3 Mecânica de Newton

3.1. Uma partícula carregada com carga q, quando colocada num campo eléctrico $\vec{E}$, fica sujeita a uma força $\vec{F} = q\,\vec{E}$.
Considere o movimento de um electrão e um protão colocados num campo eléctrico $\vec{E} = 10\vec{e_x}\,\mathrm{N/C}$. No instante inicial, tanto o electrão como o protão encontram-se parados num ponto com coordenadas $x_o = 0\,\mathrm{m}$, $y_o = 0\,\mathrm{m}$.

a) Qual a força que actua no electrão? E no protão? Compare as forças.

Solução: $F_p = F_e = 1,6 \times 10^{-18}\,\mathrm{N}$

b) Qual a aceleração a que fica sujeito o protão? E o electrão? Compare as acelerações.

Solução: $a_p = 10^9\,\mathrm{m\,s^{-2}}$, $a_e = 1,76 \times 10^{12}\,\mathrm{m\,s^{-2}}$ respectivamente.

c) Qual a velocidade e as coordenadas do vector posição para o electrão ao fim de 10^{-10} segundos?

Solução: $v_e = 1758\,\mathrm{m\,s^{-1}}$, $\vec{r_e} = -8,8 \times 10^{-7}\,\vec{e_\mathrm{x}}\,\mathrm{m}$

d) Considere um caso diferente, nomeadamente em que no instante inicial a velocidade do protão é $\vec{v_\mathrm{o}} = (0\,\vec{e}_x + 1000\,\vec{e}_y)\,\mathrm{m/s}$. Qual a velocidade e as coordenadas do vector posição ao fim de 10^{-10} segundos?

Solução: $v_e = 1000\,\mathrm{m\,s^{-1}}$; $\vec{r_e} = (4,7 \times 10^{-10}\vec{e_\mathrm{x}} + 10^{-7}\vec{e_\mathrm{y}})\,\mathrm{m}$.

3.2. Considere as duas diferentes situações em que uma mala está suspensa por dois dinamómetros como representado na figura 3.1.

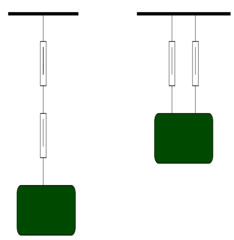


Figura 3.1: Ligação de dinamómetros em série e em paralelo

Represente as forças que actuam na mala em ambas as situações representadas. Na figura do lado esquerdo o dinamómetro que segura a mala directamente indica 30 kg. Quanto indicam os dinamómetros na figura do lado direito se os dinamómetros estiverem simetricamente colocados?

3.3. Um quadro está suspenso do tecto como indicado na figura 3.2. O quadro pesa 5 kg.

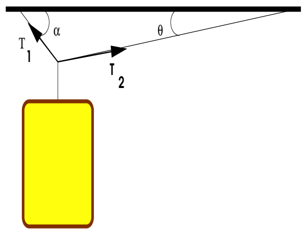


Figura 3.2: Quadro artisticamente suspenso

a) Escolha o sistema de coordenadas para estudar o comportamento do sistema (quadro).

b) Escreva a equação de Newton por componentes para o quadro.

c) Se o quadro estiver parado, calcule a expressão e calcule o valor de T_1. O mesmo para T_2. Considere $\alpha = 35^o$ e $\theta = 25^o$

3.4. Um massa m desloca-se ao longo de um plano inclinado num movimento de translação sem atrito, como está representado na figura 3.3.

a) Represente as forças que actuam em m.

b) Escolha o sistema de coordenadas que melhor se adapta, na sua opinião, ao estudo do movimento de m.

c) Escreva as equações de Newton (para cada eixo de coordenadas) para a massa m.

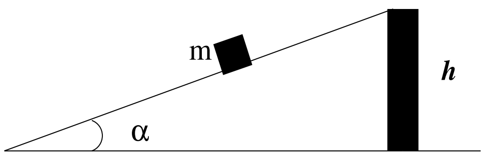


Figura 3.3: Movimento de translação ao longo de um plano inclinado sem atrito

d) Determine a expressão para a aceleração de m.

e) Considere que a massa m parte inicialmente de um altura $h =$ 50 cm com velocidade nula e que $\alpha = 30^o$ é o ângulo entre o plano inclinado e a horizontal. Calcule o módulo da velocidade com que m chega ao fim do plano inclinado. Quanto tempo demora até chegar ao fim do plano inclinado?

