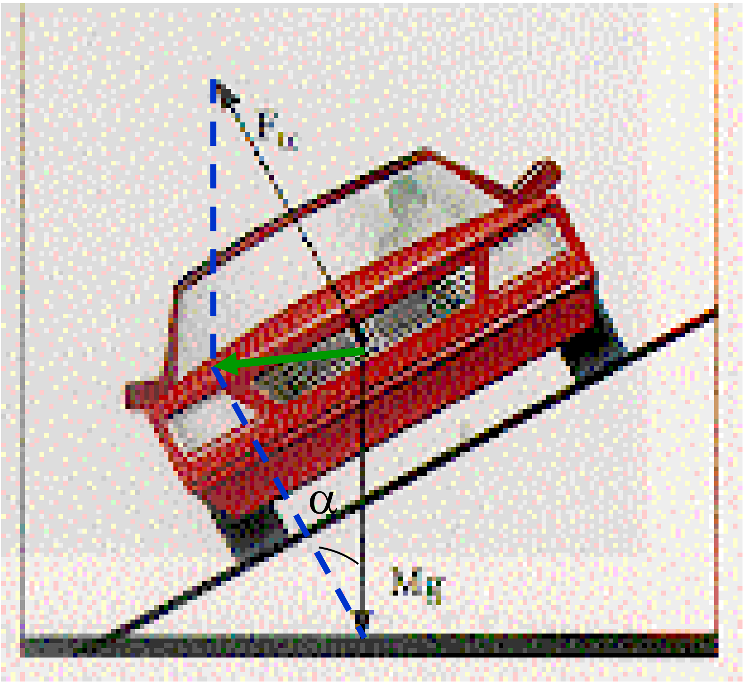
$$\frac{mv^2}{R} \le \mu_e N \qquad \frac{mv^2}{R} \le \mu_e mg$$

$$v^2{}_{max} = \mu_e R g$$

A velocidade máxima não depende de m!

A inclinação da curva permite ao carro curvar sem necessidade de recorrer às forças laterais de atrito

$$v_{max}^{2} = \mu_E g R$$

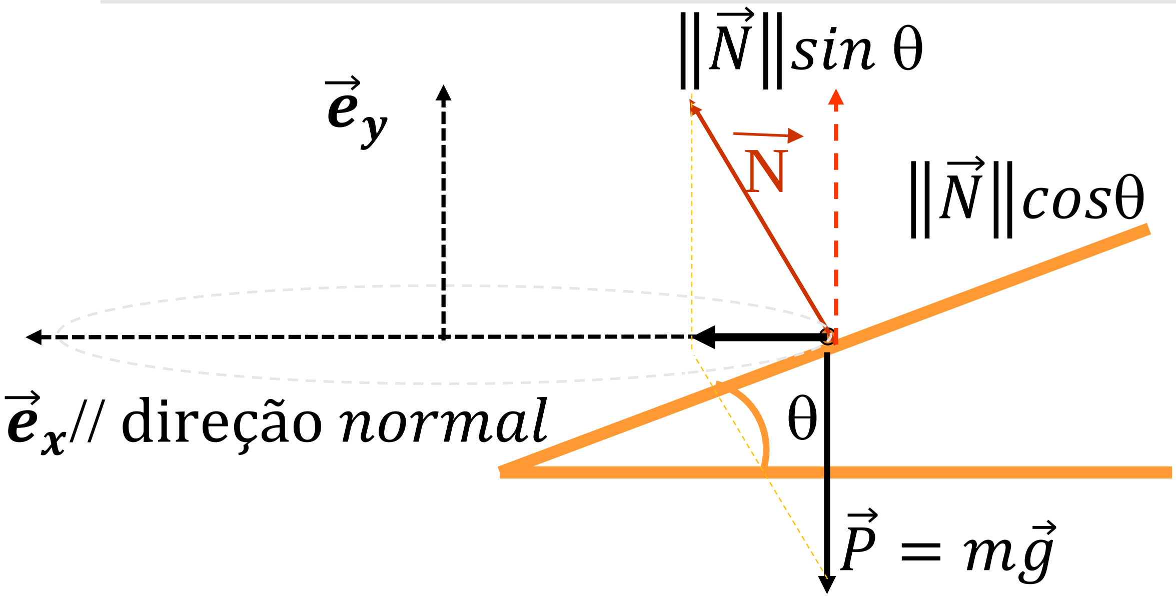


Para um dado μ_E (que traduz a qualidade do pneu) e **R,** há uma velocidade máxima de segurança.

