Problemas de Mecânica Vectorial

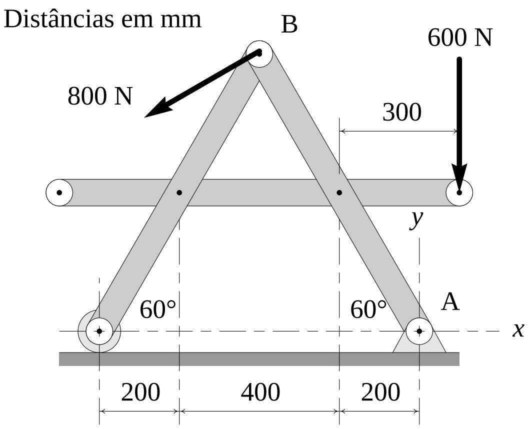
Jaime Villate
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
villate@fe.up.pt

22 de Fevereiro de 2001

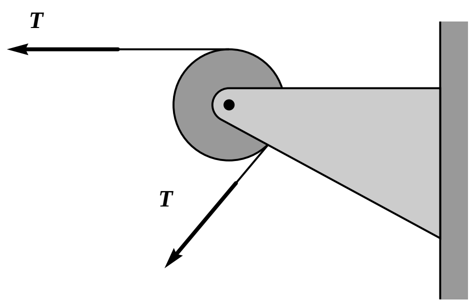
Esta colectânea de problemas é usada nas aulas práticas das disciplinas de Mecânica Pura e Aplicada (licenciatura em Engenharia Química) e Física Experimental (licenciatura em Engenharia Informática). Em cada aula prática são resolvidos alguns problemas do respectivo capítulo; os restantes problemas são para trabalho de casa. Nos livros indicados na bibliografia encontram-se centenas de problemas adicionais.

1 Sistemas de forças em duas dimensões

1-1 Calcule a resultante das duas forças que se mostram na figura; escreva a resultante em notação vectorial usando o sistema de eixos indicado, e calcule o seu módulo e o ângulo que faz com a horizontal. Determine graficamente a que distância de A, na barra AB, actua a força resultante.

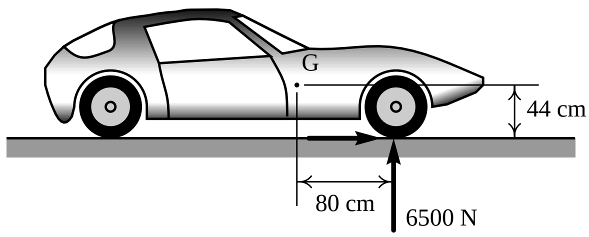


1-2 A tensão nos dois lados do fio é igual a 300 N; meça o ângulo que faz o fio com a horizontal e determine o módulo e direcção da força resultante $\boldsymbol{R}$ exercida pela tensão nos dois lados do fio, sobre a roldana.



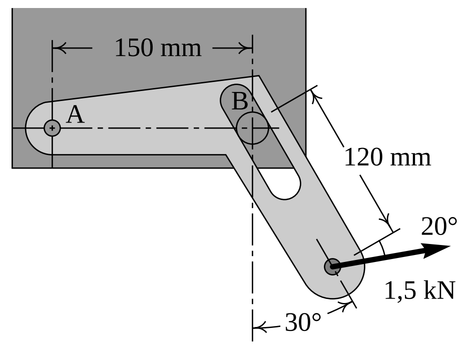
1-3 No problema anterior, que ângulo deveria formar com a horizontal o fio na parte de baixo da roldana, para que a resultante das forças do fio sobre a roldana tivesse módulo de 500 N?

1-4 Sobre os dois pneus da frente de um automóvel com tracção frontal actua uma reacção normal total de 6500 N, e uma força de atrito. Sabe-se que a resultante de estas forças faz um ângulo de $15°$ com a vertical. Calcule a força-binário resultante das forças nos pneus da frente, no centro de gravidade G (admita que as forças combinadas sobre os dois pneus da frente podem ser consideradas a actuarem no mesmo plano do centro de gravidade, formando um sistema de forças em duas dimensões).

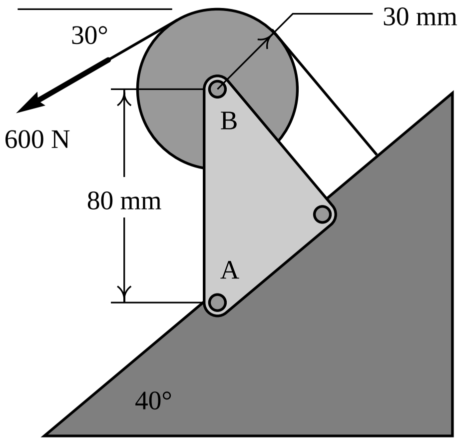


1-5 No problema anterior, calcule o modulo que deverá ter a reacção normal total nos dois pneus de trás, para que a resultante das reacções normais em todos os pneus passe pelo centro de gravidade G.

1-6 Calcule o momento da força de 1,5 kN em relação ao ponto A.

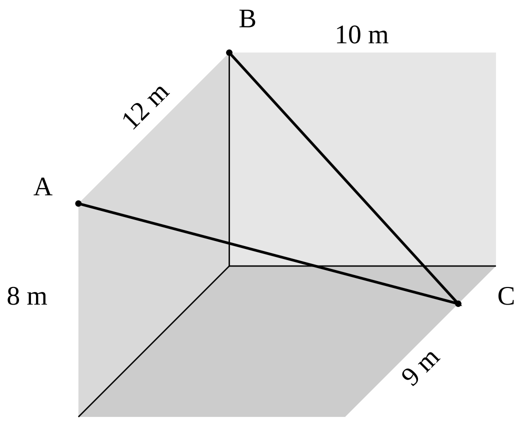


1-7 Calcule o momento M_A da força de 600 N, em relação ao ponto A. Para facilitar o cálculo, comece por substituir a força por um sistema força-binário equivalente no ponto B.

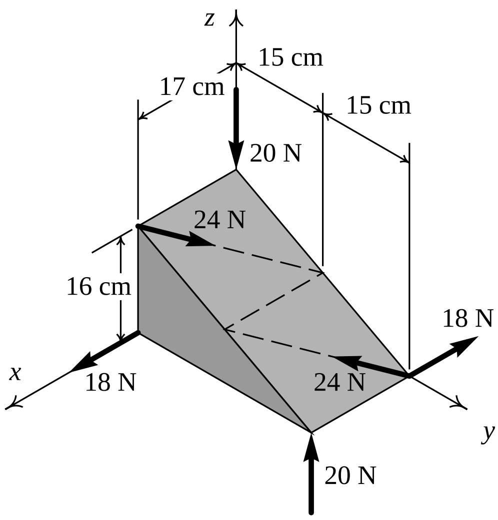

30°
30 mm
600 N
B
80 mm
A
40°

2 Sistemas de forças em três dimensões

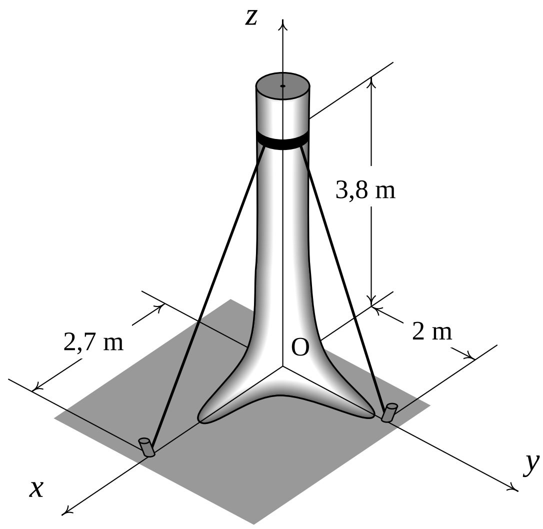
2-1 As tensões nas cordas AC e BC são 95 N e 110 N respectivamente. Calcule a força resultante que as duas cordas exercem sobre o ponto C.



2-2 Calcule o binário resultante das 6 forças na figura.