Solução: $v = 3,1\,\mathrm{ms}^{-1}$; $t = 0,6\,\mathrm{s}$

3.5. Duas massas m_1 e m_2 estão ligadas por um fio como indicado na figura 3.4.

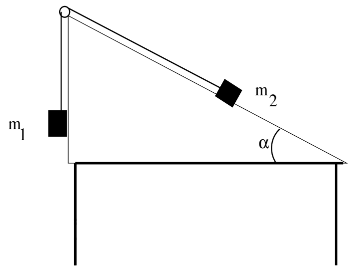
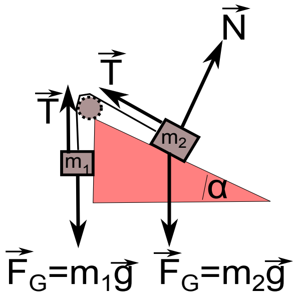


Figura 3.4: Sistema com duas massas ligadas em plano inclinado

a) Represente separadamente as forças que actuam na massa m_1 e na massa m_2.

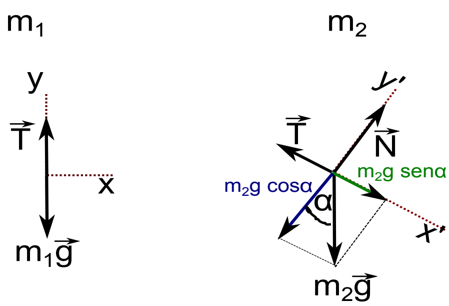
Resolução:



---

b) Escolha o melhor sistema de coordenadas para estudar o movimento de cada uma das massas.

Resolução:



c) Escreva a Leis de Newton para cada uma das massas.

Resolução:

massa 1:

$$\sum F_x = 0 \tag{3.1}$$

$$\sum F_y = T - m_1\, g = m_1\, a_1 \tag{3.2}$$

massa 2:

$$\sum F_x = m_2\, g\, \sin(\alpha) - T = m_2\, a_2 \tag{3.3}$$

$$\sum F_y = N - m_2\, g\, \cos(\alpha) = 0 \tag{3.4}$$

---

d) Escreva as condições que relacionam o movimento das duas massas.

Solução:

Como as massas são ligadas por um fio as suas acelerações tem a mesma magnitude: $a_1 = a_2$.

---

e) Resolva o sistema de equações que se obtém e determine a aceleração de cada uma das massas e a tensão aplicada em cada uma.

Resolução:

Usando a equação (3.2) e $a_1 = a_2 = a$ tem-se:

$$T = m_1(g + a) \tag{3.5}$$

Substituindo este resultado na equação (3.3) obtemos:

$$m_2\, g\, \sin(\alpha) - m_1(g + a) = m_2\, a \tag{3.6}$$

$$\Leftrightarrow a = -g\frac{m_1 - m_2\, \sin(\alpha)}{m_1 + m_2} \tag{3.7}$$

Substituindo (3.7) na equação (3.5) virá:

$$T = g\,\frac{m_1\, m_2\, (1 + \sin\alpha)}{m_1 + m_2} \tag{3.8}$$

---

f) Analise o comportamento do sistema em situações limite, nomeadamente:

i. $\alpha = 0^{\text{o}}$ (represente esquematicamente esta situação);

Discussão:

Para este ângulo as equações (3.7) e (3.8) vêm:

$$a = -g\frac{m_1}{m_1 + m_2}\,;\;\; T = g\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$$

Neste caso o movimento do sistema é só provocado pela força gravítica que actua na massa m_1. No entanto é o conjunto das duas massas que tem de ser deslocado. Por isso a aceleração do sistema vem reduzida (em comparação com a aceleração gravítica) pela razão $\frac{m_1}{m_1+m_2}$.

