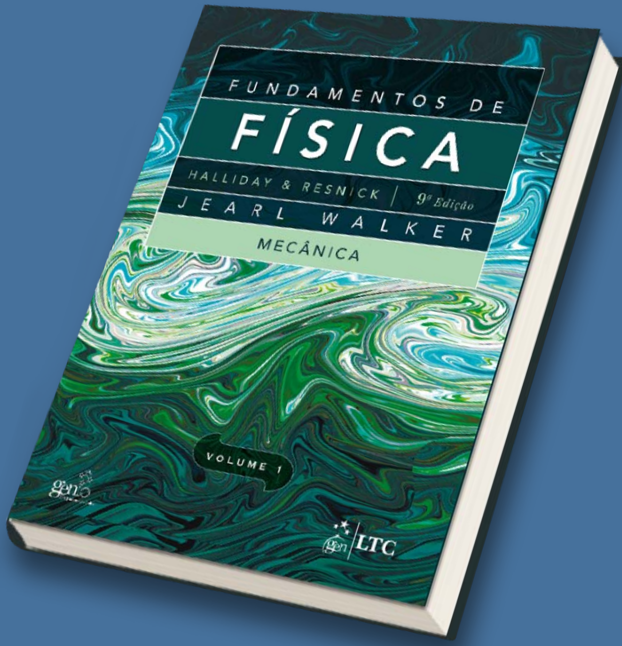
Halliday

Fundamentos de Física

Volume 1



gen Grupo Editorial Nacional

LTC EDITORA

genIO GEN | Informação Online

www.grupogen.com.br

http://gen-io.grupogen.com.br

Capítulo 7

Energia Cinética e Trabalho

7.2 O que é energia?

Uma definição:

Energia é uma grandeza escalar associada ao estado de um ou mais objetos.

Algumas características:

1. A energia pode ser transformada de um tipo para outro e transferida de um objeto para outro.
2. A quantidade total de energia não varia (a energia é ***conservada***).

7.3 Energia cinética

Energia cinética é a energia associada ao estado de movimento de um objeto. Quanto maior a velocidade com a qual um objeto se move, maior a energia cinética.

Para um objeto de massa *m* que se move com uma velocidade *v* muito menor que a velocidade da luz,

$$K = \tfrac{1}{2}mv^2 \qquad \text{(energia cinética).}$$

A unidade de energia cinética (e de qualquer outro tipo de energia) no SI é o **joule (J).**

$$1 \text{ joule} = 1 \text{ J} = 1 \text{ kg·m}^2/\text{s}^2.$$

Exemplo

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 30.000 espectadores (Fig. 7-1). 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 $0{,}26\ \mathrm{m/s^2}$, qual era a energia cinética das duas locomotivas imediatamente antes da colisão?

Figura 7-1 O resultado de uma colisão entre duas locomotivas em 1896. *(Cortesia da Library of Congress)*

Cálculos Escolhemos a Eq. 2-16 porque conhecemos os valores de todos os parâmetros, exceto v:

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

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

$$v^2 = 0 + 2(0{,}26\ \mathrm{m/s^2})(3{,}2 \times 10^3\ \mathrm{m}),$$

ou $$v = 40{,}8\ \mathrm{m/s}$$

(cerca de 150 km/h).

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

$$m = \frac{1{,}2 \times 10^6\ \mathrm{N}}{9{,}8\ \mathrm{m/s^2}} = 1{,}22 \times 10^5\ \mathrm{kg}.$$

Em seguida, usando a Eq. 7-1, calculamos a energia cinética total das duas locomotivas imediatamente antes da colisão:

$$K = 2(\tfrac{1}{2}mv^2) = (1{,}22 \times 10^5\ \mathrm{kg})(40{,}8\ \mathrm{m/s})^2$$
$$= 2{,}0 \times 10^8\ \mathrm{J}. \qquad \text{(Resposta)}$$

Esta colisão foi como a explosão de uma bomba.

7.4 Trabalho

Trabalho é a energia transferida para um objeto ou de um objeto através de uma força que age sobre o objeto.

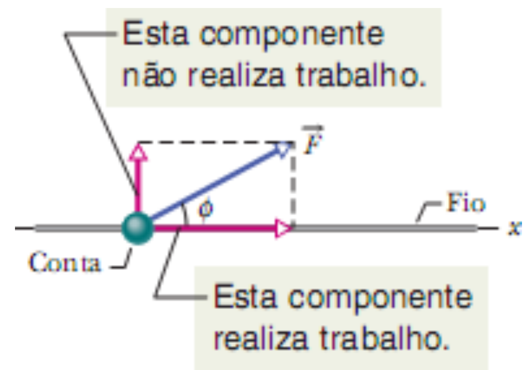
Quando a energia é transferida para o objeto, o trabalho é positivo; quando a energia é transferida do objeto, o trabalho é negativo.

