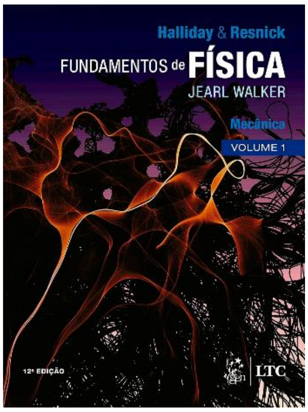
Física I-Energia Cinética e Trabalho

Baseado no capítulo 7 do livro: Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1. GEN | LTC. Edição do Kindle.



Disponível na Amazon: https://www.amazon.com.br/Fundamentos-F%C3%ADsica-Mec%C3%A2nica-David-Halliday/dp/8521637225

Resumo dos Principais Conceitos

Energia Cinética

Definimos a energia cinética K de uma partícula de massa m em velocidade não-relativística v pela seguinte expressão.

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

Trabalho

Definimos o trabalho W como a energia transferida para um objeto ou de um objeto por uma força $\vec{F}$ que age sobre o objeto. O trabalho é positivo quando o objeto recebe energia e negativo quando o objeto cede energia. Trabalho e energia são medidos em Joules.

Trabalho Realizado por uma Força Constante

A expressão para o trabalho W realizado sobre uma partícula por uma força constante $\vec{F}$ durante um deslocamento $\vec{d}$ é definida abaixo.

$$W = Fd\cos\phi = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

Na equação acima, temos que ϕ representa o ângulo entre os vetores força $\vec{F}$ e deslocamento $\vec{d}$. O trabalho W só é realizado pela projeção da força $\vec{F}$ na direção do deslocamento $\vec{d}$. Em resumo, o trabalho W é o produto escalar dos vetores força $\vec{F}$ e deslocamento $\vec{d}$. No caso de várias forças atuando sobre o objeto, temos que o trabalho total é a soma dos trabalhos realizados pelas forças. Também podemos considerar que o trabalho total é aquele realizado pela força resultante $\vec{F}_{res}$.

Trabalho e Energia Cinética

Consideremos a expressão da velocidade v, em função do deslocamento ($x - x_0$), da aceleração constante a e da velocidade inicial (v_0) como indicada a seguir.

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$$

Da segunda lei de Newton, sabemos que a força ao longo do eixo x é dada pela seguinte expressão.

$$F_x = ma$$

Se multiplicarmos ambos os lados da expressão da velocidade v, temos o seguinte resultado.

$$mv^2 - mv_0^2 = 2ma(x - x_0)$$

Rearranjando-se os termos da expressão acima, chegamos à seguinte equação.

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = ma(x - x_0)$$

Assim, vemos que o lado esquerdo da expressão acima nos indica que a energia cinética foi alterada pela força, e o lado direito nos mostra que a mudança é igual a $F_x d$.

Considerando-se que do lado esquerdo temos a expressão da energia cinética K e que x-x_0 é o deslocamento d, podemos reescrever a expressão acima como segue.

$$\Delta K = K_f - K_i = F_x d$$

Para uma partícula, vemos que a variação ΔK da energia cinética é igual ao trabalho total W realizado sobre a partícula. Esse resultado é chamado de **teorema do trabalho e energia cinética**:

$$\Delta K = K_f - K_i = W$$

em que K_i é a energia cinética inicial da partícula e K_f é a energia cinética da partícula após o trabalho W ter sido realizado. Podemos rearranjar os termos da equação acima, para isolar a energia cinética final (K_f), como indicado a seguir.

$$K_f = K_i + W$$

Trabalho Realizado pela Força Gravitacional

O trabalho W_g realizado pela força gravitacional $\vec{F}_g$ sobre uma partícula (ou sobre um objeto que se comporta como uma partícula) de massa m durante um deslocamento $\vec{d}$ é dado por

$$W_g = mgd\cos\phi = \vec{F}_g \cdot \vec{d}$$

em que ϕ é o ângulo entre os vetores $\vec{F}_g$ e $\vec{d}$.

