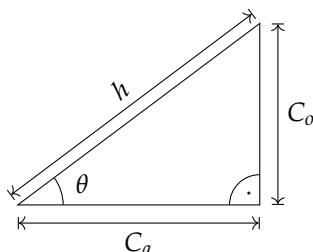


# LISTA 2, DINÂMICA

## FORMULÁRIO

### Relações Trigonométricas



$$\begin{aligned}\sin \theta &= C_o/h & \cos \theta &= C_a/h \\ \tan \theta &= C_o/C_a & h^2 &= C_o^2 + C_a^2\end{aligned}$$

### Cinemática unidimensional

Fórmulas para aceleração constante:

$$\begin{aligned}v &= v_0 + at & (1) \\ x - x_0 &= v_0 t + at^2/2 & (2) \\ v^2 &= v_0^2 + 2a\Delta x & (3) \\ x - x_0 &= (v_0 + v)t/2 & (4) \\ x - x_0 &= vt - at^2/2 & (5)\end{aligned}$$

### Vetores

Dado um referencial com dois eixos perpendiculares  $x$  e  $y$  e dois vetores unitários  $\hat{i}$  e  $\hat{j}$ , cujas direções são as dos eixos coor-

denados, temos:

$$a_x = a \cos \theta \quad (6)$$

$$a_y = a \sin \theta \quad (7)$$

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad (8)$$

$$\tan \theta = a_y/a_x \quad (9)$$

onde  $\theta$  é o ângulo entre o vetor e o semi-eixo  $x$  positivo. Se

$$\vec{a} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j} \quad (10)$$

$$\vec{b} = b_x \hat{i} + b_y \hat{j} \quad (11)$$

então

$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b} \quad (12)$$

$$= (a_x + b_x)\hat{i} + (a_y + b_y)\hat{j} \quad (13)$$

### Leis de Newton

1. Quando a força resultante que age sobre um corpo é zero, o corpo permanece em repouso ou se move em linha reta com velocidade escalar constante.

2. A força resultante  $\vec{F}_R$  que age sobre um corpo de massa  $m$  está relacionada à aceleração  $\vec{a}$  do corpo através de:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (14)$$

3. Se dois corpos  $A$  e  $B$  interagem de forma que  $A$  exerça uma força  $\vec{F}_{A \rightarrow B}$  sobre  $B$ , então  $B$  exerce uma força  $\vec{F}_{B \rightarrow A}$  sobre  $A$  de forma que

$$\vec{F}_{A \rightarrow B} = -\vec{F}_{B \rightarrow A} \quad (15)$$

### Forças

Peso:

$$P = mg \quad (16)$$

Força de atrito:

$$f_{\text{at}}^c = \mu_c N \quad (17)$$

$$f_{\text{at}}^{e, \text{Máx}} = \mu_e N \quad (18)$$

Força de arrasto:

$$F_a = C_p A v^2/2 \quad (19)$$

Aceleração e força centrípeta:

$$a_c = v^2/r \quad (20)$$

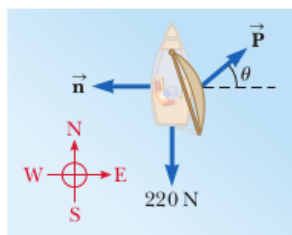
$$F_c = mv^2/r \quad (21)$$

Força de uma mola:

$$F_e = -k\Delta x \quad (22)$$

SISTEMAS SIMPLES EM EQUILÍBRIO

1. Sob a ação de três forças, uma partícula se move com velocidade constante  $\vec{v} = 3,0 \text{ m/s} \hat{i} - 4,0 \text{ m/s} \hat{j}$ . Uma das forças é  $\vec{F}_1 = 2,0 \text{ N} \hat{i} - 6,0 \text{ N} \hat{j}$  e outra  $\vec{F}_2 = 12,0 \text{ N} \hat{j} + 2,3 \text{ N} \hat{k}$ . Determine a terceira força que age sobre a partícula. [R.:  $\vec{F}_3 = -2 \text{ N} \hat{i} - 6 \text{ N} \hat{j} - 2,3 \text{ N} \hat{k}$ ]
2. A figura abaixo mostra um barco que viaja para o norte, com velocidade constante. Para o valor de velocidade em questão, a força de arrasto da água sobre o casco é de 285 N. Se sobre a vela temos uma força de 774 N.



Nessas condições, temos que o ângulo  $\theta$  e o módulo da força  $\vec{n}$  exercida lateralmente sobre o barco pela quilha são, respectivamente

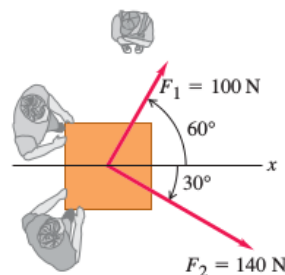
- A.  $21,6^\circ$ , 719,6 N
- B.  $21,6^\circ$ , 726,3 N
- C.  $17,3^\circ$ , 306,5 N
- D.  $68,4^\circ$ , 719,6 N
- E.  $20,2^\circ$ , 726,3 N



