Mecânica e Campo Eletromagnético

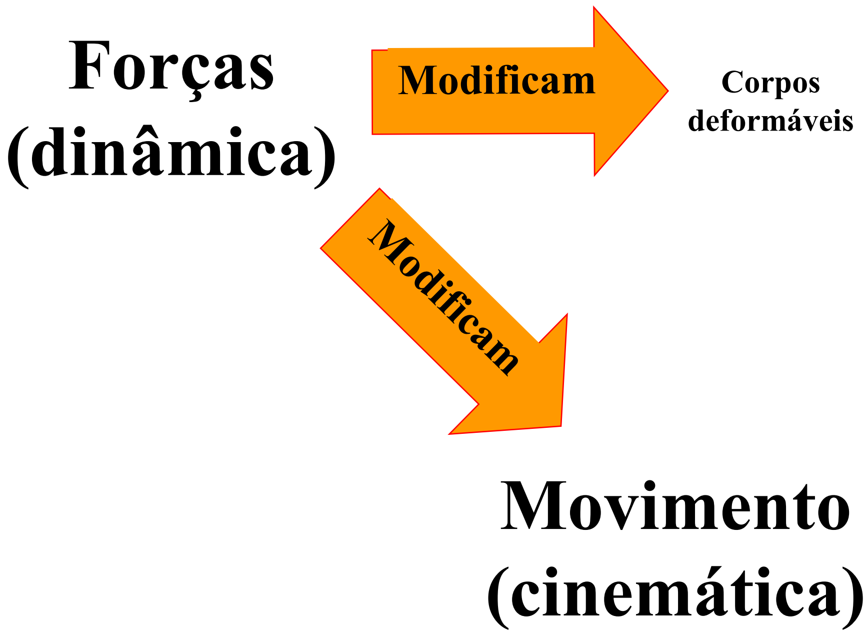
2018/2019 – parte 2

Luiz Pereira
luiz@ua.pt

Tópicos

- **Leis de Newton**
- **Forças de contacto e ligação.**
  - **Tensões e outras ligações**
  - **Forças de atrito**
  - **Força elástica**

3



4

Dinâmica

Aristóteles

Para mover um objeto

é preciso aplicar *força.*

Newton

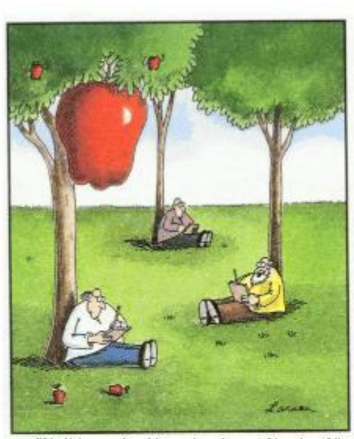
Para um objeto mudar o seu estado de movimento

é preciso aplicar *força*

Lei da Inércia – 1ª Lei de Newton

Uma partícula **livre move-se com velocidade constante :** movimento em linha reta com velocidade constante ou repouso

2ª Lei de Newton: Lei fundamental



"Nothing yet....How about you, Newton?"

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

A soma vetorial de todas as forças que atuam num corpo

2ª Lei de Newton: Lei fundamental

Considerando uma partícula, de massa inercial m:

Momento Linear

$$\vec{p} = m\,\vec{v}$$

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

Massa constante

2ª Lei de Newton

$$\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$$

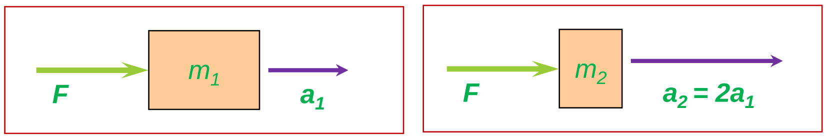
$$\vec{F} = F_x\hat{\imath} + F_y\hat{\jmath} + F_z\hat{k}$$

$$\vec{a} = a_x\hat{\imath} + a_y\hat{\jmath} + a_z\hat{k}$$

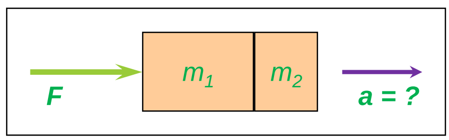
Para cada componente dos vetores

$$\begin{cases} \Sigma F_x = ma_x \\ \Sigma F_y = ma_y \\ \Sigma F_z = ma_z \end{cases}$$

Exemplo 2ª Lei de Newton: Movimento retilíneo



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

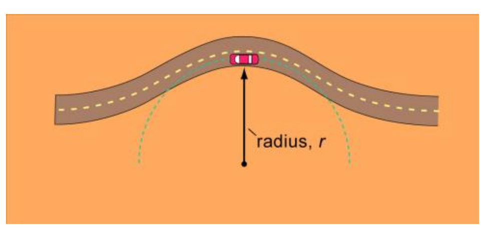


$a=2/3\ a_1$

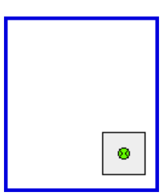
- Qual a força ***que*** m_1 exerce em m_2 ?

