

SEM0585

Mecânica Geral

Aula #09 — Leis de Newton e
Equações de movimento

Prof. Assoc. Marcelo Becker

becker@sc.usp.br

Doutorando Gustavo José Giardini Lahr

gustavo.lahr@usp.br

São Carlos, 03/06/20



Mecânica

Geral

Programa da Disciplina

1. Definição de força, momento de uma força e momento de um binário utilizando grandezas vetoriais.
2. Carregamentos equivalentes e forças distribuídas.
3. Definição de vínculos e apoios, introdução de forças e momentos de restrição.
4. Equilíbrio de corpo rígido, diagrama de corpo-livre, equações de equilíbrio.
5. Equilíbrio de um conjunto de corpos (estruturas de máquinas).
6. Atrito, aplicações em equilíbrio estático.
7. Esforços internos, métodos analíticos e gráficos, diagramas de esforços internos.
8. Cinemática de corpos rígidos e de um conjunto de corpos.
9. Momento de inércia de massa. Teorema de eixos paralelos.
- 10. Equações de Newton-Euler para corpos rígidos em movimento plano.**
11. Conservação da Energia e Princípio do Trabalho e Energia.
12. Introdução ao conceito de vibrações.

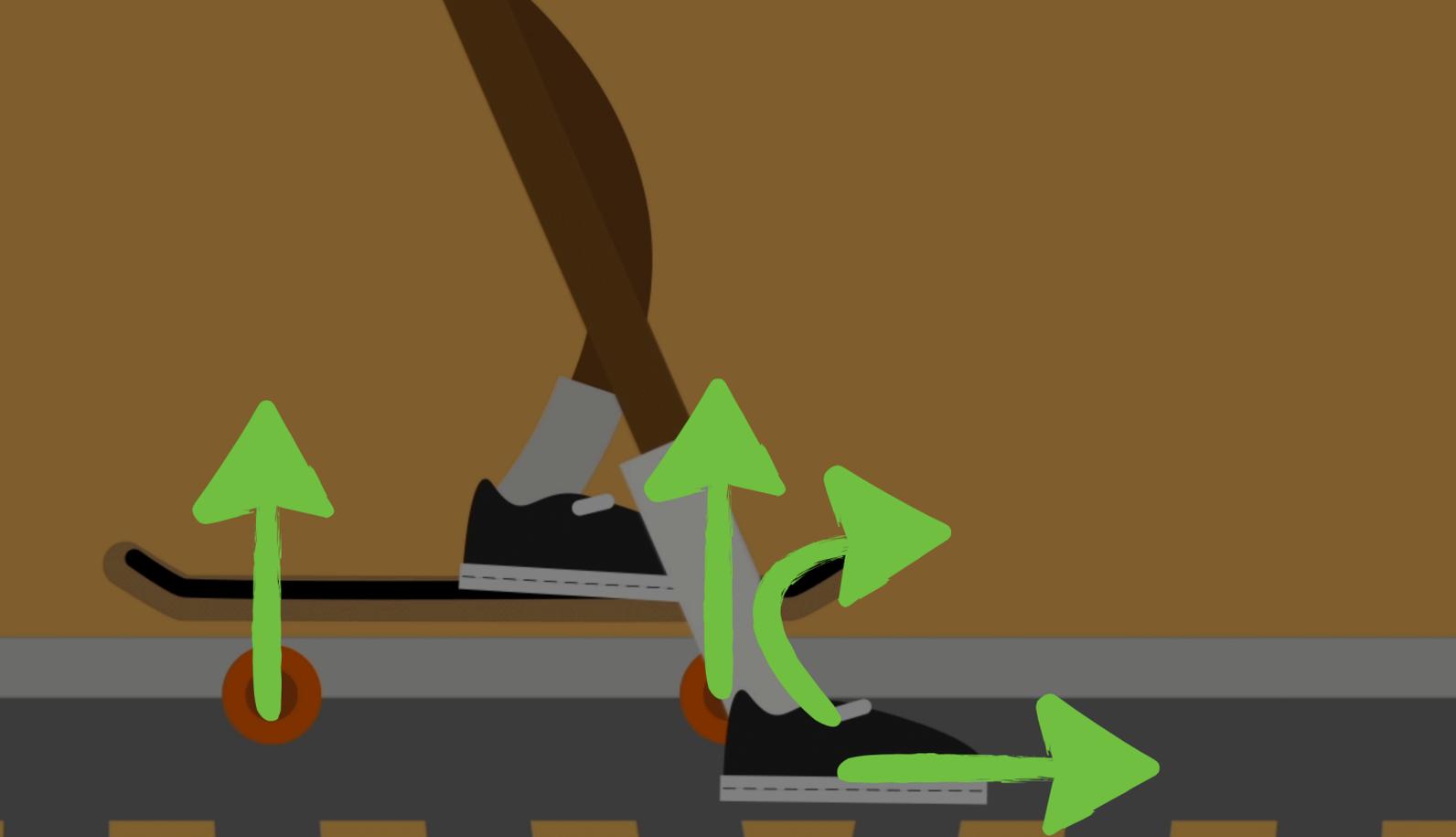
A arte do

Movimento

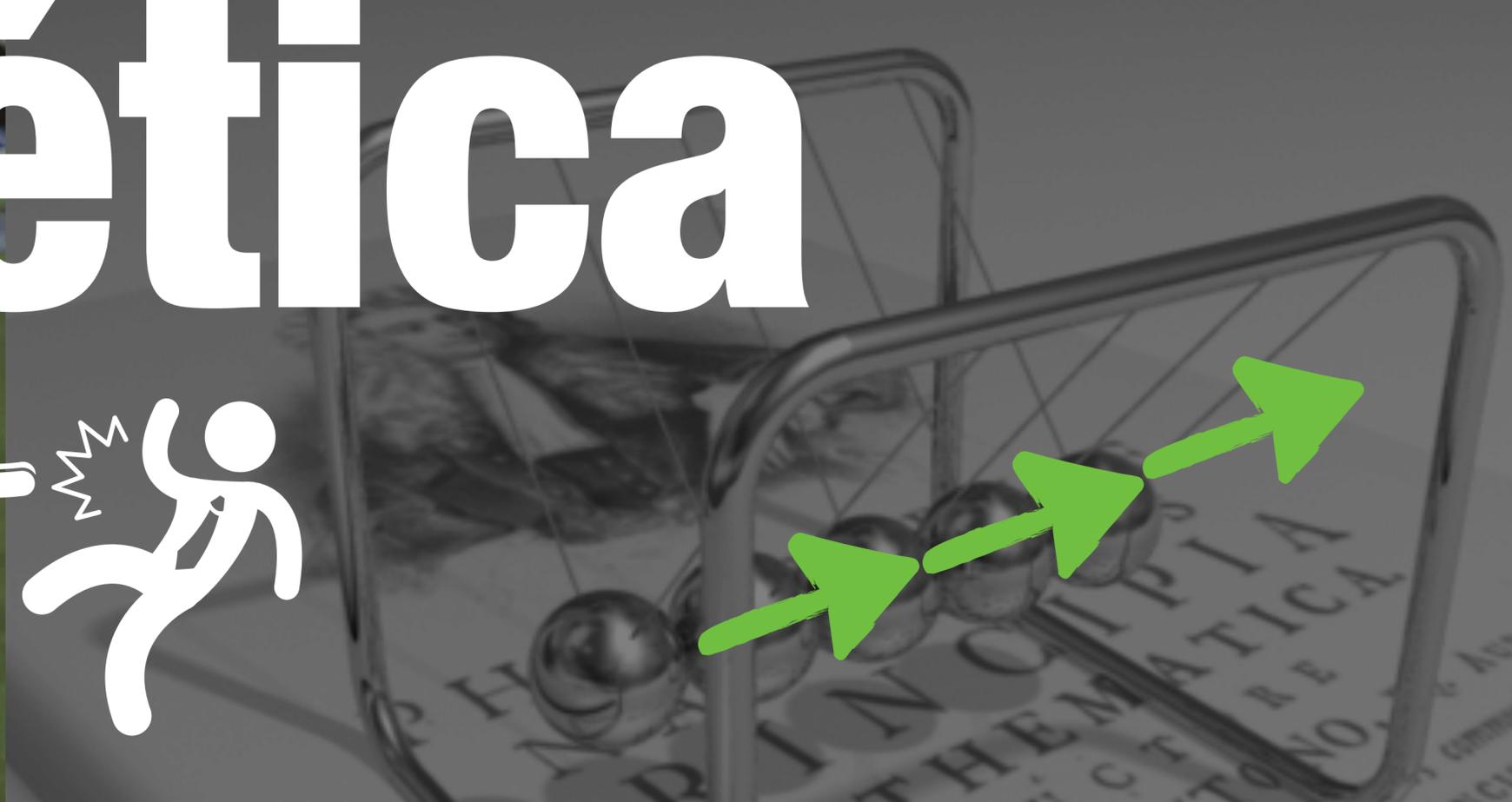


Cinemática

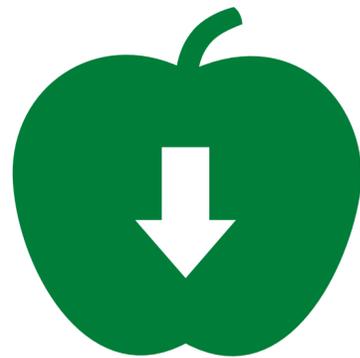




Cinética



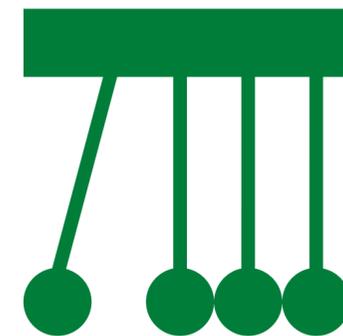
Cinética



Equações de movimento



Trabalho e energia



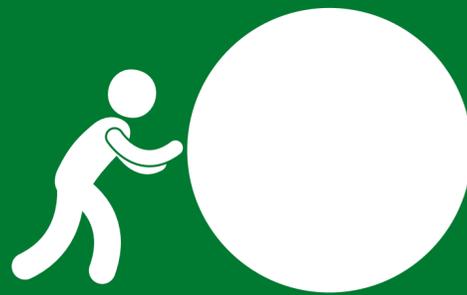
Impulso e quantidade de movimento

Conteúdo



- Leis de Newton
- Momento linear

Introdução



- Partícula e corpo rígido
- Coordenadas retangulares
- Coordenadas normais e tangenciais