Esta margem de segurança é muito sensível ao valor da velocidade pois a expressão depende de v^2

Exemplo: μ_E =0,8 e R=20m
v_{max}=38 km/h

Curva inclinada sem atrito



$$\sum \vec{F_i} = m\vec{a} \Leftrightarrow$$

$$\vec{P} + \vec{N} = m\vec{a}_n$$

Eixo vertical

$\sum F_y = ma_y = 0$

$N\cos\theta = mg$

$$N = \frac{mg}{\cos\theta}$$

Eixo horizontal

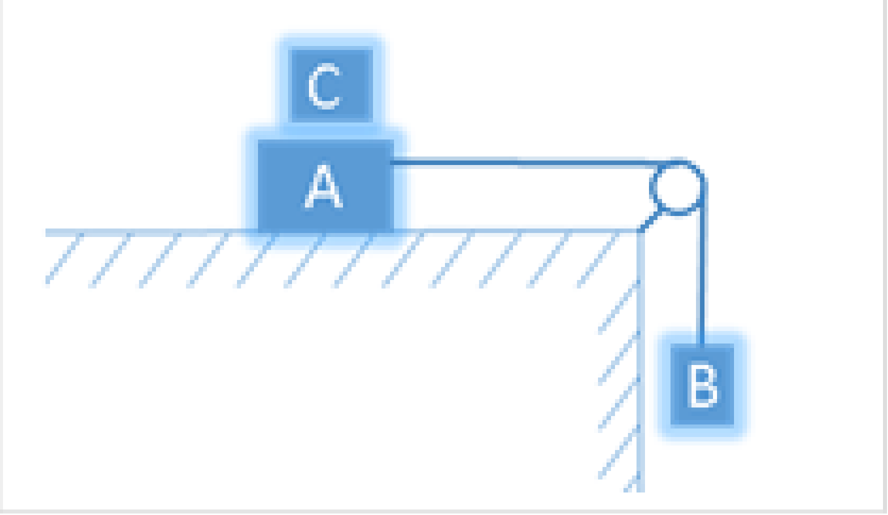
$$N\sin\theta = m\frac{v^2}{R}$$

Para um dado θ há um valor de velocidade de segurança v.

lembrar tgθ = μ_e!!

Exercício #7

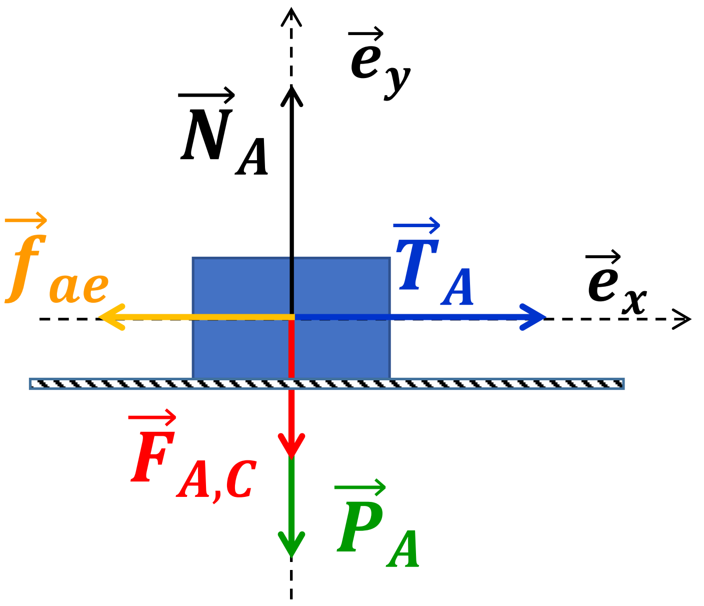
As massas A e B da figura são respetivamente 10 kg e 5 kg. Os coeficientes de atrito estático e cinético de A com a mesa são 0,20. a) Calcule a massa mínima C que impede A de se mover. b) Calcule a norma (módulo ou valor) da aceleração resultante se levantar C.

