

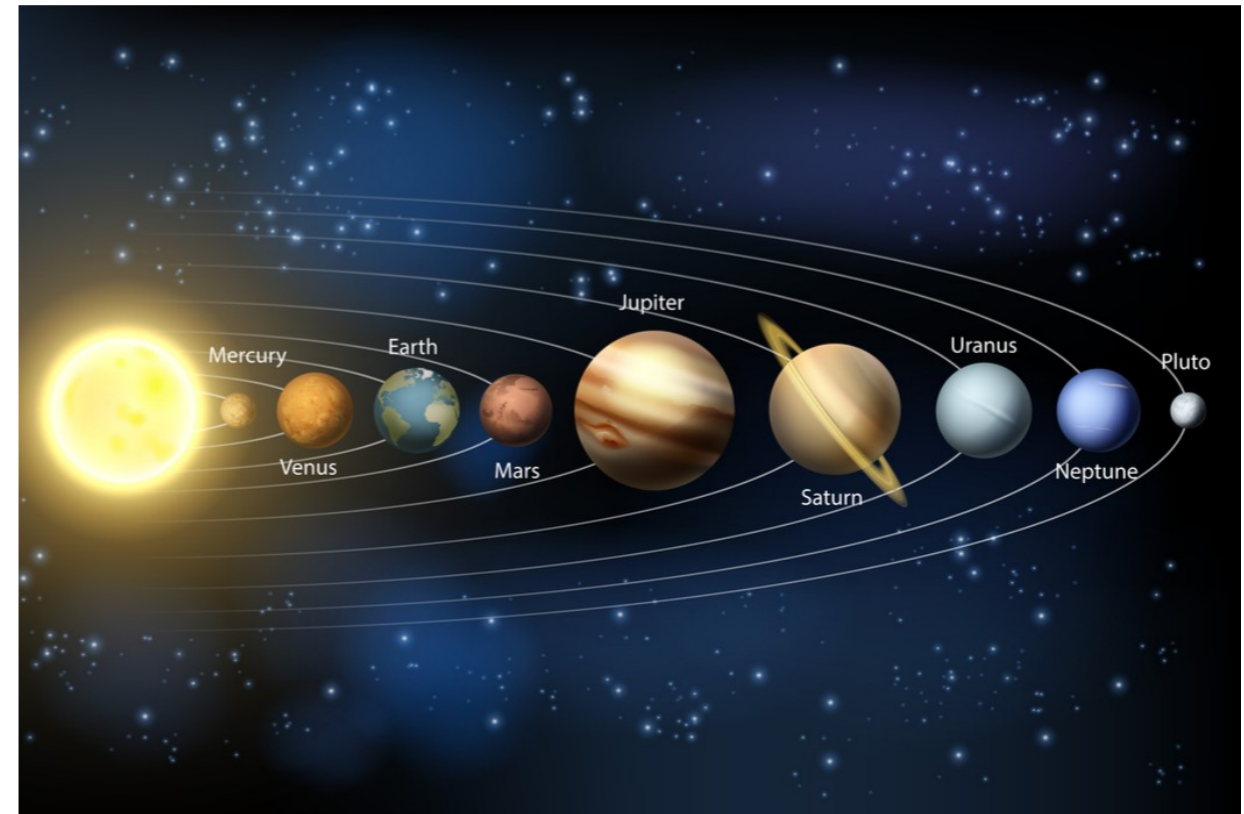
Mecânica (IGc) - 4310192

Ministrado por

Prof. Gustavo Paganini Canal

Departamento de Física Aplicada

Instituto de Física da Universidade de São Paulo



A órbita dos planetas ao redor do sol pode ser descrita, com razoável precisão, pelas leis de Newton

Curso ministrado online para o
Instituto de Geociências

e-mail: canal@if.usp.br

São Paulo - SP, 3 de Setembro de 2020

Sumário: Mecânica (IGc) - 4310192

- **Forças e interações**
 - *Superposição de forças*
- **Primeira lei de Newton**
 - *Sistemas de referência inerciais e não-inerciais*
 - *Velocidade relativa*
- **Segunda lei de Newton**
 - *Massa e peso*
- **Terceira Lei de Newton**
- **Exercícios de Fixação**

Sumário: Mecânica (IGc) - 4310192

- **Forças e interações**

- *Superposição de forças*

- **Primeira lei de Newton**

- *Sistemas de referência inerciais e não-inerciais*

- *Velocidade relativa*

- **Segunda lei de Newton**

- *Massa e peso*

- **Terceira Lei de Newton**

- **Exercícios de Fixação**

As leis de Newton e o movimento dos corpos

- **A cinemática (vista nas duas últimas aulas) pode ser usada para descrever o movimento dos objetos sem se preocupar com a causa do movimento**
- **A dinâmica, por outro lado, nos permite entender a relação entre o movimento dos corpos e as forças que o produzem**
- **Os princípios da dinâmica foram claramente estabelecidos pela primeira vez por Isaac Newton (1642-1727): leis de Newton do movimento**
 - *Newton não derivou tais leis, mas as deduziu a partir de uma série de experiências realizadas por outros cientistas, especialmente Galileu Galilei*
- **As leis de Newton são o fundamento da MECÂNICA CLÁSSICA, também conhecida como MECÂNICA NEWTONIANA**
 - *As leis de Newton necessitam de modificações somente em situações que envolvem velocidades muito elevadas (próximas à velocidade da luz) e dimensões muito pequenas (tal como no interior de um átomo)*

