

# Mecânica e Campo Eletromagnético

Aula 2 - 27 Set e 3 Out 2022

## 1.2 Dinâmica da partícula

- Conceito de força. Leis de Newton. Forças de contacto e ligação. Tensões e outras ligações. Força de atrito. Força elástica.

Isabel Malaquias  
[imalaquias@ua.pt](mailto:imalaquias@ua.pt)  
 Gab. 13.3.16

MCE\_IM\_2022-2023

1

1

## 1ª Lei de Newton ou Lei da Inércia

Uma partícula livre **move-se com velocidade constante**: movimento em linha recta com velocidade constante ou repouso.

## 2ª Lei de Newton - Lei fundamental

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \qquad \sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{v} \frac{dm}{dt}$$

*se m for constante*

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

Mec\_IM - 2021/22

2

2

### 3ª Lei de Newton – Lei da Acção-Reacção

#### As forças surgem aos pares

Para cada acção há uma reacção de igual intensidade mas de sentido oposto.

A força exercida no corpo 1 pelo corpo 2 é simétrica da força exercida no corpo 2 pelo corpo 1

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad \text{Par acção-reacção}$$

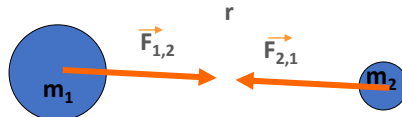
**Os pares acção-reacção  
actuem SEMPRE em corpos  
DIFERENTES**

Mec\_IM - 2021/22

3

3

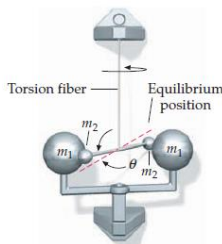
### Lei da Gravitação de Newton



$F_{1,2}$  - Força exercida na massa  $m_1$  pela massa  $m_2$

$F_{2,1}$  - Força exercida na massa  $m_2$  pela massa  $m_1$

**Forças atractivas!**



$$|\vec{F}_{1,2}| = |\vec{F}_{2,1}| = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

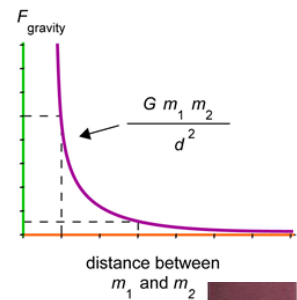
**G - Constante de Gravitação Universal**

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$$

**Balança de Cavendish - esquema e dispositivo laboratorial**

Mec\_IM - 2020/21

### Forças a distância



4

4

## Campo Gravítico

$$F_{1,2} = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

O efeito de  $m_2$  em  $m_1$  é acelerar  $m_1$   
Então podemos escrever

$$F_{1,2} = \frac{Gm_1m_2}{r^2} = m_1a_1$$

$$\Rightarrow a_1 = \frac{Gm_2}{r^2}$$

$$F_{1,2} = m_1 \frac{Gm_2}{r^2}$$

$$F_{1,2} = m_1 g$$

**$g$  é o CAMPO GRAVÍTICO**

É a **força por unidade de massa** em  $m_1$  devido à massa  $m_2$ .

Todas as massas criam um **campo gravítico  $g(r)$**  no espaço

$$g(r) = G \frac{M}{r^2}$$

Vector dirigido para M

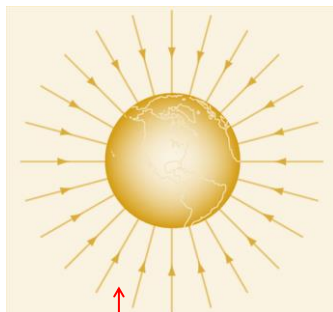
$g$  é também a aceleração sofrida por uma massa colocada nesse ponto

Mec\_IM - 2020/21

5

5

## Campo gravítico da terra (linhas de campo)



linhas de campo

$$g_0 = G \frac{M_T}{r_T^2}$$

**Na superfície terrestre**

$$g = G \frac{M_T}{(r_T + h)^2} \Leftrightarrow g = G \frac{M_T}{r_T^2 \left(1 + \frac{h}{r_T}\right)^2} \Leftrightarrow$$

$$g = \frac{g_0}{\left(1 + \frac{h}{r_T}\right)^2}$$

$h$  - altura acima da superfície terrestre

se  $h = 6 \text{ km}$  ...  $g$  diminui 2/1000 !!

