

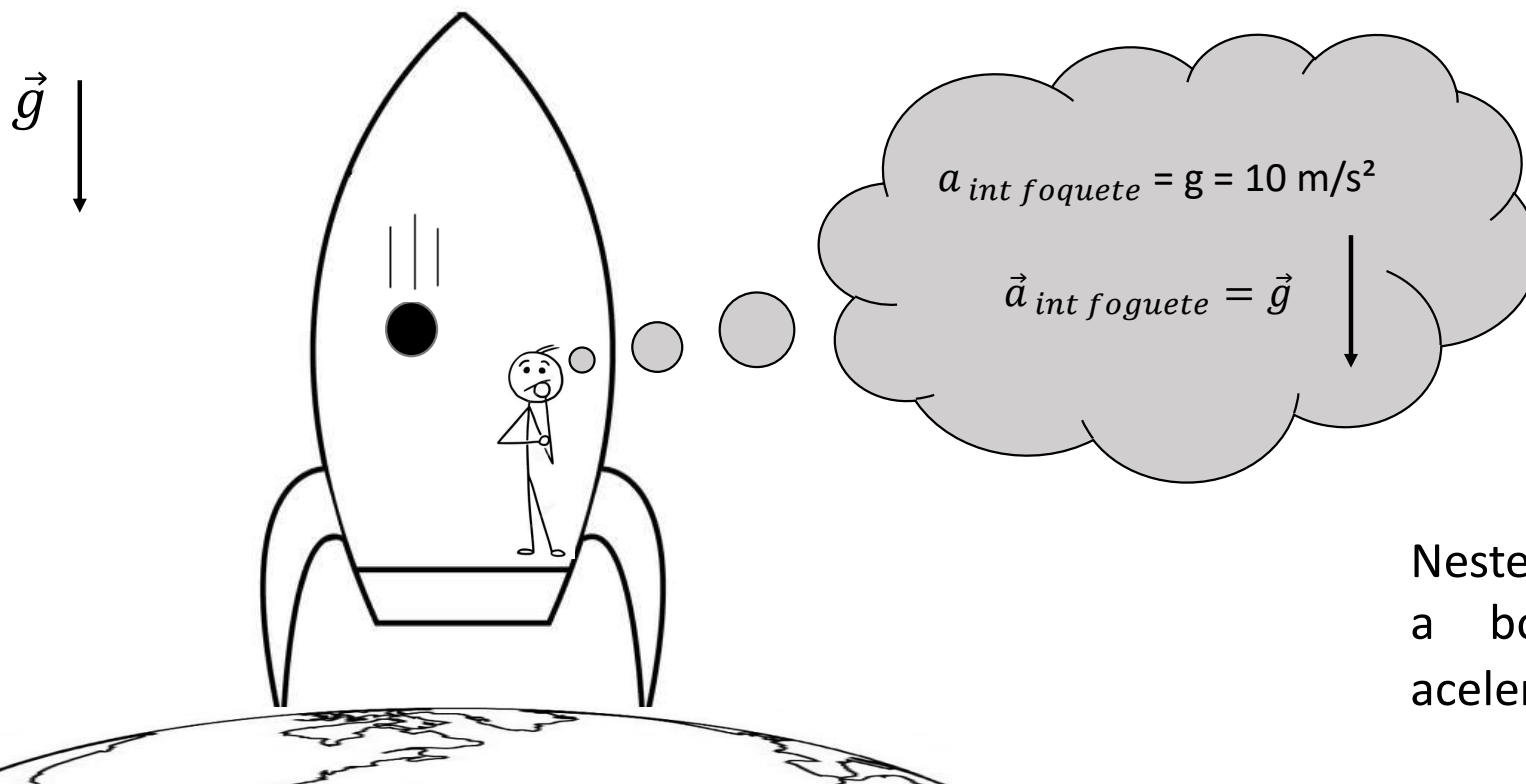
Aula 06 – Dinâmica (parte 3): princípio da equivalência de Einstein

- SL 10 – Teoria
- SL 11 - Exercícios

Apresentação e demais documentos: **fisicasp.com.br**

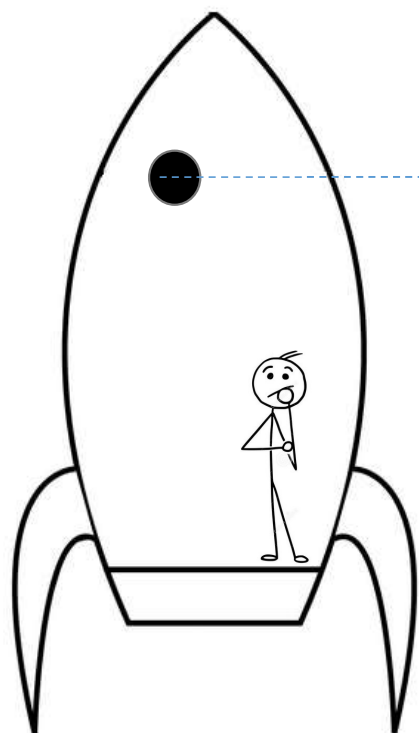
Repouso na superfície da Terra ($g = 10 \text{ m/s}^2$ - referencial da Terra)

No referencial do foguete
(campo percebido pelo observador)

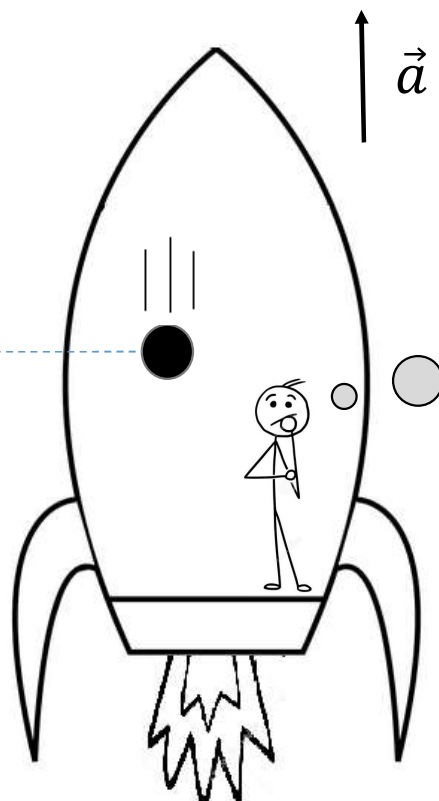


Neste caso, o observador percebe a bolinha caindo com uma aceleração $a_{int \text{ nave}} = 10 \text{ m/s}^2$

Livre de campos gravitacionais genuínos

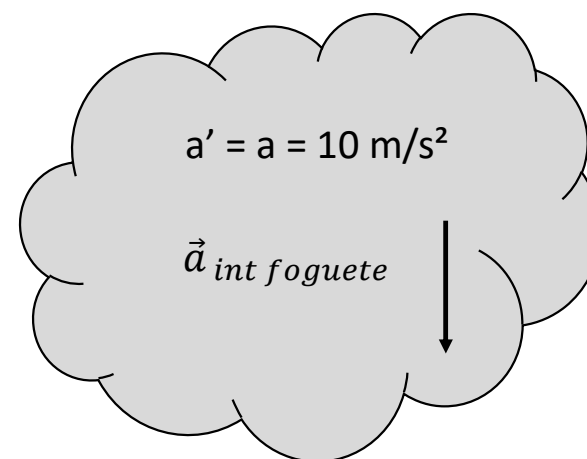


Sem aceleração



Foguete com aceleração
 $a = 10 \text{ m/s}^2$

No referencial do foguete



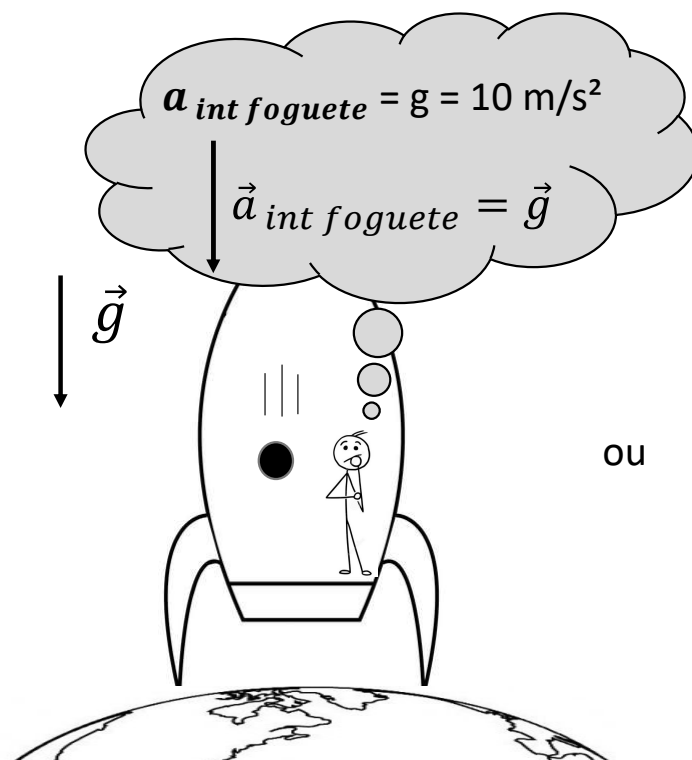
Se o foguete (referencial acelerado) se movimenta com aceleração $a = 10 \text{ m/s}^2$, o observador percebe a bolinha se movimentando com aceleração $a_{int \text{ nave}} = 10 \text{ m/s}^2$ em relação ao interior do foguete.

