

# Física Geral I

## F -128

Aula 5  
Força e movimento I:  
Leis de Newton

2<sup>º</sup> semestre, 2012

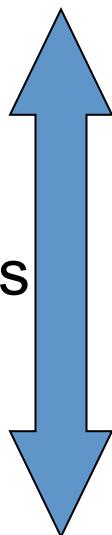
# Leis de Newton (Isaac Newton, 1642-1727)

- Até agora apenas descrevemos os movimentos  
® **cinemática.**
- É impossível, no entanto, **prever** movimentos usando somente a cinemática.
- **Forças** são as causas das modificações no movimento. Seu conhecimento permite prever o movimento subsequente de um objeto.
- O estudo das causas do movimento é **Dinâmica.**



# O legado de Newton

~ 100 anos



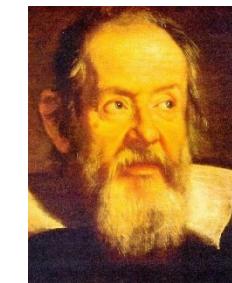
## Experimentação

Tycho Brahe (1546-1601)

Johannes Kepler (1571-1630)

Galileu Galilei (1564-1642)

Isaac Newton (1642-1727)



**Algumas pessoas consideram o legado de Newton é possivelmente a criação mais importante e bem sucedida da história do pensamento humano !**

# Leis de Newton

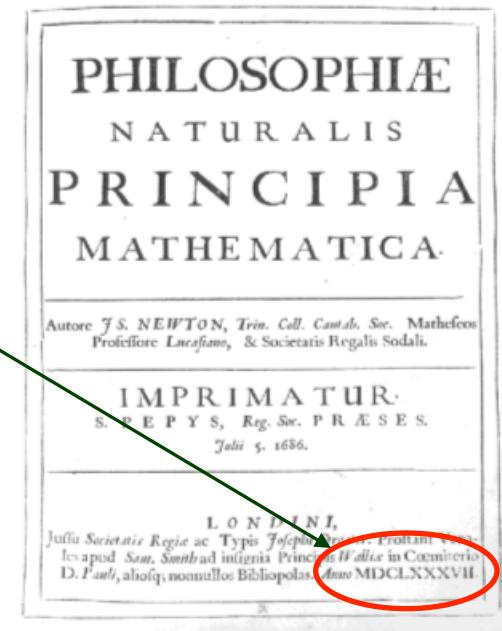
As leis que descrevem os movimentos de um corpo foram concebidas por Isaac Newton em 1665-66 na fazenda da família onde ele se refugiou fugindo da peste negra.

A publicação do trabalho aconteceu em 1687 no livro **Philosophiae Naturalis Principia Mathematica** (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural).

Hoje em dia são conhecidas como as **Leis de Newton** e foram baseadas em cuidadosas observações dos movimentos.

Essas leis permitem uma descrição (e previsão) extremamente precisa do movimento de todos os corpos, simples ou complexos.

Em **dois limites** as Leis de Newton deixam de ser válidas: na dinâmica de sistemas **muito pequenos (física quântica)** ou em situações que envolvem **velocidades muito grandes (relatividade restrita)**.



# Leis de Newton - Comentários

Nos domínios (nas dimensões) molecular, atômico e subatômico, precisamos usar mecânica quântica ou ainda mecânica quântica relativística. As propriedades determinadas pela mecânica quântica são a base para o mundo macroscópico, também.

Algumas pessoas consideram o legado de Einstein também muito importante: a relatividade restrita e a relatividade geral. A equivalência entre massa e energia aparece mesmo se as velocidades não são altas.

# Forças de contato e forças à distância

O conceito leigo de força é um conceito primário, intuitivo. Por exemplo, é preciso “fazer força” para deformar uma mola, empurrar um carrinho, etc.

Em Física, pode-se definir como força um agente capaz de alterar o estado de movimento **retilíneo uniforme** de um corpo ou de produzir **deformações** em um corpo elástico. Em muitos casos, uma força faz as duas coisas ao mesmo tempo.

As forças podem, de maneira geral, ser classificadas em dois grandes grupos: *forças de ação à distância* e *forças de contacto* (que incluem também as *forças de tração*). A força de atração gravitacional é uma força de ação à distância; as **forças de atrito** (com o ar e com o solo) e a força **normal** são exemplos de forças de contacto.

As forças que agem à distância **diminuem com esta**.

