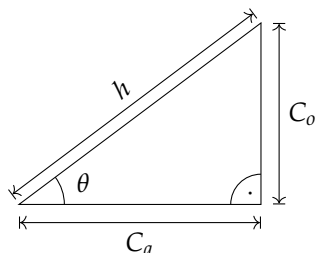


FORMULÁRIO

Relações Trigonômicas



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

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 coordenados, temos:

$$\begin{aligned}a_x &= a \cos \theta & (6) \\ a_y &= a \sin \theta & (7) \\ a &= \sqrt{a_x^2 + a_y^2} & (8) \\ \tan \theta &= a_y/a_x & (9)\end{aligned}$$

onde θ 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

$$\vec{F}_R^{\text{Ext}} = \frac{d\vec{P}_{\text{CM}}}{dt} \quad (14)$$

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

Trabalho, Energia Potencial e Energia Cinética

$$\Delta K = W \quad (16)$$

$$\Delta U = -W \quad (17)$$

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} \quad (18)$$

$$= Fd \cos \theta \quad (19)$$

$$= \int F(x)dx \quad (20)$$

$$W_g = -mg\Delta y \quad (21)$$

$$W_m = -k(x_f^2 - x_i^2)/2 \quad (22)$$

onde k é a constante da mola.

$$K = mv^2/2 \quad (23)$$

$$U_g = mgh + C \quad (24)$$

$$U_e = kx^2/2 + C \quad (25)$$

$$E_{\text{Mec}} = K + U \quad (26)$$

$$\Delta E_{\text{Mec}} = W_{\text{ext}} \quad (27)$$

$$F(x) = -dU(x)/dx \quad (28)$$

Geralmente escolhemos $C = 0$.

Centro de Massa

$$\vec{r}_{\text{CM}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (29)$$

Momento Linear

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (30)$$

$$\vec{P}_{\text{CM}} = M\vec{v}_{\text{CM}} \quad (31)$$

$$= \sum_{i=1}^n \vec{p}_i \quad (32)$$

Se $F_R^{\text{Ext}} = 0$, então

$$\vec{P}_{\text{CM}}^i = \vec{P}_{\text{CM}}^f \quad (33)$$

$$\Delta \vec{p} = \vec{J} \quad (34)$$

$$\vec{J} = \int_{t_i}^{t_f} \vec{F}(t)dt \quad (35)$$

$$= F_{\text{Med}}\Delta t. \quad (36)$$

Colisões

$$\vec{p}_1^i + \vec{p}_2^i = \vec{p}_1^f + \vec{p}_2^f \quad (37)$$

Colisões elásticas:

$$K_1^i + K_2^i = K_1^f + K_2^f \quad (38)$$

$$v_1^f = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1^i + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_2^i \quad (39)$$

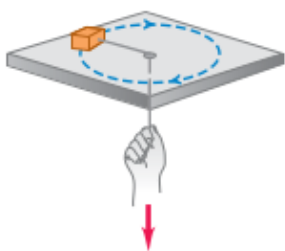
$$v_2^f = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1^i + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_2^i \quad (40)$$

TRABALHO E ENERGIA CINÉTICA

- Discursiva:** A energia cinética de um carro varia mais quando ele acelera de 10 a 15 m/s ou quando acelera de 15 a 20 m/s? Explique.
- Discursiva:** Uma esfera balança presa a um fio de massa desprezível. Nessa situação, três forças agem sobre a esfera: a força gravitacional, a tensão no fio e a força de arrasto devida ao ar. Qual dessas forças realiza trabalho
 - igual a zero?
 - sempre negativo?
 - ora positivo, ora negativo?

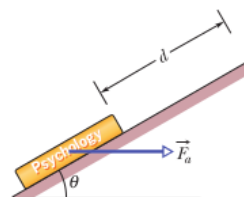
Justifique as suas respostas.

- Você atira uma pedra cujo peso é $P = 20,0\text{ N}$ verticalmente para cima. Você observa que quando ela atinge uma altura $h = 15,0\text{ m}$ acima do ponto de lançamento, ela tem velocidade $v = 25,0\text{ m/s}$ para cima. Use o teorema trabalho-energia ($\Delta K = W$) para determinar
 - A velocidade inicial da pedra. [R.: $v_i = 30,3\text{ m/s}$.]
 - A altura máxima que a pedra atinge a partir do ponto inicial. [R.: $\Delta y = 46,9\text{ m}$.]
- Um pequeno bloco com massa de $0,120\text{ kg}$ está ligado a um fio que passa através de um buraco em uma superfície horizontal sem atrito, conforme mostra a figura abaixo. Inicialmente, o bloco gira a uma distância de $0,40\text{ m}$ do buraco, com uma velocidade de $0,70\text{ m/s}$. A seguir, o fio é puxado por baixo, fazendo o raio do círculo encurtar para $0,1\text{ m}$. Nessa nova distância, verifica-se que sua velocidade passa a ser $2,8\text{ m/s}$. Qual foi o trabalho realizado pela pessoa que puxou o fio? [R.: $W_T = 0,44\text{ J}$.]

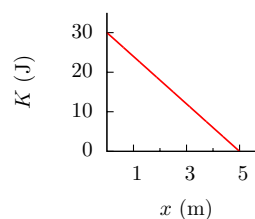


- Um corpo é arrastado sobre uma superfície horizontal por uma força constante, de intensidade $16,5\text{ N}$, que faz com a horizontal um ângulo de 60° . Se durante a ação da força o corpo se deslocou por 4 m , e sua energia cinética variou de $2,8\text{ J}$, qual é a intensidade da força de atrito (assumindo que ela é constante) que a superfície exerceu sobre o corpo? [R.: $f_{at} = 7,55\text{ N}$.]

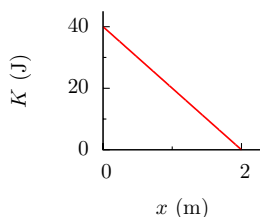
- Na figura abaixo, uma força horizontal \vec{F}_a de magnitude $200,0\text{ N}$ é aplicada a um livro de Psicologia cuja massa é de $3,0\text{ kg}$, fazendo-o subir uma distância $d = 0,500\text{ m}$ sobre uma rampa sem atrito cujo ângulo com a horizontal é de $30,0^\circ$.
 - Durante o deslocamento, quais são os trabalhos realizados pelas forças \vec{F}_a , gravitacional, e normal? [R.: $W_N = 0\text{ J}$, $W_P = -7,35\text{ J}$, $W_{F_a} = 86,6\text{ J}$.]
 - Se o livro tem energia cinética nula no início do deslocamento, qual é a sua velocidade ao terminar de subir a rampa? [R.: $v = 7,3\text{ m/s}$.]



