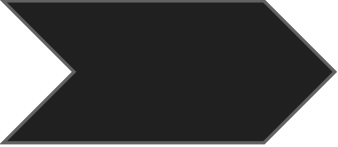

Db / 8 Fof hjb Đo jdbf U bc b im

*Cap. 7: Energia Cinética e
Trabalho*



Seções de estudo

- ✓ 7.1 Contextualizando a Física
- ✓ 7.2 O que é Energia?
- ✓ 7.3 Energia Cinética
- ✓ 7.4 Trabalho
- ✓ 7.5 Trabalho e Energia Cinética
- ✓ 7.6 Trabalho Realizado pela Força Gravitacional
- ✓ 7.7 Trabalho Realizado por uma Força Elástica
- ✓ 7.8 Trabalho Realizado por uma Força Variável Genérica
- ✓ 7.9 Potência

8/2 Do f b jnboe b G jdb

7.1 Contextualizando a Física

D o f b j n b o e b G j d b

- ✓ *Um dos objetivos fundamentais da Física é estudar de perto algo de que se fala muito hoje em dia: **b f o f h j b***
- ✓ *A civilização depende da obtenção e uso eficiente da energia.*
- ✓ *Qualquer um seria capaz de citar muitos exemplos de energia e de sua utilização, mas o que realmente significa o termo energia?*



Fonte: Google Imagens

$\frac{8}{3} P$ f Fof hjb

7.2 ~~$C \Rightarrow$~~ ω á ~~$Energie?$~~

P f Fof hjb

- ✓ *Este termo é tão amplo que é difícil pensar numa definição concisa.*
- ✓ *Energia é a capacidade que um corpo tem de realizar trabalho.*
- ✓ *Ela pode se manifestar na forma de calor, elétrica, magnética, gravitacional, química, etc.*
- ✓ *Concentraremos a atenção em um único tipo de energia (**Energia Cinética**) e uma única forma de transferência de energia (**o Trabalho**).*
- ✓ *No próximo capítulo, examinaremos algumas outras formas de energia e o modo como a lei de conservação da energia pode ser expressa através de equações.*

8/4 Fof hjb Độ jdb

7.3 Energia Cinética

Fof hjb Djo jdb

A energia cinética K é a energia associada ao estado de movimento de um objeto. Quanto mais rápido o objeto se move, maior é sua energia cinética. Quando um objeto está em repouso, sua energia cinética é nula.



$$K = \frac{m \cdot |\vec{v}|^2}{2}$$

Um pato de 3 kg que voa a 2,0 m/s, tem uma energia cinética de $6 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 6 \text{ J}$.

F f n m2

Em 1986, no Texas, William Crush posicionou duas locomotivas em extremidades opostas de uma linha férrea com 6,4Km 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. Supondo que cada locomotiva pesava $1,2 \times 10^6 \text{N}$ e tinha uma aceleração constante de $0,26 \text{m/s}^2$, qual era a energia cinética das duas locomotivas imediatamente antes da colisão?



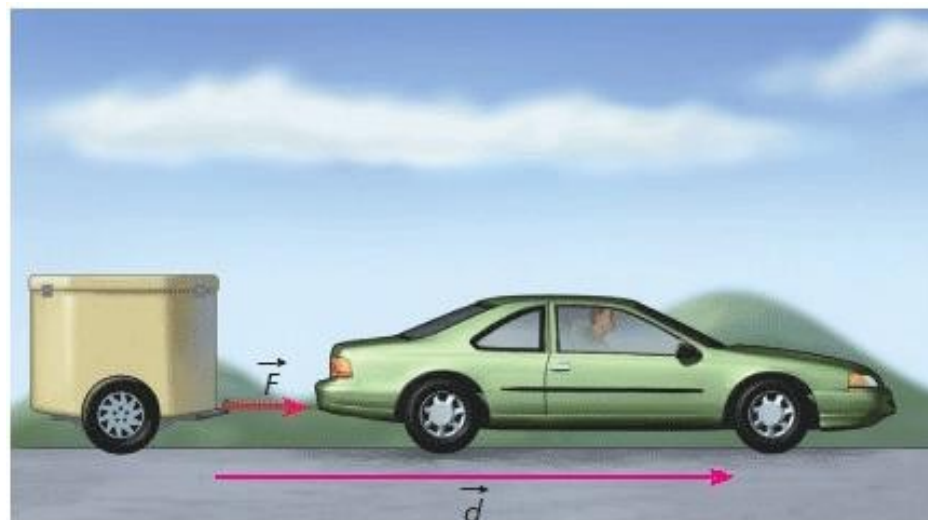
***G o f** Livro Fundamentos de Física – Halliday, 9ª ed.*

8/5 U bc b im

7.4 Trabalho

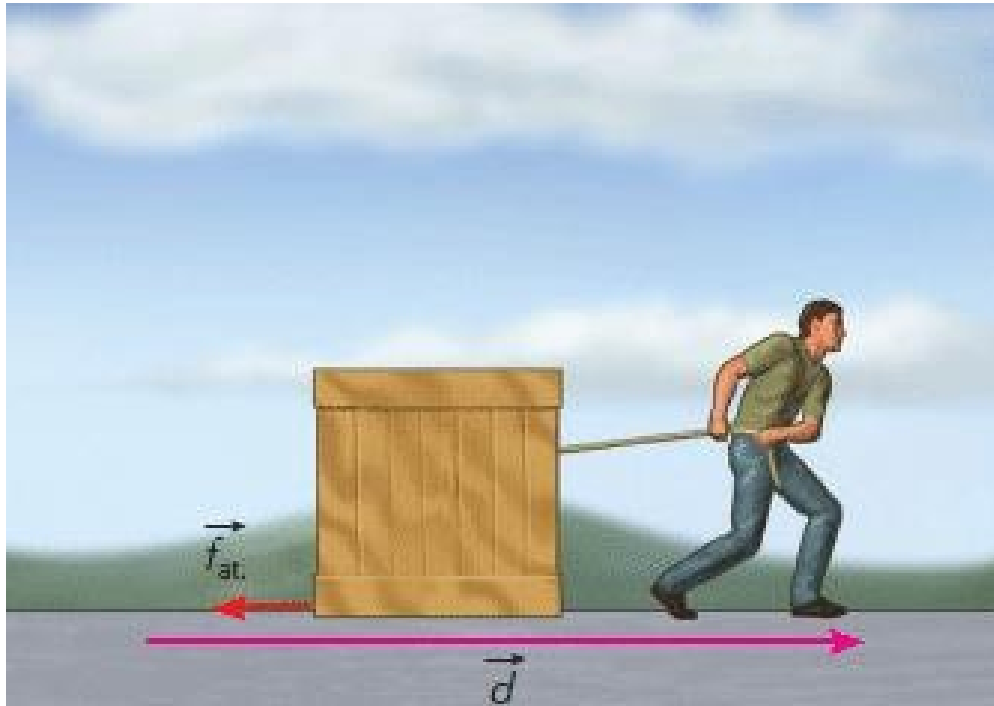
U bc b im

- *É a energia transferida para um objeto ou de um objeto por intermédio de uma força que age sobre o mesmo.*
- ***U bc b im N*** *É quando a energia é transferida para o objeto, i.e., quando a força favorece o deslocamento.*



O ef mdbnfo d b
 g b $\vec{F}$ f db
 b jdb o fc f
 fb jnb n bc b im
 n) bc b im
 j j /

- **Trabalho de Força Resistiva** É quando a energia é transferida do objeto, i.e., quando a força se opõe ao deslocamento.



Fonte: Livro da Moderna Plus - Física

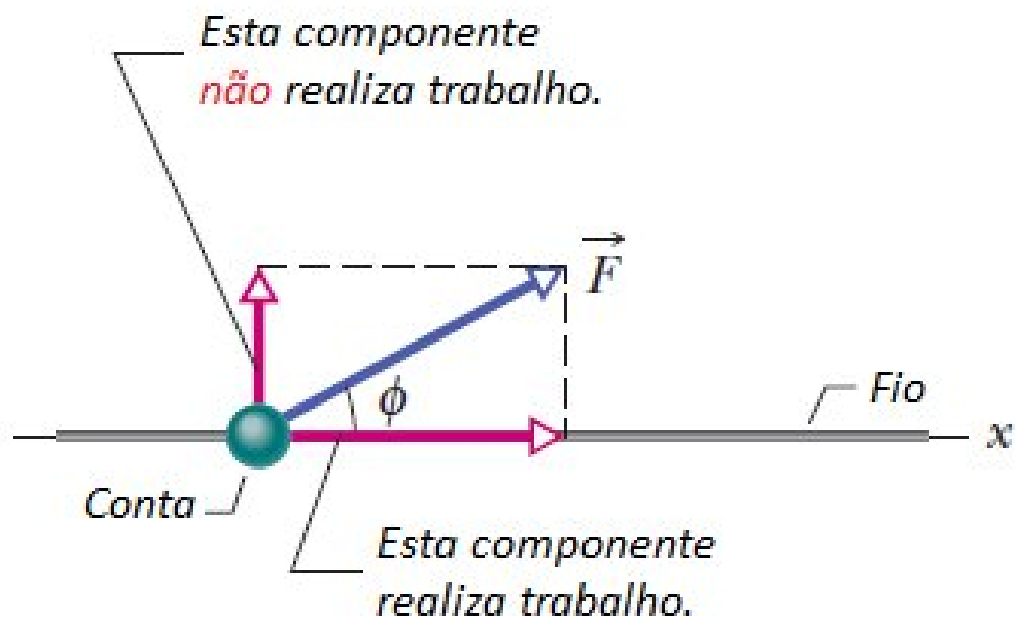
O trabalho de força resistiva
 é realizado quando a força
 aplicada se opõe ao deslocamento.
 Neste caso, o trabalho é negativo.
 Exemplo: ao frear um carro, o trabalho realizado pela força de atrito é negativo.

8/6 U bc b ìm f Fof hjb Độ jdb

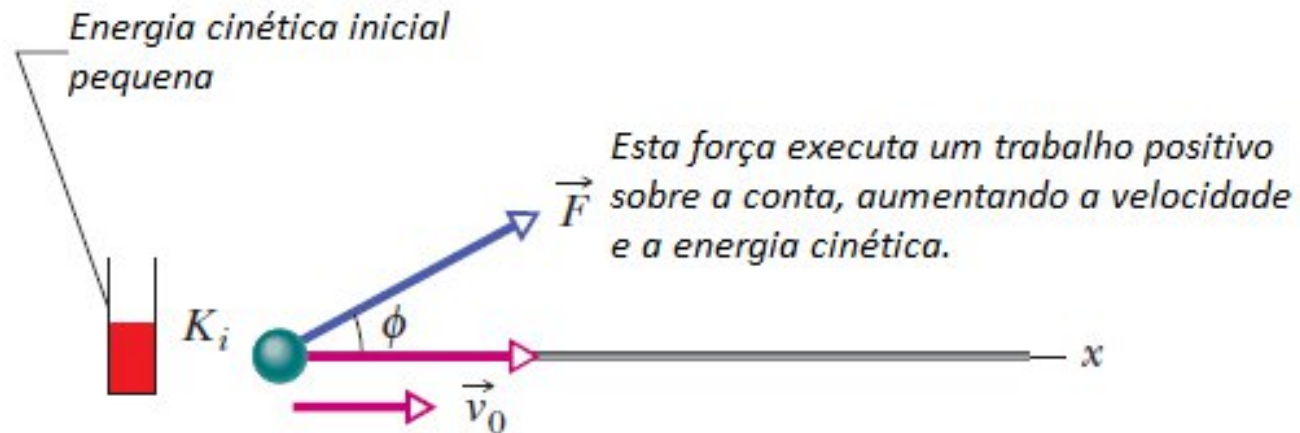
7.5 Trabalho e Energia Cinética

Ubc bím f Fof hjb Đo jdb

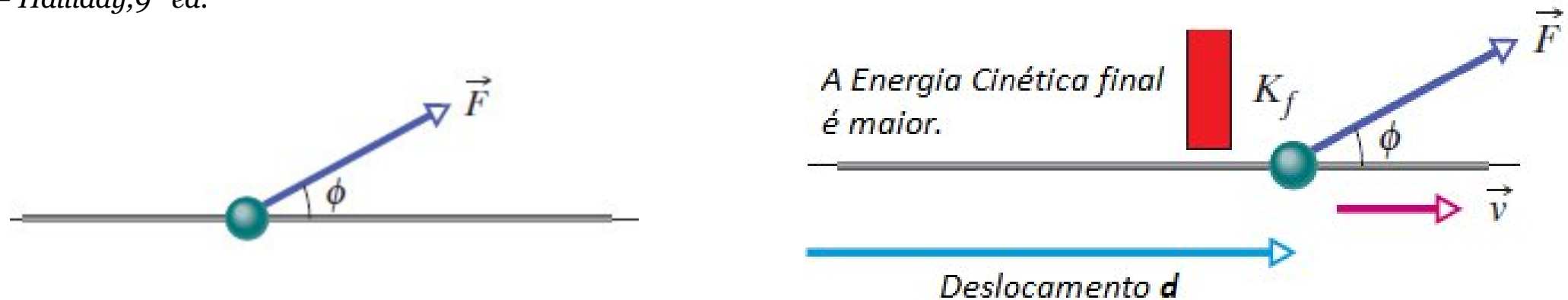
Para encontrar uma expressão para o trabalho, considere uma conta que desliza ao longo de um fio sem atrito, ao longo do eixo x horizontal.



Uma força constante $\vec{F}$ que faz um ângulo ϕ com o deslocamento de uma conta em um fio, acelera a conta ao longo do fio, fazendo sua velocidade mudar de v_0 para v .



G o f Livro Fundamentos de Física – Halliday, 9ª ed.



Um “medidor de energia cinética” indica a variação resultante da energia cinética da conta, do valor K_i para o valor K_f .

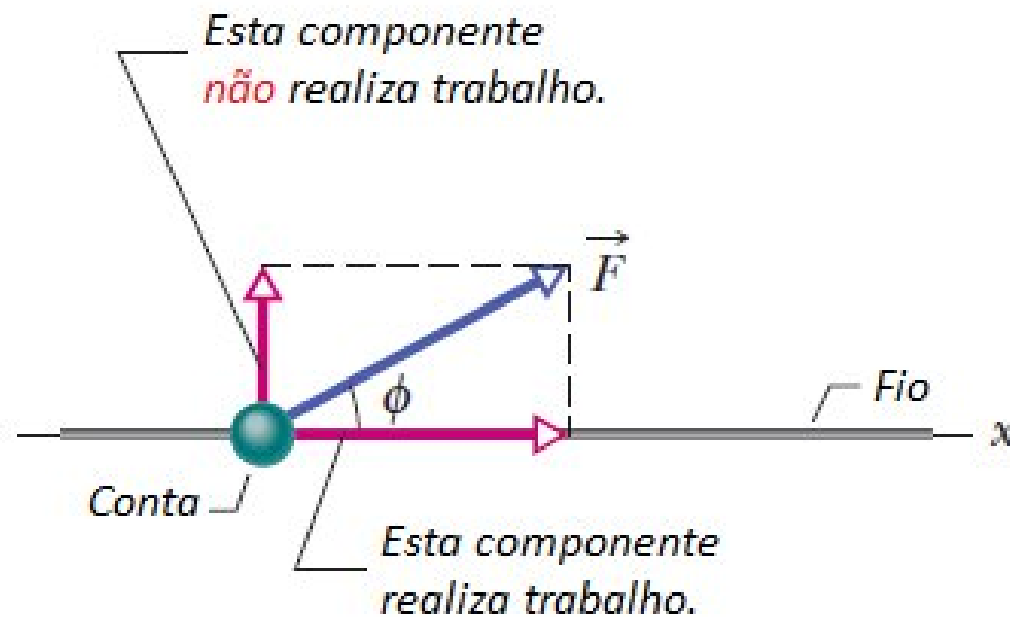
Podemos relacionar a força à aceleração, através da 2ª lei de Newton:

$$F_x = ma_x,$$

Enquanto a conta sofre um deslocamento e a força muda a velocidade de v_0 para v . Como a força é constante, logo a aceleração também é. Assim, podemos usar: $v^2 = v_0^2 + 2a_x d$.