Trabalho Realizado para Levantar e Abaixar um Objeto

O trabalho W_a realizado por uma força aplicada quando um objeto que se comporta como uma partícula é levantado ou abaixado está relacionado com o trabalho W_g realizado pela força gravitacional e à variação ΔK da energia cinética do objeto por meio da seguinte equação.

$$\Delta K = K_f - K_i = W_g + W_a$$

Se $K_f = K_i$, a equação acima se reduz a

$$W_a = -W_g$$

segundo a qual a energia cedida ao objeto pela força aplicada é igual à energia extraída do objeto pela força gravitacional.

Força Elástica

A força $\vec{F}_s$ de uma mola é

$$\vec{F}_s = -k\vec{d} \text{ (Lei de Hooke)}$$

em que $\vec{d}$ é o deslocamento da extremidade livre da mola em relação à posição que ocupa quando a mola está no estado relaxado (nem comprimida nem alongada) e k é a constante elástica (uma medida da rigidez da mola). Se um eixo x é traçado ao longo do comprimento da mola, com a origem na posição da extremidade livre da mola no estado relaxado, a equação acima pode ser escrita na forma

$$F_x = -kx \text{ (Lei de Hooke)}$$

A força elástica é, portanto, uma força variável: ela varia com o deslocamento da extremidade livre da mola.

Trabalho Realizado por uma Força Elástica

Se um objeto está preso à extremidade livre de uma mola, o trabalho W_s realizado sobre o objeto pela força elástica quando o objeto é deslocado de uma posição inicial x_i para uma posição final x_f é dado por

$$W_s = \int_{x_i}^{x_f} F_x dx = \int_{x_i}^{x_f} -kx\, dx = -k\int_{x_i}^{x_f} x\, dx$$

Resolvendo a integral entre x_i e x_f, temos

$$W_s = -k\frac{x_f^2}{2} - \left(-k\frac{x_i^2}{2}\right)$$

Ou seja, temos

$$W_s = k\frac{x_i^2}{2} - k\frac{x_f^2}{2}$$

Se $x_i = 0$ e fazendo-se $x_f = x$, chegamos,

$$W_s = -k\frac{x^2}{2}$$

Trabalho Realizado por uma Força Variável

Quando a força $\vec{F}$ aplicada a um objeto que se comporta como uma partícula depende da posição do objeto, o trabalho realizado por $\vec{F}$ sobre o objeto enquanto o objeto se move de uma posição inicial r_i de coordenadas (x_i, y_i, z_i) para uma posição final r_f de coordenadas (x_f, y_f, z_f) pode ser calculado integrando a força. Supondo que a componente F_x é uma função somente de x, que F_y é função de y e F_z é função somente da variável z, a expressão do trabalho W tem a seguinte forma.

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F_x dx + \int_{y_i}^{y_f} F_y dy + \int_{z_i}^{z_f} F_z dz$$

Se $\vec{F}$ possui apenas a componente x, a equação acima se reduz a

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F(x) dx$$

Teorema do Trabalho e Energia Cinética para uma Força Variável

Podemos usar a expressão do trabalho para uma força variável $F(x)$ para verificar se o teorema do trabalho e energia cinética é valido para uma força variável. Considere uma partícula de massa m que se desloca ao longo do eixo x e está sujeita a uma força variável $F(x)$ paralela ao eixo x. De acordo com a equação anterior, o trabalho W realizado pela força variável $F(x)$ sobre a partícula que se desloca da posição x_i para a posição x_f é definido pela seguinte expressão.

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F(x) dx = \int_{x_i}^{x_f} ma\, dx$$

Sabemos que a aceleração (a) é a derivada da velocidade (v) em relação ao tempo (t).

$$a = \frac{dv}{dt}$$

A partir da regra da cadeia para derivadas, temos o seguinte resultado.

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx}\frac{dx}{dt} = \frac{dv}{dx}v$$

Fazendo-se a substituição da derivada acima na expressão do trabalho, chegamos à seguinte expressão.

$$W = \int_{x_i}^{x_f} ma\, dx = \int_{x_i}^{x_f} m\frac{dv}{dt}\, dx = \int_{x_i}^{x_f} m\frac{dv}{dx} v\, dx$$

Extraindo-se a constante m e cancelando o dx da integral à direita, temos o seguinte resultado.

$$W = m\int_{v_i}^{v_f} v\, dv$$

Vejam que os limites da integral agora são v_i e v_f, visto que mudamos de *dx* para *dv*. Finalmente resolvendo-se a integral da direita, chegamos ao seguinte resultado.

$$W = m\int_{v_i}^{v_f} v\, dv = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$W = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

O resultado acima é o previsto pelo **teorema do trabalho e energia cinética**, agora demonstrado sua validade para uma força variável.