SISTEMAS SIMPLES FORA DO EQUILÍBRIO

3. Três forças agem sobre um objeto, sendo elas  $\vec{F}_1 = (-2,00 \hat{i} + 2,00 \hat{j}) \text{ N}$ ,  $\vec{F}_2 = (5,00 \hat{i} - 3,00 \hat{j}) \text{ N}$  e  $\vec{F}_3 = 45,0 \text{ N} \hat{i}$ . A aceleração experimentada pelo objeto tem módulo  $3,75 \text{ m/s}^2$ . Determine a massa do objeto. [R.:  $m = 12,8 \text{ kg}$ .]
4. Dois adultos e uma criança desejam empurrar uma mesa com rodas no sentido positivo do eixo  $x$  mostrado na figura. Os dois adultos empurram a mesa com forças  $F_1 = 100 \text{ N}$  e  $F_2 = 140 \text{ N}$ , sendo que a primeira faz um ângulo  $\theta_1 = 60^\circ$  com o eixo  $x$  e a segunda um ângulo  $\theta_2 = 30^\circ$ .

- (a) Determine o módulo e a direção da menor força que a criança deve fazer para que a mesa se desloque na direção desejada. [R.:  $\vec{F} = 16,6 \text{ N} \hat{j}$ .]
- (b) Quando a mesa se desloca na direção desejada, com a criança exercendo a força mínima necessária, a aceleração ao longo do eixo  $x$  é de  $2,0 \text{ m/s}^2$ . Qual é a massa da mesa? [R.:  $m = 85,6 \text{ kg}$ .]



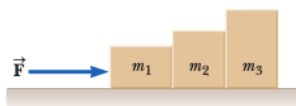
5. Três astronautas impulsionados por mochilas a jato empurram e guiam um asteroide de 120,0 kg em direção a um módulo de análise, exercendo forças  $F_1 = 32 \text{ N}$ ,  $F_2 = 55 \text{ N}$  e  $F_3 = 41 \text{ N}$ . A força  $F_2$  é na direção positiva do eixo  $x$ , enquanto  $F_1$  e  $F_3$  fazem ângulos  $\theta_1 = 30^\circ$  e  $\theta_3 = 60^\circ$  acima e abaixo do eixo  $x$ , respectivamente. Determine:
  - (a) A aceleração do asteroide em termos dos vetores unitários. [R.:  $\vec{a} = 0,86 \text{ m/s}^2 \hat{i} - 0,16 \text{ m/s}^2 \hat{j}$ .]
  - (b) O módulo da aceleração. [R.:  $a = 0,88 \text{ m/s}^2$ .]
  - (c) O ângulo que ela faz com o eixo  $x$ . [R.:  $\theta = -10,7^\circ$ .]



6. Um corpo de massa desconhecida está sujeito a um conjunto de três forças que atuam sobre ele, causando uma aceleração dada por  $\vec{a} = (6,426 \text{ m/s}^2) \hat{i} + (3,872 \text{ m/s}^2) \hat{j}$ . Se as forças são  $\vec{F}_1 = (1,4 \text{ N}) \hat{i} + (-0,4 \text{ N}) \hat{j}$ ,  $\vec{F}_2 = (6,0 \text{ N}) \hat{i} + (6,6 \text{ N}) \hat{j}$ , e  $\vec{F}_3 = (22,8 \text{ N}) \hat{i} + (12,0 \text{ N}) \hat{j}$ , então a massa do corpo é de
  - A. 6,6 kg.
  - B. 4,7 kg.
  - C. 22,1 kg.
  - D. 3,5 kg.
  - E. 8,0 kg.

TERCEIRA LEI DE NEWTON

7. **Discursiva:** Em uma colisão frontal entre um carro compacto de 1 000 kg e outro grande de 2 500 kg, qual está sujeito à maior força, ou as forças são as mesmas? Qual sofre a maior aceleração? Através dessas respostas, como podemos explicar que os passageiros do carro menor têm mais chances de se ferir que os do carro maior?
8. Uma moça de 40,0 kg e um trenó de 8,4 kg estão inicialmente em repouso sobre a superfície sem atrito de um lago congelado, separados por uma distância de 15,0 m, mas unidos por uma corda de massa desprezível. A moça exerce uma força horizontal constante de 5,2 N sobre a corda.
- (a) Quais são as acelerações do trenó e da moça? [R.:  $a_m = 0,13 \text{ m/s}^2$ ,  $0,62 \text{ m/s}^2$ .]
- (b) A que distância da posição inicial da moça eles se tocam? *Resolva utilizando cinemática.* [R.: 2,6 m.]
9. Na figura abaixo, uma força horizontal de 39 N é aplicada a um conjunto de três blocos que podem se mover sem atrito por uma superfície plana. As massas dos blocos são de  $m_1 = 1 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 9 \text{ kg}$ , e  $m_3 = 8 \text{ kg}$ , respectivamente.



O módulo da força que o bloco 1 exerce sobre o bloco 2 é de

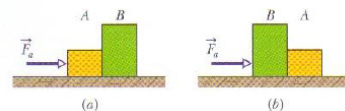
- A. 17,3 N.  
B. 19,5 N.  
C. 36,8 N.  
D. 39,0 N.  
E. 39,0 N.