$F_2=1/3\ F$

Exemplo: 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 $\boldsymbol{F_c=mv^2/r}$



3 ª Lei de Newton

Forças surgem aos pares

Para cada ação há uma reação de igual intensidade mas oposta.

A força exercida no corpo 1 pelo corpo 2 é simétrica da força exercida no corpo 2 pelo corpo 1

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

Par ação-reação

3 ª Lei de Newton

Forças surgem aos pares

Os pares ação-reação:

<u>Atuam SEMPRE em corpos DIFERENTES</u>

Qual é a reação de **mg?**

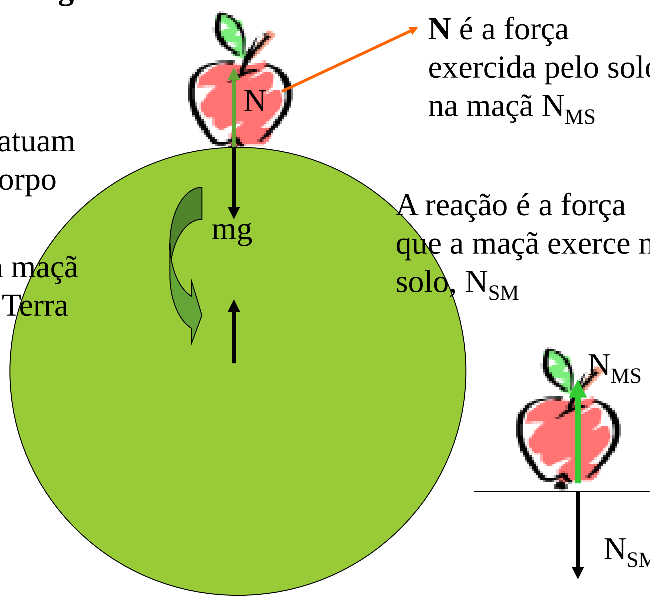
Será N?

Não! **N** e **mg** atuam no **MESMO** corpo

É a força que a maçã exerce sobre a Terra

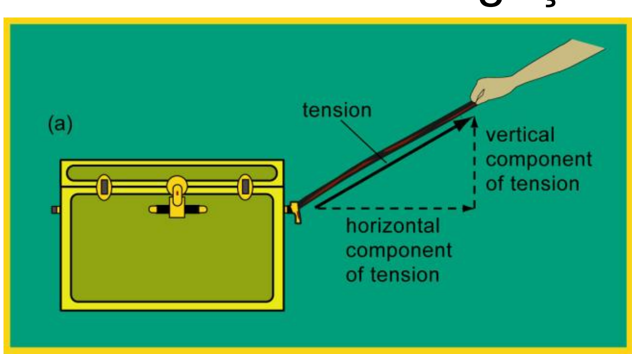
N é a força exercida pelo solo na maçã N_{MS}

A reação é a força que a maçã exerce no solo, N_{SM}



Forças de contacto e ligação

Tensões e outras ligações



O corpo está sujeito a uma força, a tensão, devida à corda esticada.

Que forças estão aplicadas na corda? E na mão? São par A-R?

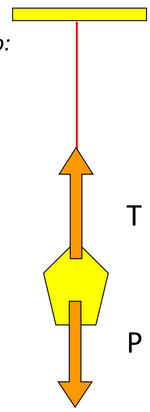
Tensões e outras ligações

Um candeeiro está suspenso do teto por um cabo (suposto sem peso).