Potência

A potência desenvolvida por uma força é a taxa com a qual a força realiza trabalho sobre um objeto. Se a força realiza um trabalho W em um intervalo de tempo Δt, a potência média desenvolvida pela força nesse intervalo de tempo é dada por

$$P_{méd} = \frac{W}{\Delta t}$$

Potência instantânea é a taxa instantânea com a qual o trabalho está sendo realizado:

$$P = \frac{dW}{dt}$$

No caso de uma força $\vec{F}$ que faz um ângulo ϕ com a velocidade instantânea $\vec{v}$ de um objeto, a potência instantânea é dada por

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d(F\cos\phi\, x)}{dt} = \frac{F\cos\phi\, dx}{dt} = F\cos\phi\frac{dx}{dt} = F\cos\phi\, v$$

Ou seja,

$$P = \vec{F}\cdot\vec{v}$$

Resumo das Equações

Equação	**Breve Descrição**
$K = \frac{1}{2}mv^2$	Energia cinética *K* de uma partícula de massa *m* em velocidade *v*
$W = Fd\cos\phi = \vec{F} \cdot \vec{d}$	Trabalho *W* realizado sobre uma partícula por uma força constante $\vec{F}$ durante um deslocamento $\vec{d}$. O ângulo entre os vetores força $\vec{F}$ e deslocamento $\vec{d}$ é representado por ϕ.
$\Delta K = K_f - K_i = W$	K_i é a energia cinética inicial da partícula e K_f é a energia cinética da partícula após o trabalho *W* ter sido realizado (**teorema do trabalho e energia cinética**).
$W_g = mgd\cos\phi = \vec{F}_g \cdot \vec{d}$	O trabalho W_g realizado pela força gravitacional $\vec{F}_g$ sobre uma partícula (ou sobre um objeto que se comporta como uma partícula) de massa *m* durante um deslocamento $\vec{d}$. Na equação ϕ é o ângulo entre os vetores $\vec{F}_g$ e $\vec{d}$ e *g* é a aceleração da gravidade.
$\Delta K = K_f - K_i = W_g + W_a$	O trabalho W_a realizado por uma força aplicada quando um objeto que se comporta como uma partícula é levantado ou abaixado está relacionado com o trabalho W_g realizado pela força gravitacional e à variação ΔK da energia cinética do objeto.
$\vec{F}_s = -k\vec{d}$ (Lei de Hooke)	$\vec{F}_s$ indica a força de uma mola em que $\vec{d}$ é o deslocamento da extremidade livre da mola em relação à posição que ocupa quando a mola está no estado relaxado (nem comprimida nem alongada) e *k* é a constante elástica (uma medida da rigidez da mola).
$W_s = k\frac{x_i^2}{2} - k\frac{x_f^2}{2}$	W_s é o trabalho realizado sobre o objeto pela força elástica quando o objeto é deslocado de uma posição inicial x_i para uma posição final x_f e *k* é a constante elástica.
$W = \int_{x_i}^{x_f} F(x)dx$	Trabalho *W* realizado por uma força variável *F(x)* sobre um objeto enquanto o objeto se move de uma posição inicial x_i de coordenadas para uma posição final x_f.
$P_{méd} = \frac{W}{\Delta t}$	A força realiza um trabalho *W* em um intervalo de tempo Δt, a potência média ($P_{méd}$) desenvolvida pela força nesse intervalo de tempo é dada pela expressão ao lado.
$P = \frac{dW}{dt}$	Potência instantânea (*P*) é a taxa instantânea com a qual o trabalho (*W*) está sendo realizado.
$P = F\cos\phi\, v$ ou $P = \vec{F} \cdot \vec{v}$	No caso de uma força $\vec{F}$ que faz um ângulo ϕ com a velocidade instantânea $\vec{v}$ de um objeto, a potência instantânea (*P*) é dada pela equação ao lado.

