

Física Geral I

F -128

Aula 04

Leis de Newton



Movimento Relativo e a 1ª Lei de Newton

- Referenciais Inerciais e 1ª Lei de Newton.
- Conceito de Força e 2ª Lei de Newton.
- Exemplos de Forças.
- 3ª Lei de Newton.

LEIS DE NEWTON:

AS CAUSAS DO MOVIMENTO

Leis de Newton

- Até agora vimos que é possível utilizar variáveis básicas para descrever o movimento de uma partícula (**cinemática**).
- É impossível, no entanto, **prever** movimentos usando somente a cinemática.
- Veremos que, com “apenas” 3 leis gerais, é possível não só descrever mas também prever o movimento de qualquer partícula, bem como entender o porque o movimento ocorre!
- O estudo das causas do movimento é **Dinâmica**. Se entendemos as 3 leis, **DE FATO**, todo o resto do curso de F-128 passará a ser mais simples.



Isaac Newton
(1642-1727)

O Legado de Newton

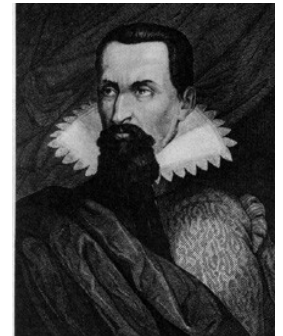
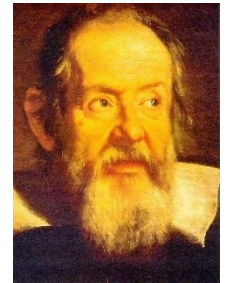
Experimentação

Tycho Brahe (1546-1601)

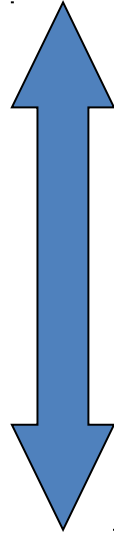
Johanes Kepler (1571-1630)

Galileu Galilei (1564-1642)

Isaac Newton (1642-1727)



~ 100 anos



O legado newtoniano é possivelmente a criação mais importante e bem sucedida da história do pensamento humano !

Leis de Newton

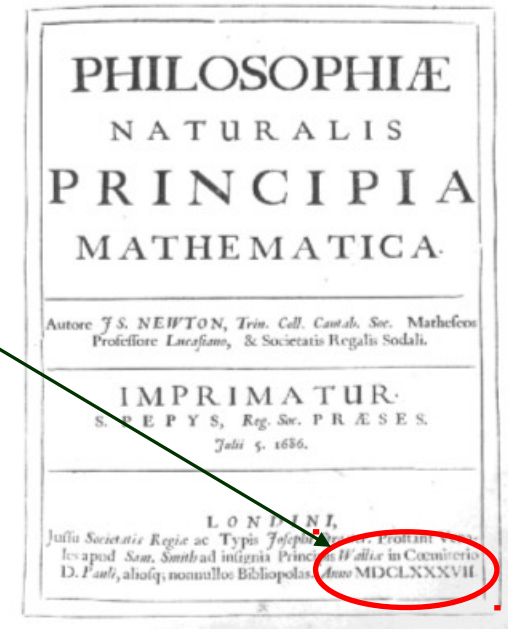
As leis que descrevem os movimentos de um corpo foram concebidas por Isaac Newton em 1665-66 na fazenda da família onde ele se refugiou fugindo da peste negra.

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.

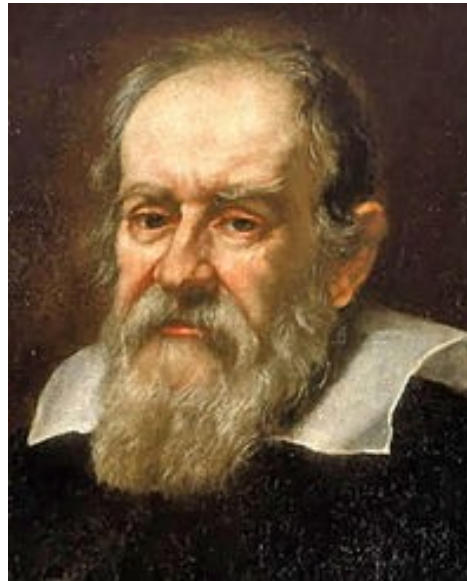
Apenas em **dois limites** as Leis de Newton deixam de ser válidas: na dinâmica de sistemas **muito pequenos (física quântica)** ou em situações que envolvem **velocidades muito grandes (relatividade restrita)**.



Princípio de Galileu sobre o movimento

Galileu, na tentativa de entender o movimento (princípio da inércia):

“Se um objeto é deixado sozinho, sem perturbação, continuará a se movimentar em linha reta com velocidade constante se estiver se movimentando, ou continuará parado se já estiver parado”.