Forças sobre o candeeiro:

P:Peso do candeeiro

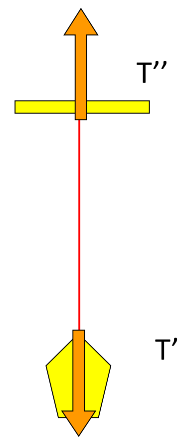
T:Tensão exercida pelo cabo



Forças sobre o cabo:

T'': Tensão exercida pelo tecto, "sustentando" o cabo

T': tensão exercida pelo candeeiro, "puxando" o cabo para baixo



Tensões e outras ligações

Qual a relação entre as forças? Quais são par ação-reação?

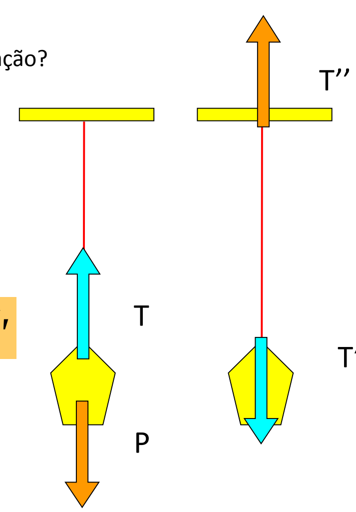
Par ação-reação: T e T' $\vec{T} = -\vec{T}'$

Que mais podemos saber?

Candeeiro em repouso: $\vec{T} + \vec{P} = \vec{0} \Rightarrow \vec{T} = -\vec{P}$

Cabo em repouso: $\vec{T}'' + \vec{T}' = \vec{0} \Rightarrow \vec{T}'' = -\vec{T}'$

Então: $\vec{T}'' = -\vec{T}$



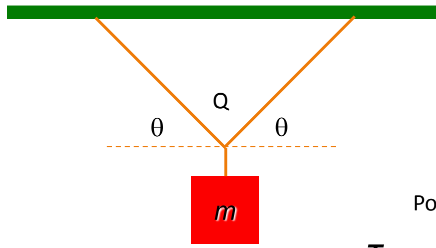
Mas **NÃO** são par acção-reacção!
Se não confundir, podemos usar a mesma letra

O módulo de todas as forças é igual ao do peso

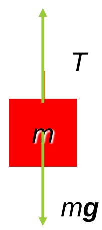
equilíbrio

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

Massa m em equilíbrio

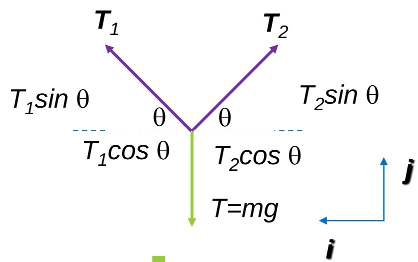


Massa m



$T=mg$

Ponto Q



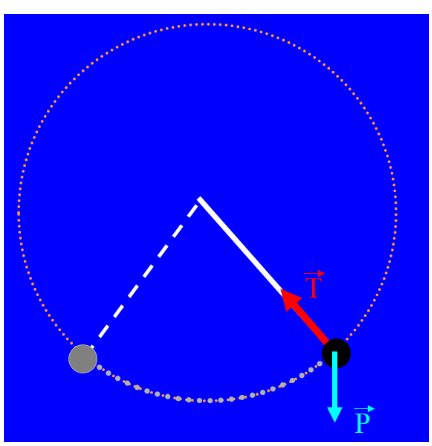
$F_{x,Res.} = T_1 \cos\theta - T_2 \cos\theta = 0$

$F_{y,Res.} = T_1 \sin\theta + T_2 \sin\theta - m\mathbf{g} = 0$

$$T_1 = T_2 = \frac{mg}{2\sin\theta}$$

http://www.walter-fendt.de/ph11e/equilibrium.htm

Pêndulo simples
(movimento no plano vertical)



Trajetória circular

Forças: $\vec{P}$ $\vec{T}$

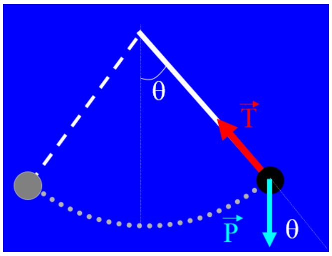
Em qualquer posição:

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

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

http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/Pendulum/Pendulum.html

Posição extrema (v=0)



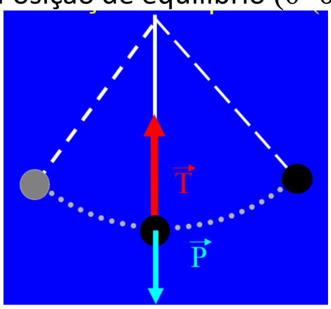
$$\vec{T}+\vec{P}=m\vec{a} \qquad \vec{a}=\vec{a}_t+\vec{a}_n$$