---

ii. $\alpha = 90^{\text{o}}$. Represente esquematicamente esta situação e determine o valor da aceleração e tensão.

Solução:

$$a = -g\frac{(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2};\; T = g\frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2}$$

---

iii. Remova a massa m_1 do sistema e em alternativa considere que vai segurar a corda. Qual a intensidade da força que terá de fazer para manter o sistema em equilíbrio?

Solução:

$$F = m_2\, g\, \sin(\alpha)$$

---

iv. Em alternativa ao caso anterior, considere que remove a massa m_2 do sistema e vai segurar a corda. Qual a intensidade da força que terá de fazer para manter o sistema em equilíbrio?

Solução:

$$F = m_1\, g$$

---

v. Qual a relação entre as massas para que o sistema esteja em equilíbrio?

Solução:

$$m_1 = m_2 \sin(\alpha)$$

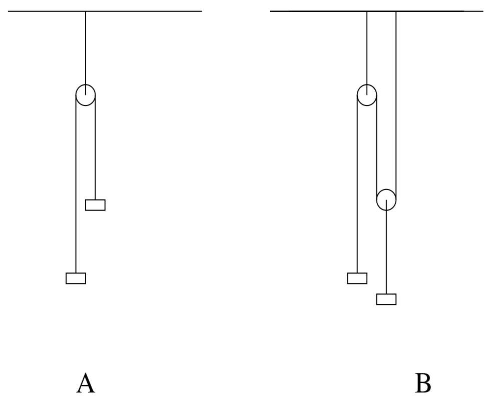
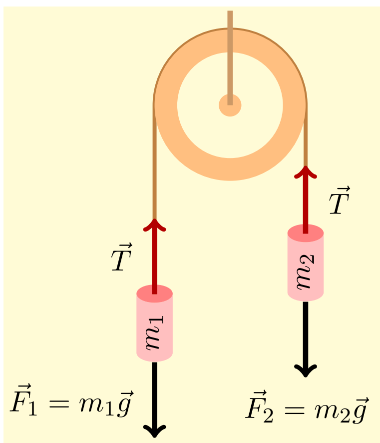


Figura 3.5: Roldanas

3.6. Duas massas m_1 e m_2 estão ligadas por um fio e suspensas como indicado na figura 3.5. Admita que a roldana gira livremente em torno do eixo. Considere inicialmente a situação A (esquerda na figura 3.5).

a) Represente as forças que actuam na massa m_1 e na massa m_2 separadamente.

Resolução:



b) Escolha o melhor sistema de coordenadas para estudar o movimento de cada uma das massas.

Resolução:

Como o movimento se realiza só na direcção vertical, podemos escolher, para qualquer das massas um sistema no qual o eixo dos yy é vertical e aponta para cima.

c) Escreva a Leis de Newton para cada uma das massas.

Resolução:

No nosso referencial, todas as forças estão aplicadas segundo yy e, admitindo que a massa m_1 se desloca para baixo, podemos escrever

$$T - m_1 g = m_1 a_1 \tag{3.9}$$
$$T - m_2 g = m_2 a_2 \tag{3.10}$$

---

d) Escreva as condições que relacionam o movimento das duas massas.

Resolução:

Uma vez que as massas estão ligadas, o módulo das acelerações vai ser igual, embora o movimento se faça em sentidos opostos. Assim, $a_1 = -a_2$.

---

e) Resolva o sistema de equações que se obtém e determine a aceleração de cada uma das massas e a tensão aplicada em cada uma.

Resolução:

Introduzindo nas equações acima o valor a_1 e subtraindo (3.9) de (3.10) por forma a eliminar T, podemos obter o seu valor:

$$a_1 = -\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g \, .$$

Usando agora este valor em qualquer uma das equações anteriores obtemos o valor de T:

$$T = \frac{2 m_1 m_2}{m_1 + m_2} g \, .$$

---

f) Compare o resultado com o da alínea f-ii) do problema 3.5.

g) Analise o comportamento do sistema em situações limite, nomeadamente:

i. $m_1 = m_2$

Discussão:

Neste caso as massas equilibram-se e não há aceleração. Da alínea anterior obtemos $a_1 = a_2 = 0$; $T = m_1 g$

---

ii. $m_1 \ll m_2$

Discussão:

Neste caso é como se a massa m_1 não existisse e m_2 estivesse só sujeita à força da gravidade, sendo a tensão T praticamente nula. Nas expressões podemos desprezar o valor de m_1 e obter $a_1 = g$; $a_2 = -g$; $T = 0$

---

iii. $m_1 \gg m_2$

Discussão:

Situação oposta, neste caso a massa m_2 praticamente não influencia o movimento de queda de m_1, sendo arrastada por ela. Das expressões acima obtemos $a_1 = -g$; $a_2 = g$; $T = 0$

---

iv. Remova a massa m_1 do sistema e em alternativa considere que vai segurar a corda. Qual a intensidade da força que terá de fazer para manter o sistema em equilíbrio se $m_2 = 20\,\mathrm{kg}$?

Resolução:

A força que teremos que exercer terá de compensar o peso da massa m_2. Logo $F = m_2\, g = 20\,\mathrm{kg} \times 9,8\,{}^{\mathrm{m}}\!/\!_{\mathrm{s}^2} = 196\,\mathrm{N}$

---

v. Em alternativa ao caso anterior, considere que remove a massa m_2 do sistema e vai segurar a corda. Qual a intensidade da força que terá de fazer para manter o sistema em equilíbrio se $m_1 = 20\,\mathrm{kg}$? Compare com o caso anterior.

Discussão:

A situação é perfeitamente idêntica à anterior, uma vez que a massa é a mesma, o valor é o mesmo, $F = 196\,\mathrm{N}$

3.7. Duas massas m_1 e m_2 estão ligadas por um fio e suspensas como indicado na figura 3.5. Considere a situação B (direita na figura 3.5).

a) Represente separadamente as forças que actuam na massa m_1 e na massa m_2.

b) Escolha o melhor sistema de coordenadas para estudar o movimento de cada uma das massas.

c) Escreva a Leis de Newton para cada uma das massas.

d) Escreva as condições que relacionam o movimento das duas massas.

Solução: $a_1 = 2a_2$

e) Resolva os sistema de equações que se obtém e determine a aceleração de cada uma das massas e a tensão aplicada em cada uma.

Solução: $a_1 = \frac{(4m_1 - 2m_2)}{4m_1 + m_2} g$; $T_1 = \frac{3m_1 m_2}{4m_1 + m_2} g$, m_1 é o corpo da esquerda.

f) Analise o comportamento do sistema em situações limite, nomeadamente:

i. $m_1 = m_2$

Solução: $a = 2g/5; T = 3mg/5$

ii. $m_1 \ll m_2$

Solução: $a_2 = -g; T = 0$

iii. $m_1 \gg m_2$

Solução: $a_1 = g; T = 0$

iv. Remova a massa m_1 do sistema e em alternativa considere que vai segurar a corda. Qual a intensidade da força que terá de fazer para manter o sistema em equilíbrio?

Solução: $m_2 g/2$

v. Em alternativa ao caso anterior, considere que remove a massa m_2 do sistema e vai segurar a corda. Qual a intensidade da força que terá de fazer para manter o sistema em equilíbrio? Compare com o caso anterior.

Solução: $2m_1 g$

3.8. Um partícula carregada com carga q e com velocidade $\vec{v}$ quando colocada num campo magnético $\vec{B}$ fica sujeita a uma força $\vec{F} = q\,\vec{v} \times \vec{B}$. Considere que um electrão e um protão são colocados num campo magnéctico $\vec{B} = 1\,\vec{e}_z\,\mathrm{G}$. No instante inicial as velocidades tanto do electrão como do protão são $\vec{v}_\mathrm{o} = (2500\vec{e}_x + 1300\vec{e}_z)\,\mathrm{m/s}$ e as partículas passam num ponto com coordenadas $x_\mathrm{o} = y_\mathrm{o} = z_\mathrm{o} = 0\,\mathrm{m}$.

a) Represente esquematicamente as forças que actuam no protão pelo eixo dos zz e no plano xy.

b) Qual o movimento pelo eixo dos zz?

c) Quais as características do movimento no plano xy?

