

# Força e movimento

Flaviano Williams Fernandes

Instituto Federal do Paraná  
Campus Irati

29 de Setembro de 2021

# Sumário

- 1 Primeira Lei de Newton
- 2 Segunda Lei de Newton
- 3 Terceira Lei de Newton
- 4 Algumas forças específicas
- 5 Apêndice

## Mecânica newtoniana

- ✓ A mecânica newtoniana consiste no estudo do movimento através as três Leis de Newton, que exprime a relação entre a força e a aceleração produzida por essa força;
- ✓ A mecânica newtoniana pode ser aplicado no estudo dos mais diversos objetos;
- ✓ A mecânica newtoniana não se aplica a todos os casos:
  - ✗ Para velocidades muito elevadas, se comparadas a velocidade da luz, a mecânica newtoniana é substituída pela teoria da relatividade restrita;
  - ✗ Para objetos muito pequenos, de dimensões subatômicas, a mecânica newtoniana é substituída pela mecânica quântica.

## Conceitos de força e aceleração

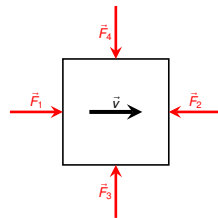
### Primeira Lei de Newton

Se nenhuma força resultante atua sobre um objeto, a velocidade não pode mudar, ou seja, o objeto não pode sofrer aceleração.

Na figura ao lado, se  $F_1 = F_2$  e  $F_3 = F_4$  temos que a força resultante será zero, portanto o objeto permanecerá com a mesma velocidade  $\vec{v}$ .

### Corollary

*Mesmo que um objeto esteja submetido a várias forças, se a resultante das forças for zero, o objeto não sofrerá aceleração.*



Forças atuando em um objeto se movendo com velocidade constante.

## Movimento relativo

Podemos definir o vetor posição da partícula P como

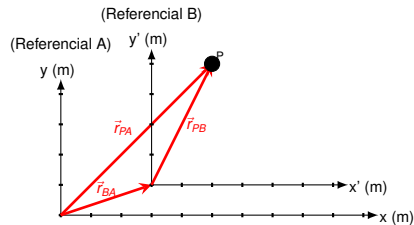
$$\vec{r}_{PA} = \vec{r}_{PB} + \vec{r}_{BA}.$$

Derivando temos a velocidade da partícula nos dois referenciais A e B ( $\vec{v}_{PA}$  e  $\vec{v}_{PB}$ ),

$$\vec{v}_{PA} = \vec{v}_{PB} + \vec{v}_{BA}.$$

Derivando novamente temos a aceleração,

$$\vec{a}_{PA} = \vec{a}_{PB} + \vec{a}_{BA}.$$



Vetores posição da partícula P nos referenciais A e B.

## Conceito da Segunda Lei de Newton

### Segunda Lei de Newton

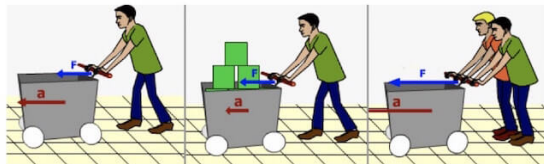
A força resultante que age sobre um objeto é igual ao produto da massa do objeto pela aceleração. Em termos matemáticos, podemos escrever como

$$\vec{F}_{\text{res}} = m\vec{a}.$$

### Corollary

No SI a unidade de medida da força é Newton (N),

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$$



Relação entre força, massa e aceleração.

## Diagrama de objeto isolado

Sabendo que a segunda lei de Newton é uma equação vetorial, é conveniente separá-la em três equações, uma para cada eixo do sistema de coordenadas xyz,

$$\vec{F}_{\text{res},x} = ma_x, \quad \vec{F}_{\text{res},y} = ma_y, \quad \vec{F}_{\text{res},z} = ma_z,$$

A componente da aceleração em relação a um dado eixo é causada apenas pela soma das componentes das forças em relação a esse eixo e não por componentes de forças em relação a qualquer outro eixo.

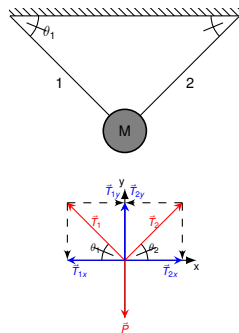


Diagrama de objeto isolado da esfera M.

## Ação e reação

### Terceira Lei de Newton

Quando dois objetos (1 e 2) interagem, as forças que cada objeto exerce sobre o outro são iguais em módulo e têm sentidos opostos,

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

### Corollary

*A somatória das forças no sistema é zero.*



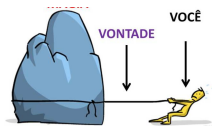
Sistema carregador+caixa e representação da terceira lei de Newton.