1a. Lei de Newton

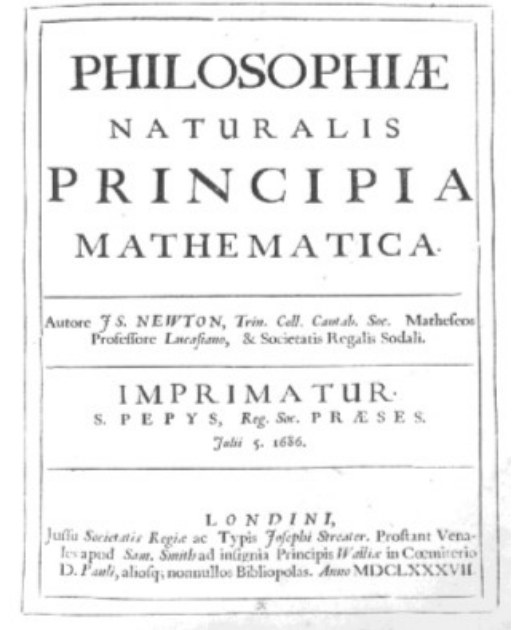
(Reafirmação do princípio de Galileu)

*“Todo corpo persiste em seu estado de repouso, ou de movimento retilíneo uniforme, a menos que seja compelido a **modificar esse estado pela ação de forças impressas** sobre ele.”*

Um corpo **isolado** mantém a velocidade constante

$$\vec{v} = \vec{v}_0 = cte$$

(Note que o *repouso* é apenas um caso particular da expressão acima, onde $\mathbf{v}_0 = \mathbf{0}$.)

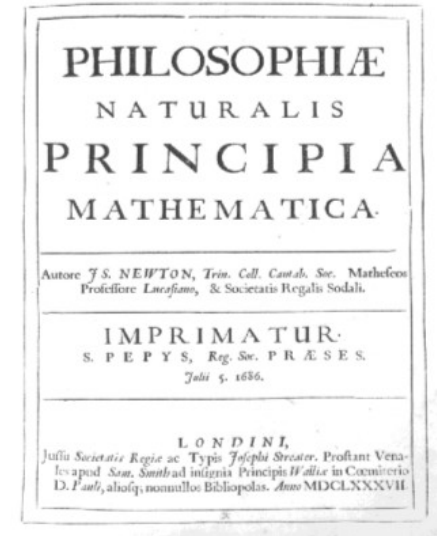


O Conceito de Força

“Uma força é uma ação exercida sobre um corpo, de forma a alterar seu estado, ou de repouso, ou de movimento uniforme numa linha reta.”

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** de um corpo ou de **produzir deformações** em um corpo elástico. Em muitos casos, uma força faz as duas coisas ao mesmo tempo.



1a. Lei e Força

Podemos usar o conceito de força para expressar a 1a lei de Newton:

$$\sum F = 0$$

Um corpo “*isolado*” movendo-se com velocidade *constante* não tem uma força *resultante* agindo sobre ele.

Não menos importante: todas as 3 coordenadas de posição mudam linearmente com o tempo:

$$r = r_0 + v_0 t$$

1a Lei e Referenciais Inerciais

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 mova com **velocidade constante** em relação a ele é também **inercial**.

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

1a Lei e Referenciais Inerciais

Na maioria das situações (pequenos deslocamentos), um *referencial fixo na Terra* é uma boa aproximação a um referencial inercial. Entretanto, quando os efeitos do movimento da Terra 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.

Questão 1

Assuma um sistema de coordenadas onde a Terra é fixa neste sistema, e o Sol, assim como as demais estrelas, “giram” em torno da Terra. Este referencial é inercial?

- a) sim
- b) não

Questão 2

Assuma um sistema de coordenadas onde a Terra é fixa neste sistema, e o Sol, assim como as demais estrelas, “giram” em torno da Terra. Uma sonda é lançada a partir da Terra e intercepta o Sol. A trajetória desta sonda segue uma linha reta nesse referencial?