- Um objeto de $8,00\text{ kg}$ está se movendo no sentido positivo de um eixo x . Quando ele passa por $x = 0$, uma força constante dirigida ao longo do eixo passa a atuar sobre ele. A figura abaixo mostra a energia cinética K em função da posição x quando o objeto se desloca de $x = 0$ até $x = 5,0\text{ m}$. A força continua a agir. Qual é a velocidade do objeto quando ele passa de volta por $x = -3,0\text{ m}$? [R.: $v = 3,5\text{ m/s}$.]



- Um bloco é lançado para cima em uma rampa sem atrito, ao longo de um eixo x paralelo ao plano inclinado e que aponta para cima. O gráfico abaixo mostra a energia cinética do bloco em função da posição x . Se a velocidade do bloco em $x_i = 0$ é de $4,00\text{ m/s}$, qual é a força normal que age sobre o bloco? [R.: $N = 45\text{ N}$.]



TRABALHO COMO A ÁREA DE UM GRÁFICO E
TRABALHO DE UMA FORÇA VARIÁVEL

9. Um bloco de 1,5 kg está em repouso sobre uma superfície horizontal sem atrito quando uma força ao longo do eixo x é nele exercida. A força é dada por $\vec{F}(x) = (2,5 - x^2)\hat{i}$ N, onde x está em metros e a posição inicial do bloco é $x_0 = 0$.

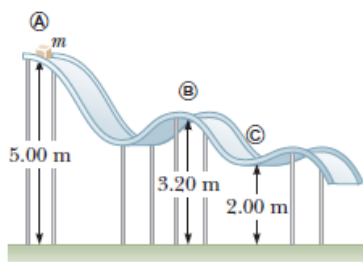
- Qual é a energia cinética do bloco ao passar pelo ponto $x = 2,0$ m? [R.: $K = 2,3$ J.]
- Qual é a energia cinética máxima do bloco entre $x = 0$ e $x = 2,0$ m? *Dica: use uma derivada para determinar o máximo da função que dá o valor da energia cinética.* [R.: $K = 2,6$ J.]

POTÊNCIA

10. (20 décimos) Uma bomba hidráulica precisa elevar 800 L de água por minuto a partir de um poço cuja profundidade é de 14,0 m e ejetá-la com uma velocidade de 18,0 m/s. Qual é o trabalho por unidade de massa realizado por pela bomba nessa tarefa? Qual deve ser a potência da bomba? [R.: $P = 3,99$ kW.]

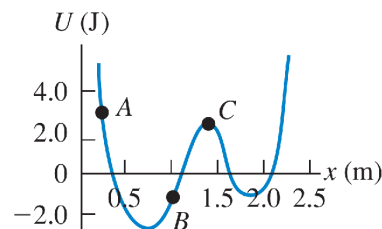
ENERGIA POTENCIAL

11. **Discursiva:** Um canhão dispara um projétil sempre com a mesma energia cinética, independentemente do ângulo de lançamento. Do ponto de vista energético, por que o projétil não sobe sempre até a mesma altura?
12. Um bloco de massa $m = 5,0$ kg é solto a partir do repouso no ponto A e desliza ao longo do escorregador sem atrito, conforme a figura abaixo.
- Determine o trabalho realizado pela força da gravidade nos deslocamentos de A até B e de A até C. [R.: $W_{AB} = 88$ J, $W_{AC} = 0,15$ kJ.]
 - Determine a velocidade nos pontos B e C. [R.: $v_B = 5,9$ m/s, $v_C = 7,7$ m/s.]



ANÁLISE DE GRÁFICOS DE POTENCIAL

13. Uma partícula se move unidimensionalmente em um eixo x disposto horizontalmente para a direita sob a ação de uma força conservativa unidimensional F , cuja direção de atuação também é horizontal. O potencial U associado a tal força é descrito pelo gráfico abaixo.



Classifique as afirmações abaixo como verdadeiras ou falsas.

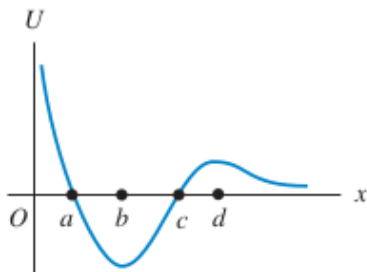
- A força exercida sobre a partícula quando ela se encontra na coordenada x correspondente ao ponto A é para a direita pois o potencial é positivo.
- Se a partícula se encontra na posição B e tem energia mecânica igual a zero, então ela pode se mover no intervalo entre os dois pontos de retorno mais à esquerda.
- Para qualquer valor de energia mecânica entre 0 e 4 J o sistema tem 4 pontos de retorno, separados em duas regiões distintas.
- O ponto C é de equilíbrio instável, uma vez que qualquer perturbação fará com que a partícula seja levada a uma posição na qual passará a estar sob efeito de uma força que atua no sentido de afastar a partícula da posição de equilíbrio.
- Na região mostrada no gráfico, o sistema conta com somente dois pontos de equilíbrio.
- Na região mostrada no gráfico, o sistema conta com três pontos de equilíbrio, sendo dois estáveis.
- Dentre os pontos A, B e C, aquele que apresenta a maior intensidade de força é o ponto A.

[R.: FVFVFVV.]

14. Uma partícula se move ao longo de um eixo x . A energia potencial associada a uma força F que age sobre ela é mostrada na figura abaixo.

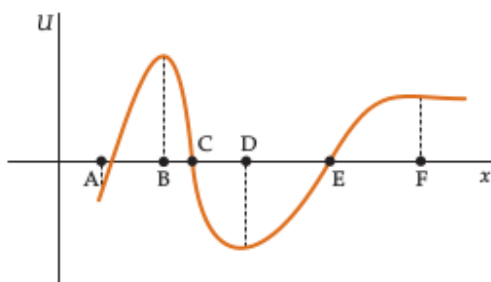
- Determine os pontos de equilíbrio e os classifique como estáveis e instáveis. [R.: b é de equilíbrio estável e d instável.]

- (b) Determine a direção da força que passa a agir sobre a partícula se ela for deslocada um pouco para a esquerda e um pouco para a direita de cada um dos pontos do item anterior. Os resultados obtidos explicam a classificação usada no item anterior? Justifique.



15. A figura abaixo mostra o gráfico do potencial associado a uma força unidimensional conservativa.

- (a) Para cada um dos pontos indicados, verifique se a força é positiva, negativa ou nula. Indique quais são os pontos de equilíbrio, se houver algum. Justifique suas respostas. [R.: $F_A < 0$, $F_B = 0$, $F_C > 0$, $F_D \approx 0$, $F_E < 0$, $F_F \approx 0$]
- (b) Ordene os pontos em ordem decrescente de intensidade da força. [R.: $|F_C| > |F_A| > |F_E| > |F_D| \geq |F_F| \geq |F_B|$.]