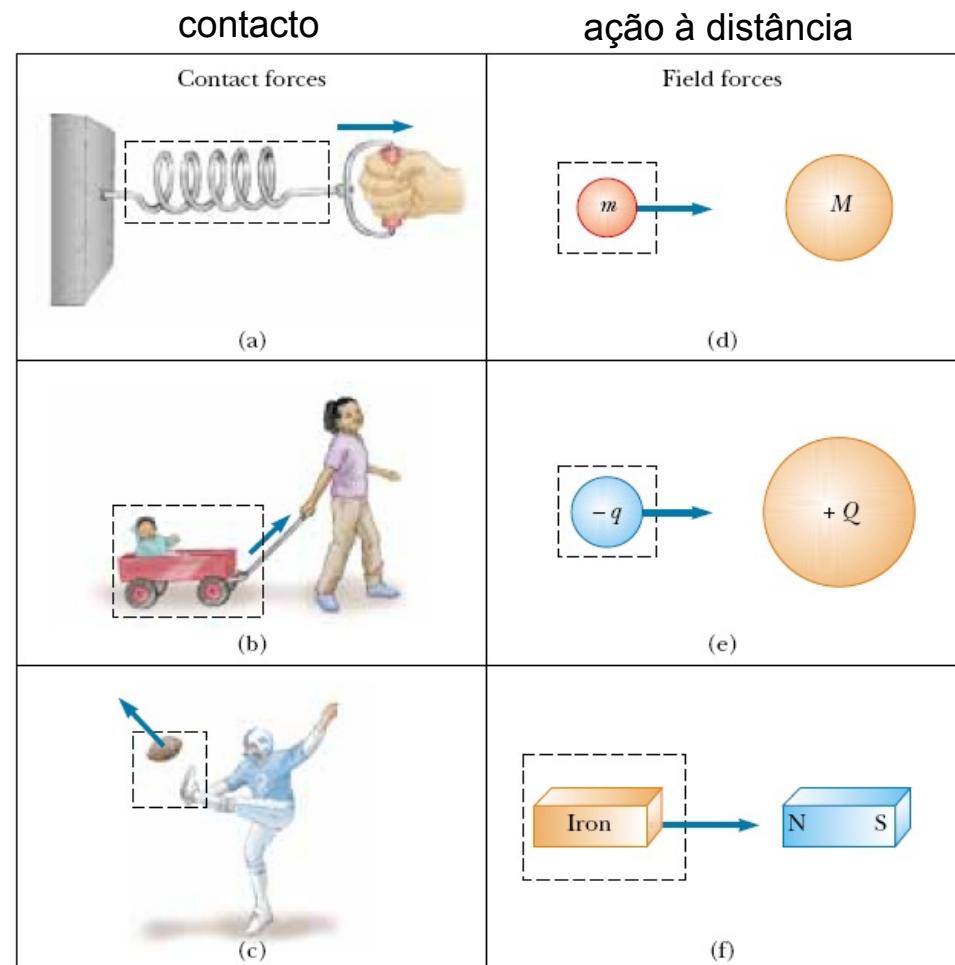
# Forças fundamentais da natureza:

Gravitacional

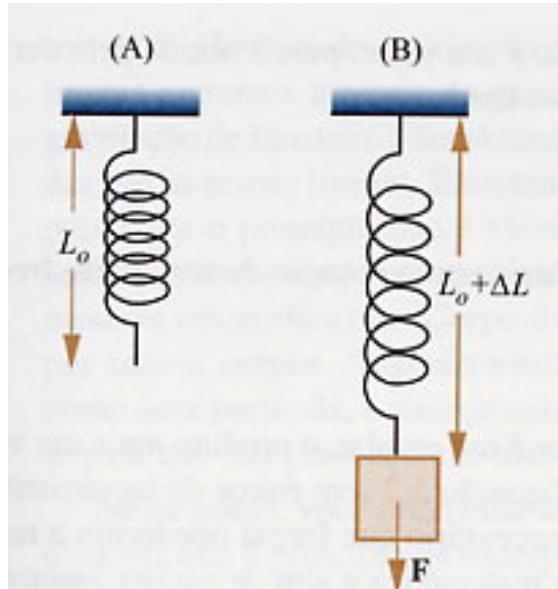
Eletromagnética

Força fraca

Força forte



# Como medir uma força?



Corpos elásticos se deformam sob ação de forças de contato. Podemos medir o efeito de uma força aplicada a um corpo pela distensão que ela produz numa mola presa ao corpo. O **dinamômetro** baseia-se neste princípio.

*Vamos usar provisoriamente a escala da régua como unidade de força:* a força da mola é:

$$F = k \boxed{W} L$$

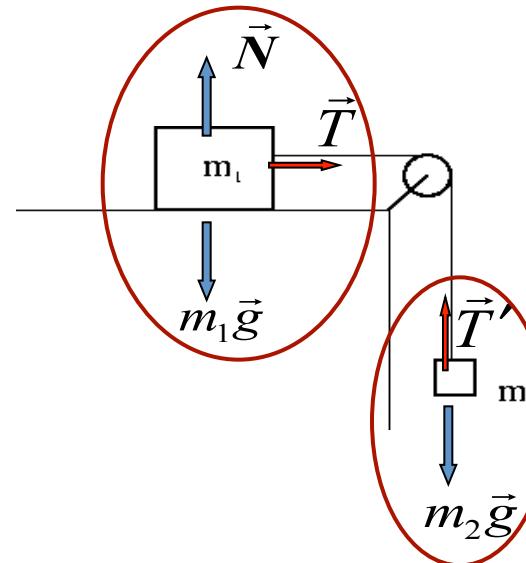
Esta é a Lei de Hooke  
 (homenagem a R. Hooke, 1635-1703, o primeiro a formulá-la)

# Resultante de forças

As forças se somam como um vetor: a resultante de ***n*** forças agindo sobre um corpo é:

$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n$$

Diagrama de corpo livre: isolamos o corpo em questão colocando **todas** as forças externas que agem **sobre** o corpo.  
Exemplo:



Forças internas  
x  
forças externas

# Força e la Lei de Newton

Uma partícula sujeita a uma **força resultante nula** mantém o seu estado de movimento. Se ela estiver em repouso, **permanece** indefinidamente em repouso; se estiver em MRU, **mantém** sua velocidade (constante em módulo, direção e sentido).

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{v} = \vec{v}_0 = cte \quad \xrightarrow{\text{ }} \boxed{\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{0}} \quad (1.^{\text{a}} \text{ lei de Newton})$$

O **repouso** é apenas um caso particular da expressão acima:  $\vec{v}_0 = \vec{0}$

Do ponto de vista da dinâmica, ausência de forças e resultante de forças nula são equivalentes.

Quando observamos um corpo colocado em movimento (pela ação de uma força) sempre verificamos a diminuição de sua velocidade após o cessar da força. Isto porque é praticamente impossível eliminar as forças de atrito completamente.

# Q1: Força resultante nula.

Você empurra um carrinho de rolemã numa superfície plana durante 10 ms e o solta. O carrinho parte a uma velocidade inicial de 5 m/s. Você observa que depois de 10 s o carrinho está completamente parado.