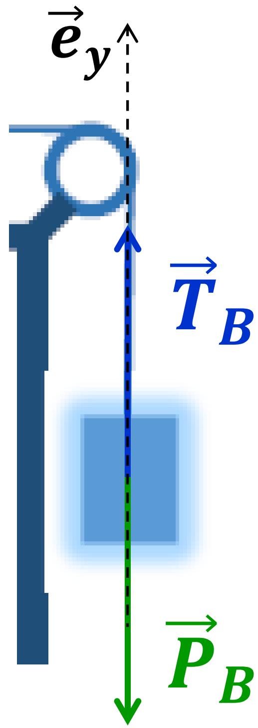


Resolução

a)

i) Fazer o diagrama de forças no corpo A e B





$\vec{F}_{A,C}$ **-> Força exercida em A por C**

Resolução

a) Escrever a 2ª Lei de Newton para cada um dos corpos A e B

na situação de equilíbrio

Corpo A: $\sum \overrightarrow{F_i} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{P}_A + \vec{N}_A + \vec{T}_A + \vec{F}_{A,C} + \vec{f}_{a,e} = \vec{0}$

Corpo B: $\sum \overrightarrow{F_i} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{P}_B + \vec{T}_B = \vec{0}$

-Na situação em que o atrito estático atinge a intensidade máxima, $\left\|\vec{f}_{a,e}\right\| = \mu_{a,e}\left\|\vec{N}_A\right\| = \mu_{a,e}N$

-fio inextensível e roldana fixa -> $\left\|\vec{T}_A\right\| = \left\|\vec{T}_B\right\| = T$

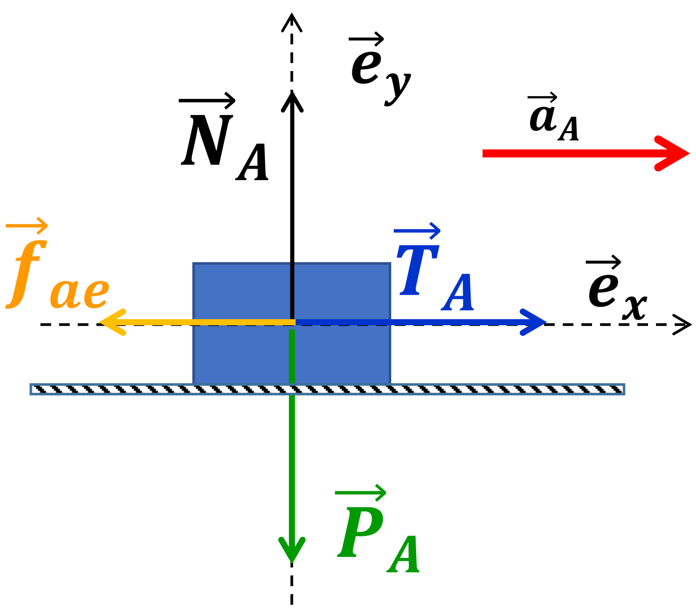
-$\left\|\vec{F}_{A,C}\right\| = \left\|\vec{P}_C\right\|$