- a) sim
- b) não

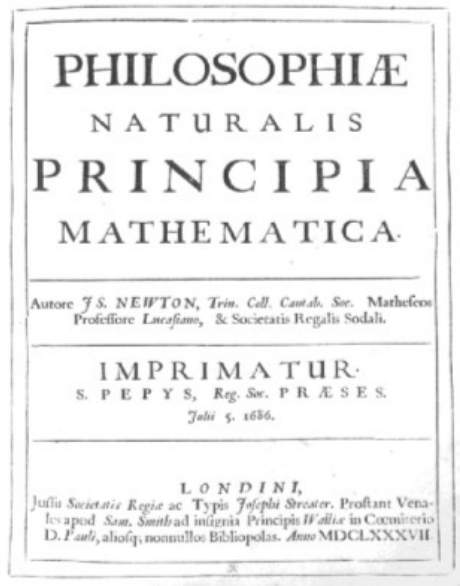
Leis de Newton

■ 1a. Lei de Newton:

*“Todo corpo persiste em seu estado de repouso, ou de movimento retilíneo uniforme, a menos que seja compelido a **modificar esse estado pela ação de forças impressas** sobre ele.”*

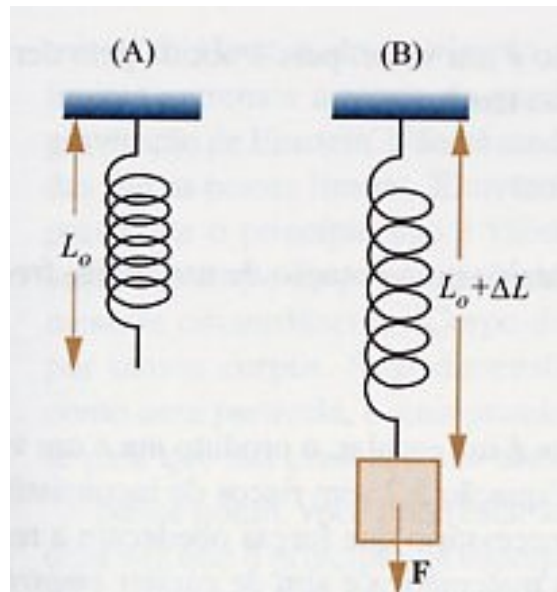


Isaac Newton
(1642-1727)



Como quantificar a variação do movimento quando há ação de forças num corpo?

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:

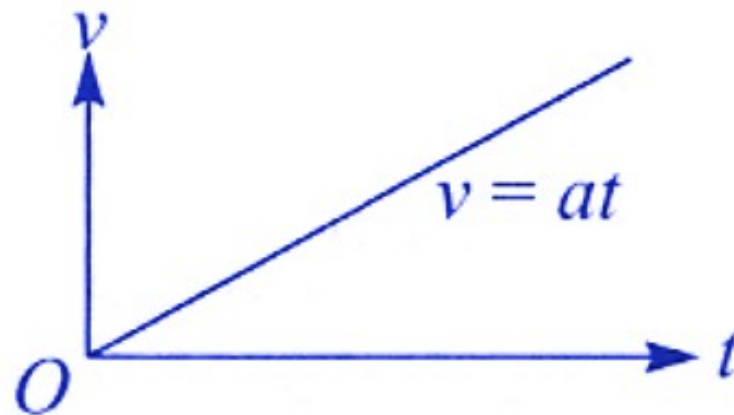
$$F = k \Delta L$$

Esta é a Lei de Hooke.

(Homenagem a R. Hooke, 1635-1703, o primeiro a formulá-la.)

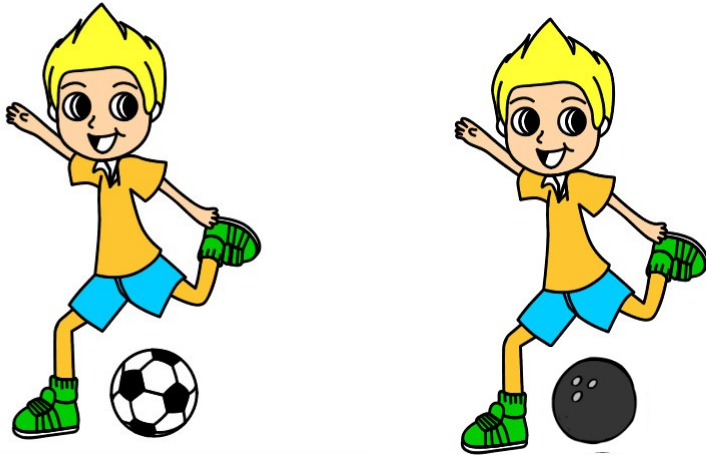
Força e aceleração

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**:



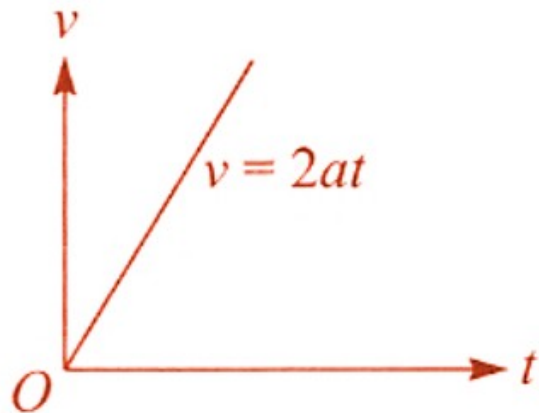
$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

$$m_1 a_1 = m_2 a_2$$

A massa de um corpo é a propriedade que relaciona a **força** que age sobre o corpo e sua **aceleração resultante**.