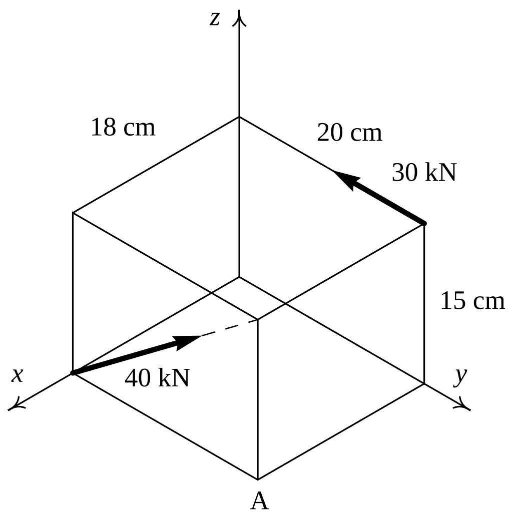


2-3 O tronco de uma árvore é mantido na sua posição vertical com ajuda de dois cabos que se encontram ligados ao tronco por meio de um aro metálico de 90 cm de diâmetro, a 3,8 m de altura. Sabendo que a tensão no cabo mais comprido é 600 N, e no cabo mais curto é de 500 N, calcule o momento, em relação ao ponto O, da força resultante produzida pelos dois cabos sobre o tronco.



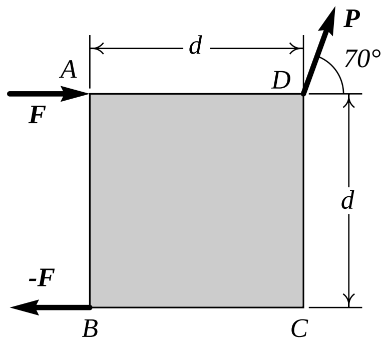
2-4 No problema anterior escreva em forma vectorial o sistema força-binário equivalente, da força resultante produzida pelos dois cabos, no ponto O.

2-5 Substituia as duas forças na figura, por uma única força $\boldsymbol{F}$ no ponto A e um binário $\boldsymbol{M}$.

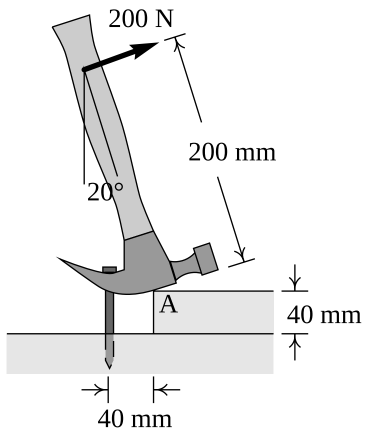


3 Equilíbrio

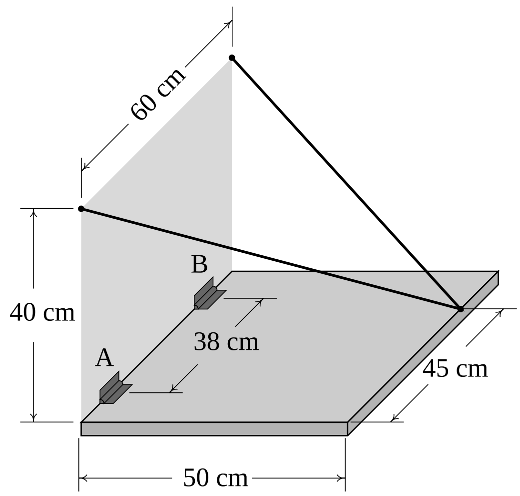
3-1 Três forças actuam nos vértices de um quadrado de lado $d = 12,5$ cm. (a) Sabendo que $P = 350$ N e $F = 160$ N, substituia as três forças por uma única força actuando ao longo do lado AD. (b) Que força deverá ser aplicada sobre o segmento BC para que o sistema esteja em equilíbrio? (nos dois casos indique o módulo, direcção e ponto de aplicação da força)



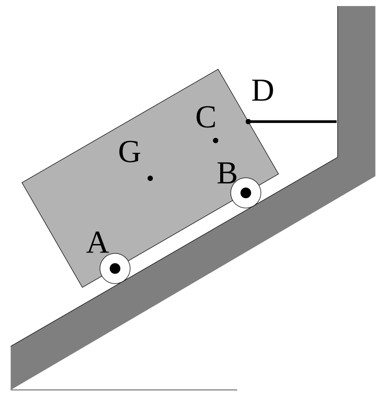
3-2 O martelo na figura apoia-se sobre um bloco de madeira de 40 mm de espessura, para facilitar a extracção do prego. Sabendo que é necessária uma força de 200 N (perpendicular ao martelo) para extrair o prego, calcule a força sobre o prego e a reacção no ponto A. Admita que o peso do martelo pode ser desprezado e em A existe suficiente atrito para evitar que o martelo escorregue.



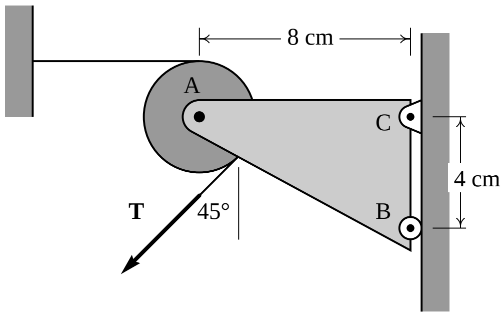
3-3 A placa rectangular uniforme de 4 kg está apoiada em duas dobradiças A e B e é mantida na posição horizontal por meio do cabo, o qual passa por um gancho, sem atrito de forma que a tensão nos dois lados do cabo é igual. Calcule a tensão no cabo e as reacções nas dobradiças. Admita que a dobradiça em B não suporta nenhuma força axial.



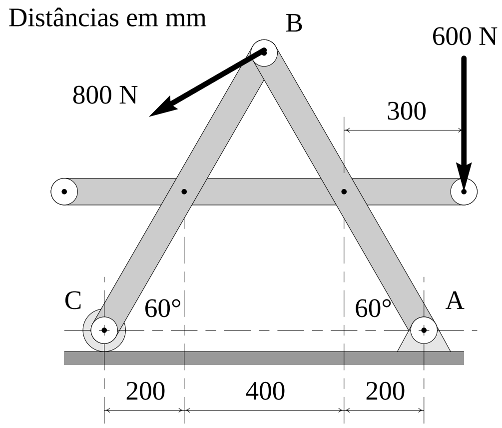
3-4 Um carrinho de 750 gramas, com centro de gravidade no ponto G, está em equilíbrio sobre um plano inclinado por meio de um fio horizontal ligado no ponto D. A escala do desenho e 1:10; calcule a tensão no fio (meça no desenho as distâncias e ângulos que precisar).



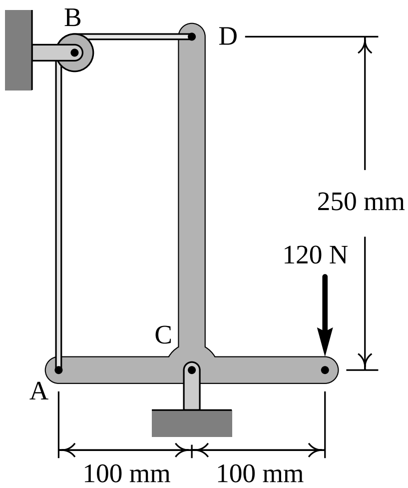
3-5 O sistema que se mostra na figura encontra-se em equilíbrio estático. Sabendo que a tensão no cabo é $T = 90$ N e o raio da roldana é 2 cm, calcule as reacções nos apoios B e C.



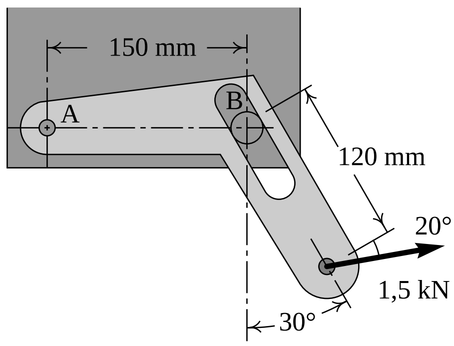
3-6 No sistema da figura, calcule as forças de contacto nos pontos A e C.