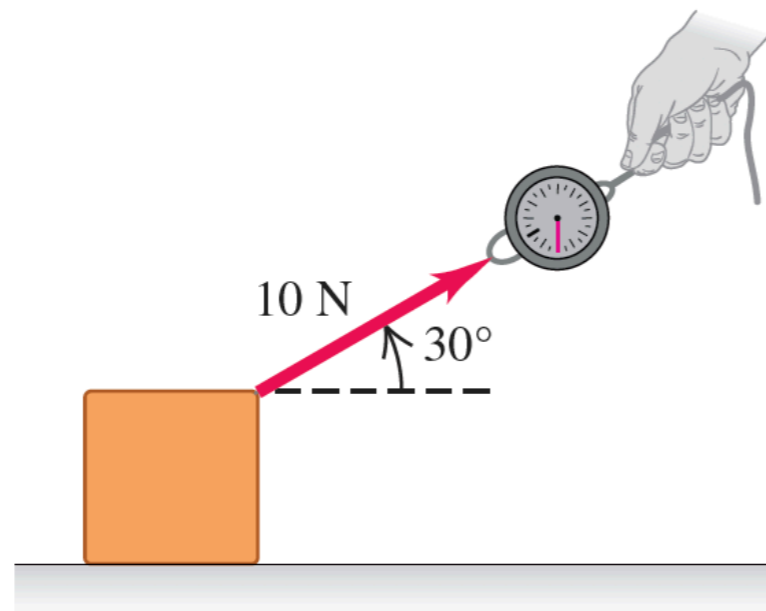
A interação entre corpos diferentes pode ocorrer através de forças de contato ou através de forças de longo alcance

- **Uma força é uma interação entre dois corpos ou entre o corpo e seu ambiente**
 - *Na linguagem cotidiana, exercer uma força significa puxar ou empurrar*
- **Quando uma força envolve contato direto entre dois corpos, como o ato de puxar ou empurrar um objeto com a mão, ela é chamada de força de contato**
 - *A força normal (perpendicular) é exercida sobre um objeto por qualquer superfície com a qual ele tenha contato*
 - *A força de atrito exercida sobre um objeto por uma superfície age paralelamente à superfície, no sentido oposto ao deslizamento*
 - *A força que uma corda esticada exerce sobre um objeto ao qual ela está presa é chamada de força de tensão (ou tração)*
- **Existem também forças denominadas forças de longo alcance, que atuam mesmo quando os corpos estão muito afastados entre si**
 - *Por exemplo, a força entre um par de ímãs e a força da gravidade (peso)*

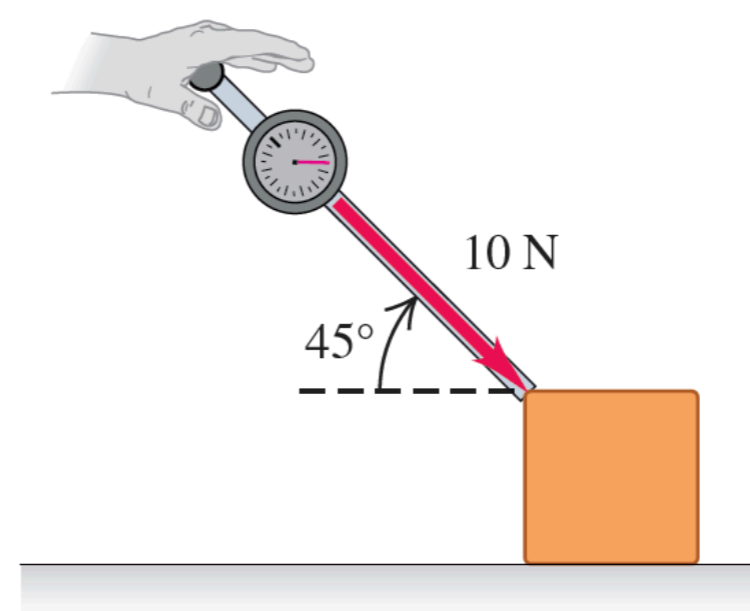
Dinamômetro é o instrumento usado para medir força

- **A força é uma grandeza vetorial e, no SI, é medida em Newtons (N)**
 - *Um instrumento comum para medir módulos de força é o dinamômetro*

(a) Uma força de puxar de 10 N, formando um ângulo de 30° sobre a horizontal.



(b) Uma força de empurrar de 10 N, formando um ângulo de 45° sob a horizontal.



- **Um dinamômetro consiste numa mola, protegida no interior de uma caixa cilíndrica, com um ponteiro ligado em sua extremidade**

Sumário: Mecânica (IGc) - 4310192

- **Forças e interações**
 - *Superposição de forças*
- **Primeira lei de Newton**
 - *Sistemas de referência inerciais e não-inerciais*
 - *Velocidade relativa*
- **Segunda lei de Newton**
 - *Massa e peso*
- **Terceira Lei de Newton**
- **Exercícios de Fixação**