Mec\_IM - 2020/21

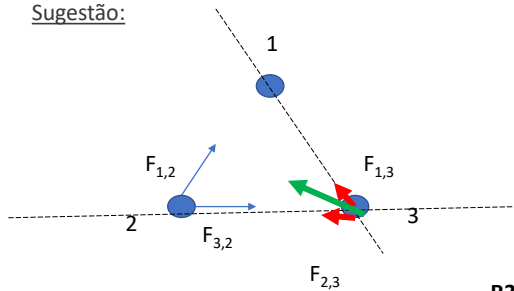
6

6

## Problemas de Dinâmica

Três massas de 5 kg estão colocadas nos vértices de um triângulo equilátero, cujo lado mede 0,25 m.  
Determine a intensidade, direcção e sentido da força gravitacional resultante sobre uma das massas, devido à presença das outras duas.

Sugestão:



$$\mathbf{F}_{2,3} = -F_{2,3} \hat{i}$$

$$\mathbf{F}_{1,3} = -F_{1,3} \cos 60^\circ \hat{i} + F_{1,3} \sin 60^\circ \hat{j}$$

$$\mathbf{R}_3 = (-F_{2,3} - F_{1,3} \cos 60^\circ) \hat{i} + F_{1,3} \sin 60^\circ \hat{j} \text{ (N)}$$

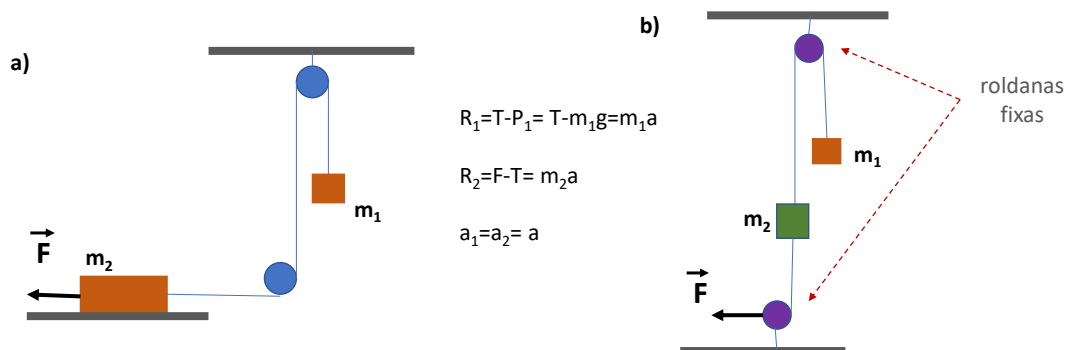
Mec\_IM - 2020/21

7

7

## Problemas de Dinâmica

2 - Calcule a aceleração dos corpos da figura e a tensão nas cordas. Aplique ao caso em que  $m_1 = 50 \text{ g}$ ,  $m_2 = 80 \text{ g}$  e  $F = 1 \text{ N}$ .



NB: As roldanas fixas servem para mudar a direcção e sentido das forças aplicadas; não diminuem a intensidade das forças aplicadas

**Sugestão:** Fazer o diagrama de forças em cada corpo e depois aplicar a 2ª lei de Newton a cada um deles

Mec\_IM - 2020/21

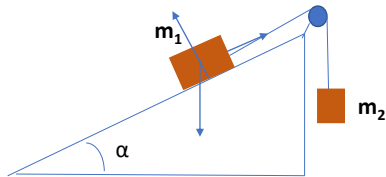
8

8

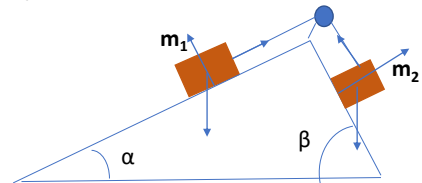
## Problemas de Dinâmica

3 - Determine a aceleração com que os corpos na figura se movem e as tensões nas cordas.

a)



b)