3-7 Desprezando o atrito na roldana e o peso das barras, determine a tensão no cabo ABD e a reacção no apoio C.

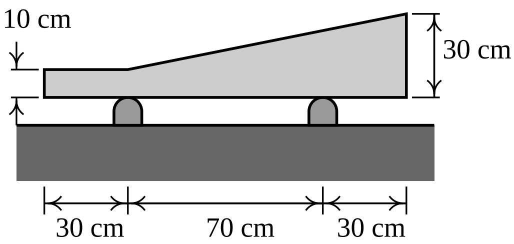


3-8 Determine as forças que os eixos A e B exercem sobre a peça metálica. Admita que não existe atrito em nenhum dos dois eixos e, consequentemente, as forças exercidas pelos eixos passam pelo centro de cada eixo.

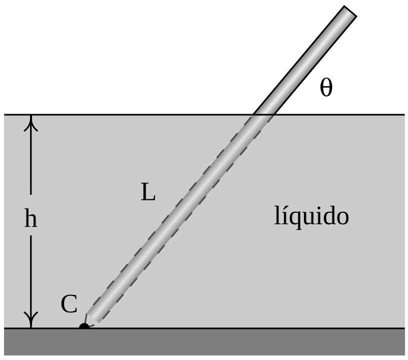


4 Forças distribuídas. Hidrostática

4-1 Uma viga de 115 kg está pousada em dois apoios. Calcule as reacções nos apoios.

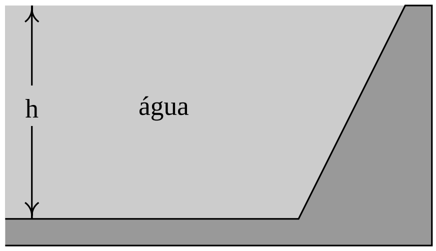


4-2 O pau uniforme de comprimento L, com densidade ρ_1 está apoiado no ponto C, no fundo de um tanque com um líquido de densidade ρ_2 e profundidade h. Encontre o ângulo θ em função de ρ_2, ρ_1, L e h, no caso em que $\rho_1 < \rho_2$ e $h < L$.

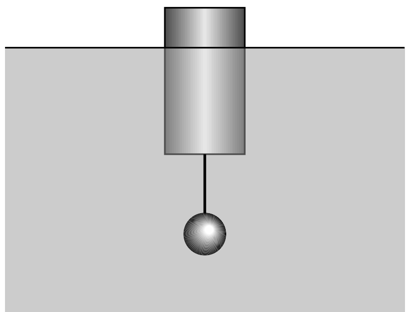


4-3 Um cubo de madeira, com 45 cm de aresta, flutua num tanque onde existe uma camada de 15 cm de óleo, por cima de água salgada. Sabendo que as densidades do óleo, da madeira e da água são respectivamente 900, 800 e 1030 kg/m^3, calcule a altura h do cubo que sai por fora da superfície do óleo.

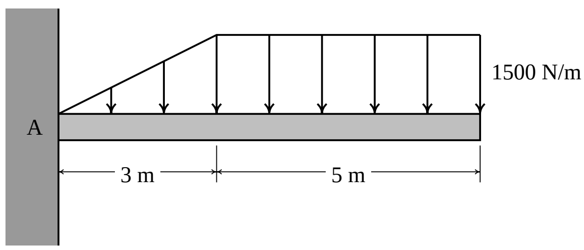
4-4 Calcule a força resultante (e o ponto de aplicação) da água sobre a parede inclinada do lado direito do tanque que tem um comprimento de 15 m na direcção perpendicular ao papel. A altura h é de 3 m e a densidade da água é 1000 kg/m^3 (o desenho está feito a escala para permitir medir as dimensões da parede inclinada).



4-5 Um cilindro oco, com 15 cm de raio e 55 cm de altura, ligado por um cabo fino a uma esfera de chumbo, flutua em água pura. As paredes do cilindro estão construídas com lâmina de aço de 47 kg por metro quadrado. Calcule o massa que deverá ter a esfera de chumbo para que o cilindro fique com 15 cm por cima da superfície da água.

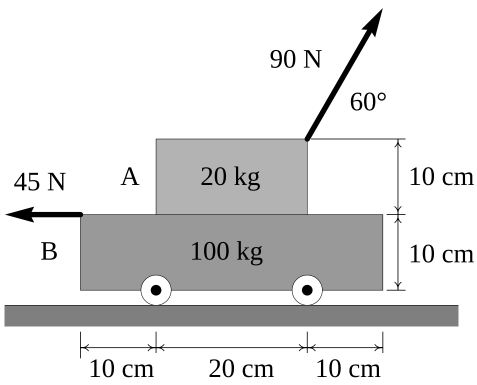


4-6 Calcule as reacções sobre a viga no ponto A.

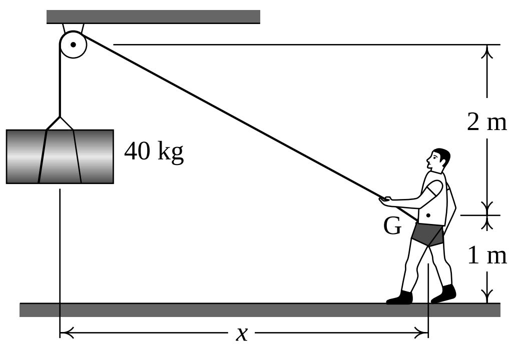


5 Forças de atrito

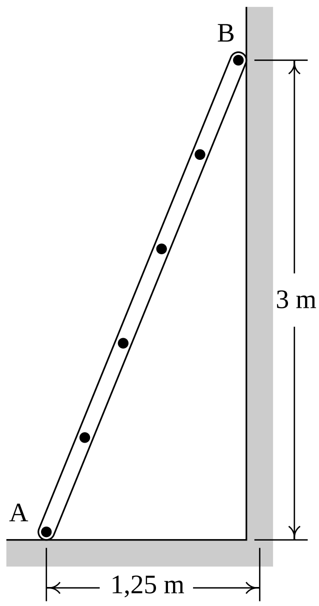
5-1 Os dois blocos na figura são homogéneos e encontram-se em equilíbrio estático. O coeficiente de atrito estático entre os blocos é igual a $0{,}45$ e o atrito nos eixos das rodas é desprezável. Calcule todas as forças externas que actuam sobre o bloco B, indicando claramente o seu ponto de aplicação.



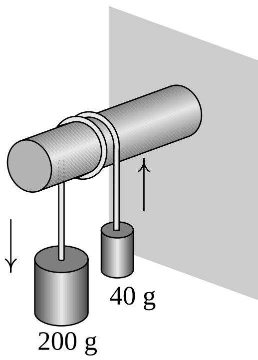
5-2 Um homem de 68 kg, com centro de gravidade no ponto *G*, segura um barril de 40 kg. Calcule a distância máxima *x* à qual poderá estar o homem sem escorregar, se o coeficiente de atrito estático entre os seus sapatos e o chão for $0,55$.



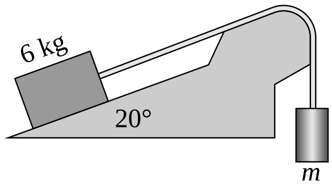
5-3 Uma escada de 3,25 m repousa encostada a uma parede como se representa. Supondo que não existe atrito em B, determine o menor valor do coeficiente de atrito estático em A para o qual o equilíbrio é possível. (Admita que o centro de gravidade da escada encontra-se a metade do seu comprimento.)



