

SEM0501

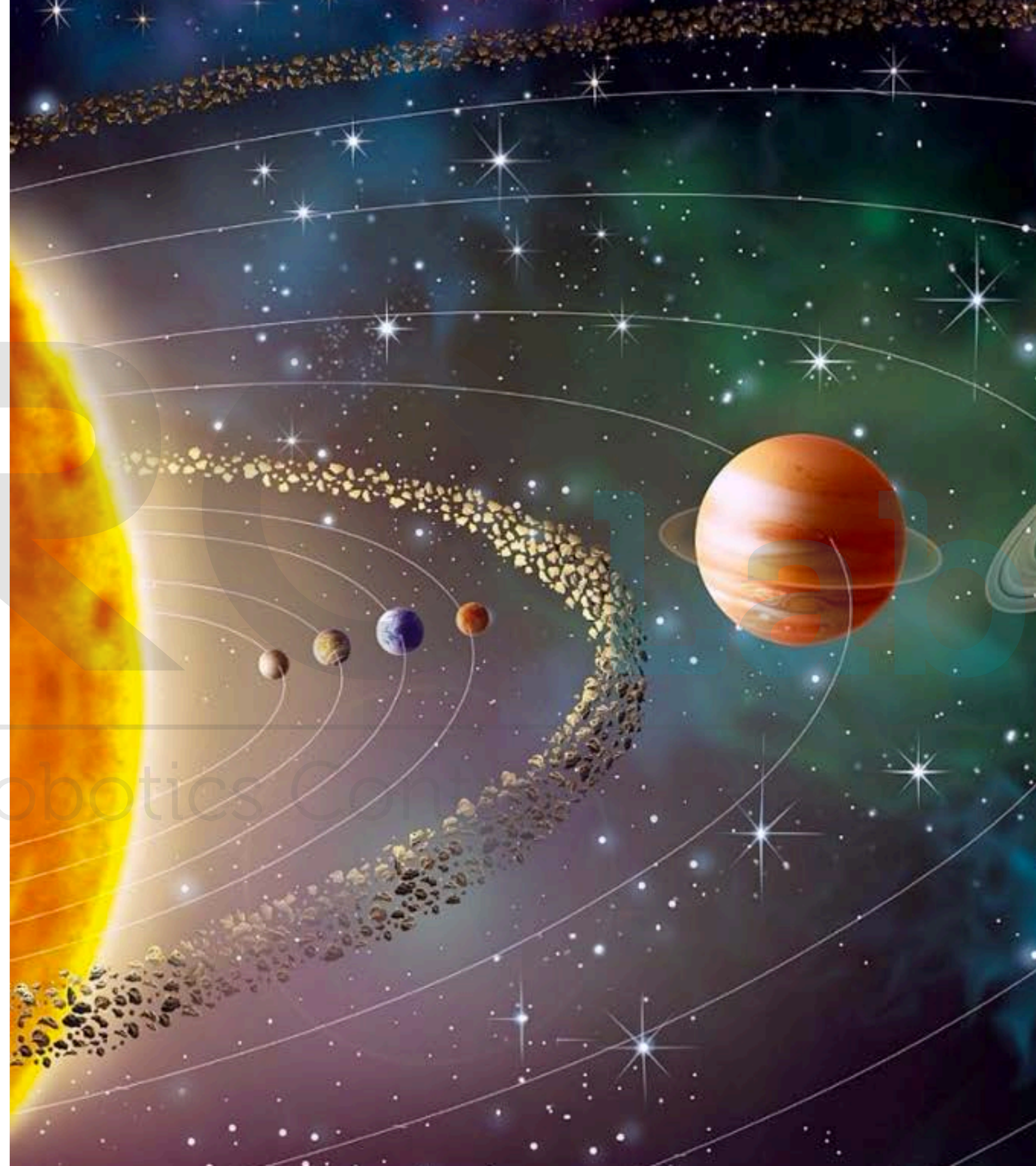
Dinâmica Aplicada às Máquinas

Aula #11 — Leis de Newton e
Equações de movimento

Prof. Dr. Thiago Boaventura

tboaventura@usp.br

São Carlos, 01/10/18



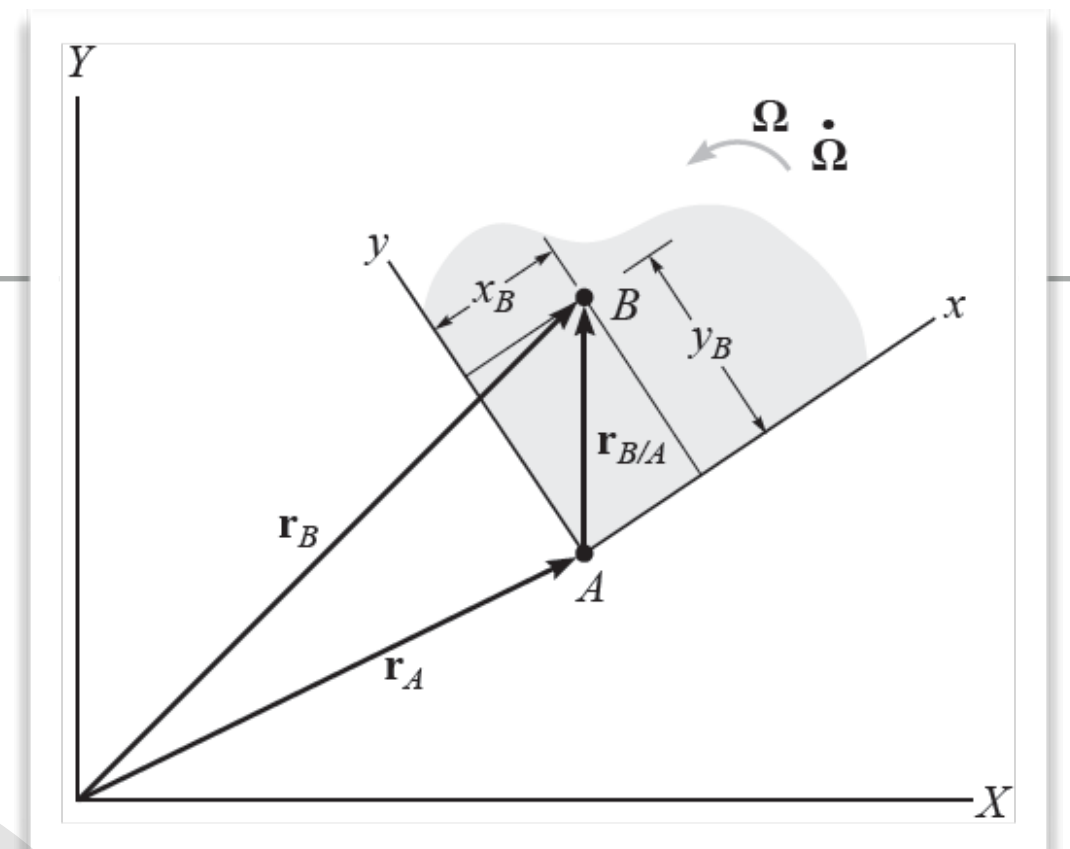
Aulas passadas...

$$\mathbf{v}_B = \mathbf{v}_A + (\mathbf{v}_{B/A})_{xyz} + \boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{r}_{B/A}$$



Aulas passadas...

$$\mathbf{v}_B = \mathbf{v}_A + (\mathbf{v}_{B/A})_{xyz} + \boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{r}_{B/A}$$



\mathbf{v}_B

velocidade absoluta de B
(iguais)

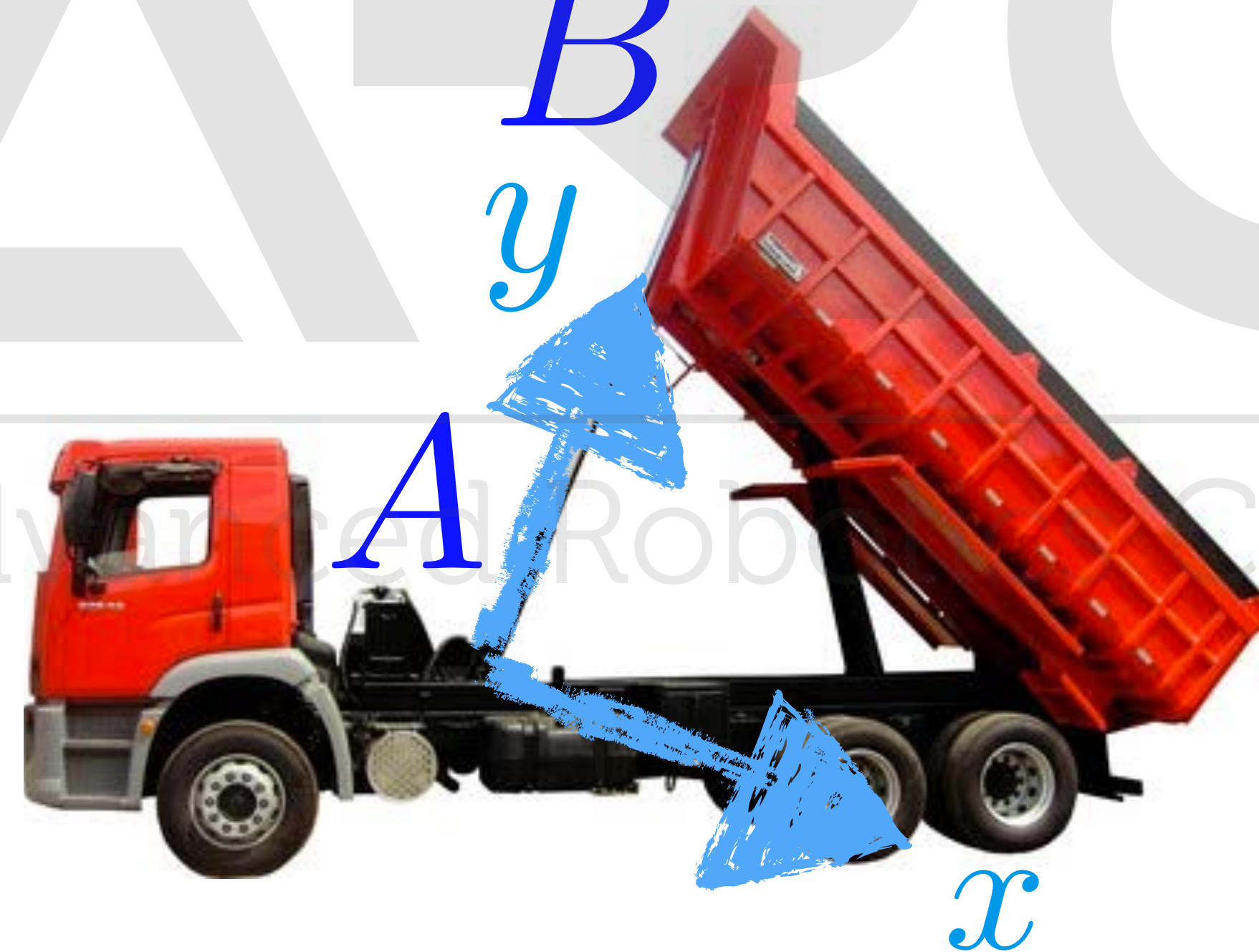
movimento de B observado a partir do sistema
 X, Y, Z

ARC Lab

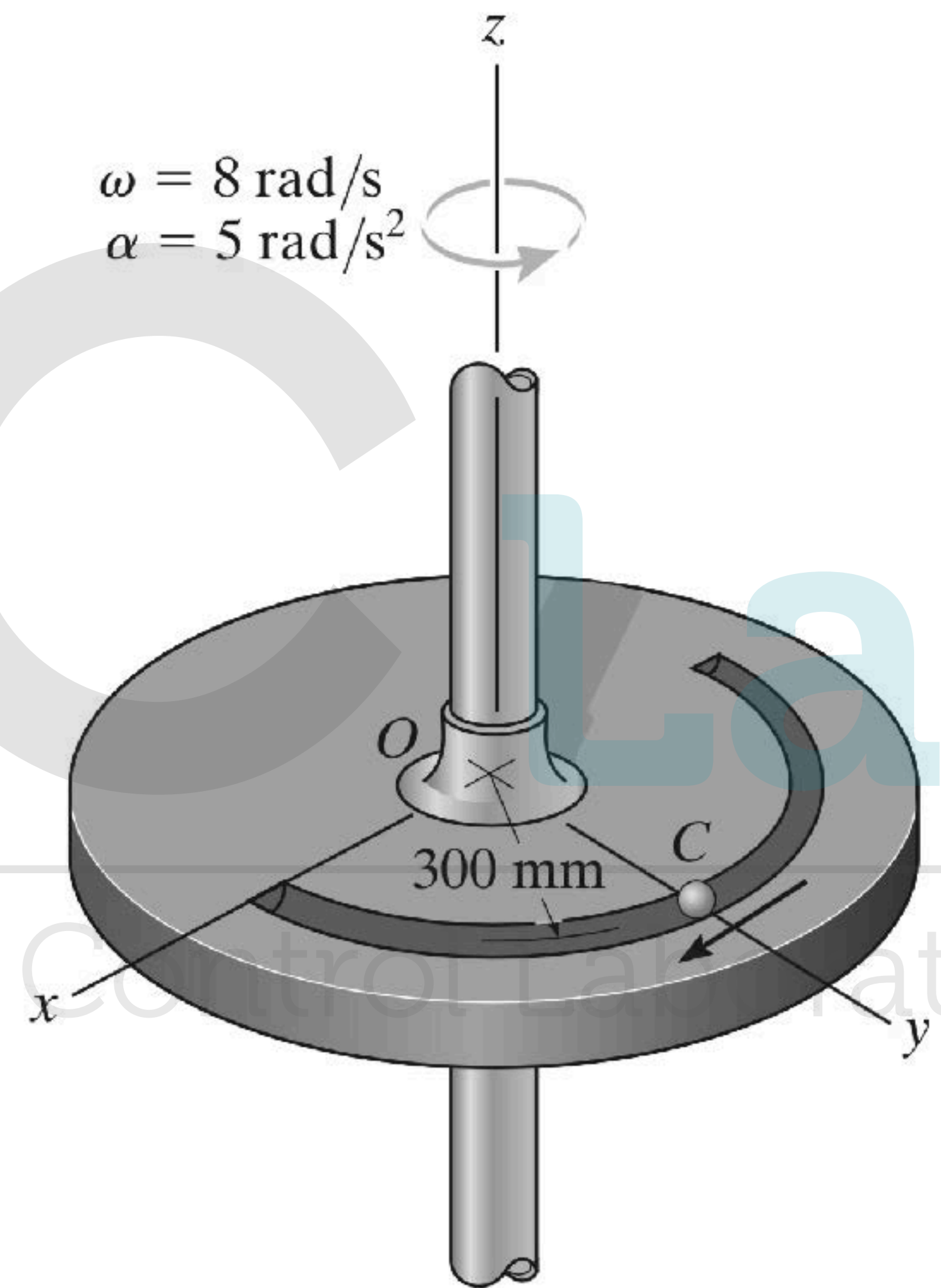
Advanced Robotics Control Laboratory

Aulas passadas...