O princípio da superposição das forças e a força resultante

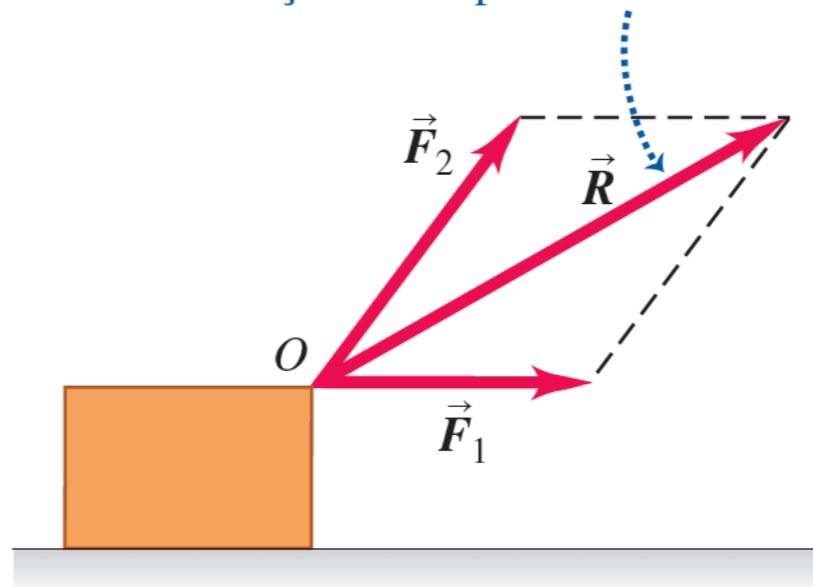
- O efeito de um número qualquer de forças sobre o movimento de um corpo é o mesmo que aquele produzido por uma força única igual à soma vetorial de todas as forças
 - Esse resultado é denominado princípio da superposição de forças

A força resultante atuando sobre um corpo ...

$$\vec{R} = \sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$

... é a soma vetorial ou resultante de todas as forças individuais atuando sobre esse corpo.

Duas forças \vec{F}_1 e \vec{F}_2 que atuam sobre um ponto O exercem o mesmo efeito que uma única força \vec{R} dada pela soma vetorial.



O vetor força resultante pode ser facilmente calculado pela soma dos componentes de cada uma das forças

- O componente x da força resultante é a soma dos componentes x das forças individuais, e o mesmo acontece para o componente y

– Para o caso 2D:

$$R_x = \Sigma F_x \quad \text{e} \quad R_y = \Sigma F_y$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

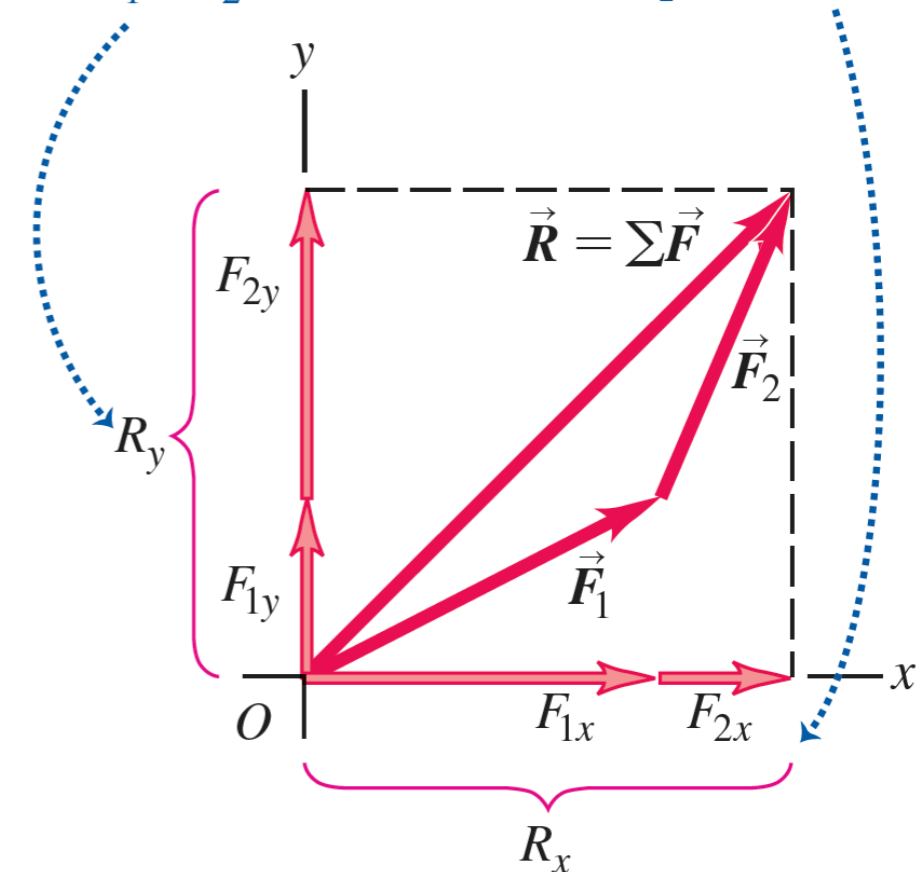
– Para o caso 3D:

$$R_x = \Sigma F_x \quad \text{e} \quad R_y = \Sigma F_y \quad \text{e} \quad R_z = \Sigma F_z$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}$$

O componente y de \vec{R} igual à soma dos componentes y de \vec{F}_1 e \vec{F}_2 .

O mesmo se aplica para os componentes x.



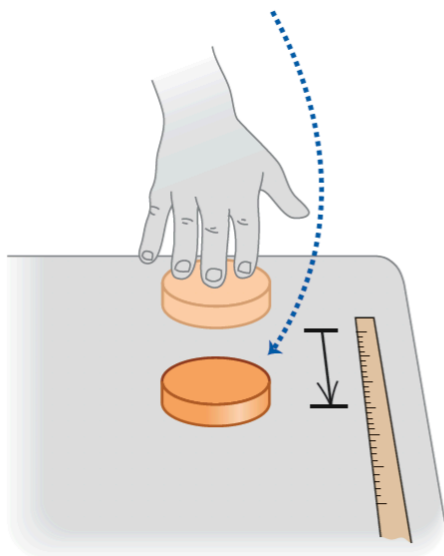
Sumário: Mecânica (IGc) - 4310192

- **Forças e interações**
 - *Superposição de forças*
- **Primeira lei de Newton**
 - *Sistemas de referência inerciais e não-inerciais*
 - *Velocidade relativa*
- **Segunda lei de Newton**
 - *Massa e peso*
- **Terceira Lei de Newton**
- **Exercícios de Fixação**