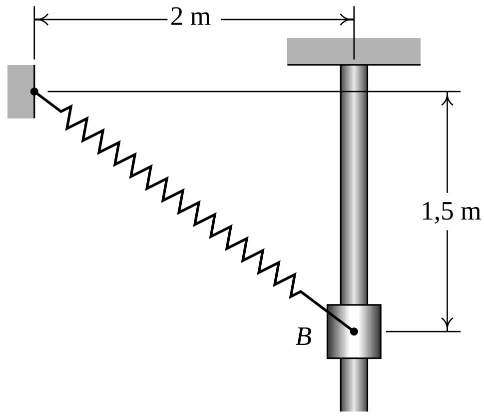
5-4 Com um pequeno empurrão inicial, os dois cilindros começam a deslocarem-se como se indica na figura, com movimento uniforme. Calcule o coeficiente de atrito cinético entre a corda e o suporte cilíndrico fixo.



5-5 O coeficiente de atrito estático da superfície do plano inclinado com o bloco e com a corda é igual a 0,35. Calcule o intervalo de valores possíveis da massa m do cilindro, que fazem com que o sistema permaneça em equilíbrio.



5-6 O coeficiente de atrito estático entre a barra vertical e o cilindro B é $0,4$. A mola tem constante elástica igual a 30 N/m e comprimento normal de $1,5$ m. Determine o intervalo de valores da massa do cilindro, para os quais o equilíbrio é possível na posição indicada na figura.



6 Posição, velocidade e aceleração escalares

6-1 O movimento de uma partícula está definido pela relação $x = 2t^3 - 6t^2 + 10$, onde x é medido em metros e t em segundos. Determine o tempo, posição e aceleração quando $v = 0$.

6-2 A aceleração de uma partícula é $a = -4\mathrm{m/s}^2$. Se $v = +24$ m/s e $x = 0$ quando $t = 0$, determine a velocidade, posição, e distância total percorrida quando $t = 8$ s.

6-3 A aceleração de uma partícula está definida pela relação $a = 9 - 3t^2$, onde t é medido em segundos, e a em cm/s^2. A partícula parte do repouso no ponto $x = 5$ cm, em $t = 0$. Calcule (*a*) o tempo quando a velocidade é novamente nula, (*b*) a posição e a velocidade quando $t = 4$ s, (*c*) a distância percorrida pela partícula desde $t = 0$ até $t = 4$ s.

6-4 A aceleração de uma partícula está definida pela relação $a = -k/x^2$. A partícula parte do repouso em $x = 800$ mm, e em $x = 500$ mm a sua velocidade é 6 m/s. Calcule (*a*) o valor de k, (*b*) a velocidade da partícula em $x = 250$ mm.

6-5 A aceleração de uma partícula oscilante está definida pela relação $a = -kx$. Calcule (*a*) o valor de k para que a velocidade seja $v = 15$ m/s quando $x = 0$ e a posição seja $x = 3$ m quando $v = 0$, (*b*) a velocidade escalar da partícula quando $x = 2$ m.

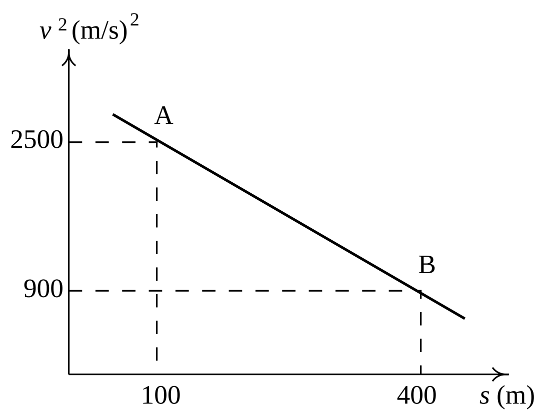
6-6 A aceleração de uma partícula está definida pela relação $a = -4x(1 + kx^2)$, onde a é medida em m/s^2 e x em metros. Sabendo que $v = 17$ m/s quando $x = 0$, determine a velocidade quando $x = 4$ m, para os seguintes valores da constante k: (*a*) $k = 0$, (*b*) $k = 0,015$, (*c*) $k = -0,015$.

6-7 A aceleração de uma partícula em função da velocidade é $a = -0,4v$, onde a é medida em mm/s^2 e v em mm/s. Sabendo que em $t = 0$ a velocidade é 30 mm/s, calcule (*a*) a distância que a partícula percorrerá antes de parar, (*b*) o tempo necessário para a partícula parar, (*c*) o tempo necessário para que a velocidade diminuia ate 1 por cento do seu valor inicial.

6-8 A aceleração de uma partícula em queda livre na atmosfera verifica a equação $a = g(1 - k^2v^2)$. Sabendo que a partícula parte do repouso em $t = 0$, (*a*) demonstre que a velocidade num instante posterior t é $v = (1/k)\tanh(kgt)$, (*b*) escreva uma equação que defina a velocidade da partícula depois de ter caído uma distância x. (*c*) Porquê é chamada a velocidade $v_t = 1/k$ velocidade terminal.

6-9 Uma pedra é lançada verticalmente para cima desde uma ponte que está 40 m por cima da superfície da água. Sabendo que a pedra cai na água 4 segundos depois de ser lançada, calcule (*a*) a velocidade com que a pedra foi lançada, (*b*) a velocidade com que a pedra entra na água.

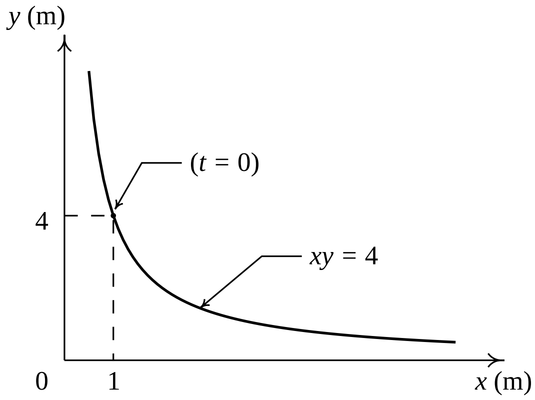
6-10 O quadrado da velocidade escalar v de um objecto diminui linearmente em função da distância ao longo da trajectória, s, tal como se mostra no gráfico. Calcule o deslocamento Δs durante os dois últimos segundos antes de o objecto chegar até o ponto B.



7 Posição, velocidade e aceleração vectoriais

7-1 O movimento oscilatório de uma partícula está definido pelo vector posição $\boldsymbol{r} = 8\sin(\pi t)\,\boldsymbol{i} + 2\cos(2\pi t)\,\boldsymbol{j}$, em que r está em metros e t em segundos. Calcule a velocidade e aceleração quando $t = 1$ s.

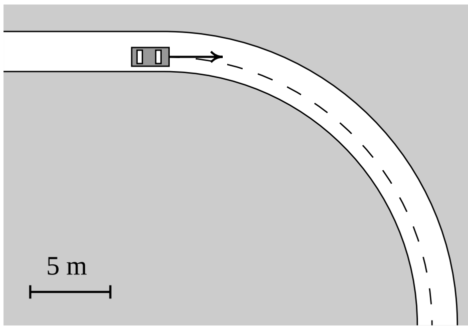
7-2 O movimento de uma partícula está definido pelas equações $x = (t+1)^2$ e $y = 4(t+1)^{-2}$, onde x e y são medidas em metros e t em segundos. Demonstre que a trajectória da partícula é a parte da hipérbole representada no gráfico, e determine a velocidade e aceleração da partícula quando (*a*) $t = 0$, (*b*) $t = \frac{1}{2}$ s.



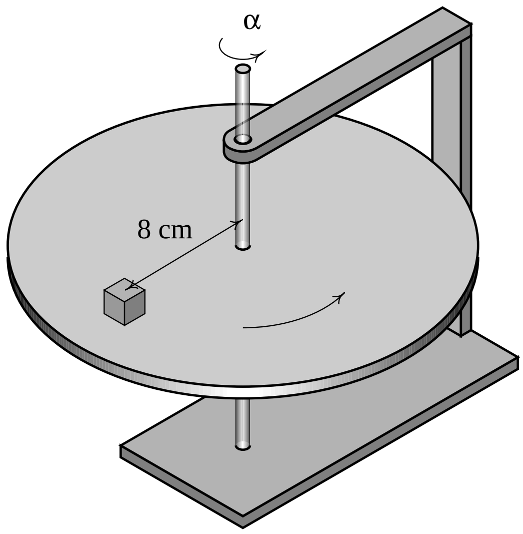
7-3 A posição de uma partícula em função do tempo é dada por $\boldsymbol{r} = (4 + 14t - 4t^2)\,\boldsymbol{i} + (7t + 1)\,\boldsymbol{j}$, onde o módulo de $\boldsymbol{r}$ é medido em metros, e t em segundos. Calcule o raio de curvatura da trajectória da partícula em $t = 1$ s.