$$\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_A + (\mathbf{a}_{B/A})_{xyz} + 2\boldsymbol{\Omega} \times (\mathbf{v}_{B/A})_{xyz} + \dot{\boldsymbol{\Omega}} \times \mathbf{r}_{B/A} + \boldsymbol{\Omega} \times (\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{r}_{B/A})$$



Ball C moves with speed of 3m/s, which is increasing at a constant rate of 1.5 m/s², both measured relative to the circular plate and directed as shown. At the same instant the plate rotates with the angular velocity and angular acceleration shown. Determine the velocity and acceleration of the ball at this instant.



A arte do

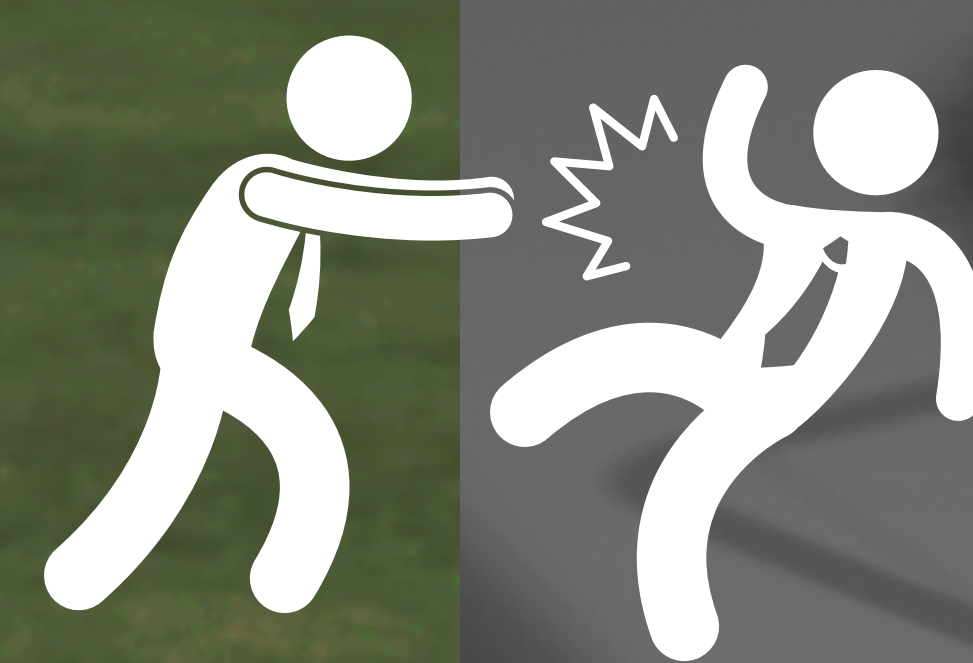
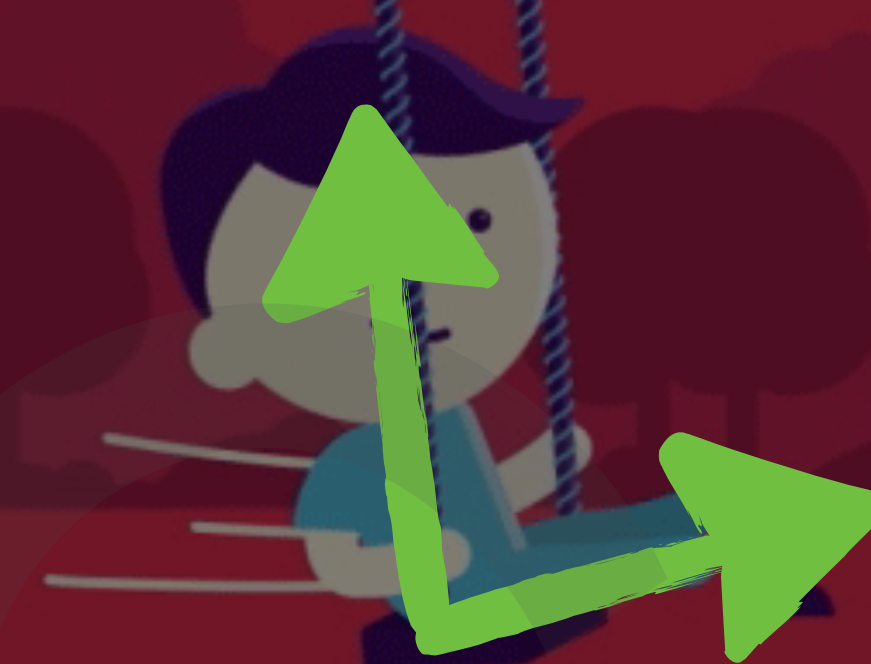
Movimento



Cinemática



Cinética



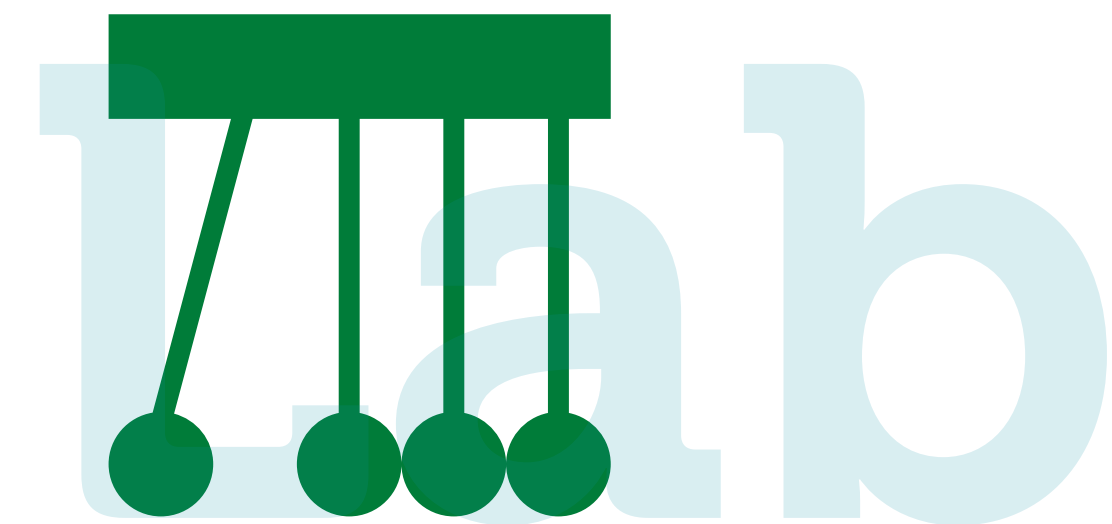
Cinética



Equações de movimento



Trabalho e energia



Impulso e quantidade de movimento

Advanced Robotics Control Laboratory

Conteúdo



- Leis de Newton
- Momento linear

Introdução



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

Equação do movimento



- “Take-home messages”
- Projeto PJ2

Conclusão

Conteúdo

Introdução

- Leis de Newton
- Momento linear



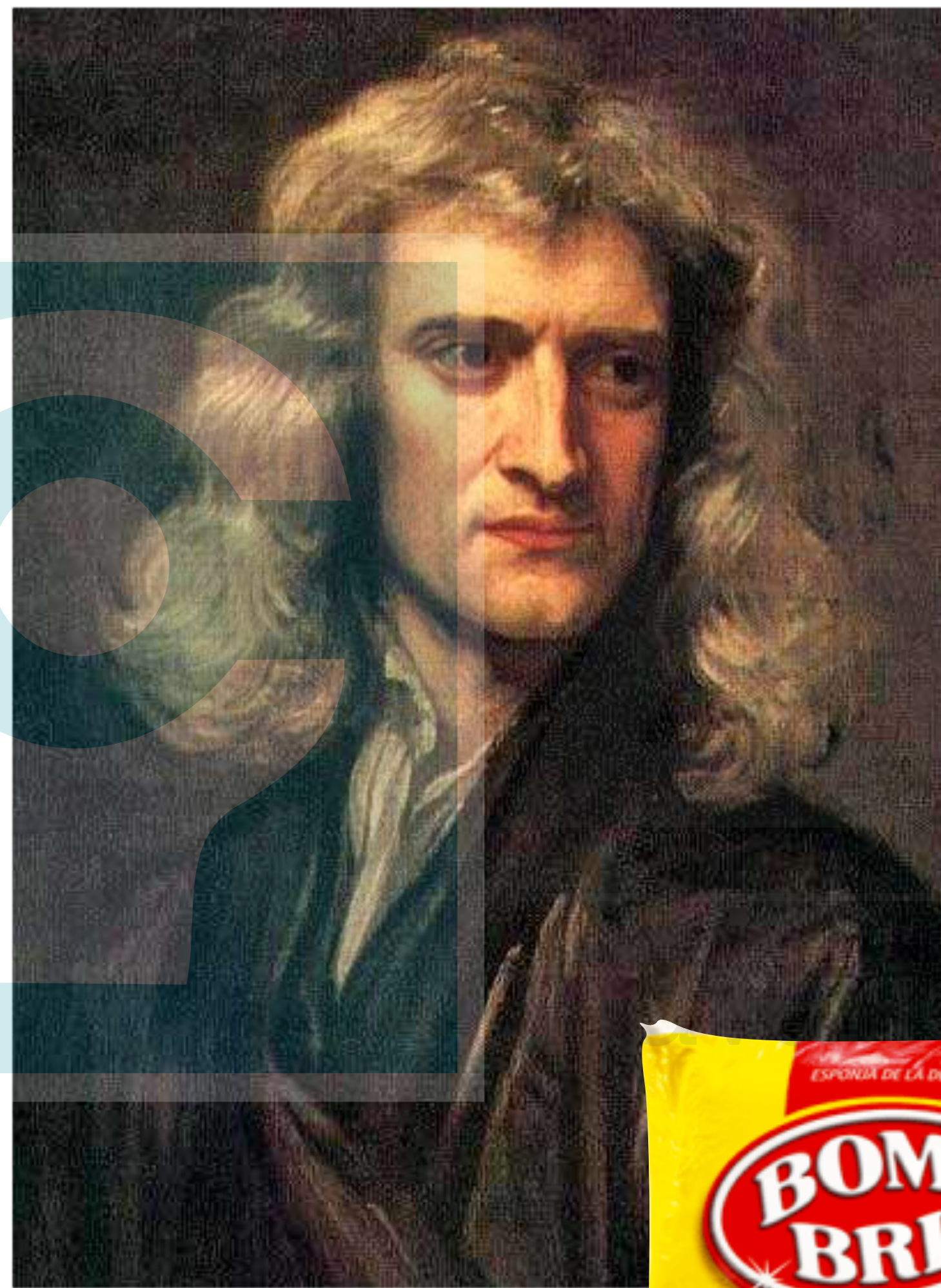
Equação do movimento

Conclusão

ARC Lab

Advanced Robotics Control Laboratory

Newton



Alquimista

Filósofo natural

Teólogo

Astrônomo



Físico

Matemático

1643 - 1727

(84 anos)