Em outras palavras, se o garotinho aumenta a força ele muda os valores de a_1 e a_2 , não sua razão.

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:

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

→ soma vetorial

A massa que aparece na 2ª lei de Newton é chamada de *massa inercial*.

Decomposição vetorial:

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

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.

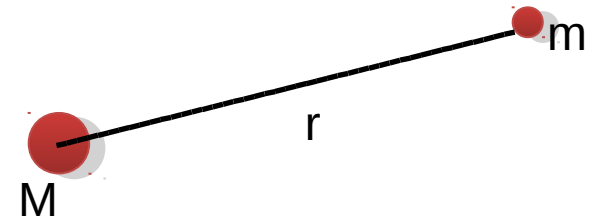
Em termos do padrão para a massa, encontramos a unidade de força: a força que produz uma aceleração de **1 m/s^2** em um corpo de **1 kg** é igual a **1 N (newton)**, que é a unidade SI de força.

APLICAÇÃO DA 2ª. LEI DE NEWTON EM CORPOS SOB AÇÃO DA FORÇA GRAVITACIONAL

Força Gravitacional

Lei da Gravitação Universal de Newton

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



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

As massas que aparecem na lei da Gravitação Universal são conhecidas como *massas gravitacionais*.

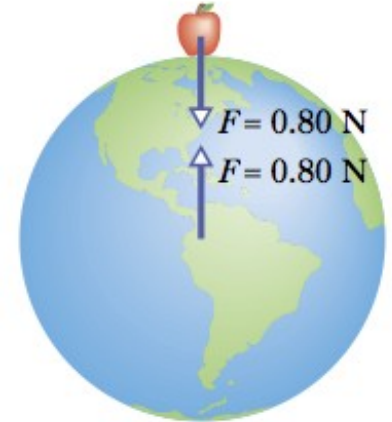
Força Gravitacional

Para pontos suficientemente próximos da superfície da Terra:

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

$$\frac{GM}{r^2} \approx \frac{GM}{R_T^2} \approx g$$

Independente de m!

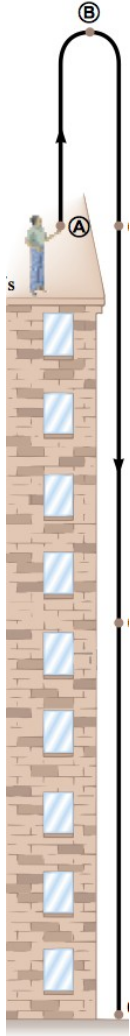


Então:

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

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

Aceleração constante?



Calculando a diferença de g em cima e embaixo de um prédio:

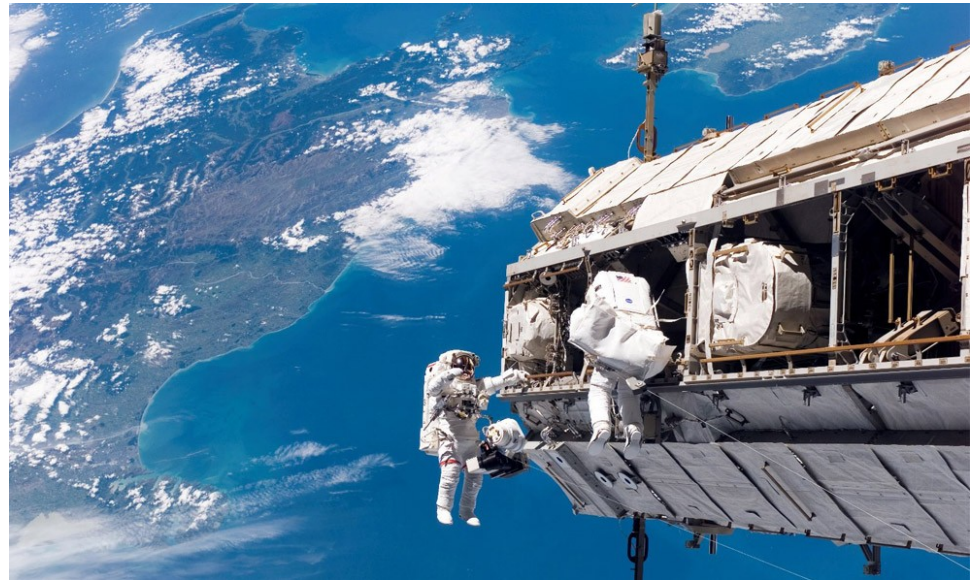
$$g_2 = \frac{GM}{R_2^2} = \frac{GM}{(R_1 + H)^2} \sim \frac{GM}{R_1^2} \left(1 - 2\frac{H}{R_1} \right)$$

$$g_2 = g_1 \left(1 - 2\frac{H}{R_1} \right)$$

Ok, g praticamente constante!