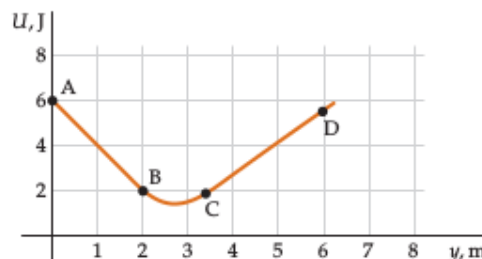


16. A figura abaixo mostra o gráfico da energia potencial para uma força conservativa unidimensional $F_y(y)$. Os segmentos \overline{AB} e \overline{CD} são retas.

- (a) Determine o módulo e a direção da força F_y no segmento \overline{AB} , considerando que o potencial é dado por uma reta. [R.: $|\vec{F}| = 2\text{ N}$, no sentido positivo do eixo y .]
- (b) Se no intervalo compreendido entre os pontos B e C o potencial é dado por

$$U(y) = 0,476y^2 - 2,524y + 5,143,$$

qual é a posição em y do ponto de equilíbrio estável que aparece no potencial (ponto mais baixo no intervalo entre B e C)? [R.: $y = 2,65\text{ m}$]

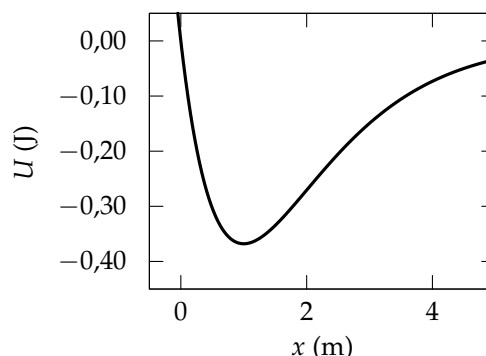


17. Uma partícula pode se mover ao longo de um eixo x sujeita a uma força conservativa $F(x)$. O potencial associado a tal força é dado por

$$U(x) = -\alpha x e^{-\beta x}, \quad (48)$$

onde $\alpha = 1\text{ J/m}$ e $\beta = 1\text{ m}^{-1}$.

- (a) Determine a expressão para a força $F(x)$. [R.: $F = \alpha(1 - \beta x)e^{-\beta x}$.]
- (b) Determine a posição do ponto de equilíbrio mostrado na figura. [R.: $x_{eq} = \beta^{-1} = 1\text{ m}$.]



18. A uma força F_x que atua sobre uma partícula, está associada a uma energia potencial $U(x) = 8x - Cx^4$, onde C é uma constante positiva cujo módulo é $2,5\text{ N/m}^4$.

- (a) Determine uma expressão para a força que atua sobre a partícula. [R.: $F(x) = 4Cx^3 - 8$.]
- (b) Determine o ponto de equilíbrio (ou os pontos de equilíbrio) para o potencial acima. Classifique cada ponto como estável ou instável. [R.: $x = 0,928\text{ m}$.]

19. A energia potencial entre dois átomos em uma molécula diatômica é dada por

$$U(x) = \frac{a}{x^{12}} - \frac{b}{x^6}, \quad (49)$$

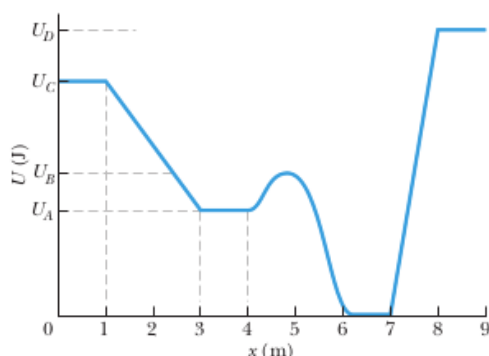
onde x é a distância entre os núcleos dos átomos e as constantes a e b são positivas. Assuma como origem a posição de um dos núcleos atômicos.

- (a) Determine a expressão para a força que um átomo exerce sobre o outro. [R.: $F(x) = 12ax^{-13} - 6bx^{-7}$.]
(b) Determine a posição de equilíbrio. [R.: $x = \sqrt[6]{2a/b}$.]

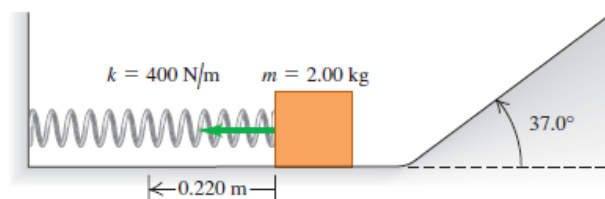
ENERGIA MECÂNICA

20. A figura abaixo mostra um gráfico da energia potencial U em função da posição para uma partícula sujeita a uma força conservativa unidimensional.

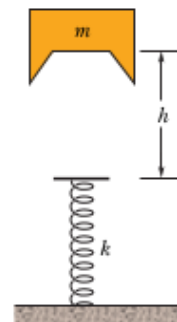
- (a) Descreva quais são os pontos e regiões de equilíbrio presentes no gráfico. [R.: $x \approx 4,8$ m (pico), intervalos $[0, 0; 1, 0]$, $[3, 0; 4, 0]$, $[\approx 6, 2; 7, 0]$, $[8, 0; \text{final}]$.]
(b) Se o objeto é solto a partir do repouso no ponto $x = 2$ m, indique no gráfico qual é a energia mecânica do sistema e verifique quais são os pontos de retorno (aproximadamente). [R.: $x = 2,0$ m e $x \approx 7,5$ m.]
(c) Sabendo que $U_A = 9,0$ J e $U_C = 20,0$ J, determine o módulo e a direção da força que age sobre a partícula no intervalo $x = [1,0 \text{ m}; 3,0 \text{ m}]$. [R.: $F = 5,5$ N.]



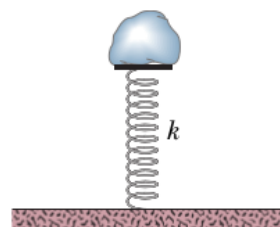
21. Na figura abaixo, um bloco de 2 kg é empurrado contra uma mola de massa desprezível e constante $k = 400$ N/m, comprimindo-a por 22 cm. Ao liberarmos o bloco (com velocidade nula), ele é empurrado pela mola em uma superfície sem atrito horizontal e após se deslocar uma distância suficientemente grande para que não houvesse mais contato com a mola, começa a subir uma rampa – também sem atrito – com inclinação de 37° . Qual é a distância máxima que o bloco sobe ao longo da rampa. *Despreze a força de arrasto oferecida pelo ar.* [R.: $d_{\text{máx.}} = 0,82$ m.]