Exemplo 1

Em 1896, em Waco, Texas, William Crush posicionou duas locomotivas em extremidades opostas de uma linha férrea com 6,4 km de extensão, acendeu as caldeiras, amarrou os aceleradores para que permanecessem acionados e fez com que as locomotivas sofressem uma colisão frontal, em alta velocidade, diante de 30 mil espectadores (foto abaixo). Centenas de pessoas foram feridas pelos destroços; várias morreram. Supondo que cada locomotiva pesava $1{,}2 \times 10^6\ N$ e tinha uma aceleração constante de $0{,}26\ m/s^2$, qual era a energia cinética das duas locomotivas imediatamente antes da colisão?

Fonte: https://petapixel.com/2022/06/10/historical-photos-of-when-trains-were-purposely-crashed-into-each-other/

Solução

Consideremos a equação da velocidade, como segue:

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

Com $v_0 = 0$ e $x - x_0 = 3{,}2 \times 10^3$ m (metade da distância inicial), temos:

$$v^2 = 0^2 + 2.0.26(3{,}2.10^3)$$

$$v = 40{,}8\ m/s = 147\ km/s$$

Podemos calcular a massa de cada locomotiva dividindo o peso por g:

$$m = \frac{1,2.10^6}{9,8} = 1,22.10^5 kg$$

Calculando a energia cinética, temos

$$K = \frac{1}{2} 1,22.10^5 40,8^2 = 2,0.10^8 J$$

A colisão foi como a explosão de uma bomba.

Exemplo 2

A figura abaixo mostra dois espiões industriais arrastando um cofre de 225 kg a partir do repouso e assim produzindo um deslocamento $\vec{d}$, de módulo 8,50 m, em direção a um caminhão. O empurrão 1 do espião 001 tem um módulo de 12,0 N e faz um ângulo de 30,0° para baixo com a horizontal; o puxão 2 do espião 002 tem um módulo de 10,0 N e faz um ângulo de 40,0° para cima com a horizontal. Os módulos e orientações das forças não variam quando o cofre se desloca, e o atrito entre o cofre e o atrito com o piso é desprezível. (a) Qual é o trabalho total realizado pelas forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ sobre o cofre durante o deslocamento $\vec{d}$? (b) Qual é o trabalho W_g realizado pela força gravitacional $\vec{F}_g$ sobre o cofre durante o deslocamento $\vec{d}$ e qual é o trabalho W_N realizado pela força normal $\vec{F}_N$ sobre o cofre durante o deslocamento? (c) Qual é a velocidade v_f do cofre após o deslocamento de 8,50 m?

Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1 (p. 632). GEN | LTC. Edição do Kindle.

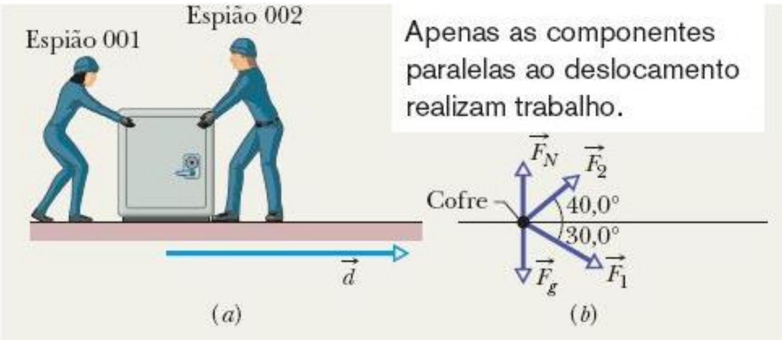


Figura 1. (a) Dois espiões arrastam um cofre, produzindo um deslocamento. (b) Diagrama de corpo livre do cofre. Fonte: Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1 (p. 631). GEN | LTC. Edição do Kindle.