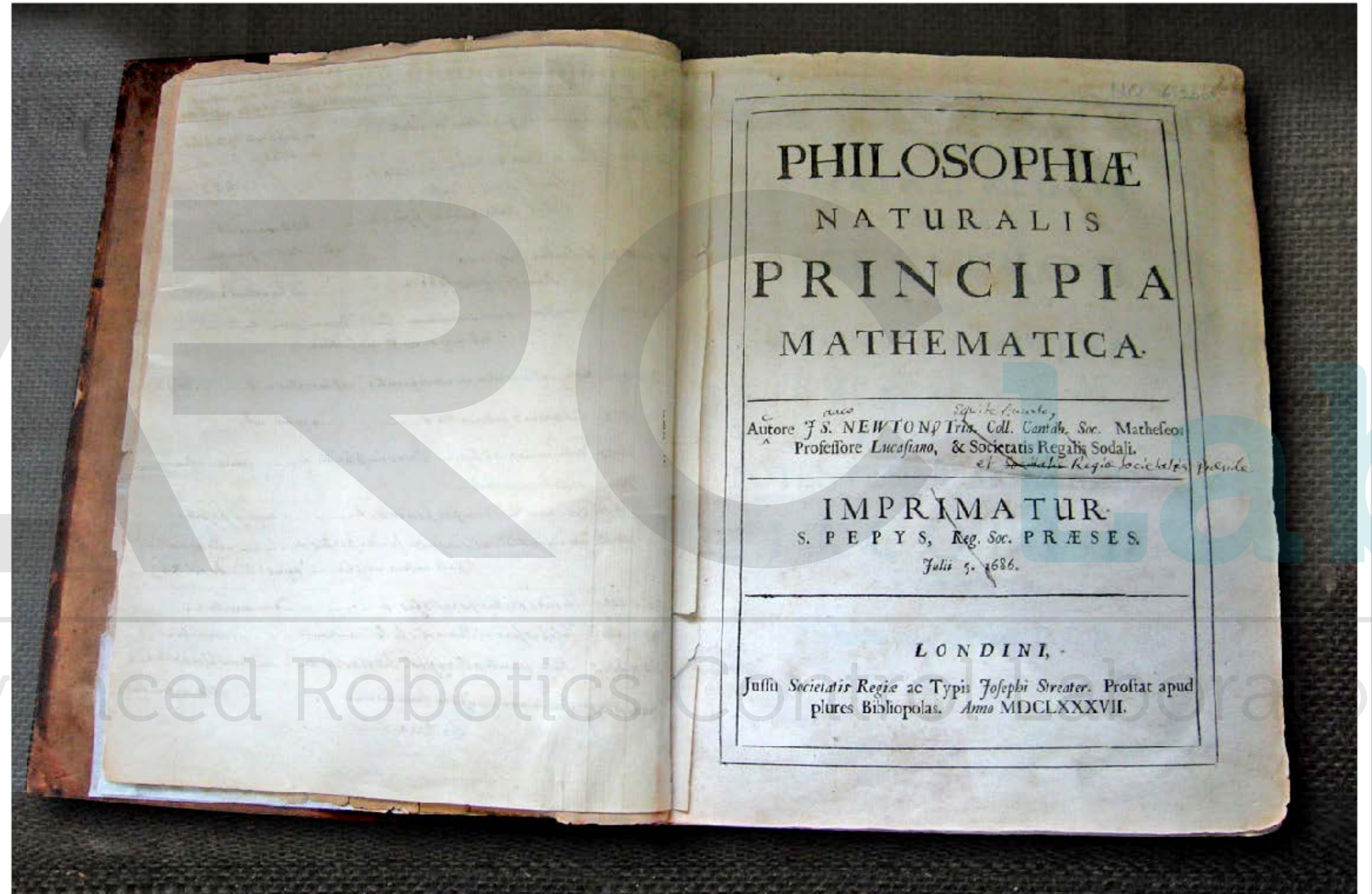
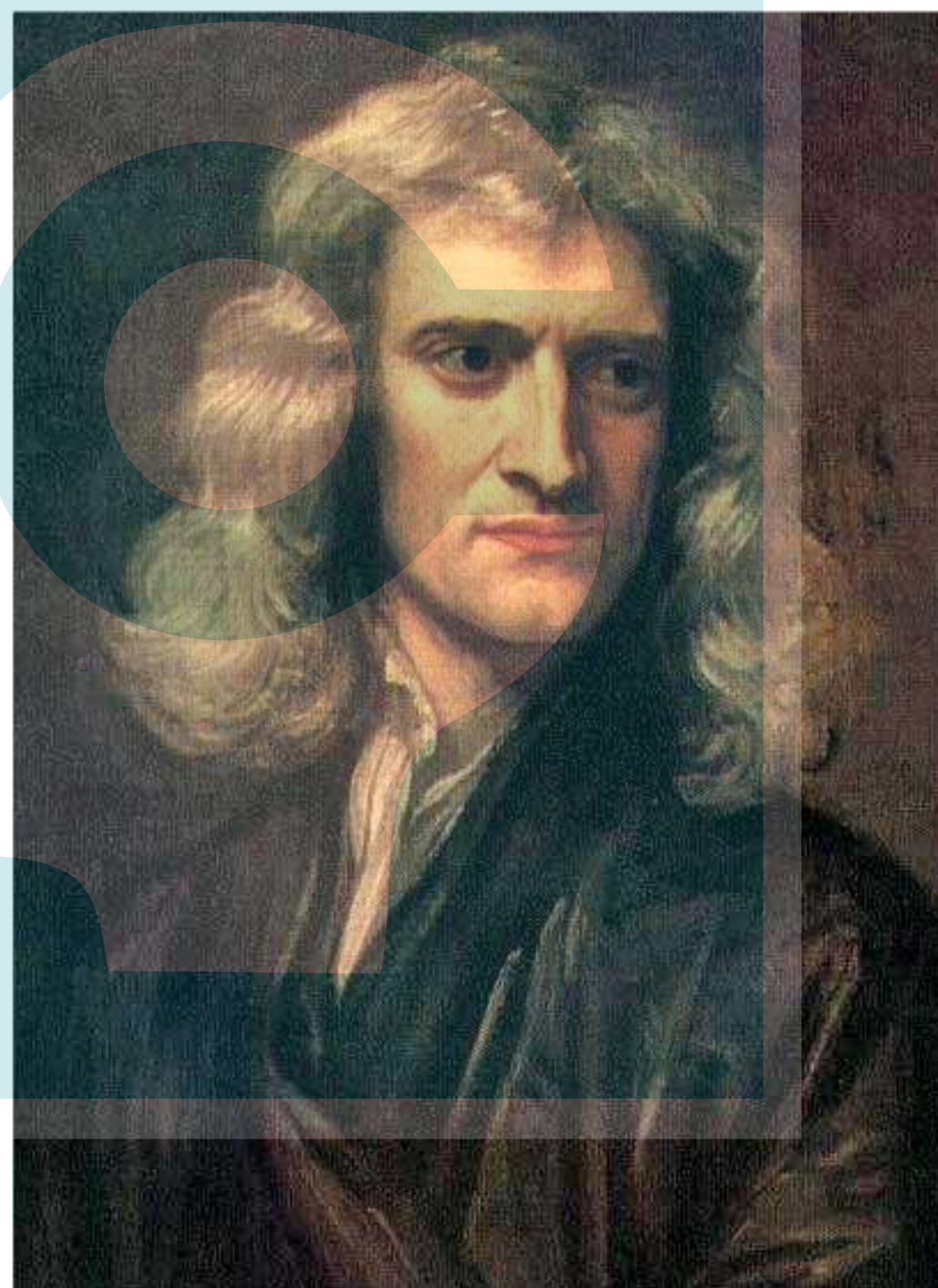
Introdução

Equação do movimento

Conclusão

Newton

Introdução



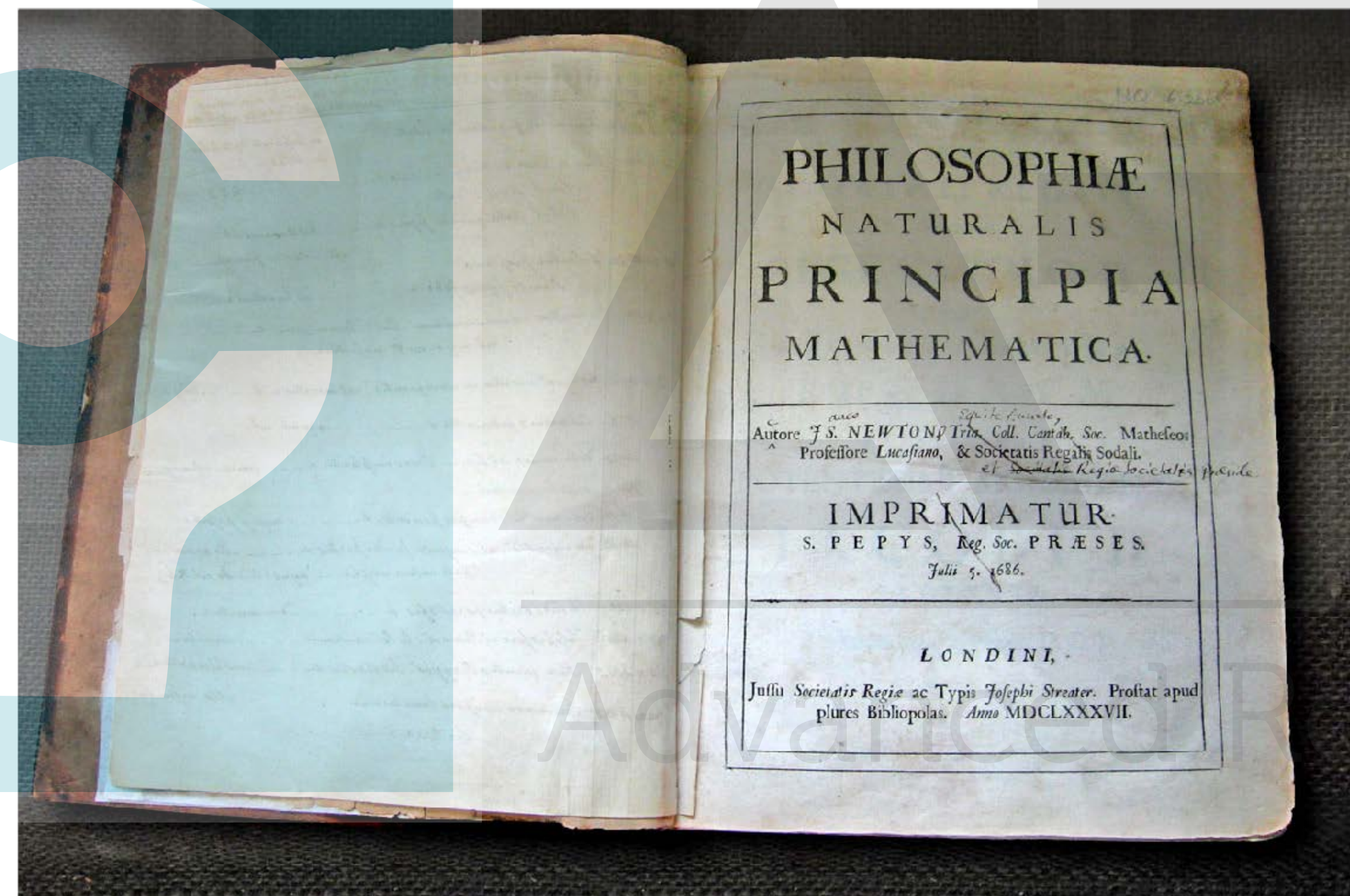
1687

Leis de Newton

Introdução

Equação do movimento

Conclusão



1. Lei da inércia

2. Lei da dinâmica

3. Lei da ação e reação

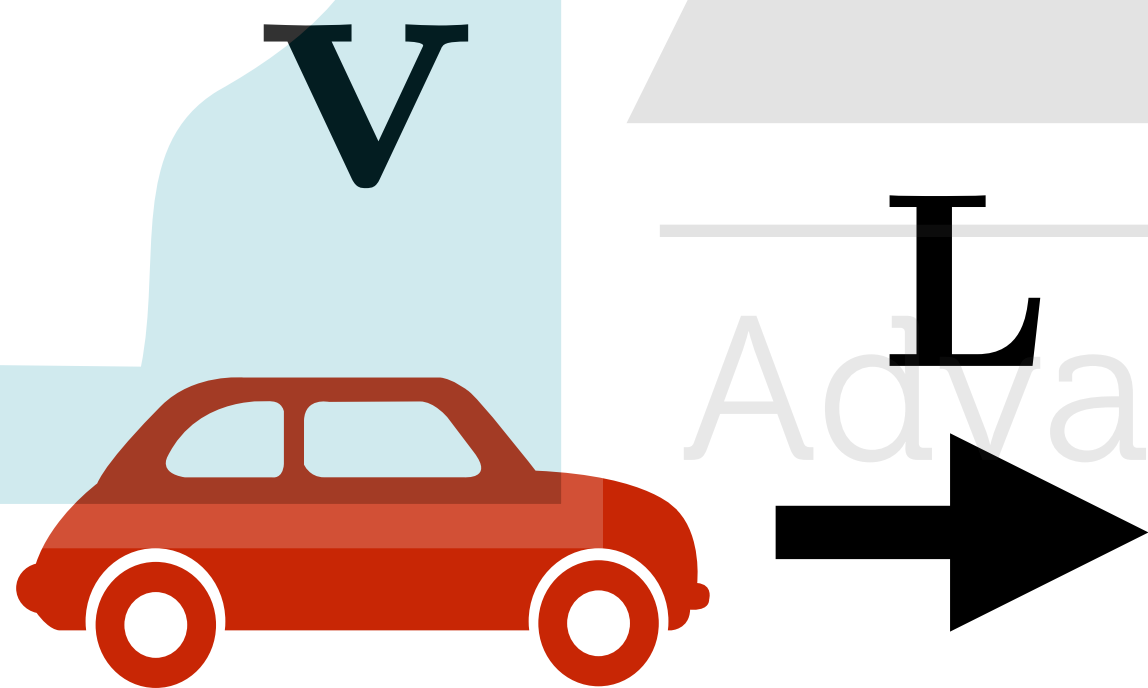
Momento linear

Também chamado de

Quantidade de movimento

“Inércia”