## Referenciais inerciais

### Referencial inercial

Referencial no qual as Leis de Newton são válidas.



Objeto com maior inércia.

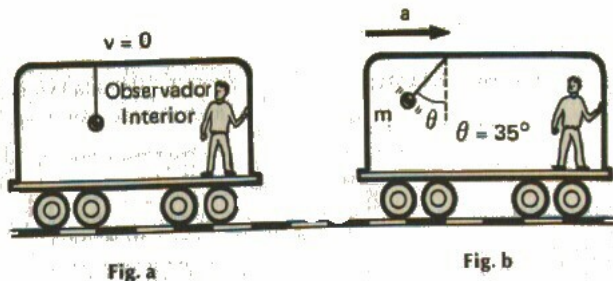


Objeto com menor inércia.

### Corollary

*A taxa de variação do estado de movimento de um objeto depende da massa desse objeto, definido como a inércia do movimento.*

## Referenciais não inerciais



O trem e a pessoa dentro dele são considerados referenciais não-inerciais para o observador exterior. Por isso a pessoa que está no vagão vê a bola inclinada, como se existisse uma força fictícia empurrando ela para trás, contradizendo as Leis de Newton do movimento.

## Força gravitacional

Considere o objeto de massa  $m$  caindo em queda livre. Nesse caso a única força atuando nele é a força da gravidade. Relacionando com a segunda lei de Newton ( $\vec{F} = m\vec{a}$ ) temos

$$\vec{F} = m\vec{g}.$$

Considerando que o deslocamento que o objeto realiza é insignificante ao tamanho da Terra, podemos dizer que  $\vec{g}$  é praticamente constante.

Aceleração da gravidade em diferentes latitudes.

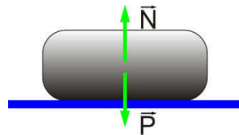
Latitude	$g(m/s^2)$
0	9,7803
30	9,7932
45	9,8017
60	9,8191
90	9,8322

### Corollary

*O peso  $P$  de um objeto é igual ao módulo da força gravitacional que age sobre o objeto, aplicando nele uma aceleração igual a  $g$ .*

## Força Normal

Considere um bloco de massa  $m$  pressionando uma mesa para baixo devido a força da gravidade  $\vec{F}_g$ . Pela terceira lei de Newton, a mesa irá empurrar o bloco para cima aplicando uma força  $\vec{F}_N$  com a mesma intensidade.



Forças peso  $\vec{P}$  e normal  $\vec{N}$ .

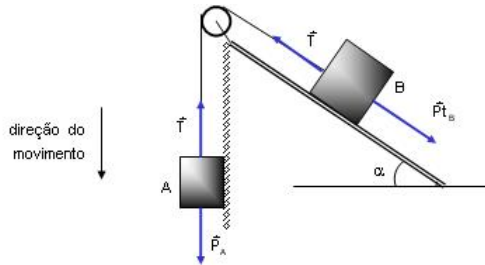
### Corollary

- ✓ Quando um objeto exerce uma força sobre uma superfície, a superfície (ainda que aparentemente rígida) se deforma e empurra o objeto com uma força normal que é perpendicular à superfície;
- ✓ A força normal será sempre perpendicular a superfície de contato.

## Tração

Quando uma corda é presa a um objeto e esticada, a corda aplica ao objeto uma força  $\vec{T}$  orientada na direção da corda. Essa força é chamada força de tração.

- ✓ A corda é frequentemente considerada sem massa;
- ✓ As forças nas duas extremidades da corda são iguais em módulo.



Tração atuando na corda e nos blocos A e B.

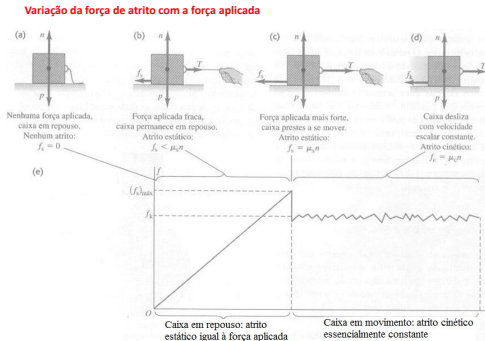
## Força de atrito

A experiência mostra que, quando um objeto não lubrificado pressiona uma superfície nas mesmas condições, a força de atrito possui três propriedades:

- ✓ Se o objeto não se move, a força de atrito se iguala em módulo a força  $\vec{F}$ ;
- ✓ A força de atrito possui valor máximo de  $f_{max} = \mu_s N$ , onde  $\mu_s$  é o coeficiente de atrito estático e  $N$  o módulo da força normal;
- ✓ Se o objeto começa a deslizar na superfície, o módulo da força de atrito diminui rapidamente para um valor dado por  $f_k = \mu_k N$ , onde  $\mu_k$  é o coeficiente de atrito cinético,  $\mu_k < \mu_s$ .