Solução

(a)

Considerando-se o diagrama de corpo livre da figura acima, temos:

$$W_1 = \vec{F}_1.\vec{d} = F_1 d\cos\phi = 12.8{,}5.\cos 30^o = 88{,}33\,J$$

O trabalho W_2 realizado pela força $\vec{F}_2$ é determinado como segue:

$$W_2 = \vec{F}_2.\vec{d} = F_2 d\cos\phi = 10.8{,}5.\cos 40^o = 65{,}11\,J$$

Assim podemos determinar o trabalho total como indicado abaixo:

$$W = W_1 + W_2 = 88{,}33J + 65{,}11J = 153{,}44\,J \approx 153\,J$$

(b) As forças gravitacional e normal são perpendiculares ao deslocamento, ou seja, o trabalho é nulo, como segue:

$$W_g = F_g d\cos\phi = mgd\cos 90^o = 0$$

$$W_N = F_N d \cos \phi = F_N d \cos 90^o = 0$$

(c) Pelo teorema do trabalho e energia cinética, temos:

$$K_f - K_i = W \rightarrow K_f - 0 = W \rightarrow K_f = W \rightarrow \frac{1}{2} m v_f^2 = W$$

Isolando-se a velocidade v_f na equação acima temos:

$$v_f = \sqrt{\frac{2W}{m}} = 1{,}17\ m/s$$

Exemplo 3

Um elevador, de massa *m = 500 kg*, está descendo com velocidade v_i *= 4,0 m/s* quando o cabo de sustentação começa a patinar, permitindo que o elevador caia com aceleração constante $\vec{a} = 1/5\ \vec{g}$. (a) Se o elevador cai de uma altura *d = 12 m*, qual é o trabalho W_g realizado sobre o elevador pela força gravitacional $\vec{F}_g$? (b) Qual é o trabalho W_T realizado sobre o elevador pela força $\vec{T}$ do cabo durante a queda? (c) Qual é o trabalho total *W* realizado sobre o elevador durante a queda?

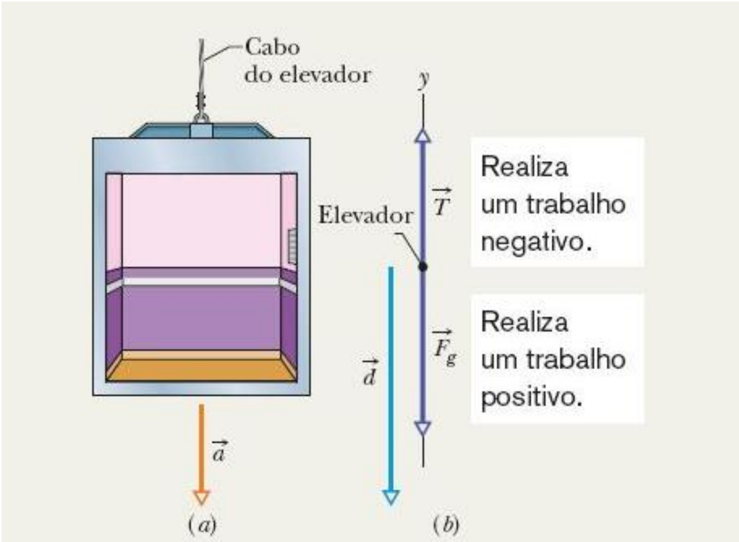


Figura 2. Um elevador, que estava descendo com velocidade v_i, de repente começa a acelerar para baixo. (a) O elevador sofre um deslocamento com uma aceleração constante $\vec{a} = 1/5\ \vec{g}$. (b) Diagrama de corpo livre do elevador, mostrando também o deslocamento. Fonte: Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1 (p. 646). GEN | LTC. Edição do Kindle.

Solução

(a) O trabalho W_g da força gravitacional é dado pela seguinte expressão.

$$W_g = mgd\cos\phi = 500.9{,}8.12\cos 0^o$$

$$W_g = 5{,}88.10^4 J$$

(b) Pela análise do diagrama de corpo livre e aplicando-se a segunda lei de Newton, temos a seguinte expressão.

$$T - F_g = ma$$

Tomamos o sentido positivo de y para cima, assim a equação acima tem a seguinte expressão.

$$T - F_g = -ma_y$$

O elevador está submetido a uma aceleração de g/5. Fazendo-se esta substituição e isolando-se a tração *T*, temos.

$$T = F_g - m\frac{g}{5} = mg - m\frac{g}{5} = \frac{4}{5}mg$$

Calculando o trabalho da força *T*, temos a seguinte expressão.

