

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
 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

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

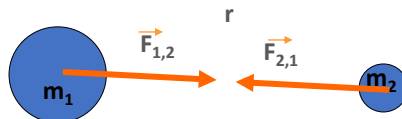
Os pares acção-reacção
actuari SEMPRE em corpos
DIFERENTES

Mec_IM - 2021/22

3

3

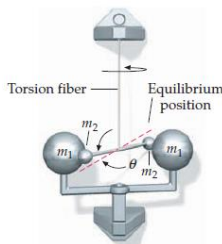
Lei da Gravitação de Newton



$F_{1,2}$ - 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!



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

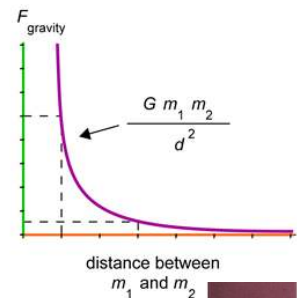
G - Constante de Gravitação Universal

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

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

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

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

$$F_{1,2} = m_1 \left[\frac{Gm_2}{r^2} \right]$$

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

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

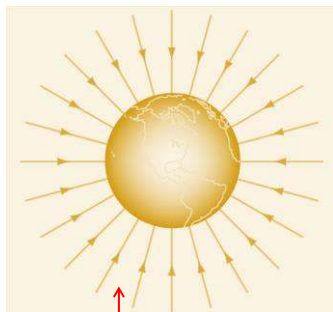
g é também a aceleração sofrida por uma massa colocada nesse ponto

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

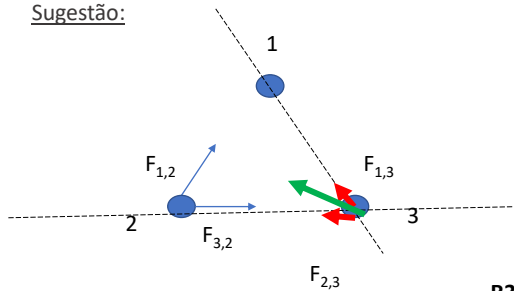
6

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:



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

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

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

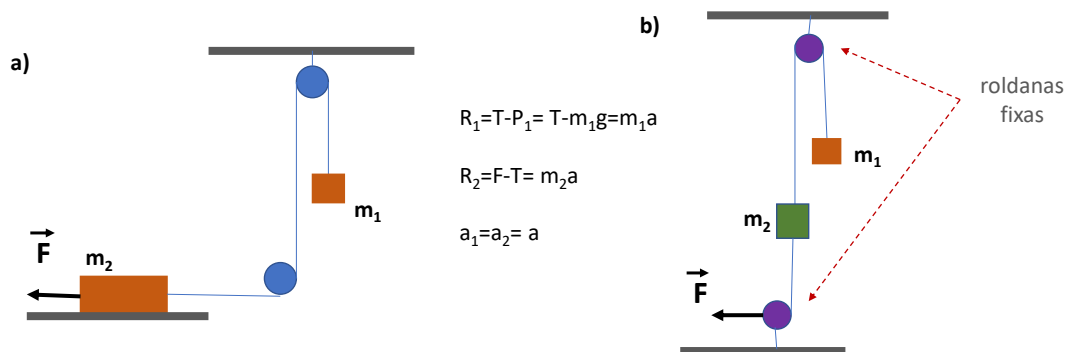
Mec_IM - 2020/21

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

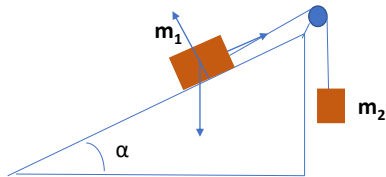
8

8

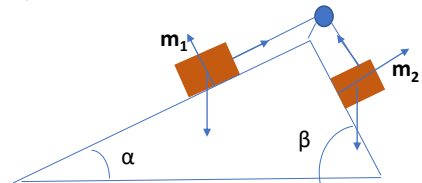
Problemas de Dinâmica

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)