22. Um bloco de massa $m = 4,00$ kg parte do repouso e, percorrendo uma altura h , cai sobre uma mola de constante elástica $k = 1040,0$ N/m, causando uma compressão da mola (veja a figura abaixo). Em um dado instante — antes de a mola ser comprimida completamente —, verifica-se que a mola teve uma compressão de 20 cm e que a velocidade do bloco neste momento é de 1,0 m/s. Determine a altura h . [R.: $h = 0,38$ m.]

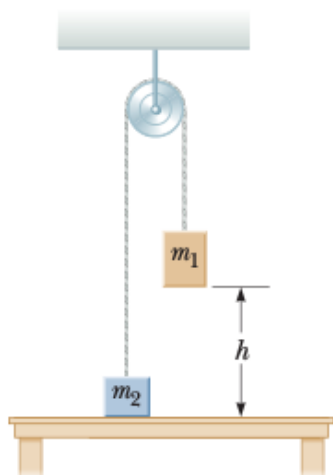


23. A figura abaixo mostra uma pedra de 8,0 kg que repousa sobre uma mola. A compressão da mola nessa situação é de 10 cm. A pedra é empurrada mais 30 cm e então é solta a partir do repouso. Qual é a altura máxima (em cm) que a pedra atinge a partir do ponto onde foi solta? [R.: $h = 0,80$ m.]

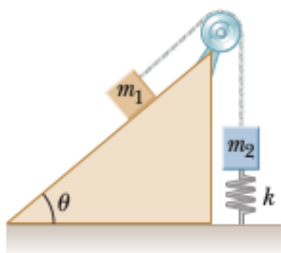


24. Dois objetos estão conectados entre si por uma corda de massa desprezível que passa por uma polia, também de massa desprezível, conforme mostrado na figura abaixo. O bloco da direita possui massa $m_1 = 5,00$ kg e está a uma altura $h = 4,0$ m acima da mesa, enquanto o bloco da esquerda tem massa $m_2 = 3,00$ kg e repousa sobre a mesa.

- (a) Ao permitir que o sistema se movimente, o bloco da esquerda subirá. Utilize a conservação da energia mecânica para determinar qual será sua velocidade quando o bloco da direita estiver na iminência de atingir a mesa. *Dica: a velocidade dos dois blocos é sempre a mesma, pois eles estão ligados através da corda.* [R.: $v = 4,4$ m/s.]
(b) Determine a altura máxima que o bloco da esquerda atinge acima da mesa. [R.: $h' = 5,0$ m.]

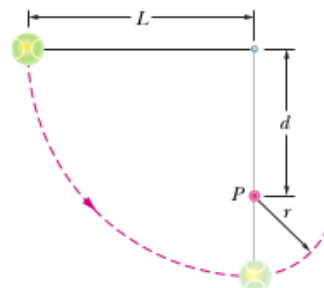


25. Um bloco de massa $m_1 = 20,0 \text{ kg}$ está conectado a um bloco de massa $m_2 = 30,0 \text{ kg}$ por uma corda leve que passa sobre uma polia leve e sem atrito, conforme mostra a figura. O bloco de massa m_2 está conectado a uma mola de massa negligível e com constante $k = 250,0 \text{ N/m}$. Inicialmente, a mola está relaxada, além disso, a superfície do plano inclinado tem coeficiente de atrito nulo. O bloco de massa m_1 é puxado por uma distância $L = 20,0 \text{ cm}$ para baixo, ao longo da rampa — cujo ângulo com a horizontal é $\theta = 40,0^\circ$ — e solto a partir do repouso. Encontre a velocidade dos blocos quando a mola voltar a ficar relaxada. [R.: $v_f = 1,24 \text{ m/s}$]

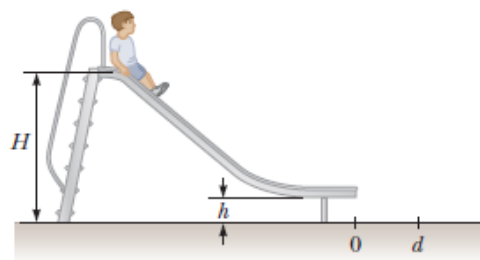


26. * A figura abaixo mostra uma pequena bola presa a uma extremidade de um fio de massa desprezível, cujo comprimento é $L = 120 \text{ cm}$, enquanto a outra extremidade do fio está presa a um prego fixado na parede. A bola pode percorrer a trajetória circular de raio L , mostrada na figura, desde a posição inicial até que o fio colida com um segundo prego, localizado no ponto P , distante $75,0 \text{ cm}$ abaixo do primeiro. A partir de então, a bola segue uma trajetória circular de raio r . Se a bola for solta a partir do repouso, determine:
- (a) A velocidade da bola no ponto da trajetória circular de raio r que está a direita do ponto P (na mesma linha horizontal). [R.: $v_f = 3,83 \text{ m/s}$]

- (b) A altura mínima em relação ao ponto mais baixo da trajetória que a bola precisa ter para que chegue ao ponto mais alto da trajetória circular de raio r , isto é, ao ponto dessa trajetória que está acima do ponto P , na mesma linha vertical. [R.: $h = 5(L - d)/2 = 1,13 \text{ m}$]

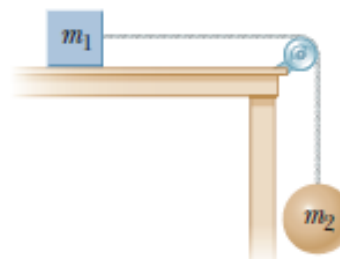


27. * Uma criança desce a partir do repouso por um escorregador sem atrito, conforme a figura abaixo. Ao final da rampa (em 0), ela deixa o escorregador com velocidade v e atinge o solo em d . Usando a conservação da energia, determine a altura H inicial da criança em termos de h e d . [R.: $H = \frac{d^2}{4h} + h$]



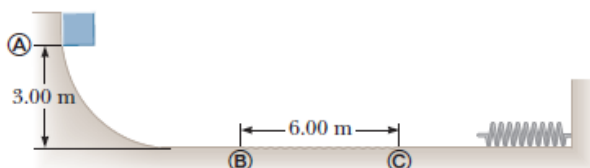
TRABALHO DE FORÇAS NÃO-CONSERVATIVAS

28. Na figura abaixo, a massa $m_2 = 5,0 \text{ kg}$ está presa a um bloco de massa $m_1 = 3,0 \text{ kg}$ de forma que o sistema pode se mover. Há, no entanto, uma força de atrito cinético entre o bloco e a mesa, com $\mu_c = 0,40$. Calcule a velocidade do bloco quando a massa m_2 tiver caído uma distância $h = 1,5 \text{ m}$, assumindo que o sistema partiu do repouso. [R.: $v = 3,7 \text{ m/s}$]

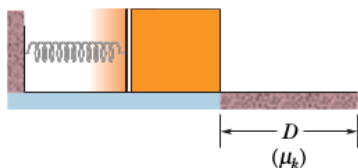


29. Um bloco é liberado a partir do repouso na posição A, cuja altura em relação ao solo é de $3,00 \text{ m}$, mostrada na figura abaixo. A pista tem atrito desprezível, exceto no trecho entre B e C, cujo comprimento é de $6,0 \text{ m}$. Se o bloco tem massa de 10 kg , $\mu_c = 0,30$

e $k = 2000 \text{ N/m}$, qual será a máxima compressão da mola? [R.: $\ell = 0,34 \text{ m}$.]