Isolando a_x da equação anterior e substituindo na equação da força, podemos mostrar que: $\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = F_x d$.

O lado esquerdo nos diz que a energia cinética foi alterada pela força e o lado direito nos diz que essa mudança é igual $F_x \cdot d$. Assim, o trabalho realizado pela força sobre a conta (a transferência de energia em consequência da aplicação da força) é: $W = F_x d$.

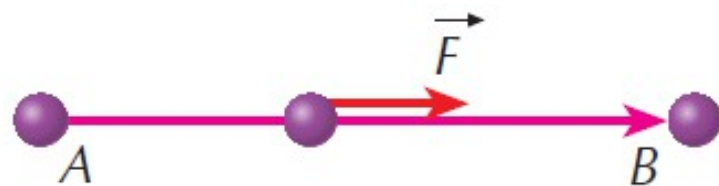


Para calcular o trabalho que uma força realiza sobre um objeto quando este sofre um deslocamento, usamos apenas a componente da força paralela ao deslocamento do objeto. A componente da força perpendicular ao deslocamento não realiza trabalho.

$$W = Fd \cos \phi$$

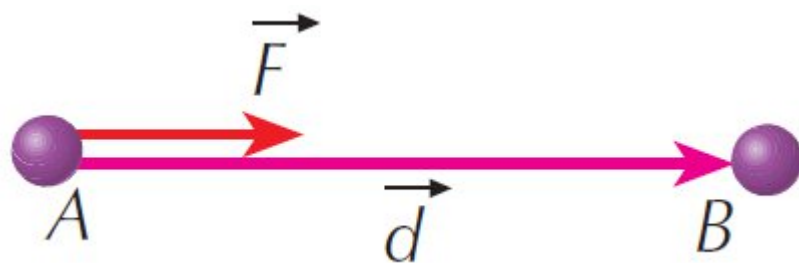
$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

(Trabalho realizado por uma força constante)

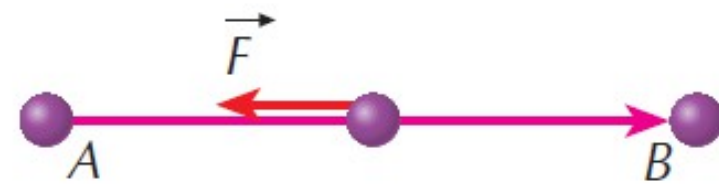
A

$$\mathcal{Z} > 0 \quad \mathcal{Z} = Fd$$

Trabalho motor



$$\mathcal{Z} = Fd, \text{ sendo } d = |\overrightarrow{AB}|$$

B

$$\mathcal{Z} < 0 \quad \mathcal{Z} = -Fd$$

Trabalho resistente



$$\mathcal{Z} = -Fd$$

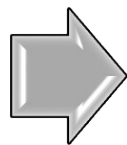
Uf fn be U bc b im f Fof hjb Djo jdb

Podemos concluir das equações anteriores que:

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

que significa o seguinte,

Variação da
energia cinética
de uma
partícula.

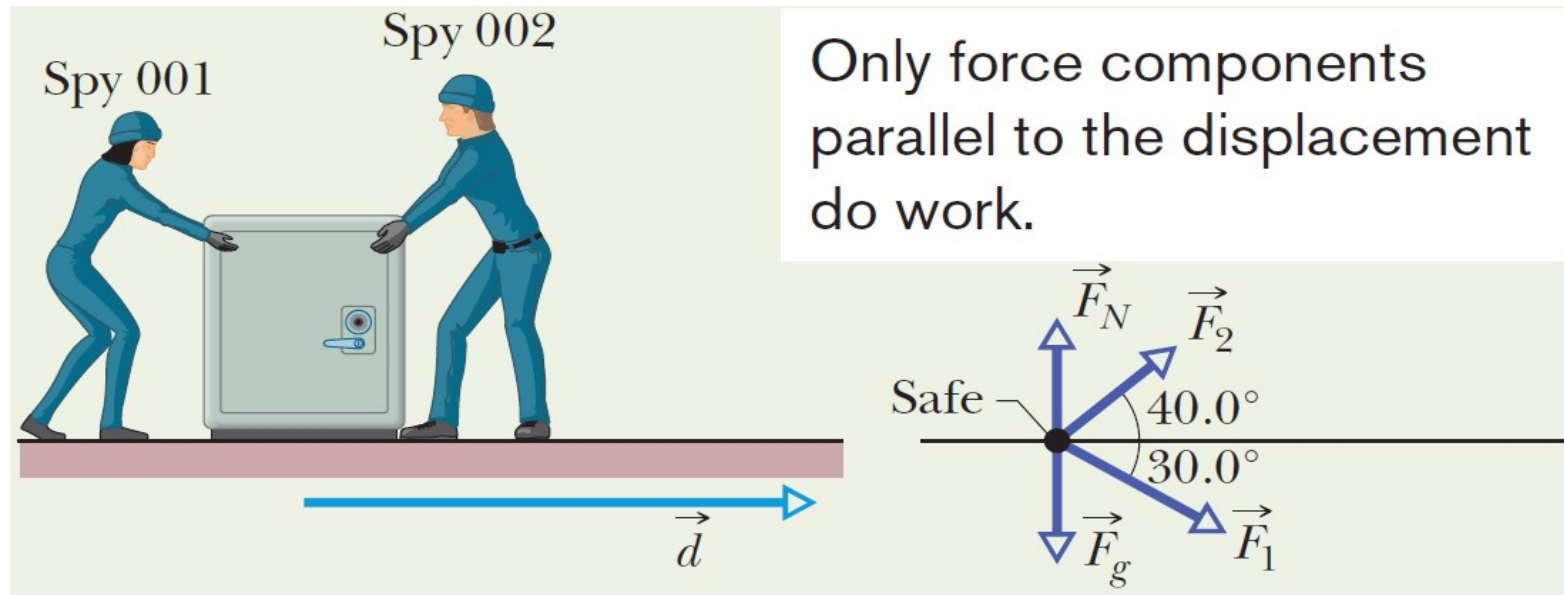


Trabalho total
executado sobre
a partícula.

- ✓ Se a energia cinética de uma partícula é inicialmente 5J e a partícula recebe uma energia de 2J (trabalho total positivo), a energia cinética final é 7J.
- ✓ Se a energia cinética de uma partícula é inicialmente 5J e a partícula cede uma energia total de 2J (trabalho total negativo), a energia cinética final é 3J.

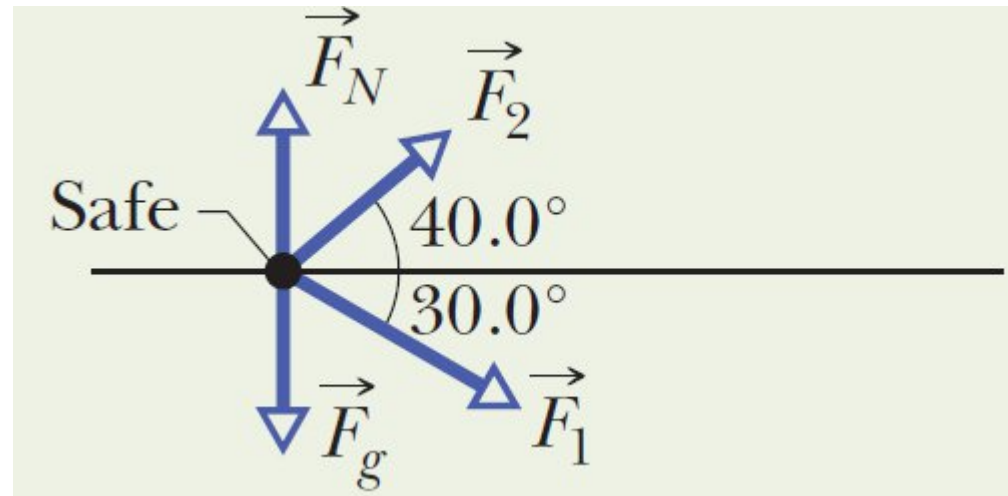
F f_n m_3

A figura abaixo mostra dois espiões arrastando um cofre de 225kg a partir do repouso e assim produzindo um deslocamento de módulo 8,5m, em direção a um caminhão. O empurrão do espião 001, tem um módulo de 12N e faz um ângulo de 30° para baixo com a horizontal; o puxão do espião 002 tem um módulo de 10N e faz um ângulo de 40° para cima com a horizontal.



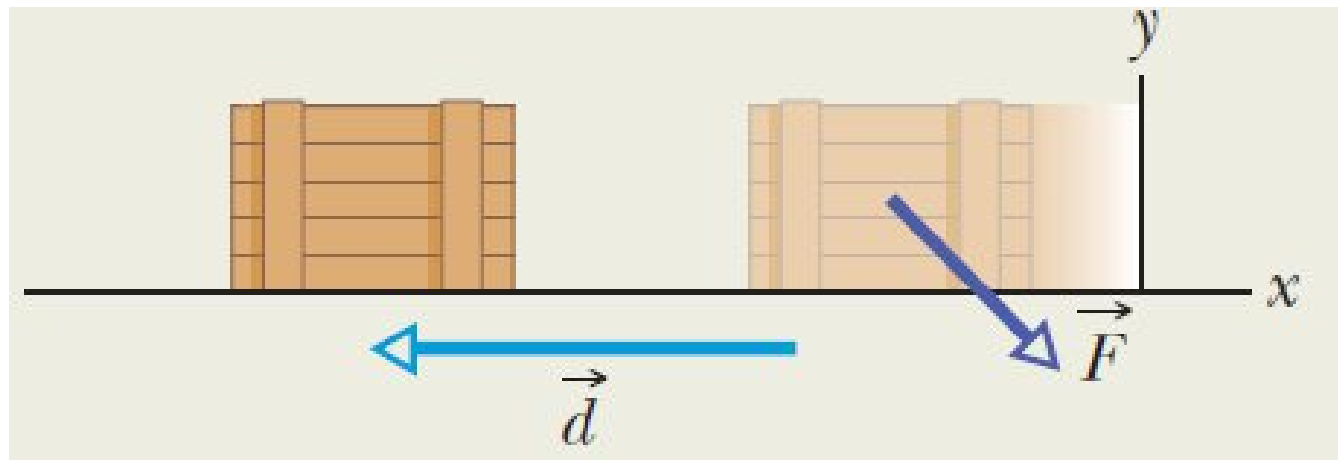
Os módulos e orientações das forças não variam quando o cofre se desloca e o atrito entre o cofre e o atrito com o piso é desprezível.

- Qual o trabalho total realizado pelas forças sobre o cofre durante o deslocamento d ?
- Qual o trabalho realizado pela força gravitacional e pela força normal sobre o cofre durante o deslocamento?
- O cofre está inicialmente em repouso. Qual é sua velocidade v_f após o deslocamento de 8,5m?



F f_n m_4

Durante uma tempestade, um caixote desliza pelo piso escorregadio de um estacionamento, sofrendo um deslocamento $\vec{d} = (-3\text{m})\hat{i}$ enquanto é empurrado pelo vento com uma força $\vec{F} = (2\text{N})\hat{i} + (-6\text{N})\hat{j}$. A situação e o eixos do sistema de coordenadas estão representados na figura abaixo:



- Qual é o trabalho realizado pelo vento sobre o caixote?
- Se o caixote tem uma energia cinética de 10J no início do deslocamento, qual a energia ao final do deslocamento?

$$8/7 \quad U_{bc} = \int_{b_i}^{b_f} \mathbf{S} \cdot d\mathbf{r} = \int_{b_i}^{b_f} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \int_{b_i}^{b_f} \mathbf{F} \cdot \mathbf{dr}$$

$$b_j \quad b_k \quad o \quad b \quad m$$

7.6 Trabalho Realizado pela Força Gravitacional

Ubc bim fb jnbe f tng b h b j b d ob m

Considere uma partícula arremessada para cima com velocidade inicial v_0 . Na subida a partícula é desacelerada por uma força gravitacional, ou seja, a energia cinética da partícula diminui porque $\vec{F}_g$ realiza trabalho sobre a partícula durante a subida. Logo:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}$$



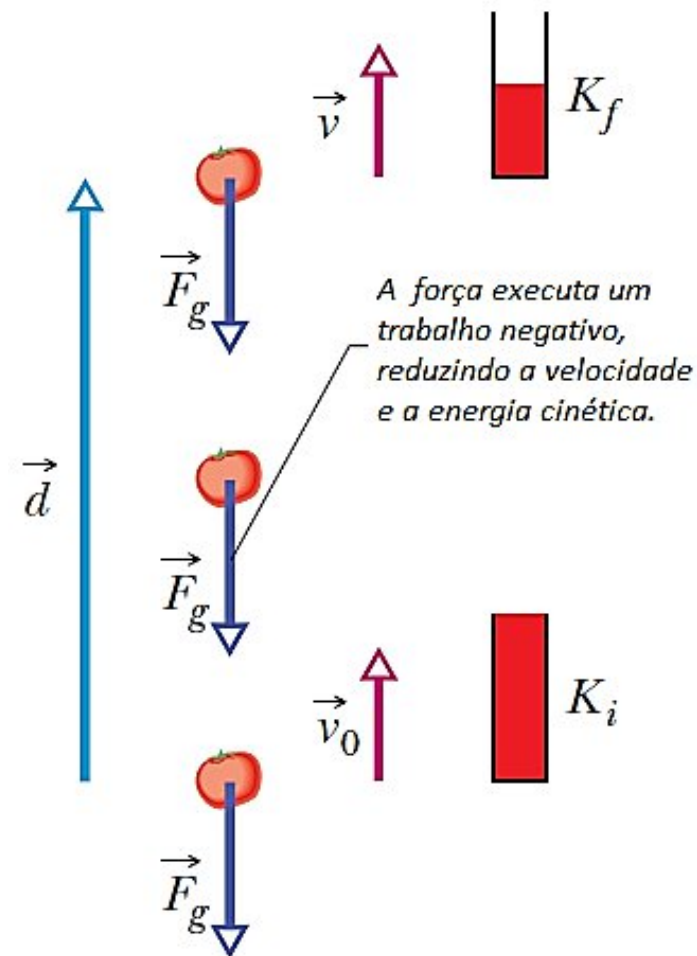
$$W_g = mgd \cos \phi$$

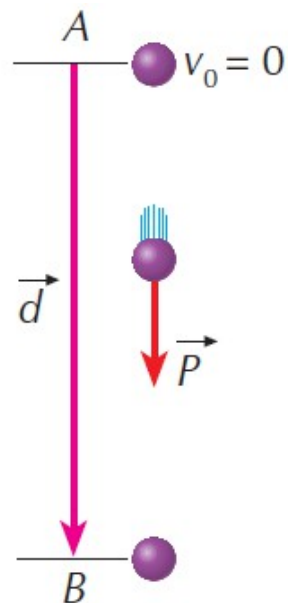
$$W_g = mgd \cos 180^\circ = mgd(-1) = -mgd.$$

$$W_g = mgd \cos 0^\circ = mgd(+1) = +mgd.$$

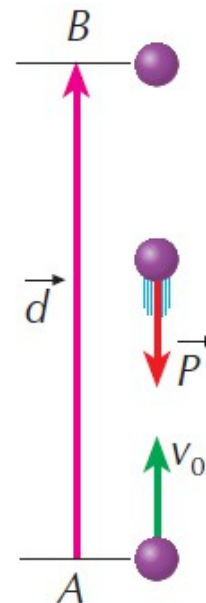
(Subida)