10. Na figura (a) abaixo, uma força horizontal constante  $\vec{F}_a$  é aplicada ao bloco A, que empurra o bloco B com uma força de 20 N dirigida horizontalmente para a direita. Na figura (b), a mesma força  $\vec{F}_a$  é aplicada ao bloco B; desta

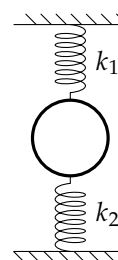
vez, o bloco B empurra o bloco A com uma força de 10 N dirigida horizontalmente para a esquerda. Os blocos têm uma massa total de 12 kg. Quais são

- (a) O módulo da aceleração? [R.:  $2,5 \text{ m/s}^2$ .]  
(b) O módulo da força  $\vec{F}_a$ ? [R.: 30 N.]



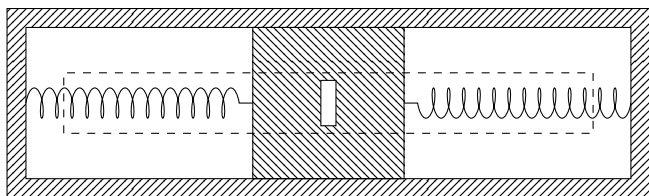
FORÇA PESO E FORÇA ELÁSTICA

11. Um anel de aço com massa de 45 kg deve ser suspenso como mostrado na figura abaixo. Quando o anel está em equilíbrio, a mola superior deve ter uma distensão de 10 cm, enquanto a mola inferior deve ter uma compressão, também de 10 cm. Nesse caso, qual deve ser o valor da soma  $k_1 + k_2$  das constantes das molas? [R.:  $k_1 + k_2 = 4410 \text{ N/m}$ .]



12. Você deseja fabricar um acelerômetro simples para medir acelerações laterais em um carro de montanha russa. Sua ideia está representada na figura abaixo e consiste em utilizar um pequeno cilindro metálico que pode deslizar sem atrito dentro de um tubo, sendo que o cilindro está ligado a duas molas ancoradas nas tampas nas extremidades do tubo. Um corte na lateral do tubo forma uma janela que permite comparar a posição do centro do cilindro a uma escala marcada na superfície externa do tubo. A largura total da janela é de 20 cm, o que permite que o cilindro se desloque 10 cm para cada lado, em relação à posição de equilíbrio. As molas têm constante  $k = 10 \text{ N/m}$ . Qual deve ser a massa do cilindro para

que o acelerômetro seja capaz de aferir acelerações de  $3g$  para cada lado? [R.:  $m = 68\text{ g}$ ]



### FORÇA NORMAL

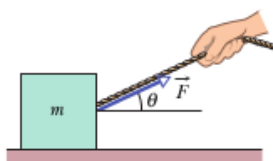
13. **Discursiva:** Se tomarmos uma balança digital — do tipo que comumente é utilizada em cozinhas —, e a acelerarmos para cima, verificaremos uma leitura diferente de zero mesmo que não haja nada sobre ela. Se a acelerarmos para baixo, verificaremos uma leitura menor que zero. Por quê?

14. **Discursiva:** Ao saltarmos de um trampolim em uma piscina, sentimos uma sensação de “frio na barriga”. Por quê? Às vezes isso acontece quando estamos nos deslocando em um veículo como um carro, motocicleta, bicicleta, ou mesmo em um avião. Identifique as condições para que isso aconteça nesse caso.

15. Na figura abaixo, um bloco de massa  $m = 5,00\text{ kg}$  é puxado através de uma corda que exerce uma força  $F = 12,0\text{ N}$  com um ângulo  $\theta = 25,0^\circ$ .

(a) Qual é a magnitude da aceleração do bloco? [R.:  $a = 2,18\text{ m/s}^2$ .]

(b) Suponha que força passe a aumentar gradualmente, mantendo constante o ângulo em relação à horizontal. Qual é o valor da aceleração horizontal do bloco quando ele está na iminência de ser levantado? [R.:  $a = 21\text{ m/s}^2$ .]



### TENSÃO

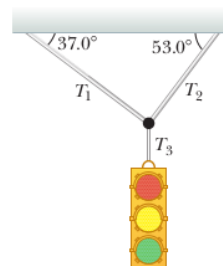
16. **Discursiva:** Uma caixa possui alças em duas laterais, uma oposta à outra. Uma sala tem outras duas alças em paredes opostas. Dois segmentos de corda são amarrados nas alças da caixa e passam pelas duas alças da parede, de forma que a caixa possa ser suspensa puxando as cordas. É possível tensionar as cordas o suficiente para que fiquem completamente horizontais? Faça um diagrama de corpo livre para a caixa e explique seu raciocínio.

17. O semáforo da figura abaixo está preso a dois cabos que fazem ângulos de  $37,0^\circ$  e  $53,0^\circ$  com a haste a qual estão ligados. Se a tensão  $T_2$  no cabo da direita é de  $97,4\text{ N}$ , quais são

(a) A tensão  $T_1$  no cabo à esquerda? [R.:  $73,4\text{ N}$ .]

(b) A massa do semáforo? [R.:  $12,4\text{ kg}$ .]