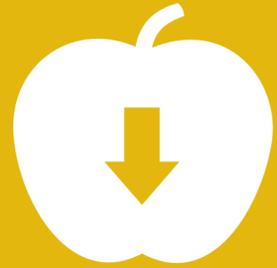
Equação do movimento



- “Take-home messages”

Conclusão

Conteúdo



- Leis de Newton
- Momento linear

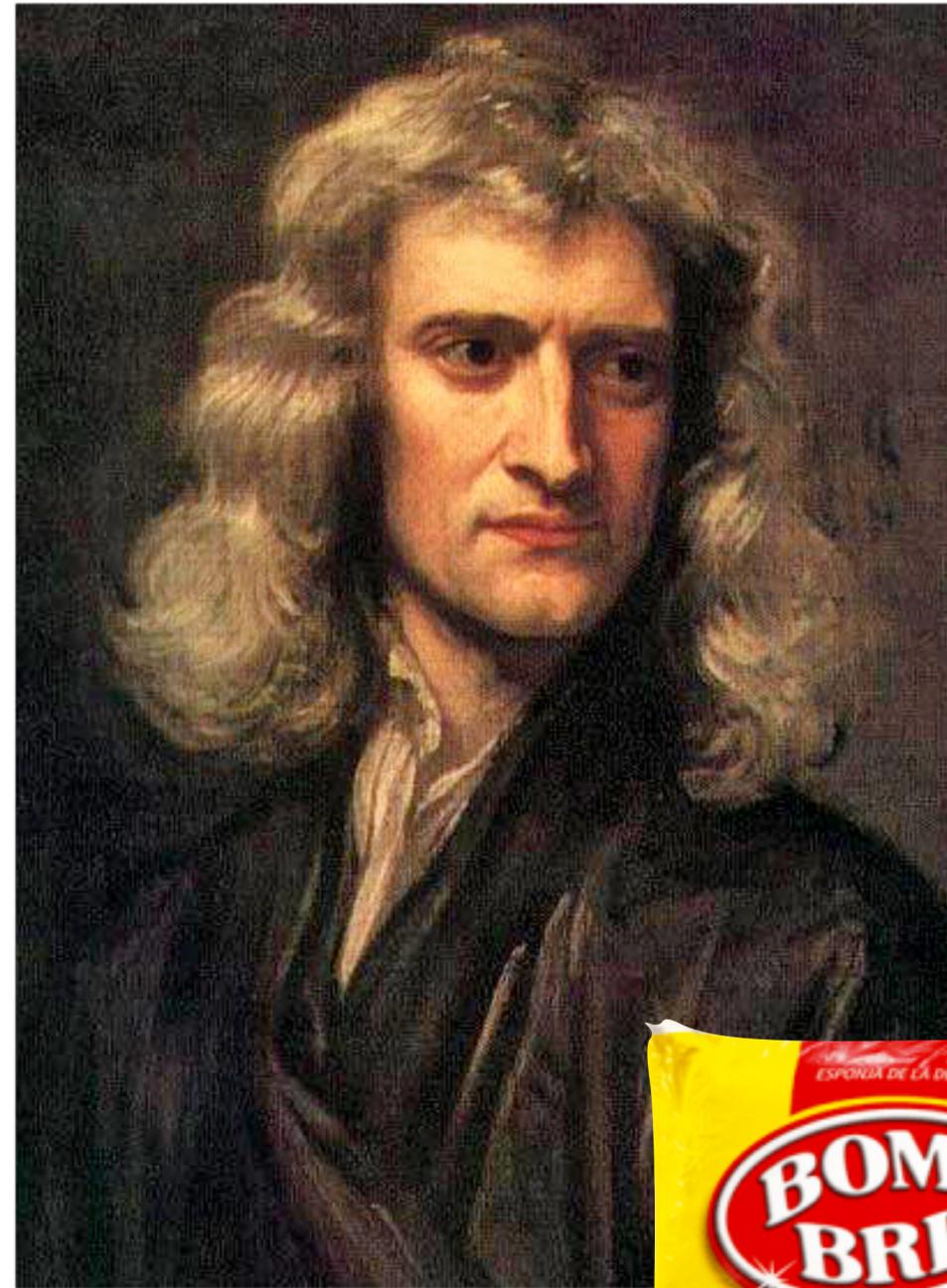
Introdução

Equação do movimento

Conclusão

Newton

Introdução



Alquimista

Filósofo natural

Teólogo

Astrônomo



Físico

Matemático

1643 - 1727 (84 anos)

Conclusão

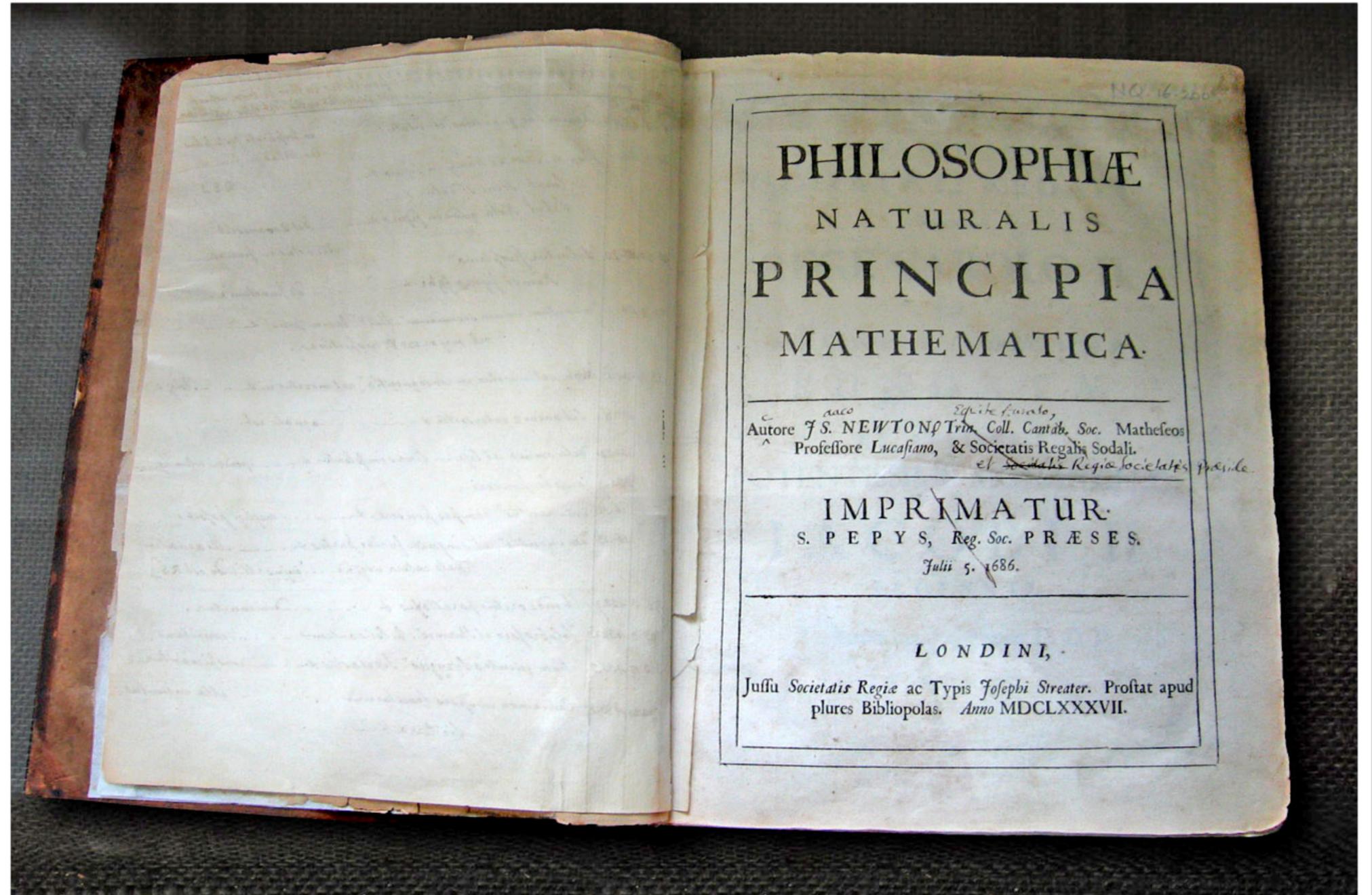
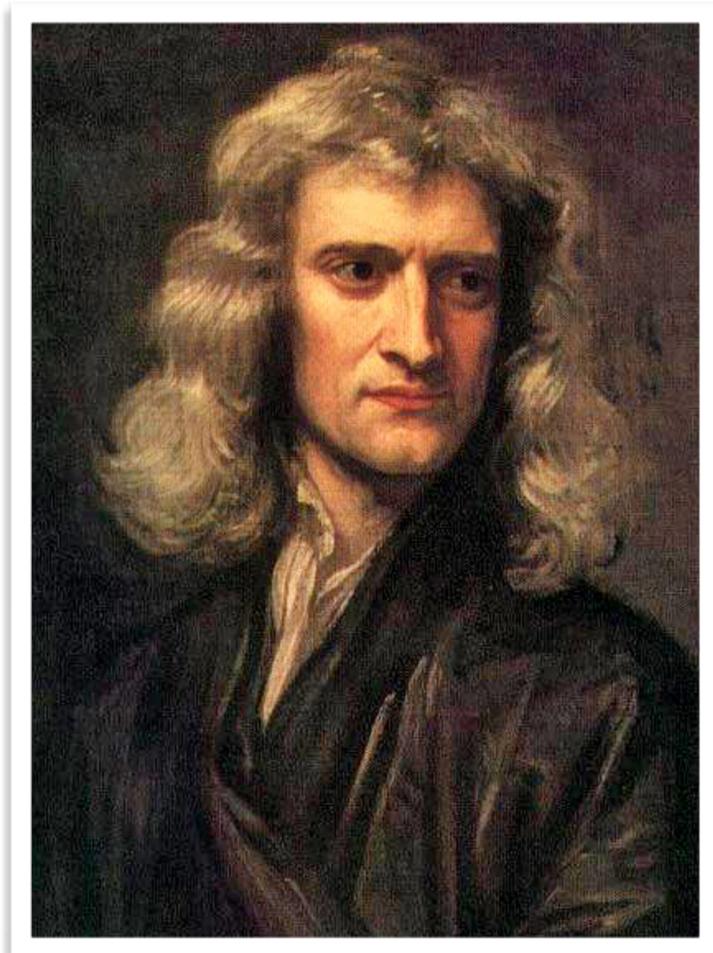
Equação do movimento