$$W_T = Td\cos\phi = \frac{4}{5}mgd\cos 180^o$$

$$W_T = Td\cos\phi = \frac{4}{5}.500.9{,}8.12.\cos 180^o = -4{,}70.10^4 J$$

(c) O trabalho total é simplesmente a soma dos trabalhos W_g e W_T, como indicado abaixo.

$$W = W_g + W_T = 5{,}88.10^4 J - 4{,}70.10^4 J = 1{,}18.10^4 J$$

Também poderíamos chegar ao mesmo resultado considerando-se o trabalho realizado pela força resultante (F_{res}) atuando no elevador.

$$W = F_{res} d\cos\phi$$

Pelo diagrama de corpo livre, vemos que a força resultado atuando sobre o elevador é a seguinte.

$$F_{res} = T - F_g = \frac{4}{5}mg - mg = -\frac{1}{5}mg$$

Para determinar o trabalho da força resultante temos que ter atenção ao deslocamento *d*, que está apontando para baixo, ou seja, *d = -12 m*. Assim temos o seguinte resultado.

$$W = F_{res} d\cos\phi = -\frac{1}{5}.500.9{,}8.(-12)\cos 0^o$$

$$W = 1{,}18.10^4 J$$

Exemplo 4

Na figura abaixo, depois de deslizar em uma superfície horizontal sem atrito com velocidade *v = 0,50 m/s*, um pote de cominho de massa *m = 0,40 kg* colide com uma mola de constante elástica *k = 750 N/m* e começa a comprimi-la. No instante em que o pote para momentaneamente por causa da força exercida pela mola, de que distância *d* a mola foi comprimida?

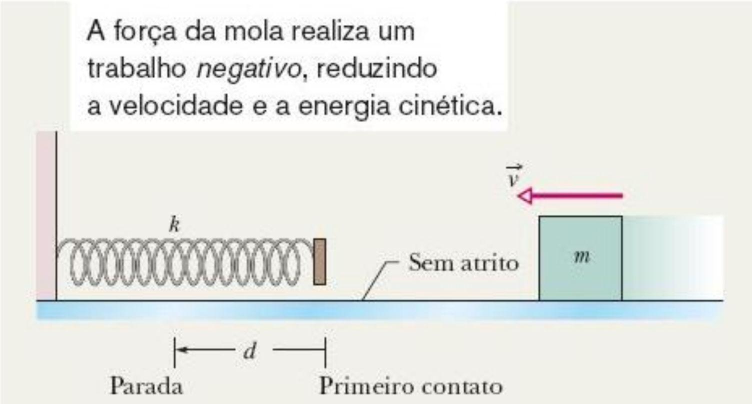


Figura 3. Um pote de massa m se move com velocidade $\vec{v}$ em direção a uma mola de constante k. Fonte: Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1 (p. 658). GEN | LTC. Edição do Kindle.

Solução

Sabemos que o trabalho W_s realizado sobre o objeto pela força elástica F_s está relacionado com a distância *d* por meio da seguinte expressão $W_s = -(1/2)kx^2$, onde iremos substituir *x* por *d*.

$$W_s = -\frac{1}{2}kd^2$$

Pela análise do sistema, vemos que o trabalho W_s está relacionado com a energia cinética por meio da seguinte equação.

$$K_f - K_i = W_s$$

Pelos dados do problema, vemos que a velocidade final é zero e consequentemente $K_f = 0$. Levando-se em consideração as duas equações anteriores, chegamos à seguinte expressão.

$$K_f - K_i = -\frac{1}{2}kd^2$$

$$-K_i = -\frac{1}{2}kd^2$$

$$-\frac{1}{2}mv_i^2 = -\frac{1}{2}kd^2$$

$$d = v_i\sqrt{\frac{m}{k}}$$

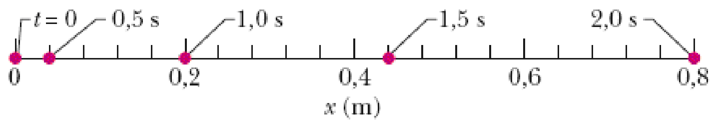
Substituindo-se os valores numéricos, temos o seguinte resultado.