Esta observação é coerente com a 1<sup>a</sup> Lei de Newton?

- A. sim
- B. não

[MC Types]

[Default]

[MC Any]

[MC All]

# Referencial inercial

A primeira lei pode ser tomada como uma **definição** de um **sistema de referência inercial**: se a força total que atua sobre uma partícula é zero, existe um conjunto de sistemas de referência, chamados **inerciais**, nos quais ela permanece em **repouso** ou em **movimento retilíneo e uniforme** (tem aceleração nula).

- Se um referencial é **inercial**, qualquer outro referencial que se move com **velocidade constante** em relação a ele é também **inercial**.

$$\vec{v}_{BA} = \xrightarrow{\text{constante}} \Rightarrow \vec{a}_{BA} = \vec{0}$$

# Referencial inercial

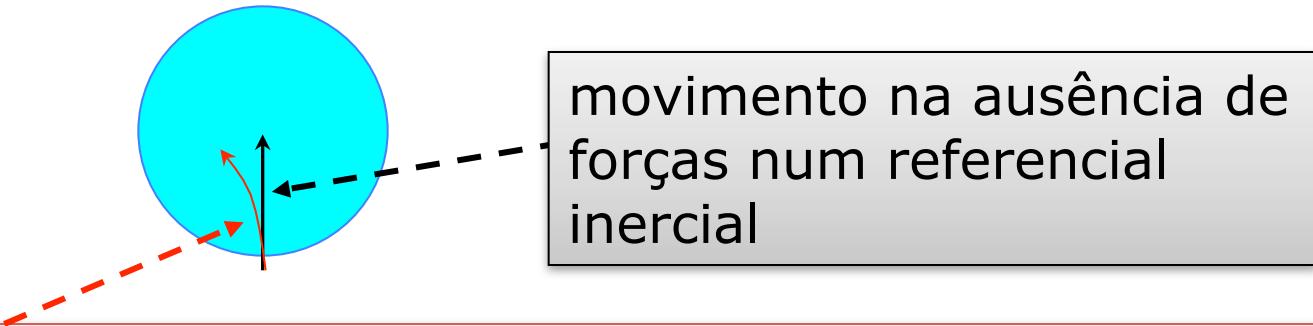
- Na maioria das situações (pequenos deslocamentos), um **referencial fixo na Terra** é uma boa aproximação a um referencial inercial. Entretanto, quando os efeitos de rotação da Terra em torno de seu eixo tornam-se não desprezíveis, outra escolha se faz necessária: **referenciais em rotação não são inerciais.**
- Um **referencial em repouso em relação às estrelas distantes (“fixas”)** é a “melhor” escolha de um referencial inercial.

# Referencial inercial

## Exemplos de referenciais não-iniciais:

- um veículo acelerado, como um avião ou um elevador;
- a superfície da Terra (girando) no caso de deslocamentos grandes.

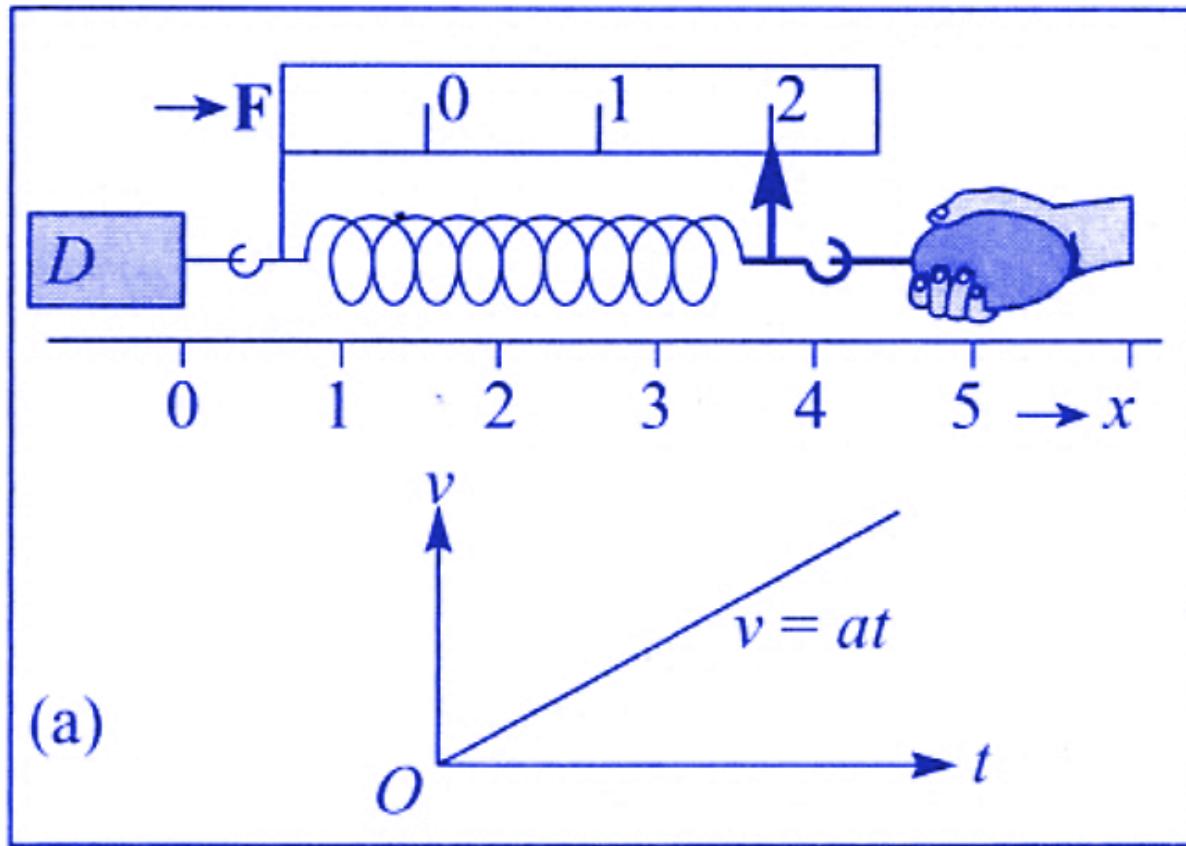
Tomemos uma partícula indo do polo Sul ao polo Norte de uma esfera sem atrito. Se esta esfera gira, alguém que acompanha o movimento da Terra enxergará a partícula descrevendo um movimento “acelerado” no sentido oposto ao da rotação da Terra.