Princípio da Equivalência de Einstein

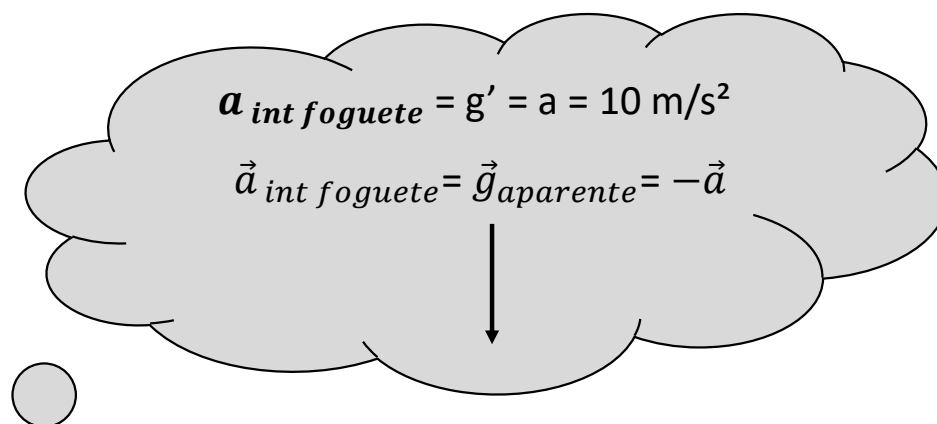
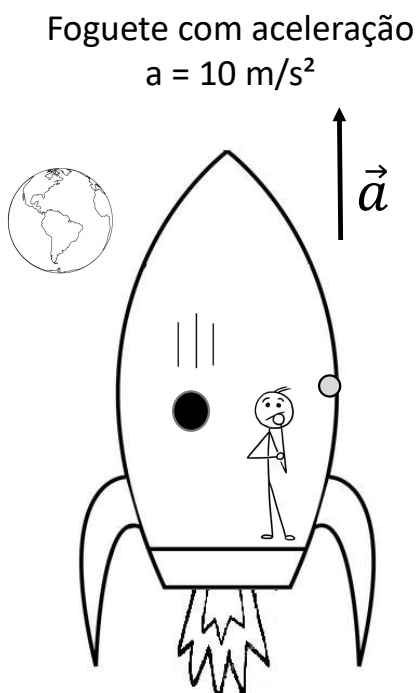
Foguete em repouso na superfície da Terra ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

Livre de campos gravitacionais genuínos

No referencial do foguete



ou



Princípio da Equivalência

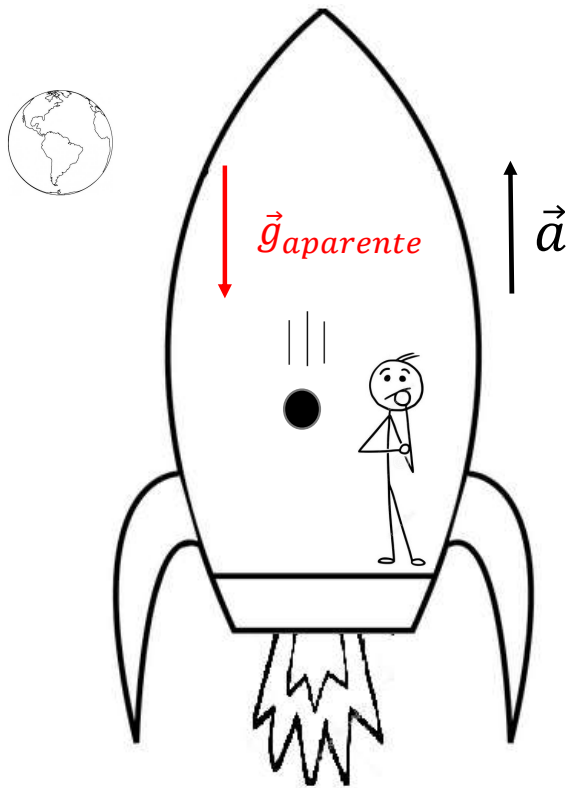
O observador não é capaz de distinguir se a queda da bolinha foi causada por um campo gravitacional legítimo de intensidade $g = 10 \text{ m/s}^2$ ou se foi causada pela aceleração do foguete, de intensidade $a = 10 \text{ m/s}^2$, livre de campos gravitacionais.

Podemos dizer que o observador percebe a ação de um campo gravitacional aparente ($g_{aparente}$), de mesma intensidade da aceleração do foguete, mesma direção e com sentido oposto.

Princípio da Equivalência de Einstein

Exemplo 1:

Livre de campos
gravitacionais genuínos

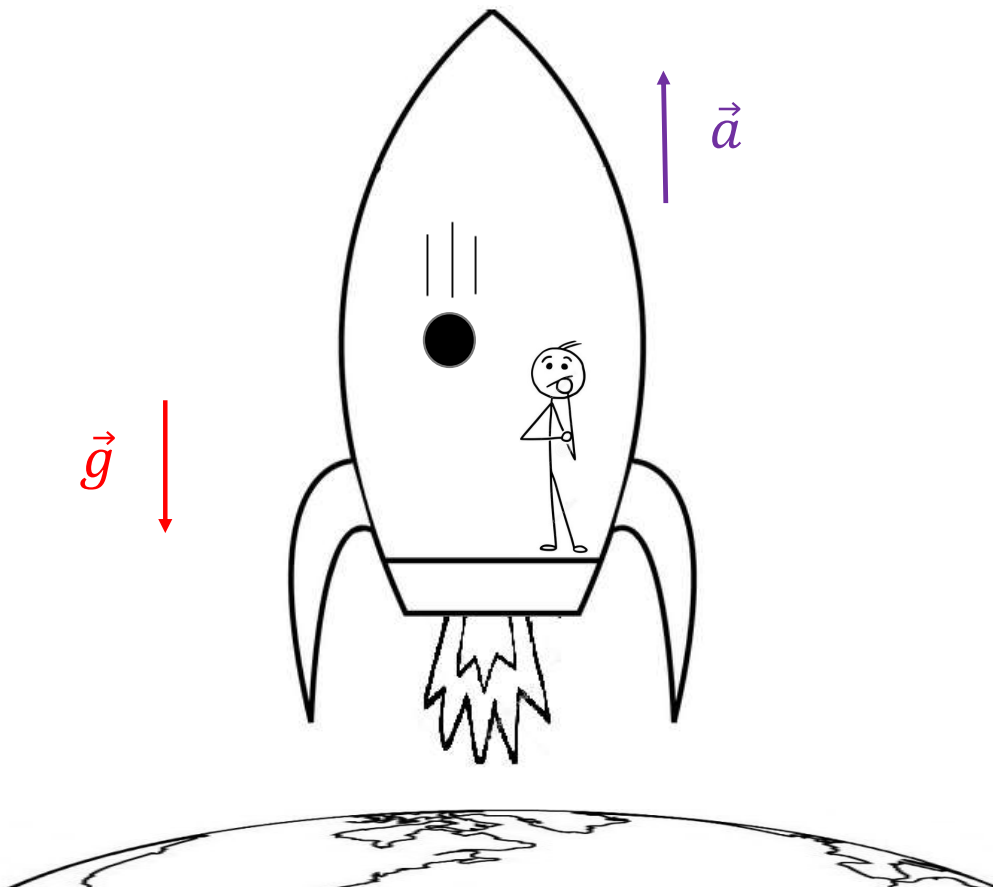


$$g_{aparente} = a$$

Princípio da Equivalência de Einstein

Exemplo 2:

Foguete com aceleração a e próximo à superfície da Terra



No referencial do foguete
(campo gravitacional aparente total percebido pelo observador)

$$g''_{\text{aparente total}} = g'_{\text{aparente}} + g$$

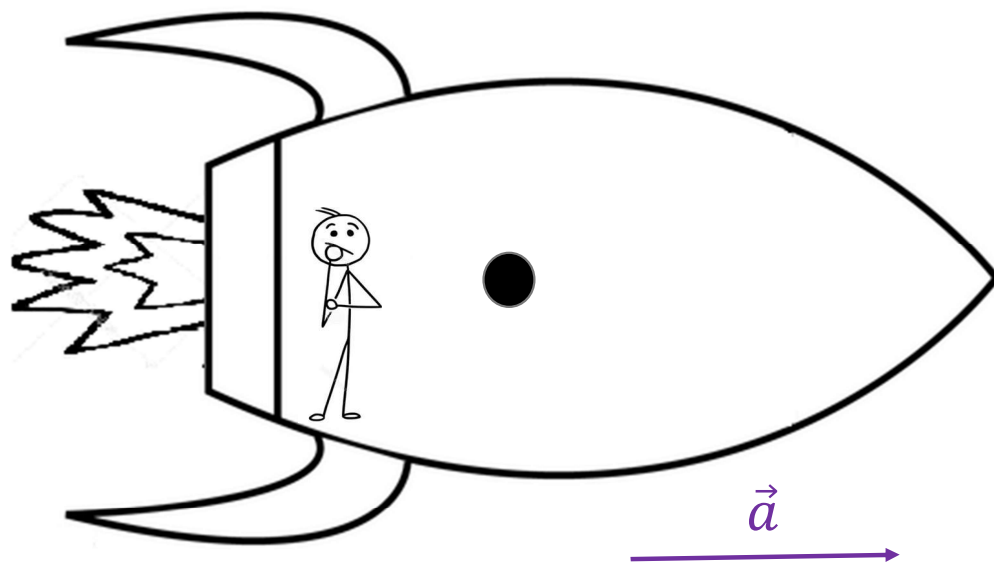
$$g''_{\text{aparente total}} = a + g$$

$$\vec{g}''_{\text{ap total}} = \vec{g}'_{\text{aparente}} + \vec{g}$$

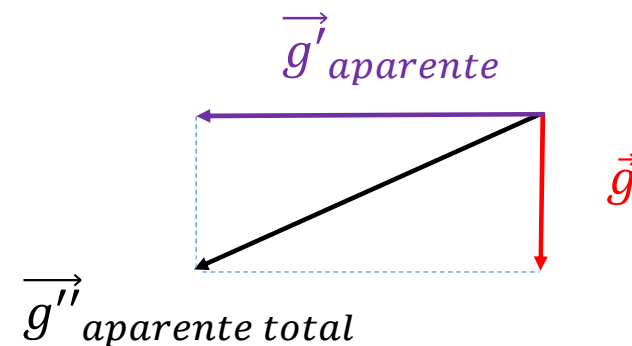
Princípio da Equivalência de Einstein

Exemplo 3:

Foguete com aceleração a e próximo à superfície da Terra



No referencial do foguete
(campo gravitacional aparente total percebido pelo observador)



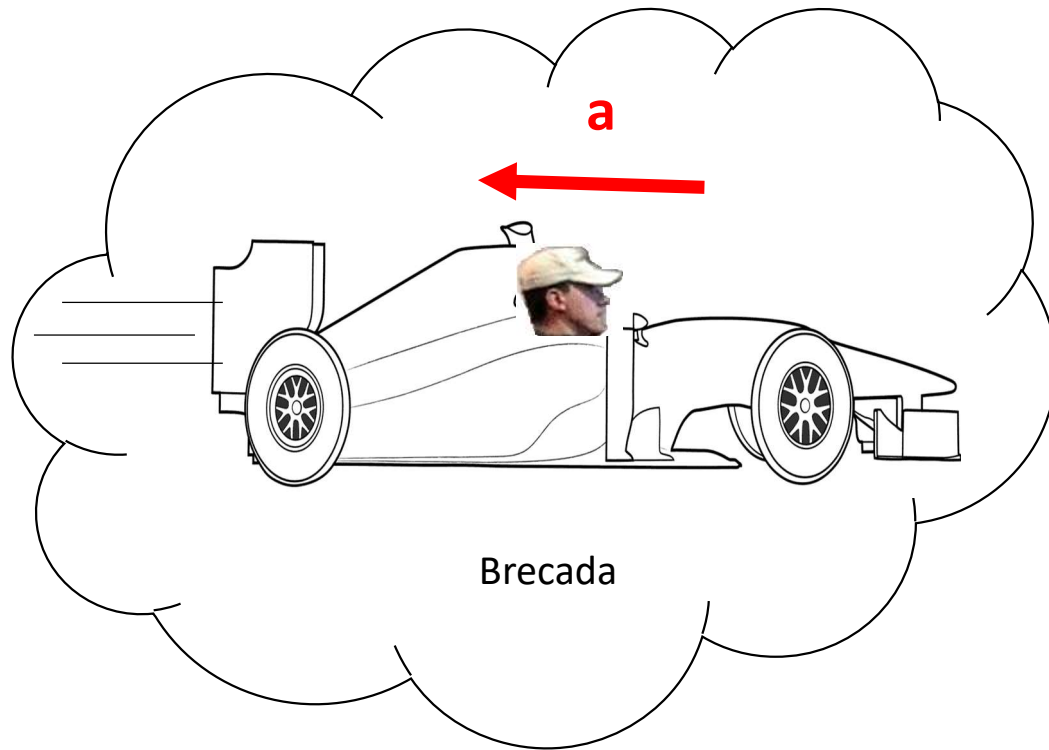
$$g''^2_{ap total} = g'^2_{ap} + g^2$$

$$g''^2_{ap total} = a^2 + g^2$$

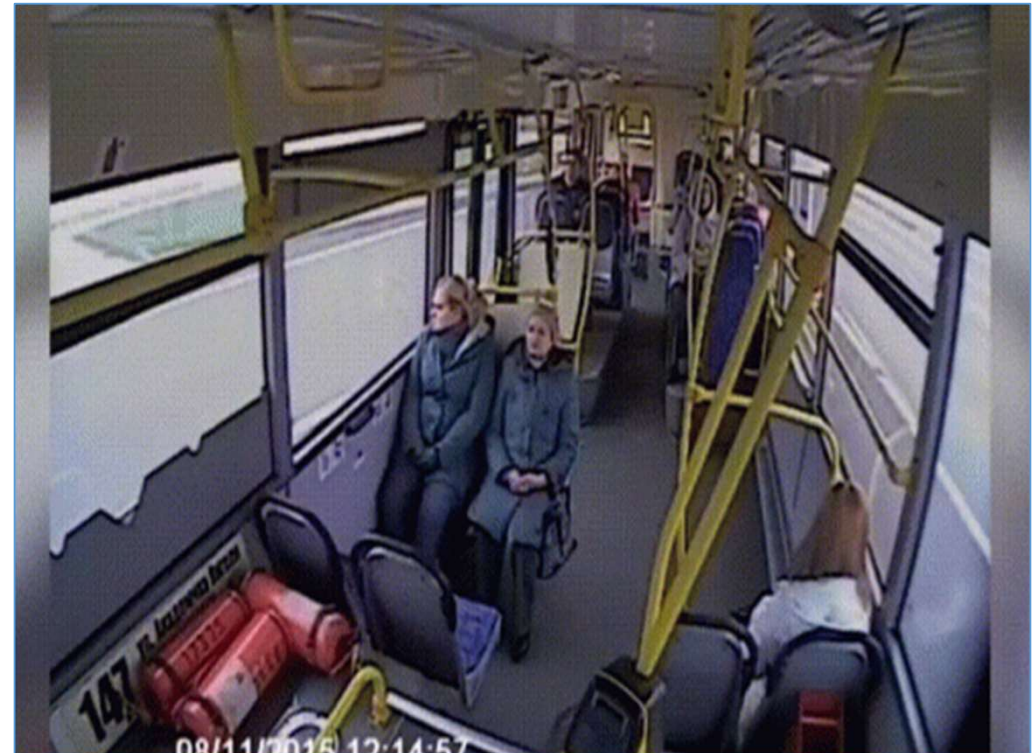
Simuladores



Simuladores



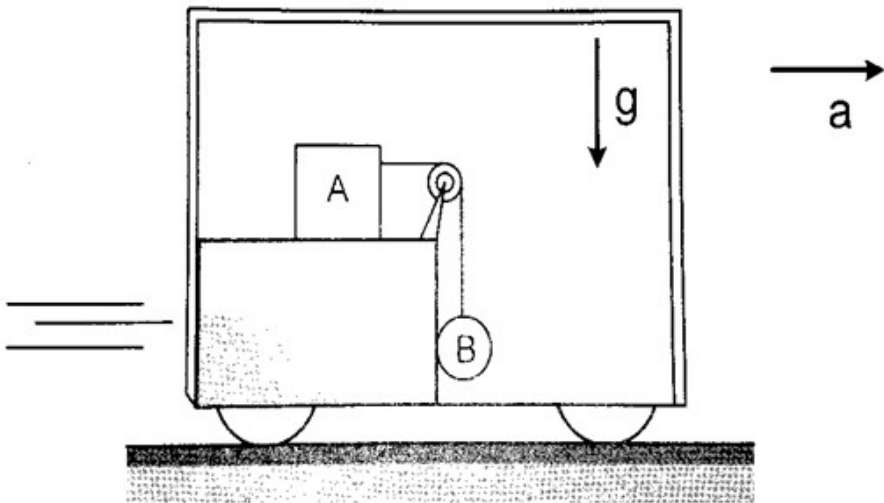
Ônibus brecando



1. Um vagão se move com aceleração de 3 m/s^2 em relação à Terra. No interior deste vagão dois blocos são abandonados do repouso em relação ao vagão. Considerando os fios e as polias ideais e desprezando os atritos, calcule:

Dados: $m_A = 8 \text{ kg}$, $m_B = 2 \text{ kg}$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$.