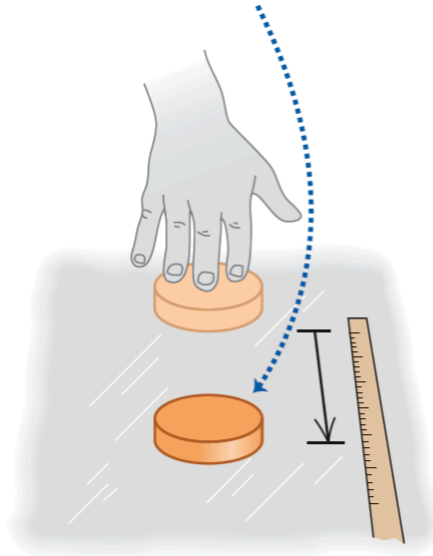
Primeira lei de Newton do movimento

- Quando um corpo está em repouso e a força resultante que atua sobre ele é nula, o corpo permanecer em repouso
 - O que acontece se o corpo está em movimento e a força resultante sobre ele é nula?

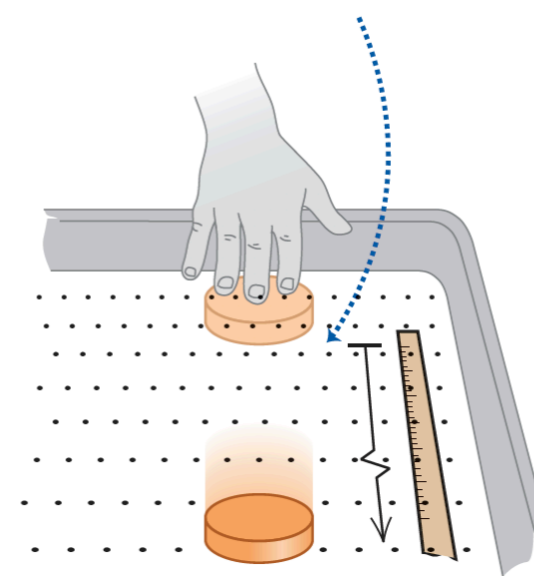
(a) Mesa: o disco desliza pouco.



(b) Gelo: o disco desliza um pouco mais.



(c) Mesa de hóquei com ar comprimido: o disco desliza ainda mais.



- É incorreto o senso comum de que seria necessário aplicar uma força para sustentar o movimento

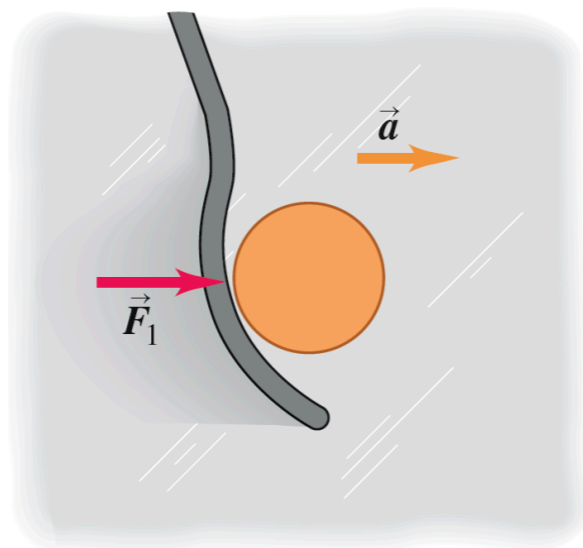
PRIMEIRA LEI DE NEWTON DO MOVIMENTO: quando a força resultante sobre um corpo é igual a zero, ele se move com velocidade constante (que pode ser nula) e aceleração nula.

A inércia de um corpo tende a manter seu estado, seja este de repouso ou de movimento com velocidade constante

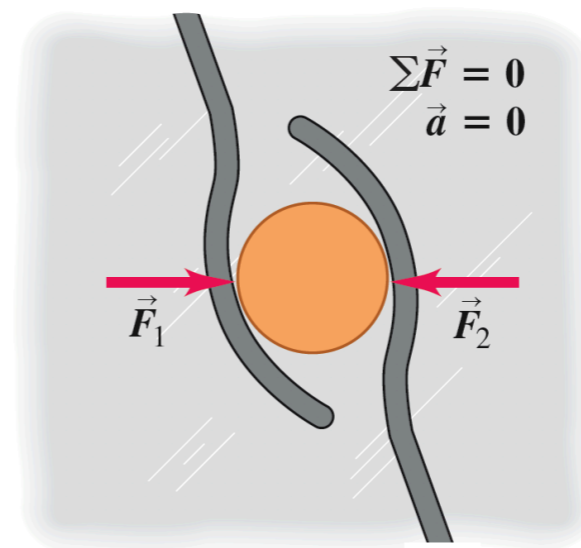
- A tendência de um corpo permanecer deslocando-se, uma vez iniciado o movimento, resulta de uma propriedade denominada inércia
 - A tendência de um corpo parado manter-se em repouso também é decorrente da inércia

Primeira lei de Newton:
a força resultante sobre um corpo ... $\vec{\Sigma F} = 0$... deverá ser zero se o corpo estiver em **equilíbrio**.

(a) Um disco sobre uma superfície sem atrito acelera quando sofre ação de uma única força horizontal.