(Descida)





Corpo caindo: o peso favorece o deslocamento.
 $\mathcal{Z} > 0$ (trabalho motor)

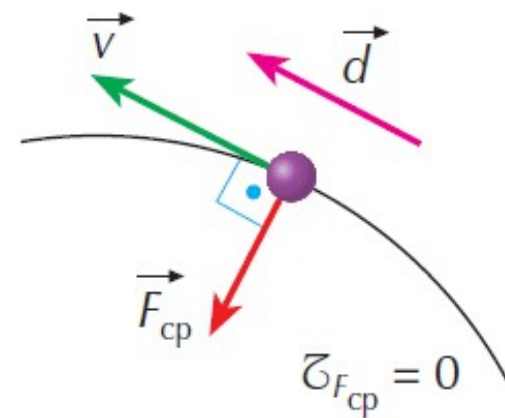
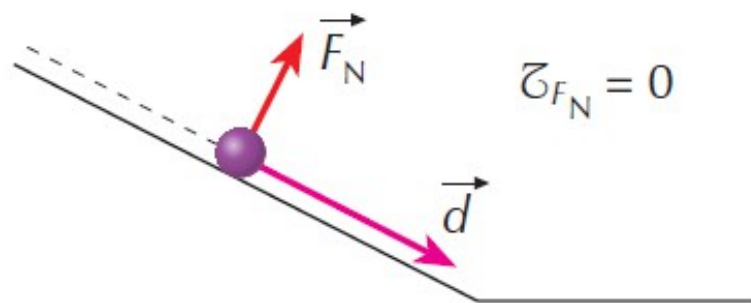
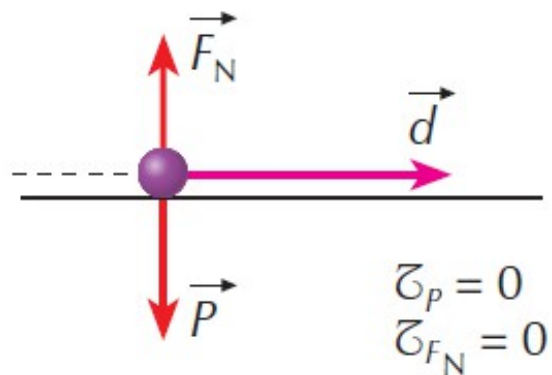


Corpo atirado para cima: o peso se opõe ao deslocamento.
 $\mathcal{Z} < 0$ (trabalho resistente)

PCTFS F RVF

Fonte: Livro da Moderna Plus - Física

- 1.o trabalho é sempre de uma força;
- 2.o trabalho é realizado num deslocamento (entre dois pontos);
- 3.o trabalho é uma grandeza escalar;
- 4.o trabalho depende do referencial;
- 5.o trabalho é positivo, quando a força favorece o deslocamento; e negativo, quando a força se opõe ao deslocamento.



Fonte: Livro da Moderna Plus - Física

Unidades de trabalho

unidade de trabalho = (unidade de intensidade de força) $\times$ (unidade de comprimento)

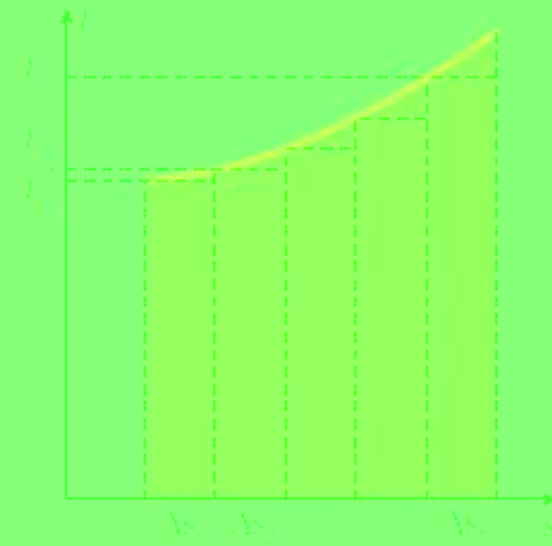
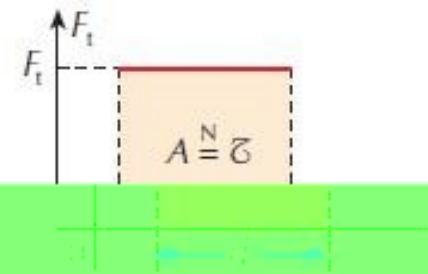
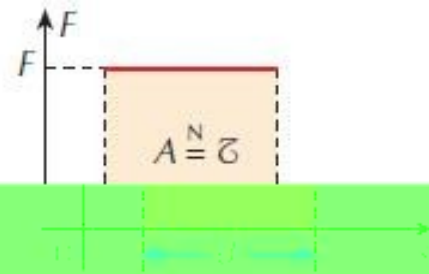
No Sistema Internacional de Unidades (SI), temos:

$$\text{joule}^* (\text{J}) = \text{newton} \times \text{metro}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Construindo-se o gráfico da intensidade da força resultante em função do deslocamento do veículo pode-se, por meio da área abaixo desse gráfico, calcular o trabalho realizado por tal força. 🧡



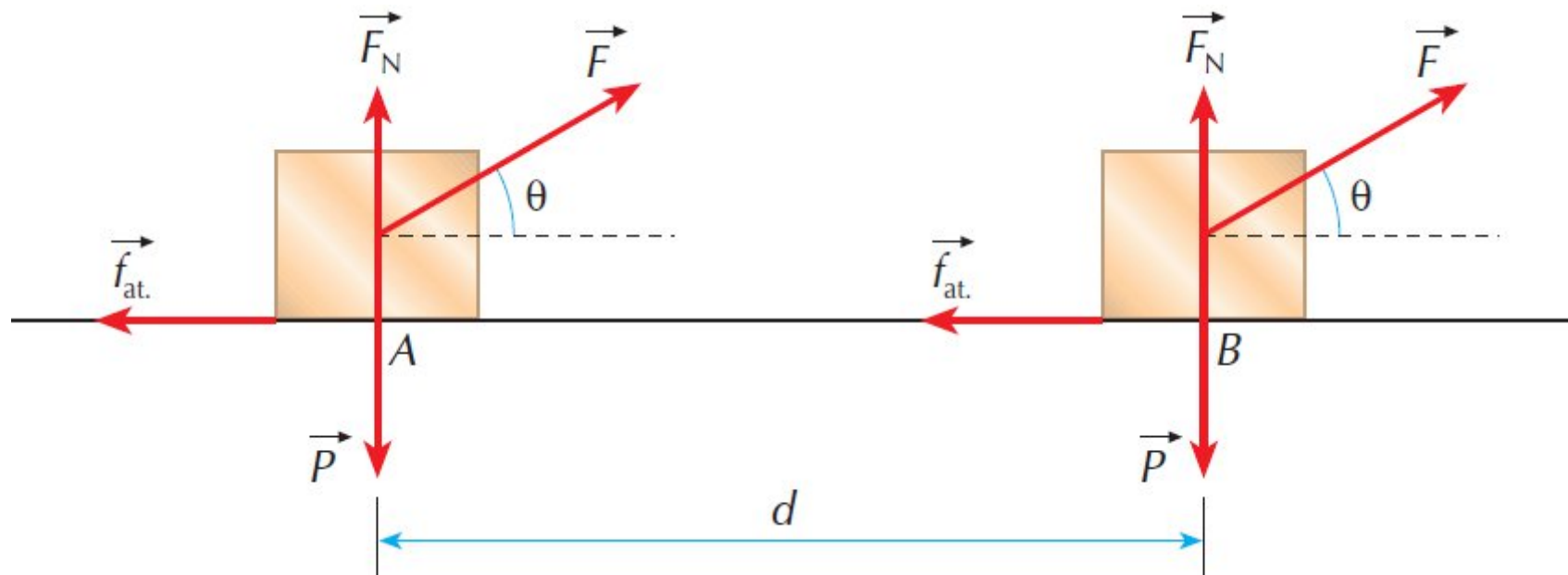
🧡 **Figura 11.** Cálculo gráfico do trabalho de uma força.

F f n m5

Um bloco parte da posição A e atinge a posição B sob ação de um sistema de forças, conforme mostra a figura:

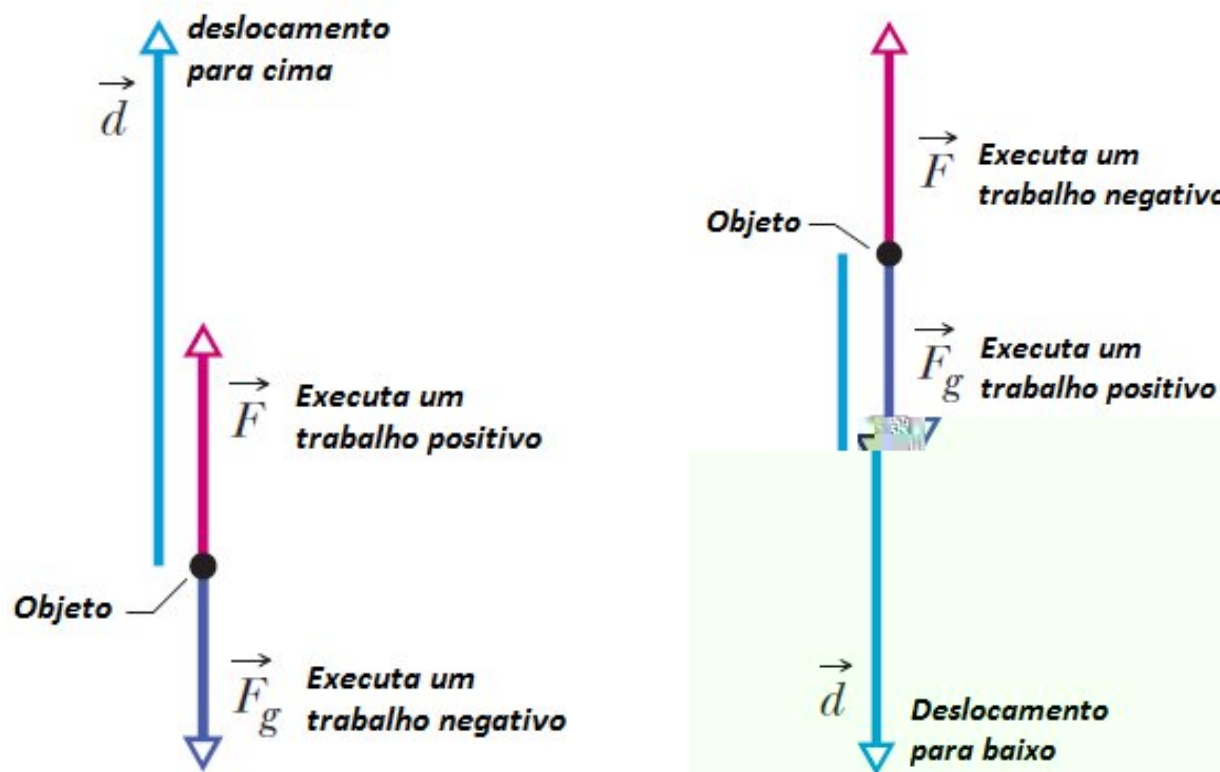
Sendo $F = 50 \text{ N}$, $\cos \theta = 0,80$, $P = 70 \text{ N}$, $F_N = 40 \text{ N}$, $f_{\text{at.}} = 10 \text{ N}$ e $d = 5,0 \text{ m}$, determine:

- a) o trabalho que cada força realiza no deslocamento **BC**/*
- b) o trabalho da força resultante nesse deslocamento.*



Ubc b im fb j nbe b b f n bo b f c b j b n c f

Suponha que aplicamos uma força vertical F em um objeto para levantá-lo. Durante o deslocamento para cima, a força aplicada realiza um trabalho positivo W_a enquanto que a força gravitacional realiza um trabalho negativo W_g . E na descida?



Go f Livro Fundamentos de Física – Halliday, 9ª ed.

- ✓ **Subida:** A força aplicada tende a transferir energia para o objeto, enquanto a força gravitacional tende a remover energia do objeto.
- ✓ **Descida:** A força gravitacional tende a transferir energia para o objeto, enquanto a força aplicada tende a remover energia do objeto.

A variação da energia cinética do objeto devido a essas duas transferências de energia é:

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



Atenção: A equação anterior é válido tanto na subida do objeto quanto na descida... Atenção apenas nos sinais dos trabalhos quando for motor ou resistente!!!