$$d = 0{,}5\sqrt{\frac{0{,}4}{750}}$$

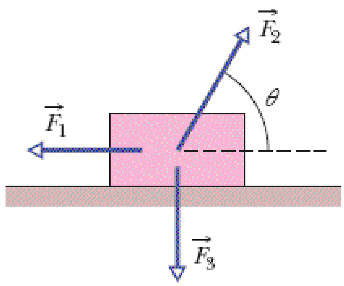
$$d = 1{,}15.\,10^{-2} m = 1{,}15\ cm$$

Exercícios

1. Um próton (massa $m = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg) está sendo acelerado, em linha reta, a $3{,}6 \times 10^{15}$ m/s^2 em um acelerador de partículas. Se o próton tem velocidade inicial de $2{,}4 \times 10^7$ m/s e se desloca *3,5 cm*, determine (a) a velocidade e (b) o aumento da energia cinética do próton.
2. Em 10 de agosto de 1972, um grande meteorito atravessou a atmosfera no oeste dos Estados Unidos e do Canadá como uma pedra que ricocheteia na água. A bola de fogo resultante foi tão forte que pôde ser vista à luz do dia e era mais intensa que o rastro deixado por um meteorito comum. A massa do meteorito era aproximadamente 4×10^6 kg; sua velocidade, cerca de *15 km/s*. Se tivesse entrado verticalmente na atmosfera terrestre, o meteorito teria atingido a superfície da Terra com aproximadamente a mesma velocidade. (a) Calcule a perda de energia cinética do meteorito (em joules) que estaria associada ao impacto vertical. (b) Expresse a energia como um múltiplo da energia explosiva de 1 megaton de TNT, $4{,}2 \times 10^{15}$ J. (c) A energia associada à explosão da bomba atômica de Hiroshima foi equivalente a 13 quilotons de TNT. A quantas bombas de Hiroshima o impacto do meteorito seria equivalente?
3. Um corpo de *3,0 kg* está em repouso em um colchão de ar horizontal de atrito desprezível quando uma força horizontal constante é aplicada no instante $t = 0$. A figura abaixo mostra, em um gráfico estroboscópico, a posição da partícula a intervalos de *0,50 s*. Qual é o trabalho realizado sobre o corpo pela força no intervalo de $t = 0$ a $t = 2{,}0$ s?

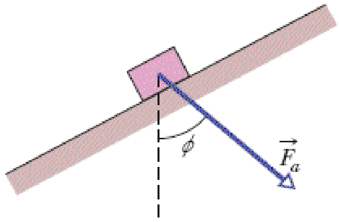


4. A figura abaixo mostra três forças aplicadas a um baú que se desloca *3,00* m para a esquerda em um piso sem atrito. Os módulos das forças são $F_1 = 5{,}00$ N, $F_2 = 9{,}00$ N, e $F_3 = 3{,}00$ N; o ângulo indicado é θ = 60°. (a) Qual é o trabalho total realizado sobre o baú pelas três forças? (b) A energia cinética do baú aumenta ou diminui?