Questão 3

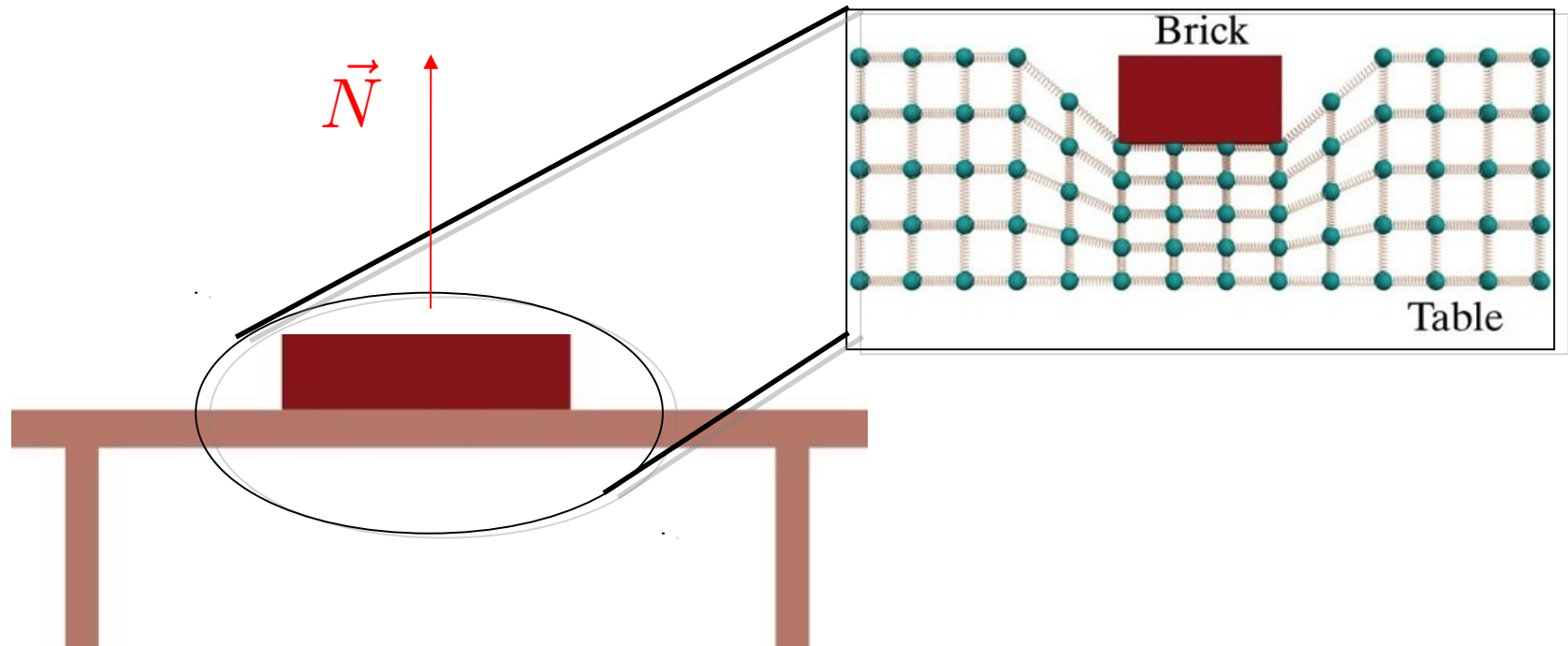
A Estação Espacial Internacional está a ~ 415 km de altura a partir da superfície da Terra. Estime a aceleração da gravidade no local (em unidades de g).