7.5 Trabalho e energia cinética

Para calcular o trabalho que uma força **F** realiza sobre um objeto enquanto o objeto sofre um deslocamento **d**, usamos apenas as componentes da força na direção do deslocamento. A componente da força perpendicular à direção do deslocamento não realiza trabalho.

No caso de uma força constante **F**, o trabalho é dado por

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



Uma força constante que faz um ângulo ϕ com o deslocamento (na direção x) de uma conta executa trabalho sobre a conta. A única componente que executa trabalho é a componente x da força.

Quando duas ou mais forças agem sobre um objeto, o trabalho total é igual à soma dos trabalhos realizados individualmente pelas forças.

Teorema do trabalho e energia cinética

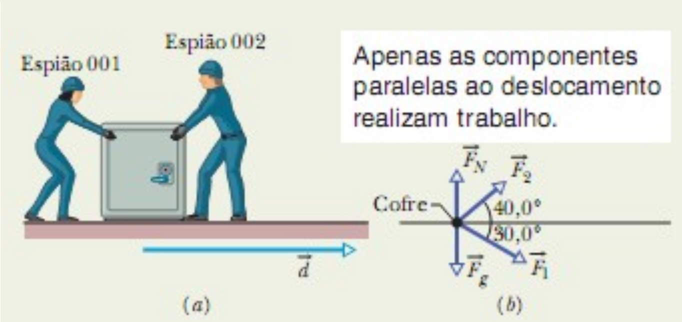
De acordo com este teorema, a variação da energia cinética de uma partícula é igual ao trabalho total realizado sobre a partícula.

$$\begin{pmatrix}\text{variação da energia}\\ \text{cinética de uma partícula}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{trabalho total executado}\\ \text{sobre a partícula}\end{pmatrix}$$

O teorema vale tanto para um trabalho positivo como para um trabalho negativo. Se o trabalho é positivo, a energia cinética da partícula aumenta; se o trabalho é negativo, a energia cinética da partícula diminui.

Exemplo: espiões industriais

A Fig. 7-4*a* 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 $\vec{F}_1$ do espião 001 tem um módulo de 12,0 N e faz um ângulo de 30,0° para baixo com a horizontal; o puxão $\vec{F}_2$ 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 $\vec{d}$?

Cálculos De acordo com a Eq. 7-7 e o diagrama de corpo livre do cofre (Fig. 7-4*b*), o trabalho realizado por $\vec{F}_1$ é

$$W_1 = F_1 d \cos\phi_1 = (12{,}0\text{ N})(8{,}50\text{ m})(\cos 30{,}0°)$$
$$= 88{,}33\text{ J},$$

e o trabalho realizado por $\vec{F}_2$ é

$$W_2 = F_2 d \cos\phi_2 = (10{,}0\text{ N})(8{,}50\text{ m})(\cos 40{,}0°)$$
$$= 65{,}11\text{ J}.$$

Assim, o trabalho total W é

$$W = W_1 + W_2 = 88{,}33\text{ J} + 65{,}11\text{ J}$$
$$= 153{,}4\text{ J} \approx 153\text{ J}. \qquad \text{(Resposta)}$$

(b) Qual é o trabalho W_g realizado pela força gravitacional $\vec{F}_g$ sobre o cofre durante o deslocamento e qual é o trabalho W_N realizado pela força normal $\vec{F}_N$ sobre o cofre durante o deslocamento?

Cálculos Como o módulo da força gravitacional é mg, onde m é a massa do cofre, temos:

$$W_g = mgd\cos 90° = mgd(0) = 0 \qquad \text{(Resposta)}$$

e

$$W_N = F_N d\cos 90° = F_N d(0) = 0. \qquad \text{(Resposta)}$$

Estes resultados já eram esperados. Como as duas forças são perpendiculares ao deslocamento do cofre, não realizam trabalho e não transferem energia para o cofre.

(c) O cofre está inicialmente em repouso. Qual é sua velocidade v_f após o deslocamento de 8,50 m?