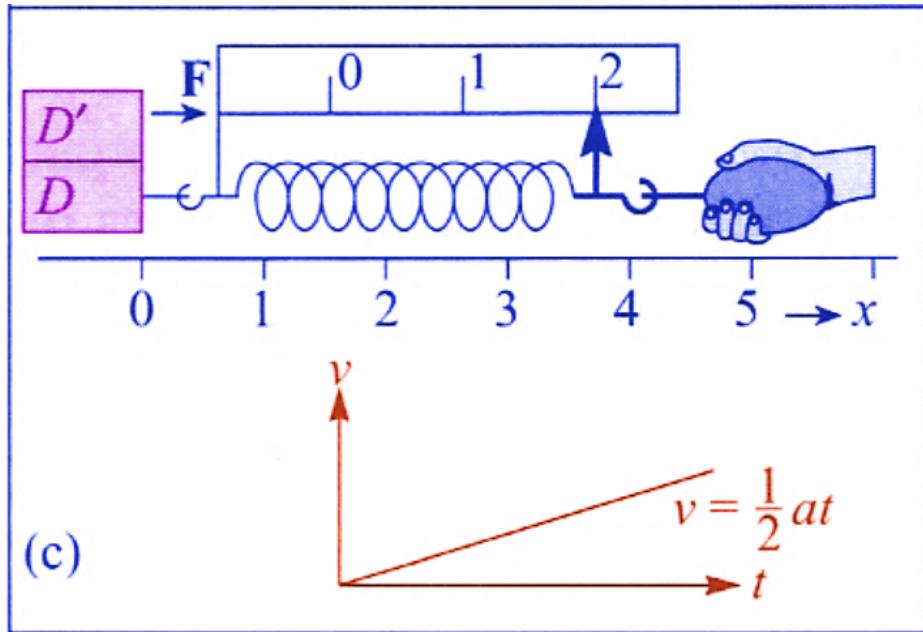
o mesmo movimento quando o plano gira (como na plataforma de um carrossel, ou na Terra). Desafio: um navio percorrendo uma trajetória de latitude constante “puxa” para algum lado?

# Força e aceleração

Um corpo sob a ação de uma força **resultante não nula** sofre uma **aceleração**.



# Força e massa

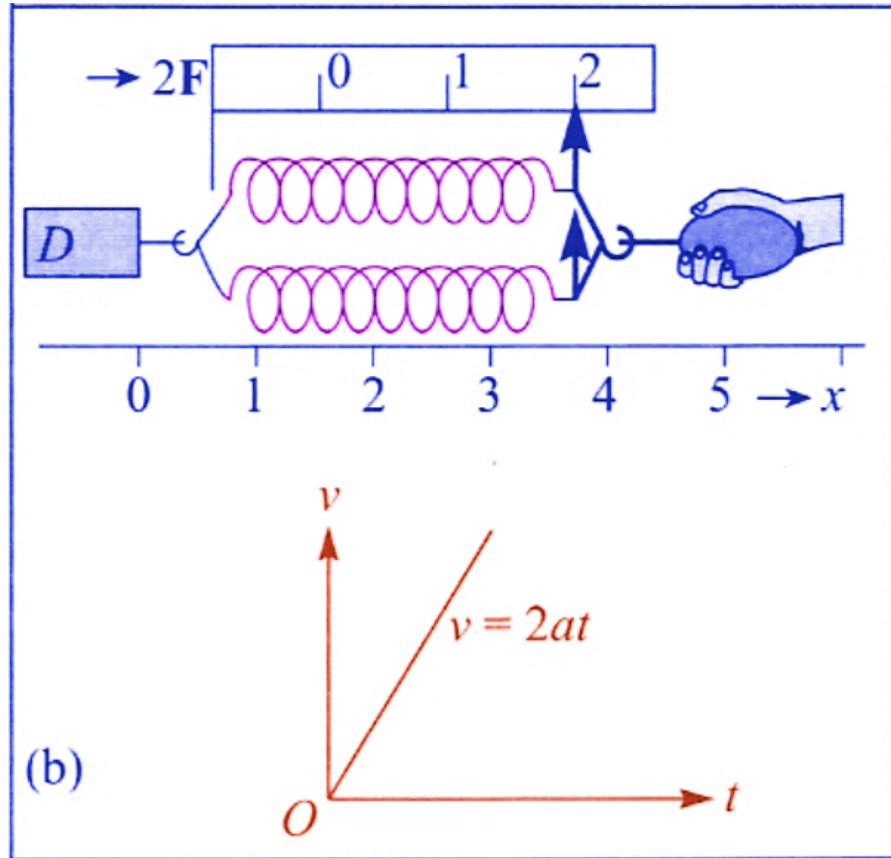


Para uma determinada força, **dobrando-se a quantidade de matéria do corpo**, sua aceleração **cai pela metade**:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} \rightarrow m_1 a_1 = m_2 a_2$$

A aceleração é inversamente proporcional à **massa** (quantidade de matéria do corpo)

# Força e aceleração



Para um determinado corpo,  
**dobrando-se** a força **dobra-se**  
a aceleração:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{F_2}{F_1}$$



A aceleração é proporcional  
à força

# 2a Lei de Newton

A aceleração de um corpo é diretamente proporcional à força resultante agindo sobre ele e inversamente proporcional à sua massa.