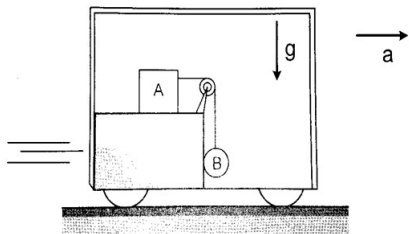
- a) a aceleração adquirida por cada bloco em relação ao vagão e em relação à Terra.
- b) a tração no fio.



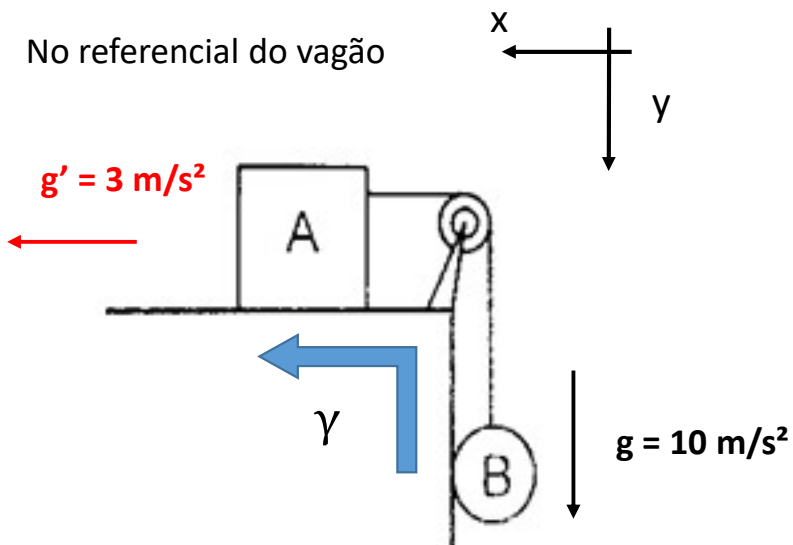
1. Um vagão se move com aceleração de 3 m/s^2 em relação à Terra. No interior deste vagão dois blocos são abandonados do repouso em relação ao vagão. Considerando os fios e as polias ideais e desprezando os atritos, calcule:

Dados: $m_A = 8 \text{ kg}$, $m_B = 2 \text{ kg}$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$.

a) a aceleração adquirida por cada bloco em relação ao vagão e em relação à Terra.



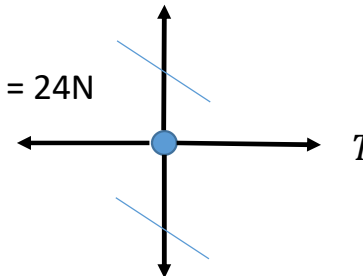
No referencial do vagão



A

$$N_A = 80 \text{ N}$$

$$P'_A = m_A \cdot g' = 8 \cdot 3 = 24 \text{ N}$$



$$P_A = m_A \cdot g = 8 \cdot 10 = 80 \text{ N}$$

$$R_A = P'_A - T = m_A \cdot \gamma$$

$$24 - T = 8 \cdot \gamma$$

$$24 - (2 \cdot \gamma + 20) = 8 \cdot \gamma$$

$$24 - 2\gamma - 20 = 8\gamma$$

$$4 = 10\gamma$$

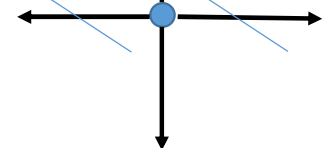
$$\gamma = 0,4 \text{ m/s}^2$$

B

T

$$P'_B = m_B \cdot g' = 2 \cdot 3 = 6 \text{ N}$$

$$N_B = 6 \text{ N}$$



$$P_B = m_B \cdot g = 2 \cdot 10 = 20 \text{ N}$$

$$R_B = T - P_B = m_B \cdot \gamma$$

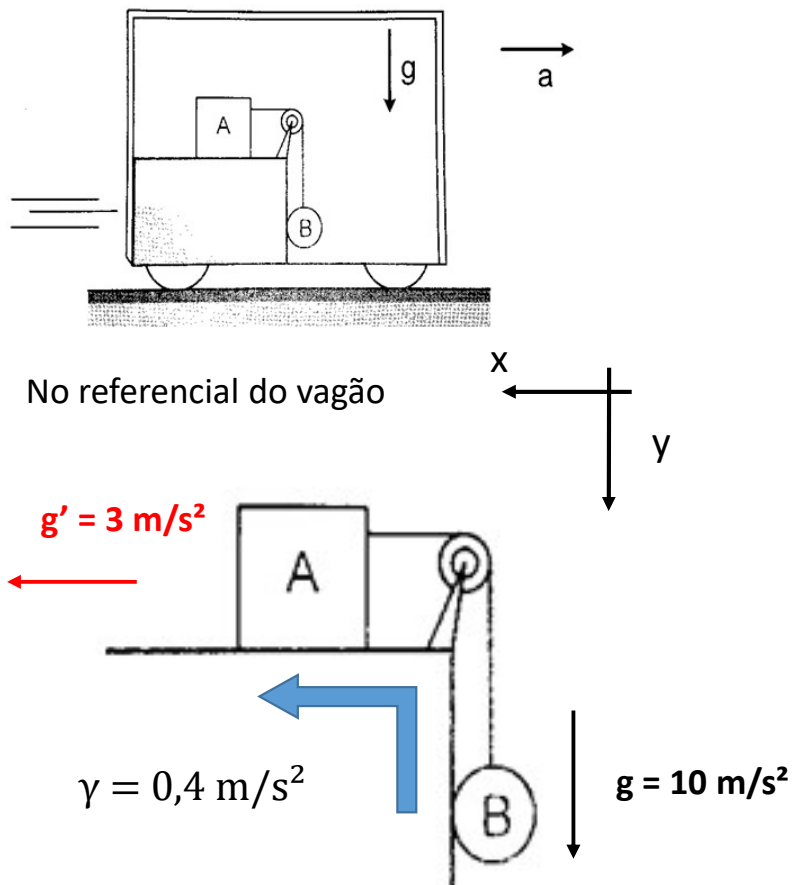
$$T - 20 = 2 \cdot \gamma$$

$$T = 2 \cdot \gamma + 20$$

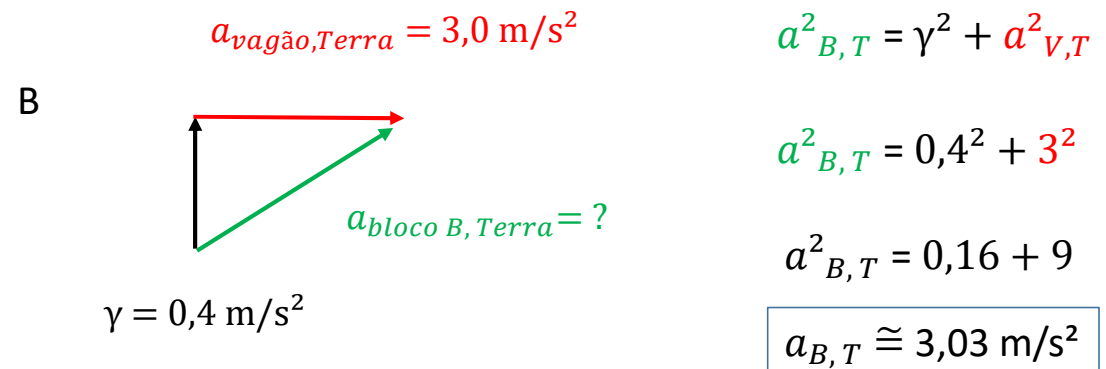
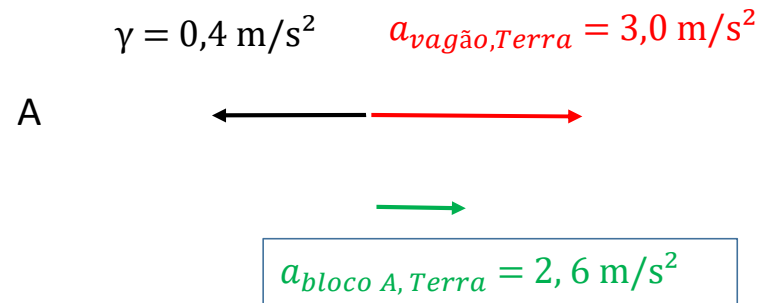
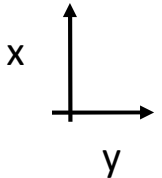
1. Um vagão se move com aceleração de 3 m/s^2 em relação à Terra. No interior deste vagão dois blocos são abandonados do repouso em relação ao vagão. Considerando os fios e as polias ideais e desprezando os atritos, calcule:

Dados: $m_A = 8\text{kg}$, $m_B = 2\text{kg}$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$.

a) a aceleração adquirida por cada bloco em relação ao vagão e em relação à Terra.