Em muitos casos o objeto está em repouso antes e depois do levantamento. Um exemplo, seria quando levantamos um livro do chão e colocamos em uma estante. Nesse caso teremos:

$$\Delta K = W$$

$$K_f - K_i = W_a + W_g$$

$$0 - 0 = W_a + W_g$$

$$W_a = -W_g = -mgd \cos \varphi$$

Isso significa que, a força aplicada transfere para o objeto a mesma quantidade de energia que a força gravitacional remove do objeto. Assim:

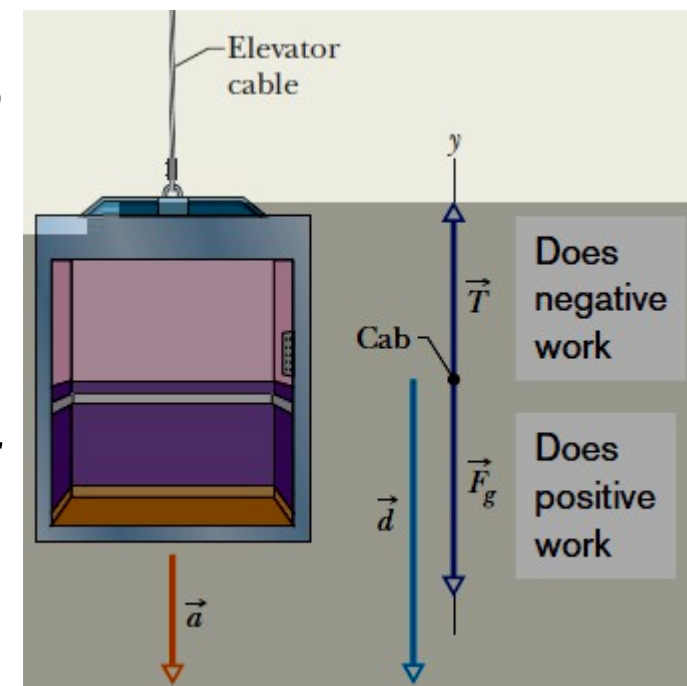
✓ **Movimento vertical para cima:** $\varphi = 180^\circ \rightarrow W_a = mgd$

✓ **Movimento vertical para baixo:** $\varphi = 0^\circ \rightarrow W_a = -mgd$

F f_n m

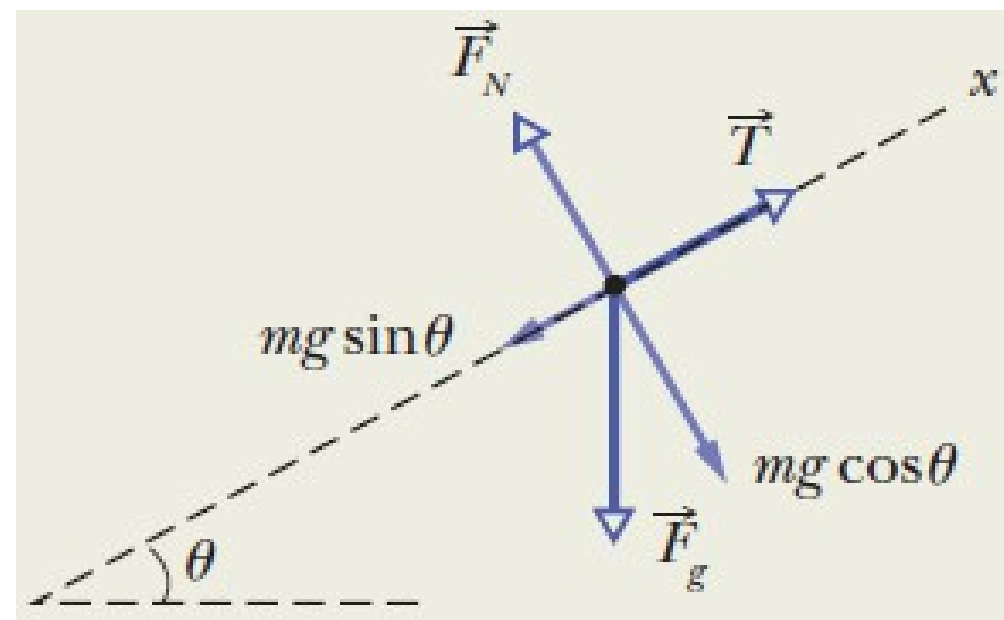
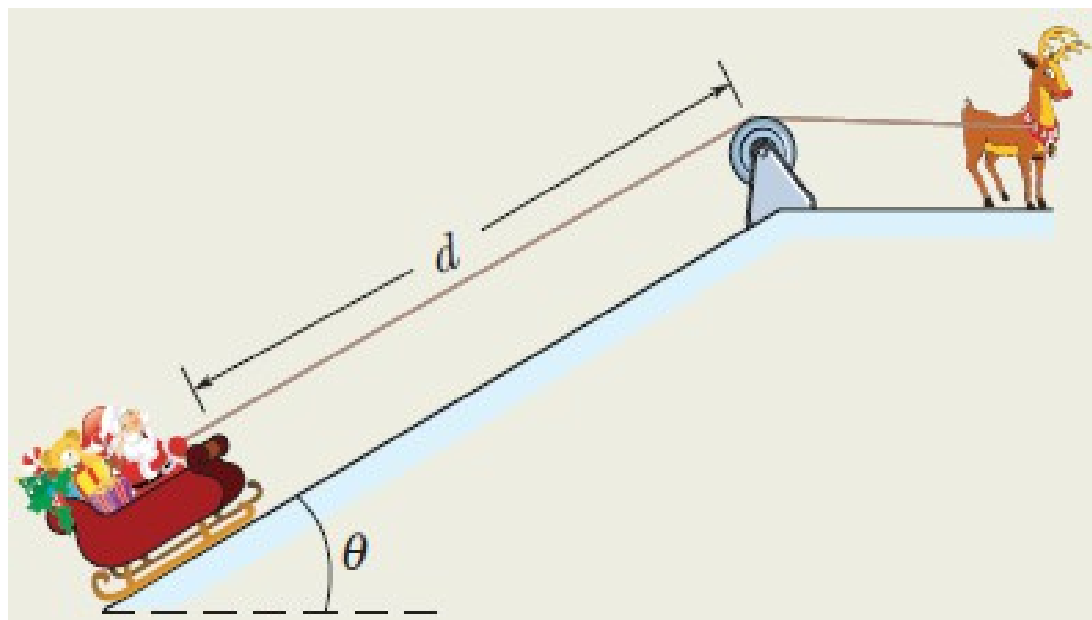
Um elevador de massa $m = 500\text{ kg}$ está descendo com velocidade $v_i = 4\text{ m/s}$ quando o cabo de sustentação começa a deslizar, permitindo que o elevador caia com aceleração constante $\vec{a} = \vec{g}/5$.

- a) Se o elevador cai de uma altura $d = 12\text{ m}$, qual é o trabalho realizado pela força gravitacional?
- b) Qual é o trabalho realizado sobre o elevador pela força de tração exercida pelo cabo durante a queda?
- c) Qual o trabalho total realizado sobre o elevador durante a queda?
- d) Qual é a energia cinética do elevador no final da queda de 12 m ?



F f_n $m\vec{g}$

Um trenó de massa 200kg é puxado ao longo de uma rampa sem atrito que faz um ângulo de 30° com a horizontal através de uma distância de 20 m. O trenó começa e termina em repouso e, portanto, a variação da energia cinética é nula. Qual o trabalho realizado por cada força sobre o trenó?



8/8 *U bc b im Sfb jnbe n b*
g b f m jdb

*7.7 Trabalho Realizado por uma
força elástica*

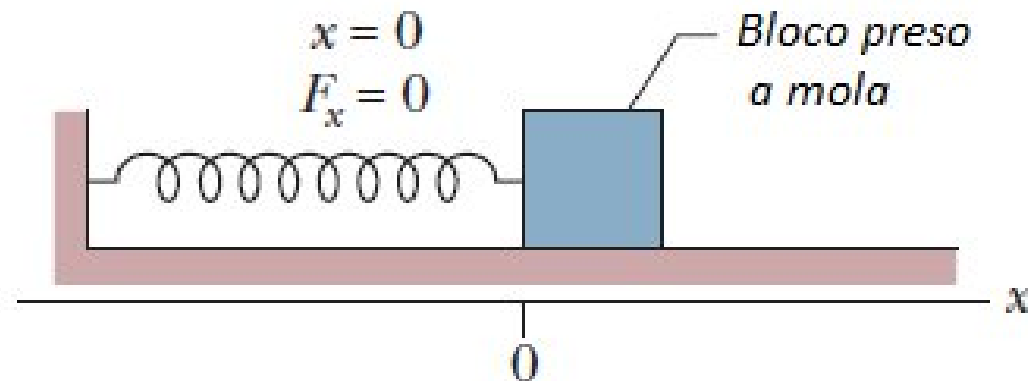
$U_{bc} b_{im} f_{b jnbe}$

$n_{bg} b_{f m jdb}$

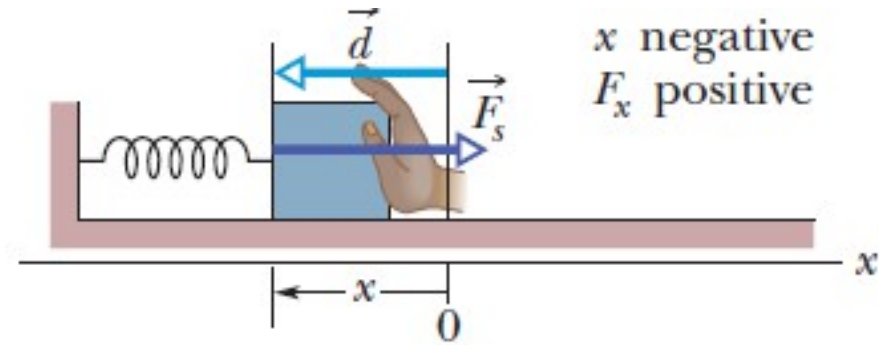
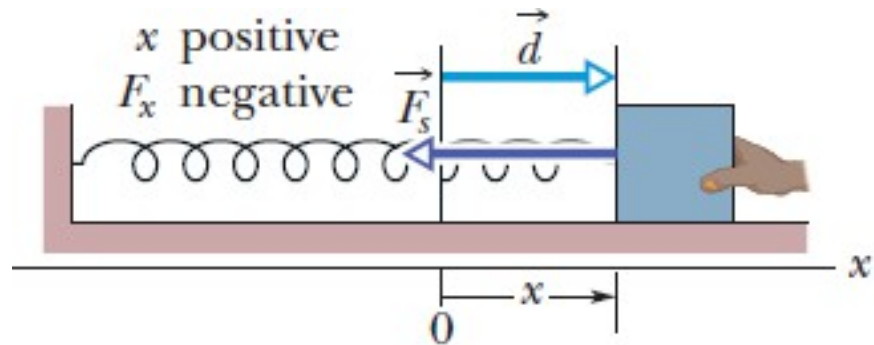
A força elástica exercida por uma mola é um tipo particular de **g_{bj}** **$f_{-m} = f(x)$** . Muitas forças na natureza têm a mesma forma matemática que a força em uma mola.

A força elástica

A força elástica tende a restaurar o estado relaxado da mola, ela também é chamada **g_{bf}** **b_{be}**



A força elástica é proporcional ao deslocamento ou deformação sofrida pela mola em relação a posição de equilíbrio.



$$\vec{F}_s = -k\vec{d}$$

$$F_x = -kx$$

*Se liga na
sutileza!!!!!!*



O sinal negativo indica que o sentido da força elástica é sempre oposto ao sentido do deslocamento da extremidade livre da mola. A constante elástica da mola, k , é uma medida da rigidez da mola.

U bc b im fb j nbe

n b g b f m j db

Para determinar o trabalho realizado pela mola quando o bloco se move, assumamos duas hipóteses simplificadoras básicas a respeito da mola:

- a) A massa da mola é desprezível em relação a massa do bloco; e
- b) Mola ideal, que obedece a lei de Hooke. Supomos também que não há atrito entre o bloco e o piso e que o bloco se comporta como uma partícula.

Só podemos aplicar as equações abaixo caso a força seja constante. O que fazer, para calcular o trabalho realizado por uma mola, se a **força elástica é variável**?

$$W = Fd \cos \phi$$

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

(Trabalho realizado por uma força constante)

1. Para determinar o trabalho realizado pela mola, usamos os métodos do cálculo. Seja x_i a posição inicial do bloco e x_f a posição do bloco em um instante posterior.
2. Vamos dividir a distância entre essas duas posições em muitos segmentos, cada um com um pequeno comprimento Δx . Rotulamos esses segmentos, a partir de x_i , como segmentos 1, 2 e assim por diante.
3. Quando o bloco se move no interior de um dos segmentos, a força elástica praticamente não varia, já que o segmento é tão curto que x é praticamente constante.
4. Assim, podemos supor que o módulo da força é aproximadamente constante dentro de cada segmento. Vamos rotular esses módulos como F_{x1} no segmento 1, F_{x2} no segmento 2 e assim por diante.

Com uma força constante em cada segmento, podemos calcular o trabalho realizado dentro de cada segmento usando a equação:

$$W = Fd \cos \phi$$

Nesse caso, $\phi = 180^\circ$, de modo que o trabalho realizado é $-F_{x1}\Delta x$ no segmento 1, $-F_{x2}\Delta x$ no segmento 2, e assim por diante. O trabalho total realizado pela mola de x_i a x_f é a soma de todos esses trabalhos:

$$W_s = \sum -F_{xj} \Delta x,$$

onde $j=1,2,\dots$ é o número de ordem de cada segmento. No limite em que Δx tende a zero, a equação se torna:

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

Como o módulo de $F_x = kx$, logo temos:

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

$$\begin{aligned} W_s &= \int_{x_i}^{x_f} -kx dx = -k \int_{x_i}^{x_f} x dx \\ &= \left(-\frac{1}{2}k\right)[x^2]_{x_i}^{x_f} = \left(-\frac{1}{2}k\right)(x_f^2 - x_i^2). \end{aligned}$$

$$W_s = \frac{1}{2}kx_i^2 - \frac{1}{2}kx_f^2$$

Supondo que $x_i = 0$, e chamando a posição final de x , a equação anterior se torna:

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

P U bc b im fb j nbe

n b g b b j nbe b

Suponha que deslocamos o bloco ao longo do eixo x mantendo uma força F_a aplicada ao bloco. Durante o deslocamento, a força aplicada realiza sobre o bloco um trabalho W_a , enquanto a força elástica realiza um trabalho W_s . Assim, o teorema da energia cinética e trabalho fica:

$$\Delta K = K_f - K_i = W_a + W_s,$$

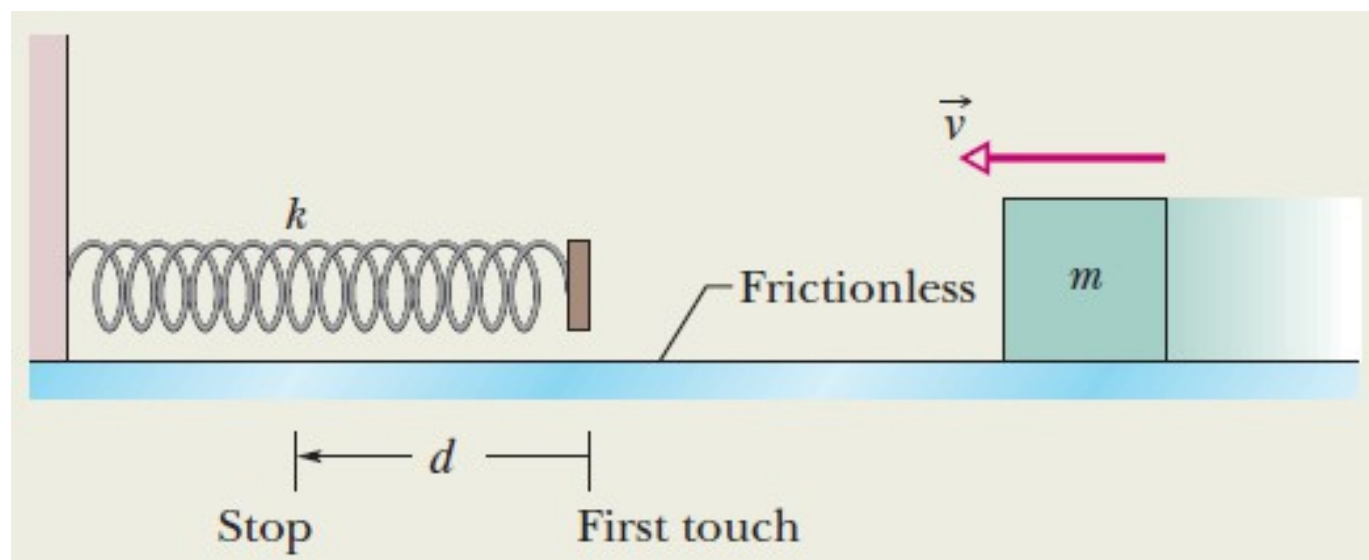
Se o bloco está em repouso no início e no fim do deslocamento, então a equação anterior se reduz a:

$$W_a = -W_s.$$

Se um bloco que está preso a uma mola se encontra em repouso antes e depois de um deslocamento, o trabalho realizado sobre o bloco pela força responsável pelo deslocamento, é o negativo do trabalho realizado sobre o bloco pela força elástica.

F f_n m 8

Depois de deslizar sobre uma superfície horizontal sem atrito com velocidade de $0,5\text{m/s}$, um bloco de massa $0,4\text{kg}$ colide com uma mola de constante elástica $k=750\text{N/m}$ e começa a comprimi-la. No instante em que o bloco para momentaneamente por causa da força exercida pela mola, de que distância d a mola foi comprimida?