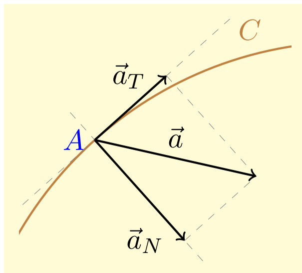
d) Responda às perguntas anteriores considerando que a partícula é um electrão. Compare o movimento do protão com o movimento do electrão.

3.9. Uma massa presa por uma corda a um ponto central é posta a girar num plano horizontal. Sabendo que a corda aguenta até uma tensão máxima T, calcule:

a) qual o valor máximo da velocidade com que a bola pode girar sem partir a corda;
Considere: comprimento da corda: $l = 20\,\mathrm{cm}$, massa da bola: $m = 50\,\mathrm{g}$, módulo da tensão: $T = 20\,\mathrm{N}$.

Resolução:

A massa desenha uma circunferência e o seu movimento faz-se com uma aceleração $\vec{a}$ que podemos decompôr em duas componentes, uma tangente à circunferência desenhada pela massa, a_T, e outra perpendicular à primeira e dirigida segundo o raio da circunferência (corda), a aceleração normal ou centrípeta, a_N:



$$\vec{a} = a_T \vec{e}_T + a_N \vec{e}_N \ .$$

Por sua vez a força de tensão que a massa exerce na corda é dirigida segundo o raio, no sentido exterior da circunferência e dada por $\vec{T} = -m\, a_N\, \vec{e}_N$. Isto é, sabendo a tensão máxima e a massa, obtemos o valor da aceleração normal, a_N.
Ora, sabemos que no movimento circular o valor da aceleração centrípeta é dada por

$$a_N = \frac{v^2}{R} \ ,$$

onde, no nosso caso $R = l$. Usando este valor na equação para a tensão, obtemos

$$v_{max} = \sqrt{\frac{T\,l}{m}} \ .$$

Substituindo valores (sem nos esquecermos de converter as unidades), obtemos o valor $v_{max} \simeq 8,9\,\mathrm{m/s}$.

---

b) a intensidade e o sentido da velocidade da bola no instante em que a corda se parte.

Discussão:

Nesse instante a massa deixa de estar sujeita à força de tensão pelo que, no plano horizontal, o movimento é uniforme, na direcção tangente à circunferência: $\vec{v} = v_{max}\vec{e}_T$ m/s

---

3.10. Considere o pêndulo cónico representado na figura 3.6. O movimento do pêndulo verifica-se no plano xy. O comprimento do fio é L e o fio faz um ângulo θ com a vertical.

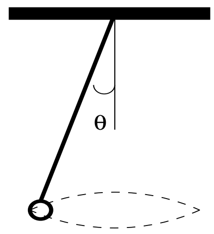


Figura 3.6: Pêndulo cónico

a) Escolha um sistema de coordenadas para estudar o movimento do pêndulo.

b) Represente as forças que actuam no pêndulo.

c) Calcule a expressão para a aceleração centrípeta do pêndulo.

d) Demonstre que o módulo da velocidade do pêndulo é dado por $v = \sqrt{g\,L\,\sin\theta\tan\theta}$.

e) Calcule a velocidade angular e o período do pêndulo.

Solução: $\omega = \sqrt{\frac{g}{L\cos\theta}}; T = 2\pi/\omega$

3.11. Uma pequena esfera de massa $m = 2\,\mathrm{g}$ é deixada cair na água sem velocidade inicial. Ao fim de algum tempo a velocidade da esfera atinge a intensidade máxima de 5 cm/s.
Na análise que se segue considere que a força de atrito é proporcional à velocidade, $\vec{F} = -b\,\vec{v}$, sendo b o coeficiente de atrito. Menospreze a força de Arquimedes.

a) Determine o coeficiente b da força de atrito.

