

## LISTA DE EXERCÍCIOS 2

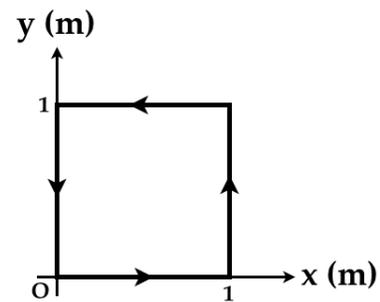
Essa lista trata dos conceitos de **trabalho, energia cinética e potencial, momento linear, e leis de conservação de energia mecânica e momento**. Tais conceitos são abordados nos capítulos 6, 7, 8 e 9 do livro-texto:

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

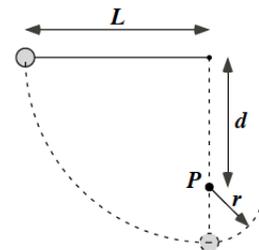
### Conservação de energia

1. 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.

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



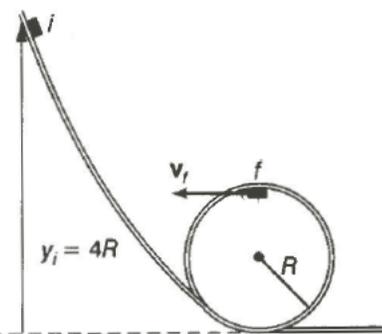
2. A corda da figura tem  $L = 120$  cm de comprimento e a distância  $d$  até o pino fixo  $P$  é de 75 cm. Quando a bola é liberada, a partir do repouso na posição indicada na figura, descreve a trajetória indicada pela linha tracejada. Qual é a velocidade da bola



- quando está passando pelo ponto mais baixo da trajetória e (4,8 m/s)
- quando chega ao ponto mais alto da trajetória depois que a corda toca o pino? (2,4 m/s)
- 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).

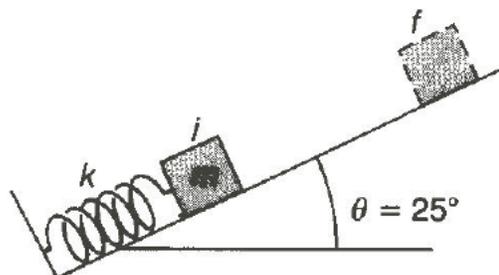
3. Exercício 2 do capítulo 6 do livro-texto.
4. Uma bola de beisebol é lançada do telhado de um edifício de 22,0 m de altura com uma velocidade inicial de magnitude 12,0 m/s e formando um ângulo de  $53,1^\circ$  acima da horizontal.
- Qual é a velocidade da bola imediatamente antes de colidir com o solo? (Despreze a resistência do ar). (24,0 m/s)
  - 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)
  - Se você não desprezar a resistência do ar, a maior velocidade será obtida na parte (a) ou na parte (b)? (Parte b)
5. 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)

6. 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.



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

7. 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.



- Qual a distância, na rampa, do ponto  $f$  ao ponto  $i$ ? (2,17 m)
  - 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)
8. Exercício 2 do capítulo 7 do livro-texto.

9. 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.
- Calcule o trabalho necessário para alongar a mola de  $x = 0,50$  m até  $1,00$  m. (31,0 J)
  - 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)
  - A força exercida pela mola é conservativa ou não-conservativa? Explique. (conservativa)
10. 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.

- Esboce o gráfico de  $U(x)$ .
  - Determine a força  $F(x)$  que age sobre a partícula. ( $F(x) = \frac{2}{x^3} - \frac{2}{x^2}$ )
  - Qual o valor de  $x_0$  correspondente ao ponto de equilíbrio? ( $x_0 = 1$  m)
  - 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)
  - Qual é o valor da velocidade  $v$  da partícula ao passar pelo ponto de equilíbrio. ( $v_f = \frac{2}{3}$  m/s)
11. Exercício 12 do capítulo 7 do livro-texto.