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



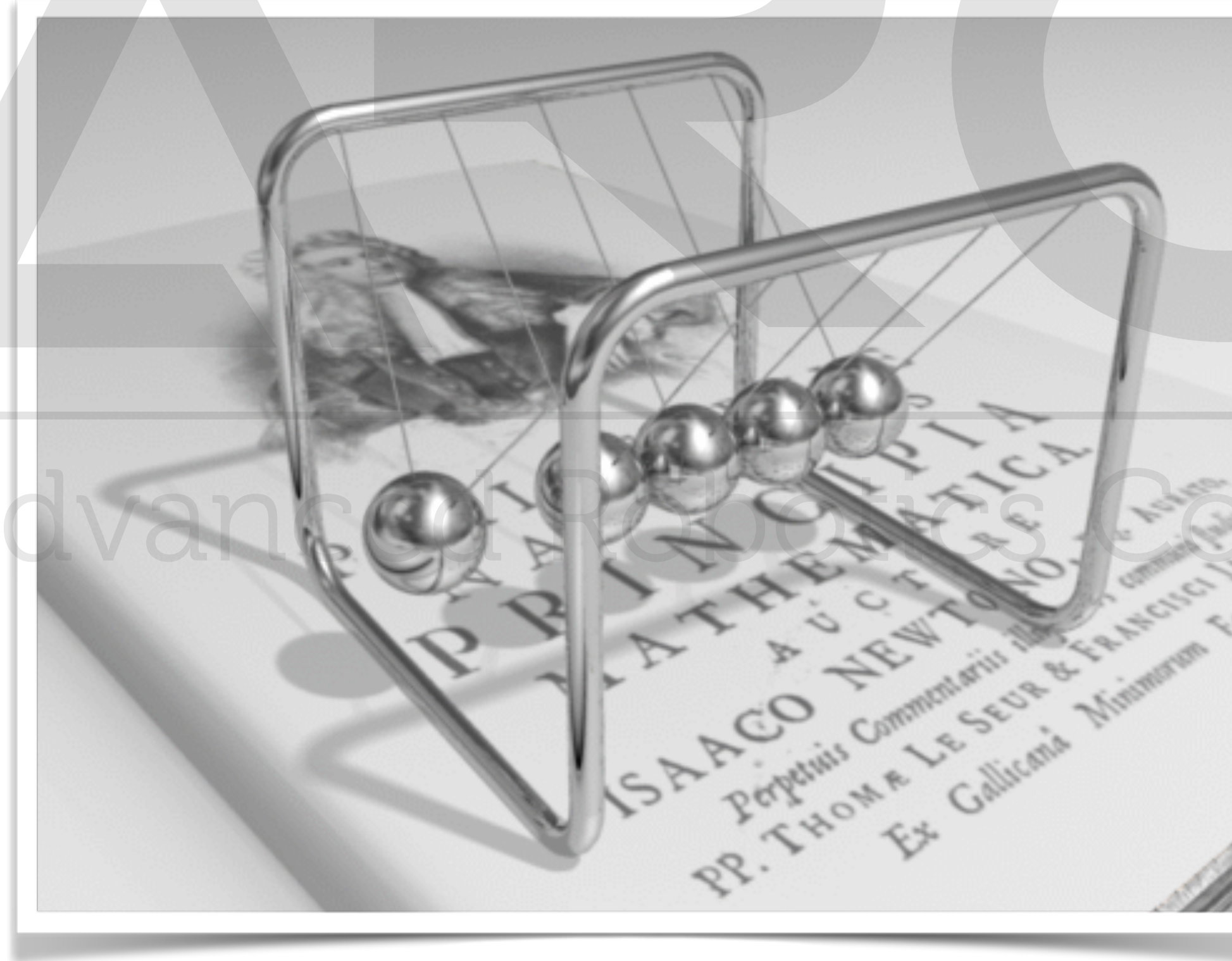
Introdução

Equação do movimento

Conclusão

Momento linear

Constante na ausência de
forças externas ao sistema



Lab

Advanced Control Laboratory

Introdução

Equação do movimento

Conclusão

Conteúdo

Introdução



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

Equação do movimento

Conclusão

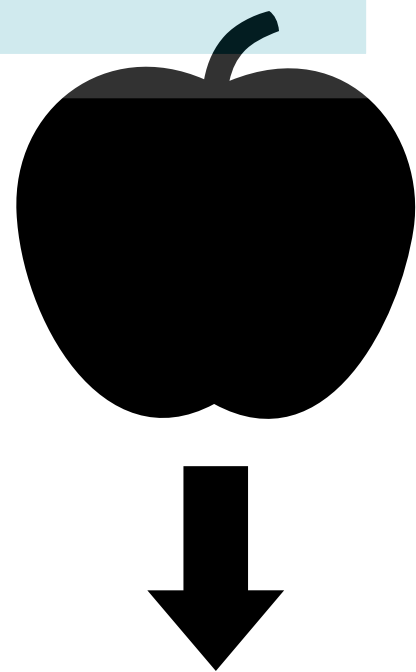
A equação do movimento de uma partícula

Introdução

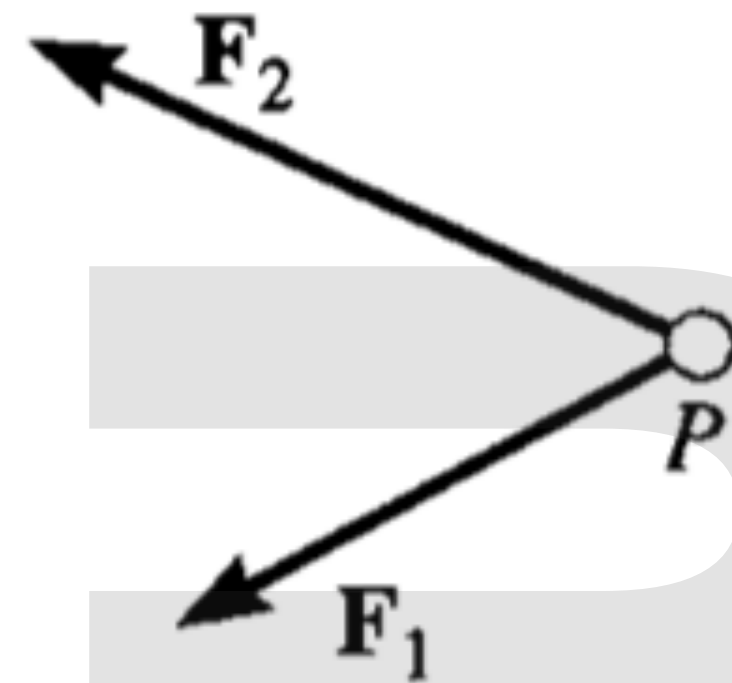


segunda

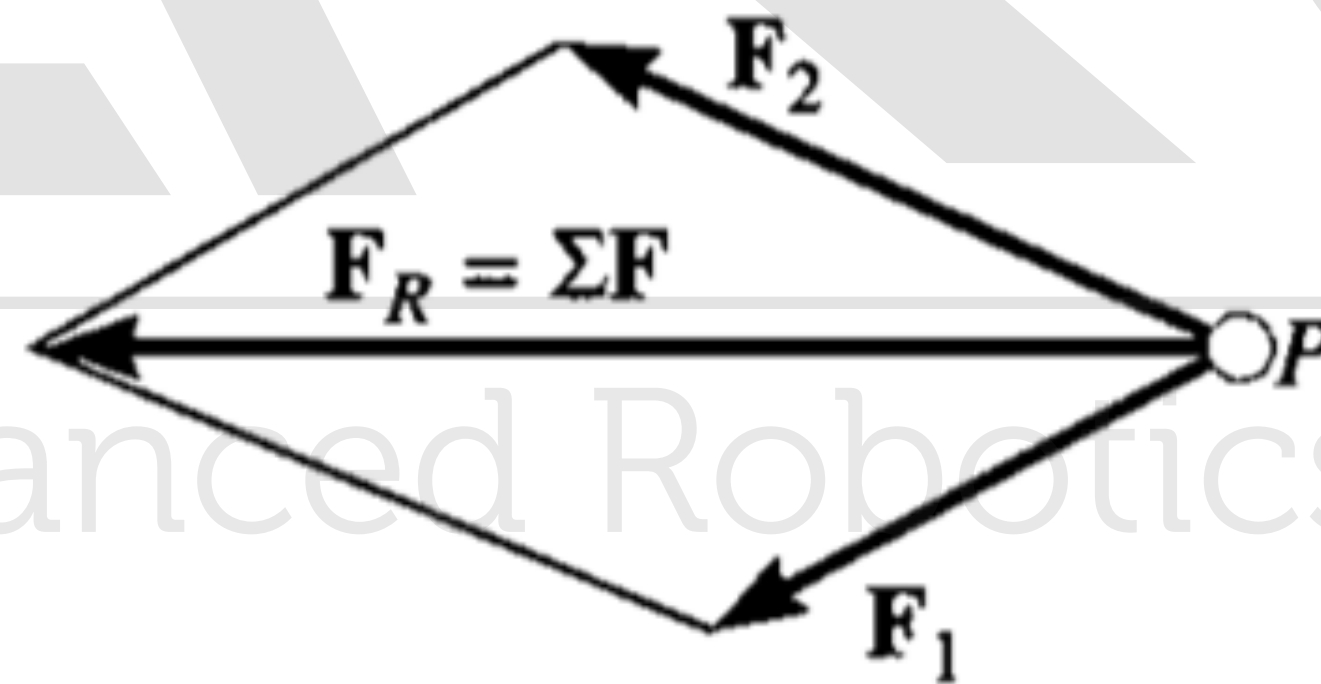
lei



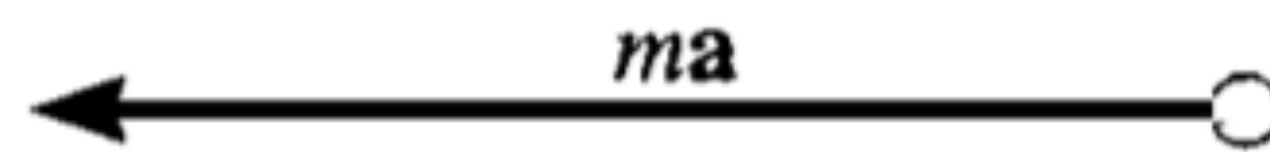
Conclusão



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



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



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

e essa equação

também vale para um

corpo rígido?

$$F_R = ma$$



Corpo rígido

Introdução



conjunto de partículas

Lab

corpo rígido

não se deforma!

Conclusão

IDEAL



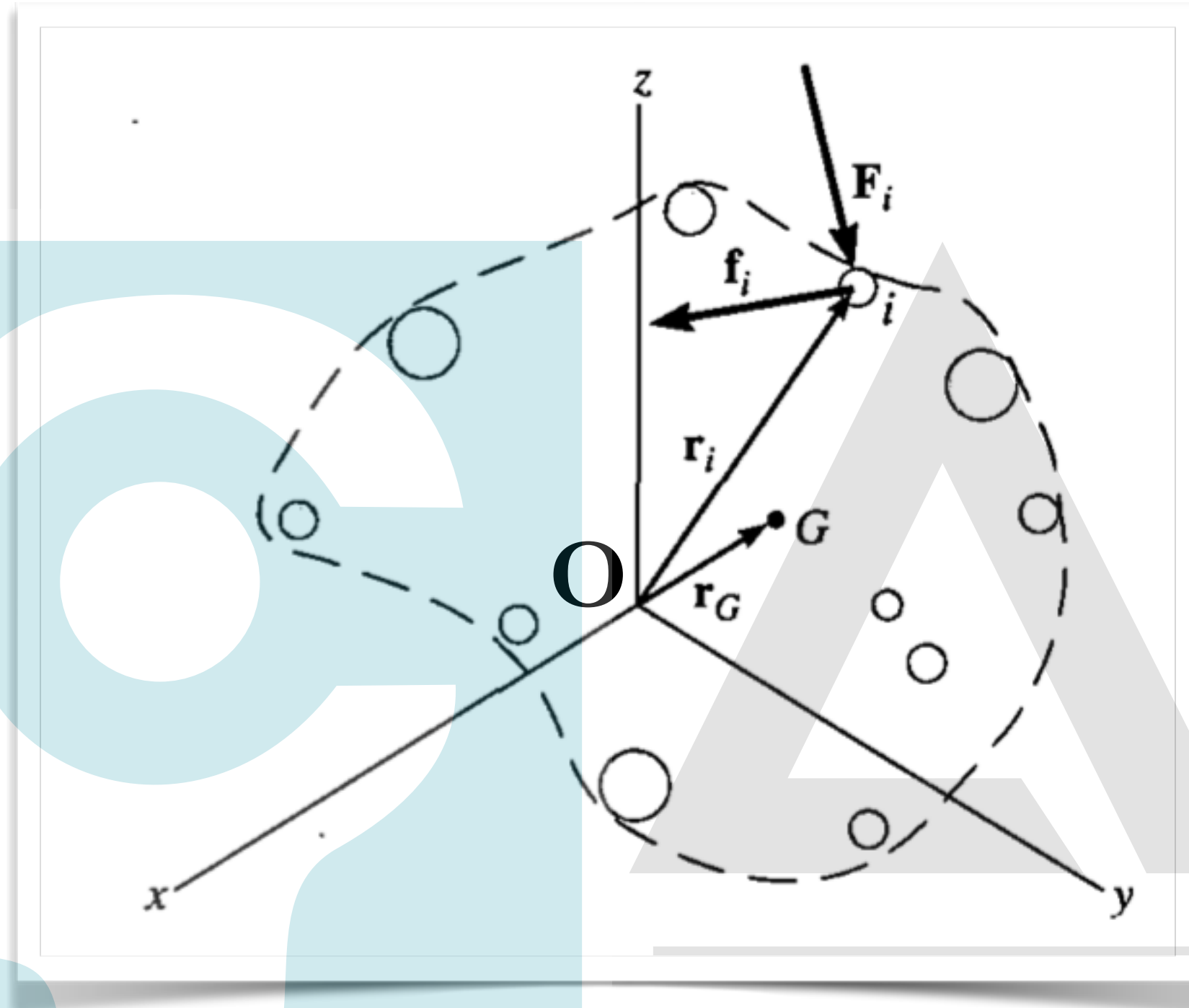
forças internas se cancelam!