Solução: $b = mg/v_{\max} = 2/5$

b) Determine ao fim de quanto tempo a velocidade da esfera atinge metade da intensidade máxima. Comece por demonstrar que essa intensidade depende do tempo como

$$v(t) = v_{\max}\left(1 - e^{-b/m\,t}\right) ,$$

onde $v_{\max} = mg/b$, g é a aceleração gravítica e m é a massa da esfera.

3.12. Imagine uma roda de bicicleta que gira sem deslizar sobre um plano (figura 3.7).

O ponto A, o centro da roda, desloca-se com uma velocidade $\vec{v}_A$.

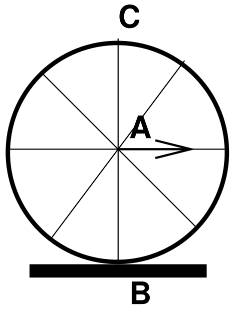


Figura 3.7: Roda de bicicleta

Qual a velocidade de qualquer ponto na extremidade da roda relativamente a A? Qual a velocidade do ponto B de contacto com o plano, relativamente ao plano? E a velocidade do ponto C na roda que é o oposto ao ponto de contacto com o plano?

3.13. Qual o valor máximo da velocidade de um carro numa curva sabendo que o coeficiente de atrito estático $\mu_{\text{est}} = 0,5$, massa do carro $m = 1500\,\text{kg}$, raio da curva $r = 35\,\text{m}$. Se o piso estiver molhado o coeficiente de atrito estático desce para $\mu = 0,187$. Qual o valor máximo da velocidade do carro em curva? Demonstre que o valor máximo da velocidade não depende da massa do carro, motivo pelo qual o valor da velocidade sugerida na sinalização das estradas não depende da massa dos carros.

Solução: $v_{max} = 13\,\text{ms}^{-1}$; com o piso molhado $v_{max} = 8\,\text{ms}^{-1}$

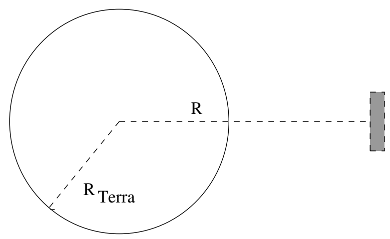
3.14. Uma bola de ferro com $m = 0,5\,\text{kg}$ está presa a uma corda de comprimento $L = 1\,\text{m}$. A corda resiste, sem partir, até uma tensão $T = 200\,\text{N}$. Faz-se girar a corda, com a bola na extremidade, inicialmente no plano horizontal e posteriormente no plano vertical.

a) Qual o valor máximo de velocidade com que a bola pode girar presa à corda, sem que haja ruptura da corda, no caso em que a rotação se dá no plano horizontal, paralelo ao chão? Represente as forças que actuam na bola e indique qual a responsável pelo movimento circular de rotação.

b) Qual o valor máximo da velocidade com que a bola pode girar presa à corda, sem que haja ruptura da corda, no caso em que a rotação se dá no plano vertical, perpendicular ao chão? Indique em que ponto da trajectória ocorre a ruptura para esse valor da velocidade de rotação. Represente as forças que actuam na bola na parte superior e inferior da trajectória.

c) Calcule, para o primeiro caso (plano horizontal), a que distância do ponto de ruptura cairá a bola, se o movimento ocorrer a uma altura $h = 1,9\,\mathrm{m}$. Considere o valor inicial da velocidade da bola igual ao valor da velocidade de ruptura. Menospreze o atrito do ar. Calcule o valor da velocidade da bola quando toca no chão.
Nota: Se não conseguiu responder às perguntas anteriores, considere que o valor inicial da velocidade da bola quando a corda se parte é $\vec{v}_\mathrm{o} = 5\vec{e}_\mathrm{x}\,\mathrm{m/s}$.

