

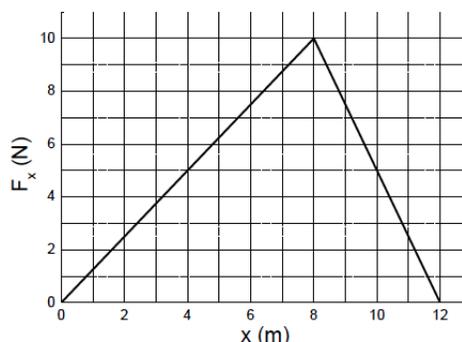
## LISTA DE EXERCÍCIOS 2

Essa lista trata dos conceitos de **trabalho, energia cinética e potencial, momento linear, momento angular, leis de conservação**. Tais conceitos são abordados nos capítulos 6 (seções 6.1 a 6.6), 7 (7.1 a 7.3 e 7.6), 8 (todas as seções) e 9 (seções 9.1 a 9.4) e 11 (seções 11.3 a 11.6a) do livro-texto:

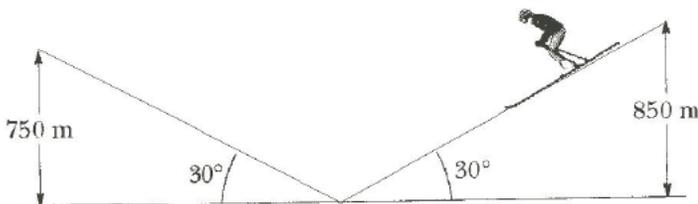
- Moysés Nussenzveig, *Curso de Física Básica*, vol. 1. - Mecânica.

### Trabalho e energia cinética

1. Uma menina aplica uma força  $\vec{F}$  paralela ao eixo  $Ox$  sobre um trenó de 10,0 kg que está se deslocando sobre a superfície congelada de um lago pequeno. À medida que ela controla a velocidade do trenó, o componente  $x$  da força que ela aplica varia com a coordenada  $x$  do modo indicado na figura ao lado. Calcule o trabalho realizado pela força  $\vec{F}$  quando o trenó se desloca



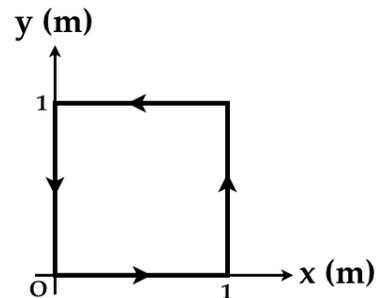
- a) de  $x = 0$  a  $x = 8,0$  m (40 J);  
 b) de  $x = 8,0$  m a  $x = 12,0$  m (20 J);  
 c) de  $x = 0$  a  $x = 12,0$  m (60 J).
2. Um elevador possui massa de 600 kg, não incluindo a massa dos passageiros. O elevador foi projetado para subir com velocidade constante uma distância vertical de 20,0 m (cinco andares) em 16,0 s, sendo impulsionado por um motor que fornece ao elevador uma potência máxima de 29,84 kW. Qual é o número máximo de passageiros que o elevador pode transportar? Suponha que cada passageiro possua massa de 65,0 kg. (28)
3. Dois montes têm altitudes de 850 m e 750 m em relação ao vale que os separa (figura abaixo). Uma pista de esqui vai do alto do monte maior até o alto do monte menor, passando pelo vale. O comprimento total da pista é 3,2 km e a inclinação média é  $30^\circ$ .



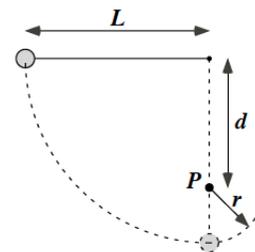
- a) Um esquiador parte do repouso no alto do monte maior. Com que velocidade chegará ao alto do monte menor sem se impulsionar com os bastões? Ignore o atrito. (44,3 m/s)
- b) Qual deve ser aproximadamente o coeficiente de atrito dinâmico entre a neve e os esquis para que o esquiador pare exatamente no alto do pico menor? (0,0361)

4. Exercícios 7 do capítulo 6 do livro-texto.
5. Uma partícula se move no plano  $xy$  sob a ação da força  $\vec{F}_1 = 10(y\hat{x} - x\hat{y})$ , onde  $|\vec{F}_1|$  é medido em Newtons e  $x$  e  $y$  em m.