A equação do movimento de um corpo rígido

Introdução

Equação do movimento

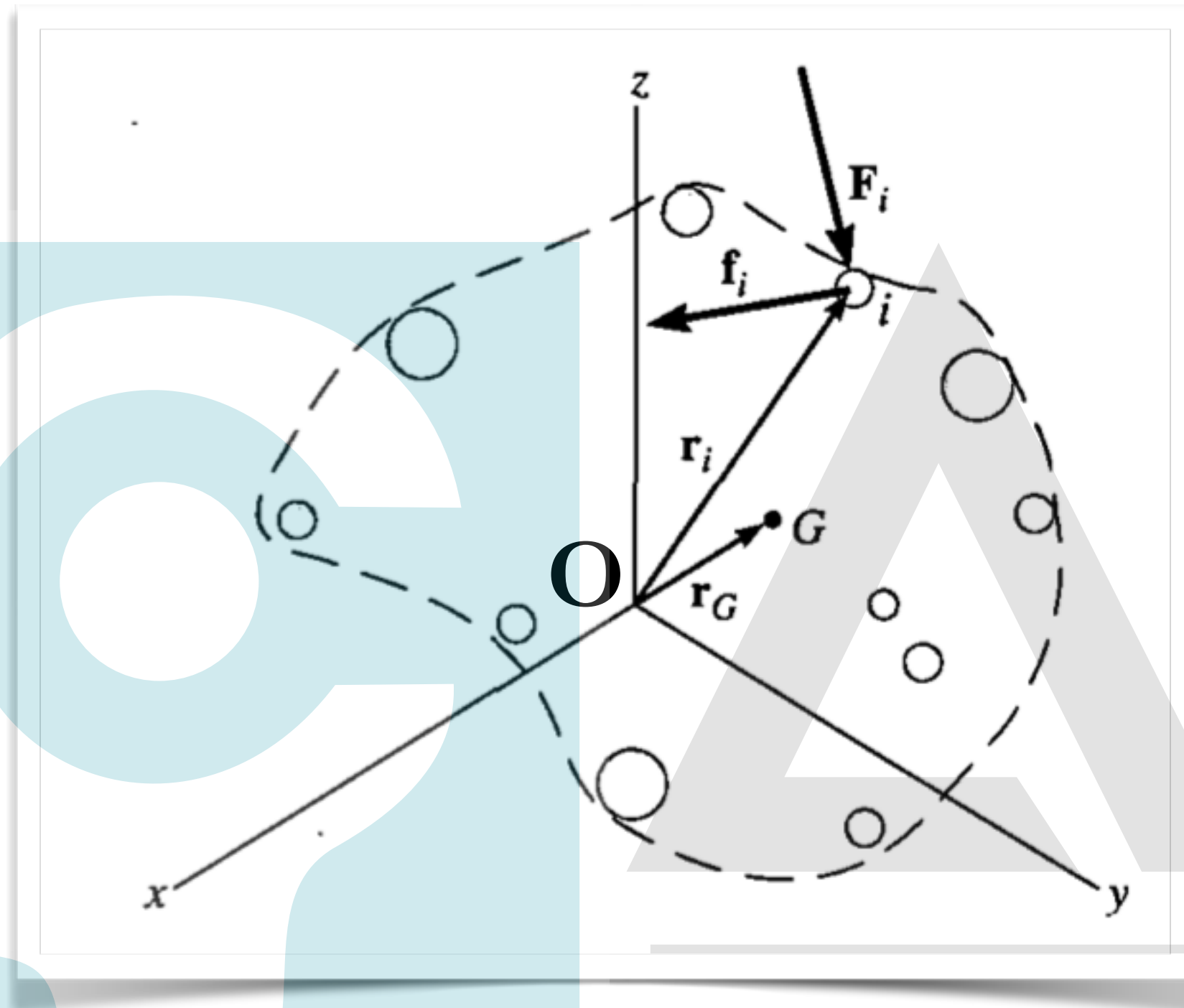
Conclusão



Advanced Robotics Control Laboratory

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

Centro de massa



média ponderada da distância
com a massa como peso

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

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

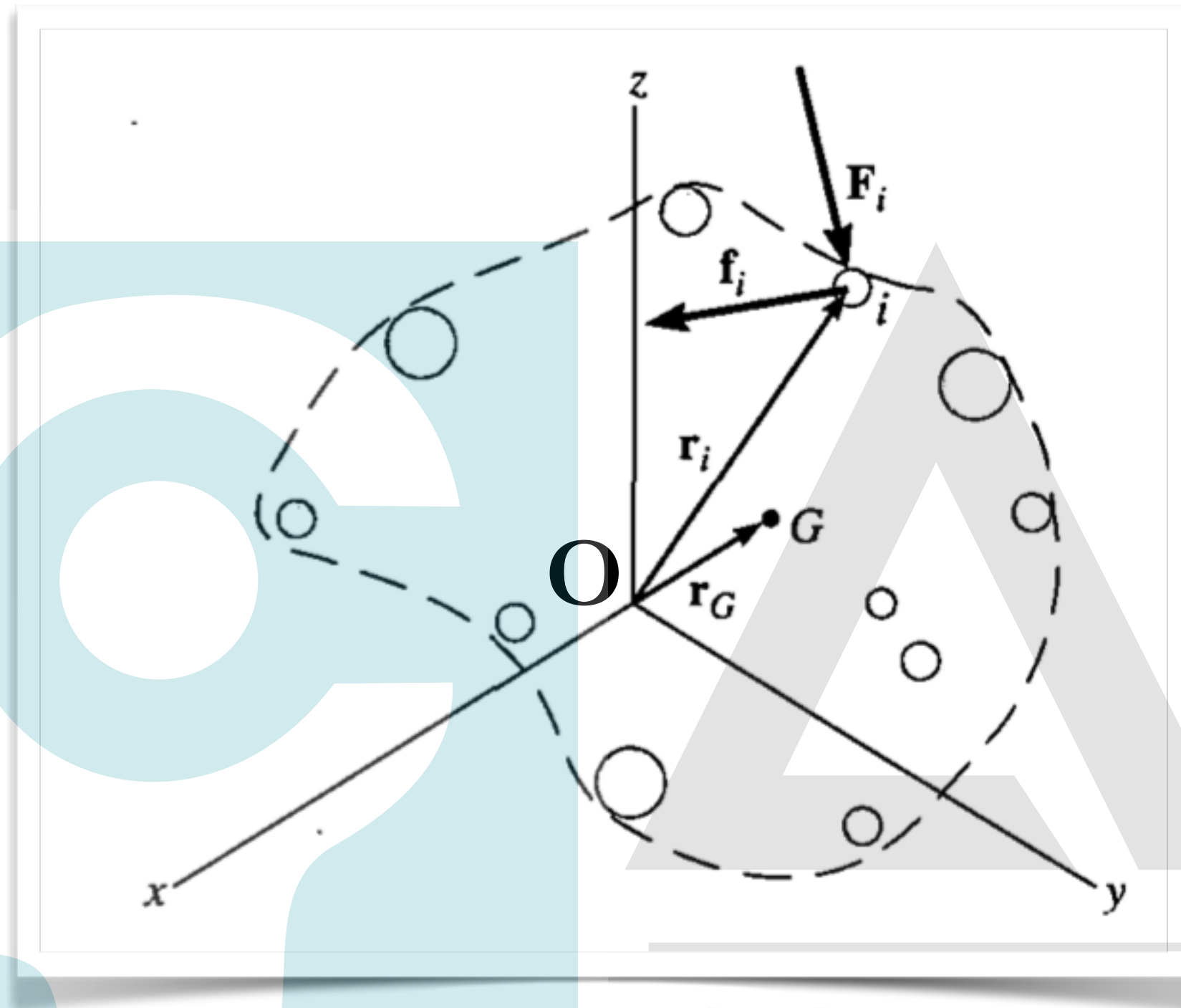
$$\mathbf{a}_{G/O} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{a}_{i/O}$$