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

$$|\vec{T}|-|\vec{P}|\cos\theta = m\frac{v^2}{L}=0$$

$$|\vec{P}|\sin\theta = m|\vec{a}_t|$$

Posição de equilíbrio (θ=0)



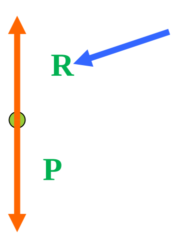
$$|\vec{T}|-|\vec{P}| = m\frac{v^2}{L}$$

Máxima tensão!

$$|\vec{a}_t| = 0$$

Um homem de pé sobre uma balança:

No elevador…..



R é força de reação

= leitura na balança

Se a = 0==> $|\vec{R}|=|\vec{P}|$ **'peso' normal**

Na subida ==> $|\vec{R}|=|\vec{P}|+m|\vec{a}|$ **'peso' maior**

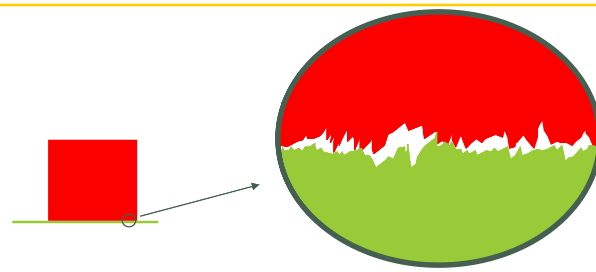
Na descida ==> $|\vec{R}|=|\vec{P}|-m|\vec{a}|$ **'peso' menor**

Balança dinamómetro

Força de atrito (sólido)

Superfícies de dois materiais em contato

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

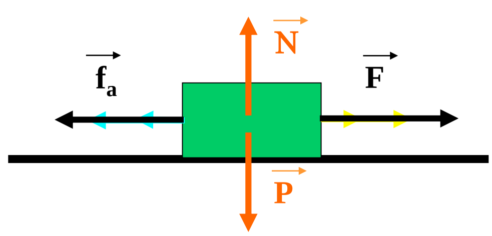


Microscopicamente a força tem origem elétrica

Lubrificação separa as superfícies

Força de atrito (estático)

Consideremos um corpo sobre uma superfície plana, horizontal, com atrito e ao qual se aplica uma força *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

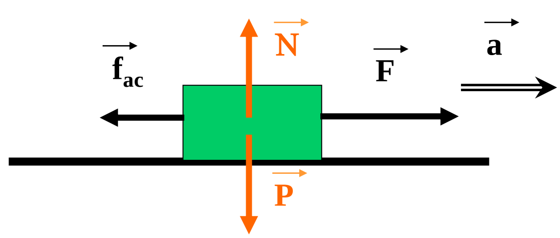
Em geral, temos:

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

Normalmente, a força de atrito não depende da área de contato

Força de atrito (cinético)