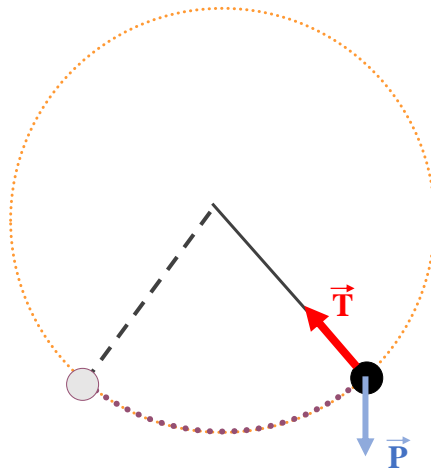
NB : Considerem os valores anteriormente disponibilizados para o problema 4

Mec\_IM - 2020/21

9

9

## PÊNDULO SIMPLES (movimento no plano vertical)



**Trajectória circular**

Forças:  $\vec{P}$  e  $\vec{T}$

Em qualquer posição:

$$\vec{T} + \vec{P} = m\vec{a}$$

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$$

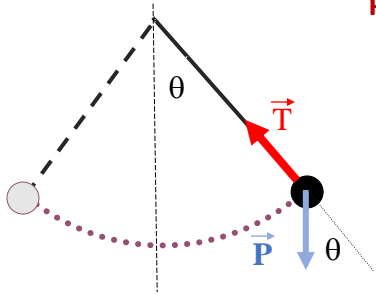
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/Pendulum/Pendulum.html>

Mec\_IM - 2021/22

10

10

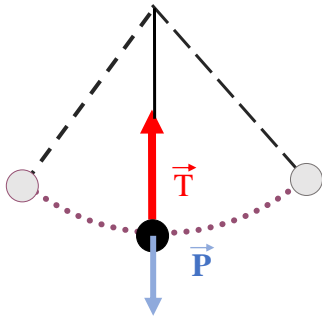
### PÊNDULO SIMPLES



Posição extrema ( $v=0$ )

$$\vec{T} + \vec{P} = m\vec{a} \quad \vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$$

$$\begin{cases} |\vec{T}| - |\vec{P}|\cos\theta = m|\vec{a}_n| & |\vec{T}| - |\vec{P}|\cos\theta = m\frac{v^2}{L} = 0 \\ |\vec{P}|\sin\theta = m|\vec{a}_t| & |\vec{P}|\sin\theta = m|\vec{a}_t| \end{cases}$$



Posição de equilíbrio ( $\theta=0$ )

$$\begin{aligned} |\vec{T}| - |\vec{P}| &= m\frac{v^2}{L} \\ |\vec{a}_t| &= 0 \end{aligned}$$

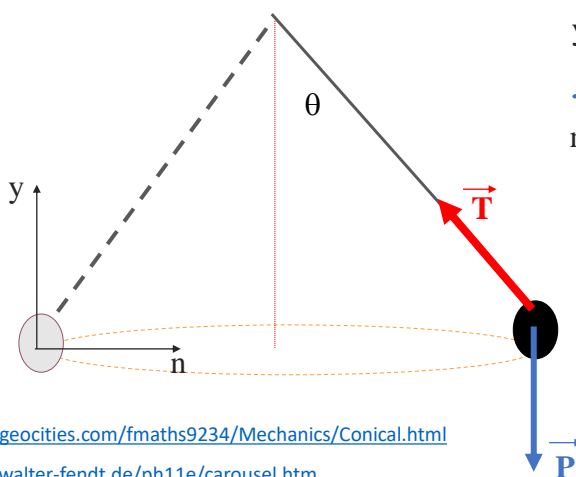
Valor máximo da tensão!

Mec\_IM - 2021/22

11

11

### PÊNDULO CÔNICO (movimento circular no plano horizontal)



$$\begin{cases} y & |\vec{T}|\cos\theta = |\vec{P}| \\ n & |\vec{T}|\sin\theta = m|\vec{a}_n| \end{cases}$$

Quanto vale a aceleração tangencial?

<http://www.geocities.com/fmaths9234/Mechanics/Conical.html>

<http://www.walter-fendt.de/ph11e/carousel.htm>

Mec\_IM - 2021/22

12

12

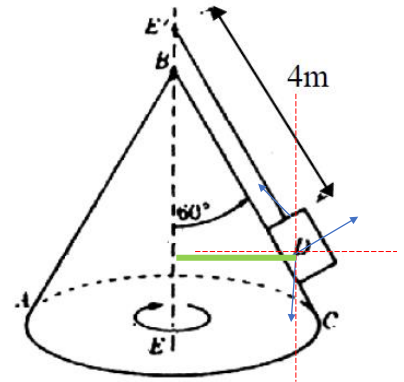
## Problemas de Dinâmica

10 - Um corpo D cuja massa é de 6 kg esta sobre uma superfície cónica A B C e está rodando em torno do eixo EE' com uma velocidade angular de 10 rev/min.