(b) Esse disco sofre ação de duas forças horizontais cuja soma vetorial é igual a zero. Ele se comporta como se nenhuma força atuasse sobre ele.



Sumário: Mecânica (IGc) - 4310192

- **Forças e interações**
 - *Superposição de forças*
- **Primeira lei de Newton**
 - *Sistemas de referência inerciais e não-inerciais*
 - *Velocidade relativa*
- **Segunda lei de Newton**
 - *Massa e peso*
- **Terceira Lei de Newton**
- **Exercícios de Fixação**

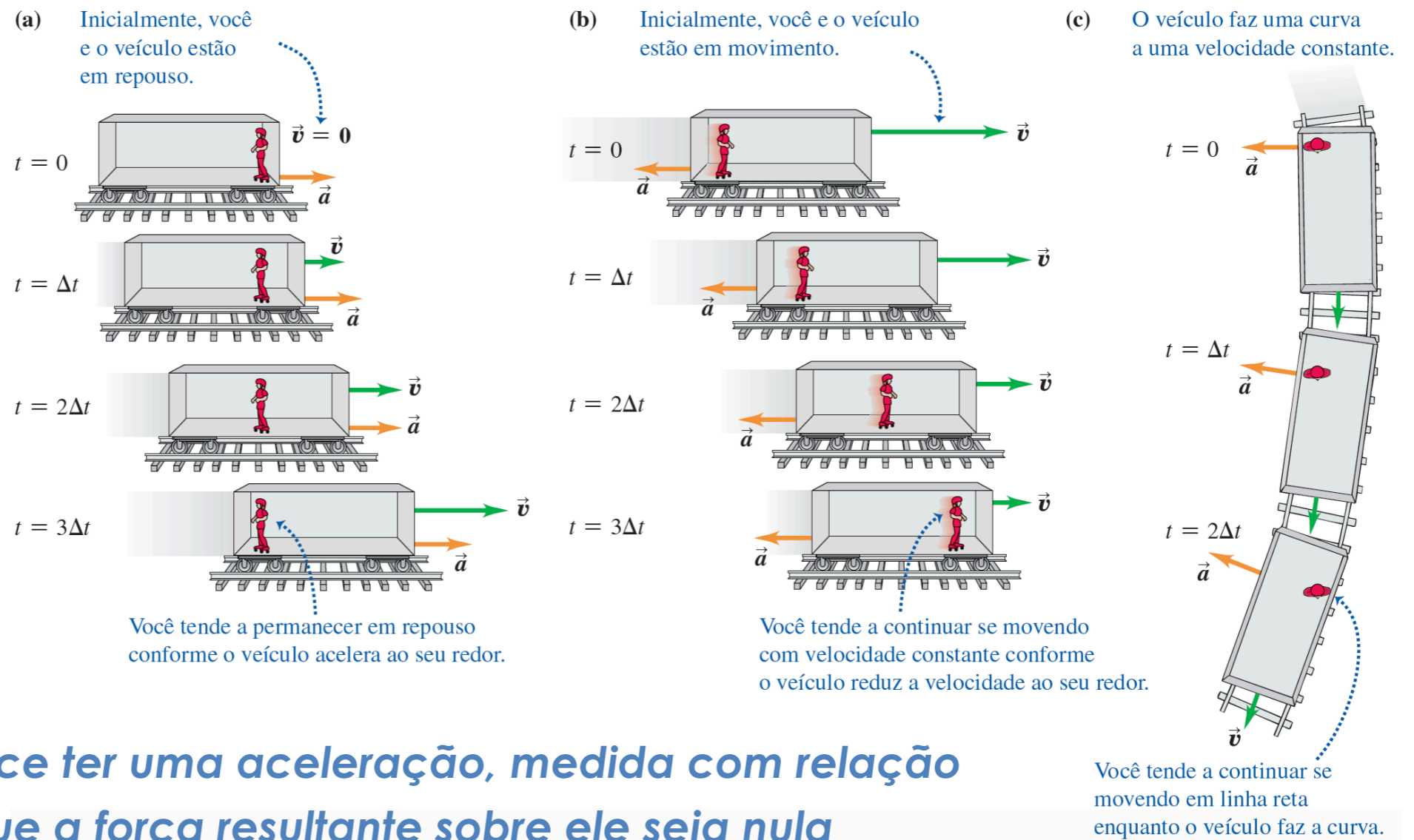
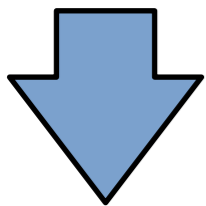
A primeira lei de Newton é válida apenas em referenciais inerciais

- **A primeira lei de Newton não vale para qualquer sistema de referência**
 - *Um sistema de referência para o qual a primeira lei de Newton é válida denomina-se SISTEMA DE REFERÊNCIA INERCIAL*
 - *Para um sistema de referência ser considerado inercial, este não pode estar acelerado*
 - *Num sistema de referência acelerado, e portanto não-inercial, um objeto pode ter aceleração mesmo que a força resultante sobre ele seja nula*

O aparecimento de pseudo-forças em referenciais inerciais

- A primeira lei de Newton não vale para qualquer sistema de referência
 - Um sistema de referência para o qual a primeira lei de Newton não é válida denomina-se SISTEMA DE REFERÊNCIA NÃO-INERCIAL

Um sistema de referência fixo no trem é um sistema não-inercial



O passageiro parece ter uma aceleração, medida com relação ao trem, mesmo que a força resultante sobre ele seja nula