Newton

Introdução

Equação do movimento

Conclusão



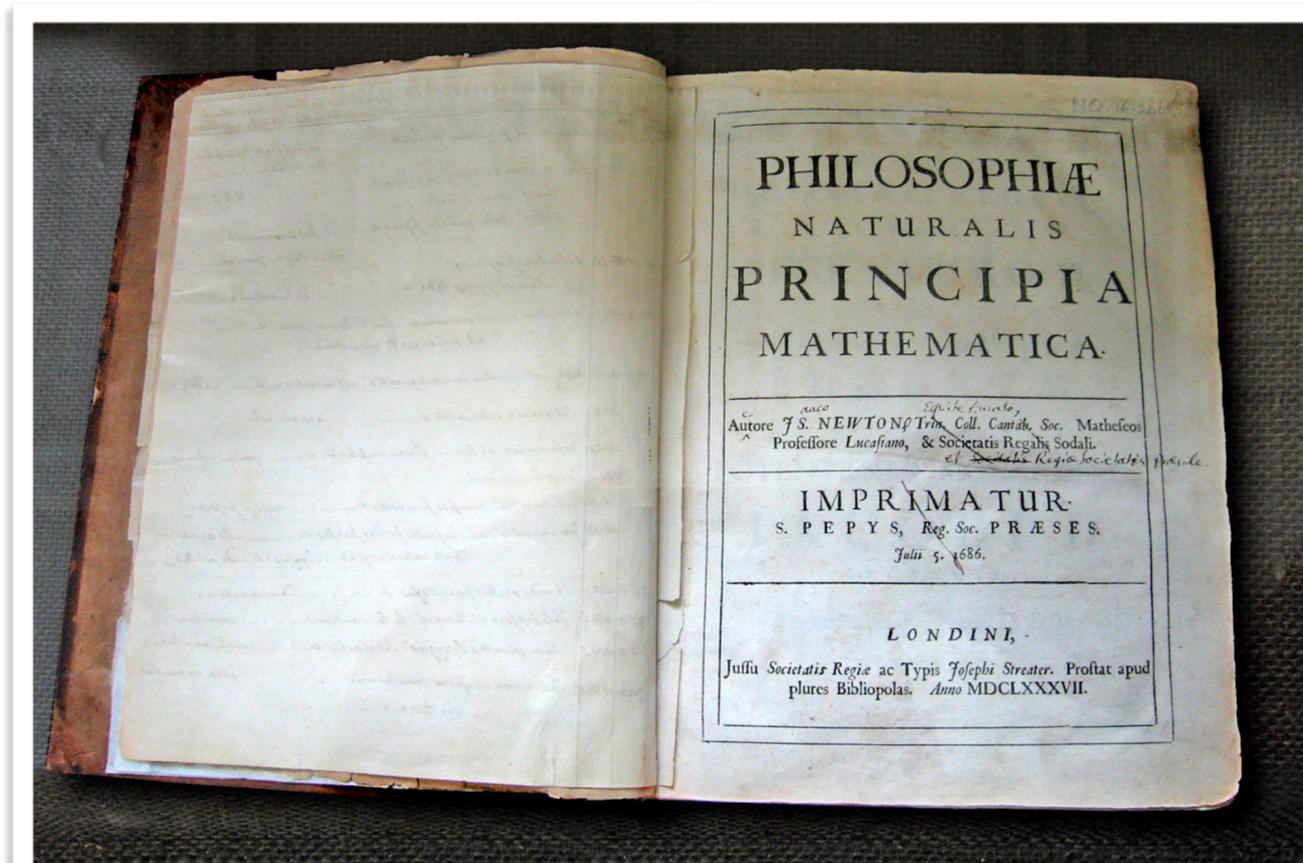
1687

Leis de Newton

Introdução

Equação do movimento

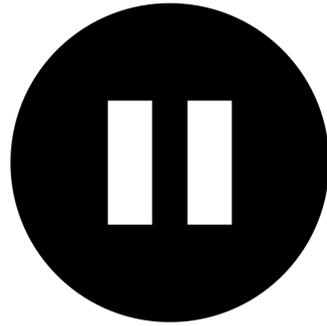
Conclusão



1. Lei da inércia
2. Lei da dinâmica
3. Lei da ação e reação

Lei da Inércia

Introdução



“Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.”

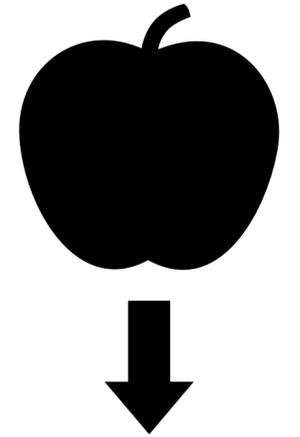
Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.

Equação do movimento

Conclusão

Lei da Dinâmica

“Mutationem motis proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur”



A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida

Introdução

Equação do movimento

Conclusão

Lei da ação e reação

Introdução



“Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sine corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi”

A toda ação há sempre oposta uma reação igual, ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas

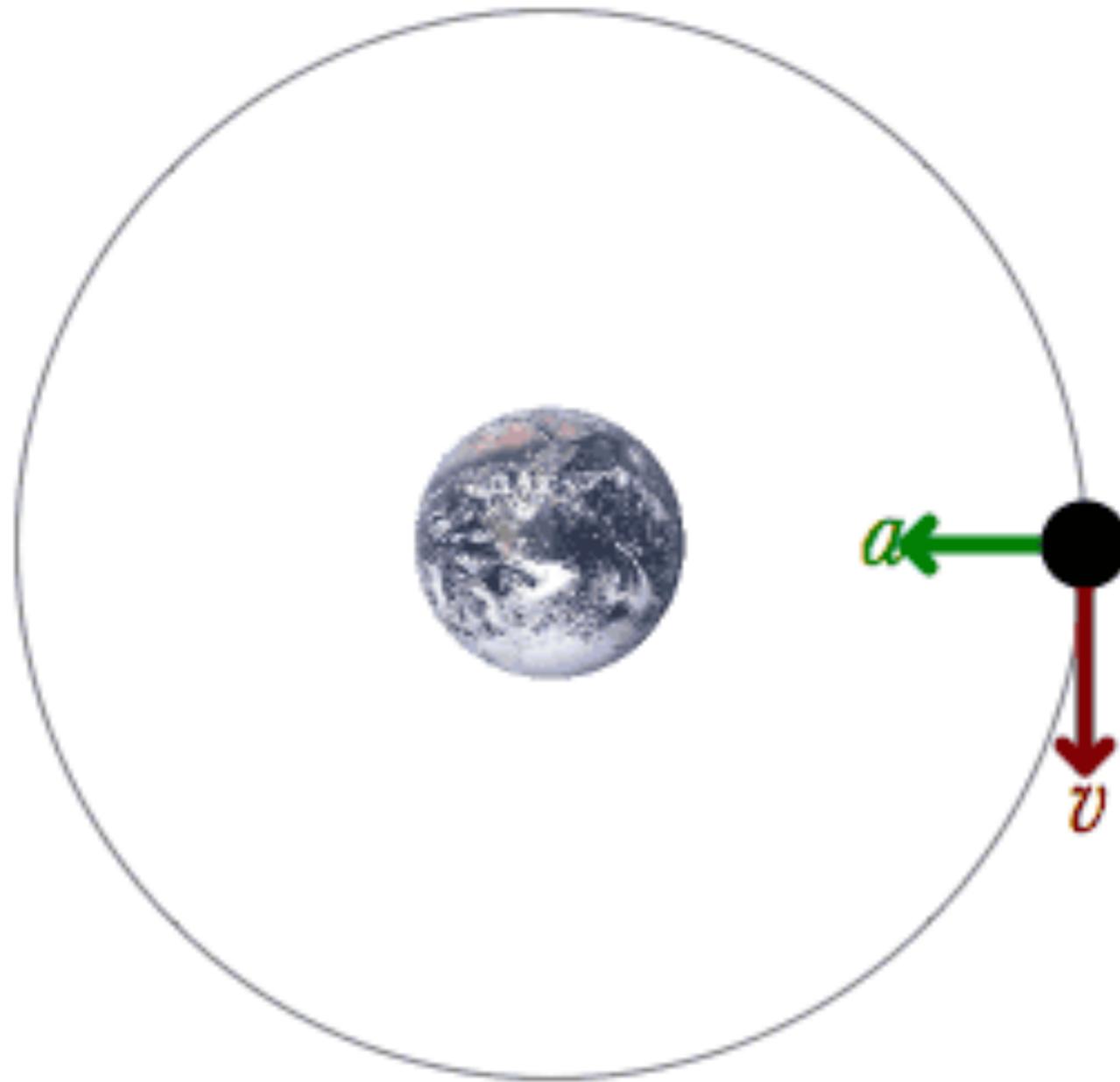
Conclusão

Lei da atração gravitacional

Introdução

Equação do movimento

Conclusão



$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

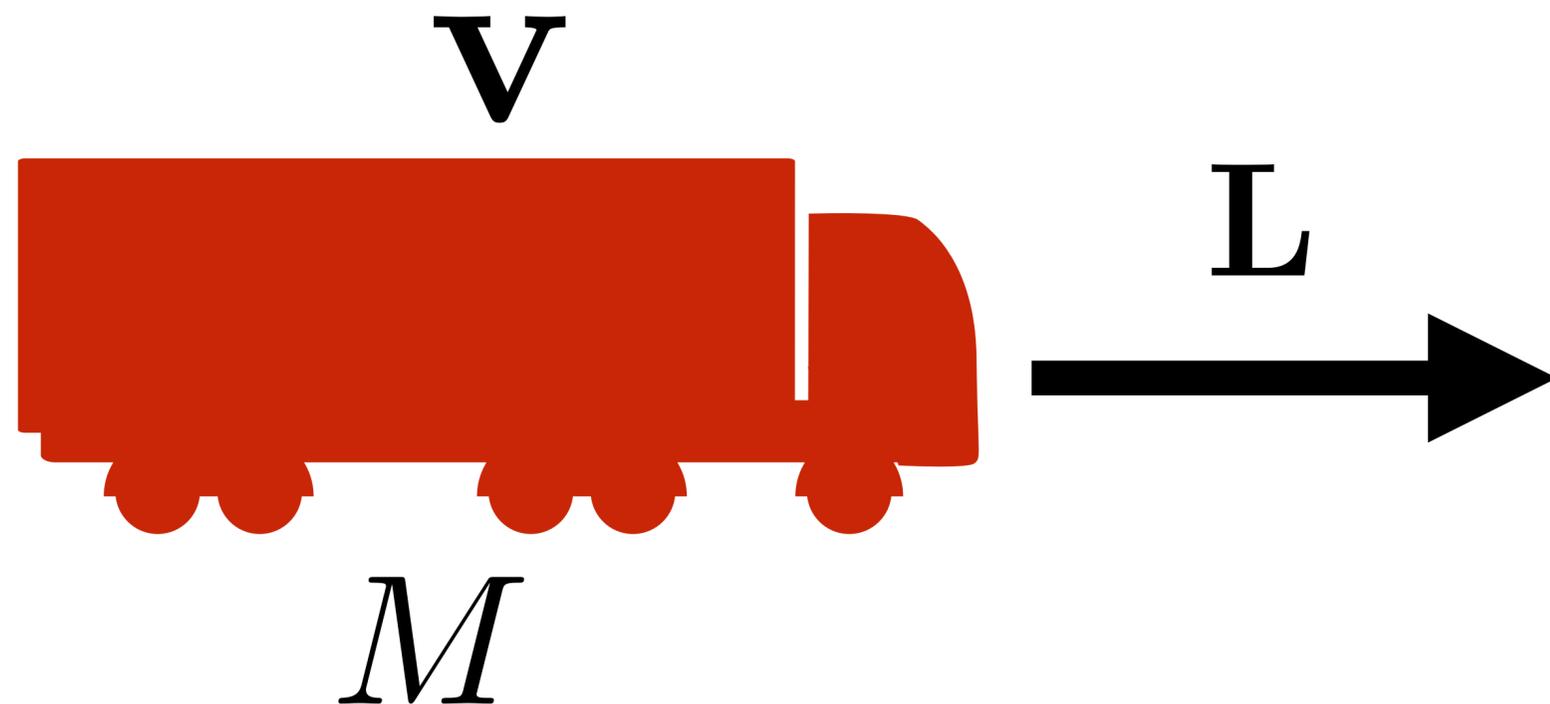
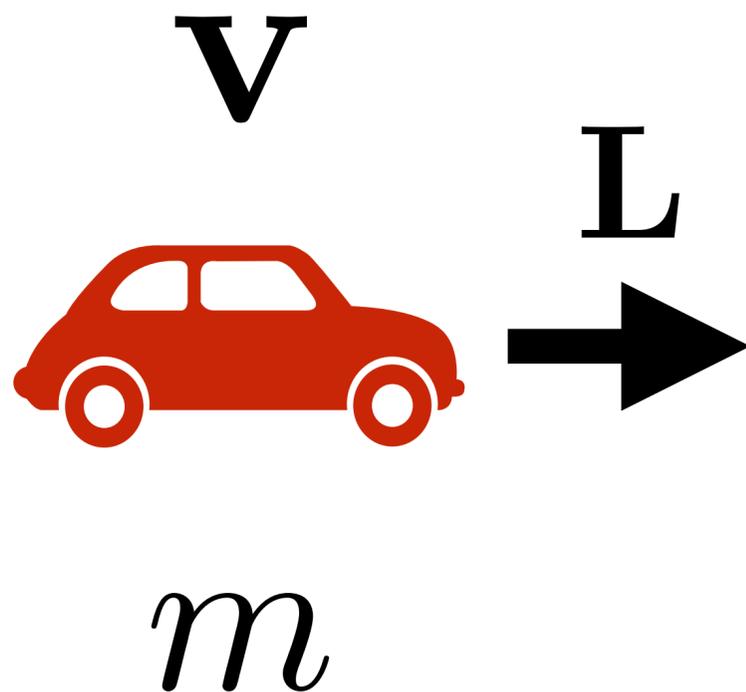
$$W = mg$$