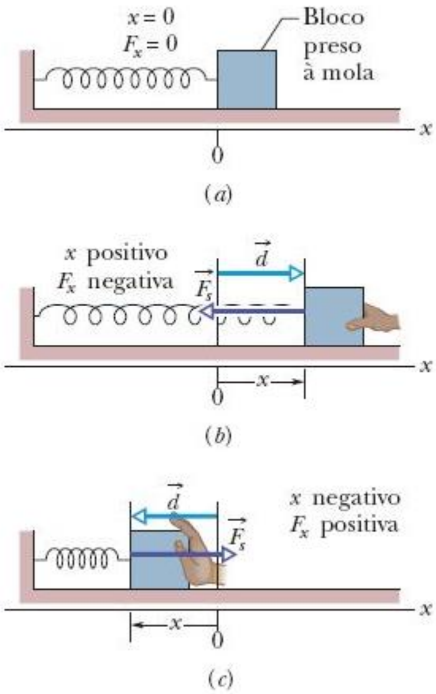


5. Um helicóptero levanta verticalmente, por meio de um cabo, uma astronauta de *72 kg* até uma altura *15 m* acima da superfície do oceano. A aceleração da astronauta é $g/10$. Qual é o trabalho realizado sobre a astronauta (a) pela força do helicóptero e (b) pela força gravitacional? Imediatamente antes de a astronauta chegar ao helicóptero, quais são (c) sua energia cinética e (d) sua velocidade?
6. Na figura abaixo, uma força constante $\vec{F}_a$ de módulo *82,0 N* é aplicada a uma caixa de sapatos, de *3,00 kg*, a um ângulo $\phi = 53{,}0°$, fazendo com que a caixa se mova para cima ao longo de uma rampa sem atrito, com velocidade constante. Qual é o trabalho

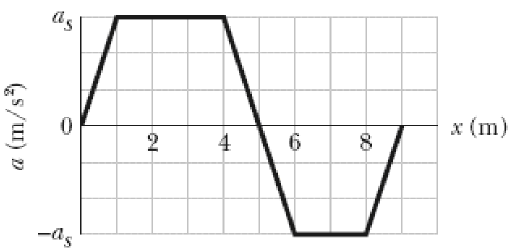
realizado sobre a caixa por $\vec{F}_a$ logo após a caixa ter subido uma distância vertical de $h = 0{,}150\ m$?



7. Uma mola e um bloco são montados como na figura abaixo. Quando o bloco é puxado para o ponto $x = +\ 4{,}0\ cm$, devemos aplicar uma força de $360\ N$ para mantê-lo nessa posição. Puxamos o bloco para o ponto $x = 11\ cm$ e o liberamos. Qual é o trabalho realizado pela mola sobre o bloco quando este se desloca de $x_i = +\ 5{,}0\ cm$ para (a) $x = +\ 3{,}0\ cm$, (b) $x = -\ 3{,}0\ cm$, (c) $x = -\ 5{,}0\ cm$ e (d) $x = -\ 9{,}0\ cm$?



8. A força a que uma partícula está submetida aponta ao longo de um eixo x e é dada por $F = F_0(\ x/x_0 - 1)$. Determine o trabalho realizado pela força ao mover a partícula de $x = 0$ a $x = 2x_0$ a partir da integração de $F(x)$.
9. A figura abaixo mostra a aceleração de uma partícula de $2{,}00\ kg$ sob a ação de uma força $\vec{F}_a$ que desloca a partícula ao longo de um eixo x, a partir do repouso, de $x = 0$ a $x = 9{,}0\ m$. A escala vertical do gráfico é definida por $a_s = 6{,}0\ m/s^2$. Qual é o trabalho realizado pela força sobre a partícula até a partícula atingir o ponto (a) $x = 4{,}0\ m$, (b) $x = 7{,}0\ m$ e (c) $x = 9{,}0\ m$? Quais são o módulo e o sentido da velocidade da partícula quando a partícula atinge o ponto (d) $x = 4{,}0\ m$, (e) $x = 7{,}0\ m$ e (f) $x = 9{,}0\ m$?



10. Uma força de *5,0 N* age sobre um corpo de *15 kg* inicialmente em repouso. Calcule o trabalho realizado pela força (a) no primeiro, (b) no segundo e (c) no terceiro segundos, assim como (d) a potência instantânea da força no fim do terceiro segundo.

Respostas

1. (a) $2{,}9 \times 10^{7}$ *m/s*; (b) $2{,}1 \times 10^{-13}$ *J*
2. (a) 5×10^{14} *J*; (b) *0,1* megaton de TNT; (c) 8 bombas
3. *0,96 J*
4. (a) *1,50 J*; (b) aumenta
5. (a) *12 kJ*; (b) *−11 kJ*; (c) *1,1 kJ*; (d) *5,4 m/s*
6. *4,41 J*
7. (a) *7,2 J*; (b) *7,2 J*; (c) *0*; (d) *−25 J*
8. *0*
9. (a) *42 J*; (b) *30 J*; (c) *12 J*; (d) *6,5 m/s*, eixo *+x*; (e) *5,5 m/s*, eixo *+x*; (f) *3,5 m/s*, eixo *+x*
10. (a) *0,83 J*; (b) *2,5 J*; (c) *4,2 J*; (d) *5,0 W*