Primeira lei de Newton ou lei da inércia

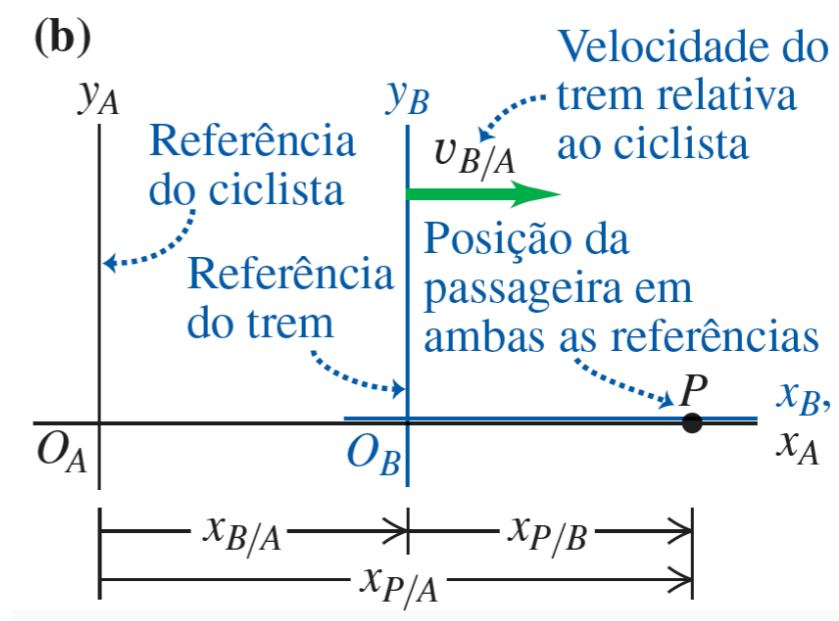
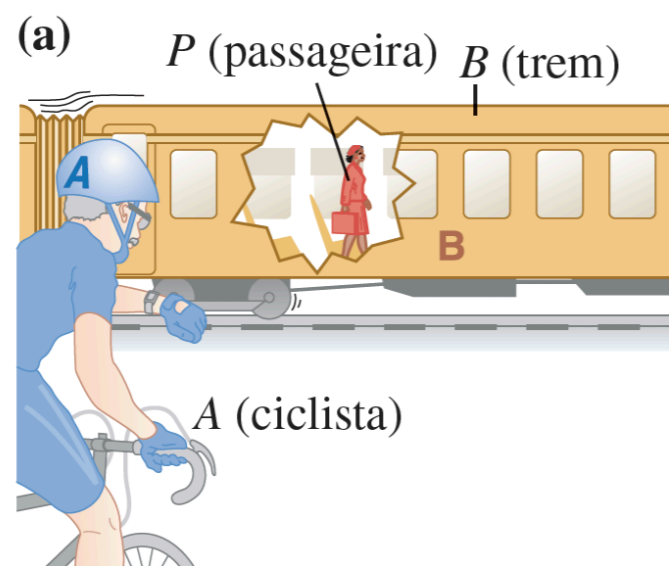
- **A Terra pode ser considerada, no mínimo aproximadamente, um sistema de referência inercial, mas o ônibus não**
 - *A Terra não é exatamente um sistema de referência inercial porque possui uma aceleração devida à sua rotação e devido ao seu movimento em torno do Sol*
 - + *Contudo, esses efeitos são muito pequenos (Exercícios 3.23 e 3.28)*
- **Como a primeira lei de Newton é usada para definir um sistema de referência inercial, ela é também chamada de lei da inércia**

Sumário: Mecânica (IGc) - 4310192

- **Forças e interações**
 - *Superposição de forças*
- **Primeira lei de Newton**
 - *Sistemas de referência inerciais e não-inerciais*
 - *Velocidade relativa*
- **Segunda lei de Newton**
 - *Massa e peso*
- **Terceira Lei de Newton**
- **Exercícios de Fixação**

Velocidade relativa e troca entre referenciais inerciais (Seção 3.5)

- Quando temos um sistema de referência inercial A, que obedece à primeira lei de Newton, então qualquer segundo sistema de referência B também será inercial se ele se mover em relação a A com velocidade constante
 - Na formulação das leis de Newton, não há nenhum sistema de referência inercial privilegiado



$$\vec{\mathbf{r}}_A = \vec{\mathbf{O}}_B + \vec{\mathbf{r}}_B \quad \rightarrow \quad \frac{d\vec{\mathbf{r}}_A}{dt} = \frac{d\vec{\mathbf{O}}_B}{dt} + \frac{d\vec{\mathbf{r}}_B}{dt} \quad \rightarrow \quad \vec{\mathbf{v}}_A = \vec{\mathbf{V}}_{O_B} + \vec{\mathbf{v}}_B$$

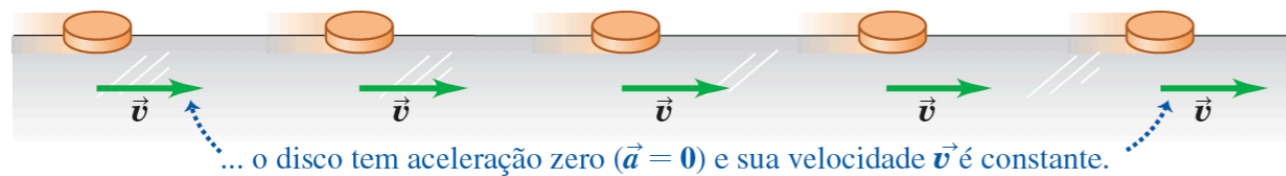
Sumário: Mecânica (IGc) - 4310192

- **Forças e interações**
 - *Superposição de forças*
- **Primeira lei de Newton**
 - *Sistemas de referência inerciais e não-inerciais*
 - *Velocidade relativa*
- **Segunda lei de Newton**
 - *Massa e peso*
- **Terceira Lei de Newton**
- **Exercícios de Fixação**