- a) Calcule o trabalho realizado por  $\vec{F}_1$  ao longo do quadrado indicado na figura.
- b) Faça o mesmo para  $\vec{F}_2 = 10(y\hat{x} + x\hat{y})$ .
- c) O que você pode concluir a partir de a) e b) sobre o caráter conservativo ou não de  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$ ?

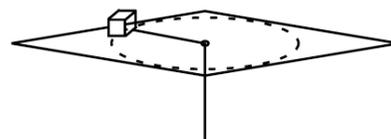


6. A corda da figura tem  $L = 120$  cm de comprimento e a distância  $d$  até o pino fixo  $P$  é de 75 cm. Quando a bola é liberada, a partir do repouso na posição indicada na figura, descreve a trajetória indicada pela linha tracejada. Qual é a velocidade da bola



- a) quando está passando pelo ponto mais baixo da trajetória e (4,8 m/s)
- b) quando chega ao ponto mais alto da trajetória depois que a corda toca o pino? (2,4 m/s)
- c) Mostre que para que a bola faça uma volta completa em torno do pino  $d > \frac{3L}{5}$ . (Sugestão: A bola ainda deve estar se movendo quando chegar ao ponto mais alto da trajetória).

7. Um pequeno bloco com massa de 0,120 kg está ligado a um fio que passa através de um buraco em uma superfície horizontal sem atrito. O bloco inicialmente gira a uma distância de 0,40 m do buraco com uma velocidade de 0,70 m/s. A seguir o fio é puxado por baixo, fazendo o raio do círculo se encurtar para 0,10 m. Nessa nova distância verifica-se que sua velocidade passa para 2,80 m/s.



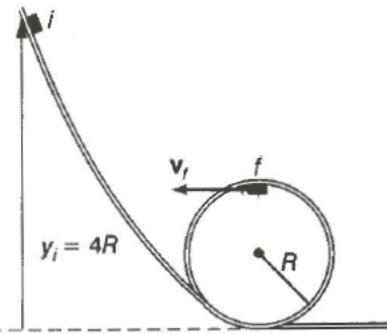
- a) Qual era a tensão no fio quando o bloco possuía velocidade 0,70 m/s? (0,147 N)
- b) Qual a tensão no fio quando o bloco possui velocidade final de 2,80 m/s? (9,408 N)
- c) Qual foi o trabalho realizado pela pessoa que puxou o fio? (0,441 J)

### Conservação de energia

8. Exercício 2 do capítulo 6 do livro-texto.
9. Uma bola de beisebol é lançada do telhado de um edifício de 22,0 m de altura com uma velocidade inicial de magnitude 12,0 m/s e formando um ângulo de  $53,1^\circ$  acima da horizontal.

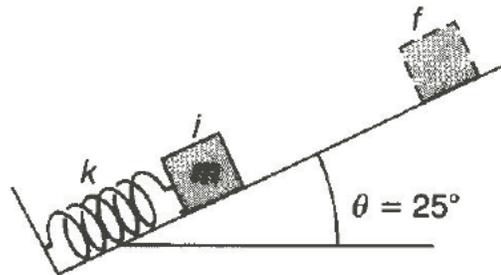
- a) Qual é a velocidade da bola imediatamente antes de colidir com o solo? (Despreze a resistência do ar). (24,0 m/s)
- b) Qual seria a resposta da parte a) se a velocidade inicial formasse um ângulo de  $53,1^\circ$  abaixo da horizontal? (Despreze a resistência do ar). (24,0 m/s)
- c) Se você não desprezar a resistência do ar, a maior velocidade será obtida na parte (a) ou na parte (b)? (Parte b))
10. Tarzan, que pesa 688 N, decide usar um cipó de 18 m de comprimento para atravessar um abismo. Do ponto de partida até o ponto mais baixo da trajetória ele desce 3,2 m. O cipó é capaz de resistir a uma força máxima de 950 N. Tarzan consegue chegar ao outro lado? (Sim pois  $T = 933$  N)