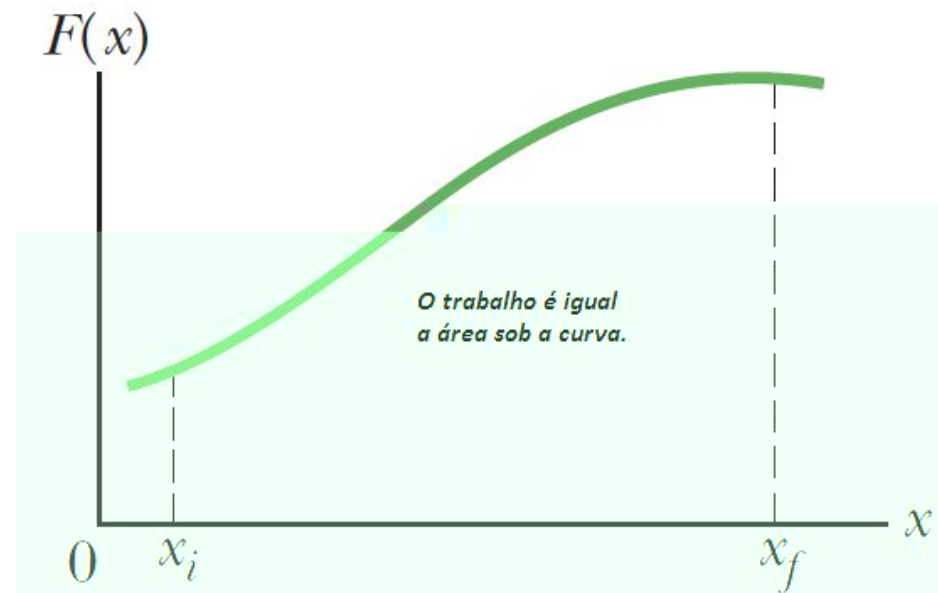


8/9 *U bc b im Sfb jmbe n b*
g b b j f mfo jdb

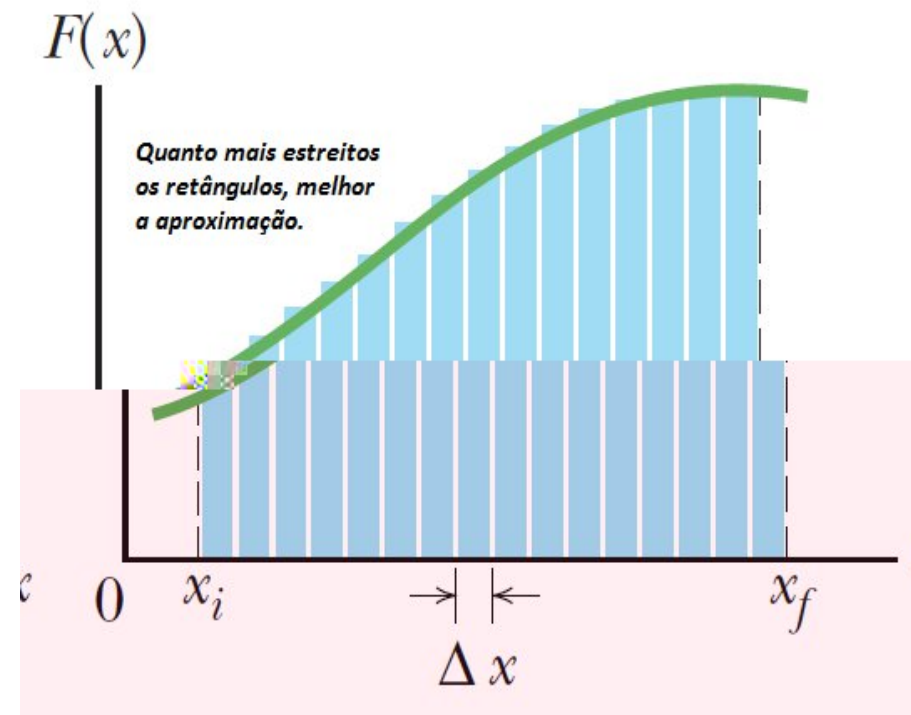
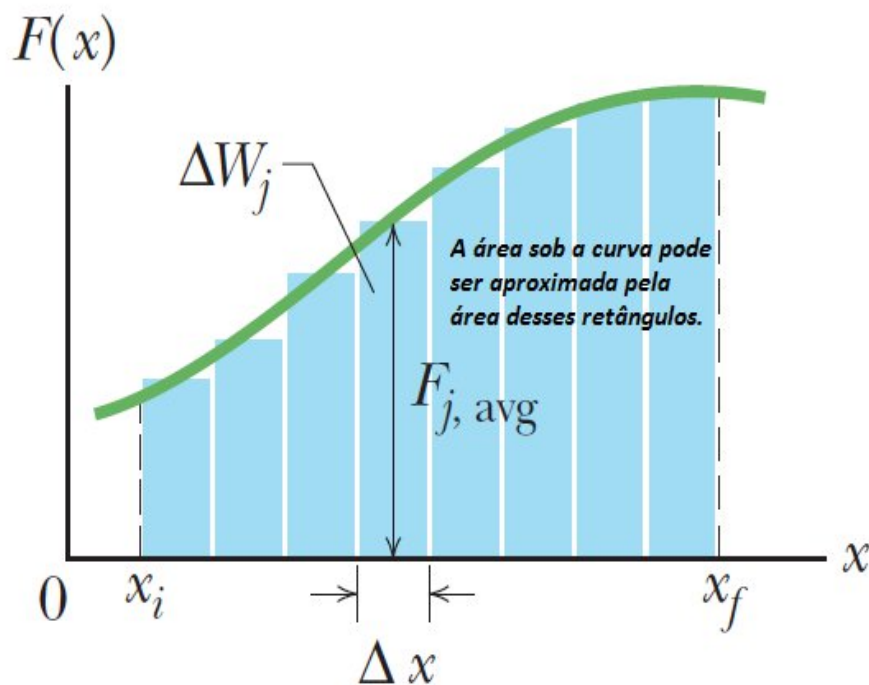
*7.8 Trabalho Realizado por uma
força variável genérica*

➤ **Bo jnf Vojejnfo j ob m**

Queremos obter uma expressão para o trabalho realizado por uma dada força genérica $F(x)$, sobre uma partícula quando ela se desloca de uma dada posição x_i para uma posição final x_f .



Para isso, dividimos a área sob a curva em um grande número de faixas estreitas de largura Δx . Escolhemos Δx suficientemente pequeno, para que possamos considerar a força $F(x)$ aproximadamente constante nesse intervalo.



Vamos chamar de $F_{j,\text{méd}}$ o valor médio de $F(x)$ no intervalo de ordem j . Neste caso, $F_{j,\text{méd}}$, é a altura da faixa de ordem j . Com $F_{j,\text{méd}}$ constante, o incremento de trabalho ΔW_j realizado pela força no intervalo de ordem j pode ser calculado usando:

$$\Delta W_j = F_{j,\text{avg}} \Delta x.$$

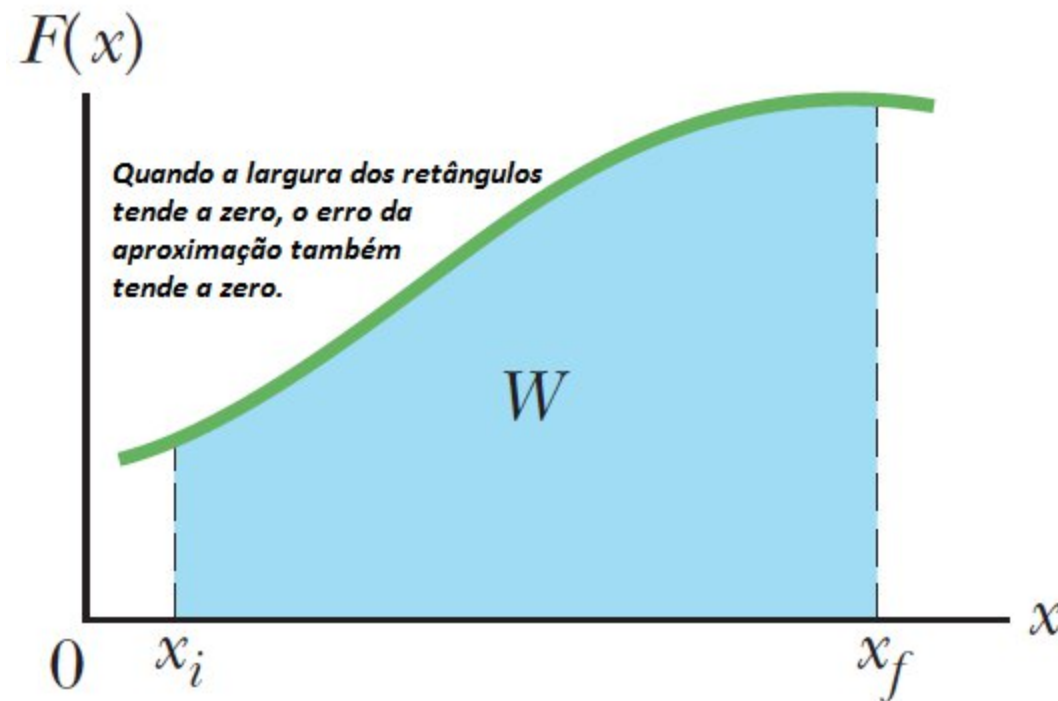
$$W = \sum \Delta W_j = \sum F_{j,\text{avg}} \Delta x.$$

Podemos melhorar a aproximação reduzindo a largura Δx dos retângulos. No limite, fazemos estes tender a zero, fazendo com que o número de retângulos torne-se infinitamente grande, tendo como resultado exato:

$$W = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \sum F_{j,\text{avg}} \Delta x.$$

Este limite corresponde a definição da integral da função $F(x)$ entre os limites x_i e x_f :

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F(x) dx \quad (\text{work: variable force}).$$



G o f Livro Fundamentos de Física – Halliday, 9ª ed.

➤ **Bo *jmf Ujejnfo j ob m***

Considere a partícula sob a ação de uma força tridimensional:

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

suponha que a partícula sofra um deslocamento incremental:

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

O trabalho realizado pela força enquanto a partícula se move de uma posição inicial r_i para uma posição final r_f é, portanto,

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

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

Teorema do Trabalho e Energia Cinética com uma força variável

Vamos provar o teorema do trabalho e energia cinética para uma força variável $F(x)$. Para isso considere uma partícula de massa m que se move ao longo do eixo x e está sujeita a uma força $F(x)$ paralelo ao eixo x . Vimos que:

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

$$ma dx = m \frac{dv}{dt} dx.$$

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

$$ma dx = m \frac{dv}{dx} v dx = mv dv.$$

Dessa forma temos que:

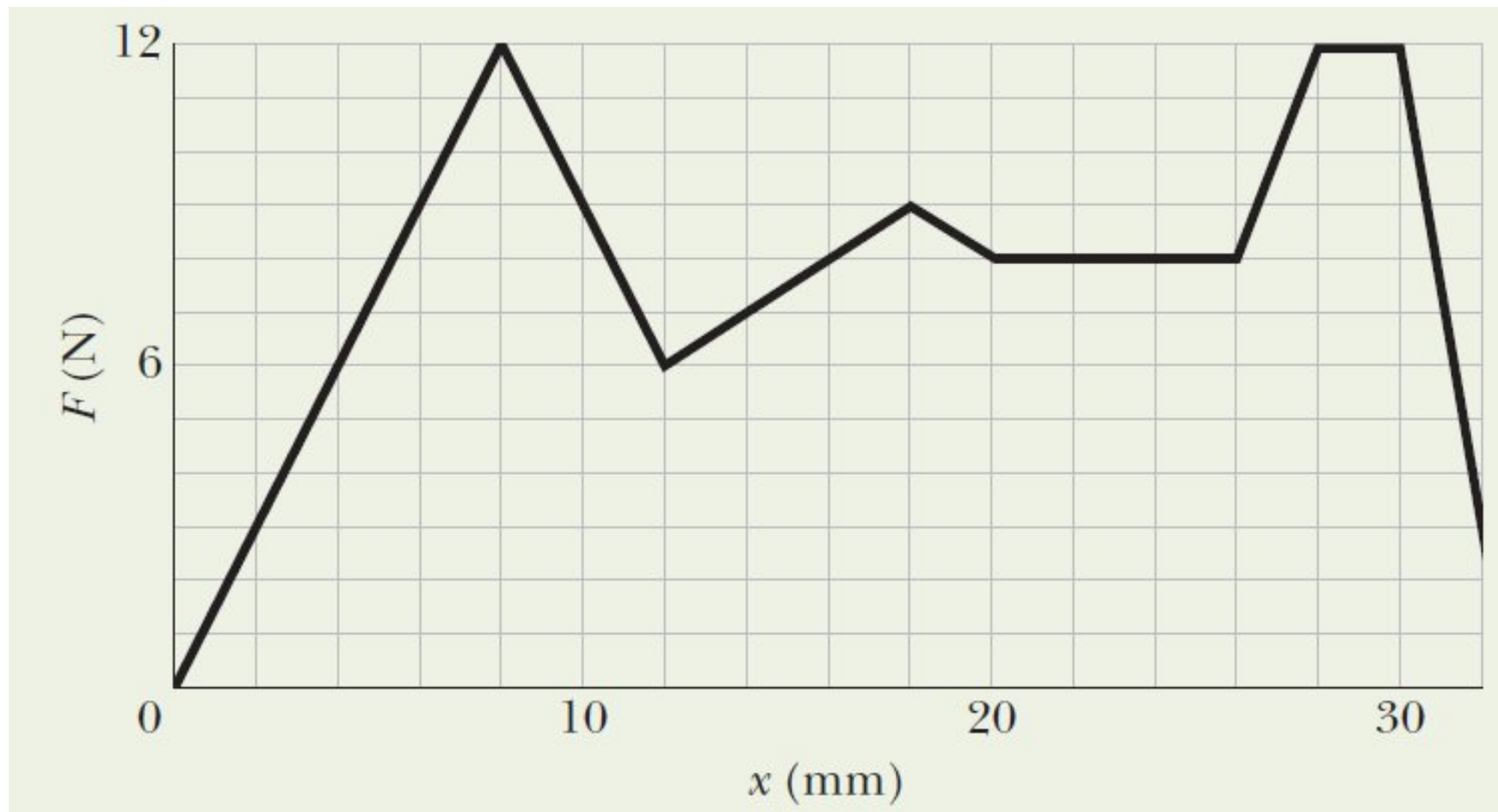
$$\begin{aligned} W &= \int_{v_i}^{v_f} mv \, dv = m \int_{v_i}^{v_f} v \, dv \\ &= \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2. \end{aligned}$$