## Relação entre força de atrito e a força atuando no objeto (continuação)

- ✓ A força de atrito é zero se não há outras forças atuando no objeto;
- ✓ A força de atrito é igual a força externa se o objeto está em repouso;
- ✓ A força de atrito máxima é igual a  $\mu_s N$ .
- ✓ Se o objeto está em movimento a força de atrito é igual a  $\mu_k N$ .



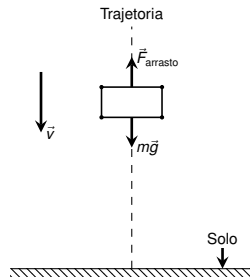
Relação entre força de atrito e a tração na corda.

## Força de arrasto

Quando um objeto se movimenta na presença de um fluido como o ar, ele experimenta uma força de resistência ao seu movimento chamada força de arrasto dado por

$$F_{arrasto} = bv^2,$$

onde  $b$  é o coeficiente de arrasto que depende da densidade do ar e da área de contato do objeto.  $F_{arrasto}$  aumenta com o quadrado da velocidade, portanto à medida que o objeto acelera  $F_{arrasto}$  aumenta.



Força de arrasto atuando em um objeto em queda.



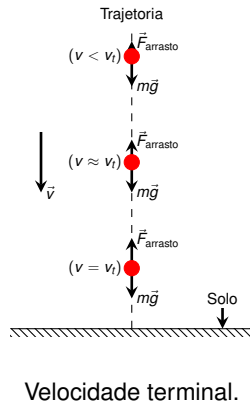
## Força de arrasto (continuação)

A força de arrasto é contrária a força da gravidade, portanto à medida que  $F_{\text{arrasto}}$  aumenta a aceleração diminui. Portanto, a velocidade atinge um limite chamado velocidade terminal  $v_t$ . Aplicando a segunda lei de Newton,

$$bv^2 - F_g = 0.$$

### Velocidade terminal

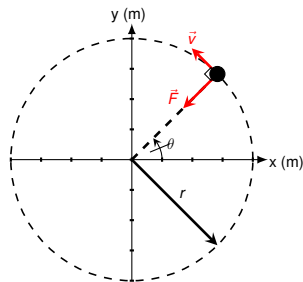
$$v_t = \sqrt{\frac{F_g}{b}}.$$



## Força centrípeta

Vimos que um objeto que descreve uma trajetória circular de raio  $r$  está sujeito a uma aceleração apontada para o centro da circunferência chamada aceleração centrípeta,  $a = v^2/r$ . Pelas leis de Newton, a aceleração em um objeto é devido a uma força resultante, portanto podemos dizer que existe uma força sendo aplicada no caso do movimento circular. Essa força é chamada de força centrípeta,

$$F = m \frac{v^2}{r}.$$



Força centrípeta e velocidade tangencial em um movimento circular.

## Transformar um número em notação científica

### Corollary

*Passo 1: Escrever o número incluindo a vírgula.*

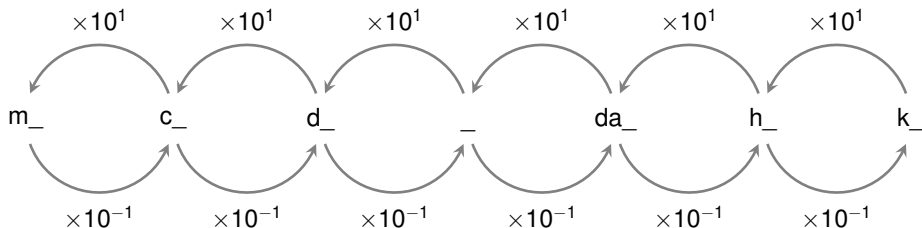
*Passo 2: Andar com a vírgula até que reste somente um número diferente de zero no lado esquerdo.*

*Passo 3: Colocar no expoente da potência de 10 o número de casas decimais que tivemos que "andar" com a vírgula. Se ao andar com a vírgula o valor do número diminuiu, o expoente ficará positivo, se aumentou o expoente ficará negativo.*