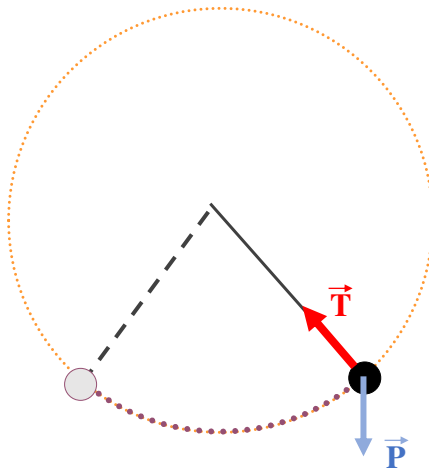
Trajectória circular

Forças: \vec{P} e \vec{T}

Em qualquer posição:

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

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



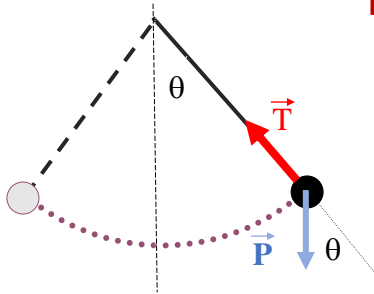
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/Pendulum/Pendulum.html>

Mec_IM - 2021/22

10

10

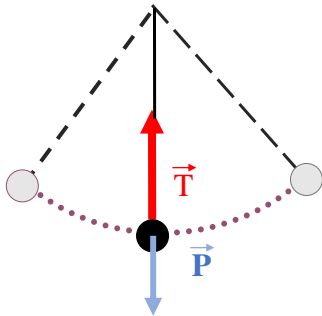
PÊNDULO SIMPLES



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 ($\theta=0$)

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

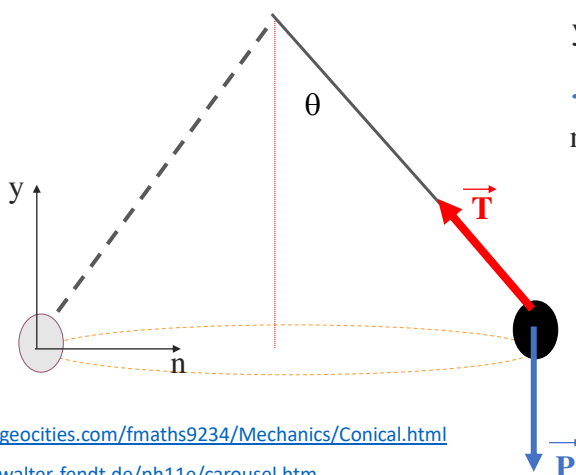
Valor máximo da tensão!