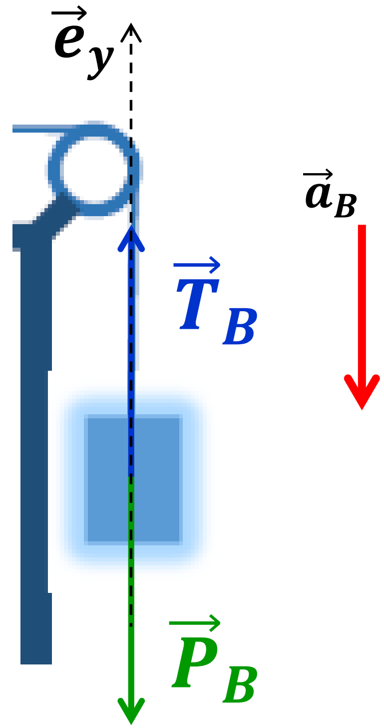
$$\begin{cases} -m_A g\vec{e}_y + N\vec{e}_y + T\vec{e}_x - m_C g\vec{e}_y - \mu_{a,e}\mathrm{N}\vec{e}_x = \vec{0} \\ -m_B g\vec{e}_y + T\vec{e}_y = \vec{0} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} -m_A g + N - m_C g = 0 \\ T - \mu_{a,e}\mathrm{N} = 0 \\ m_B g - T = 0 \end{cases}$$

Resolução

$$\begin{cases} m_C = \dfrac{m_B}{\mu_{a,e}} - m_A \\ \mathrm{N} = \dfrac{m_B g}{\mu_{a,e}} \\ m_B g = T \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} m_C = 15 \text{ kg} \\ \mathrm{N} = 245 \text{ N} \\ T = 49 \text{ N} \end{cases}$$

b) i) Fazer o diagrama de forças no corpo A e B e arbitrar um sentido para o movimento





Resolução

ii) Escrever a 2ª Lei de Newton para cada um dos corpos A e B

na situação de não equilíbrio na ausência do corpo C

Corpo A: $\sum \overrightarrow{F_i} = m_A \vec{a}_A \Leftrightarrow \vec{P}_A + \vec{N}_A + \vec{T}_A + \vec{f}_{a,e} = m_A \vec{a}_A$

Corpo B: $\sum \overrightarrow{F_i} = m_B \vec{a}_B \Leftrightarrow \vec{P}_B + \vec{T}_B = m_B \vec{a}_B$

-Na situação em que o atrito estático atinge a intensidade máxima, $\left\|\vec{f}_{a,e}\right\| = \mu_{a,e} \left\|\overrightarrow{N}_A\right\| = \mu_{a,e} N$

-fio inextensível e roldana fixa -> $\left\|\vec{T}_A\right\| = \left\|\vec{T}_B\right\| = T$

-$\|\vec{a}_A\| = \|\vec{a}_B\| = a$

$$\begin{cases} -m_A g \vec{e}_y + N \vec{e}_y + T \vec{e}_x - \mu_{a,e} N \vec{e}_x = m_A a \vec{e}_x \\ -m_B g \vec{e}_y + T \vec{e}_y = -m_B a \vec{e}_y \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} -m_A g + N = 0 \\ T - \mu_{a,e} \mathrm{N} = m_A a \\ m_B g - T = m_B a \end{cases}$$

Resolução

$$\begin{cases} N = 98\ \mathrm{N} \\ T - \mu_{a,e}N = m_A a \\ m_B g - T = m_B a \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} N = 98\ \mathrm{N} \\ T - \mu_{a,e}N = m_A a \\ m_B g - \mu_{a,e}\mathrm{N} = (m_B + m_A)a \end{cases}$$

$$\begin{cases} N = 98\ \mathrm{N} \\ T - \mu_{a,e}N = m_A a \\ \dfrac{m_B g - \mu_{a,e}\mathrm{N}}{(m_B + m_A)} = a \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} N = 98\ \mathrm{N} \\ T = 39{,}2\ \mathrm{N} \\ a = \dfrac{5 \times 9{,}8 - 0{,}2 \times 98}{15} = 1{,}96\ \mathrm{ms}^{-2} \end{cases}$$