APLICAÇÃO DAS LEIS DE NEWTON EM FORÇAS DE CONTATO

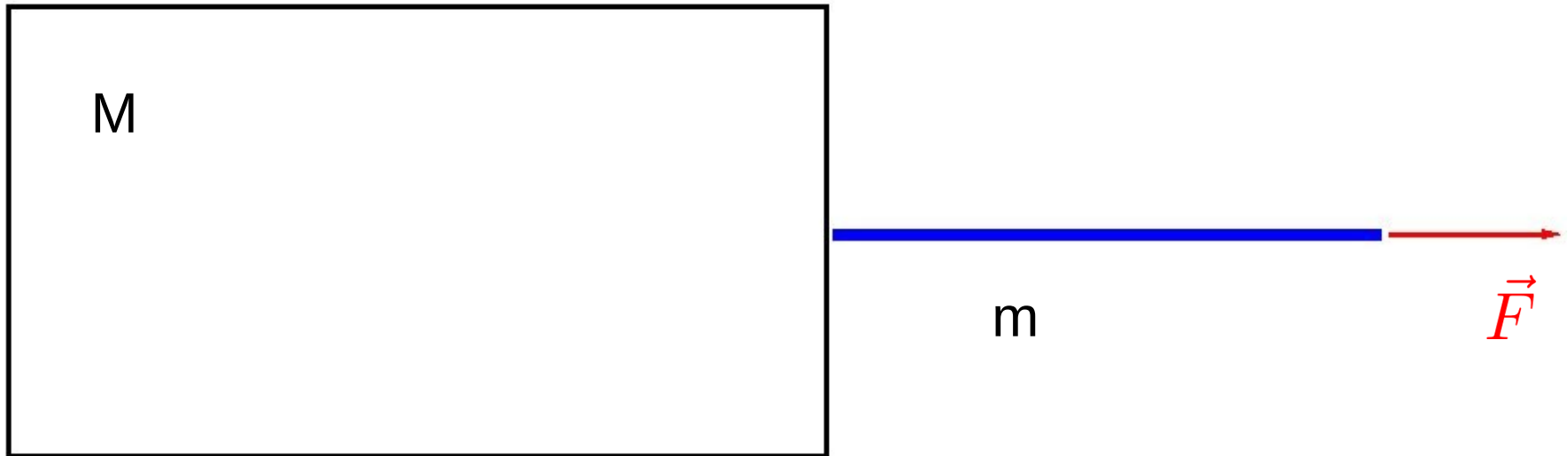
1) Força Normal

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.



2) Tração

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



Questão 4

Um bloco de massa M é puxado por uma corda, de massa m , por uma força F aplicado na ponta da corda. A aceleração do sistema, portanto, é $a = F/(M+m)$. Aumentando a força aplicada, onde é mais provável que a corda se parta?

- a) Próximo ao ponto de amarração no bloco.
- b) No meio da corda.
- c) Próximo ao ponto de aplicação da força.

2) 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 \mathbf{F} é aplicada ao sistema, podemos escrever:

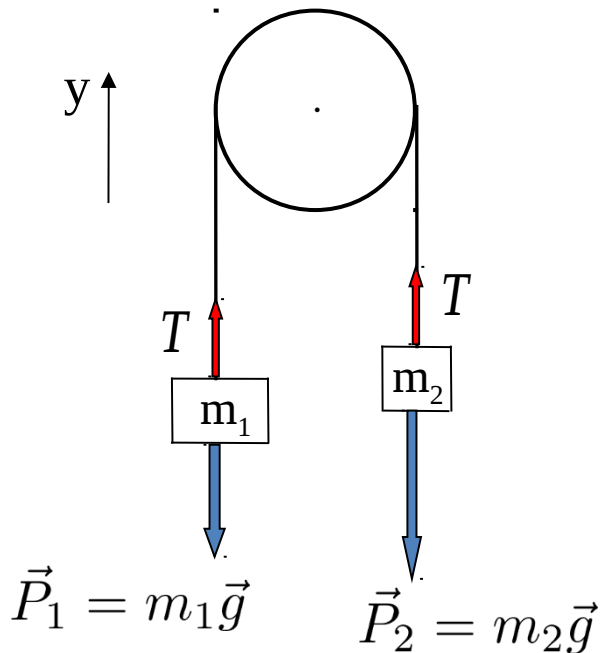


$$T_2 - T_1 = F \frac{m}{M_1 + M_2 + m}$$

Se a massa da corda for muito pequena, $T_2 = T_1$

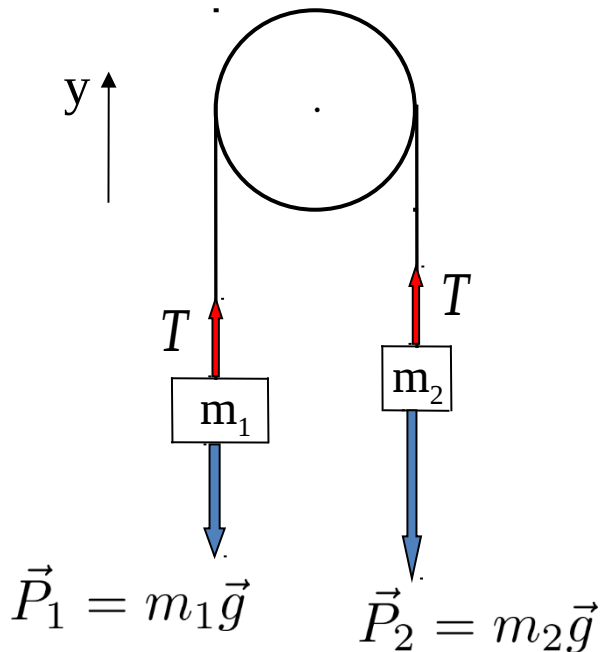
Questão 5: Máquina de Atwood

O dispositivo abaixo, chamado **Máquina de Atwood**, foi inventado por **G. Atwood** (1745-1807) em 1784 para determinar g . Considere que roldana e fio são ideais, e $g=10 \text{ m/s}^2$. Calcule a aceleração do sistema se $m_2=3 m_1$.



Máquina de Atwood

O dispositivo abaixo, chamado **Máquina de Atwood**, foi inventado por **G. Atwood** (1745-1807) em 1784 para determinar g . Considere que roldana e fio são ideais, e $g=10 \text{ m/s}^2$. Calcule a aceleração do sistema se $m_2=3 m_1$.



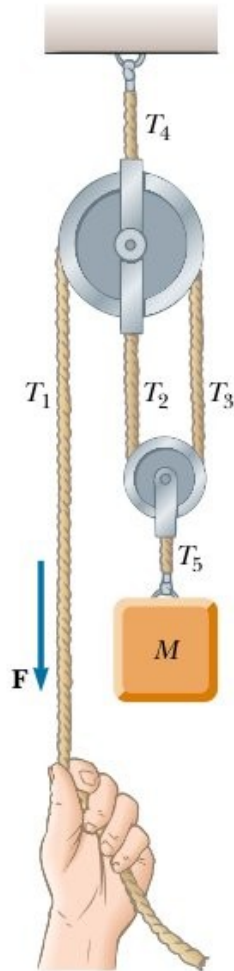
Bloco 1: $\sum F_y = m a_y \Rightarrow T - m_1 g = m_1 a \quad (1)$

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.

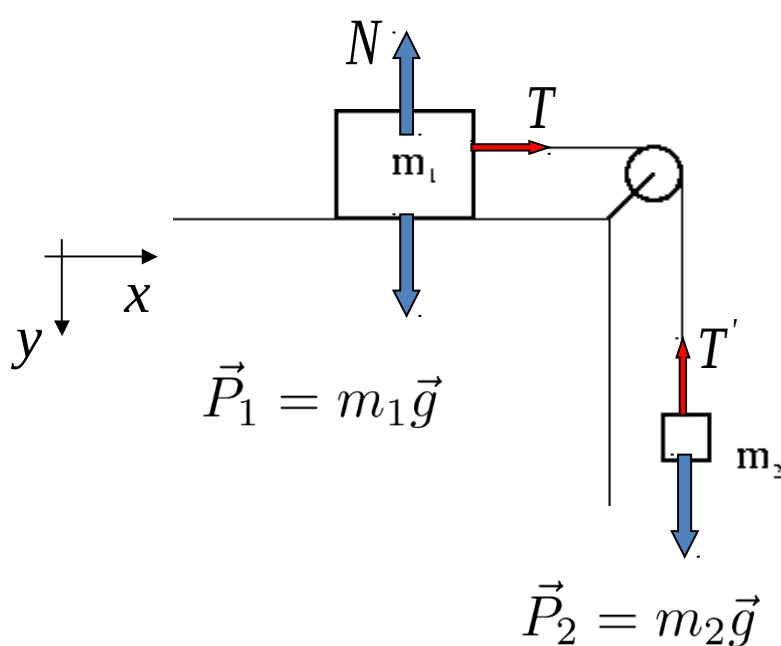
$$T_1 = T_2 = T_3$$

$$T_5 = T_2 + T_3 = Mg \quad \longrightarrow \quad F = Mg / 2$$

$$F = T_1$$

Problema Clássico

Calcular a tração nos fios e a aceleração dos blocos. Os fios e a roldana são ideais.



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

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

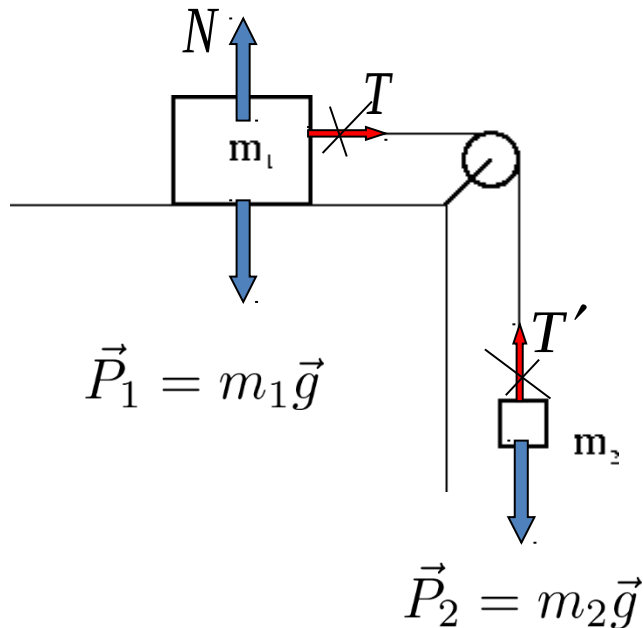
Resolvendo-se (1) e (2), lembrando que F_{AB} :