A equação do movimento de um corpo rígido

Introdução

Equação do movimento

Conclusão



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

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

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

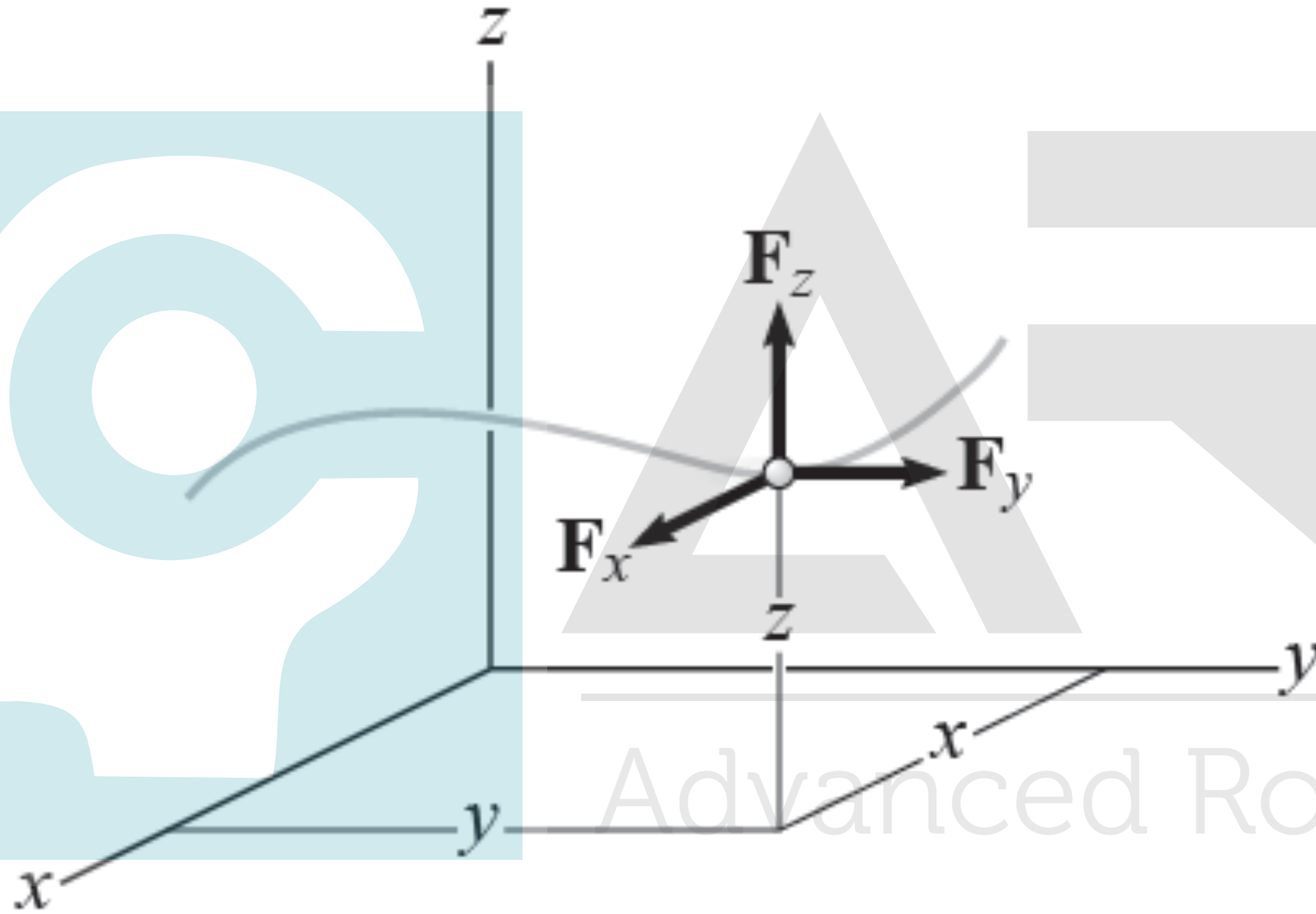
Conclusão

Coordenadas retangulares

Introdução

Equação do movimento

Conclusão



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

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

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

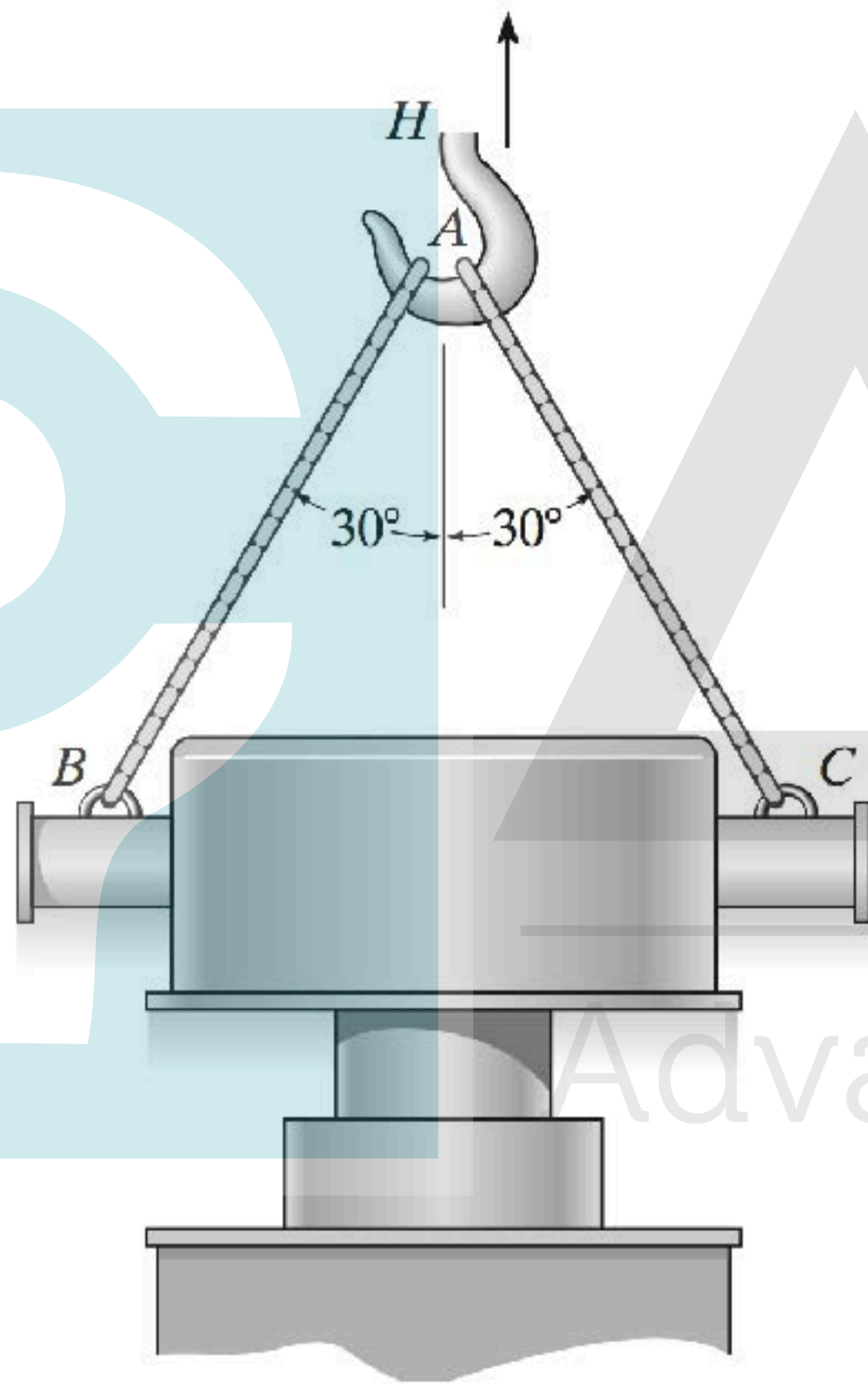
movimentos retilíneos

Problema 13.1

Introdução

Equação do movimento

Conclusão



- **13.1.** A peça fundida tem massa de 3 Mg. Suspensa em uma posição vertical e inicialmente em repouso, recebe uma velocidade escalar para cima de 200 mm/s em 0,3 s utilizando o gancho H do guindaste. Determine a tração nos cabos AC e AB durante este intervalo de tempo se a aceleração for constante.

Problema 13.4

Introdução

Equação do movimento

Conclusão

***13.4.** A caminhonete de 2 Mg está se movendo a 15 m/s quando os freios em todas suas rodas são aplicados, fazendo com que ela escorregue por uma distância de 10 m antes de chegar ao repouso. Determine a força horizontal constante desenvolvida no engate C , e a força de atrito desenvolvida entre os pneus da caminhonete e a estrada durante este tempo. A massa total da lancha e do reboque é 1 Mg.



Conteúdo

Introdução



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

Equação do movimento

Conclusão

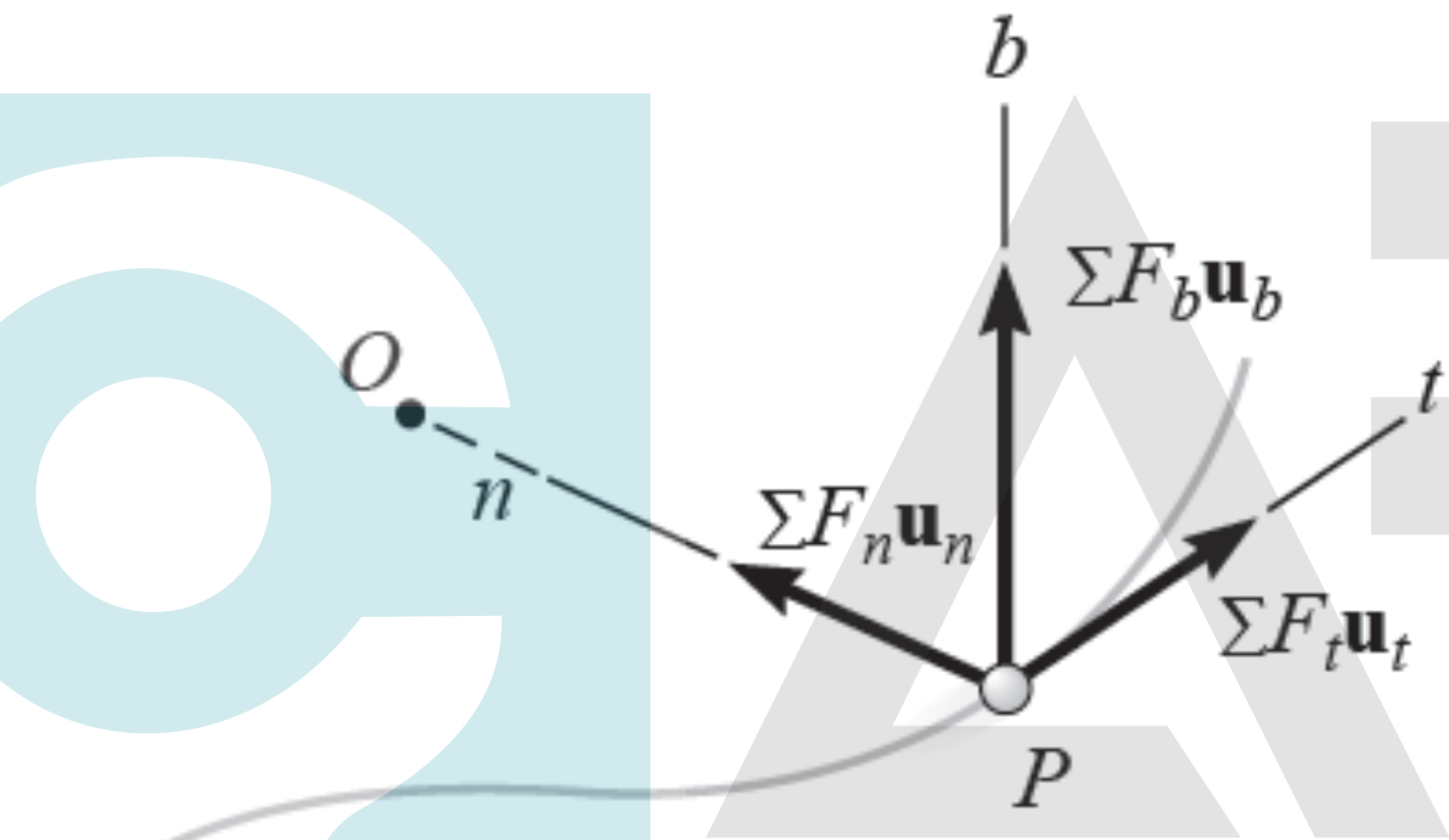
Coordenadas normais e retangulares

Introdução

movimentos

curvilíneos

direções tangencial, normal e binormal



Sistema de coordenada inercial

$$a_t = \dot{v}$$

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

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

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

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

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

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

Equação do movimento

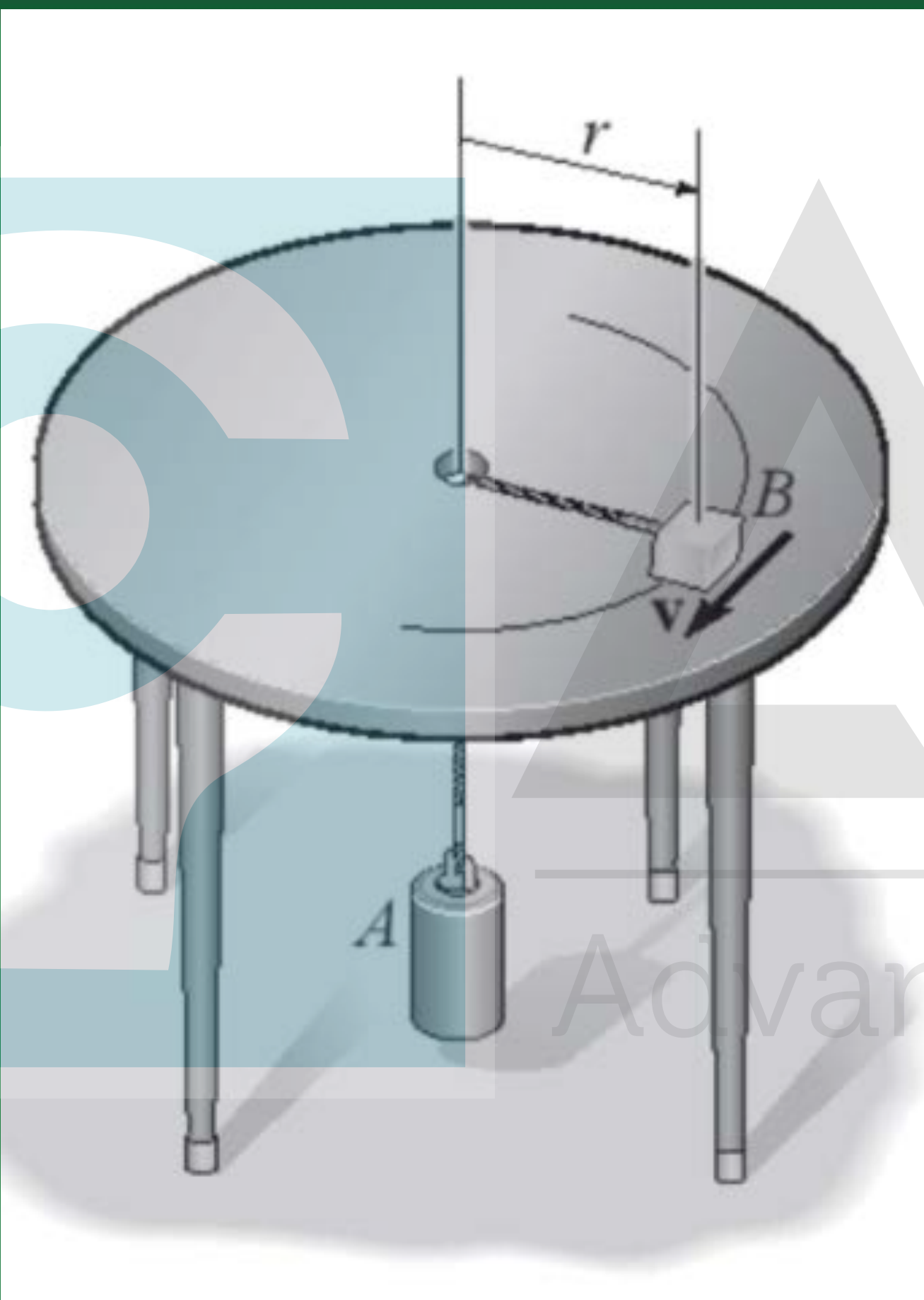
Conclusão

Problema 13.48

Introdução

Equação do movimento

Conclusão



*13.48. O bloco B de 2 kg e o cilindro A de 15 kg estão ligados por uma corda leve que passa por um buraco no centro da mesa lisa. Se ao bloco é dada uma velocidade de $v = 10$ m/s, determine o raio r da trajetória circular ao longo da qual ele se move.