3.15. Considere a Terra uma esfera de raio $R_\mathrm{Terra} = R_\oplus$ e densidade constante. A força gravítica a que está sujeito um corpo de massa m situado num ponto no interior da Terra a uma distância r do centro da Terra depende unicamente da massa da Terra incluída numa esfera de raio r.



a) Qual a expressão para a força gravítica a que está sujeito um corpo de massa m situado num ponto no interior da Terra a uma distância r do centro da Terra?

b) Represente esquematicamente a dependência da força gravítica a que está sujeito um corpo de massa m sujeito ao campo gravitacional da Terra em função da distância r do centro da Terra. Considere no mesmo gráfico as situações $R < R_\oplus$ e $R > R_\oplus$.

c) Suponha que era possível construir um túnel circular de raio r, concêntrico com o centro da Terra, onde se pode deslocar sem atrito um robot. Qual a velocidade que deveríamos imprimir ao robot para que o seu movimento tivesse duração infinita? Dê a resposta em função de r.

d) Qual a velocidade de uma nave em órbita sabendo que r é a distância ao centro da Terra.

e) Compare o modo como nas duas situações anteriores a velocidade depende de r.

3.16. Um avião em vôo de cruzeiro prepara-se para fazer uma curva. Durante

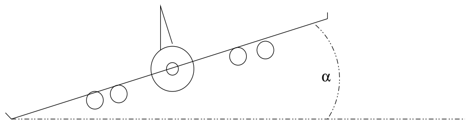


Figura 3.8: Avião a fazer uma curva

esta a manobra, representada esquematicamente na figura 3.8, o piloto terá que pôr o avião a fazer um ângulo α com a horizontal. Se o ângulo α durante a manobra de um avião puder tomar um valor máximo de 45° e o módulo da velocidade do avião se mantiver igual ao da velocidade em cruzeiro $v = 900\,{}^{\mathrm{km}}\!/\!_{\mathrm{h}}$, calcule o raio mínimo da trajectória. Considere a massa do avião $M = 10^3\,\mathrm{kg}$.
Sugestão: relacione o ângulo com as forças que actuam no avião durante a manobra.

Resolução:

Quando o avião voa na horizontal, com a sua altura estabilizada, está sujeito a uma força de sustentação vertical que compensa o seu peso. Para mudar de direcção, o avião necessita de uma aceleração centrípeta que o faça rodar na direcção pretendida. Para isso inclina-se por forma a que a componente horizontal da força de sustentação, $\vec{F}_s$, proporcione essa aceleração. No entanto a componente vertical tem ainda de compensar o seu peso. Estas condições podem escrevem-se

$$\begin{aligned} F_s \sin(\alpha) &= m\frac{v^2}{r} \\ F_s \cos(\alpha) &= mg\,, \end{aligned}$$

donde podemos tirar

$$\tan(\alpha) = \frac{v^2}{r\,g}\,.$$

Usando os valores indicados para o ângulo máximo e velocidade, obtemos o raio mínimo:

$$r = \frac{\left(900\,{}^{\mathrm{km}}\!/\!_{\mathrm{h}} \times \frac{10^3\,\mathrm{m/km}}{3600\,\mathrm{s/h}}\right)^2}{9,8\,{}^{\mathrm{m}}\!/\!_{\mathrm{s}^2}\tan(45^{\circ})} = 6\,378\,\mathrm{m}$$

Podemos ainda calcular a força de sustentação nestas condições:

$$F_s = \frac{mg}{\cos(\alpha)} = 13\,859\,\mathrm{N}$$

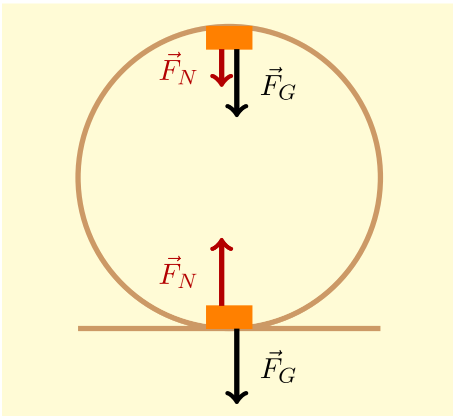
Figura 3.9: Montanha russa

3.17. Analise a figura 3.9 e tente compreender o movimento de um passageiro de um comboio numa montanha russa durante a manobra de looping.

a) Quais as forças que actuam no passageiro no ponto mais alto da trajectória?

Resolução:

No ponto mais alto da trajectória actuam a força gravítica $\vec{F}_G = m\,\vec{g}$ e a força normal, $\vec{F}_N$, ambas dirigidas para baixo.