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

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

Problema Clássico

Outro modo de ver o problema anterior:



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.

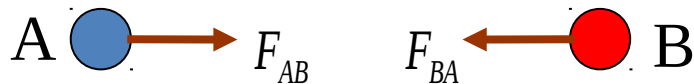
$$m_2 g = (m_1 + m_2) a$$

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

Trata-se na verdade de um problema unidimensional !

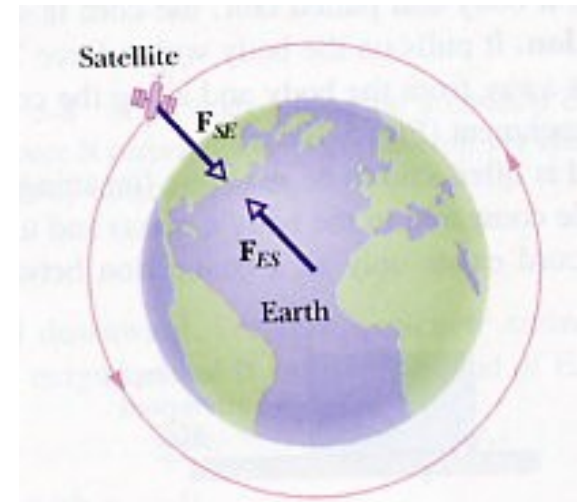
3a Lei de Newton

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



As forças F_{AB} e F_{BA} constituem um par ação-reação.

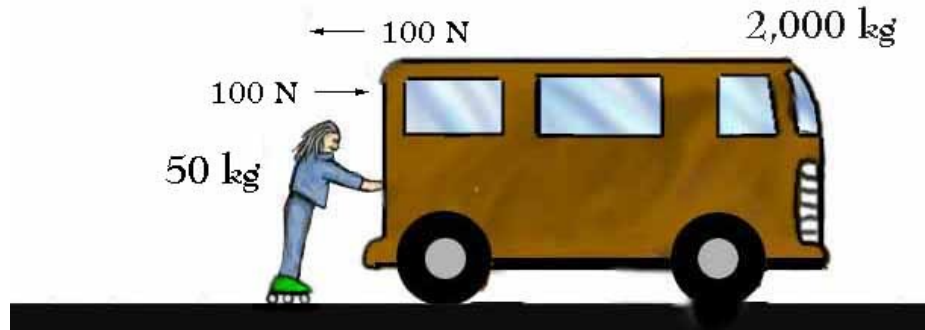
$$F_{AB} = -F_{BA} \quad (3^{\text{a}} \text{ lei de Newton})$$



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



2ª lei de Newton:

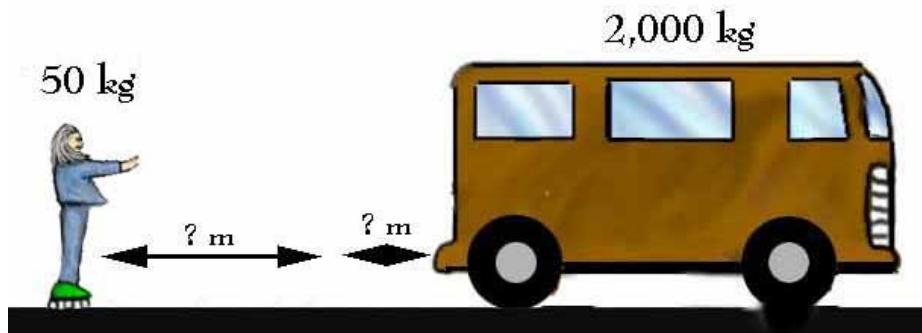
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

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?

Questão 6:

Assumindo uma mesa sobre a superfície do planeta.
São pares de ação-reação neste sistema:

a) o peso da mesa e a normal que a Terra exerce na mesa.

b) o peso da mesa e a força com que os pés da mesa empurram a superfície da Terra.

c) o peso da mesa e a força gravitacional que a mesa exerce na Terra.

d) não há pares de ação-reação neste sistema