11. Um pequeno cubo de gelo de massa  $m$  desliza, com atrito desprezível, ao longo de um trilho em laço conforme a figura. O gelo parte do repouso no ponto  $y_i = 4R$  acima do nível da parte mais baixa do trilho.



- a) Qual a velocidade do cubo de gelo no ponto  $f$ , o ponto mais alto da parte circular do trilho? ( $\sqrt{4gR}$ )
- b) Qual a força normal exercida sobre o gelo nesse ponto? ( $3mg$ )

12. Um bloco de 2,1 kg é mantido contra uma mola leve (de massa desprezível) cuja constante é  $k = 2400$  N/m e que sofre uma compressão de 0,15 m. O bloco é liberado do repouso no ponto  $i$  e a mola projeta o bloco por uma rampa ascendente de  $25^\circ$ , conforme a figura. O bloco entra em repouso momentâneo no ponto  $f$ . Considere o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e a rampa igual a 0,20. Admita que o bloco perca o contato com a mola quando esta está relaxada.



- a) Qual a distância, na rampa, do ponto  $f$  ao ponto  $i$ ? (2,17 m)
- b) Quando o bloco desliza de volta rampa a baixo, qual a velocidade no ponto médio do caminho entre  $f$  e  $i$ ? (2,27 m/s)
13. Exercício 2 do capítulo 7 do livro-texto.
14. Observa-se que uma certa mola não obedece à Lei de Hooke. A força (em Newtons) que ela exerce quando esticada de uma distância  $x$  (em metros) possui uma intensidade igual a  $52,8x + 38,4x^2$  na direção contrária ao alongamento.
- a) Calcule o trabalho necessário para alongar a mola de  $x = 0,50$  m até 1,00 m. (31,0 J)

- b) Com uma das extremidades da mola fixa, uma partícula de massa igual a 2,17 kg é presa à outra extremidade da mola quando esta é esticada de uma distância  $x = 1,00$  m. Se a partícula for solta do repouso neste instante, qual será a sua velocidade no instante em que a mola tiver retornado à configuração na qual seu alongamento é de  $x = 0,50$  m? (5,34 m/s)
- c) A força exercida pela mola é conservativa ou não-conservativa? Explique. (conservativa)
15. A energia potencial de uma partícula de massa  $m = 0,5$  kg que se move ao longo do eixo  $x$  ( $x > 0$ ) é dada por

$$U(x) = \frac{1}{x^2} - \frac{2}{x}$$

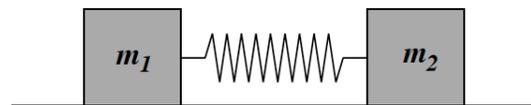
com  $U$  em Joules e  $x$  em metros.

- a) Esboce o gráfico de  $U(x)$ .
- b) Determine a força  $F(x)$  que age sobre a partícula. ( $F(x) = \frac{2}{x^3} - \frac{2}{x^2}$ )
- c) Qual o valor de  $x_0$  correspondente ao ponto de equilíbrio? ( $x_0 = 1$  m)
- d) Supondo que a partícula seja abandonada na posição  $x_1 = 0,75$  m, qual é o valor máximo  $x_2$  da coordenada  $x$  que ela atingirá. ( $x_2 = 1,5$  m)
- e) Qual é o valor da velocidade  $v$  da partícula ao passar pelo ponto de equilíbrio. ( $v_f = \frac{2}{3}$  m/s)
16. Exercício 12 do capítulo 7 do livro-texto.