Cálculos Podemos relacionar a velocidade ao trabalho realizado combinando as Eqs. 7-10 e 7-1:

$$W = K_f - K_i = \tfrac{1}{2}mv_f^2 - \tfrac{1}{2}mv_i^2.$$

A velocidade inicial v_i é zero e agora sabemos que o trabalho realizado é 153,4 J. Explicitando v_f e substituindo os valores conhecidos, obtemos:

$$v_f = \sqrt{\frac{2W}{m}} = \sqrt{\frac{2(153{,}4\text{ J})}{225\text{ kg}}}$$
$$= 1{,}17\text{ m/s}. \qquad \text{(Resposta)}$$

Exemplo: força constante na notação de vetores unitários

Durante uma tempestade, um caixote desliza pelo piso escorregadio de um estacionamento, sofrendo um deslocamento $\vec{d} = (-3{,}0\text{ m})\hat{\imath}$ enquanto é empurrado pelo vento com uma força $\vec{F} = (2{,}0\text{ N})\hat{\imath} + (-6{,}0\text{ N})\hat{\jmath}$. A situação e os eixos do sistema de coordenadas estão representados na Fig. 7-5.

(a) Qual é o trabalho realizado pelo vento sobre o caixote?

A componente da força paralela ao deslocamento realiza um trabalho *negativo*, reduzindo a velocidade do caixote.

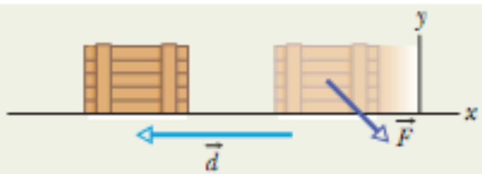


Figura 7-5 Uma força $\vec{F}$ desacelera um caixote durante um deslocamento $\vec{d}$.

Cálculos Temos:

$$W = \vec{F}\cdot\vec{d} = [(2{,}0\text{ N})\hat{\imath} + (-6{,}0\text{ N})\hat{\jmath}]\cdot[(-3{,}0\text{ m})\hat{\imath}].$$

De todos os produtos entre vetores unitários, apenas $\hat{\imath}\cdot\hat{\imath}$, $\hat{\jmath}\cdot\hat{\jmath}$ e $\hat{k}\cdot\hat{k}$ são diferentes de zero (veja o Apêndice E). Assim, temos:

$$\begin{aligned} W &= (2{,}0\text{ N})(-3{,}0\text{ m})\hat{\imath}\cdot\hat{\imath} + (-6{,}0\text{ N})(-3{,}0\text{ m})\hat{\jmath}\cdot\hat{\imath} \\ &= (-6{,}0\text{ J})(1) + 0 = -6{,}0\text{ J}. \qquad \text{(Resposta)} \end{aligned}$$

A força realiza, portanto, um trabalho negativo de 6,0 J.

(b) Se o caixote tem uma energia cinética de 10 J no início do deslocamento d , qual é a energia cinética no final do deslocamento?

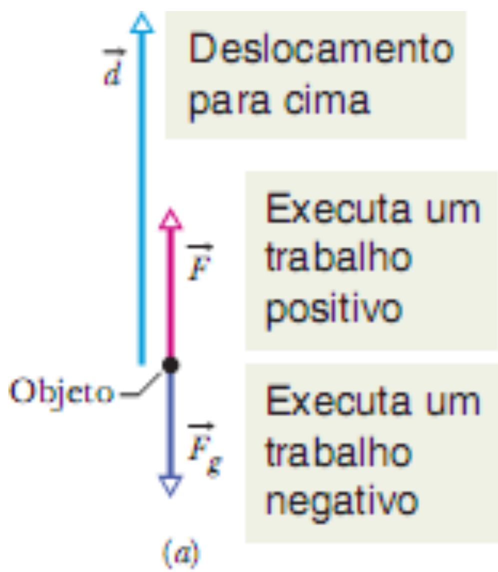
Cálculo: Usando o teorema do trabalho e energia cinética na forma da Eq. 7.11, temos

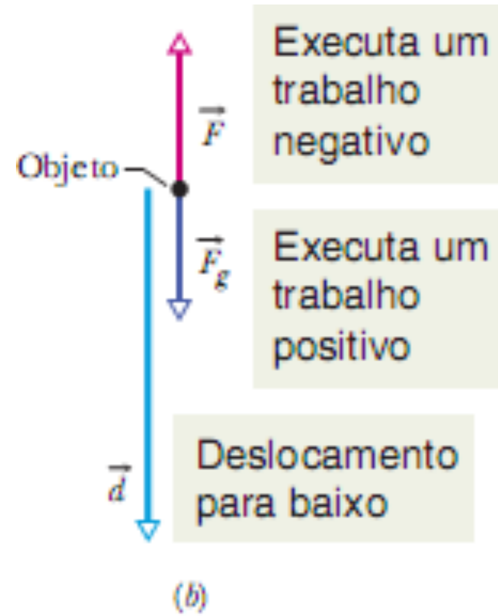
$$K_f = K_i + W = 10\text{ J} + (-6{,}0\text{ J}) = 4{,}0\text{ J} \quad \text{(Resposta)}$$

A redução da energia cinética significa que a velocidade do caixote diminuiu.