---

b) Quais as forças que actuam no passageiro no ponto mais baixo da trajectória?

Resolução:

No ponto mais baixo da trajectória actuam a força gravítica $\vec{F}_G = m\,\vec{g}$ dirigida para baixo e a força normal dirigida para o centro da circunferência da trajectória. A força normal deve ter uma magnitude maior do que a força gravítica para assegurar uma força efectiva dirigida para o centro da circunferência.

---

c) Compare a força de reacção normal que actua no passageiro por parte do banco no ponto mais alto da trajectória com a reacção normal que actua no passageiro por parte do banco no ponto mais baixo da trajectória. Em que ponto a reacção normal pode ser nula e para que valor da velocidade do passageiro?

Resolução:

A força normal depende da velocidade, do raio da trajectória e da massa ($\vec{F}_N = m\,\vec{a} = m\,\frac{\vec{v}^2}{R}$). A força normal no ponto mais alto é mais pequena do que no ponto mais baixo uma vez que a velocidade é baixa e a força é dirigida na mesma direcção que a força gravítica. Neste ponto $\vec{F}_N$ pode ser nula. Nesta situação a força efectiva é dada por:

$$F_{ef} = F_G + F_N = m\,g$$

Como a sabemos que a aceleração centrípeta é dada por

$$a_N = \frac{v^2}{R}$$

segue-se que a velocidade é dada por:

$$v = \sqrt{g\,R}$$

---

d) Qual deverá ser a velocidade no ponto mais alto para que o passageiro e o comboio consigam fazer o looping completo sem acidentes?

Resolução:

Para poder fazer o looping completo sem acidentes, a força centrípeta no ponto mais alto não pode ser inferior à força gravítica. Logo:

$$\begin{aligned} m\,g &= m\,\frac{v_{min}^2}{R} \\ \Leftrightarrow v_{min} &= \sqrt{g\,R} \end{aligned}$$

---

e) Qual seria a trajectória do passageiro se o comboio chegasse ao ponto mais alto com velocidade nula?

Resolução:

O passageiro caia.

3.18. Suponha que, como Engenheiro e por estar devidamente preparado, se candidatou ao seguinte Projecto:
Construção de um tapete rolante que permita o transporte de bagagens dos passageiros dos aviões desde o nível onde são descarregadas até ao nível onde podem ser recolhidas. Com o tapete rolante as bagagens serão elevadas 3 metros.

a) Qual poderá ser o comprimento mínimo do tapete rolante para que as bagagens subam o tapete sem deslizar?
Considere que o atrito estático máximo entre as bagagens e o tapete rolante é tipicamente $\mu = 0,57$. Para resolver o problema represente esquematicamente as forças que actuam numa mala e determine o ângulo α máximo que o tapete pode fazer com o chão.

b) Considere que, por qualquer razão (por exemplo estética ou financeira) a empresa que o contratou lhe impõe um limite máximo para o comprimento do tapete rolante e que é inferior ao que determinou na alínea anterior.
Naturalmente não vai perder a oportunidade de mostrar que consegue apresentar uma proposta alternativa e ainda mais competitiva. Qual é essa proposta, i.e quais deverão ser os novos parâmetros do sistema? Pode mudar o que quiser mas justifique bem a resposta, de um modo convincente, pois esperam-se 73 propostas e só será escolhida uma, talvez a sua.

3.19. Analise a figura 3.10. Calcule o ângulo β com que se deve aplicar uma força num trenó para o fazer subir uma encosta, de modo a que a força aplicada seja a mínima. Considere o coeficiente de atrito

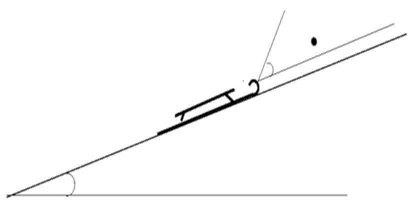


Figura 3.10: Trenó

dinâmico trenó-gelo $\mu = 0,5$ e que o movimento do trenó faz-se com velocidade constante.

Solução: $\tan\beta = \mu$