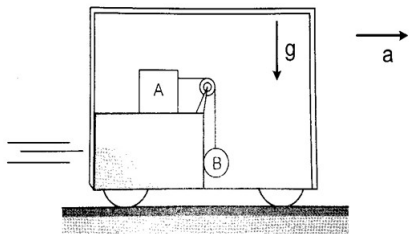
Em relação à Terra



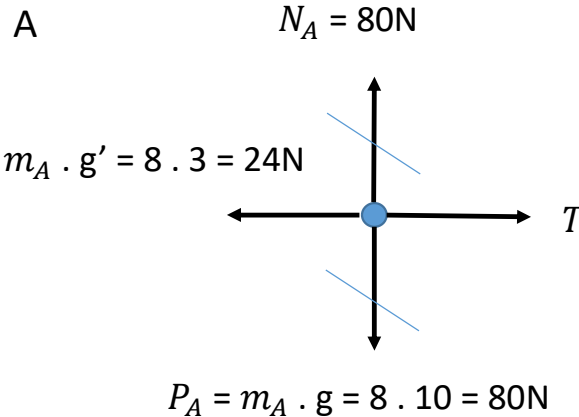
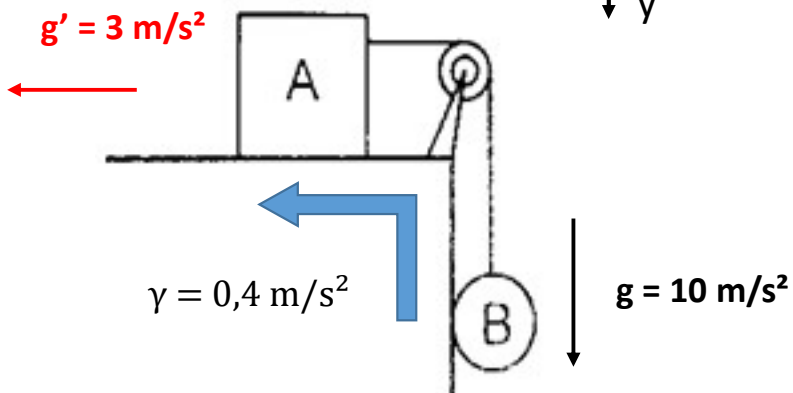
1. Um vagão se move com aceleração de 3 m/s^2 em relação à Terra. No interior deste vagão dois blocos são abandonados do repouso em relação ao vagão. Considerando os fios e as polias ideais e desprezando os atritos, calcule:

Dados: $m_A = 8 \text{ kg}$, $m_B = 2 \text{ kg}$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$.

b) a tração no fio.

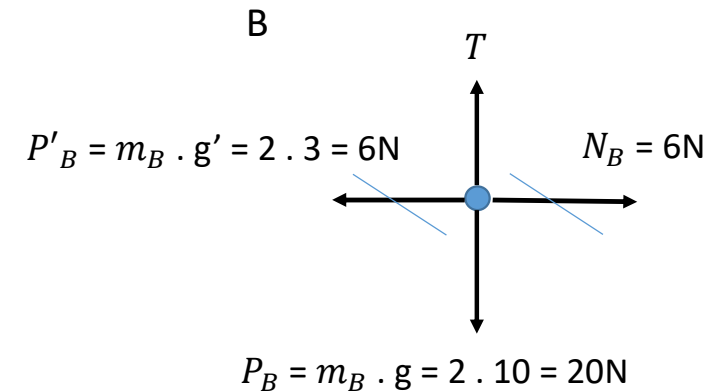


No referencial do vagão



$$R_A = P'_A - T = m_A \cdot \gamma$$

$$24 - T = 8 \cdot \gamma$$



$$R_B = T - P_B = m_B \cdot \gamma$$

$$T - 20 = 2 \cdot \gamma$$

$$T = 2 \cdot \gamma + 20$$

$$T = 2 \cdot (0,4) + 20$$

$$T = 20,8 \text{ N}$$

Pêndulo Simples

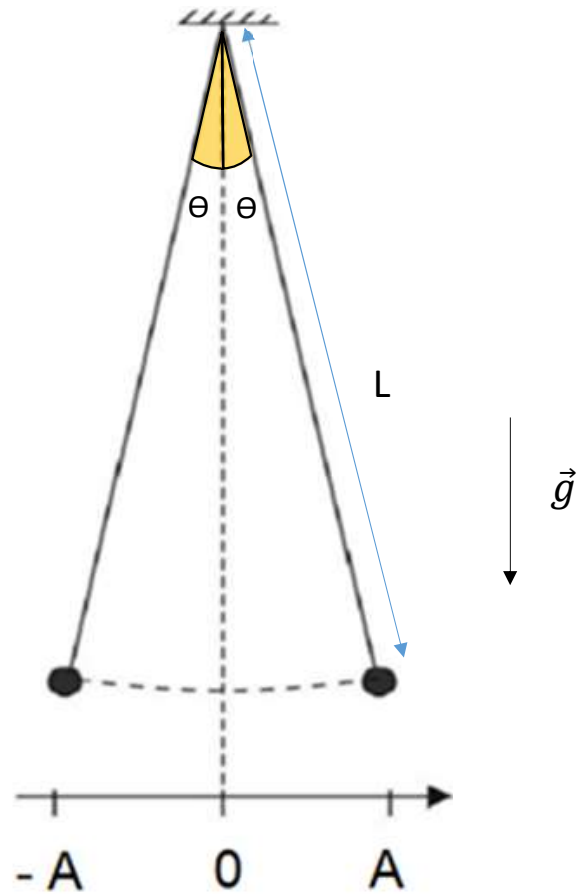
Período (T)

Intervalo de tempo para uma oscilação completa (4 A)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

O período não depende da amplitude e nem da massa do pêndulo

A equação é válida para pequenas oscilações

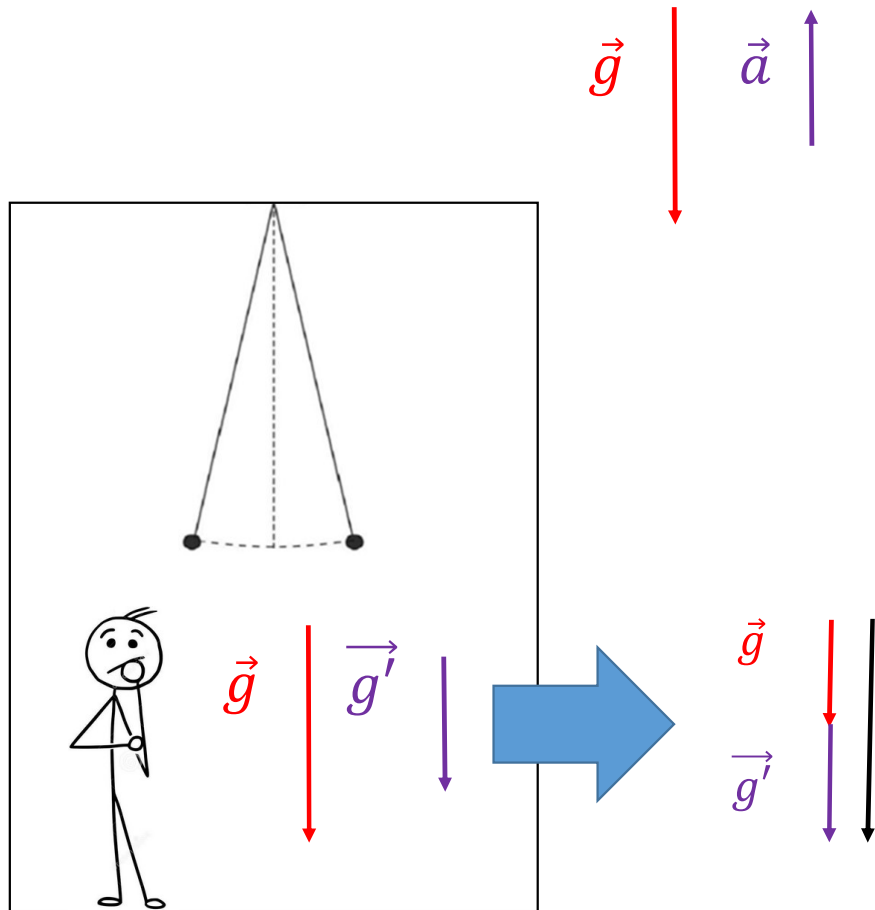


$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

5. Calcule o período (T) de oscilação de um pêndulo simples de comprimento $L = 1,5 \text{ m}$, fixado ao teto de um elevador que sobe com aceleração de 5 m/s^2 . Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

2. Calcule o período de oscilação (T) de um pêndulo simples de comprimento $L = 1,5$ m, fixado ao teto de um elevador que sobe com aceleração de 5 m/s^2 . Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.