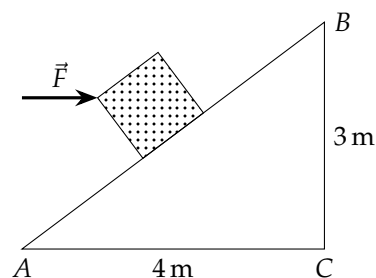
30. Na figura abaixo, um bloco de massa $5,9 \text{ kg}$ é acelerado a partir do repouso por uma mola inicialmente comprimida, de constante elástica $83,3 \text{ N/m}$, sobre uma superfície horizontal sem atrito. O bloco perde contato com a mola no momento em que ela está completamente relaxada e se desloca para a direita até entrar em uma região com atrito, sendo que o coeficiente de atrito cinético é de $0,4$. Após percorrer uma distância de $74,8 \text{ cm}$, o bloco para. Determine a compressão inicial da mola. [R.: $\ell = 64,44 \text{ cm}$.]



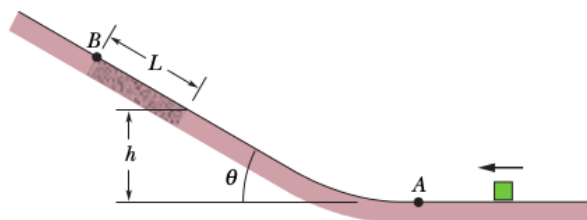
31. Um bloco de madeira com massa $m = 2,0 \text{ kg}$ escorrega na superfície côncava mostrada na figura abaixo. As extremidades laterais não têm atrito, porém a parte central sim, sendo que o coeficiente de atrito cinético entre o bloco de madeira e tal superfície é $\mu_c = 0,2$. A região sem atrito tem largura $L = 30,0 \text{ m}$. O bloco é solto a partir do repouso na posição mostrada e desce a rampa, entrando na região com atrito. Se a altura inicial em relação à região plana é de $4,0 \text{ m}$, a que distância do início da região com atrito o bloco pára? [R.: $d = h/\mu_c = 20 \text{ m}$.]



32. Na figura abaixo, o bloco tem massa de 2 kg e a força \vec{F} é aplicada horizontalmente, com intensidade de $64,4 \text{ N}$. O plano inclinado não apresenta atrito. Se o bloco parte do repouso no ponto A, qual é a sua velocidade no final do deslocamento de A para B? Note que podemos usar $\Delta E = W_{NC}$ se considerarmos F como uma força não conservativa. [R.: $14,10 \text{ m/s}$.]



33. * Na figura abaixo, um bloco desliza em uma pista sem atrito até chegar a um trecho de comprimento $0,8 \text{ m}$, que começa a uma altura 3 m em uma rampa que faz um ângulo de 28 graus com a horizontal. Nesse trecho o coeficiente de atrito cinético é de $0,68$. Se o bloco pode subir uma distância $2,4 \text{ m}$ após o ponto B (medida ao longo da rampa), qual é a velocidade de lançamento do bloco, em m/s ? [R.: $v = 9,88 \text{ m/s}$.]



PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

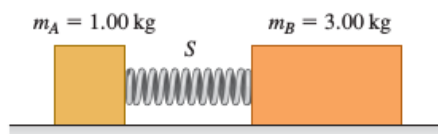
34. **Discursiva:** Quando as pessoas estão com frio, elas em geral esfregam as mãos para se aquecer. Como esse gesto produz um aumento de temperatura? De onde vem a energia necessária?

CONSERVAÇÃO DO MOMENTO LINEAR

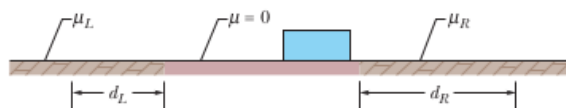
35. **Discursiva:** Um foguete encontra-se no espaço, longe de qualquer planeta ou estrela, sendo que sua velocidade é nula. Subitamente, ele explode em vários pedaços.
- O momento linear do sistema antes e depois da explosão se mantém o mesmo?
 - A energia cinética do sistema antes e depois da explosão se mantém a mesma?
36. **Discursiva:** Uma senhora segurando uma pedra grande está em pé sobre uma camada de gelo horizontal sem atrito. Ela lança a pedra com uma velocidade v_0 formando um ângulo acima da horizontal. Considere o sistema constituído pela mulher juntamente com a pedra.
- Existe conservação do momento linear do sistema?
 - Alguma componente do momento linear se conserva?

37. Os blocos A e B na figura abaixo têm massas $m_A = 1,00 \text{ kg}$ e $m_B = 3,00 \text{ kg}$. Ambos são forçados contra uma mola (S) de forma a comprimi-la. O sistema é liberado a partir do repouso sobre uma superfície sem atrito, o que permite que a mola se expanda empurrando os blocos. A mola tem massa desprezível.

- (a) Se o bloco B adquire uma velocidade de $1,20 \text{ m/s}$, qual é a velocidade final do bloco A ? [R.: $v = 3,6 \text{ m/s}$.]
(b) Utilizando o princípio da conservação da energia, determine a energia potencial inicialmente armazenada na mola? [R.: $U_e = 8,64 \text{ J}$.]