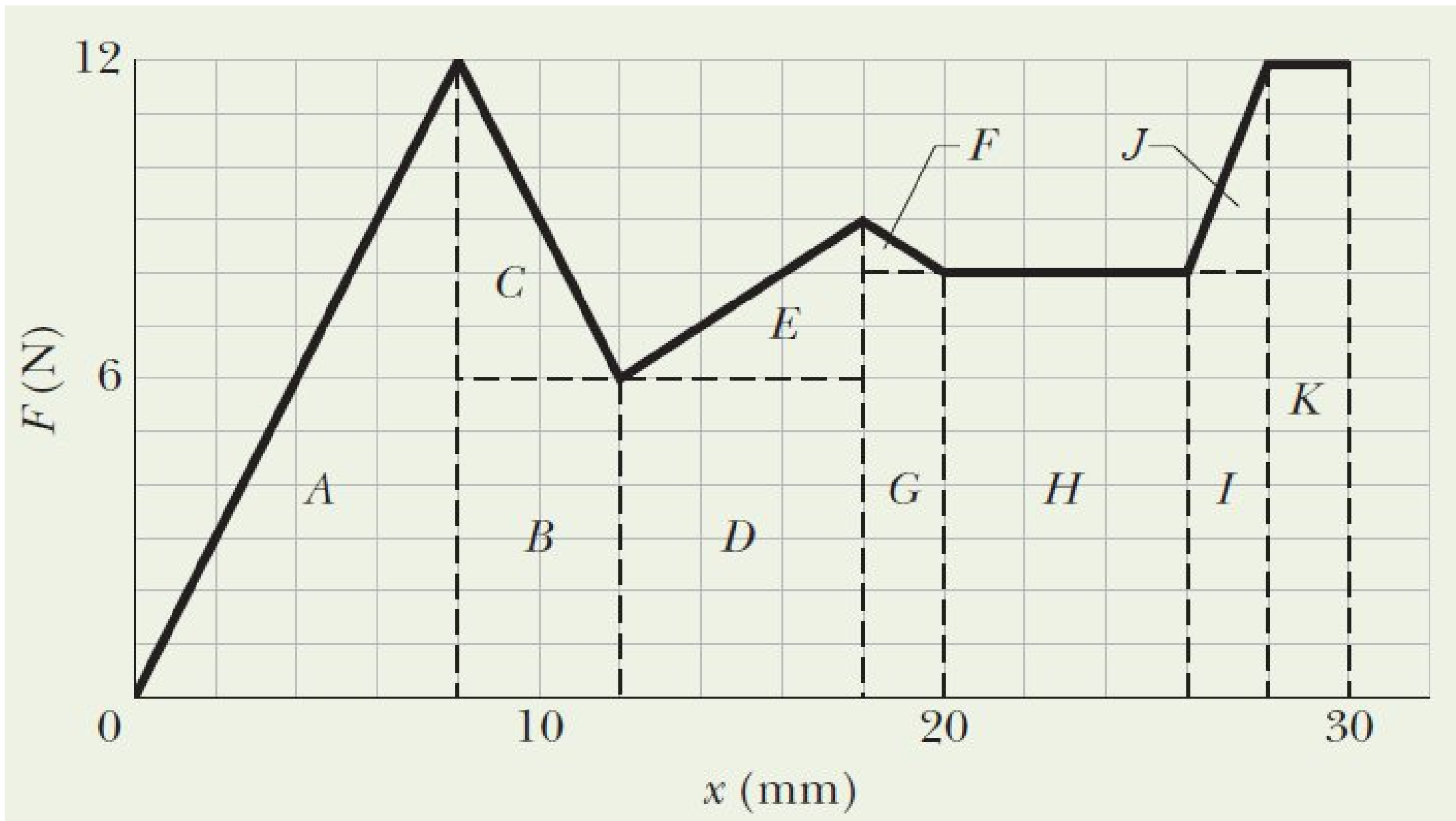
$$W = K_f - K_i = \Delta K,$$

*que é o **f f n b e** **bc b im f f of h y b d j o j db***

F fn $m9$

Qual o trabalho realizado por uma força $F(x)$, representada pelo gráfico abaixo, de $x = 0\text{mm}$ até $x = 30\text{mm}$.





F fn m

A força $\vec{F} = (3x^2\text{N})\hat{i} + (4\text{N})\hat{j}$, 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 $(2\text{m}, 3\text{m})$ para $(3\text{m}, 0\text{m})$? A velocidade da partícula aumenta, diminui ou permanece constante?

~~8~~ Q $o\delta b$

7.9 Potência

Q o d b

É a taxa de variação com o tempo do trabalho realizado por uma força. Se uma força realiza um trabalho W em um intervalo de tempo Δt , a potência média desenvolvida durante este intervalo de tempo é

$$P_{\text{avg}} = \frac{W}{\Delta t}$$

A potência instantânea P é a taxa de variação instantânea com a qual o trabalho é realizado:

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

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 0.738 \text{ ft} \cdot \text{lb/s}$$

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

Para uma partícula que se move em linha reta sob a ação de uma força $\vec{F}$, que faz um ângulo ϕ com a direção de movimento da partícula, a equação anterior fica:

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

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

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

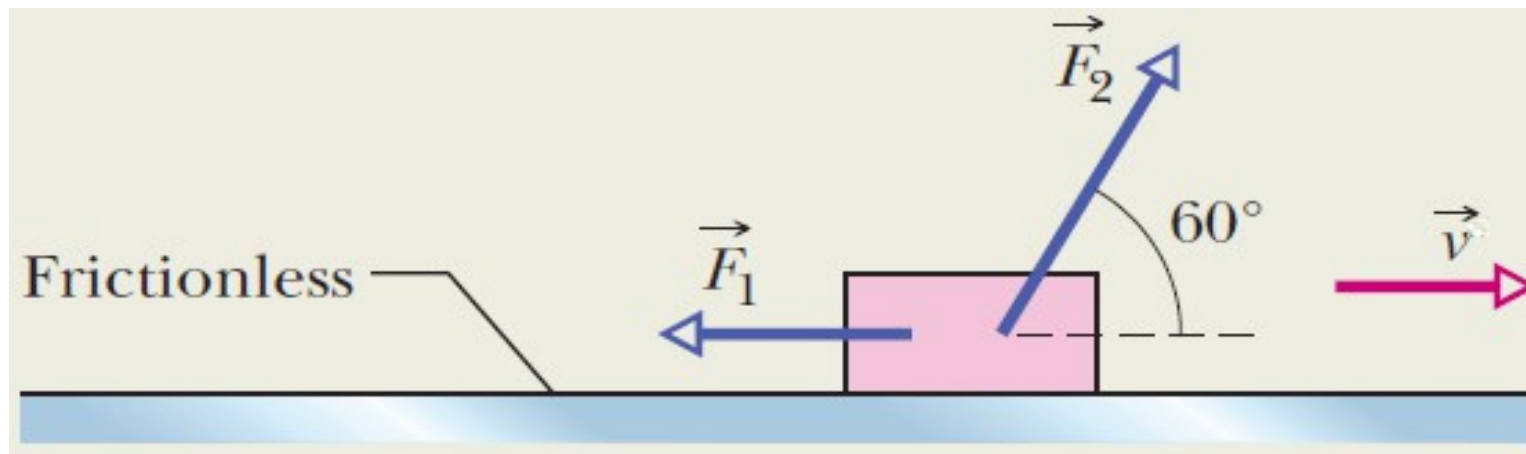


A potência desenvolvida pela força aplicada à carga pelo caminhão é igual à taxa com a qual a força realiza trabalho sobre a carga.

G o f Livro Fundamentos de Física – Halliday, 9ª ed.

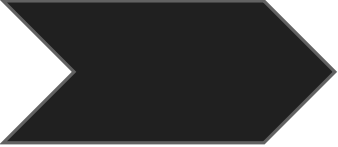
F f_n m

Abaixo temos duas forças constantes que agem sobre uma caixa enquanto desliza para direita sob um piso sem atrito. A força $\vec{F}_1$ é horizontal, de módulo 2N, a força $\vec{F}_2$ está inclinada para cima de um ângulo de 60° em relação ao piso e tem um módulo de 4N. A velocidade escalar V da caixa em um certo instante é 3m/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?



**Cap. 8: Energia Potencial e
Conservação de Energia**

*Cap. 8: Energia Potencial e
Conservação de Energia*



Seções de estudo

- ✓ 8.1 Contextualizando a Física
- ✓ 8.2 Trabalho e Energia Potencial
- ✓ 8.3 Independência da trajetória para o trabalho de forças conservativas
- ✓ 8.4 Cálculo da Energia Potencial
- ✓ 8.5 Conservação da Energia Mecânica
- ✓ 8.6 Interpretação de uma curva de Energia Potencial
- ✓ 8.7 Trabalho realizado por uma F_{ext} sobre um sistema
- ✓ 8.8 Conservação da Energia

9/2 *Do f b jnboe b G jdb*

8.1 Contextualizando a Física

D o f b j n b o e b G j d b



Anteriormente, vimos a relação entre o trabalho e a variação da energia cinética.

Agora, discutiremos a relação entre o trabalho e a variação da energia potencial.

B h b o b b f f j e b d b d f j b j f o f h j b f o d b m
h b j b d b o b m f f d o f f f n f o f h j b d b o j d b b d b j /



B be - fn
j b f oef
fn fof hjb
fodjb m
f m jdb/

Fonte: Google Imagens

➤ **Fof hjb Q fođb m)V** É qualquer energia que pode ser associada à configuração (arranjo) de um sistema de objetos que exercem forças (interagem) uns sobre os outros.



Fonte: Google Imagens

Um praticante de bungee jump salta de uma plataforma. O sistema de objetos é formado pela terra e o atleta. A força entre os objetos é a F_g . A configuração do sistema varia (a distância entre o atleta-terra diminui).



Fonte: Google Imagens

Podemos descrever o movimento do atleta e o aumento de K definindo U associado ao estado de separação entre dois objetos (atleta-terra) que se atraem mutuamente por meio da F_g .

Quando a corda elástica começa a esticar no final do salto o sistema de objetos passa a ser formado pelo atleta-corda. A força entre os objetos é uma força elástica. A configuração do sistema varia (a corda estica).



Fonte: Google Imagens

Podemos relacionar a diminuição da energia cinética do saltador ao aumento do comprimento da corda definindo uma energia potencial elástica U . Trata-se da energia associada ao estado de compressão ou distensão de um objeto elástico, a corda, no caso.

Energia Potencial:

- ✓ É a energia **associada a configuração do sistema**. Ou seja, quando um corpo apresenta potencial para adquirir mov. espontaneamente.
- ✓ Assim, como um objeto a uma certa altura possui potencial para cair espontaneamente, da mesma forma, molas esticadas ou comprimidas possuem esta forma de energia.
- ✓ Ponto de referência é qualquer ponto em relação ao qual um corpo não possui energia potencial ($E_p = 0$).
- ✓ Um objeto adquire energia potencial quando retiramos ele do ponto de referência e o levamos a um local em que ele passe a ter potencial para adquirir mov. espontaneamente.

9/3 *U bc b im f Fof hjb Q f o djb m*

8.2 Trabalho e Energia Potencial

U bc b im f Fof hjb Q fojb m

Suponha que um tomate seja arremessado para cima. Na subida, o trabalho realizado pela força gravitacional W_g sobre o tomate é negativo, porque a força gravitacional extrai energia da energia cinética do tomate.

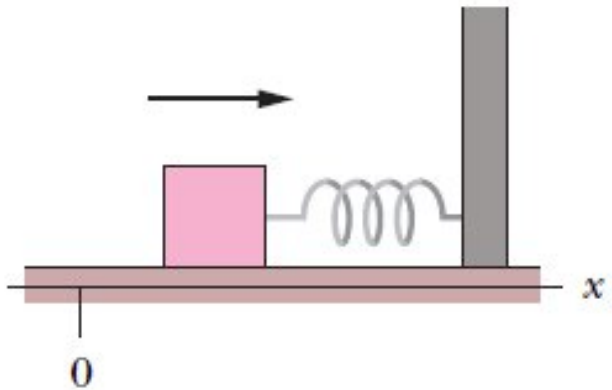


A energia é transferida pela força gravitacional, da **energia cinética** do tomate para energia **potencial gravitacional** do sistema tomate-terra.

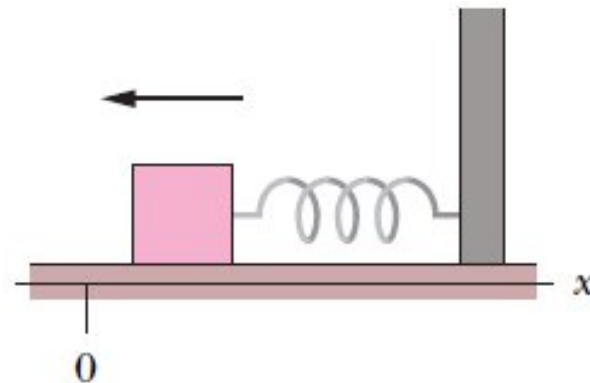


E bo f b fe b b bo g o d b f jo f f o trabalho realizado sobre o tomate pela força gravitacional agora é positivo e a força gravitacional passa a transferir energia da energia potencial gravitacional do sistema tomate-terra para a energia cinética do tomate. Tanto na descida quanto na subida, a variação da energia potencial gravitacional é definida da seguinte forma: $\Delta U = -W$

Esta fórmula também se aplica a um sistema massa-mola como da figura abaixo:



Quando o bloco se move para direita a força elástica da mola realiza um trabalho negativo sobre o bloco.

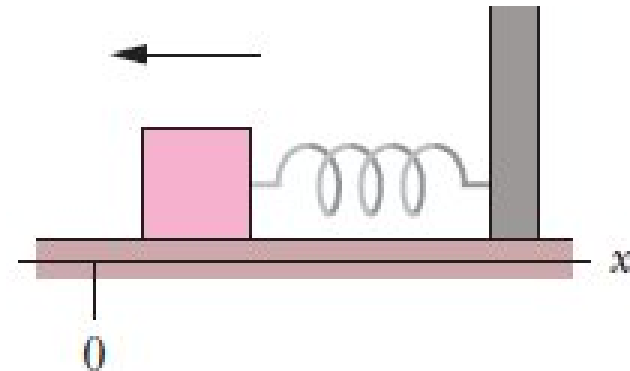
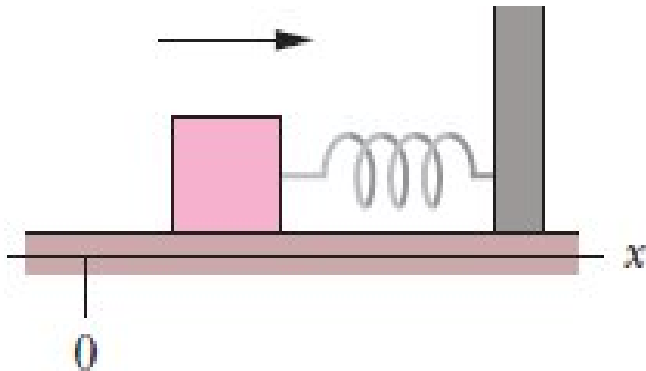


Mais tarde (bloco antes da posição de equilíbrio), quando o bloco se move para esquerda a força elástica da mola realiza um trabalho positivo sobre o bloco.

bn fo b n d ///

Se empurrarmos bruscamente o bloco, movimentando-o para direita, a força da mola atua para esquerda e, portanto, realiza trabalho negativo sobre o bloco, transferindo energia da energia cinética do bloco para a energia potencial elástica do sistema bloco-mola. O bloco perde velocidade até parar; em seguida, começa a se mover para esquerda, já que a força da mola ainda está dirigida para esquerda. A partir desse momento, a transferência de energia se inverte, pois o trabalho agora é positivo: a energia passa a ser transferida da energia potencial do sistema bloco-mola para a energia cinética do bloco.

Go fLivro Fundamentos de Física – Halliday, 9ª ed.



Forças Conservativas:

Não modificam a energia mecânica do sistema. Isto é, a energia mecânica se conserva. O peso e a força elástica são exemplos de forças conservativas. Às forças conservativas associa-se o conceito de energia potencial.