Para o observador

$$\vec{g}''_{ap total} = \vec{g}'_{aparente} + \vec{g}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g''}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{a+g}}$$

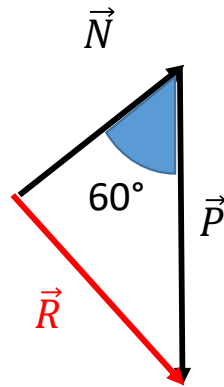
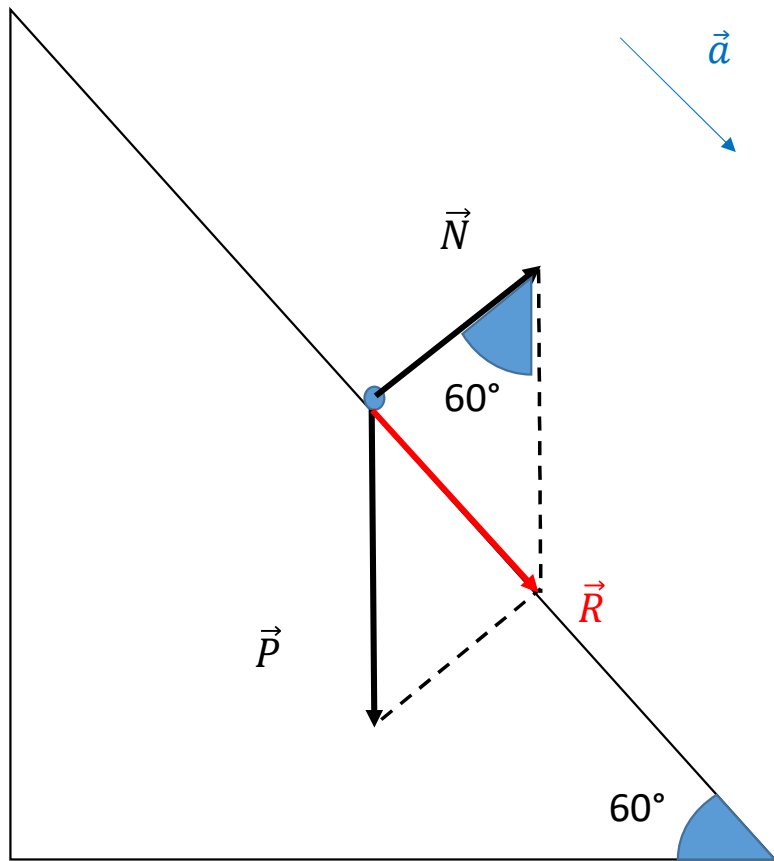
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1,5}{15}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{0,1} \cong 1,99 \text{ s}$$

6. Considere que um pendulo simples tem um período $T = 1\text{s}$, quando oscila num campo gravitacional uniforme $g = 10\text{ m/s}^2$. Calcule o período desse pêndulo quando ele for fixado ao teto de um vagão que desce uma rampa lisa, inclinada de um ângulo $\alpha = 60^\circ$ com a horizontal.

6. Considere que um pêndulo simples tem um período $T = 1\text{s}$, quando oscila num campo gravitacional uniforme $g = 10\text{ m/s}^2$. Calcule o período desse pêndulo quando ele for fixado ao teto de um vagão que desce uma rampa lisa, inclinada de um ângulo $\alpha = 60^\circ$ com a horizontal.

Cálculo da aceleração do vagão



$$\vec{R} = m \cdot \vec{a}$$

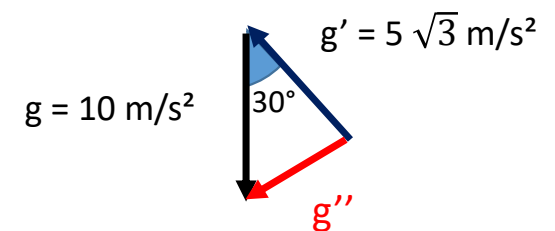
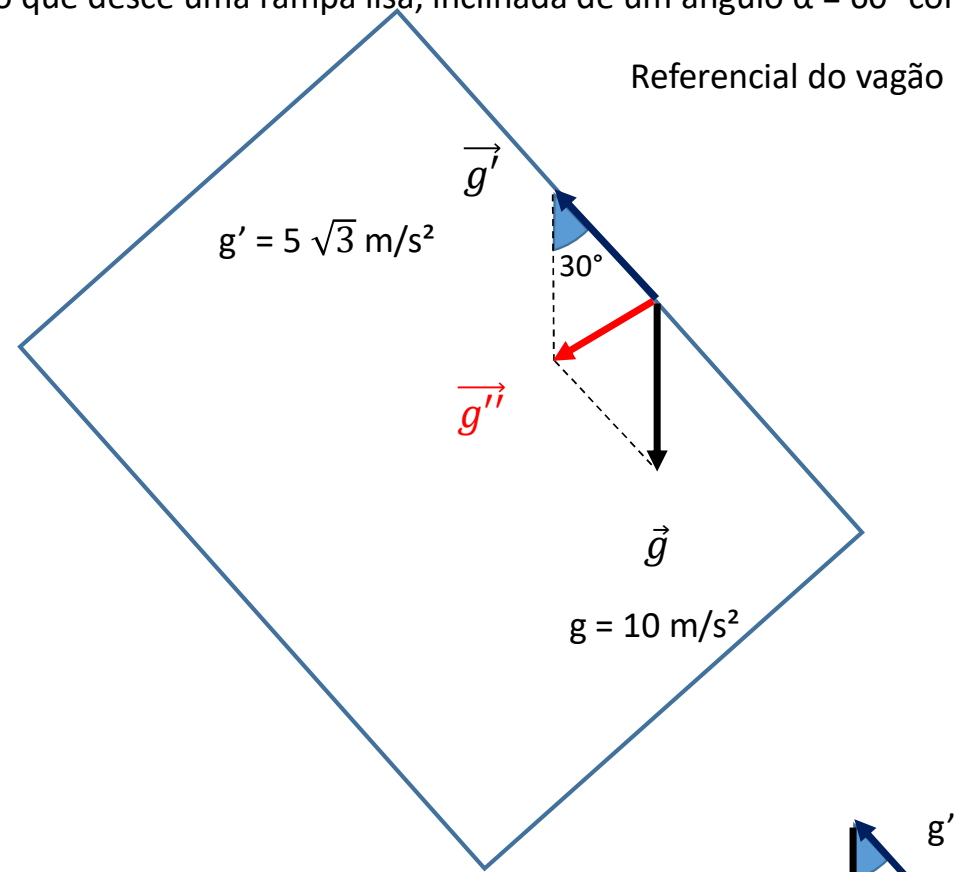
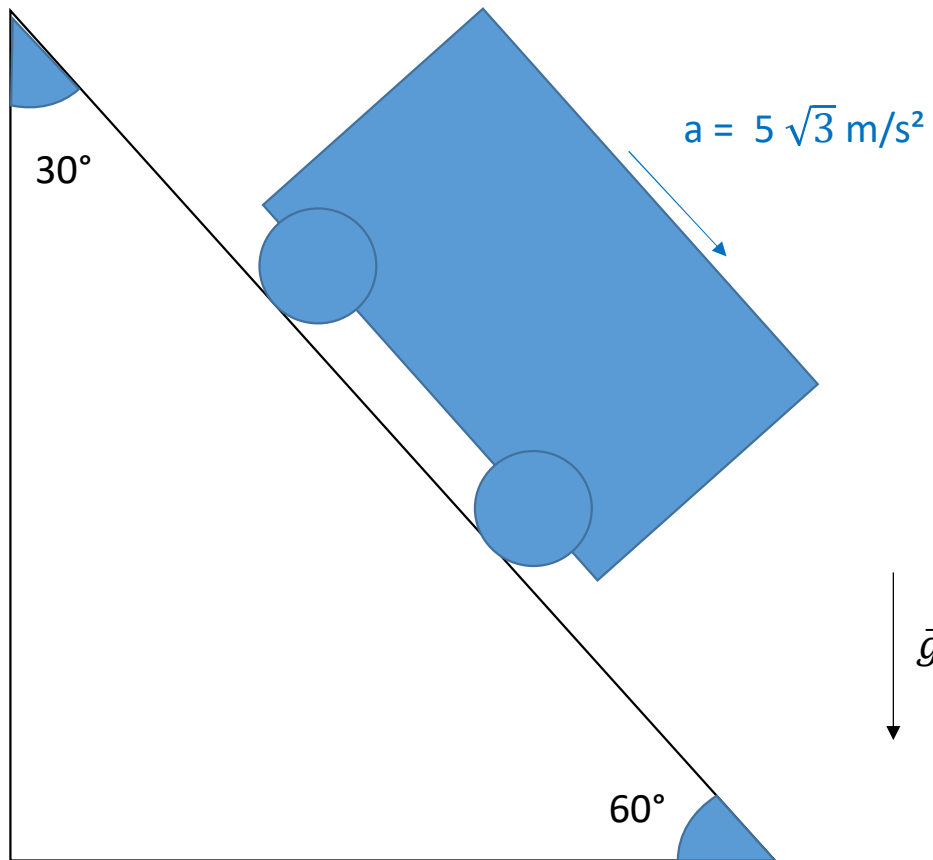
$$\text{sen } \Theta = \frac{R}{P}$$