Momento linear

Também chamado de
Quantidade de
movimento

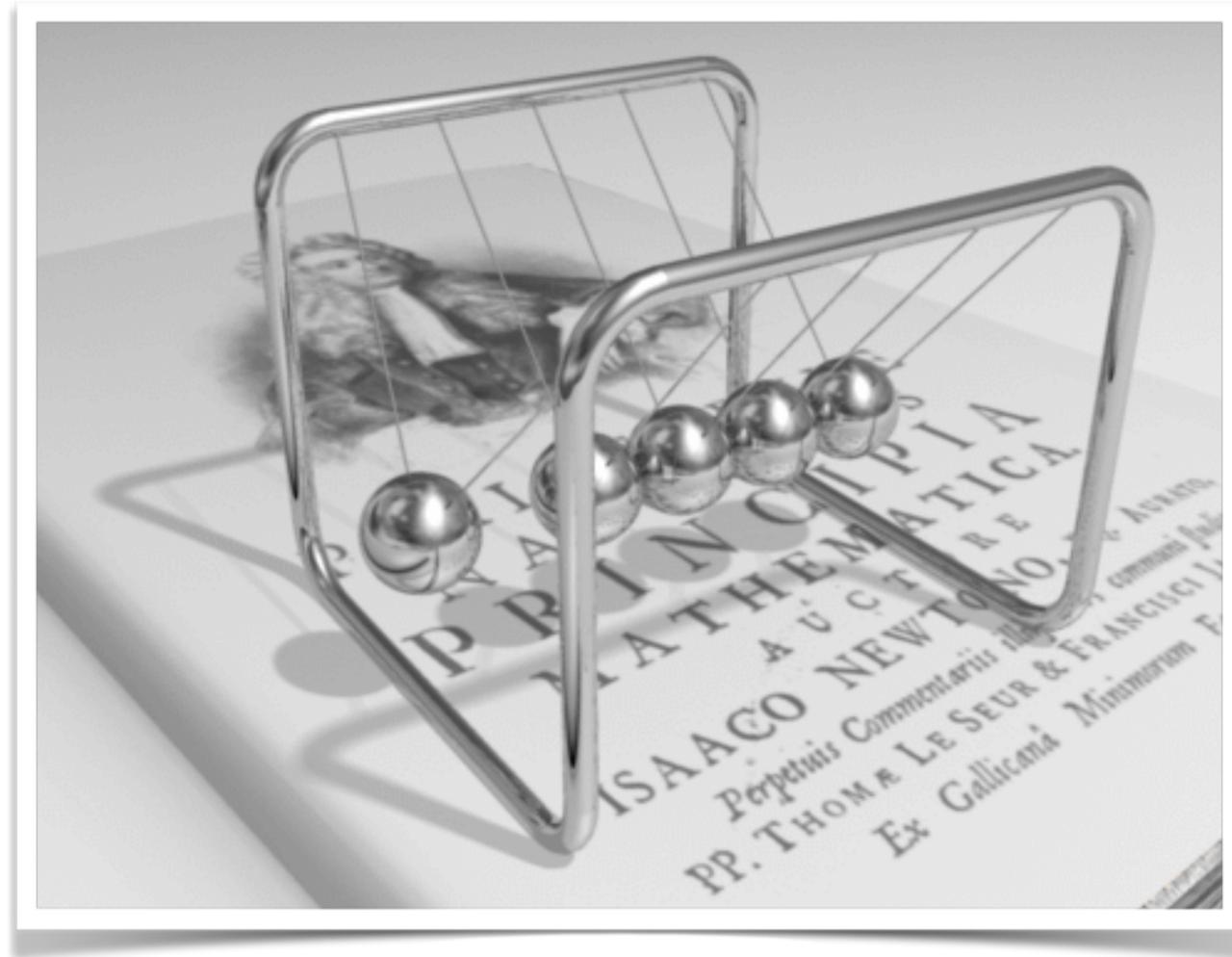
$$\mathbf{L} = m\mathbf{v}$$

“Inércia”



Momento linear

Constante na ausência de forças
externas ao sistema



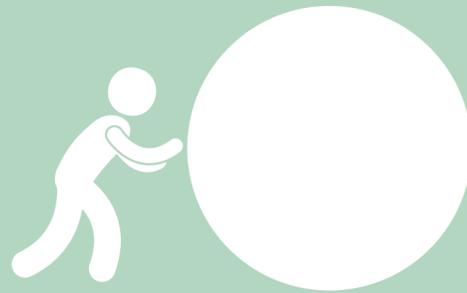
Introdução

Equação do
movimento

Conclusão

Conteúdo

Introdução



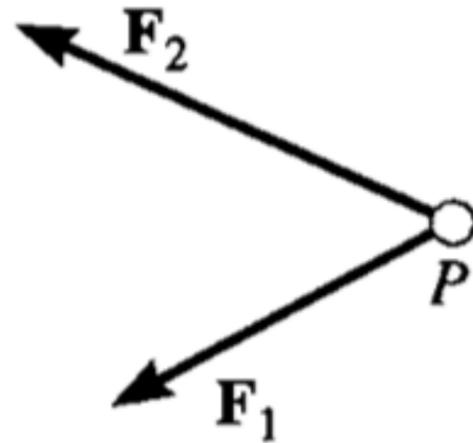
- **Partícula e corpo rígido**
- Coordenadas retangulares
- Coordenadas normais e tangenciais

Equação do movimento

Conclusão

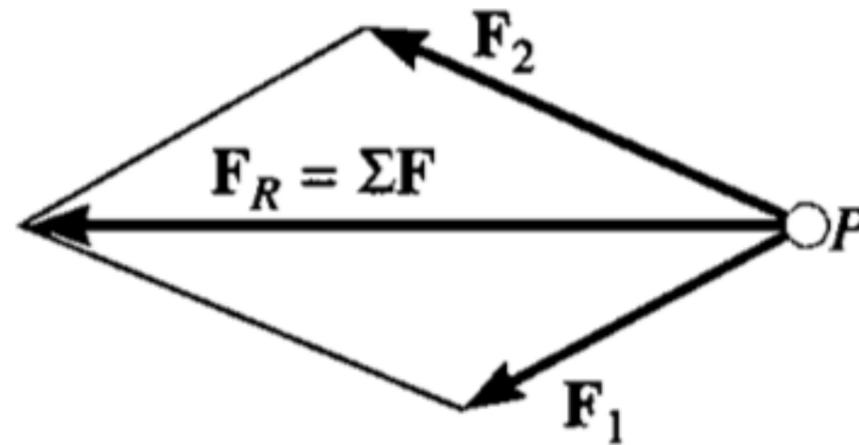
A equação do movimento de uma partícula

Introdução

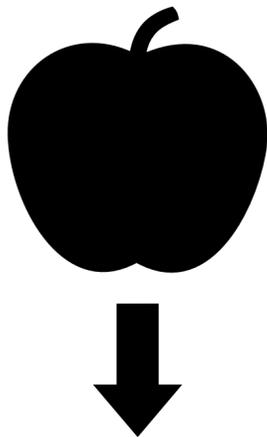


$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{F}_R$$

segunda lei



$$\mathbf{F}_R = \frac{d(\mathbf{L})}{dt} = \frac{d(m\mathbf{v})}{dt}$$



$$\mathbf{F}_R = ma$$

Conclusão

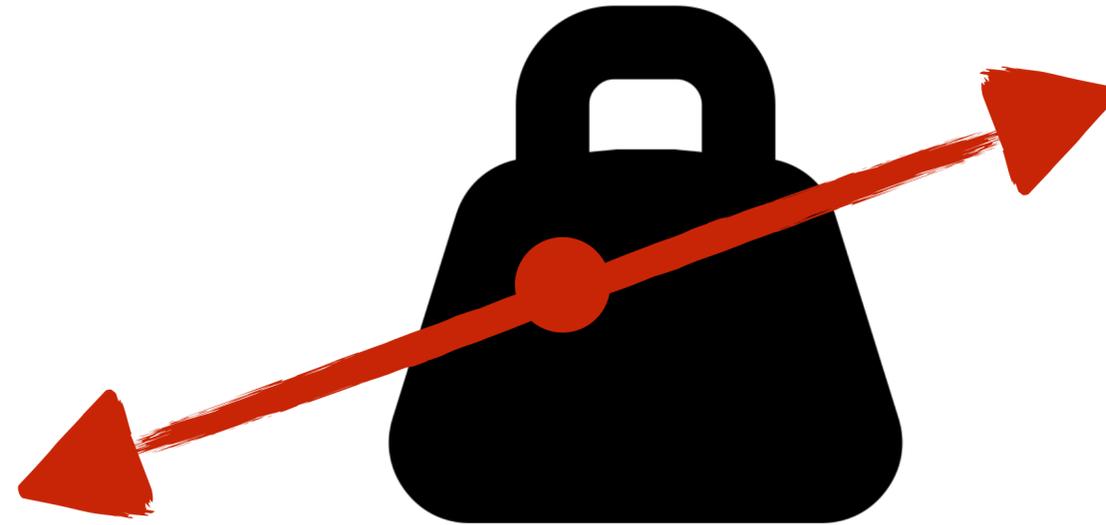
e essa equação
também vale para um
corpo rígido?



$$\mathbf{F}_R = ma$$

Corpo rígido

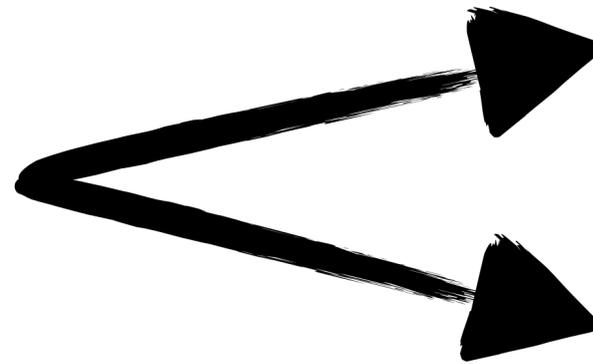
Introdução



conjunto de partículas

corpo rígido

IDEAL



não se deforma !

forças **internas** se cancelam!