Matematicamente:

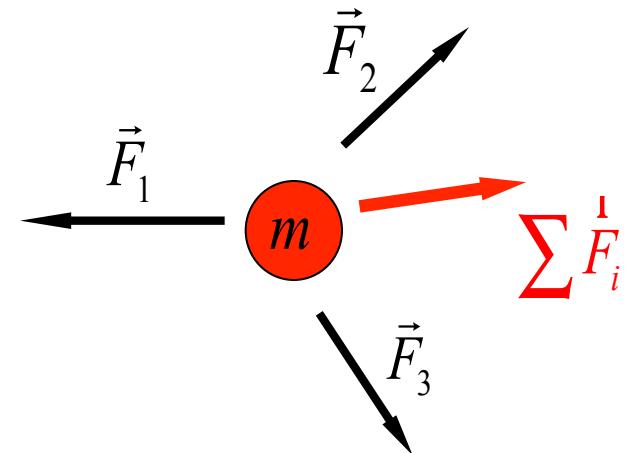
$$\vec{F}_{res} = \sum_i \vec{F}_i = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$

A massa é uma grandeza **escalar!**

A massa que aparece na 2<sup>a</sup> lei de Newton é chamada de **massa inercial**.

# Decomposição de forças e a 2a Lei de Newton

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

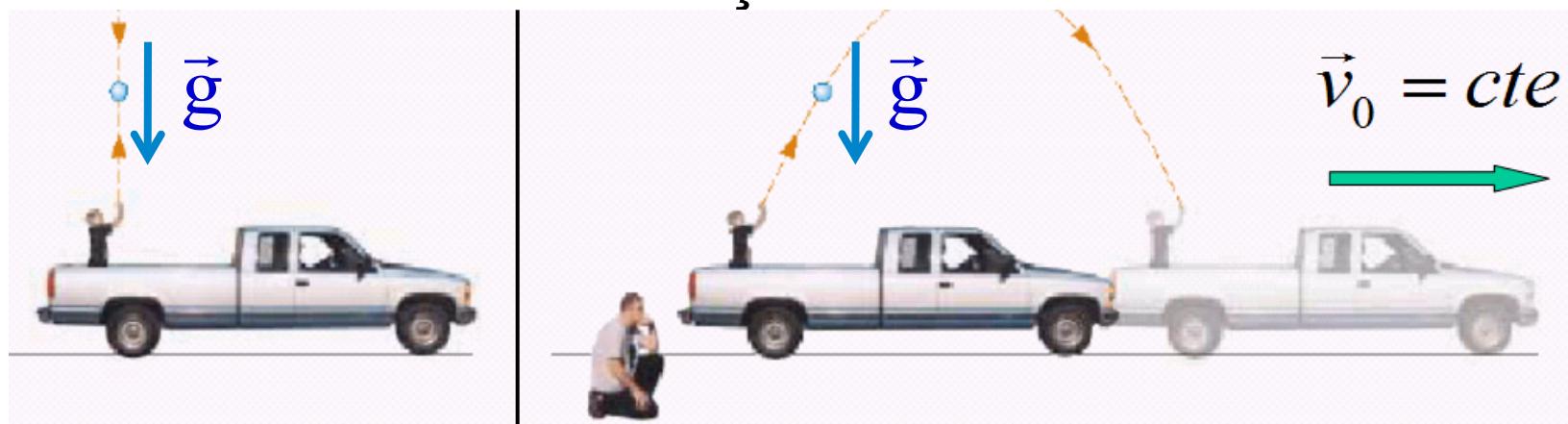


Decomposição vetorial:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_{xi} = ma_x = m \frac{dv_x}{dt} \\ \sum F_{yi} = ma_y = m \frac{dv_y}{dt} \\ \sum F_{zi} = ma_z = m \frac{dv_z}{dt} \end{array} \right.$$

## 2.a lei e referencial inercial

Tal como formulada ( $\sum \vec{F}_i = m\vec{a}$ ) , a segunda lei de Newton é válida apenas em **referenciais inerciais**. Em referenciais **não inerciais** ela deve sofrer correções.



Observadores em dois referenciais **inerciais A e B** concordam entre si sobre a resultante de forças agindo sobre o corpo e sobre sua aceleração:  $\vec{a}_{PA} = \vec{a}_{PB} + \vec{a}_{BA} = \vec{a}_{PB}$

# Unidade de massa e unidade de força

Unidade SI de massa: **kg (quilograma)**

1 kg é a massa de 1 l de água  
à temperatura de 4°C e à pressão atmosférica.

Em termos do padrão para a massa, encontramos a unidade de força: a força que produz uma aceleração de 1 m/  
 $s^2$  em um corpo de 1 kg é igual a 1 N (newton), que é a unidade SI de força.

## Q2: Definição de massa

Da maneira como foi enunciada, a segunda lei de Newton define o conceito de massa?