$$\text{sen } \Theta = \frac{m \cdot a}{m \cdot g}$$

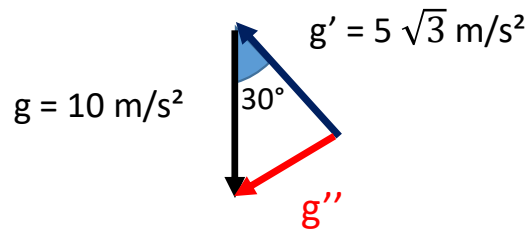
$$a = g \cdot \text{sen } \Theta$$

$$a = 10 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 5\sqrt{3} \text{ m/s}^2$$

6. Considere que um pêndulo simples tem um período $T = 1\text{ s}$, quando oscila num campo gravitacional uniforme $g = 10\text{ m/s}^2$. Calcule o período desse pêndulo quando ele for fixado ao teto de um vagão que desce uma rampa lisa, inclinada de um ângulo $\alpha = 60^\circ$ com a horizontal.



6. Considere que um pêndulo simples tem um período $T = 1\text{s}$, quando oscila num campo gravitacional uniforme $g = 10\text{ m/s}^2$. Calcule o período desse pêndulo quando ele for fixado ao teto de um vagão que desce uma rampa lisa, inclinada de um ângulo $\alpha = 60^\circ$ com a horizontal.



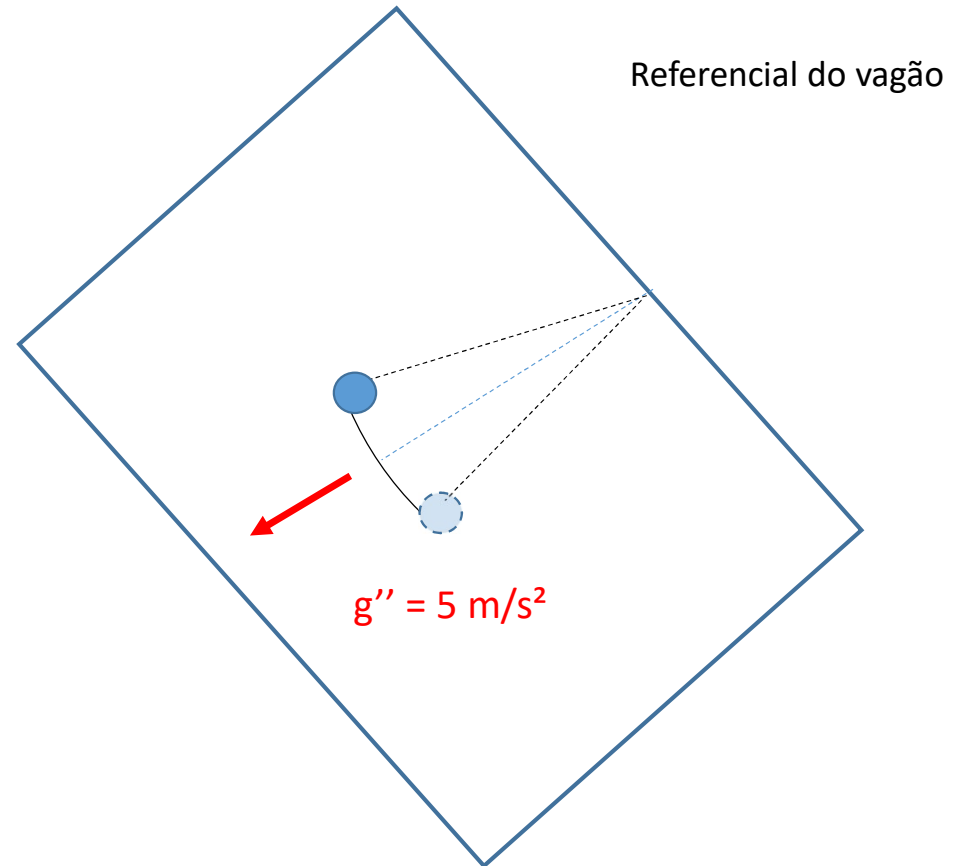
$$g''^2 = g^2 + g'^2 - 2 \cdot g \cdot g' \cdot \cos 30^\circ$$

$$g''^2 = 10^2 + (5\sqrt{3})^2 - 2 \cdot 10 \cdot 5\sqrt{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$g''^2 = 100 + 75 - 150$$

$$g''^2 = 25$$

$$g'' = 5\text{ m/s}^2$$



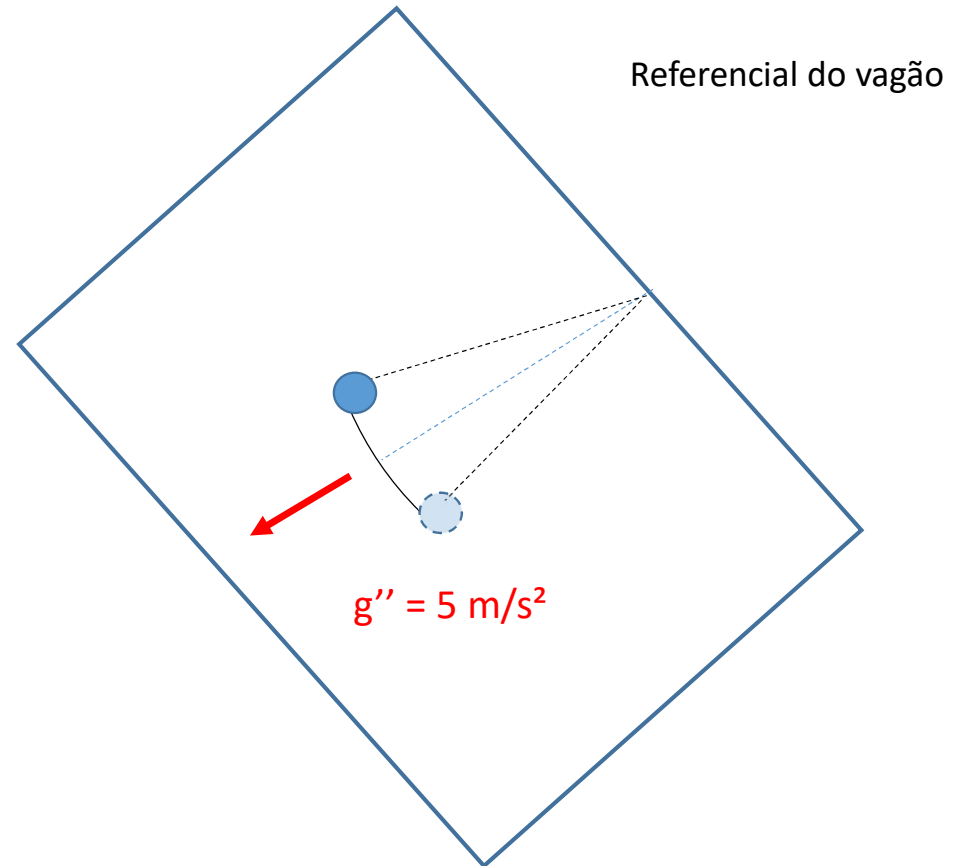
6. Considere que um pêndulo simples tem um período **$T = 1\text{ s}$** , quando oscila num campo gravitacional uniforme $g = 10\text{ m/s}^2$. Calcule o período desse pêndulo quando ele for fixado ao teto de um vagão que desce uma rampa lisa, inclinada de um ângulo $\alpha = 60^\circ$ com a horizontal.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} = 1\text{ s}$$