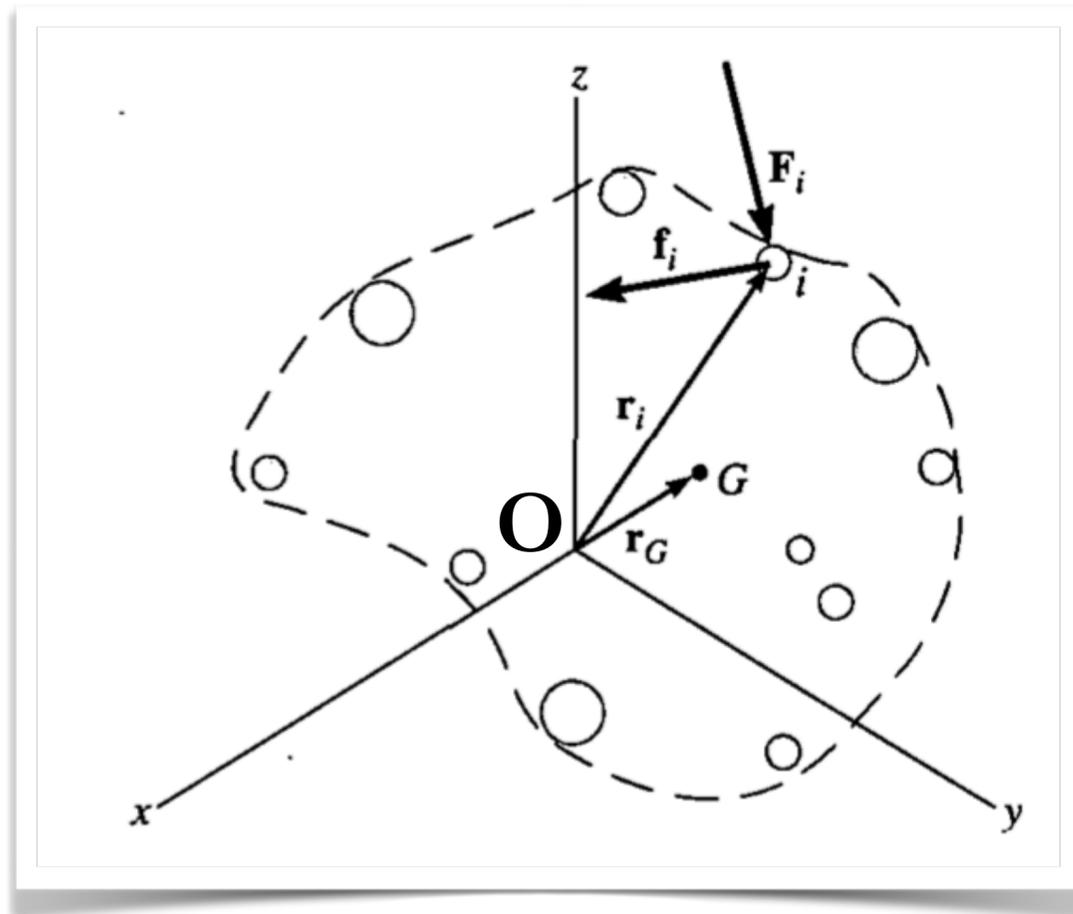
Conclusão

A equação do movimento de um corpo rígido

Introdução

Equação do movimento

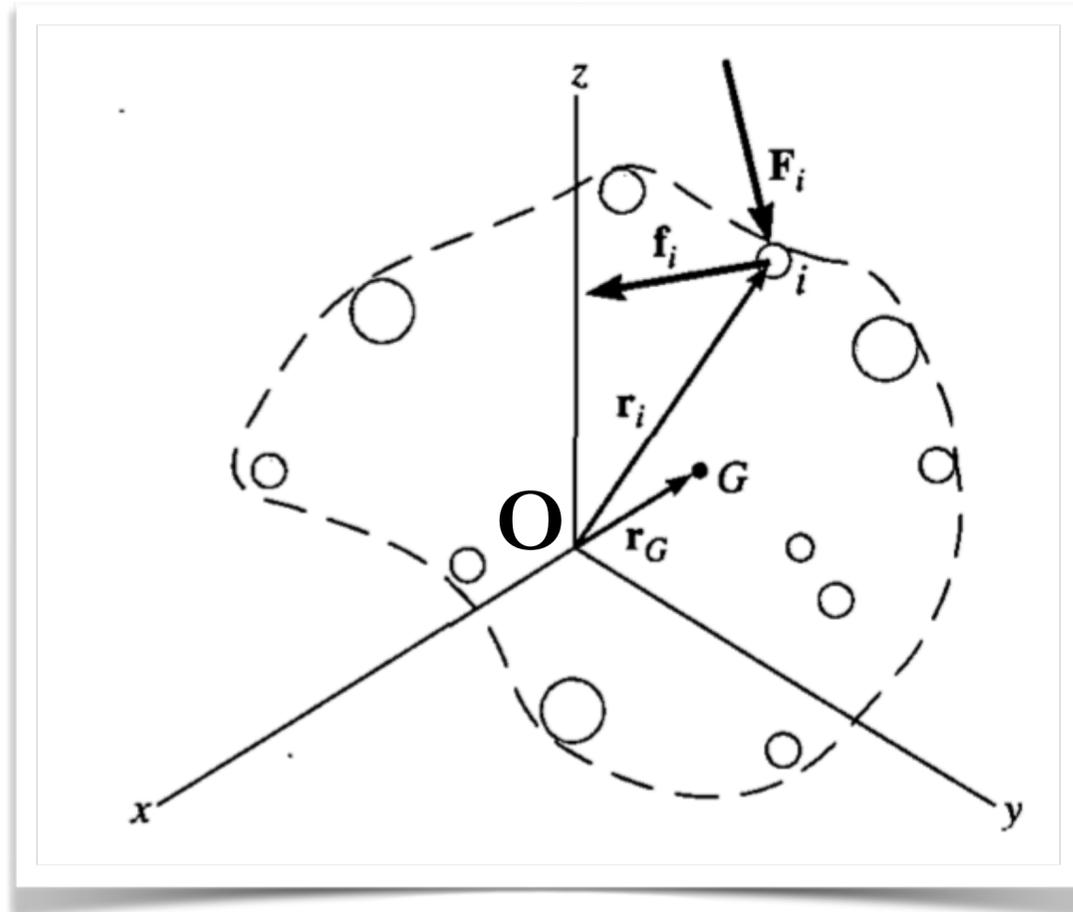
Conclusão



conjunto de partículas

$$\sum \mathbf{F}_i = \sum m_i \mathbf{a}_i / O$$

Centro de massa



média ponderada da distância com a massa como peso

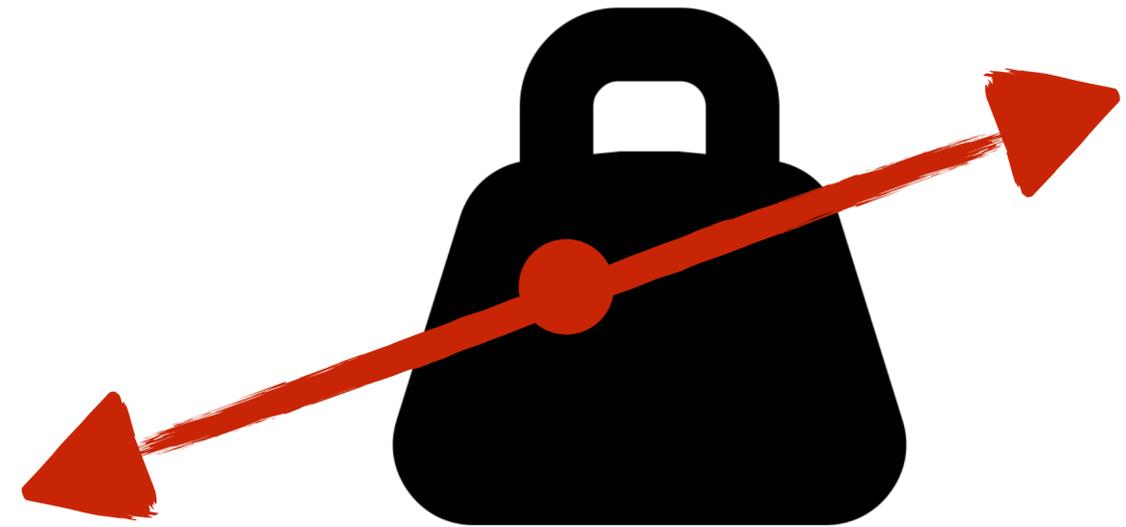
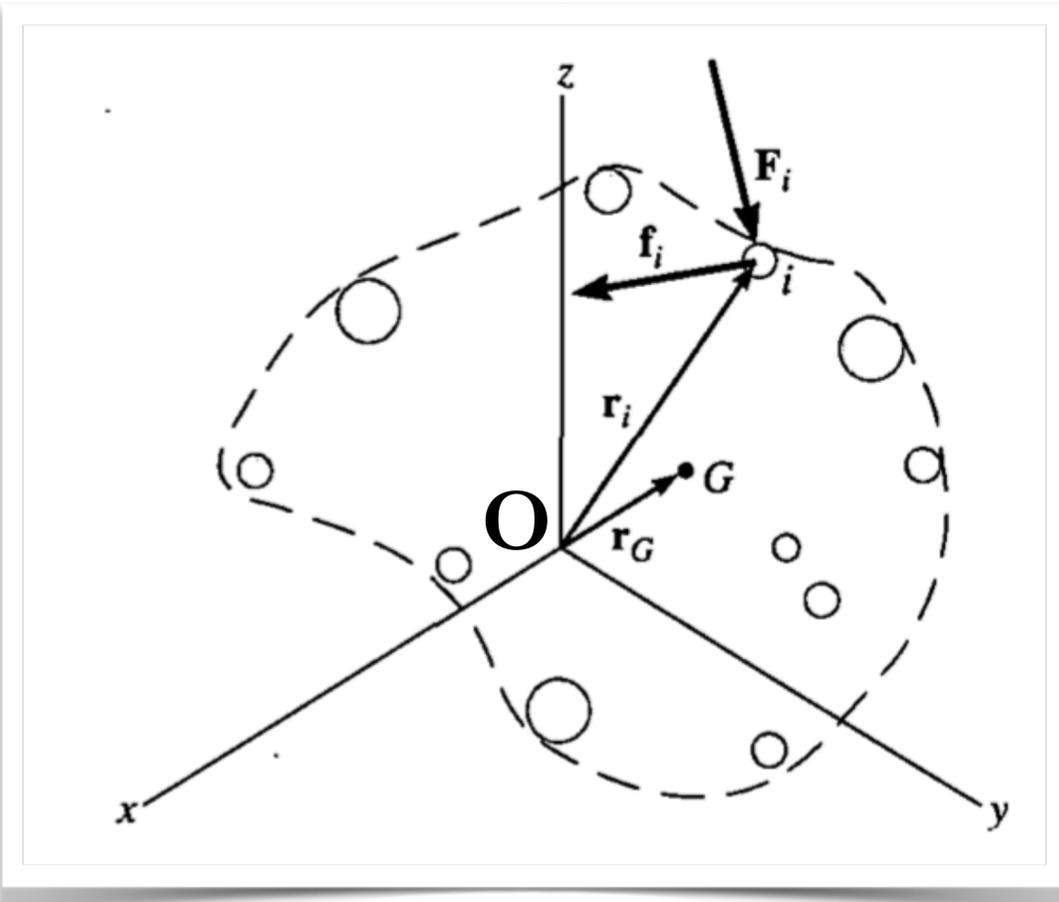
$$\mathbf{r}_{G/O} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{r}_{i/O}$$