### Momento linear

17. Uma força exerce um impulso  $J$  sobre um objeto de massa  $m$ , alterando a velocidade deste de  $v$  para  $u$ . A força e o movimento do objeto têm a mesma direção. Mostre que o trabalho realizado pela força é  $J(u + v)/2$ .
18. Uma força resultante  $\sum F_x(t) = A + Bt^2$  no sentido do eixo  $+Ox$  é aplicada sobre uma garota que está sobre uma prancha de skate. A força começa a atuar no instante  $t_1 = 0$  e continua até  $t_2$ .
- a) Qual é o impulso  $J_x$  da força? ( $At_2 + Bt_2^3/3$ )
- b) A garota inicialmente está em repouso, qual é a sua velocidade no instante  $t_2$ ? ( $At_2/m + Bt_2^3/m$ )

19. Exercício 10 do capítulo 8 do livro-texto.
20. A figura mostra dois blocos ligados por uma mola e livres para deslizarem sobre uma superfície horizontal sem atrito. Os blocos, cujas massas são  $m_1$  e  $m_2$ , primeiro são afastados um do outro e depois largados a partir do repouso.



Que fração da energia cinética total do sistema terá cada bloco, num instante posterior qualquer? ( $f_1 = \frac{m_2}{m_1+m_2}$  e  $f_2 = \frac{m_1}{m_1+m_2}$ )

21. Um foguete com estágio único é disparado a partir do repouso no espaço sideral, onde a gravidade é desprezível. Sabendo que ele queima seu combustível em 50,0 s e que a velocidade relativa do gás de exaustão é dada por  $v_{ex} = 2100$  m/s, qual deve ser a razão  $m_0/m$  para ele atingir uma velocidade final de 8,00 km/s (a velocidade orbital aproximada de um satélite artificial da Terra)? ( $\simeq 45,1$ )
22. Considere um foguete livre (sem forças externas) que parte do repouso e ejeta combustível com velocidade  $u_e$ . A cada ejeção (ou estágio), a razão da massa inicial para a massa final  $m_i/m_f$  é constante e igual a  $k$ . Demonstre que após  $n$  estágios a velocidade do foguete será  $nu_e \ln(k)$ .
23. Uma toalha de mesa sobre a qual repousa um bolo, sofre uma força  $\vec{F}$ . A mesa circular possui um raio  $r = 0,9$  m e o bolo está em repouso sobre a toalha no centro da mesa. Você puxa rapidamente a beirada da toalha. O bolo permanece em contato com a toalha durante um intervalo de tempo  $t$  depois que você começa a puxar. A seguir o bolo desliza um pouco e pára em virtude do atrito entre a mesa e o bolo. O coeficiente de atrito cinético entre o bolo e a toalha da mesa é  $\mu_{c1} = 0,30$  e o coeficiente de atrito cinético entre a mesa e o bolo é  $\mu_{c2} = 0,40$ . Aplique o teorema do impulso e o teorema do trabalho energia cinética a fim de calcular o valor máximo de  $t$  para que o bolo não caia sobre o solo. (Sugestão: suponha que o bolo percorra uma distância  $d$  quando ainda está sobre a toalha da mesa e, portanto, uma distância  $r - d$  da borda da mesa. Suponha que as forças de atrito sejam independentes da velocidade relativa entre as superfícies em contato). (0,59 s)
24. Para um sistema de coordenadas cartesiano  $(x; y)$ , uma partícula (1) encontra-se inicialmente em repouso na origem e outra (2), de 0,5 kg, encontra-se na posição  $P = (6; 0)$  m, com o centro de massa do sistema na posição  $(2,4; 0)$  m. A velocidade do centro de massa é dada por  $V_{cm} = 0,75t^2$  m/s (para  $t$  em segundos) ao longo do eixo  $x$ . Determine:
- a) a massa da partícula na origem, (0,75 kg)
  - b) a aceleração do centro de massa. ( $a = 1,5t$  m/s<sup>2</sup> ao longo do eixo  $x$ , para  $t$  em segundos)
  - c) Admita que as forças são iguais para as duas partículas. Com base nesta informação, explicita a aceleração de cada uma delas. ( $a_1 = \frac{m_1+m_2}{2m_1}a_{cm}$  e  $a_2 = \frac{m_1+m_2}{2m_2}a_{cm}$ )
25. Um míssil de massa  $m$  lançado com uma velocidade inicial  $v_0$  formando um ângulo  $\theta = 45^\circ$  com a horizontal explode no ponto mais alto da trajetória  $O$  em duas partes iguais. Sabendo que uma delas cai embaixo do ponto  $O$ , calcule as velocidades dessas partes imediatamente antes de colidir com o solo. ( $v_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}v_0$  e  $v_2 = \sqrt{\frac{5}{2}}v_0$ )
26. A posição de três partículas de massas  $m_1 = 1$  kg,  $m_2 = 1$  kg e  $m_3 = 2$  kg são dadas pelos seguintes vetores posição:  $\vec{r}_1(t) = (3 - 5t^2)\hat{y}$  m,  $\vec{r}_2(t) = 3\hat{x} + (5 - 5t^2)\hat{y}$  m e  $\vec{r}_3(t) = (4 + 2t)\hat{x} + (2 - 5t^2)\hat{y}$  m medidos a partir do sistema laboratório.
- (a) Determine a posição de cada partícula e a posição do centro de massa do sistema em  $t = 0$ .