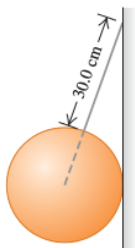
Considere que a massa dos cabos é desprezível.



18. Dois blocos estão pendurados por cordas como mostra a figura abaixo. O ângulo entre cada corda diagonal e a horizontal é de  $45^\circ$  e a corda número 2 está disposta horizontalmente. Se as massas dos blocos são de  $250\text{ g}$  cada, qual é a tensão em cada uma das cordas? Considere que a massa dos cabos é desprezível. [R.:  $T_1 = 3,46\text{ N}$ ,  $T_2 = 2,45\text{ N}$ ,  $T_3 = 3,46\text{ N}$ .]

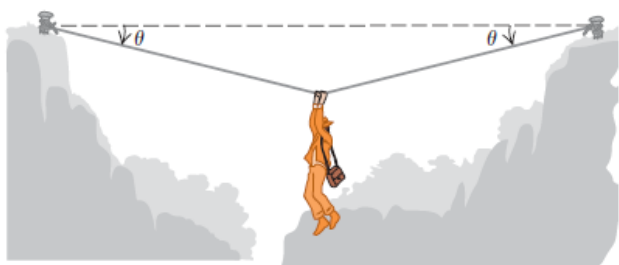


19. Uma bola sólida e uniforme de 36 kg e diâmetro de 27 cm está presa a um suporte vertical livre de atrito por um fio de 30,0 cm e massa desprezível, conforme mostrado na figura abaixo. Qual é a força que a bola exerce sobre a parede quando está em repouso?

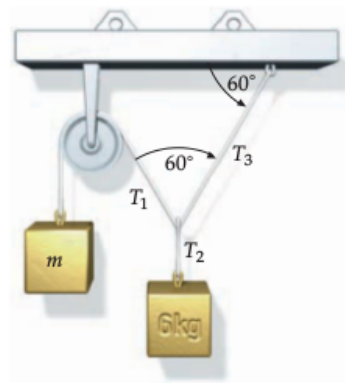


20. Indiana Jones precisa atravessar um abismo utilizando uma corda, de acordo com a figura abaixo. A corda se romperá se a tensão exceder  $2,5 \times 10^4$  N; A massa de nosso herói é de 90 kg e ele está exatamente no meio da travessia (o que implica que as tensões nos segmentos esquerdo e direito da corda têm o mesmo módulo).

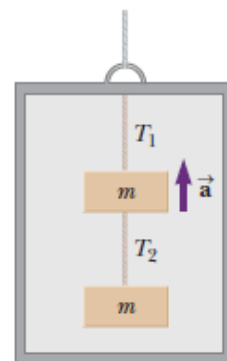
- (a) Se o ângulo  $\theta$  é de  $10^\circ$ , encontre o módulo da tensão na corda. [R.: 2539,6 N.]
- (b) Se a corda for puxada através de uma de suas extremidades, aumentando a tensão a que ela está sujeita, o ângulo de inclinação dos segmentos diminuirá. Supondo que Indiana Jones esteja parado no meio da travessia, qual será o ângulo mínimo que os segmentos de corda farão com a horizontal no momento em que a corda estiver prestes a se romper? [R.:  $1,0^\circ$ .]



21. Na figura abaixo, a massa do bloco mais baixo é de 6,0 kg e os ângulos indicados são de  $60,0^\circ$ . Sabendo que o sistema está em equilíbrio, encontre as tensões  $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$ , e a massa  $m$ . [R.:  $T_1 = 33,9$  N,  $T_2 = 58,8$  N,  $T_3 = T_1$ .]



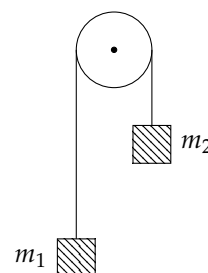
22. Dois blocos de massa  $m = 3,5$  kg estão pendurados no teto de um elevador, conforme mostra a figura abaixo. Se o elevador se move com uma aceleração de  $1,6 \text{ m/s}^2$  para cima, encontre as tensões  $T_1$  e  $T_2$  nas cordas. [R.:  $T_1 = 79,8$  N,  $T_2 = 39,9$  N.]



23. A figura abaixo mostra um sistema conhecido como *Máquina de Atwood*. Nele, dois blocos de massas  $m_1 = 4,0$  kg e  $m_2 = 7,0$  kg estão ligados por uma corda que passa por uma roldana. Determine:

- (a) A aceleração dos blocos. [R.:  $2,7 \text{ m/s}^2$ .]
- (b) A tensão na corda. [R.: 49,9 N.]

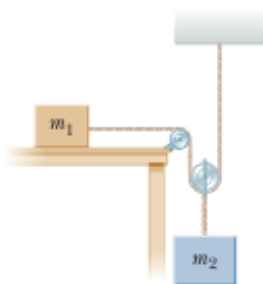
(Considere que não há atrito no eixo da roldana, o que faz com que a polia possa girar livremente; considere também que a corda tem massa nula, que é inextensível, e que não desliza na polia; despreze a massa da polia e os efeitos do arrasto.)