### Potência

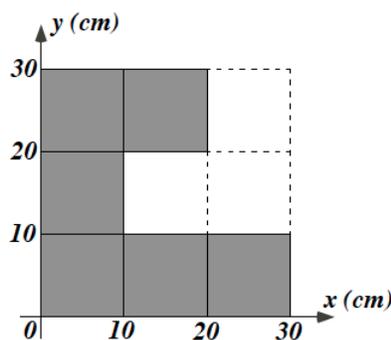
12. Um elevador possui massa de  $600$  kg, não incluindo a massa dos passageiros. O elevador foi projetado para subir com velocidade constante uma distância vertical de  $20,0$  m (cinco andares) em  $16,0$  s, sendo impulsionado por um motor que fornece ao elevador uma potência máxima de  $29,84$  kW. Qual é o número máximo de passageiros que o elevador pode transportar? Suponha que cada passageiro possua massa de  $65,0$  kg. (28)
13. Considere os dados do fabricante de um carro: potência do motor de  $57,4$  kW (78 cv), massa de  $1$  tonelada (com passageiros).
- A aceleração é apresentada em termos do tempo que leva para o carro partir do repouso e chegar a  $100$  km/h. Para o modelo em questão, em  $13,4$  s. Qual a potência média fornecida ao carro neste intervalo? Qual a razão entre esta potência e a potência máxima do motor? (28,6 kW; aprox. 50%).

b) Boa parte da potência fornecida pelo motor é dissipada pelo arrasto aerodinâmico do carro. Esta força é dada por  $F_a = \frac{1}{2}\rho C_x A v^2$ , onde  $\rho$  é a densidade do ar ( $1,23 \text{ kg/m}^3$ ),  $C_x$  é o coeficiente aerodinâmico (cerca de  $0,35$ ), e  $A$  é a seção reta transversal do veículo ( $2,24 \text{ m}^2$ ). Com estes dados, estime qual a velocidade máxima que o veículo pode atingir. ( $177 \text{ km/h}$ ).

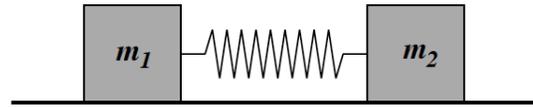
Para referência, os dados correspondem a um Corsa/GM, modelo 2000, cuja velocidade máxima é de  $161 \text{ km/h}$ . Você pode comparar o desempenho com veículos de diferentes características (esportivos, utilitários, sedan de luxo) quanto a estes parâmetros (potência, massa, coeficiente aerodinâmico e área transversal).

### Momento linear

14. 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  $J(u + v)/2$ .
15. 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  $t_2$ ? ( $At_2/m + Bt_2^3/m$ )
16. Considere uma colisão frontal perfeitamente inelástica, entre um carro e um caminhão, que estejam se deslocando com uma velocidade de  $8 \text{ m/s}$ . As massas totais dos veículos, incluindo as massas dos motoristas ( $80 \text{ kg}$ ), são  $800 \text{ kg}$  para o carro e  $4000 \text{ kg}$  para o caminhão. Se o tempo de colisão é de  $0,12 \text{ s}$ , qual a força média exercida pelo cinto de segurança sobre cada motorista? ( $1778$  e  $8889 \text{ N}$ , módulo da força sobre o motorista do caminhão e do carro, respectivamente.)
17. Uma chapa de aço, de densidade uniforme, tem o formato da figura. Calcule as coordenadas  $x_{cm}$  e  $y_{cm}$  do centro de massa da peça. ( $(11,7; 13,3) \text{ cm}$ )



18. Exercício 10 do capítulo 8 do livro-texto.
19. 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  $f_2 = \frac{m_1}{m_1+m_2}$ )

20. 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)
21. 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  $a_2 = \frac{m_1+m_2}{2m_2}a_{cm}$ )
22. 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  $v_2 = \sqrt{\frac{5}{2}}v_0$ )
23. 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  $t = 0$ .

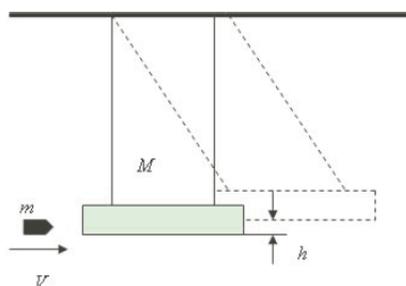
- (b) Faça um esquema cuidadoso no plano cartesiano da situação dos quatro vetores posição do item (a).
- (c) Determine a posição e a aceleração do centro de massa para um instante  $t$  qualquer.
- (d) Há forças externas no sistema? Encontre a força externa ou argumente porque não há forças externas.