- (b) Faça um esquema cuidadoso no plano cartesiano da situação dos quatro vetores posição do item (a).
- (c) Determine a posição e a aceleração do centro de massa para um instante  $t$  qualquer.
- (d) Há forças externas no sistema? Encontre a força externa ou argumente porque não há forças externas.

### Momento angular

27. No instante anterior a uma colisão totalmente elástica contra uma partícula-alvo, a velocidade e a posição de uma partícula de massa  $m = 3$  kg são medidas em relação ao referencial do laboratório. Sua velocidade inicial é  $\vec{v} = 2,0\hat{x}$  m/s e sua posição é  $\vec{r} = 5\hat{x} + 2\hat{y}$  m. No instante logo após a colisão, verifica-se que a partícula tem velocidade  $\vec{v} = -1,0\hat{x}$  m/s.
- a) Faça um esquema cuidadoso da situação apresentada no problema. Indique os vetores posição e velocidade final e inicial.
  - b) Calcule a variação de momento linear da partícula e, supondo que a colisão durou  $10^{-3}$  s, calcule a força que agiu sobre a partícula durante a colisão.
  - c) Determine o momento angular inicial e final da partícula.
  - d) Também considerando que a colisão durou 1 ms, determine o torque que agiu sobre a partícula.
  - e) Se a partícula-alvo estava inicialmente em repouso em relação ao mesmo referencial, determine os momentos linear e angular final da partícula alvo.
- Dica geral:* perceba que todas as grandezas pedidas são vetoriais!
28. Calcule o momento angular final e inicial correspondente a situação do exercício 7. Discuta o resultado.
29. Um satélite de massa  $m$  está em órbita circular de raio  $r$  ao redor do planeta Terra.
- a) Qual o momento angular, calculado em referência ao centro da órbita, deste satélite? (use massa da Terra igual a  $M$ ).
  - b) Para  $m = 100$  kg, qual o valor número do momento angular se o raio da órbita é duas vezes o raio da Terra? (você não precisa usar o valor numérico para o raio da Terra)
30. Um satélite de massa  $m$  e órbita circular de raio  $r_0$  em torno da Terra possui momento angular  $L$ . Expresse as suas energias cinética  $K$ , potencial  $U$  e energia mecânica total  $E$  em termos de  $L$ ,  $m$  e  $r_0$ .