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

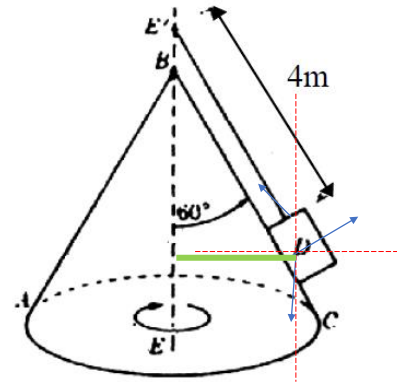
Problemas de Dinâmica

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

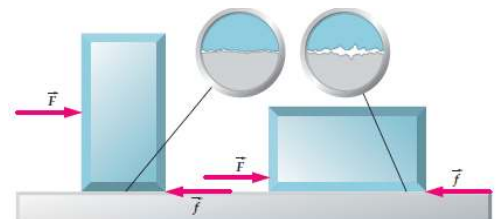
13

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

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

μ_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

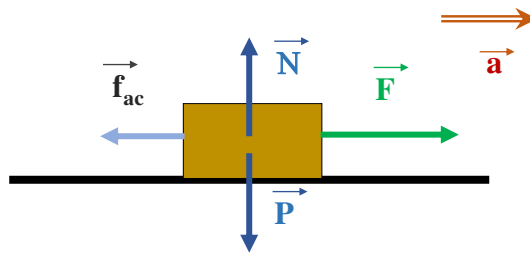
Mec_IM - 2021/22

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

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

μ_C é o **coeficiente de atrito cinético**, para as duas superfícies

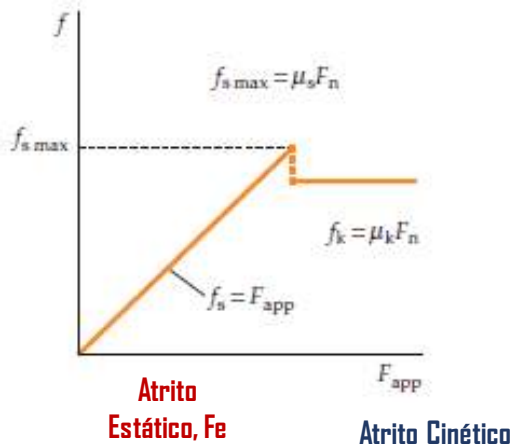
Normalmente, a força de atrito não depende da área de contacto

Mec_IM - 2021/22

16

16

COMO VARIA A FORÇA DE ATRITO com a força aplicada?



	μ_e	μ_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

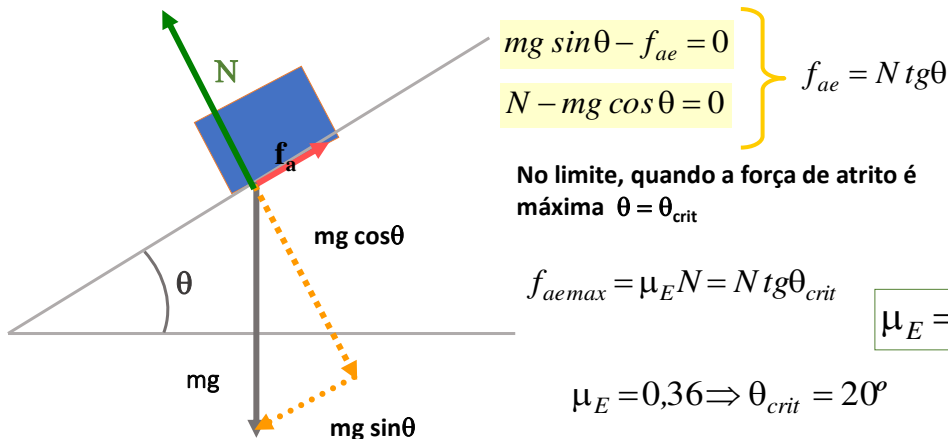
17

Como medir o coeficiente de atrito μ ?

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

A inclinação θ é aumentada até atingir um valor máximo (crítico) θ_{crit} que se relaciona com μ_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° . Determine o coeficiente de atrito estático entre o bloco e o plano.

Mec_IM - 2021/22

19

19

Que força empurra o carro?

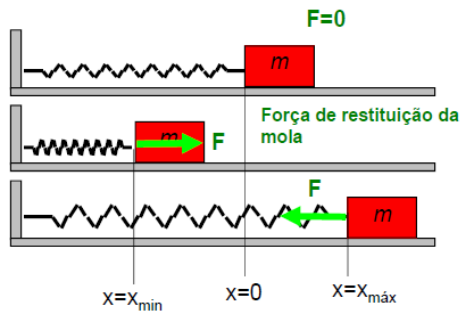


Mec_IM - 2021/22

20

20

Força elástica



Força elástica ou força restauradora, F

$$F = -kx$$

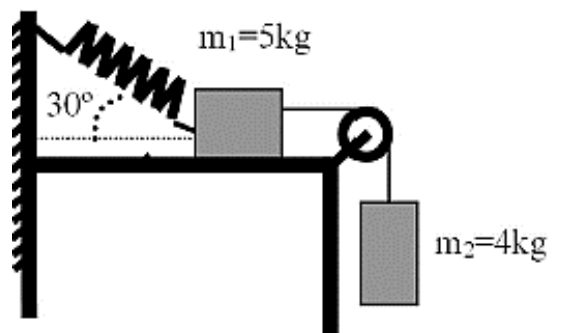
k = constante da mola

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