Calcule:

- a) a velocidade linear do corpo
- b) a reacção da superfície do corpo
- c) a tensão no fio
- d) a velocidade angular necessária para reduzir a reacção do plano a zero.

$$r = L \sin 60^\circ$$



NB: o pêndulo move-se sobre o cone, descrevendo uma trajectória circular. Identificar as forças que actuam sobre o pêndulo e não esquecer que há aceleração centrípeta. Sendo a velocidade angular constante, também a velocidade linear é.

Reacção do plano zero significa que o pêndulo deixa de estar apoiado

Mec\_IM - 2020/21

13

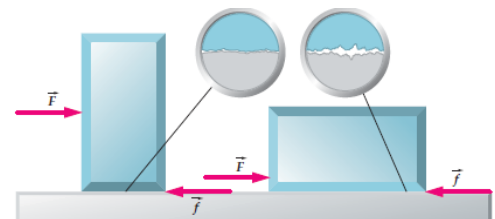
13

## FORÇA DE ATRITO (sólido)

Superfícies de dois materiais em contacto

A força de atrito  $f$  tende a impedir o movimento relativo das superfícies

Microscopicamente a força tem origem eléctrica  
Lubrificação separa as superfícies



Força de atrito

- estático
- cinético

Mec\_IM - 2021/22

14

14

## FORÇA DE ATRITO (estático)

Na situação limite, em que a **força de atrito estático atinge o valor máximo**, verifica-se que:

a força de atrito estático máxima é proporcional à normal exercida entre as superfícies

$$f_{a.e.max} = \mu_E N$$

$\mu_E$  é o **coeficiente de atrito estático**, para as duas superfícies

Em geral, temos:

$$f_{a.e.} \leq \mu_E N$$

**Normalmente, a força de atrito não depende da área de contacto**

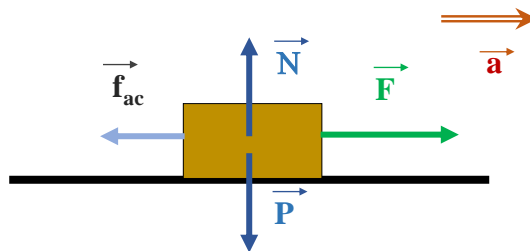
Mec\_IM - 2021/22

15

15

## FORÇA DE ATRITO (cinético)

Quando o corpo entra em movimento, temos uma situação com atrito cinético e verifica-se que:



a força de atrito cinético é proporcional à normal exercida entre as superfícies

$$f_{a.c.} = \mu_C N$$

$\mu_C$  é o **coeficiente de atrito cinético**, para as duas superfícies

**Normalmente, a força de atrito não depende da área de contacto**

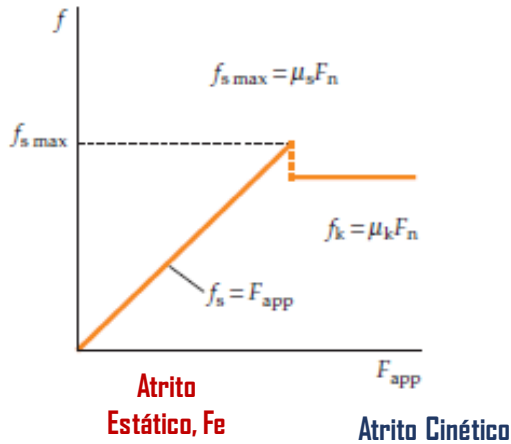
Mec\_IM - 2021/22

16

16



## COMO VARIA A FORÇA DE ATRITO com a força aplicada?



	$\mu_e$	$\mu_c$
Aço sobre aço	0,74	0,57
Cobre sobre aço	0,53	0,36
Borracha sobre cimento	1,0	0,8
Madeira sobre madeira	0,25-0,5	0,2
Gelo sobre aço	0,1	0,03
Teflon sobre teflon	0,04	0,04