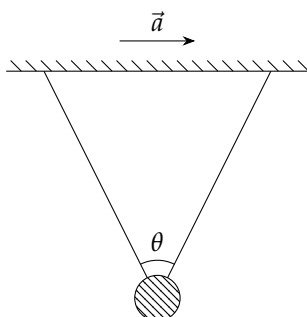


24. Na figura abaixo, a polia e a corda têm massa desprezível e a corda não estica. Além disso, a superfície da mesa é sem atrito. Em cada segmento da corda, entre as polias, a tensão é igual a  $T$ .

- (a) As acelerações dos blocos não são iguais. Qual é a relação entre elas? Explique. [R.: Considerando um eixo horizontal  $x$  para a direita e um eixo vertical  $y$  para cima,  $a_{1,x} = -2a_{2,y}$ .]
- (b) Calcule a aceleração do bloco suspenso em função das massas  $m_1$  e  $m_2$ . [R.:  $a_{2,y} = -m_2g/(4m_1 + m_2)$ .]



25. A figura abaixo mostra um corpo suspenso por duas cordas de mesmo comprimento presas ao teto de uma sala. O ângulo entre as cordas é  $\theta = 50^\circ$  e a massa  $m$  do corpo é de 5,0 kg. Determine o módulo das tensões exercidas pelas cordas se existe uma aceleração do corpo para a direita, cujo módulo é  $a = 2,0 \text{ m/s}^2$ . [R.:  $T_1 = 38,9 \text{ N}$ ,  $T_2 = 15,2 \text{ N}$ .]



ATRITO

26. **Discursiva:** Um carro trafega por uma estrada, sendo que sobre um dos assentos está um livro. Nenhuma precaução foi tomada para evitar que o livro se movimente para frente ou para os lados, porém ele não é capaz de se movimentar para trás pois está apoiado no encosto do assento. Nessa situação, ocorrem os seguintes fenômenos:

1. O carro freia moderadamente e o livro não se move em relação ao assento, porém em frenagens mais intensas, ele desliza para frente.
2. Em curvas suaves o livro não se move, mas em curvas mais fechadas (com raio menor) o livro desliza para fora da curva (se afastando do centro da curva, na direção que liga o centro ao carro).

Analisando o exposto acima, descreva como tais comportamentos podem ser explicados à luz das Leis de Newton e das propriedades das forças peso, normal e de atrito.

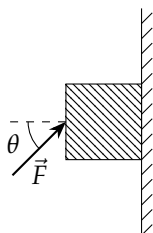
27. **Discursiva:** Se você prender uma extremidade de um elástico em um bloco de madeira que repousa sobre uma mesa e puxar a extremidade oposta com velocidade constante e de maneira que o elástico fique disposto horizontalmente, o bloco se movimentará, porém não com velocidade uniforme. Ao invés disso, o que ocorre é que o bloco desliza uma distância e pára, voltando a deslizar novamente e parando novamente, sendo que isso acontece durante todo o tempo que você ficar puxando a extremidade do elástico. Explique esse comportamento utilizando as propriedades das forças de atrito.

28. Um bloco é empurrado contra a parede por uma força que faz um ângulo  $\theta$  com a horizontal, conforme mostra a figura abaixo. Mostre<sup>1</sup> que as forças mínima e máxima para que o bloco não deslize são dadas por

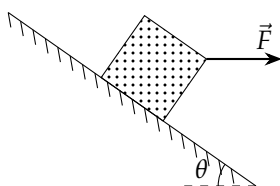
$$F = \frac{mg}{\sin \theta \pm \mu \cos \theta}, \quad (84)$$

onde o sinal positivo corresponde à força mínima e o sinal negativo à força máxima.

<sup>1</sup>Em matemática “mostre”, “demonstre”, etc., significam “prove matematicamente”.



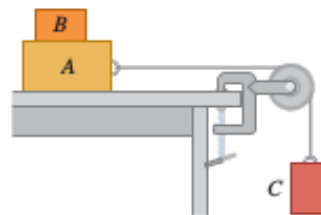
29. Um bloco de massa  $25,0\text{ kg}$  está inicialmente em repouso sobre um plano inclinado com ângulo de  $\theta = 35,0^\circ$  com a horizontal. Uma força horizontal de  $75,0\text{ N}$  — dirigida de forma a fazer com que o bloco desça — é necessária para fazer com que o bloco passe a se mover paralelamente ao plano inclinado, para baixo. Calcule o coeficiente de atrito estático entre o bloco e o plano inclinado. [R.:  $\mu_e = 1,28$ .]



30. Dois blocos com pesos de  $3,6\text{ N}$  e  $7,2\text{ N}$  estão ligados por uma corda de massa desprezível e deslizam para baixo em um plano inclinado de  $30,0^\circ$ . O coeficiente de atrito cinético entre o bloco mais leve e o plano é de  $0,10$ , já entre o mais pesado e o plano é de  $0,20$ . Supondo que o bloco mais leve desce na frente, determine

- (a) A aceleração dos blocos. [R.:  $a = 3,5\text{ m/s}^2$ .]  
(b) A tensão na corda. [R.:  $T = 4,0\text{ N}$ .]