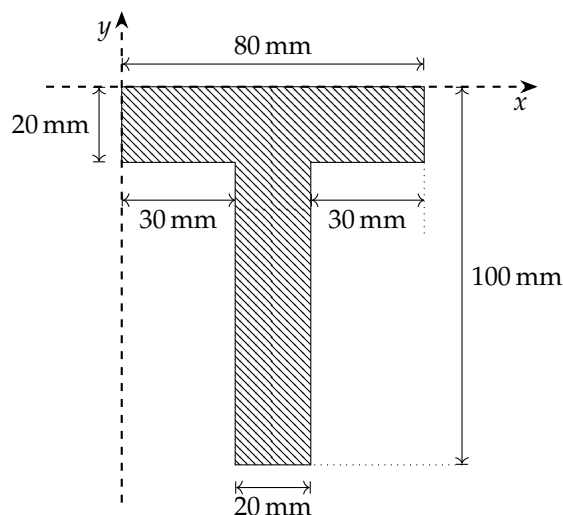
38. Na figura abaixo, um bloco estacionário explode em duas partes que então escorregam por uma superfície sem atrito. A parte esquerda, cuja massa é $m_L = 2,0 \text{ kg}$, chega ao final da superfície sem atrito e encontra uma superfície com coeficiente de atrito cinético $\mu_L = 0,40$, sobre a qual desliza $15,0 \text{ cm}$ até parar. A parte direita encontra uma superfície com coeficiente de atrito $\mu_R = 0,50$ e desliza $25,0 \text{ cm}$. Qual é a massa total do bloco? [R.: $m_R = 1,38 \text{ kg}$, $m_{\text{Total}} = 3,39 \text{ kg}$.]



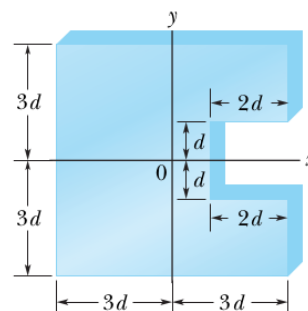
CENTRO DE MASSA

39. **Discursiva:** Um pesquisador tranquiliza um urso polar sobre a superfície plana e sem atrito de uma geleira. Discuta como seria possível que ele estimasse a massa do urso utilizando somente uma corda, um ponto de referência e uma trena, sabendo sua própria massa.

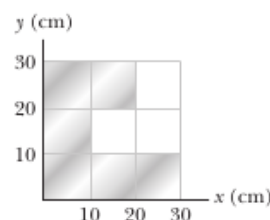
40. Calcule as coordenadas x e y do centro de massa da placa da figura abaixo. A densidade de massa por unidade de área σ é constante. As medidas da figura estão em milímetros. Lembre-se que $m = \sigma \cdot A$. [R.: $\vec{r}_{CM} = 40 \text{ mm } \hat{i} - 35 \text{ mm } \hat{j}$.]



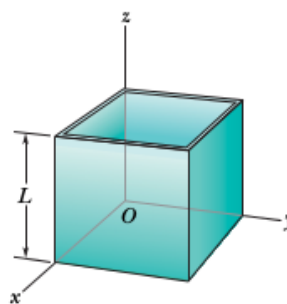
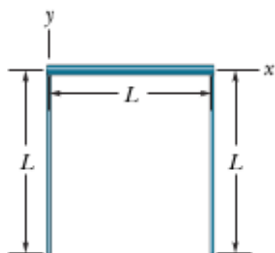
41. Considere a placa da figura abaixo, cuja densidade é uniforme. Calcule a posição do centro de massa da placa. [R.: $\vec{r}_{CM} = -0,25d \hat{i} + 0 \hat{j}$.]



42. Uma placa metálica tem a forma mostrada na figura abaixo. Determine as coordenadas x e y do centro de massa da placa. [R.: $\vec{r}_{CM} = 11,7 \text{ cm } \hat{i} + 13,3 \text{ cm } \hat{j}$.]



43. Na figura abaixo, três barras metálicas uniformes compõem um objeto cujo centro de massa estamos interessados em calcular. A barra da esquerda tem massa m , enquanto a da direita tem massa $3m$. A barra central é feita de um material mais leve e tem massa $0,700m$. Os comprimentos das barras são $L = 33,0 \text{ cm}$ e a massa total do objeto é de $400,0 \text{ g}$. Determine as coordenadas x e y do centro de massa. [R.: $\vec{r}_{CM} = 23,5 \text{ cm } \hat{i} - 14,0 \text{ cm } \hat{j}$.]



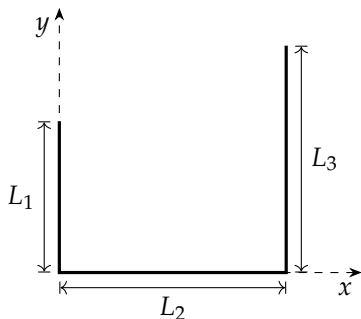
44. Suponha que estamos interessados em determinar a posição do centro de massa de um objeto construído ao se soldar três barras metálicas finas, de mesmo material, e de densidade homogênea. A figura abaixo mostra uma visão lateral do objeto, sendo que suas dimensões são

$$L_1 = 20 \text{ cm}$$

$$L_2 = 30 \text{ cm}$$

$$L_3 = 30 \text{ cm}.$$

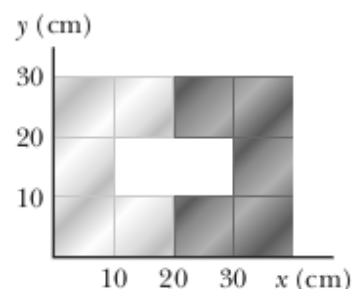
Determine a posição do centro de massa do objeto em relação ao sistema de coordenadas mostrado na figura. [R.: $x_{CM} = 16,875 \text{ cm}$, $y_{CM} = 8,125 \text{ cm}$.]



45. O diâmetro de Plutão é de aproximadamente 2370 km, enquanto o diâmetro de seu maior satélite, Caronte, é de 1250 km. A distância entre seus centros é de aproximadamente 19700 km. Assumindo que ambos tem a mesma densidade e que são aproximadamente esféricos, determine a posição do centro de massa do sistema em relação ao centro de Plutão. [R.: $x_{CM} = 2521 \text{ km}$.]

46. A figura abaixo mostra uma caixa cúbica que foi construída com placas metálicas uniformes de espessura desprezível. A caixa não tem tampa e tem uma aresta $L = 40,0 \text{ cm}$. Determine as coordenadas x , y e z do centro de massa da caixa. [R.: $\vec{r}_{CM} = L/2\hat{i} + L/2\hat{j} + 2L/5\hat{k}$.]

47. * A placa metálica mostrada na figura abaixo é composta de pequenas placas de dimensão $10,0 \text{ cm} \times 10,0 \text{ cm}$. A metade da esquerda é composta de uma lâmina cuja densidade superficial de massa é $\sigma_1 = 5,00 \text{ kg/m}^2$ e a da direita é composta por uma lâmina de mesma espessura, porém com densidade superficial de massa $\sigma_2 = 21,00 \text{ kg/m}^2$. Determine as coordenadas x e y do centro de massa. [R.: $x_{CM} = 26,8 \text{ cm}$, por simetria $y_{CM} = 15,0 \text{ cm}$.]