7.6 Trabalho realizado pela força gravitacional

$$W_g = mgd\cos\phi \qquad \text{(trabalho executado por uma força gravitacional).}$$





(*a*) *A força aplicada é maior que a força gravitacional*. O deslocamento do objeto faz um ângulo $\phi = 180°$ com a força gravitacional. A força gravitacional realiza um trabalho negativo.

(*b*) *A força aplicada é menor que a força gravitacional*. O deslocamento do objeto faz um ângulo $\phi = 0°$ com a força gravitacional. A força gravitacional realiza um trabalho positivo.

Exemplo: elevador acelerado

Um elevador de massa $m = 500$ kg está descendo com velocidade $v_i = 4{,}0$ m/s quando o cabo de sustentação começa a deslizar, permitindo que o elevador caia com aceleração constante $\vec{a} = \vec{g}/5$ (Fig. 7-8*a*).

(a) Se o elevador cai de uma altura $d = 12$ m, qual é o trabalho W_g realizado sobre o elevador pela força gravitacional $\vec{F}_g$?

Cálculo De acordo com a Fig. 7-8*b*, o ângulo entre $\vec{F}_g$ e o deslocamento $\vec{d}$ do elevador é 0°. Assim, de acordo com a Eq. 7-12,

$$W_g = mgd\cos 0° = (500\text{ kg})(9{,}8\text{ m/s}^2)(12\text{ m})(1)$$
$$= 5{,}88 \times 10^4\text{ J} \approx 59\text{ kJ.} \qquad \text{(Resposta)}$$

(b) Qual é o trabalho W_T realizado sobre o elevador pela força $\vec{T}$ exercida pelo cabo durante a queda?

Cálculos Temos:

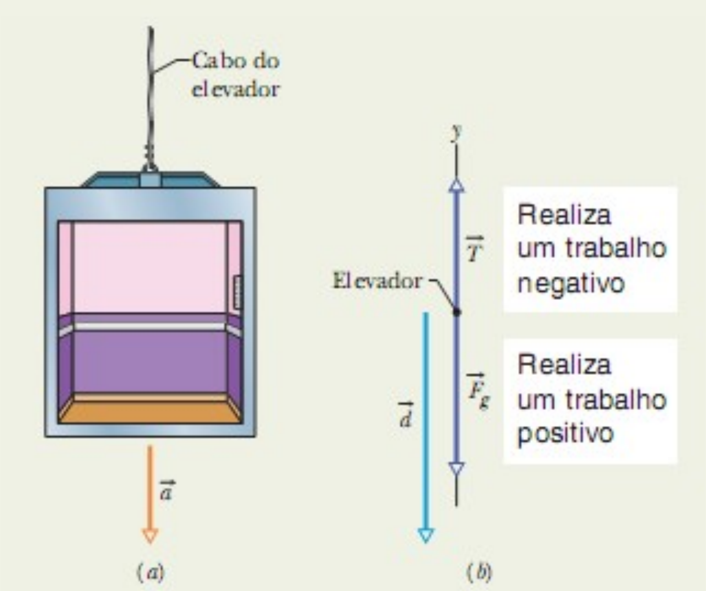
$$T - F_g = ma.$$

$$W_T = Td\cos\phi = m(a+g)d\cos\phi.$$

Em seguida, substituindo a aceleração a (para baixo) por $-g/5$ e o ângulo ϕ entre as forças $\vec{T}$ e $m\vec{g}$ por 180°, obtemos

$$W_T = m\left(-\frac{g}{5} + g\right)d\cos\phi = \frac{4}{5}mgd\cos\phi$$
$$= \frac{4}{5}(500\text{ kg})(9{,}8\text{ m/s}^2)(12\text{ m})\cos 180°$$
$$= -4{,}70 \times 10^4\text{ J} \approx -47\text{ kJ.} \qquad \text{(Resposta)}$$

Fig. 7-8



(c) Qual é o trabalho total W realizado sobre o elevador durante a queda?

Cálculo O trabalho total é a soma dos trabalhos realizados pelas forças a que o elevador está sujeito:

$$W = W_g + W_T = 5{,}88 \times 10^4\text{ J} - 4{,}70 \times 10^4\text{ J}$$
$$= 1{,}18 \times 10^4\text{ J} \approx 12\text{ kJ.} \qquad \text{(Resposta)}$$

(d) Qual é a energia cinética do elevador no final da queda de 12 m?