31. Na figura abaixo, o bloco  $B$  tem massa de  $5,0\text{ kg}$  e repousa sobre o bloco  $A$ , cuja massa é de  $8,0\text{ kg}$ . Não há atrito entre o bloco  $A$  e a mesa, porém há entre o bloco  $A$  e o bloco  $B$ , sendo que o coeficiente de atrito estático é  $\mu_e = 0,750$ . Uma corda de massa desprezível é amarrada ao bloco  $A$ , passando por uma polia, e a outra extremidade é amarrada a um bloco  $C$  de massa desconhecida. Quando o sistema for liberado para se mover, qual é o valor máximo da massa do bloco  $C$  para a qual o bloco  $B$  se move juntamente com o bloco  $A$ , sem deslizar? Dica: Tente fazer sem substituir os valores! [R.:  $m_C = 39\text{ kg}$ .]



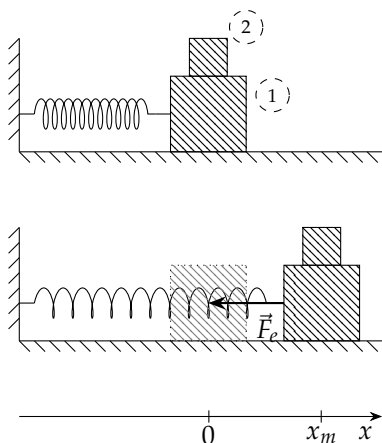
32. Em uma aposta com um amigo, você alega ser capaz de colocar uma caixa na lateral de um carrinho e o movimentar de forma que a caixa não caia — tudo isso sem utilizar cola, imãs ou qualquer outro método de fixação —, bastando acelerar o sistema como mostrado na figura abaixo. O coeficiente de atrito estático entre a caixa e a lateral do carrinho é  $0,7$ . Qual é a aceleração mínima do sistema, em  $\text{m/s}^2$ , para que você ganhe a aposta?



33. Uma camionete tem em sua caçamba uma caixa de ferramentas, no entanto, sua tampa traseira está quebrada e não fecha. Se o veículo for submetido a uma aceleração muito grande, a caixa deslizará e poderá acabar caindo. Suponha que o coeficiente de atrito estático entre a caixa e o assoalho da caçamba seja de  $0,650$ . Qual é o menor tempo possível para que o veículo atinja a velocidade de  $30\text{ m/s}$ , assumindo que ele partiu do repouso? [R.:  $t = 4,7\text{ s}$ .]

34. A figura abaixo mostra um bloco que está apoiado sobre uma mesa sem atrito e que está ligado a uma mola. Sobre este bloco, repousa um segundo bloco. Na interface entre os blocos, existe atrito. Qual é a máxima distensão  $x_m$  que a mola pode ter para a qual os blocos aceleram juntos ao liberarmos o sistema para se mover? Considere que  $k = 120,0\text{ N/m}$ ,  $m_1 = 3,0\text{ kg}$ ,  $m_2 = 1,0\text{ kg}$ , e  $\mu_e = 0,65$ . [R.:  $x_m = 0,21\text{ m}$ .]





### ARRASTO

35. **Discursiva:** Você pega duas bolas de tênis idênticas e enche uma delas de água. Você as larga simultaneamente de cima de um prédio. O que acontece se você desprezar a resistência do ar? E se não desprezá-la?

36. Um paraquedista com massa de 80,0 kg pula de um balão que encontra-se parado em relação ao solo, em um dia sem vento. Após algum tempo, ele atinge uma velocidade terminal de 50,0 m/s. Considere que o arrasto experimentado pelo paraquedista é dado pela equação  $F_A = C\rho A v^2 / 2$ .

(a) Qual é a força de arrasto que atua sobre o paraquedista quando sua velocidade é de 30,0 m/s? [R.:  $F_A = 282 \text{ N}$ .]

(b) Qual é sua aceleração quando sua velocidade é de 30,0 m/s? [R.:  $a = 6,3 \text{ m/s}^2$ .]

37. Um caça sofre uma pane e o piloto decide ejetar. No momento em que o assento é ejetado do avião a velocidade da aeronave em relação ao ar é de 1300 km/h. Suponha que a densidade do ar seja de  $1,2 \text{ kg/m}^3$ , que o coeficiente de arrasto seja  $C = 0,40$ , que a área de seção reta do piloto juntamente com o assento seja de  $1,2 \text{ m}^2$  e que a massa do conjunto piloto-assento seja de 200 kg. Despreze a velocidade de ejeção do assento, considere que a força de arrasto é dada por  $F_a = C\rho A v^2 / 2$ , e determine

(a) A força de arrasto exercida sobre o conjunto piloto-assento imediatamente após a ejeção. Qual é a razão

entre a força de arrasto e a força peso do conjunto?

[R.:  $F_A = 37,6 \cdot 10^3 \text{ N}$ ,  $F_A/P = 19,2$ .]

(b) Determine a área que o paraquedas instalado no assento precisa ter para que o conjunto piloto-assento chegue ao solo com uma velocidade de 10 m/s. Considere que o coeficiente de arrasto  $C$  seja o mesmo que antes da abertura do paraquedas. [R.:  $A = 82 \text{ m}^2$ .]