7-4 O movimento bidimensional de uma partícula define-se pelas equações $r = 2b\cos(\omega t)$ e $\theta = \omega t$, onde b e ω são constantes. (*a*) Calcule a velocidade e aceleração da partícula em qualquer instante; (*b*) calcule o raio de curvatura da sua trajectória. Que pode concluir acerca do movimento da partícula?

7-5 Um motorista entra numa curva a 72 km/h, e trava, fazendo com que a velocidade diminuia a uma taxa constante de $1,25\,\mathrm{m/s^2}$. Faça uma estimativa do raio de curvatura da curva no desenho e calcule o módulo da aceleração total do automóvel 4 segundos depois de ter iniciado a travagem.



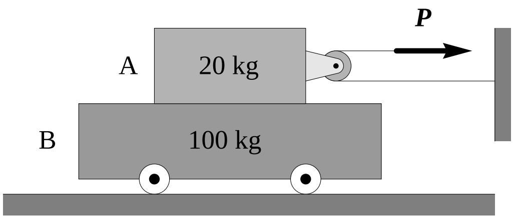
7-6 Para medir o coeficiente de atrito estático entre um bloco e um disco, fez-se rodar o disco com uma aceleração angular $\alpha = 5\ \mathrm{rad/s^2}$ constante. O disco parte do repouso em $t = 0$ e no instante $t = 0,82\ \mathrm{s}$ o bloco começa a derrapar sobre o disco. Calcule o coeficiente de atrito estático.



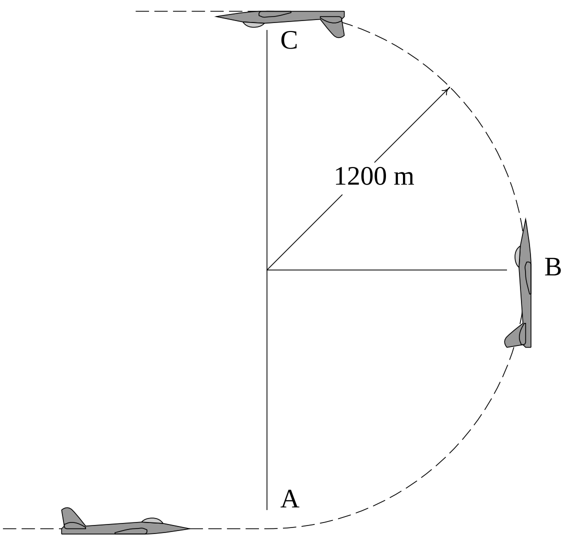
7-7 O movimento tridimensional de uma partícula está definido pelas expressões $R = A$, $\theta = 2\pi t$, e $z = A\sin^2 \pi t$. Calcule os módulos da velocidade e da aceleração em qualquer instante t.

8 Dinâmica de partículas

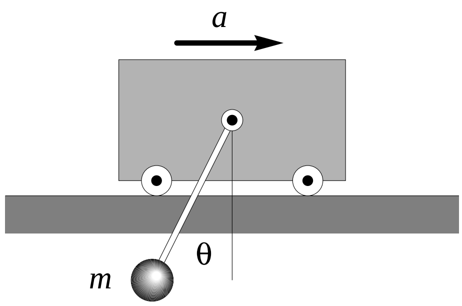
8-1 Sabendo que os coeficientes de atrito estático e cinético entre o bloco A e o carrinho B são praticamente idênticos e iguais a $0{,}5$, calcule as acelerações de A e B produzidas pela força externa P nos casos: (a) $P = 60$ N (b) $P = 55$ N.



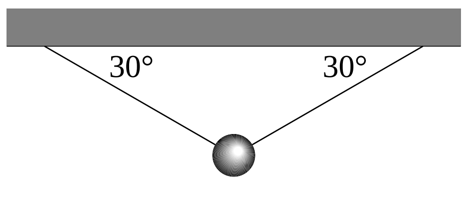
8-2 Um piloto com 54 kg conduz um avião de treino e executa uma meia volta vertical com 1200 m de raio, de tal modo que a velocidade do avião decresce a uma razão constante. Sabendo que as forças exercidas sobre o piloto pela base do assento do avião nos pontos A e C são 1680 N e 350 N, respectivamente, determine a força da base do assento sobre o piloto quando o avião se encontra no ponto B.



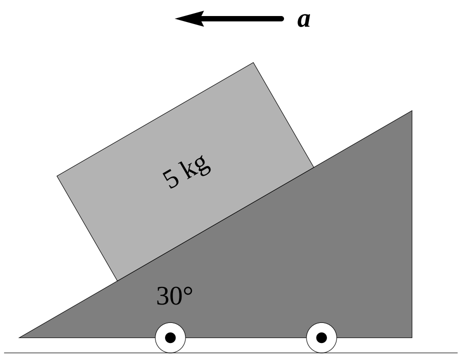
8-3 A esfera de massa m está ligada ao carrinho por meio de uma barra que pode oscilar livremente. Quando o carrinho é acelerado com uma aceleração constante $a = 8,5 \text{ m/s}^2$, a barra roda formando um ângulo θ com a vertical, o qual permanece constante enquanto o carrinho acelera. Calcule o ângulo θ (admita que a massa da barra é desprezável comparada com a massa da esfera).



8-4 Uma esfera de 0,8 kg encontra-se inicialmente em repouso, pendurada por dois fios. O fio da esquerda é cortado subitamente. Calcule a tensão no fio do lado direito e a aceleração escalar da esfera no instante em que o fio acabou de ser cortado (admita que a massa dos fios é nula; tenha em conta que a velocidade inicial é nula, mas a sua derivada não!).

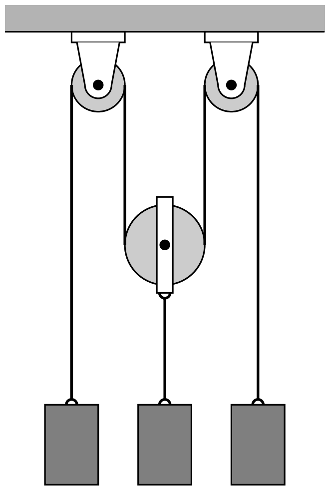


8-5 Sabendo que o coeficiente de atrito estático entre o bloco e o plano inclinado é $0{,}30$, calcule a aceleração máxima (para a esquerda) que poderá ter o sistema sem o bloco escorregar sobre o plano.



8-6 Um veículo espacial de 240 kg com velocidade $\boldsymbol{v}_0 = (500\,\mathrm{m/s})\,\boldsymbol{k}$ passa pela origem e explode no instante $t = 0$. O veículo separa-se em três fragmentos A, B e C, com massas de 40 kg, 80 kg e 120 kg. Em $t = 3$ s os fragmentos B e C são observados nas posições (375, 825, $2\,085$) e (-300, -600, 1200), respectivamente (as distâncias dadas estão todas em metros). Calcule a posição do fragmento A em $t = 3$ s. Admita que o efeito da gravidade, na região onde explode o veículo, é desprezável durante os 3 segundos.