- A. sim
- B. não

[MC Types]

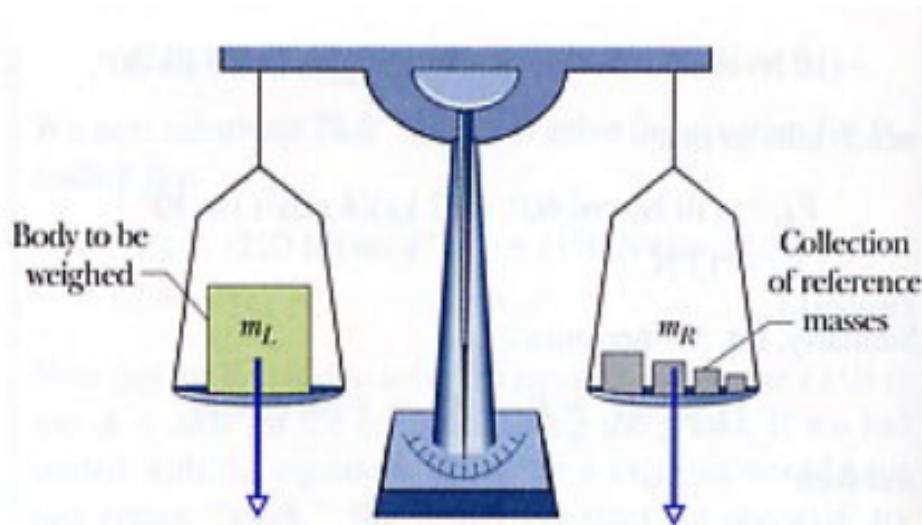
[Default]

[MC Any]

[MC All]

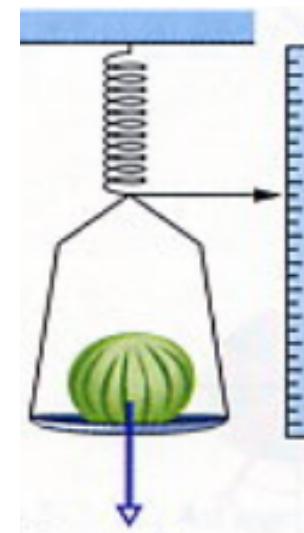
# Instrumentos de medida de massa

**Balança de braços iguais:**  
comparação com massas-  
padrão



Mesmo resultado na Terra ou na Lua.

**Balança de mola:**  
medida da força  
peso:



Resultados diferentes na  
Terra e na Lua

# Algumas forças especiais

- Força gravitacional
- Peso (peso aparente, peso x massa)
  - Força normal
  - Tração
  - Força de atrito

# Força Gravitacional

Lei da gravitação universal de Newton:

$$\vec{F} = -\frac{GMm}{r^2} \hat{r}$$

onde  $G$  é uma constante universal:  $G = 6,67 \times 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$

$M$  é a massa da Terra e  $r$  é a distância ao centro da Terra.

Para pontos suficientemente próximos da superfície da Terra:

$$\frac{GM}{r^2} \approx \frac{GM}{R_T^2} \approx g \quad (R_T \equiv \text{raio da Terra})$$

Então:

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

ou seja, *considerando-se a Terra com um referencial inercial*, o peso de um corpo coincide com a força gravitacional exercida sobre ele.

# Força Normal

Quando um corpo exerce uma força sobre uma superfície, a superfície se deforma e empurra o corpo com uma força normal que é perpendicular à superfície.

Exemplo: Considere que alguém oscilando em uma cama elástica descreve o movimento:

$$y(t) = A \sin(\omega t)$$

a normal exercida pela cama elástica nos pés da pessoa pode ser calculada como:

$$N = m[g - A\omega^2 \sin(\omega t)]$$

# Tração

Quando uma corda é presa a um corpo e esticada aplica ao corpo uma força orientada ao longo da corda.

Exemplo: Considere um sistema de duas massas  $M_1$  e  $M_2$ , ligadas por uma corda de massa  $m$ , segundo o esquema abaixo. Se uma força  $F$  é aplicada ao sistema, podemos escrever:



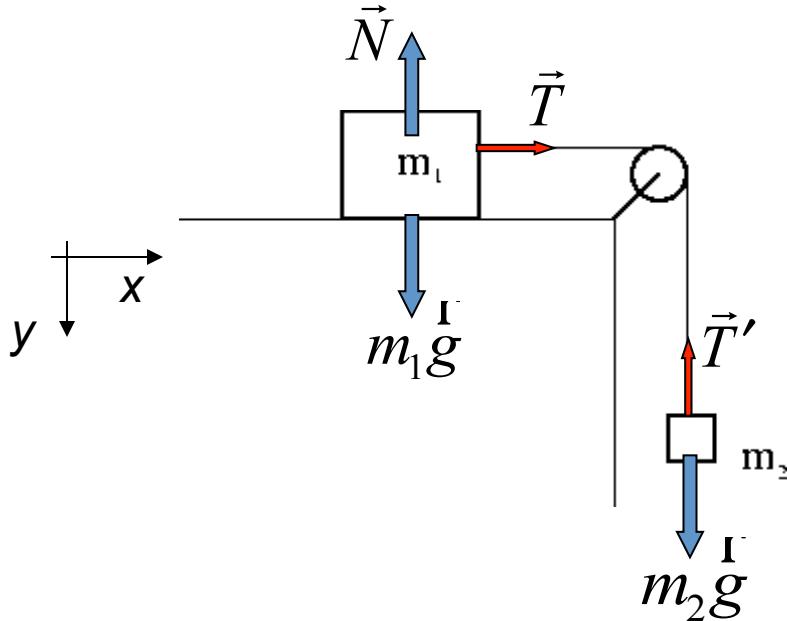
$$T_2 - T_1 = F \frac{m}{M_1 + M_2 + m}$$

Ou seja, se a massa da corda for muito pequena,  $T_2 = T_1$

## 2a Lei de Newton: Exemplo

Calcular a tração nos fios e a aceleração dos blocos.

Os fios e a roldana são ideais.