Forças Dissipativas:

Por outro lado, se existirem forças de **atrito** atuando durante o deslocamento do corpo, sua energia mecânica não se conserva, porque parte dela (ou até ela toda) se dissipa sob forma de calor. Por isso dizemos que **as forças de atrito ou resistência do ar são forças dissipativas.**

Forças conservativas, como o peso e a força elástica, têm trabalhos independentes da forma da trajetória.

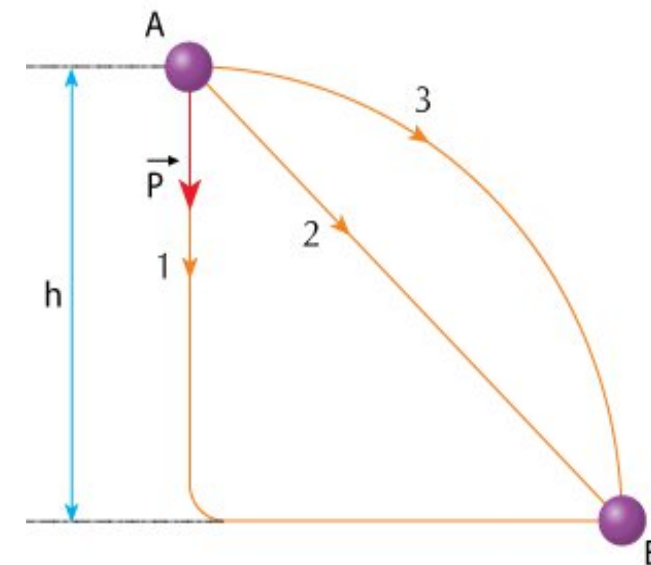
9/4 *oe f foe o d b e b b f j b*
b b bc b i m e f g b
d o f b j b

*8.3 Independência da trajetória
para o trabalho de forças
conservativas*

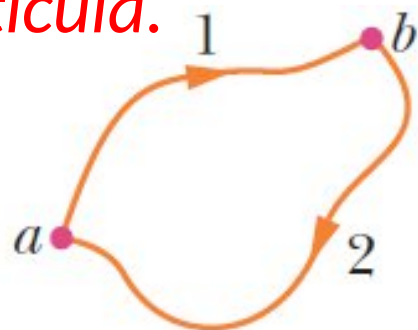
U bc bim efg b dof bj b

Atenção para o seguintes resultados:

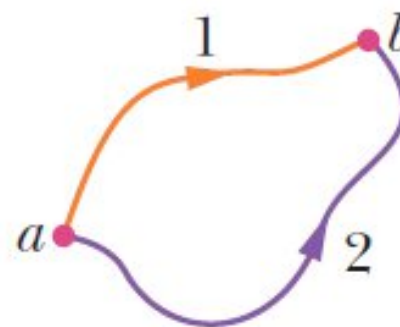
- ✓ O trabalho total realizado por uma força conservativa sobre uma partícula que se move ao longo de qualquer percurso fechado é nulo.
- ✓ O trabalho total realizado por uma força conservativa sobre uma partícula que se move entre dois pontos não depende da trajetória seguida pela partícula.



G o f Livro Fundamentos de Física – Halliday, 9ª ed.



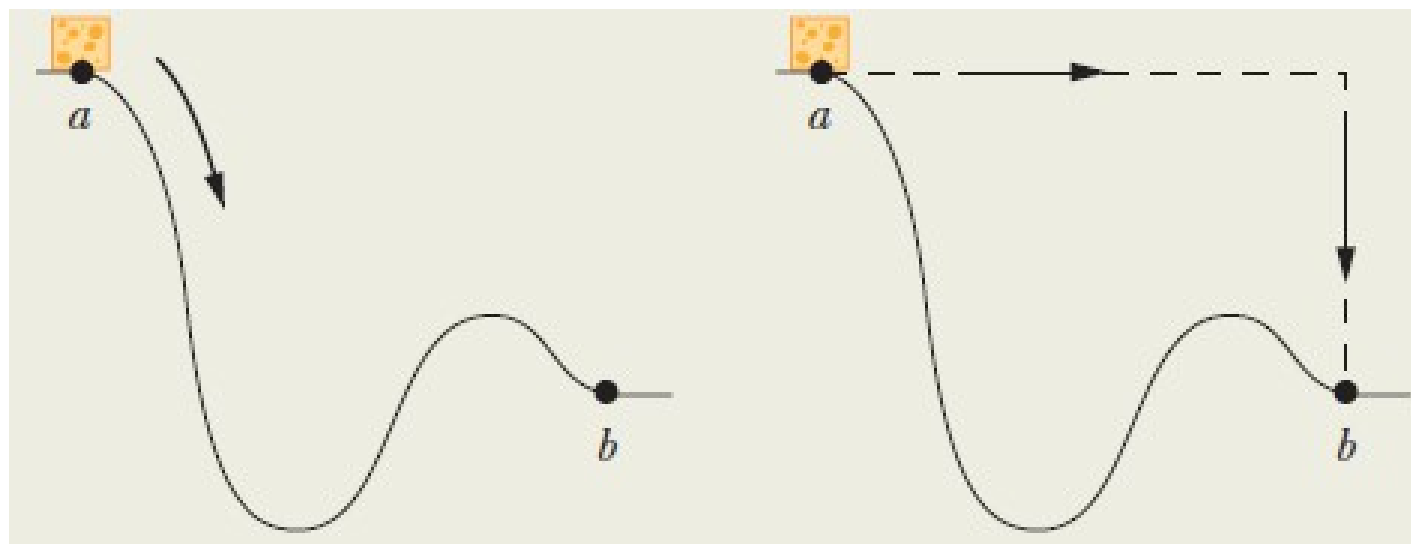
E trabalho realizado pela força em um percurso fechado é zero.



Se uma força é conservativa, o trabalho realizado pela força não depende da trajetória entre os pontos a e b.

F f_n m_2

Abaixo temos um pedaço de queijo gorduroso de 2kg que desliza sobre um trilho sem atrito do ponto **a** ao ponto **b**. O queijo percorre uma distância horizontal total de 2m ao longo do trilho e uma distância vertical de 0,8m. Qual é o trabalho realizado sobre o queijo pela força gravitacional durante o deslocamento?

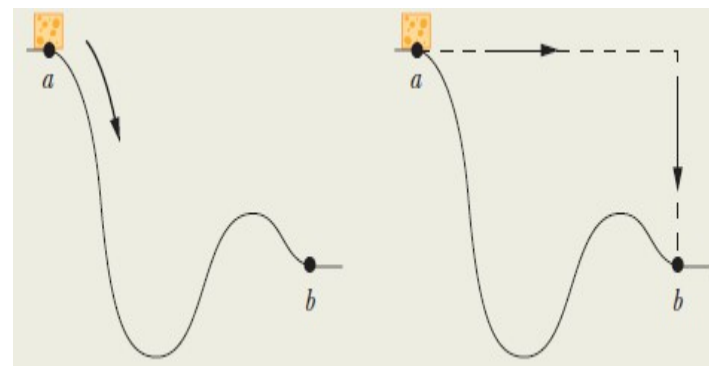


$$F \quad f_n \quad m_2 \quad T \quad m$$

A força gravitacional é vertical e para baixo. Portanto, **o trabalho realizado pela gravidade depende somente da variação vertical da posição, e não da distância percorrida ao longo do trilho.**

O deslocamento vertical do queijo é:

$$\Delta y = y_b - y_a = -0,8 \text{ m}$$



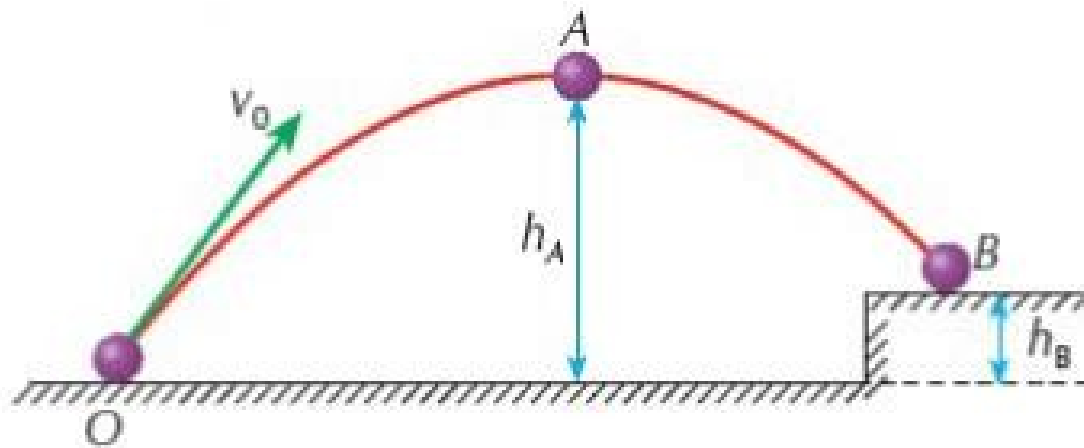
O trabalho realizado pela força gravitacional é:

$$W_g = -mg\Delta y = -(2 \text{ kg}) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) \cdot (-0,8 \text{ m}) = 15,68 \text{ J}$$

O trabalho realizado pela força gravitacional sobre o queijo durante o deslocamento é: $W_g = 15,68 \text{ J}$.

F f_n m_3

Uma partícula de massa $m = 0,10 \text{ kg}$ é lançada obliquamente, descrevendo a trajetória indicada na figura.



Sendo $g = 10 \text{ m/s}^2$, $h_A = 1,0 \text{ m}$ e $h_B = 0,30 \text{ m}$, determine o trabalho realizado pelo peso da partícula nos deslocamentos de O para A e de A para B.

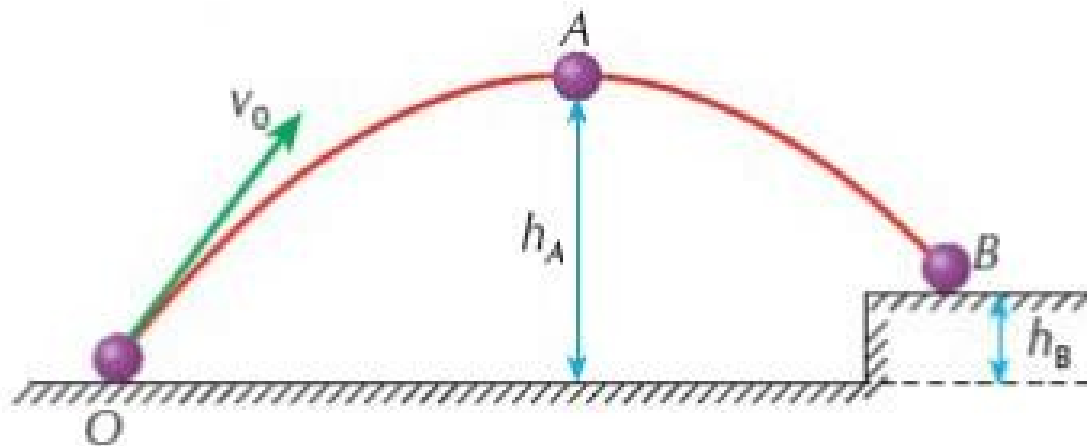
$$F \quad f_n \quad m_3 \quad T \quad m$$

$\vec{P}$ é uma força conservativa. Portanto, o W_g depende apenas da diferença de altura *entre a posição inicial e a posição final*:

1. Trabalho do peso de O ($h_O = 0 \text{ m}$) até A ($h_A = 1,0 \text{ m}$)

$$W_{O \rightarrow A} = mg(h_O - h_A) = (0,1 \text{ kg}) \cdot (10 \text{ m/s}^2) \cdot (0 \text{ m} - 0,1 \text{ m}) = -1,0 \text{ J}$$

O sinal negativo indica que o peso atua para baixo, enquanto o deslocamento vertical de O para A possui componente para cima.



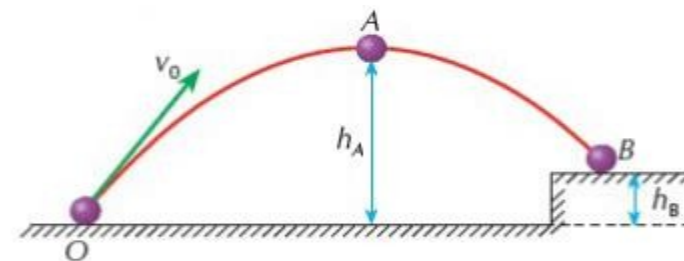
F f_n m_3 T m

$\vec{P}$ é uma força conservativa. Portanto, o W_g depende apenas da diferença de altura **entre a posição inicial e a posição final**:

2. Trabalho do peso de A ($h_A = 1,0 \text{ m}$) até B ($h_B = 0,3 \text{ m}$)

$$W_{A \rightarrow B} = mg(h_A - h_B) = (0,1 \text{ kg}) \cdot (10 \text{ m/s}^2) \cdot (1,0 \text{ m} - 0,3 \text{ m}) = 0,70 \text{ J}$$

O sinal positivo indica que, de A para B, a partícula desce, portanto a força peso possui componente no mesmo sentido do deslocamento.



Resposta final:

$$W_{O \rightarrow A} = -1,0 \text{ J} \text{ e } W_{A \rightarrow B} = 0,70 \text{ J} \longrightarrow W_{Total} = W_{O \rightarrow A} + W_{A \rightarrow B} = -0,3 \text{ J}$$

Observação: o W_g não depende da trajetória parabólica percorrida pela partícula, mas somente da **diferença de altura entre os pontos inicial e final**.

F fn m4

Considere o sistema elástico constituído de uma mola e de um pequeno bloco. A constante elástica da mola é igual a 50 N/m . Inicialmente o sistema está em equilíbrio (Fig. I). A seguir, a mola é alongada, passando pelas posições A (Fig. II) e B (Fig. III). Sejam as deformações $x_A = OA = 10 \text{ cm}$ e $x_B = OB = 20 \text{ cm}$.

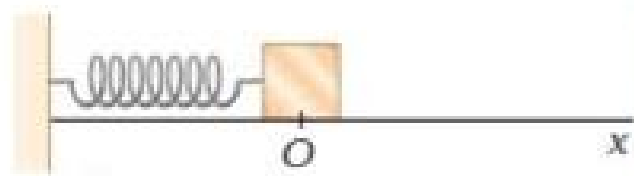


Figura I

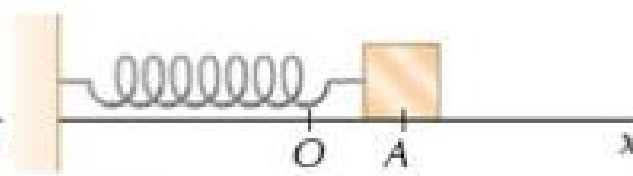


Figura II

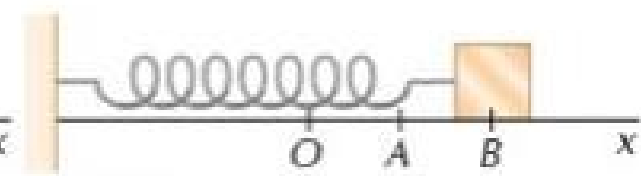


Figura III

Determine o trabalho da força elástica nos deslocamentos de:

- a) O para A; b) B para O; e c) B para A.