Cálculo De acordo com a Eq. 7-1, podemos escrever a energia cinética no início da queda como $K_i = \frac{1}{2}mv_i^2$. Nesse caso, a Eq. 7-11 pode ser escrita na forma

$$K_f = K_i + W = \tfrac{1}{2}mv_i^2 + W$$
$$= \tfrac{1}{2}(500\text{ kg})(4{,}0\text{ m/s})^2 + 1{,}18 \times 10^4\text{ J}$$
$$= 1{,}58 \times 10^4\text{ J} \approx 16\text{ kJ.} \qquad \text{(Resposta)}$$

7.7 Trabalho realizado por uma força elástica

Lei de Hooke: Como boa aproximação para muitas molas, a força da mola é proporcional ao deslocamento da extremidade livre a partir da posição que ocupa no estado relaxado. A *força elástica* é dada por

$$F_s = -kx$$

O sinal negativo mostra que o sentido da força da mola é sempre contrário ao do deslocamento da extremidade livre. A constante k recebe o nome de **constante da mola** (ou **constante elástica**) e é uma medida da rigidez da mola.

O trabalho W_s realizado por uma mola ao sofrer uma deformação de x_i para x_f é dado por

$$W_s = \int_{x_i}^{x_f} -F_x \, dx.$$

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

$$= (-\tfrac{1}{2}k)[x^2]_{x_i}^{x_f} = (-\tfrac{1}{2}k)(x_f^2 - x_i^2).$$

$$W_s = \tfrac{1}{2}kx_i^2 - \tfrac{1}{2}kx_f^2 \quad \text{(trabalho de uma força elástica)}$$

O trabalho W_s é positivo, se a extremidade livre da mola se aproxima da posição relaxada ($x = 0$), e negativo se a mola se afasta da posição relaxada.

Exemplo: trabalho realizado por uma mola

Na Fig. 7-10, depois de deslizar sobre 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?

IDEIAS-CHAVE

1. O trabalho W_s realizado sobre o pote pela força elástica está relacionado à distância d pedida através da Eq. 7-26 ($W_s = -\frac{1}{2}kx^2$) com d substituindo x.
2. O trabalho W_s também está relacionado à energia cinética do pote através da Eq. 7-10 ($K_f - K_i = W$).
3. A energia cinética do pote tem um valor inicial $K = \frac{1}{2}mv^2$ e é nula quando o pote está momentaneamente em repouso.

Cálculos Combinando as duas primeiras ideias-chave, escrevemos o teorema do trabalho e energia cinética para o pote na seguinte forma:

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

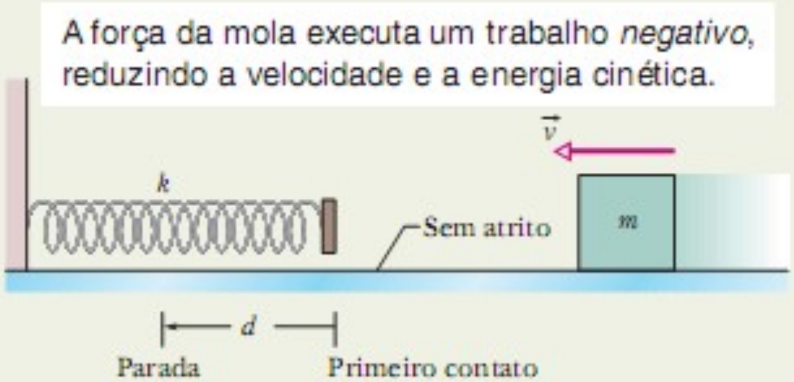


Figura 7-10 Um pote de massa m se move com velocidade $\vec{v}$ em direção a uma mola de constante k.

Substituindo a energia cinética inicial e final pelos seus valores (terceira ideia-chave), temos:

$$0 - \tfrac{1}{2}mv^2 = -\tfrac{1}{2}kd^2.$$

Simplificando, explicitando d e substituindo os valores conhecidos, obtemos:

$$d = v\sqrt{\frac{m}{k}} = (0{,}50\ \text{m/s})\sqrt{\frac{0{,}40\ \text{kg}}{750\ \text{N/m}}}$$
$$= 1{,}2 \times 10^{-2}\ \text{m} = 1{,}2\ \text{cm}. \qquad \text{(Resposta)}$$

7.8 Trabalho realizado por uma força variável genérica

A. Força unidimensional, análise gráfica

•Podemos dividir a área sob a curva de $F(x)$ em faixas estreitas de largura x.

•Usamos um valor de x suficientemente pequeno para que a força $F(x)$ possa ser considerada aproximadamente constante nesse intervalo.