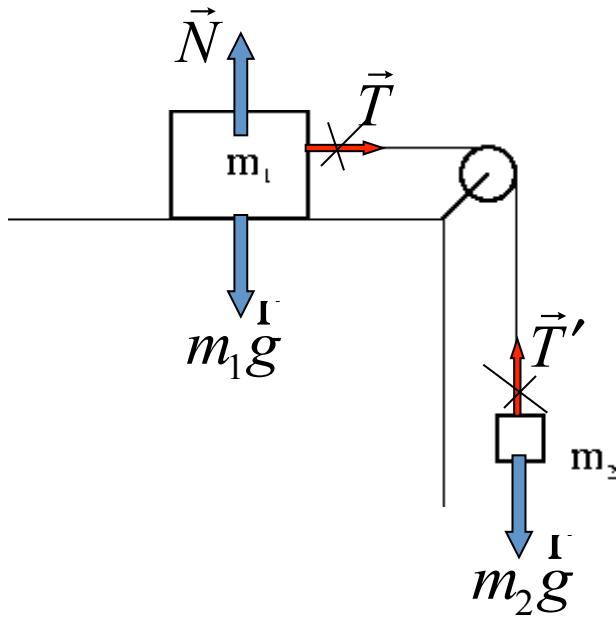
$$\text{Bloco 1:} \begin{cases} N = m_1 g \\ \sum F_y = 0 \Rightarrow N = m_1 g \\ \sum F_x = m a_x \Rightarrow T = m_1 a \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{Bloco 2:} \begin{aligned} \sum F_y &= m a_y \\ m_2 g - T' &= m_2 a \end{aligned} \quad (2)$$

Resolvendo-se (1) e (2), lembrando que  $|\vec{T}| = |\vec{T}'|$  :

$$a = \frac{m_2}{m_1 + m_2} g \quad T = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} g$$

# Outro modo de ver o problema



Tratamos  $m_1$  e  $m_2$  como um corpo só mantido pela força *interna*  $T$ . Nesse caso,  $T$  não precisa aparecer no diagrama dos blocos isolados.

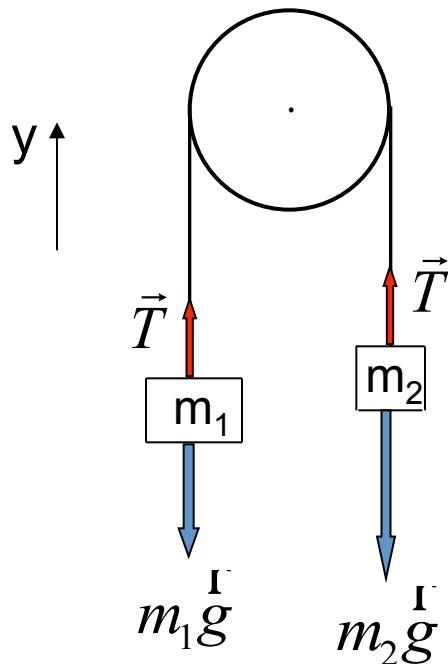
$$m_2g = (m_1 + m_2)a$$

$$a = \frac{m_2}{m_1 + m_2} g$$

**Trata-se na verdade de um problema unidimensional !**

# Outro exemplo

O dispositivo chamado **Máquina de Atwood** foi inventado por **G. Atwood** (1745-1807) em 1784 para determinar  $g$ . Calcule a aceleração dos blocos na máquina de Atwood. Considere que roldana e fio são ideais.



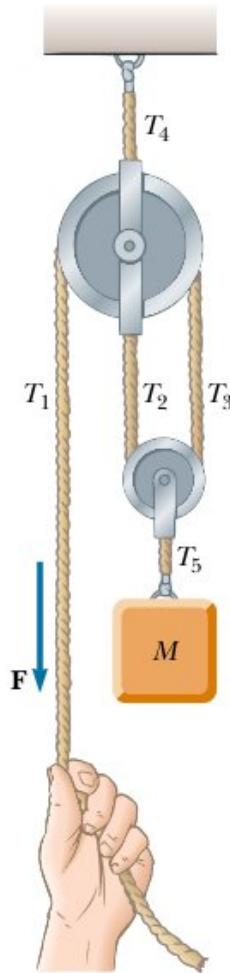
$$\text{Bloco 1: } \sum F_y = m a_y \Rightarrow T - m_1 g = m_1 a \quad (1)$$

$$\text{Bloco 2: } \sum F_y = m a_y \Rightarrow T - m_2 g = -m_2 a \quad (2)$$

Resolvendo-se (1) e (2):

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} g \quad T = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} g$$

# Sistema de roldanas



Um sistema de roldanas pode ajudar a se contrapor ao peso de um objeto aplicando uma força menor. Por exemplo, no sistema abaixo, a força a ser aplicada para manter o sistema em equilíbrio é metade do peso do objeto.

$$T_1 = T_2 = T_3$$

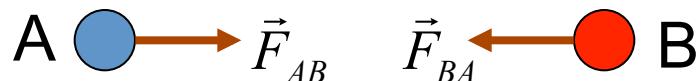
$$T_5 = T_2 + T_3 = Mg$$

$$F = T_1$$

$$\longrightarrow F = Mg / 2$$

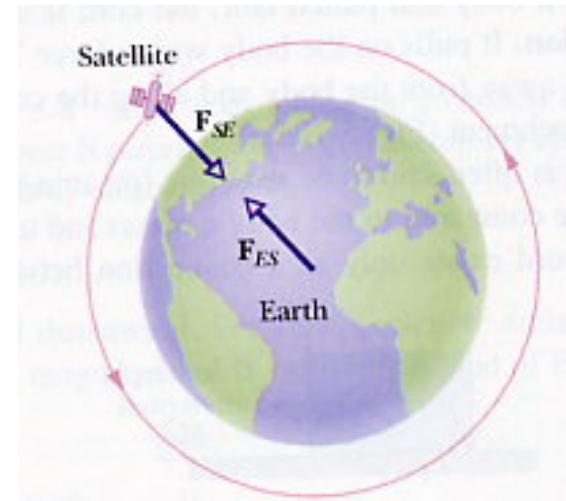
# 3a Lei de Newton

*Quando uma força devida a um objeto B age sobre A, então uma força devida ao objeto A age sobre B.*



As forças  $\vec{F}_{AB}$  e  $\vec{F}_{BA}$  constituem um par **ação-reação**.