38. Partículas esféricas, pequenas e que se movem lentamente, estão sujeitas a uma força de arrasto dada pela lei de Stokes:  $F_a = 6\pi\eta r v$ , onde  $r$  é o raio da partícula,  $v$  é a sua velocidade, e  $\eta$  é o coeficiente de viscosidade do meio. Se para o ar  $\eta = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$  e a densidade e o raio de uma partícula de poluição são  $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$  e  $r = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ , respectivamente, determine o tempo necessário para que uma partícula desça uma distância de 100 m, assumindo que ela chega à sua velocidade terminal imediatamente. [R.:  $\Delta t \approx 1 : 10$ .]

39. Uma demonstração comum da força de arrasto envolve soltar filtros de café abertos e calcular o tempo necessário para que eles percorram uma certa distância. Um professor solta um filtro de café de uma altura  $h$  acima do solo e cronometra o tempo  $\Delta t$  que ele demora para percorrê-la. Ao se empilhar  $n$  filtros de café idênticos e soltá-los sob as mesmas condições, observa-se que eles percorrem uma distância  $h_n$ . Encontre, em termos de  $h$  e  $n$ , uma expressão para a distância  $h_n$  percorrida pelo conjunto de  $n$  filtros. Considere que os filtros são tão leves que eles instantaneamente atingem a velocidade terminal. [R.:  $h_n = \sqrt{n} h$ .]



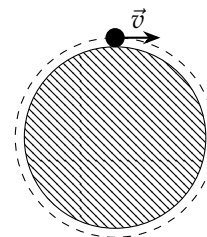
### FORÇAS NO MOVIMENTO CIRCULAR

40. **Discursiva:** Se alguém lhe disser que os astronautas não têm peso em órbita em torno da Terra (como, por exemplo, na Estação Espacial Internacional), por que estão além do alcance da força da gravidade, você concordaria? Explique.

<sup>2</sup>Isto é, você deve obter uma expressão para a distância que depende dos valores de  $h$  e de  $n$ .



41. **Discursiva:** Você faz uma bola girar na extremidade de um fio descrevendo um plano horizontal. o fio está contido no plano ou está inclinado? A inclinação, se diferente de zero, é para cima ou para baixo? Faça um diagrama de forças da bola.



42. **Discursiva:** Uma revista de automóveis chama uma curva com raio decrescente de “a desgraça do motorista inexperiente”. Considerando as propriedades da força de atrito estático, explique tal afirmação.

43. Após Goku morrer para que Piccolo pudesse derrotar Raditz, graças à intervenção de Kami-Sama perante Enma Daioh, ele recebe permissão para viajar pelo Caminho da Serpente e treinar com o lendário Senhor Kaioh. Tal treinamento é necessário para que Goku possa derrotar os Saiyajins que estão a caminho da Terra e que chegarão em um ano, com o intuito de destruí-la. A grande vantagem de treinar no planeta do Senhor Kaioh é o fato de que a gravidade é muito elevada, sendo 10 vezes maior que a da Terra.<sup>3</sup>

O planeta é bastante curioso: apesar da gravidade extremamente elevada, seu raio é pequeno. Apesar disso, Senhor Kaioh gosta muito de dirigir e possui um carro, sendo que ele pode trafegar somente por uma pista que descreve um círculo ao redor do planeta (o raio da pista é o mesmo do planeta). A figura abaixo mostra um esboço dessa situação, sendo que o carro é representado pelo círculo preto.

(a) Faça um diagrama de corpo livre indicando as forças relevantes para esse problema (ignore a força de arrasto). Indique o sistema de coordenadas que será adotado para a solução do problema.

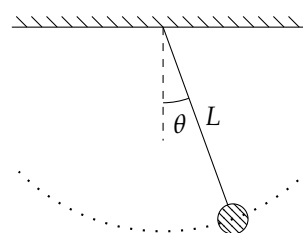
(b) Demonstre matematicamente que a velocidade máxima que o carro pode atingir antes de perder contato com o solo é dada por

$$v = \sqrt{rg},$$

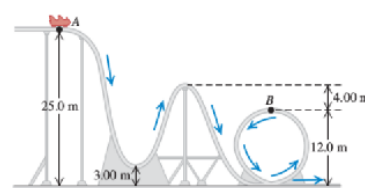
onde  $r$  e  $g$  representam o raio do planeta e sua aceleração gravitacional, respectivamente.

(c) Qual é o raio do planeta, se a velocidade máxima é de 150 km/h? [R.:  $R = 17,7$  m.]

44. Na figura abaixo um objeto cuja massa é de 50 kg oscila no plano da página, preso a uma corda de comprimento  $L = 20,00$  m. Quando o ângulo  $\theta$  é de  $20^\circ$ , a velocidade do objeto é de 8,00 m/s. Encontre a tensão na corda. [R.:  $T = 6,2 \cdot 10^2$  N.]



45. Um carro de montanha-russa com massa de 350,0 kg e velocidade inicial zero começa a descer a partir do ponto A mostrado na figura abaixo. A altura dos trilhos neste ponto é de 25,0 m em relação ao solo. Despreze as forças de arrasto e de atrito.