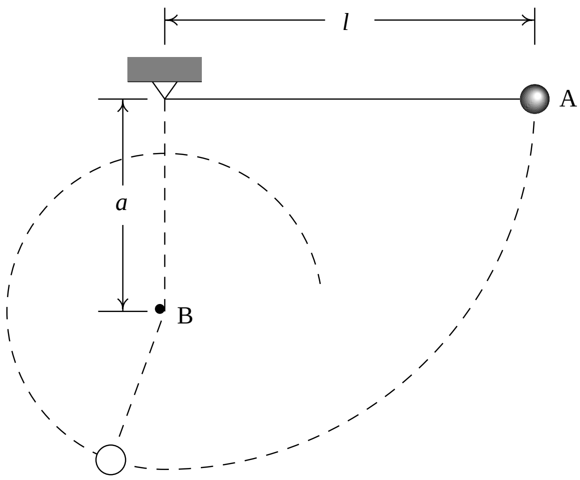
8-7 As massas dos três blocos são $m_\mathrm{A} = 2$ kg, $m_\mathrm{B} = 4$ kg e $m_\mathrm{C} = 3$ kg. As massas das roldanas e das cordas são desprezáveis e não existe atrito nos eixos das roldanas. Num instante inicial, os blocos estão em repouso, sobre uma tábua que é retirada rapidamente, deixando os blocos livres tal como mostra a figura. Calcule a aceleração de cada bloco.



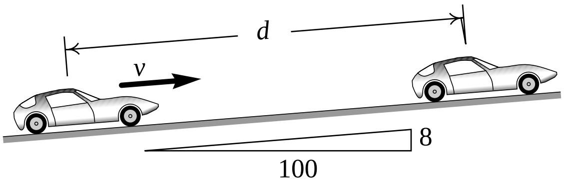
9 Trabalho e energia

9-1 Calcule a velocidade máxima teórica que pode alcançar um automóvel, partindo do repouso e acelerando ao longo de 100 m, sabendo que o coeficiente de atrito estático entre os pneus e a estrada é $0,80$, e 60 por cento do peso do carro distribui-se nas rodas da frente e 40 por cento nas rodas traseiras. Considere os três casos: (*a*) tracção traseira, (*b*) tracção à frente, (*c*) tracção nas quatro rodas.

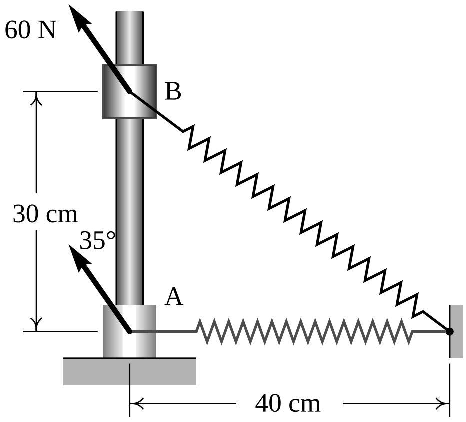
9-2 O pêndulo de comprimento l parte do repouso em A e roda 90° antes da corda tocar um prego fixo no ponto B. Calcule o valor mínimo de a para o qual o pêndulo descreve um círculo com centro em B.



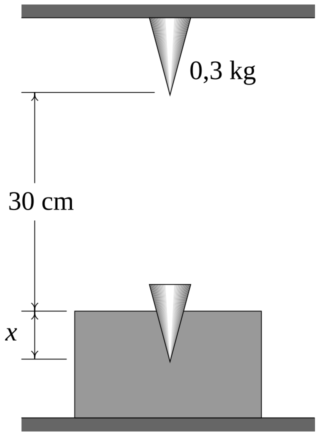
9-3 Um automóvel sobe uma rampa com declive do 8 por cento; num instante em que a velocidade é $v = 90$ km/h, o condutor aplica bruscamente os travões, fazendo com que as quatro rodas derrapem sobre a superfície da rampa. Calcule a distância d até a paragem, sabendo que o coeficiente de atrito cinético entre os pneus e a estrada é igual a 0,6.



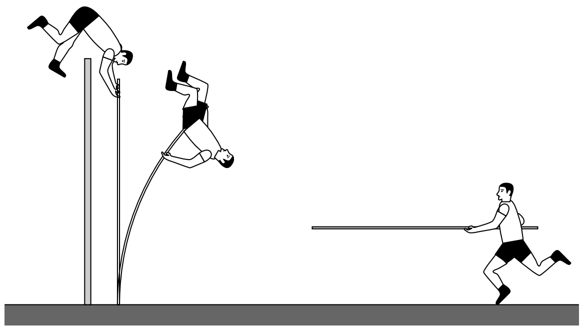
9-4 Um cilindro com massa de 80 g desliza a partir do repouso, no ponto A, até ao ponto B, devido a uma força externa constante de 60 N; o comprimento normal da mola é 30 cm e a sua constante elástica é 6 N/cm.. Admitindo que não existe atrito com a barra fixa, calcule a velocidade com que chega o bloco ao ponto B.



9-5 Para determinar a rigidez de um material, coloca-se um bloco do material 30 cm por baixo de um cone metálico de 0,3 kg; o cone deixa-se cair livremente, a partir do repouso, penetrando uma distância x no bloco até parar. Sabe-se que quando o cone penetra no bloco a força do bloco sobre o cone é kx^2 onde k é uma constante que depende da resistência à penetração do material; se o cone penetrar uma distância $x = 5$ cm, calcule o valor da constante k.

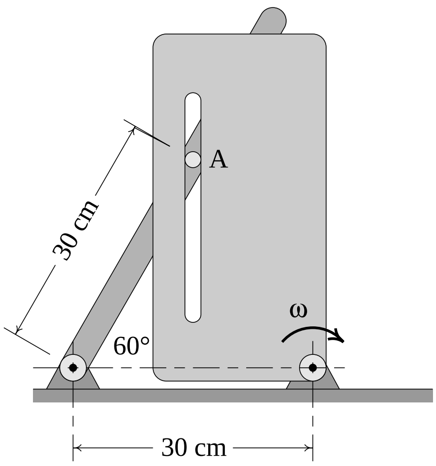


9-6 Num salto com vara, um atleta de 70 kg usa uma vara de 4,5 kg com 4,9 m de comprimento. O atleta alcança uma velocidade v antes de iniciar o salto e no instante em que ultrapassa o obstáculo de 5,5 m de altura a sua velocidade e a velocidade da barra são práticamente nulas. O centro de gravidade do atleta e da vara encontram-se a 1,1 m de altura quando o atleta corre com velocidade v. Calcule o valor mínimo de v necessário para o salto.

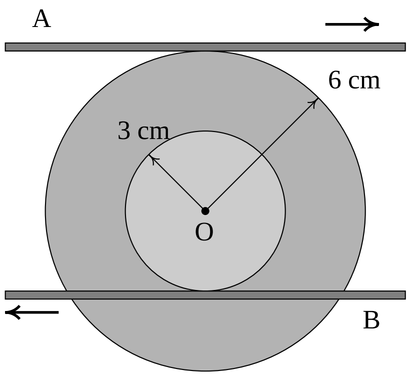


10 Cinemática dos corpos rígidos

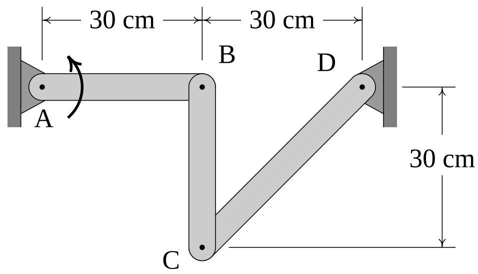
10-1 A lâmina rectangular roda com velocidade angular $\omega = 3,5$ rad/s; no instante representado na figura, a calha onde desliza o eixo A da barra está na posição vertical, e a barra faz um ângulo de 60° com a horizontal. Calcule a velocidade angular da barra nesse instante.