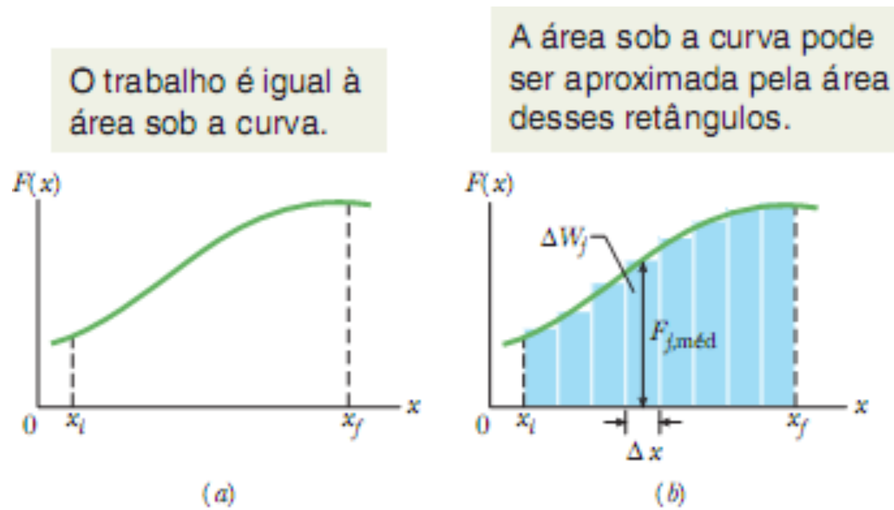
•Chamamos de $F_{j,\text{méd}}$ o valor médio de $F(x)$ no intervalo de ordem j.

•O trabalho executado pela força no intervalo de ordem j é, aproximadamente,

$$\Delta W_j = F_{j,med}\,\Delta x$$

$$\Rightarrow W = \sum \Delta W_j = \sum F_{j,med}\,\Delta x$$

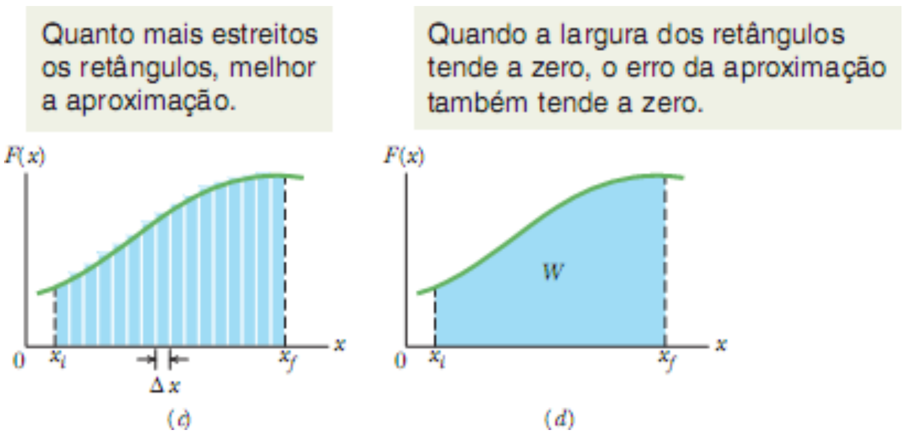
•W_j, portanto, é igual à área do retângulo de ordem j.



7.8 Trabalho realizado por uma força variável genérica

A. Força unidimensional, análise matemática

Podemos melhorar a aproximação reduzindo a largura Δx e usando mais faixas (Fig. *c*). No limite, a largura tende a zero, o número de tiras tende a infinito, e obtemos um resultado exato,



$$\Delta W = \lim_{\Delta x \to 0} \sum F_{j,med} \Delta x = \int_{x_i}^{x_f} F(x)dx$$

7.8 Trabalho executado por uma força variável genérica

B. Força tridimensional

Se $$\vec{F} = F_x\hat{\mathrm{i}} + F_y\hat{\mathrm{j}} + F_z\hat{\mathrm{k}},$$

onde F_x é a componente x de $\boldsymbol{F}$ etc.,

e $$d\vec{r} = dx\hat{\mathrm{i}} + dy\hat{\mathrm{j}} + dz\hat{\mathrm{k}}.$$

Aqui, dx é a componente x do vetor deslocamento $\boldsymbol{dr}$ etc.;

então $$dW = \vec{F}\cdot d\vec{r} = F_x\,dx + F_y\,dy + F_z\,dz.$$

Finalmente, $$W = \int_{r_i}^{r_f} dW = \int_{x_i}^{x_f} F_x\,dx + \int_{y_i}^{y_f} F_y\,dy + \int_{z_i}^{z_f} F_z\,dz.$$

7.8 Teorema do trabalho e energia cinética com uma força variável

Uma partícula de massa m está se movendo no eixo x sob a ação de uma força $F(x)$ na direção do eixo x.