### Sistemas de massa variável

24. Um foguete é disparado no espaço sideral, onde a gravidade é desprezível. No primeiro segundo ele emite  $1/160$  da sua massa como gás de exaustão e possui uma aceleração igual a  $15,0 \text{ m/s}^2$ . Qual é o módulo da velocidade do gás de exaustão em relação ao foguete?
25. 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  $50,0 \text{ s}$  e que a velocidade relativa do gás de exaustão é dada por  $v_{ex} = 2100 \text{ m/s}$ , qual deve ser a razão  $m_0/m$  para ele atingir uma velocidade final de  $8,00 \text{ km/s}$  (a velocidade orbital aproximada de um satélite artificial da Terra)? ( $\simeq 45,1$ )

### Colisões, conservação de momento

26. Uma mosca paira no ar e dela se aproxima um elefante enraivecido que corre a  $2,1 \text{ m/s}$ . Suponha que a colisão seja elástica; a que velocidade a mosca é lançada após a colisão? ( $4,2 \text{ m/s}$ )
27. Um vagão de carga de  $35$  toneladas choca-se com outro vagão que está parado. Eles engatam e  $27\%$  da energia cinética inicial é dissipada como calor, som, vibrações, etc. Determine a massa do segundo vagão. ( $12,9$  toneladas).
28. Um pêndulo balístico (ver figura) é um dispositivo para medir as velocidades de projéteis e foi utilizado quando não existiam aparelhos eletrônicos para esse fim. Ele consiste em um grande bloco de madeira, de massa  $M$ , suspenso por dois longos pares de fios. Um projétil de massa  $m$  é lançado sobre o bloco, onde fica cravado. O conjunto bloco+projétil, imediatamente após o choque, oscila e seu centro de massa sobe verticalmente uma distância  $h$  antes do pêndulo parar. Suponha  $M = 5,4 \text{ kg}$  e  $m = 9,5 \text{ g}$ . Qual a velocidade inicial do projétil se o bloco se elevar à altura  $h = 6,3 \text{ cm}$ ? ( $633 \text{ m/s}$ )



29. Uma partícula de massa  $m$  desloca-se com velocidade  $v$  em direção a duas outras partículas idênticas, de massas  $m'$ , alinhadas em um mesmo eixo, inicialmente separadas e em repouso. As colisões entre as partículas são elásticas.

- a) Mostre que, para  $m < m'$  haverá duas colisões, e calcule as velocidades finais das três partículas.  $(v_1 = \frac{m-m'}{m+m'}v \leq 0; v_2 = 0; v_3 = \frac{2m}{m+m'}v)$
- b) Mostre que, para  $m > m'$ , haverá três colisões, e calcule as velocidades finais das três partículas.  $(v_1 = \frac{m-m'}{m+m'}^2 v < v_2 = \frac{2m(m-m')}{(m+m')^2}v < v_3 = \frac{2m}{m+m'}v)$
- c) Verifique que, no caso a), o resultado para a primeira e a terceira partícula é o mesmo que se a partícula intermediária não existisse.
30. Um núcleo de  $\text{Th}^{232}$  (Tório) em repouso decai para um núcleo de  $\text{Ra}^{228}$  (Rádio) com emissão de uma partícula  $\alpha$ . A energia cinética total dos fragmentos da desintegração é igual a  $6,54 \times 10^{-13}$  J. A massa de uma partícula  $\alpha$  é 1,76 por cento da massa de um núcleo de  $\text{Ra}^{228}$ . Calcule a energia cinética
- a) do núcleo de  $\text{Ra}^{228}$  ( $\simeq 0,11 \times 10^{-13}$  J)
- b) da partícula  $\alpha$ . ( $\simeq 6,43 \times 10^{-13}$  J)
31. Qual o ângulo máximo de espalhamento elástico de uma partícula  $\alpha$  por um nêutron em repouso? (a massa da partícula  $\alpha$  é 4 vezes a massa do nêutron). Neste ângulo, que fração da energia cinética incidente vai para o recuo do nêutron? ( $14,5^\circ$ ; 0,4)