**Atrito Cinético < Atrito Estático**

Mec\_IM - 2021/22

17

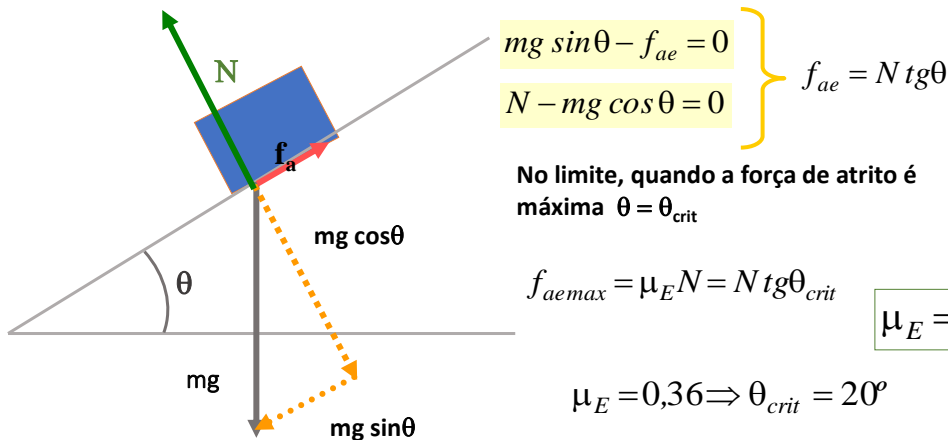
17

## Como medir o coeficiente de atrito $\mu$ ?

Um corpo é colocado num plano inclinado, ficando em repouso.

A inclinação  $\theta$  é aumentada até atingir um valor máximo (crítico)  $\theta_{crit}$  que se relaciona com  $\mu_E$ .

Em repouso  $\theta \leq \theta_{crit}$



Mec\_IM - 2021/22

18

18

## Problemas de Dinâmica

1. Determine a força de atrito exercida pelo ar sobre um corpo cuja massa é de 0,4 kg se ele cair com uma aceleração de  $9,0 \text{ m/s}^2$ .
2. Um bloco de madeira está sobre um plano inclinado cuja inclinação se pode variar. Aumenta-se gradualmente a inclinação até que o bloco comece a deslizar, para uma inclinação de  $30^\circ$ . Determine o coeficiente de atrito estático entre o bloco e o plano.

Mec\_IM - 2021/22

19

19

## Que força empurra o carro?

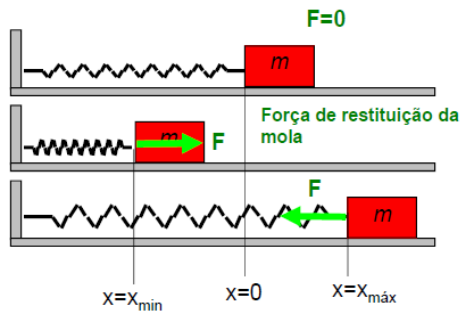


Mec\_IM - 2021/22

20

20

## Força elástica



Força elástica ou força restauradora,  $F$

$$F = -kx$$

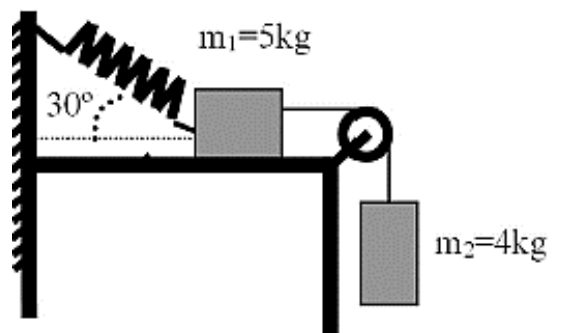
$k$  = constante da mola

MCE\_IM\_2022-2023

21

## Problemas de Dinâmica

- 19 - Considere o esquema da figura. A mola tem uma constante de força  $k = 400\text{N/m}$ . Estando o sistema em repouso, e na iminência de se movimentar, **qual o alongamento da mola** (o ângulo mantém-se constante):
- Se não houver atrito.
  - Se o coeficiente de atrito entre  $m_1$  e a mesa for 0,4.



Mec\_IM - 2020/21

22

22