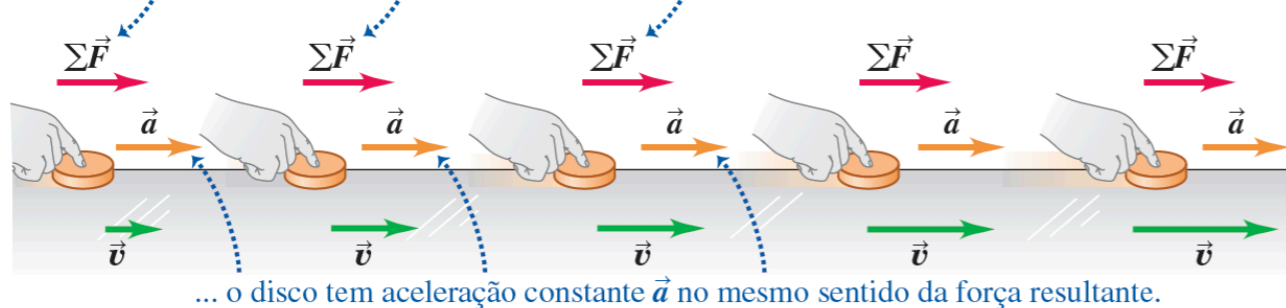
A segunda lei de Newton relaciona a força que atua sobre um corpo com sua aceleração

- Uma força resultante que atua sobre um corpo faz com que o corpo acelere na mesma direção e sentido da força
 - Experiências mostram que, para qualquer objeto, o módulo da aceleração é diretamente proporcional ao módulo da força resultante

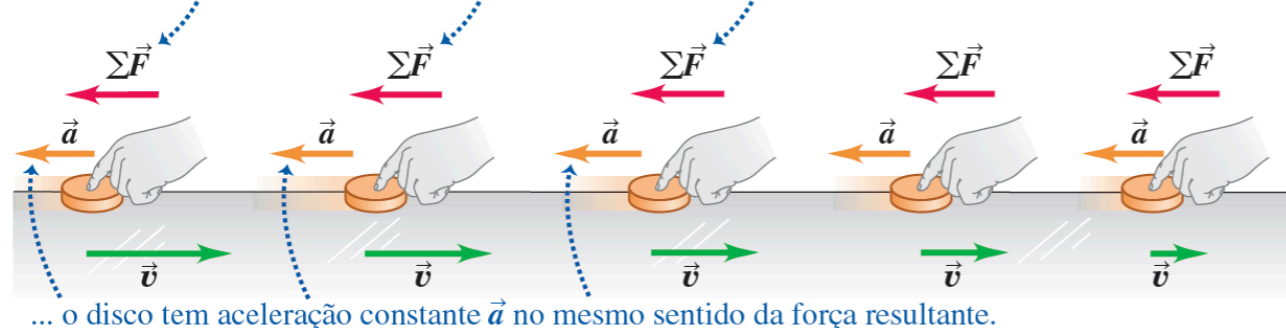
(a) Se houver força resultante zero sobre o disco, então $\Sigma \vec{F} = 0$, ...



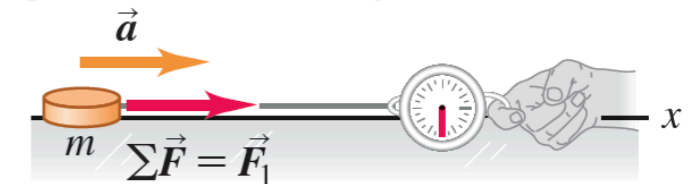
(b) Se uma força resultante constante $\Sigma \vec{F}$ atua sobre o disco no sentido de seu movimento ...



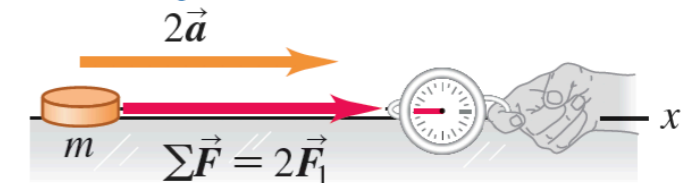
(c) Se uma força resultante constante $\Sigma \vec{F}$ atua sobre o disco no sentido oposto a seu movimento ...



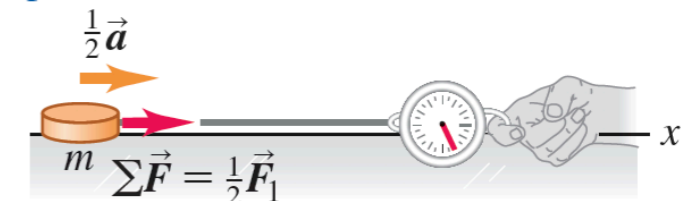
(a) Uma força resultante constante $\Sigma \vec{F}$ provoca uma aceleração constante \vec{a} .



(b) Dobrando-se a força resultante, a aceleração dobra.



(c) A metade da força reduz a aceleração pela metade.