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

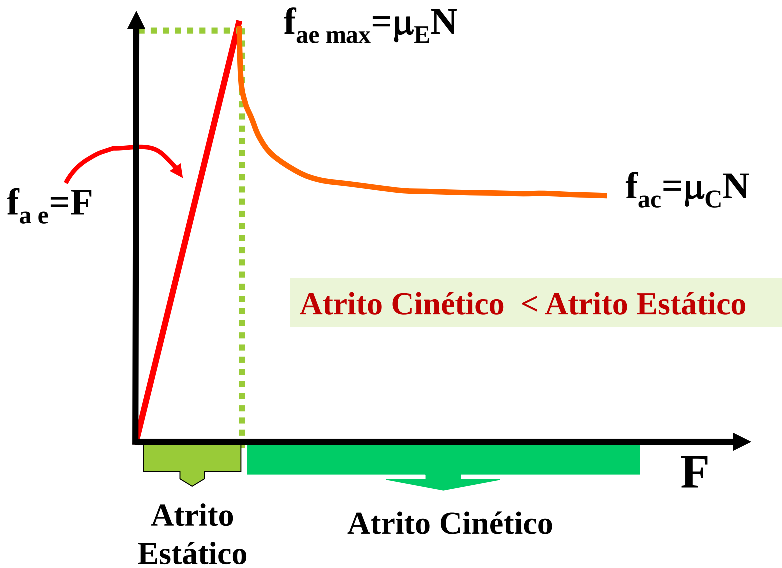


$$\boxed{f_{a.c.} = \mu_C N}$$

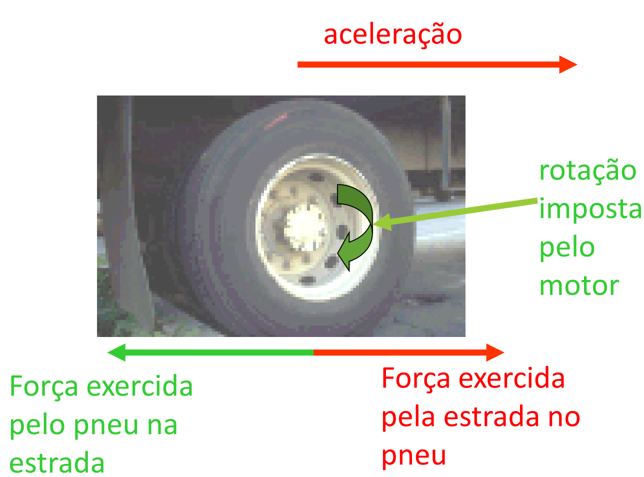
μ_C é o coeficiente de atrito cinético, para as duas superfícies

Normalmente, a força de atrito não depende da área de contato

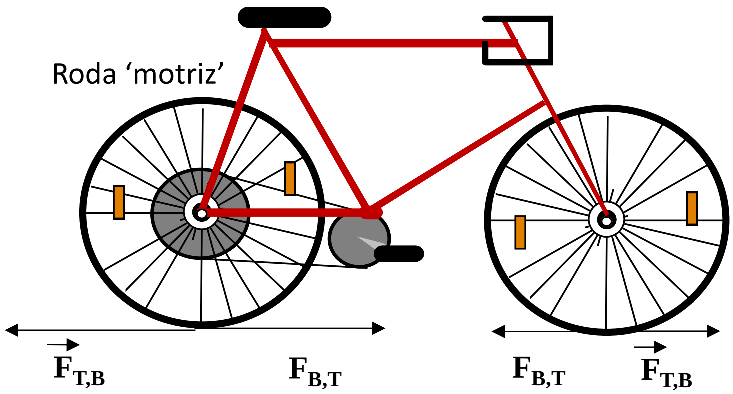
Como varia a força de atrito com F



Que força empurra o carro?

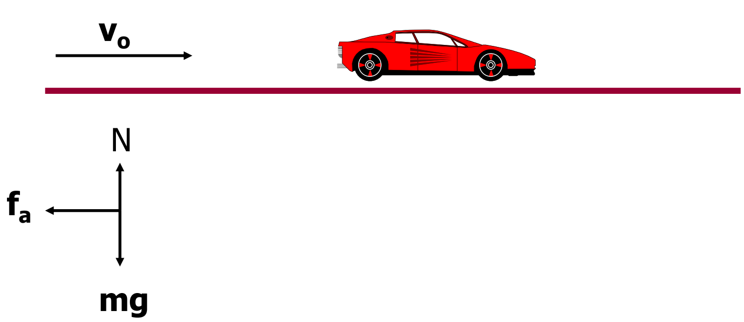


O atrito permite o movimento da bicicleta!



Apenas estão representadas forças na direção do movimento!

Travagem segura......



aceleração máxima quando f_a é máximo $f_{a,max} = \mu_E N = \boldsymbol{\mu_E mg}$

$\Sigma F = ma \rightarrow -f_{a,max} = -\mu_E mg = ma_{max}$

$$\rightarrow a_{max} = -\mu_E g$$

Distância de travagem (até v=0) num M.R.U.R.

$$d_{v=0} = \frac{v_0^{\ 2}}{2|a|}$$

d=1/2 at^2; a=v/t; t^2=v^2/a^2

Vem então: $d_{min} = \dfrac{v_0^{\ 2}}{2|a_{max}|} \Rightarrow d_{min} = \dfrac{v_0^{\ 2}}{2\mu_E g}$

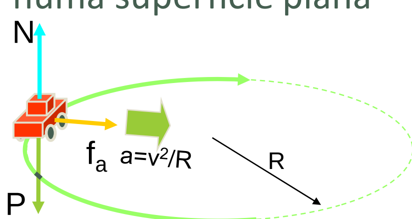
d_{min} depende de v^2. Muito sensível a v!!