$$T' = 2\pi \sqrt{\frac{L}{\frac{g}{2}}}$$

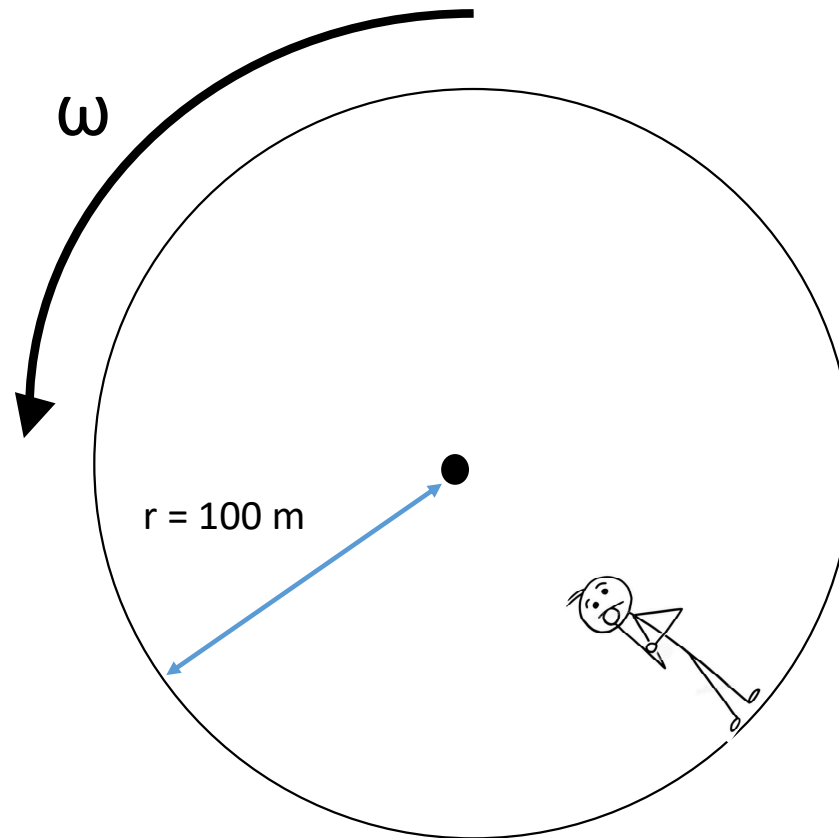
$$T' = 2\pi \sqrt{\frac{2L}{g}}$$

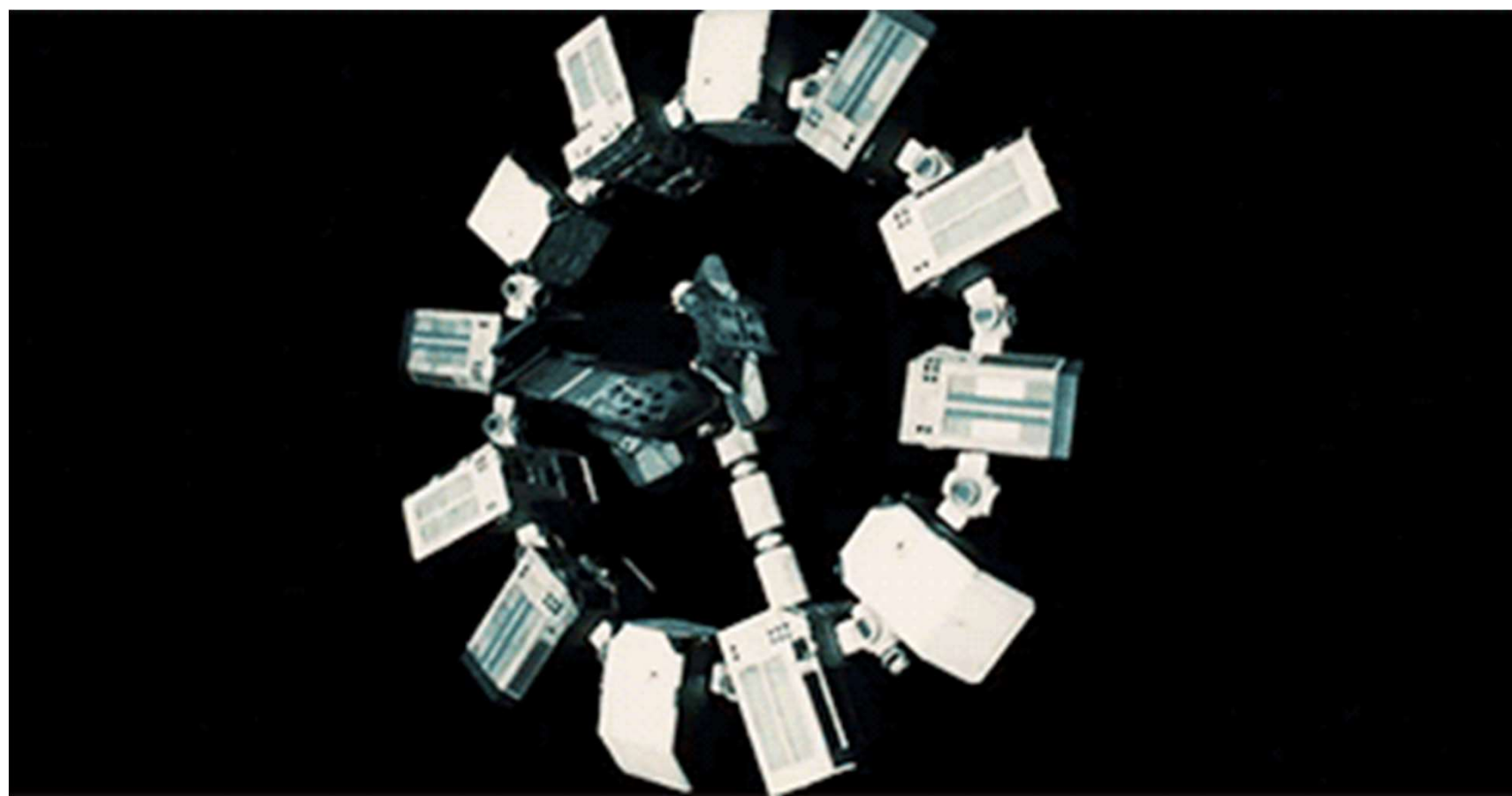
$$T' = \sqrt{2} \cdot 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \xrightarrow{1} T' = \sqrt{2}\text{ s}$$



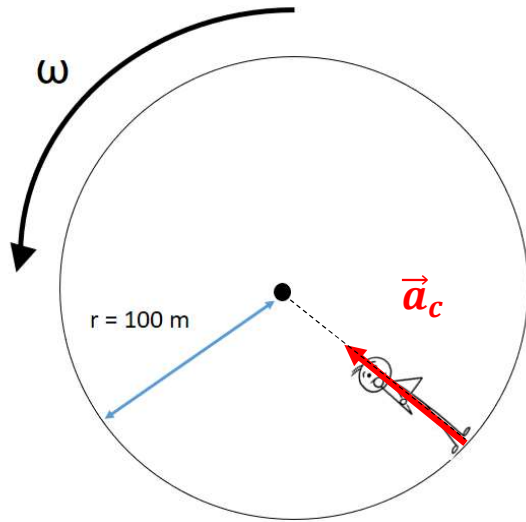
7. Uma nave espacial tem um compartimento que executa um movimento circular uniforme de modo a simular a sensação de peso percebida na superfície da Terra ($g = 10 \text{ m/s}^2$). Considerando um raio de 100 m, calcule a velocidade angular necessária para que a simulação obtenha sucesso. Desconsidere a presença de qualquer campo gravitacional.

Livre de campos
gravitacionais legítimos





Simulação de gravidade



$$P_{\text{Terra}} = m \cdot g = 10 \cdot m$$

$$P' = m \cdot g'$$

$$g' = a_c = \omega^2 \cdot r$$

$$P' = P_{\text{Terra}}$$

~~$$m \cdot g' = m \cdot g$$~~

$$\omega^2 \cdot r = g$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{r}} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{10}{100}} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{1}{10}} \Rightarrow \omega \cong 0,31 \text{ rad/s}$$