O trabalho realizado pela força sobre a partícula quando a partícula se desloca da posição x_i para a posição x_f é

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

Como

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

temos:

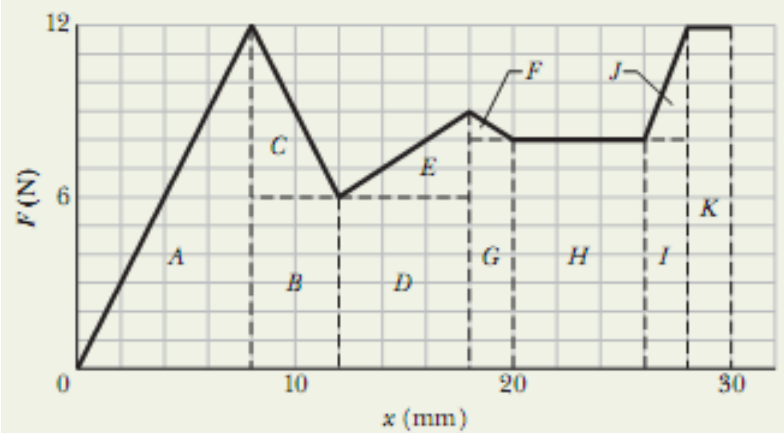
$$W = \int_{v_i}^{v_f} mv\, dv = m\int_{v_i}^{v_f} v\, dv$$
$$= \tfrac{1}{2}mv_f^2 - \tfrac{1}{2}mv_i^2.$$

Exemplo: cálculo do trabalho pelo método gráfico

Na anestesia epidural, como a usada nos partos, o médico ou anestesista precisa introduzir uma agulha nas costas do paciente e atravessar várias camadas de tecido até chegar numa região estreita, chamada de espaço epidural, que envolve a medula espinhal. A agulha é usada para injetar o líquido anestésico. Este delicado procedimento requer muita prática, pois o médico precisa saber quando chegou ao espaço epidural e não pode ultrapassar a região, um erro que poderia resultar em sérias complicações.

A sensibilidade de um médico em relação à penetração da agulha se baseia no fato de que a força que deve ser aplicada à agulha para fazê-la atravessar os tecidos é variável. A Fig. 7-12*a* é um gráfico do módulo F da força em função do deslocamento x da ponta da agulha durante uma anestesia epidural típica. (Os dados originais foram retificados para produzir os segmentos de reta.) Quando x cresce a partir de 0, a pele oferece resistência à agulha, mas em $x = 8{,}0$ mm a pele é perfurada e a força necessária diminui. Da mesma forma, a agulha perfura o ligamento interespinhoso em $x = 18$ mm e o ligamento amarelo, relativamente duro, em $x = 30$ mm. A agulha entra, então, no espaço epidural (onde deve ser injetado o líquido anestésico) e a força diminui bruscamente. Um médico recém-formado precisa se familiarizar com este comportamento da força com o deslocamento para saber quando deve parar de empurrar a agulha. (Este é o padrão que é programado nas simulações em realidade virtual de uma anestesia epidural.) Qual é o trabalho W realizado pela força exercida sobre a agulha para levá-la até o espaço epidural em $x = 30$ mm?

Fig. 7-12 (*a*)



Cálculos Como nosso gráfico é formado por segmentos de reta, podemos calcular a área separando a região sob a curva em regiões retangulares e triangulares, como na Fig. 7-12*b*. A área da região triangular A, por exemplo, é dada por

$$\text{área}_A = \tfrac{1}{2}(0{,}0080\ \text{m})(12\ \text{N}) = 0{,}048\ \text{N}\cdot\text{m} = 0{,}048\ \text{J}.$$

Depois de calcular as áreas de todas as regiões da Fig. 7-12*b*, descobrimos que o trabalho total é

$$\begin{aligned} W &= (\text{soma das áreas das regiões de } A \text{ a } K) \\ &= 0{,}048 + 0{,}024 + 0{,}012 + 0{,}036 + 0{,}009 + 0{,}001 \\ &\quad + 0{,}016 + 0{,}048 + 0{,}016 + 0{,}004 + 0{,}024 \\ &= 0{,}238\ \text{J}. \qquad \text{(Resposta)} \end{aligned}$$

Exemplo: cálculo do trabalho por integração

A força $\vec{F} = (3x^2 \text{ N})\hat{\mathrm{i}} + (4 \text{ N})\hat{\mathrm{j}}$, com x em metros, age sobre uma partícula, mudando apenas a energia cinética da partícula. Qual é o trabalho realizado sobre a partícula quando ela se desloca das coordenadas (2 m, 3 m) para (3 m, 0 m)? A velocidade da partícula aumenta, diminui ou permanece a mesma?