IMPULSO E FORÇA MÉDIA

48. **Discursiva:** Para rachar um tronco de lenha usando um martelo e uma cunha, um martelo pesado é mais eficiente que um leve? por quê?
49. **Discursiva:** Uma bola é pendurada ao teto através de uma corda, formando um pêndulo. A bola é deslocada fazendo com que o fio esticado forme um ângulo θ com a vertical. Neste momento um bloco de comprimento $4L$, largura $2L$ e profundidade $L/4$ é colocado perpendicularmente no caminho de oscilação do pêndulo, de forma que quando este for solto, ele colida com a face de dimensões $4L \times 2L$. Ao soltarmos o pêndulo em um primeiro teste, ele colide com o bloco e volta, sem derrubá-lo. Em um segundo teste, colocamos fitas adesivas que manterão o pêndulo preso ao bloco após a colisão. Nesse caso, é mais provável que o bloco caia, ou menos provável? Explique.
50. Tarzan está no caminho de uma manada de elefantes enfurecidos, quando Jane resolve intervir bravamente para salvá-lo. Estando sobre uma árvore alta, ela toma a ponta de um cipó disposto horizontalmente, sendo que a outra extremidade está presa ao galho de outra árvore, e salta com velocidade inicial

nula. O comprimento do cipó é $L = 25,0\text{ m}$. Quando chega ao ponto mais baixo da trajetória circular, ela segura Tarzan e ambos continuam na trajetória circular, chegando a um ponto mais alto e seguro. A massa de Jane é de $54,0\text{ kg}$ e a de Tarzan de $82,0\text{ kg}$.

- Qual é a velocidade máxima que Jane atinge (em km/h)? [R.: $v_{\text{Max}} = 22,1\text{ m/s} = 79,7\text{ km/h}$.]
- Qual é a altura máxima que ambos atingirão no movimento de subida? [R.: $h = 3,94\text{ m}$.]
- Se o tempo necessário para que Jane segure Tarzan é de $0,1\text{ s}$ (isto é, o tempo que dura a “colisão” entre eles), qual será o módulo da força média a que ambos estarão sujeitos? [R.: $7 \cdot 10^3\text{ N}$]

Suponha heróis ideais que suportem a colisão no ponto mais baixo.

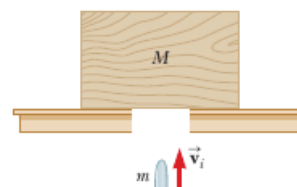


COLISÕES

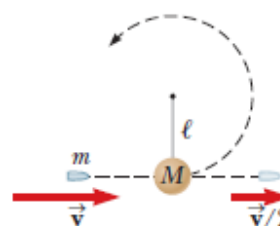
- Discursiva:** A probabilidade de um copo quebrar quando ele cai sobre um piso de concreto é maior do que quando ele cai sobre um piso de madeira. Por quê?
- Discursiva:** Uma metralhadora dispara sobre uma placa de aço. A força média oriunda do impacto é maior se a bala é refletida ou se ela amassa e fica grudada na placa? Explique.
- Discursiva:** Em uma colisão completamente inelástica entre dois corpos, quando eles permanecem unidos após a colisão, podemos achar um valor igual a zero para a energia cinética final do sistema? Caso sua resposta seja afirmativa, forneça um exemplo em que isso ocorre. Quando a energia cinética final do sistema for igual a zero, qual deverá ser o momento linear inicial do sistema?
- Um carro com massa de $1\,200\text{ kg}$ e velocidade $v_{Ci} = 25,0\text{ m/s}$, viajando para a direita, colide atrás de uma camionete de $9\,000\text{ kg}$ (veja a figura abaixo). A velocidade do camionete inicialmente era $v_{Ti} = 20,0\text{ m/s}$, também para a direita. A velocidade do carro imediatamente após a colisão é $v_{Cf} = 18,0\text{ m/s}$ para a direita.
 - Qual é a velocidade da camionete após a colisão? [R.: $v = 20,9\text{ m/s}$.]
 - Qual é a energia cinética antes e depois da colisão? A colisão é elástica? [R.: $K_i = 2,18 \cdot 10^6\text{ J}$, $K_f = 2,17 \cdot 10^6\text{ J}$. Não é elástica.]



- Um bloco de madeira de massa $M = 1,250\text{ kg}$ repousa sobre uma mesa, de acordo com a figura abaixo. Um projétil de massa $m = 5,00\text{ g}$ com uma velocidade inicial v_i é lançado de baixo para cima contra o bloco e fica alojado após a colisão. O sistema projétil-bloco salta a uma altura de $22,0\text{ cm}$ acima da mesa. Encontre a velocidade inicial do projétil. [R.: $v_i = 521\text{ m/s}$.]

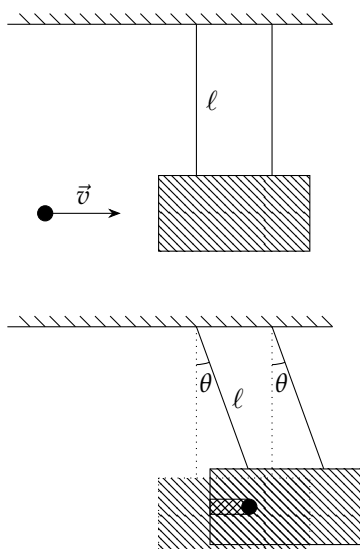


- A figura abaixo mostra uma colisão entre um projétil de massa $m = 20,0\text{ g}$ e velocidade v e um pêndulo formado por uma massa $M = 1,00\text{ kg}$ e uma haste rígida de comprimento $\ell = 35,0\text{ cm}$. O projétil emerge com velocidade $v/2$ após a colisão. Qual é o menor valor de velocidade para que a massa M chegue ao ponto mais alto da trajetória circular? Despreze a massa da haste. Como a haste é rígida, a massa terá velocidade zero no alto da trajetória. [R.: $v = 370\text{ m/s}$.]



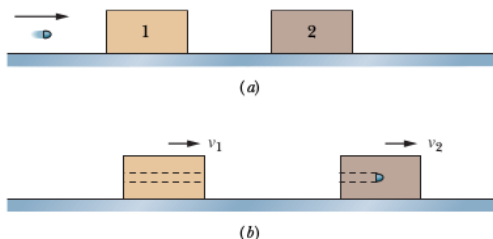
- Na figura abaixo, temos um pêndulo balístico. O projétil com massa m_p e velocidade v_p atinge o pêndulo de massa m_b , ficando alojado no bloco após a colisão. Prove que a razão entre a energia cinética final e a energia cinética inicial do sistema (imediatamente após a colisão) é dada por

$$\frac{K_{\text{sis}}^{\text{dc}}}{K_{\text{sis}}^{\text{ac}}} = \frac{m_p}{m_p + m_b}. \quad (112)$$

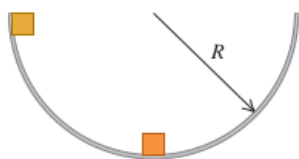


58. Na figura abaixo, parte (a), um projétil de 3,50 g é disparado horizontalmente contra dois blocos inicialmente em repouso sobre uma mesa sem atrito. O projétil atravessa o bloco 1 (com 1,200 kg de massa) e fica alojada no bloco 2 (com 1,800 kg de massa). Os blocos terminam com velocidades $v_1 = 0,630$ m/s e $v_2 = 1,40$ m/s (parte (b) da figura). Desprezando o material removido do bloco 1 pelo projétil,

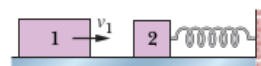
- (a) encontre a velocidade do projétil ao sair do bloco 1. [R.: $v_p^{AC2} = 721$ m/s.]
(b) encontre a velocidade do projétil ao entrar no bloco 1. [R.: $v_p^{AC1} = 937$ m/s.]