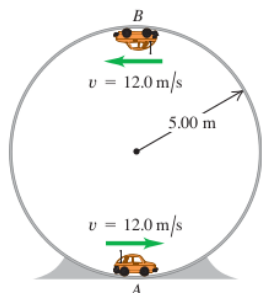
(a) Qual será a velocidade (em m/s) do carro no cume intermediário, cuja altura é de 16,0 m em relação ao solo?

(b) Qual é a altura mínima (em metros) da qual o carro deve partir (com velocidade inicial zero) para poder percorrer a parte circular da pista sem perder contato com os trilhos no ponto B?

46. Um carro de brinquedo com massa  $m$  se desloca com velocidade constante em uma pista circular vertical (um

<sup>3</sup>[http://pt-br.dragonball.wikia.com/wiki/Planeta\\_do\\_Senhor\\_Kaioh](http://pt-br.dragonball.wikia.com/wiki/Planeta_do_Senhor_Kaioh)

loop), conforme mostrado na figura abaixo. A pista tem um raio  $R$  de 5,00 m e a velocidade do carro é  $v = 12,00$  m/s. Se a força normal exercida pela pista quando o carro está no topo (posição B) é de 6,00 N, qual é a força normal quando o carro está na parte mais baixa da pista (posição A)? [R.:  $N = 12,2$  N.]

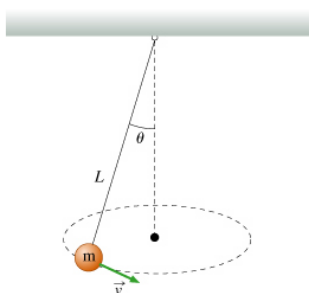


47. Uma moeda está sobre um disco que pode girar em torno de um eixo que passa por seu centro, perpendicularmente à face plana. A velocidade de rotação do disco é tal que ele completa uma revolução a cada segundo. Se ela está localizada a uma distância inferior a 16,0 cm em relação ao eixo, ela permanece em repouso, mas qualquer posição além disso faz com que ela escorregue. Determine o coeficiente de atrito estático entre a moeda e o disco. [R.:  $\mu_e = 0,64$ .]

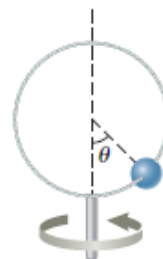
48. A figura abaixo mostra um *pêndulo cônico*. Nesse tipo de pêndulo, uma massa  $m$  pendurada em uma corda de comprimento  $L$  e massa negligível descreve uma trajetória circular com velocidade constante  $v$ . Se  $m = 0,40$  kg,  $L = 0,90$  m e o perímetro da trajetória circular é  $\ell = 0,94$  m, calcule

(a) A tensão na corda. [R.:  $T = 4,0$  N.]

(b) A velocidade  $v$  da massa. [R.:  $v = 0,49$  m/s.]



49. Uma conta pode deslizar em um arco circular disposto na extremidade de uma haste, como mostrado na figura abaixo. O atrito entre a conta e o arco é desprezível. A haste é disposta verticalmente e posta para rodar. O raio do arco circular é de 15 cm. Se  $\theta = 45^\circ$ , qual é a velocidade da conta? *Tenha em mente que o raio do arco e o da trajetória circular não são necessariamente iguais.* [R.:  $v = 1,02$  m/s.]

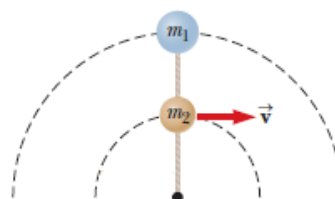


50. Um objeto de massa  $m_1$  está amarrado através de uma corda de comprimento  $\ell$  a um outro objeto de massa  $m_2$ . O segundo objeto está amarrado a um eixo por uma corda de comprimento  $R$ , e o conjunto gira de modo que o centro do eixo e os dois objetos estão sempre colineares, sendo que os círculos descritos pelos corpos estão contidos em um plano horizontal (veja a figura abaixo). Além disso, a velocidade do objeto mais próximo do centro é  $\vec{v}$ . Desconsiderando a força peso e a força de arrasto,

(a) Calcule a velocidade da esfera externa em termos da velocidade da esfera interna. (Ambos objetos descrevem uma circunferência completa ao mesmo tempo.) [R.:  $v_e = v(R + \ell)/R$ .]

(b) Mostre que a tensão na corda entre o eixo e o primeiro objeto é dada por

$$T = \left( m_2 + m_1 \frac{(R + \ell)}{R} \right) \frac{v^2}{R}. \quad (110)$$





51. Uma curva circular compensada de uma rodovia foi planejada para uma velocidade de 60,0 km/h, isto é, com essa velocidade é possível contornar a curva mesmo que

o coeficiente de atrito entre os pneus e a pista seja nulo. O raio da curva é de 200,0 m. Em um dia chuvoso, a velocidade dos carros diminui para 40,0 km/h. Qual é o menor coeficiente de atrito entre os pneus e a estrada para que os carros façam a curva sem derrapar para dentro da curva? [R.:  $\mu_e = 0,078$ .]