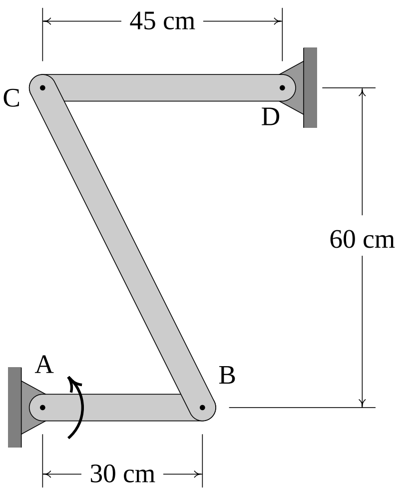


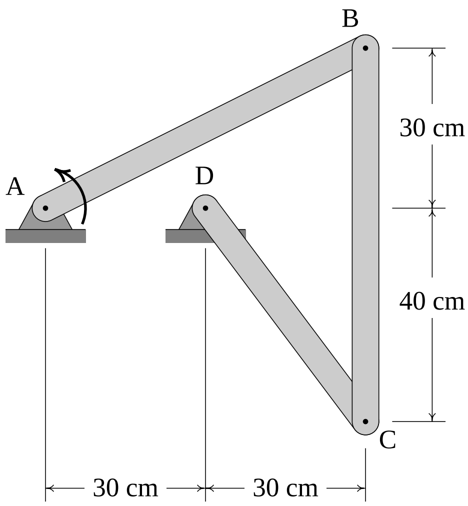
10-2 As duas rodas estão ligadas entre si e rodam sem derrapar sobre as lâminas A e B. Num determinado instante, a lâmina A desloca-se para a direita, com velocidade de 10 m/s, e a lâmina B desloca-se para a esquerda com velocidade igual a 35 m/s. Calcule a velocidade do centro O nesse mesmo instante.



10-3 Em cada um dos três sistemas nas figuras que se seguem, a barra AB roda no sentido anti-horário, com velocidade angular constante de 4 radianos por segundo. Calcule em cada caso as velocidades angulares e as acelerações angulares das barras BC e CD.

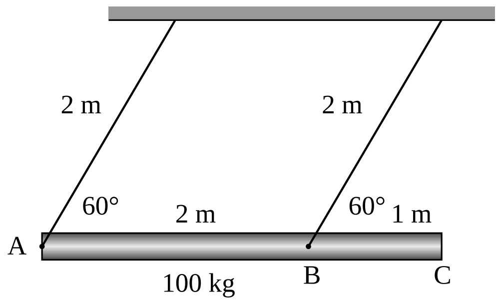




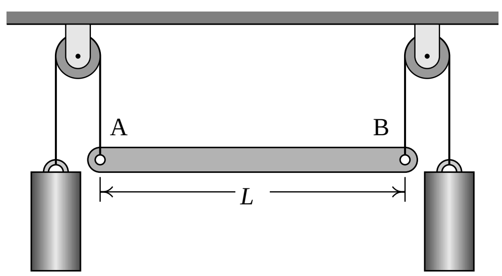


11 Dinâmica dos corpos rígidos

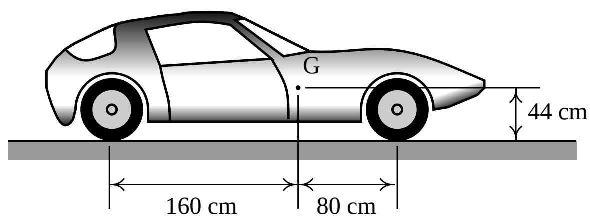
11-1 Um tronco uniforme de 100 kg está pendurado por meio de dois cabos do mesmo comprimento. O tronco larga-se a partir do repouso na posição representada na figura; calcule a tensão e a aceleração angular dos cabos no preciso instante em que o tronco é largado a partir do repouso.



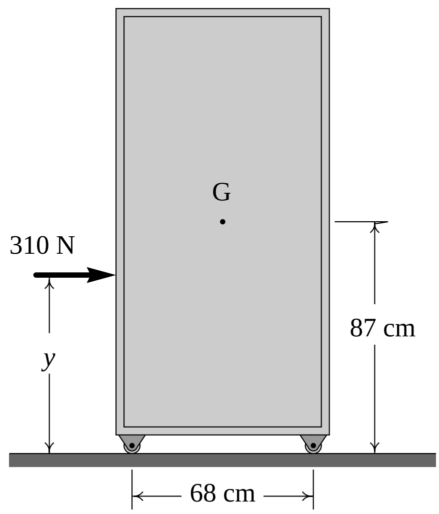
11-2 A barra AB com peso P é mantida em equilíbrio através de dois contrapesos cada um com peso $0{,}5\,P$. Se o cabo em B for cortado, determine a aceleração nesse instante (a) do ponto A, (b) do ponto B. (Admita que o raio de giração da barra, em relação a um eixo perpendicular no centro de gravidade é $k = L/\sqrt{12}$.)



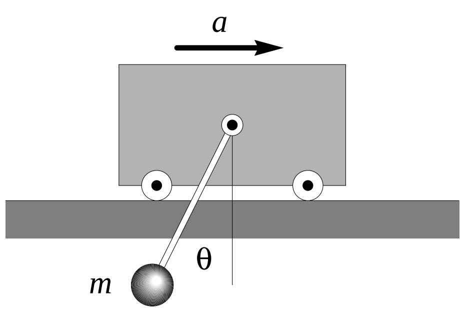
11-3 Um automóvel com tracção frontal acelera uniformemente desde o repouso atingindo uma velocidade de 100 km/h em 11 segundos. Se o peso do automóvel for 9750 N, calcule as reacções normais e a força de atrito sobre cada pneu. ¿Qual será o valor do coeficiente de atrito estático mínimo, entre os pneus e a estrada?



11-4 Um armário de 45 kg, montado sobre rodas que o deixam andar livremente sobre o chão, é acelerado por uma força externa de 310 N. (*a*) Calcule os valores máximo e mínimo que pode ter a altura y para o armário acelerar sem as rodas perderem o contacto com o chão. (*b*) Calcule a aceleração do armário, quando y estiver entre os valores mínimo e máximo calculados na alínea anterior.



11-5 A esfera de massa m está ligada ao carrinho por meio de uma barra com a mesma massa m e comprimento l, que pode oscilar livremente. Quando o carrinho é acelerado com uma aceleração constante $a = 8,5\ \mathrm{m/s^2}$, a barra roda formando um ângulo θ com a vertical. Calcule o ângulo θ. Compare o resultado com o resultado do problema 8.3.


a
θ
m

Bibliografia

1 J. L. Meriam e L. G. Kraige, *Engineering Mechanics* , volume I: *Statics* e volume II: *Dynamics* , quarta edição (versão SI), John Willey & Sons, 1998.

2 F. P. Beer e E.R. Johnston, *Mecânica Vectorial para Engenheiros*. Dois volumes:*Estática* e *Dinâmica*, McGraw-Hill, sexta edição, 1998.

Respostas

1-1 $\boldsymbol{R} = -692,8\,\boldsymbol{i} - 1000\,\boldsymbol{j}$ N, $d_A = 527$ mm.

1-2 $R = 543,8$ N, para a esquerda e $25°$ por baixo da horizontal.

1-3 $67,1°$

1-4 $R = 6729$ N, para a frente e a $15°$ da vertical; $M = 5966$ N·m

1-5 3250 N (é preciso medir a distância entre os pneus e o centro de gravidade).

1-6 $M_A = 208,22$ N·m

1-7 $M_A = 59,57$ N·m

2-1 Num sistema com x para a frente, y para a direita e z para cima, $\boldsymbol{R} = 29,53\,\boldsymbol{i} - 144,43\,\boldsymbol{j} + 115,46\,\boldsymbol{k}$ (N)

2-2 $\boldsymbol{M} = 6\,\boldsymbol{i} - 4,76\,\boldsymbol{j} + 2,86\,\boldsymbol{k}$ (N·m)

2-3 $\boldsymbol{M_O} = -925,9\,\boldsymbol{i} + 1394,0\,\boldsymbol{j}$ (N·m)

2-4 $\boldsymbol{R} = 305,7\,\boldsymbol{i} + 188,8\,\boldsymbol{j} - 979,3\,\boldsymbol{k}$ (N), $\boldsymbol{M_O} = -925,9\,\boldsymbol{i} + 1394,0\,\boldsymbol{j}$ (N·m)

2-5 $\boldsymbol{F} = 2\,\boldsymbol{j} + 24\,\boldsymbol{k}$ (kN), $\boldsymbol{M}_A = -300\,\boldsymbol{i} + 5400\,\boldsymbol{k}$ (N·m)

3-1 (*a*) 350 N, para a direita e 70° por cima da horizontal, a $6,08$ cm à esquerda do ponto D (*b*) 350 N, para a esquerda e 70° por baixo da horizontal, $10,63$ cm à esquerda do ponto C.