A massa inercial e a segunda lei de Newton

- **A razão entre o módulo da força resultante ($|\Sigma \vec{F}|$) e o módulo da aceleração $a = |\vec{a}|$ é constante e independentemente do módulo da força resultante**
 - *Essa razão denomina-se massa inercial do corpo ou, simplesmente, massa, e é, geralmente, representada pela letra m*

$$m = \frac{|\Sigma \vec{F}|}{a} \quad \text{ou} \quad a = \frac{|\Sigma \vec{F}|}{m}$$

SEGUNDA LEI DE NEWTON DO MOVIMENTO: quando uma força resultante externa atua sobre um corpo, ele se acelera. A aceleração possui a mesma direção e o mesmo sentido da força resultante. O vetor força resultante é igual ao produto da massa do corpo pelo vetor aceleração do corpo.

Em símbolos,

Segunda lei de Newton:

Se houver uma força resultante sobre um corpo ...

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

Massa do corpo

... o corpo acelera na mesma direção e no mesmo sentido da força resultante.

(4.6)

Sumário: Mecânica (IGc) - 4310192

- **Forças e interações**
 - *Superposição de forças*
- **Primeira lei de Newton**
 - *Sistemas de referência inerciais e não-inerciais*
 - *Velocidade relativa*
- **Segunda lei de Newton**
 - *Massa e peso*
- **Terceira Lei de Newton**
- **Exercícios de Fixação**

A massa e a força peso

- O peso de um corpo é a força que a Terra exerce sobre o corpo
- Quanto maior a massa, maior a força necessária para produzir uma dada aceleração; isso se reflete na segunda lei de Newton $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$
- Por outro lado, o peso de um corpo é a força de atração gravitacional exercida pela Terra sobre o corpo
- Massa e peso se relacionam: um corpo que possui massa grande também possui peso grande
 - *É difícil lançar uma pedra grande horizontalmente porque ela possui uma grande massa, e é difícil levantá-la porque ela possui um grande peso*

Módulo do peso de um corpo $\vec{p} = m\vec{g}$ Massa do corpo
Módulo da aceleração da gravidade

The diagram shows the equation $\vec{p} = m\vec{g}$ in the center. A dotted arrow points from the text 'Módulo do peso de um corpo' to the vector \vec{p} . Another dotted arrow points from the text 'Massa do corpo' to the scalar m . A third dotted arrow points from the text 'Módulo da aceleração da gravidade' to the vector \vec{g} .

Sumário: Mecânica (IGc) - 4310192

- **Forças e interações**
 - *Superposição de forças*
- **Primeira lei de Newton**
 - *Sistemas de referência inerciais e não-inerciais*
 - *Velocidade relativa*
- **Segunda lei de Newton**
 - *Massa e peso*
- **Terceira Lei de Newton**
- **Exercícios de Fixação**

A terceira lei de Newton

- Uma força atuando sobre um corpo é sempre o resultado de uma interação com outro corpo, de modo que as forças sempre ocorrem em pares
 - *A força que você exerce sobre um corpo é igual e contrária à força que o corpo exerce sobre você*
- A experiência mostra que, quando dois corpos interagem, as duas forças decorrentes da interação possuem sempre o mesmo módulo e a mesma direção, mas possuem sentidos contrários
 - *Esse resultado denomina-se terceira lei de Newton do movimento*

TERCEIRA LEI DE NEWTON DO MOVIMENTO: quando um corpo A exerce uma força sobre um corpo B (uma “ação”), o corpo B exerce uma força sobre o corpo A (uma “reação”). Essas duas forças têm o mesmo módulo e a mesma direção, mas possuem sentidos opostos. Essas duas forças atuam em corpos *diferentes*.

A chamada lei da ação e reação

- Essas forças são comumente chamadas de "ação" e "reação" e algumas vezes nos referimos a elas como um par de ação e reação

Terceira lei de Newton:

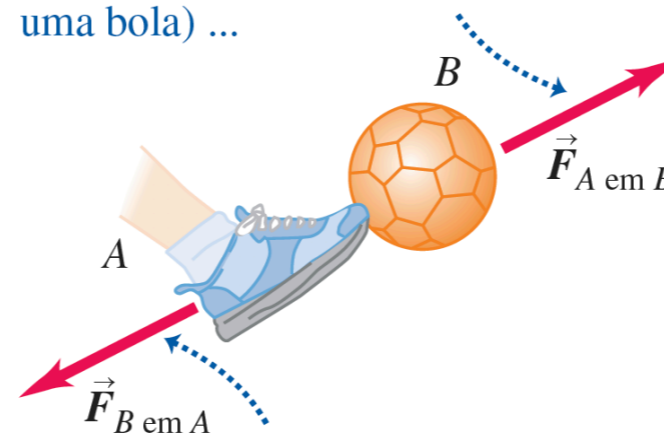
quando dois corpos A e B exercem forças um no outro ...

$$\vec{F}_{A \text{ em } B} = -\vec{F}_{B \text{ em } A}$$

... as duas forças têm o mesmo módulo, mas sentidos opostos.

Note: as duas forças atuam em corpos *diferentes*.

Quando um corpo A exerce uma força $\vec{F}_{A \text{ em } B}$ (por exemplo, um pé chuta uma bola) ...



... o corpo B necessariamente exerce uma força $\vec{F}_{B \text{ em } A}$ (bola chuta de volta no pé).

As duas forças têm o mesmo módulo e a mesma direção, mas sentidos opostos:

$$\vec{F}_{A \text{ em } B} = -\vec{F}_{B \text{ em } A}$$

Exercícios de fixação

- **Ler e fazer todos os exemplos do capítulo 4**
 - *Exercícios seção 4.1: 4.1, 4.2, 4.4 e 4.5*
 - *Exercícios seção 4.3: 4.6, 4.7, 4.9, 4.10, 4.13, 4.14 e 4.15*
 - *Exercícios seção 4.4: 4.16 e 4.19*
 - *Exercícios seção 4.5: 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 e 4.24*