Conteúdo

Introdução

Equação do movimento

ARC Lab

Advanced Robotics Control Laboratory



- “Take-home messages”
- Projeto PJ2

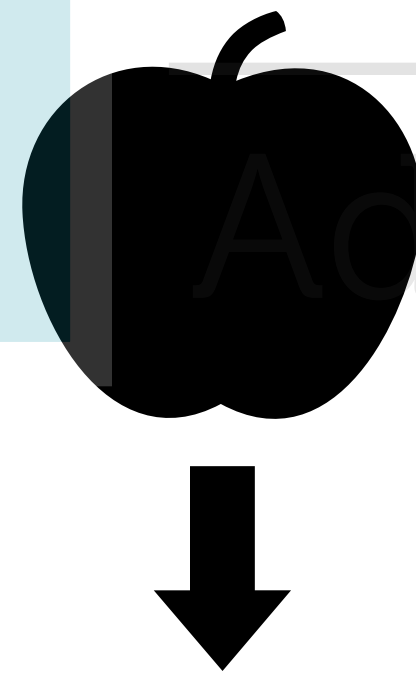
Conclusão

“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

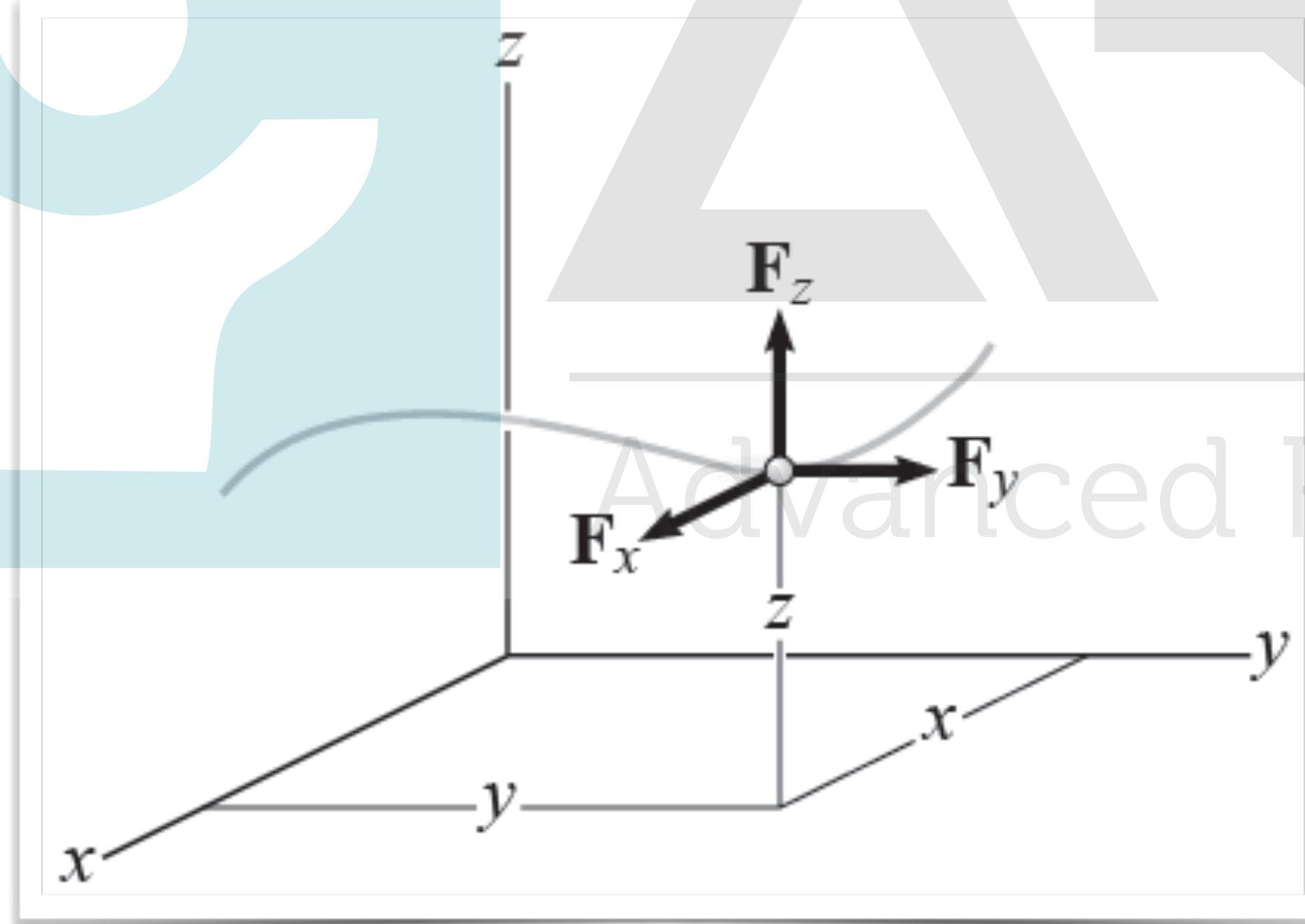
Equação do movimento

Conclusão

“Take-home messages”

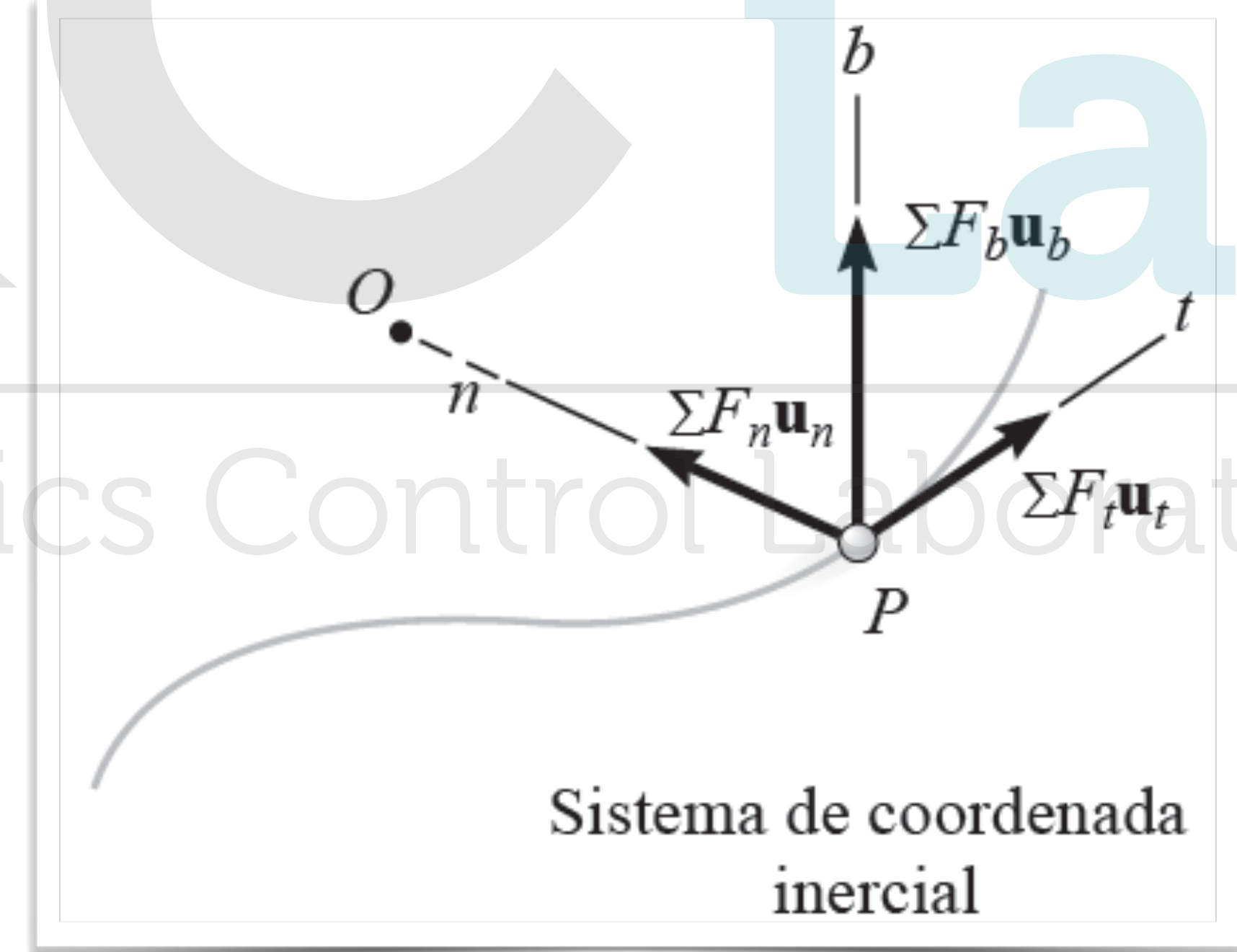
Coordenadas retangulares

movimento retilíneo



Coordenadas normais e tangenciais

movimento curvilíneo



Introdução

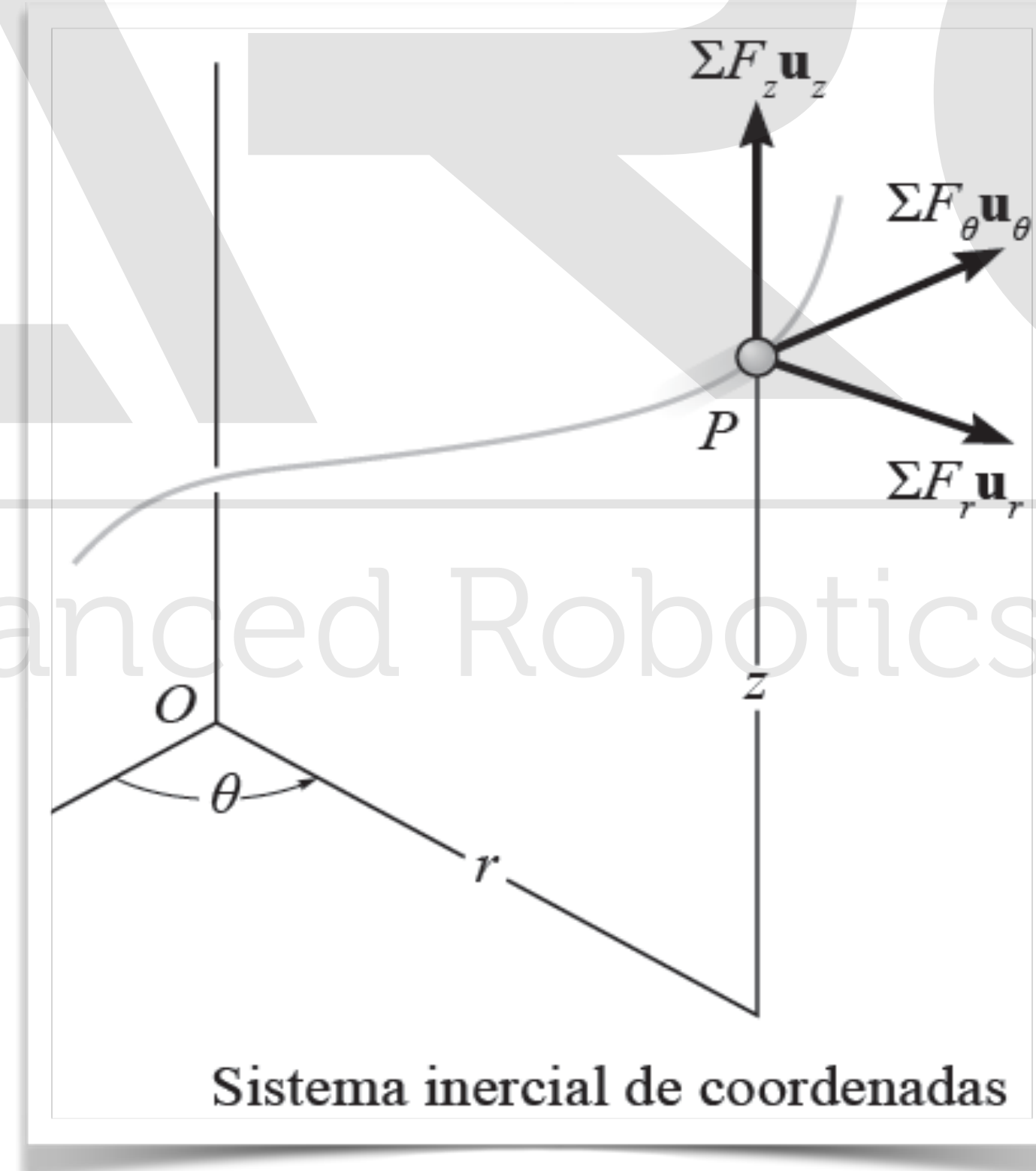
Equação do movimento

Conclusão

Próxima aula

Coordenadas cilíndricas (Cap. 13.6)

movimento angular e radial



Introdução

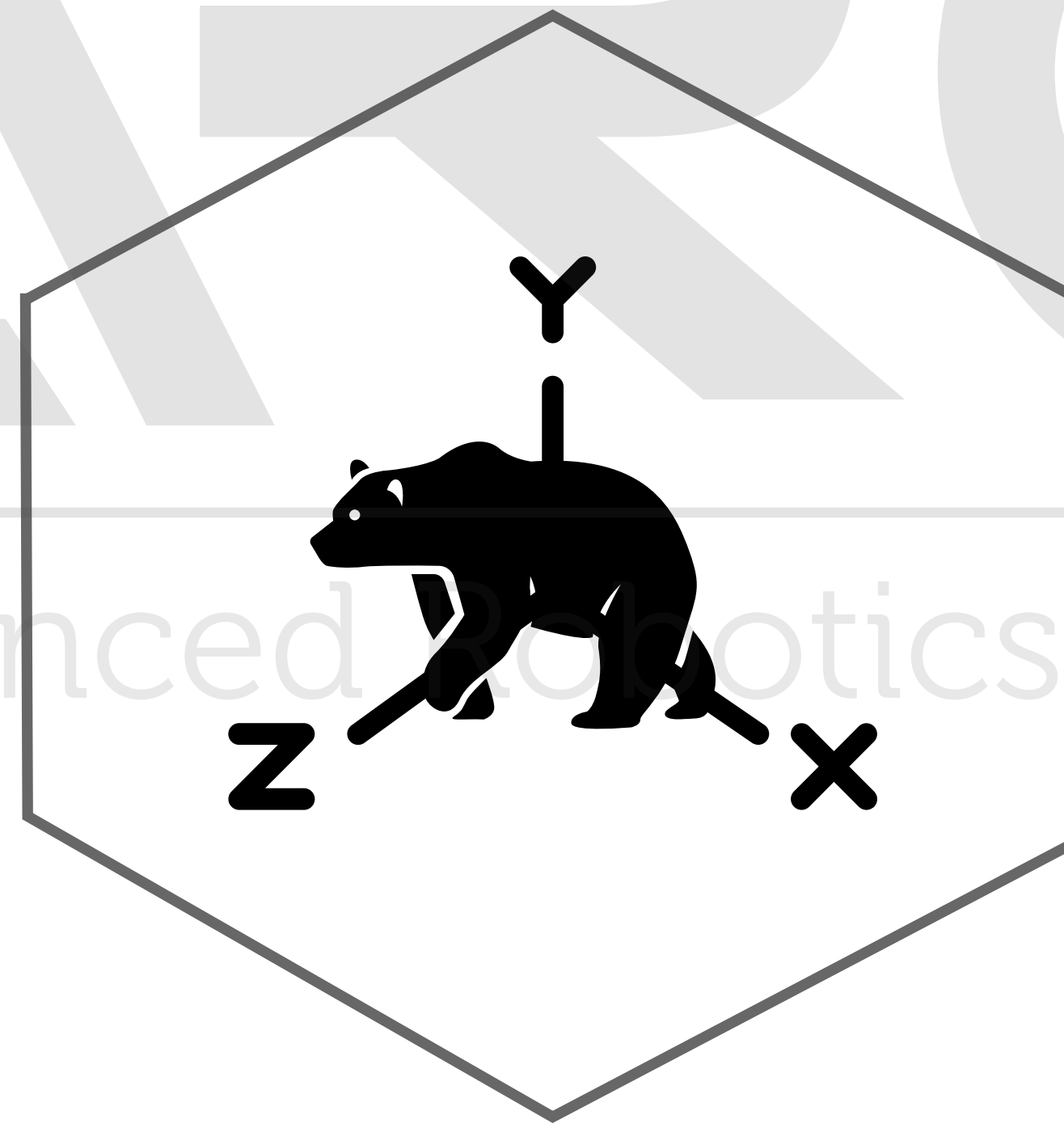
Equação do movimento

Conclusão

Próxima aula

Coordenadas polares/cilíndricas (Cap. 13.6)