3-2 O prego exerce uma força de 1000 N, para baixo. $\boldsymbol{F}_A = -187,9\,\boldsymbol{i} + 931,6\,\boldsymbol{j}$ (N)

3-3 $T = 17,5$ N; num sistema com x sobre AB, y para a direita e z para cima, $\boldsymbol{R}_A = -6,07\,\boldsymbol{i} + 10.56\,\boldsymbol{j} + 17,76\,\boldsymbol{k}$ (N), $\boldsymbol{R}_B = 13,93\,\boldsymbol{j} + 3,94\,\boldsymbol{k}$ (N)

3-4 $4,24$ N

3-5 $\boldsymbol{R}_B = -127,3\,\boldsymbol{i}$ (N), $\boldsymbol{R}_C = 280,9\,\boldsymbol{i} + 63,4\,\boldsymbol{j}$ (N)

3-6 $\boldsymbol{R}_A = 692,8\,\boldsymbol{i} + 275\,\boldsymbol{j}$ (N), $\boldsymbol{R}_C = 725\,\boldsymbol{k}$ (N)

3-7 $T = 80N$, $\boldsymbol{R}_C = 80\,\boldsymbol{i} + 40\,\boldsymbol{j}$ (N)

3-8 $\boldsymbol{R}_A = 927\,\boldsymbol{i} + 1128\,\boldsymbol{j}$ (N), $\boldsymbol{R}_B = -2404\,\boldsymbol{i} - 1388\,\boldsymbol{j}$ (N)

4-1 342 N no apoio do lado esquerdo e 785 N no apoio do lado direito

4-2 $\theta = \sin^{-1}\left[\dfrac{h}{L}\sqrt{\dfrac{\rho_2}{\rho_1}}\right]$

4-3 $8,16$ cm

4-4 $\boldsymbol{R} = 661,5\,\boldsymbol{i} - 330,75\,\boldsymbol{j}$ (kN), actua a um metro de altura.

4-5 $2,73$ kg

4-6 No ponto A actua uma força de $9,75$ kN e um binário de $38,25$ kN·m em sentido anti-horário

5-1 Nas rodas actuam forças verticais, para cima, com módulos 565,5 N (na roda da esquerda) e 532,6 N. O peso é igual a 980 N, e actua no centro do bloco. A reacção normal com o bloco A é 118,1 N, para baixo e 2,8 cm à esquerda do centro. A força de atrito com o bloco A é de 45 N, para a direita e em algum ponto da superfície do bloco; finalmente temos a força de 45 N indicada na figura.

5-2 $98,4$ cm

5-3 $0,2083$

5-4 $0,1708$

5-5 $51,4$ g $\le m \le 6,17$ kg

5-6 $0,857$ kg $\le m \le 2,82$ kg

6-1 $t = 0$, $x = 10$ m, $a = -12$ m/s^2, $t = 2$, $x = 2$ m, $a = 12$ m/s^2.

6-2 $v = -8$ m/s, $x = 64$ m, 80 m.

6-3 (*a*) 3 s (*b*) 13 cm, -28 cm/s (*c*) $32,5$ cm.

6-4 (*a*) 24 m^3/s^2 (*b*) $11,49$ m/s.

6-5 (*a*) 25 s^{-2} (*b*) $11,18$ m/s.

6-6 (*a*) 15 m/s (*b*) $14,74$ m/s (*c*) $15,25$ m/s.

6-7 (*a*) 75 mm (*b*) infinito (*c*) $11,51$ s.

6-8 (*b*) $v = \dfrac{1}{k}\sqrt{1 - e^{-2k^2gx}}$

(*c*) $v < \dfrac{1}{k}$, $\lim\limits_{x\longrightarrow\infty} v = \dfrac{1}{k}$

6-9 (*a*) $9,62$ m/s, para cima (*b*) $29,6$ m/s, para baixo.

6-10 $65,33$ m

7-1 $\boldsymbol{v} = -25,1\,\boldsymbol{i}$ (m/s), $\boldsymbol{a} = -79,0\,\boldsymbol{j}$ (m/s^2)

7-2 (*a*) $\boldsymbol{v} = 2\,\boldsymbol{i} - 8\,\boldsymbol{j}$ (m/s), $\boldsymbol{a} = 2\,\boldsymbol{i} + 24\,\boldsymbol{j}$ (m/s^2), (*b*) $\boldsymbol{v} = 3\,\boldsymbol{i} - 2,37\,\boldsymbol{j}$ (m/s), $\boldsymbol{a} = 2\,\boldsymbol{i} + 4,7\,\boldsymbol{j}$ (m/s^2)

7-3 $14,0$ m

7-4 (*a*) $= 2b\omega[-\sin(\omega t)\boldsymbol{e}_r + \cos(\omega t)\boldsymbol{e}_\theta]$
$\boldsymbol{a} = -4b\omega^2[\cos(\omega t)\boldsymbol{e}_r + \sin(\omega t)\boldsymbol{e}_\theta]$
(*b*) $\rho = b$; é um movimento circular uniforme.

7-5 aproximadamente 14 (m/s^2)

7-6 $0,143$

7-7 $v = \pi A\sqrt{4 + \sin^2 2\pi t}$
$a = 2\pi^2 A\sqrt{4 + \cos^2 2\pi t}$

8-1 (*a*) $a_A = 1,095$ m/s^2, $a_B = 0,981$ m/s^2
(*b*) $a_A = a_B = 0,917$ m/s^2

8-2 1010 N

8-3 40,9°

8-4 $T = 3,92$ N, $a = 8,49$ m/s^2

8-5 10,41 m/s^2

8-6 (150, 150, 1230)

8-7 $\boldsymbol{a}_A = \boldsymbol{a}_B = 0,892\,\boldsymbol{j}$ (m/s^2), $\boldsymbol{a}_C = -2,675\,\boldsymbol{j}$ (m/s^2),

9-1 (*a*) 90 km/h (*b*) 111 km/h (*c*) 143 km/h

9-2 $3l/5$

9-3 47,0 m

9-4 11,74 m/s

9-5 24,7 kN/m^2

9-6 9,09 m/s

10-1 3,5 rad/s

10-2 $-20\,\boldsymbol{i}$ (m/s)

10-3 (*a*) $\omega_{BC} = \omega_{CD} = -4$ rad/s
$\alpha_{BC} = -32$ rad/s^2, $\alpha_{CD} = 0$
(*b*) $\omega_{BC} = 0$, $\omega_{CD} = -8/3$ rad/s
$\alpha_{BC} = \alpha_{CD} = -40/3$ rad/s^2
(*c*) $\omega_{BC} = 6,29$ rad/s, $\omega_{CD} = 8,00$ rad/s
$\alpha_{BC} = -18,87$ rad/s^2, $\alpha_{CD} = -9,02$ rad/s^2

11-1 $T_A = 212,4$ M, $T_B = 637,2$ N, $\alpha_A = \alpha_B = 2,45$ rad/s^2

11-2 (*a*) $\boldsymbol{a}_A = -19,62\,\boldsymbol{j}$ (m/s^2)
(*b*) $\boldsymbol{a}_B = 9,81\,\boldsymbol{j}$ (m/s^2)

11-3 Pneus da frente: $R_n = 3020$ N, $F_a = 777,4$ N
Pneus trazeiros: $R_n = 1855$ N, $F_a = 477,5$ N
o coeficiente de atrito estático mínimo é 0,257

11-4 (*a*) Altura mínima 38,6 cm, máxima 135,4 cm
(*b*) $\boldsymbol{a} = 6,98\,\boldsymbol{i}$ (m/s^2)

11-5 Obtem-se o mesmo resultado do problema 8-3 (40,9°), independentemente do valor do raio da esfera.