59. Duas caixas idênticas de massa m estão dispostas em uma pista semi-circular de raio $R = 10$ m como mostra a figura abaixo. A caixa que está no topo é liberada a partir do repouso, sofrendo uma colisão completamente inelástica com a caixa que está na parte inferior, cuja velocidade é nula. Desconsiderando o atrito, calcule qual será a altura máxima em relação ao ponto mais baixo que as duas caixas atingirão após colidir. [R.: $h = R/4$.]



60. Na figura, o bloco 2 (com massa de 1,0 kg) está em repouso sobre uma superfície sem atrito e em contato com uma extremidade de uma mola relaxada de constante elástica 200 N/m. A outra extremidade da mola está presa em uma parede. O bloco 1, com massa de 2,0 kg e que se move com uma velocidade $v_1 = 4,00$ m/s, colide com o bloco 2 e ambos passam a se deslocar juntos. No instante em que os blocos param momentaneamente devido à força elástica exercida pela mola, qual é a compressão da mola? [R.: $x_f = 0,33$ m.]



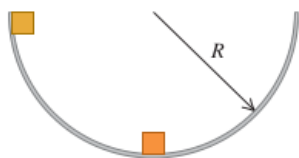
61. Suponha que um acelerador de partículas produz um feixe de partículas α (de massa m_α) cuja velocidade é de $1,50 \cdot 10^7$ m/s. O feixe é direcionado a um alvo e algumas partículas que incidem são defletidas por 180° devido a colisões com os núcleos dos átomos que compõe o alvo. Se elas retornarem com uma velocidade de $1,20 \cdot 10^7$ m/s e a colisão puder ser considerada elástica, com a velocidade inicial do alvo sendo zero,
- (a) Qual é a massa do núcleo do alvo em termos da massa das partículas α ? [R.: $h = 9m_\alpha$.]
(b) Qual é a velocidade do núcleo do alvo após a colisão? [R.: $v_n = \frac{2}{10}v_\alpha^i$.]



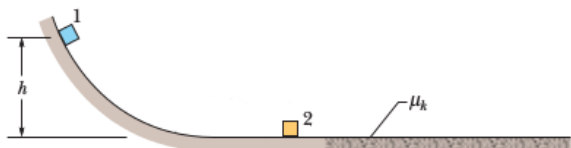
62. Dois blocos, de massas $m_A = 2,00$ kg e $m_B = 10,00$ kg podem se mover em um trilho retilíneo sem atrito. Inicialmente o bloco B está parado e o bloco A se move em sua direção a uma velocidade $v_A^{AC} = 2,00$ m/s. Os blocos são equipados com molas ideais que atuam como "para-choques".
- (a) Qual é a energia máxima armazenada nas molas? Dica: no instante em que a mola armazena a energia máxima, os blocos se movem momentaneamente com a mesma velocidade. [R.: $U_e = 3,33$ J.]
(b) Se a colisão é elástica, quais são as velocidades dos blocos após a colisão? [R.: $v_A^f = 1,33$ m/s e $v_B^f = 0,666$ m/s, em sentidos opostos.]

63. Duas caixas, uma de massa $m = 1,0$ kg (topo) e outra de massa $M = 2m$ (fundo) estão dispostas em uma pista semi-circular de raio $R = 1,0$ m como mostra a figura abaixo. Se a caixa que está no topo da pista for liberada a partir do repouso e a caixa que está na

parte mais baixa tem velocidade zero, determine a altura máxima — em relação ao ponto mais baixo — que ambas as caixas atingem após a colisão. Considere que a colisão é elástica. [R.: $h'_1 = R/9$, $h'_2 = 4R/9$.]



64. Na figura, o bloco de massa m_1 desliza sem velocidade inicial ao longo de uma rampa sem atrito a partir de uma altura $h = 2,50$ m e colide com o bloco 2 de massa $m_2 = 2 m_1$, inicialmente em repouso. Após a colisão, o bloco 2 desliza em uma região onde o coeficiente de atrito cinético é de 0,500 e para depois de percorrer uma distância d . Qual é o valor de d se a colisão é elástica? [R.: 2,2 m.]



65. * Uma bola de tênis e uma de basquete — com massas m_t e m_b , respectivamente — são soltas de uma altura h , de forma que seus centros estão perfeitamente alinhados com a vertical (veja a figura abaixo). Elas descem juntas, separadas por um vão de alguns milímetros, até que a bola de basquete quique no chão e depois as bolas colidam entre si. Calcule a altura máxima H que a bola de tênis atinge no movimento de subida, após a colisão. Assuma que há uma pequena separação entre as duas bolas e que

as colisões com o chão e entre as bolas são elásticas. As massas das bolas de tênis e de basquete são $m_t = 56,0$ g e $m_b = 623,7$ g, respectivamente, enquanto a distância que percorrem é $h = 1,0$ m. [R.: $H = h[(m_t - 3m_b)/(m_t + m_b)]^2 = 7,13$ m.]



66. * Um bloco de madeira e uma arma de fogo são afixados firmemente a lados opostos de um grande “carrinho” posto sobre um trilho de ar. A arma e o bloco estão a uma distância L um do outro. O sistema está inicialmente em repouso. A arma é disparada e o projétil deixa o cano com velocidade inicial v_0 , colidindo com o bloco, onde fica preso. A massa do projétil é m_p e a massa do sistema arma-carrinho-bloco m_s .
- Qual é a velocidade do carrinho imediatamente após a arma ser disparada? [R.: $v_s = -m_p v_p / m_s$.]
 - Qual é a velocidade do carrinho após o projétil colidir com o bloco? [R.: $v_s^F = 0$.]
 - Qual é o recuo que o carrinho sofre enquanto o projétil está em trânsito entre a arma e o bloco? [R.: $R = -L / (1 + m_s / m_p)$.]