### Exemplo

$$6\,590\,000\,000\,000\,000,0 = 6,59 \times 10^{15}$$

## Conversão de unidades em uma dimensão

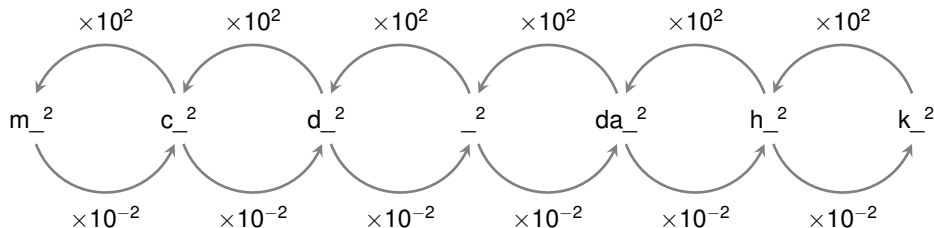


$$1 \text{ mm} = 1 \times 10^{(-1) \times 2} \text{ dm} \rightarrow 1 \times 10^{-2} \text{ dm}$$

$$2,5 \text{ kg} = 2,5 \times 10^{(1) \times 6} \text{ mg} \rightarrow 2,5 \times 10^6 \text{ mg}$$

$$10 \text{ ms} = 10 \times 10^{(-1) \times 3} \text{ s} \rightarrow 10 \times 10^{-3} \text{ s}$$

## Conversão de unidades em duas dimensões

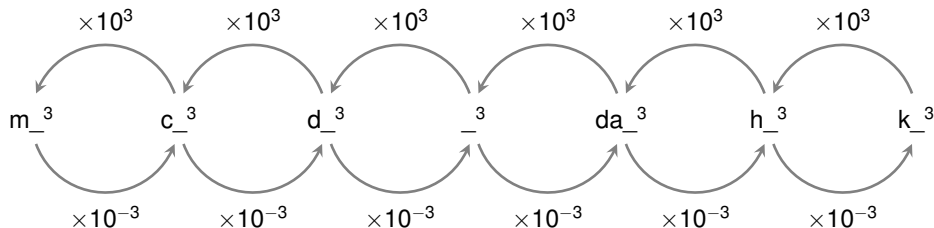


$$1 \text{ mm}^2 = 1 \times 10^{(-2) \times 2} \text{ dm}^2 \rightarrow 1 \times 10^{-4} \text{ dm}^2$$

$$2,5 \text{ m}^2 = 2,5 \times 10^{(2) \times 3} \text{ mm}^2 \rightarrow 2,5 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$10 \text{ ms}^2 = 10 \times 10^{(-2) \times 3} \text{ s}^2 \rightarrow 10 \times 10^{-6} \text{ s}^2$$

## Conversão de unidades em três dimensões



$$1 \text{ mm}^3 = 1 \times 10^{(-3) \times 2} \text{ dm}^3 \rightarrow 1 \times 10^{-6} \text{ dm}^3$$

$$2,5 \text{ m}^3 = 2,5 \times 10^{(3) \times 3} \text{ mm}^3 \rightarrow 2,5 \times 10^9 \text{ mm}^3$$

$$2,5 \text{ km}^3 = 2,5 \times 10^{(3) \times 6} \text{ mm}^3 \rightarrow 2,5 \times 10^{18} \text{ mm}^3$$

## Alfabeto grego

Alfa	$A$	$\alpha$
Beta	$B$	$\beta$
Gama	$\Gamma$	$\gamma$
Delta	$\Delta$	$\delta$
Epsílon	$E$	$\epsilon, \varepsilon$
Zeta	$Z$	$\zeta$
Eta	$H$	$\eta$
Teta	$\Theta$	$\theta$
Iota	$I$	$\iota$
Capa	$K$	$\kappa$
Lambda	$\Lambda$	$\lambda$
Mi	$M$	$\mu$

Ni	$N$	$\nu$
Csi	$\Xi$	$\xi$
ômicon	$O$	$o$
Pi	$\Pi$	$\pi$
Rô	$P$	$\rho$
Sigma	$\Sigma$	$\sigma$
Tau	$T$	$\tau$
Ípsilon	$\Upsilon$	$\upsilon$
Fi	$\Phi$	$\phi, \varphi$
Qui	$X$	$\chi$
Psi	$\Psi$	$\psi$
Ômega	$\Omega$	$\omega$

## Observações<sup>1</sup>

Esta apresentação está disponível para download no endereço  
<https://flavianowilliams.github.io/education>

---

<sup>1</sup> Este material está sujeito a modificações. Recomenda-se acompanhamento permanente.



## Referências

 D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Fundamentos de física. Mecânica, v.1, 10. ed., Rio de Janeiro, LTC (2016)