movimento angular e radial



Introdução

Equação do movimento

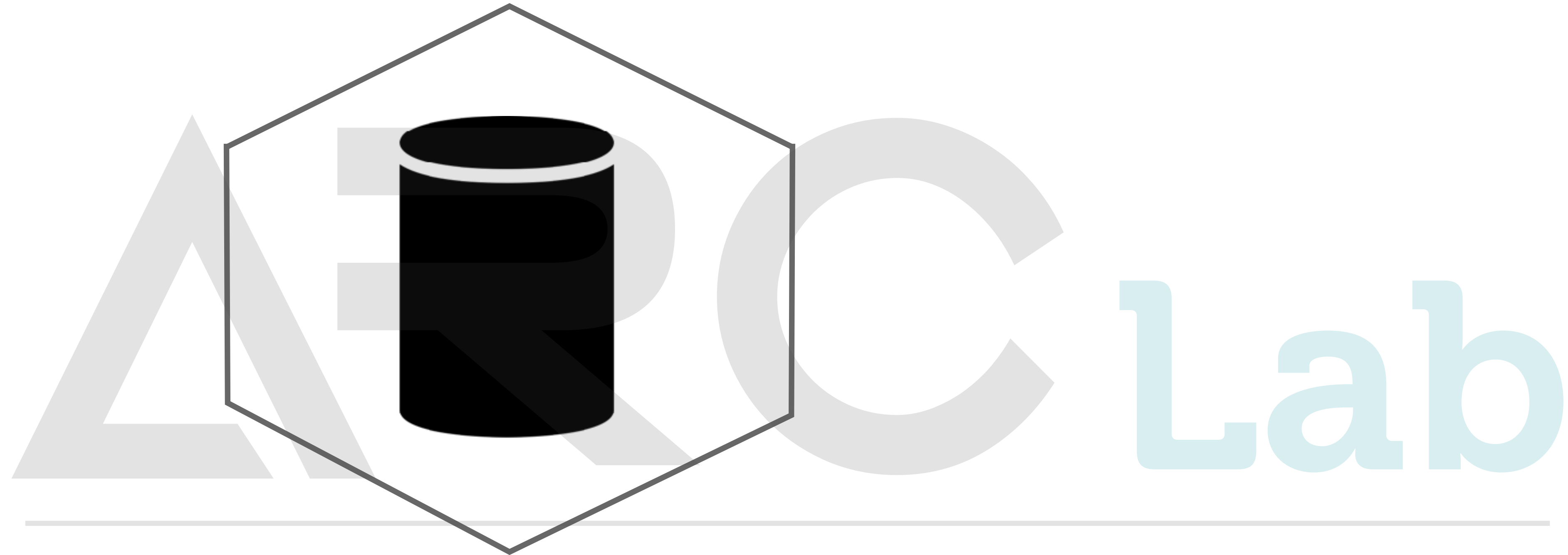
Conclusão

Próxima aula

Introdução

Equação do movimento

Conclusão



Advanced Robotics Control Laboratory

Definir **momento**
de inércia

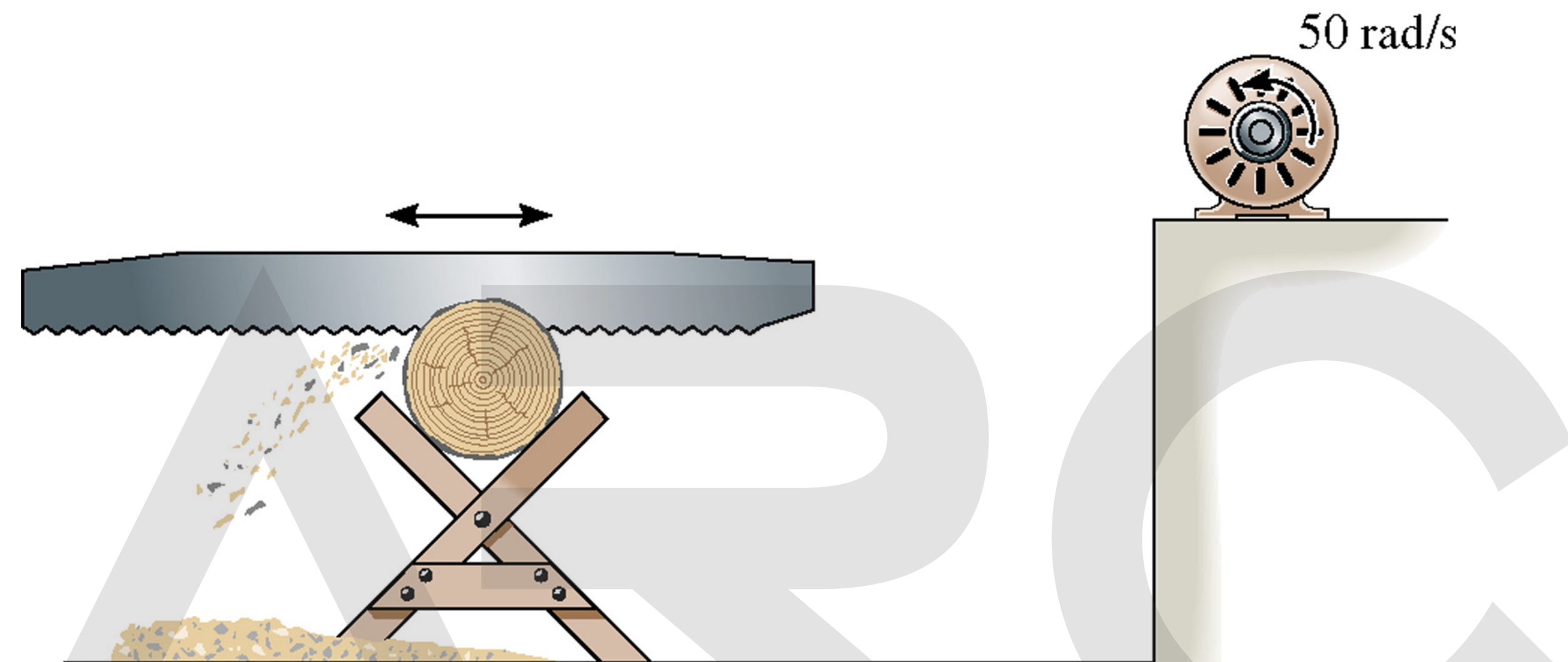
(Cap. 17.1)

Projeto PJ2

Introdução

Equação do movimento

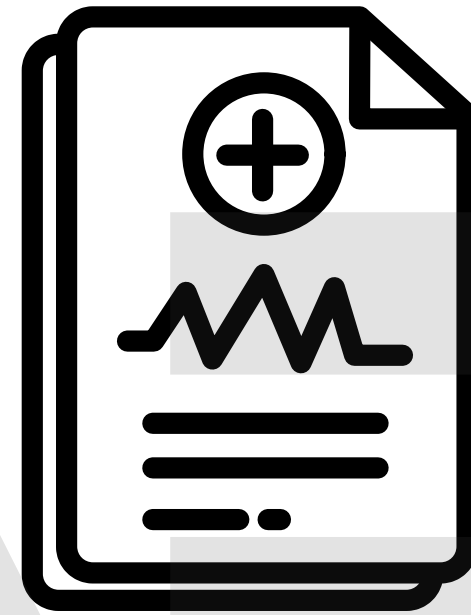
Conclusão



Deseja-se que a lâmina de uma serra mantida na posição horizontal realize o movimento completo de vai-e-vem em 2 segundos. Um motor elétrico, com seu eixo motor girando a 50 rad/s , esta disponível para acionar a serra e poderá ser instalado em qualquer lugar. Projete um mecanismo que transfira a rotação do motor a lâmina de serra. Apresente desenhos de seu projeto e os cálculos da cinemática da lâmina. Inclua gráficos da velocidade e da aceleração da lamina, em função de sua posição horizontal. Observe que, para cortar totalmente a tora, deve-se permitir que a lamina tenha movimentos livres para baixo e de vai-e-vem.

Projeto P2

Introdução



relatório

- 1. Transcrição do enunciado**
- 2. Desenho esquemático**
- 3. Explicação da proposta de solução**
- 4. Cálculos de cinemática**

Equação do movimento

Grupos de
5 pessoas



avaliação

- 1. Originalidade do projeto**
- 2. Correção dos cálculos**
- 3. Organização e clareza do relatório**
- 4. (Possível apresentação)**

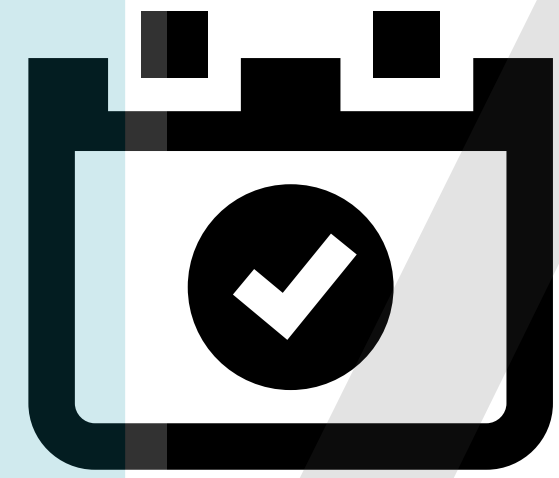
Conclusão

Projeto PJ2

Introdução

Equação do movimento

Conclusão



data de entrega

Quarta-feira

17/0 **Out** **Lab**

16:19

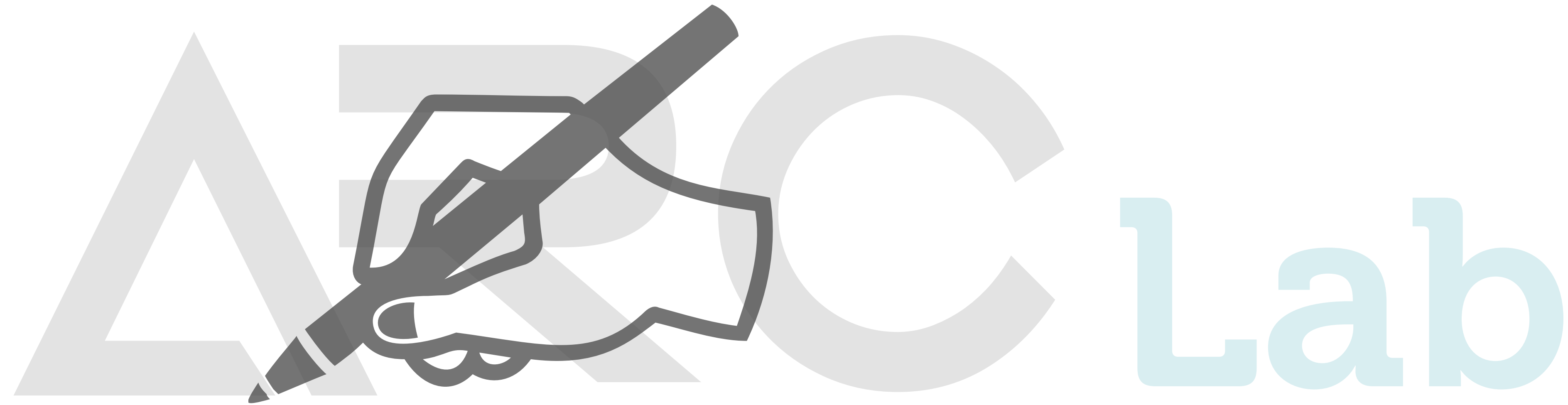
Advanced Robotics Control Laboratory

Lista de exercícios para próxima aula...

Introdução

Equação do movimento

Conclusão



Advanced Robotics Control Laboratory

13.6, 13.16, 13.30, 13.53, 13.59



That's all Folks!