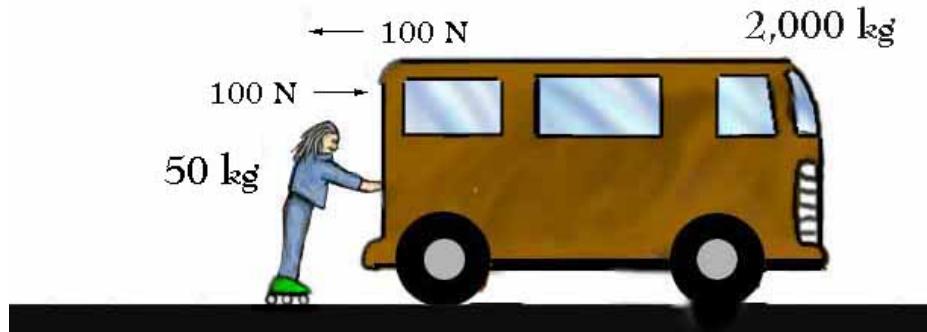
$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA} \quad (\text{3.a lei de Newton})$$



As forças do par ação-reação:

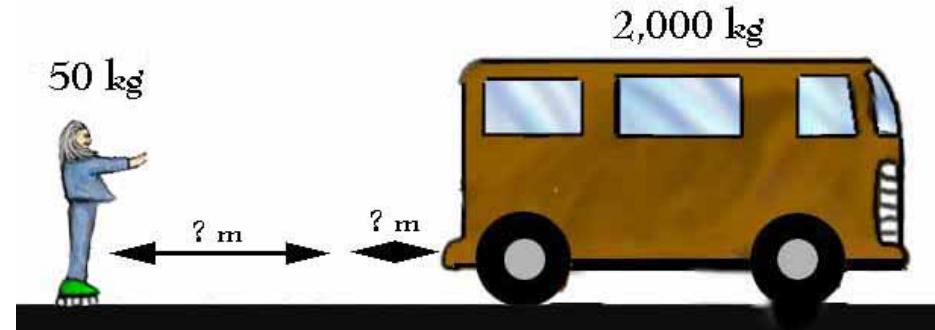
- i) têm mesmo módulo e mesma direção, porém sentidos **opostos**;
- ii) **nunca** atuam no **mesmo corpo**;
- iii) **nunca** se cancelam.

# 3a Lei de Newton



2<sup>a</sup> lei de Newton:

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



Patinador:

$$a_p = 2,0 \text{ m/s}^2$$

Van:

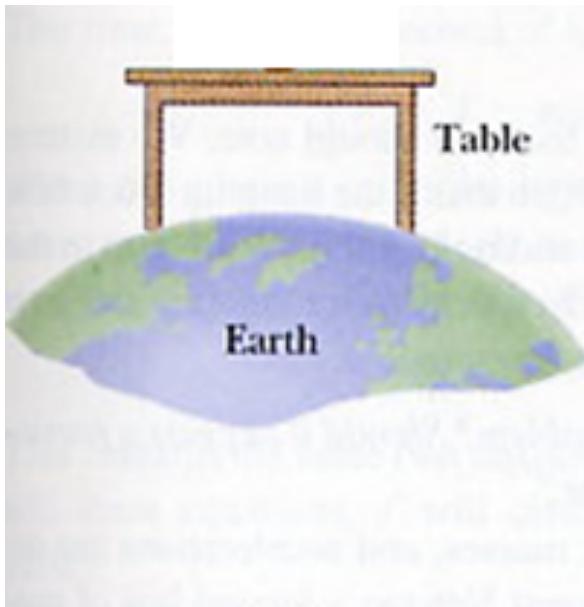
$$a_v = 0,05 \text{ m/s}^2$$

Se ambos partem do repouso:

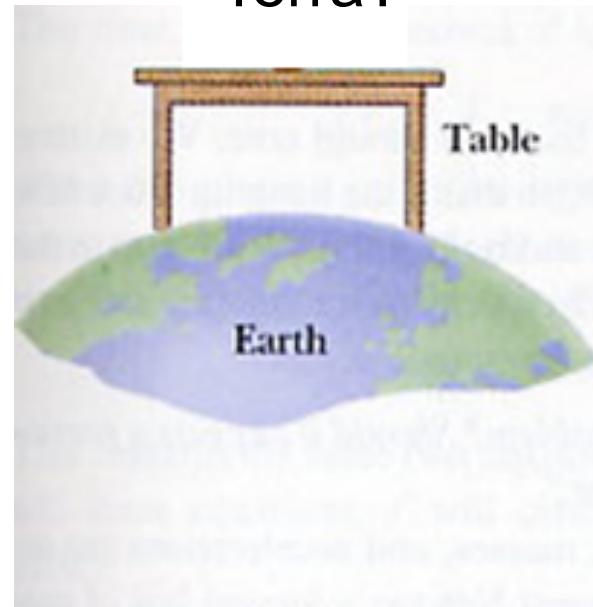
- qual é a relação entre as velocidades do patinador e da van?
- qual é a relação entre as distâncias percorridas por eles?

# 3a Lei de Newton

Que forças  
agem na  
mesa?



Que forças  
agem na  
Terra?



Quais são os pares ação-reação?