$$\frac{d^2}{dt^2}$$

$$\mathbf{a}_{G/O} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{a}_{i/O}$$

A equação do movimento de um corpo rígido

Introdução



conjunto de partículas

$$\mathbf{a}_{G/O} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{a}_{i/O}$$

$$\sum \mathbf{F}_i = \sum m_i \mathbf{a}_{i/O} = M \mathbf{a}_{G/O}$$

Equação do movimento

Conclusão

e essa equação
também vale para um
corpo rígido?

Para seu centro de

massa, **sim!**

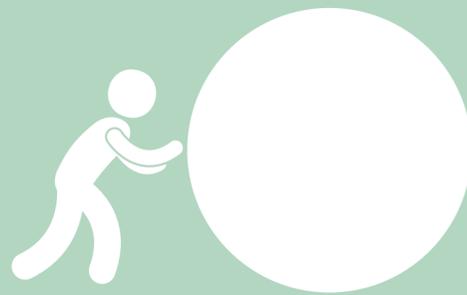


$$\mathbf{F}_R = ma$$

$$\mathbf{F}_R = ma_G$$

Conteúdo

Introdução



- Partícula e corpo rígido
- **Coordenadas retangulares**
- Coordenadas normais e tangenciais

Equação do movimento

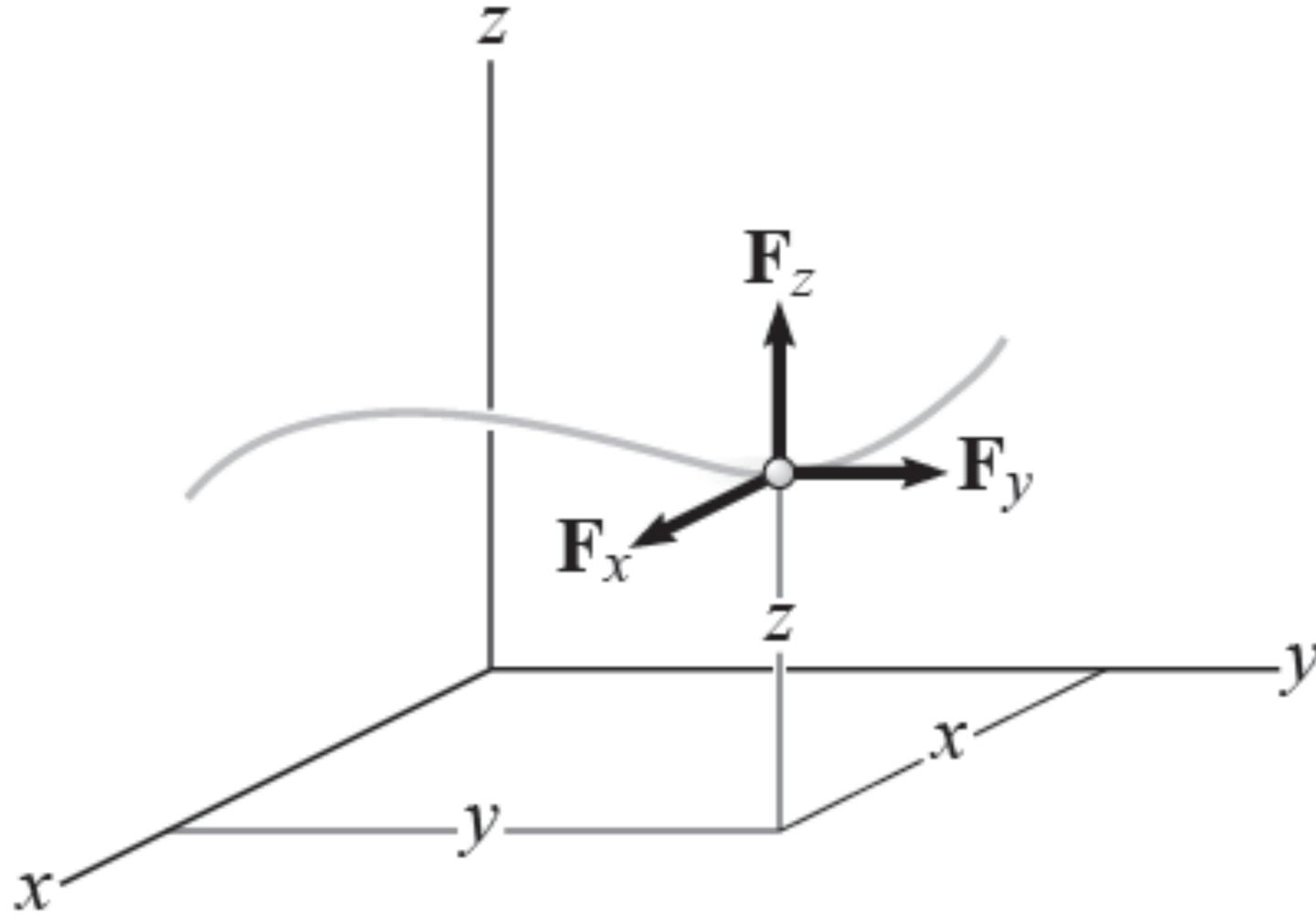
Conclusão

Coordenadas retangulares

Introdução

Equação do movimento

Conclusão



$$\sum \mathbf{F}_x = m\mathbf{a}_x$$

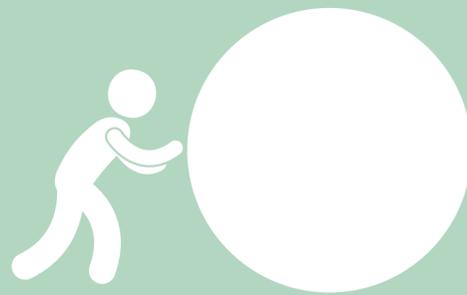
$$\sum \mathbf{F}_y = m\mathbf{a}_y$$

$$\sum \mathbf{F}_z = m\mathbf{a}_z$$

movimentos retilíneos

Conteúdo

Introdução



- Partícula e corpo rígido
- Coordenadas retangulares
- Coordenadas normais e tangenciais**

Equação do movimento

Conclusão

Coordenadas normais e tangenciais

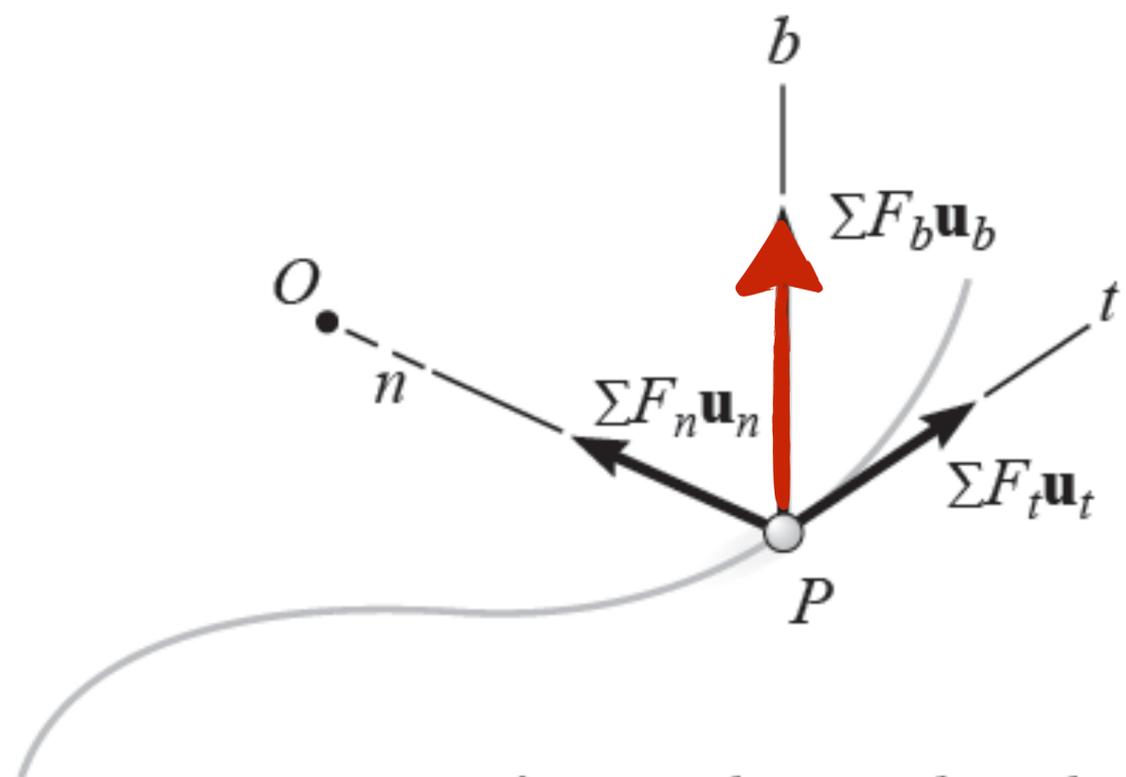
Introdução

Equação do movimento

Conclusão

movimentos curvilíneos

direções tangencial, normal e binormal



Sistema de coordenada inercial

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

$$\Sigma F_t \mathbf{u}_t + \Sigma F_n \mathbf{u}_n + \Sigma F_b \mathbf{u}_b = m \mathbf{a}_t + m \mathbf{a}_n$$