Cálculo Escrevemos duas integrais, uma para cada eixo:

$$W = \int_2^3 3x^2\,dx + \int_3^0 4\,dy = 3\int_2^3 x^2\,dx + 4\int_3^0 dy$$

$$= 3[\tfrac{1}{3}x^3]_2^3 + 4[y]_3^0 = [3^3 - 2^3] + 4[0 - 3]$$

$$= 7{,}0 \text{ J.} \qquad \text{(Resposta)}$$

O resultado positivo significa que a força $\vec{F}$ transfere energia para a partícula. Assim, a energia cinética da partícula aumenta e, como $K = \frac{1}{2}mv^2$, a velocidade escalar também aumenta. No caso de trabalho negativo, a energia cinética e a velocidade teriam diminuído.

7.9 Potência

Potência é a taxa de variação do trabalho com o tempo. Se uma força realiza um trabalho W em um intervalo de tempo t, a potência média produzida pela força durante esse intervalo de tempo é

$$P_{\text{méd}} = \frac{W}{\Delta t} \qquad \text{(potência média).}$$

A potência instantânea P é a taxa de variação instantânea do trabalho com o tempo, que pode ser escrita na forma

$$P = \frac{dW}{dt} \qquad \text{(potência instantânea).}$$

A unidade de potência no SI é o watt (W).

Outras unidades de potência são o pé-libra por segundo e o horsepower.

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 0{,}738 \text{ ft} \cdot \text{lb/s}$$

$$1 \text{ horsepower} = 1 \text{ hp} = 550 \text{ ft} \cdot \text{lb/s} = 746 \text{ W}.$$

7.9 Potência

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{F\cos\phi\, dx}{dt} = F\cos\phi\left(\frac{dx}{dt}\right),$$

$$P = Fv\cos\phi.$$

$$P = \vec{F}\cdot\vec{v} \qquad \text{(potência instantânea).}$$

Exemplo: potência, força, velocidade

A Fig. 7-14 mostra as forças constantes $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ que agem sobre uma caixa enquanto desliza para a direita sobre um piso sem atrito. A força $\vec{F}_1$ é horizontal, de módulo 2,0 N; a força $\vec{F}_2$ está inclinada para cima de um ângulo de 60° em relação ao piso e tem um módulo de 4,0 N. A velocidade escalar v da caixa em um certo instante é 3,0 m/s. Quais são as potências desenvolvidas pelas duas forças que agem sobre a caixa nesse instante? Qual é a potência total? A potência total está variando nesse instante?

Fig. 7-14

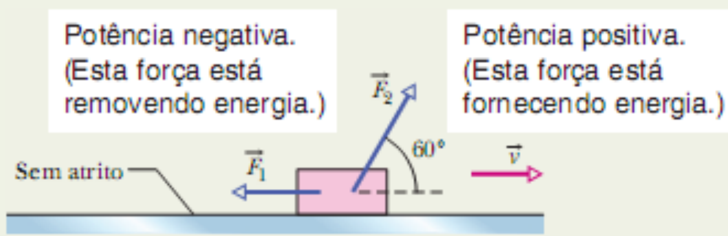


Figura 7-14 Duas forças, $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$, agem sobre uma caixa que desliza para a direita em um piso sem atrito. A velocidade da caixa é $\vec{v}$.

Cálculo Usamos a Eq. 7-47 duas vezes, uma para cada força. Para a força $\vec{F}_1$, que faz um ângulo ϕ_1 com a velocidade $\vec{v}$, temos:

$$P_1 = F_1 v \cos \phi_1 = (2{,}0 \text{ N})(3{,}0 \text{ m/s}) \cos 180° = -6{,}0 \text{ W}. \quad \text{(Resposta)}$$

Este resultado negativo indica que a força $\vec{F}_1$ está *recebendo* energia da caixa à taxa de 6,0 J/s.

No caso da força $\vec{F}_2$, que faz um ângulo ϕ_2 com a velocidade $\vec{v}$, temos:

$$P_2 = F_2 v \cos \phi_2 = (4{,}0 \text{ N})(3{,}0 \text{ m/s}) \cos 60° = 6{,}0 \text{ W}. \quad \text{(Resposta)}$$

O resultado positivo significa que a força F_2 está transferindo energia para a caixa à taxa de 6,0 J/s. A potência total é a soma das potências parciais:

$$P_{tot} = P_1 + P_2 = -6{,}0 \text{ W} + 6{,}0 \text{ W} = 0,$$

o que significa que a potência transferida para a caixa é zero. Assim, a energia cinética da caixa não varia e a velocidade da caixa continua a ser 3,0 m/s. Como as forças e a velocidade não variam, P_1 e P_2 são constantes e o mesmo acontece com P_{tot}.