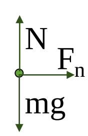
Se v_0 = 90 kmh^{-1} (25 m s^{-1})

e μ = 0.6 ==> d ≈ 50 m!!

Para que serve o ABS?

Curvar numa superfície plana





$$F_n = \frac{mv^2}{r}$$

O atrito atua como F_n

Se não houver derrapagem o atrito é estático

$$F_n = f_{ae} \le \mu_E N$$

$$\frac{mv^2}{r} \le \mu_E N \qquad \frac{mv^2}{r} \le \mu_E mg$$

$$v_{max}^{\ 2} = \mu_E gr$$

A velocidade máxima não depende de m!

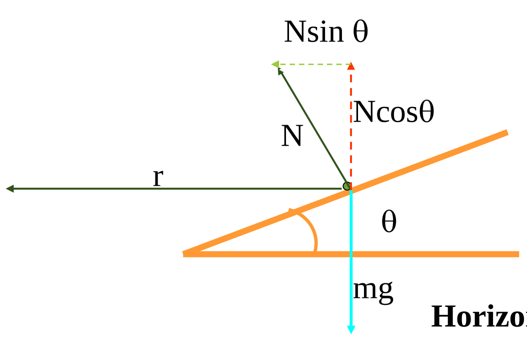
$$v_{max}^{2} = \mu_E g r$$

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 a **v** pois a expressão vem com $\mathbf{v}^2$

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

Curva inclinada sem atrito



Vertical

$\Sigma F_y = ma_y = 0$

$N\cos\theta = mg$

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

Horizontal

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

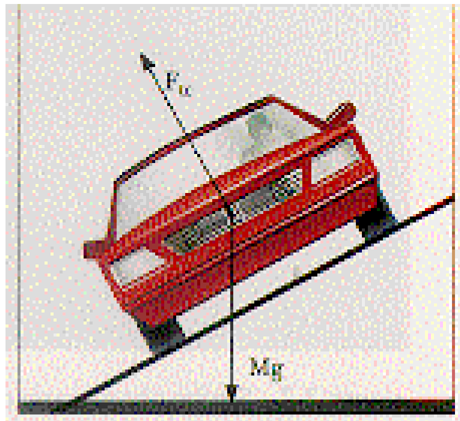
$$mg\frac{\sin\theta}{\cos\theta} = m\frac{v^2}{r}$$

$$\tan\theta = \frac{v^2}{gr}$$

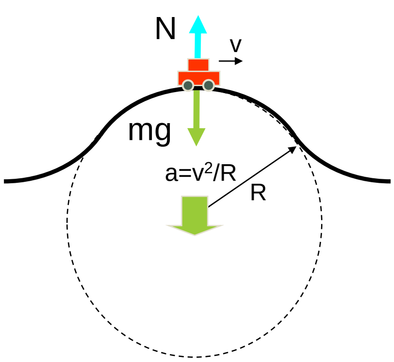
Para um dado θ há uma velocidade de segurança **v.**

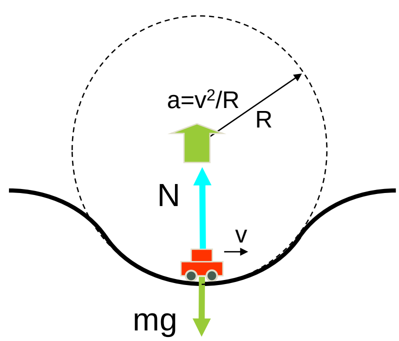
lembrar tgθ = μ_E!!

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



Lombas e valetas...





$\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a} = mv^2/R$

$mg - N = mv^2/R$

$N = mg - mv^2/R$

$\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a} = mv^2/R$

$N - mg = mv^2/R$

$N = mg + mv^2/R$

Força elástica: proporcional ao alongamento

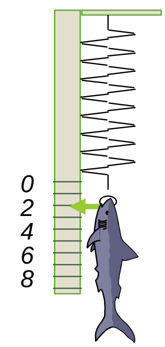
$$\vec{F}_{el.} = -k(\vec{x} - \vec{x}_o) \Leftrightarrow$$

Lei de Hooke

$$\boxed{F_{el.} = -k(x - x_o)}$$

k – constante elástica da mola

x_0 – posição do extremo da mola quando esta está no seu tamanho natural



Se consideramos x_0=0

$$F_{el.} = -kx$$

Força elástica: proporcional ao alongamento

relaxada

elongada

comprimida