$$a_t = \dot{v}$$

$$a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

$$\Sigma \mathbf{F}_t = m \mathbf{a}_t$$

$$\Sigma \mathbf{F}_n = m \mathbf{a}_n$$

$$\Sigma \mathbf{F}_b = 0$$

Conteúdo

Introdução

Equação do movimento

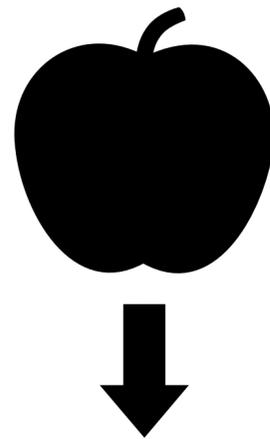


– “Take-home messages”

Conclusão

“Take-home messages”

princípio
fundamental da
dinâmica



$$\mathbf{F}_R = \frac{d(\mathbf{L})}{dt} = \frac{d(m\mathbf{v})}{dt}$$

$$\mathbf{F}_R = m\mathbf{a}$$

$$\mathbf{F}_R = M\mathbf{a}_G$$

Introdução

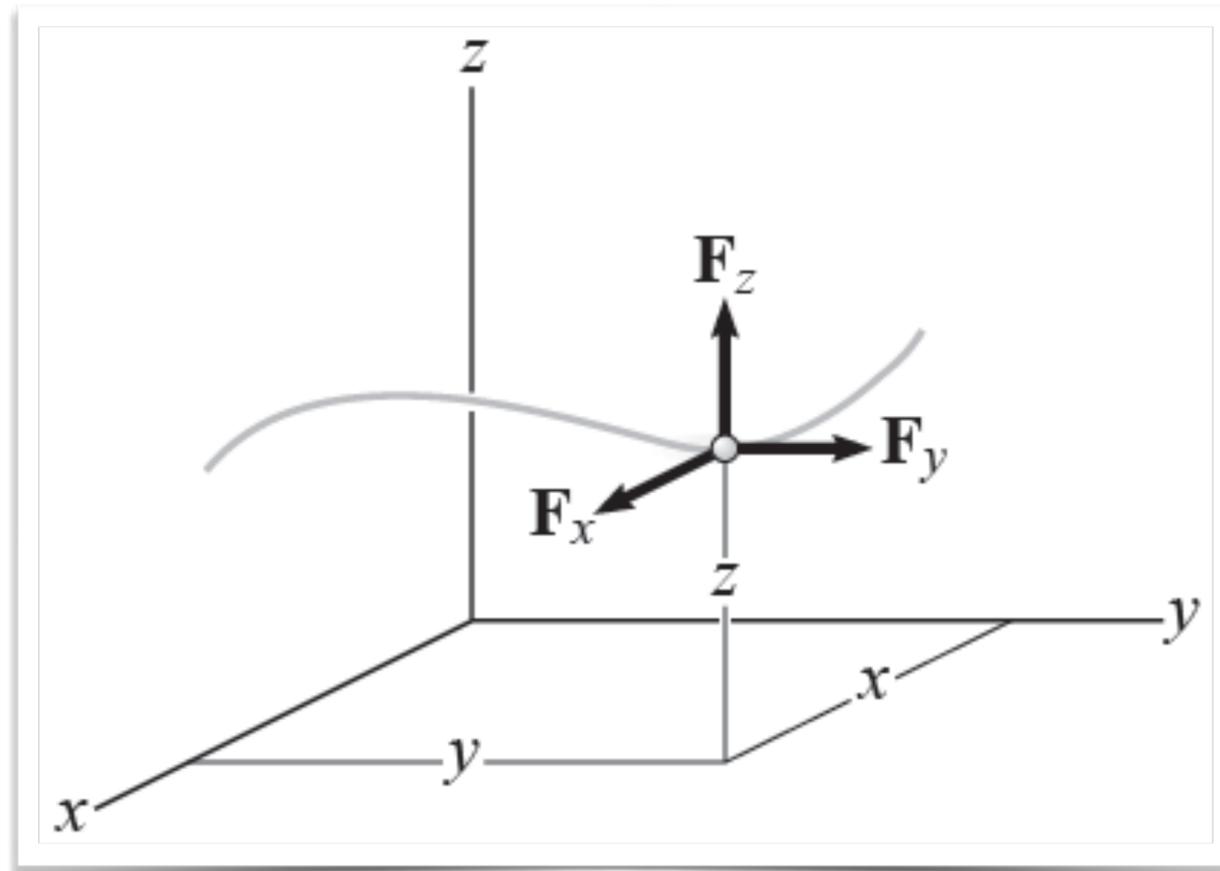
Equação do
movimento

Conclusão

“Take-home messages”

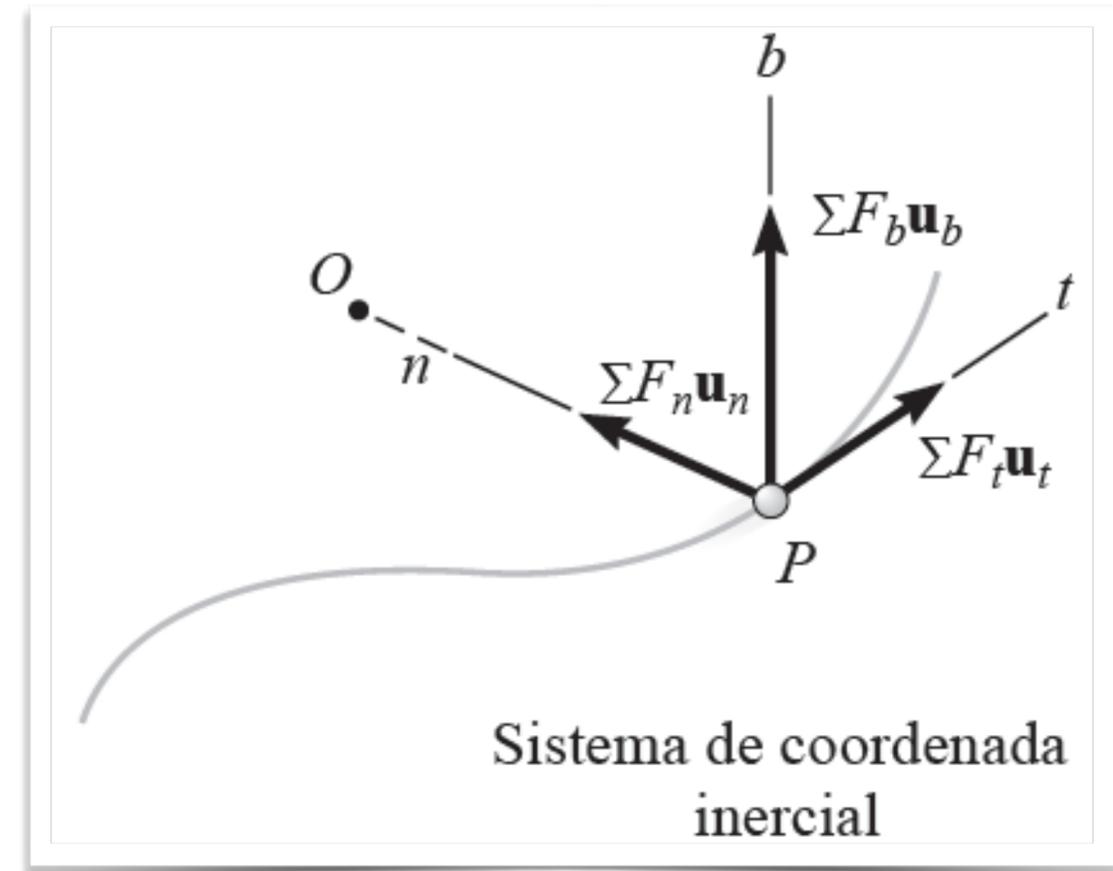
Coordenadas retangulares

movimento retilíneo



Coordenadas normais e tangenciais

movimento curvilíneo



Introdução

Equação do movimento

Conclusão