F f n m4 T m

A força elástica da mola é dada pela Lei de Hooke: $\vec{F} = k \cdot \vec{x}$

O trabalho realizado pela força elástica (W_e) quando a mola passa de uma deformação x_i para uma deformação x_f é:

$$W_e = \frac{k \cdot (x_i^2 - x_f^2)}{2}$$

Sabendo-se que $k = 50 \text{ N/m}$, $x_A = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$ e $x_B = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m} \dots$

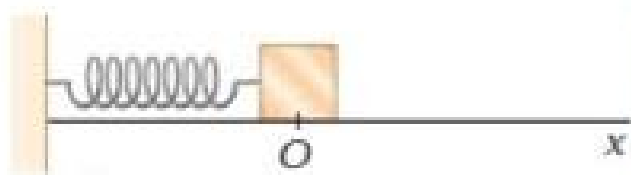


Figura I

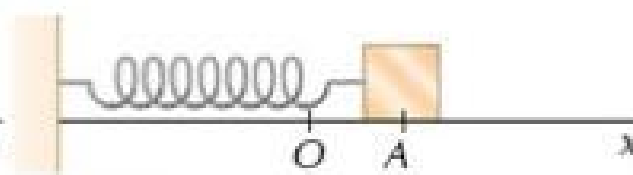


Figura II

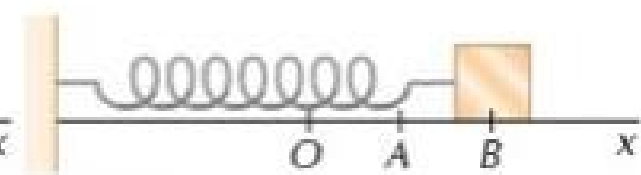


Figura III

F_{fn} m_4 T m

b U_{bc} b_{im} ef P b b B

No ponto O, a mola está sem deformação, logo $x_0 = 0$ m. Portanto,

$$W_{O \rightarrow A} = \frac{50 \cdot (0^2 - (0,1)^2)}{2} = -0,25 \text{ J}$$

O **bc b_{im} of hb j** , porque a **força elástica atua no sentido contrário ao deslocamento durante o alongamento da mola.**

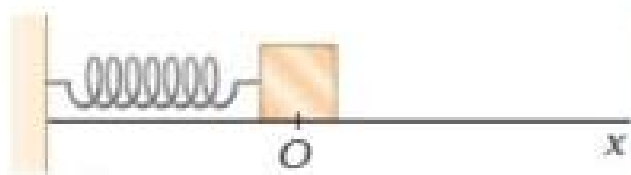


Figura I

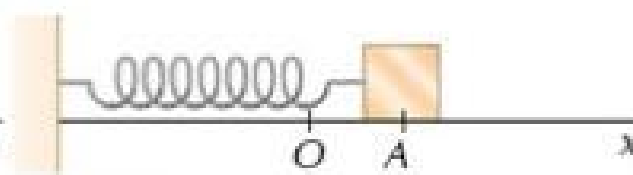


Figura II

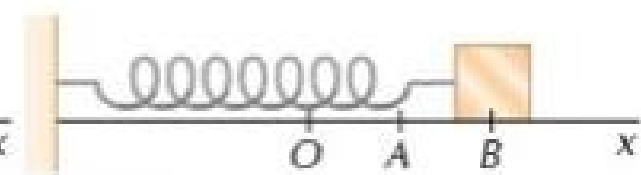


Figura III

$$F_{fn} = m_4 \cdot T \cdot m$$

$$c \cdot U_{bc} \cdot b \cdot \dot{m} \cdot e \cdot f \cdot C \cdot b \cdot b \cdot P$$

Agora a mola parte de $x_B = 0,2 \text{ m}$ e retorna à posição de equilíbrio, $x_O = 0 \text{ m}$. Logo,

$$W_{B \rightarrow O} = \frac{50 \cdot ((0,2)^2 - 0^2)}{2} = + 1,0 \text{ J}$$

O trabalho é positivo, $W_{B \rightarrow O} > 0$, porque, durante o retorno, a força elástica e o deslocamento possuem o mesmo sentido.

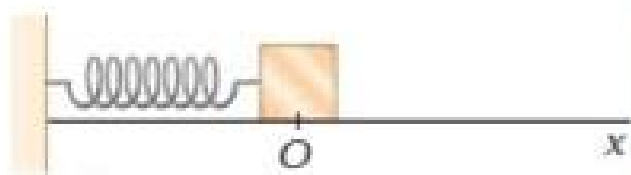


Figura I

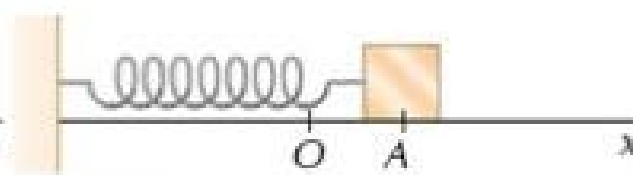


Figura II

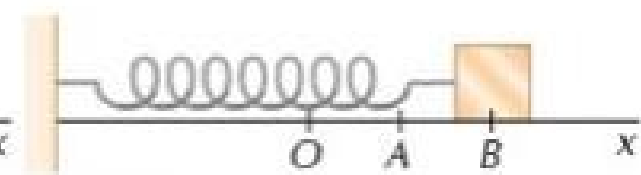


Figura III

F f_n m_4 T m

d U bc bim ef C b b B

Neste caso, $x_B = 0,2 \text{ m}$ e $x_A = 0,1 \text{ m}$. Logo,

$$W_{B \rightarrow A} = \frac{50 \cdot ((0,2)^2 - (0,1)^2)}{2} = + 0,75 \text{ J}$$

Resposta final: $W_{O \rightarrow A} = - 0,25 \text{ J}$, $W_{B \rightarrow O} = + 1,0 \text{ J}$ e $W_{B \rightarrow A} = + 0,75 \text{ J}$.

Observação: W_e é positivo quando a mola retorna em direção à posição de equilíbrio e negativo quando a mola é deformada para longe dessa posição.

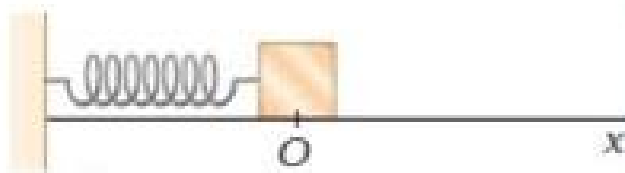


Figura I

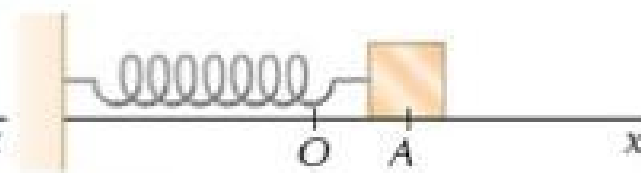


Figura II

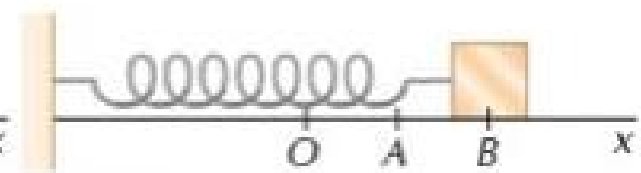


Figura III

9/5 D th me b Fof hjb Q fođb m

8.4 Cálculo da Energia Potencial

Determinação da variação da energia potencial

Quando a força realiza um trabalho sobre o objeto, a variação ΔU da energia potencial associada ao sistema é o negativo do trabalho realizado.

$$\Delta U = -W$$

No caso mais geral, em que a força varia com a posição, podemos escrever o trabalho como

$$\Delta U = - \int_{x_i}^{x_f} F(x) dx$$

➤ **Fof hjb fodb m b j bdf ob m**

Considere uma partícula que se move verticalmente ao longo do eixo y (com sentido positivo para cima). Quando a partícula se move do ponto y_i para o ponto y_f , a força gravitacional realiza trabalho sobre ela. A variação da energia potencial gravitacional do sistema partícula-terra é dado por:

$$\Delta U = \int_{y_i}^{y_f} (-mg) dy = mg \int_{y_i}^{y_f} dy = mg\Delta y \rightarrow U_f - U_i = mg(y_f - y_i)$$

Para uma certa **d ogh b ef fg odfbtomamos** $U_i = 0$ e $y_i = 0$, logo:

$$U(y) = mgy$$

Bfof hjb fodb m b j bdf ob m dfbe b b n j fn b b d m
f b ef foe f b fob eb j f jdb m b m b eb b d bfn
f m j ef fg odf 1/

➤ **Fof hjb fodb fim jdb**

Considere o sistema massa-mola, com o bloco se movendo na extremidade de uma mola de constante elástica k . Enquanto o bloco se desloca de x_i para x_f , a força elástica $F = -kx$ realiza trabalho sobre o bloco. A variação da energia potencial do sistema bloco-mola é dado por:

$$\Delta U = - \int_{x_i}^{x_f} (-kx) dx = k \int_{x_i}^{x_f} x dx \rightarrow U_f - U_i = \frac{1}{2}k(x_f^2 - x_i^2)$$

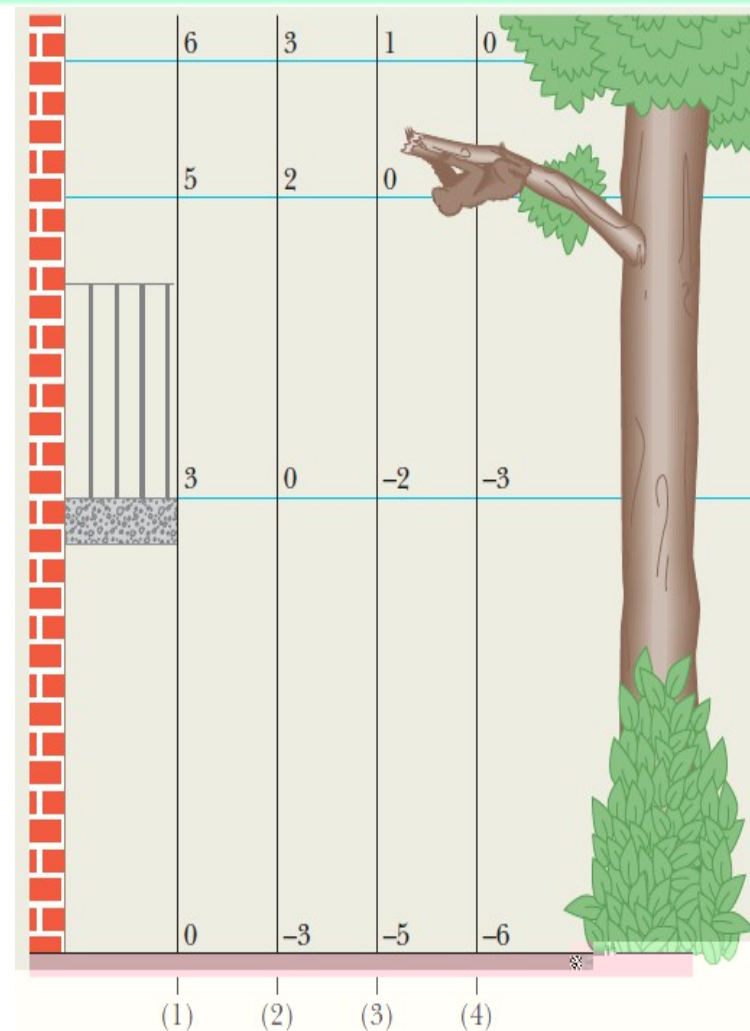
Para uma certa **d ogh b ef fg odb)n b**
f bn be b, tomamos $x_i = 0$ e $U_i = 0$, logo:

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

F f n $m5$

Um preguiça de 2kg está pendurada a 5,0 m acima do solo.

- a) Qual é a energia potencial gravitacional U do sistema preguiça-terra se tomarmos o ponto de referência $y=0$ como estando (1) no solo, (2) no piso de uma varanda que está a 3m acima do solo, (3) no galho onde está a preguiça e (4) 1m acima do galho? Considere a energia potencial como nula em $y=0$.
- b) A preguiça desce da árvore. Para cada escolha do ponto de referência, qual é a variação ΔU da energia potencial do sistema preguiça-terra.



F f n m 5. T m

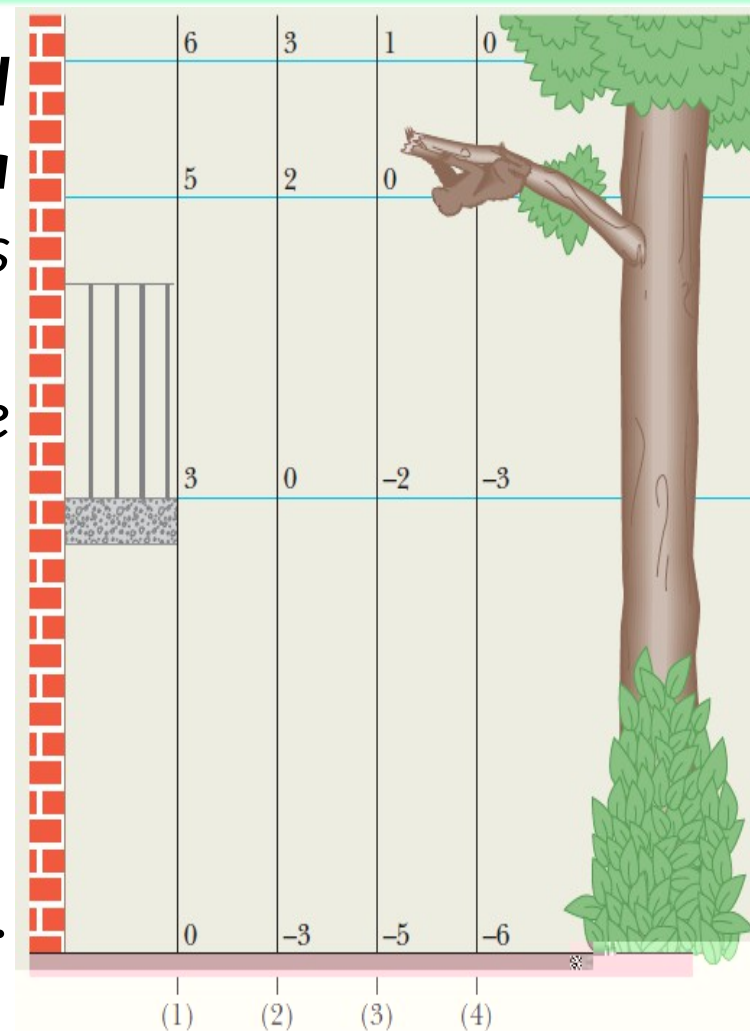
O ponto central é perceber que a **energia potencial gravitacional depende da escolha do nível de referência $y=0$** , mas a **variação da energia potencial ΔU** entre dois pontos não depende dessa escolha.

Como $m = 2\text{kg}$ e $g = 10\text{m/s}^2$, e a preguiça está inicialmente a: $h=5,0\text{ m}$, temos $U = mgh$.

a) **Energia potencial gravitacional para cada escolha do ponto de referência**

A expressão da energia potencial gravitacional é: $U=mgh$.
Logo,

$$U(y)=mgy=(2)(10)y=20y$$



F f n m 5. T m

(1) Referência $y=0$ no solo

A preguiça está a 5m acima do solo. Portanto:

$$U_1 = (2) (10) (5) = 100 \text{ J}$$

(2) Referência $y=0$ no piso da varanda

O piso da varanda está a 3m acima do solo.

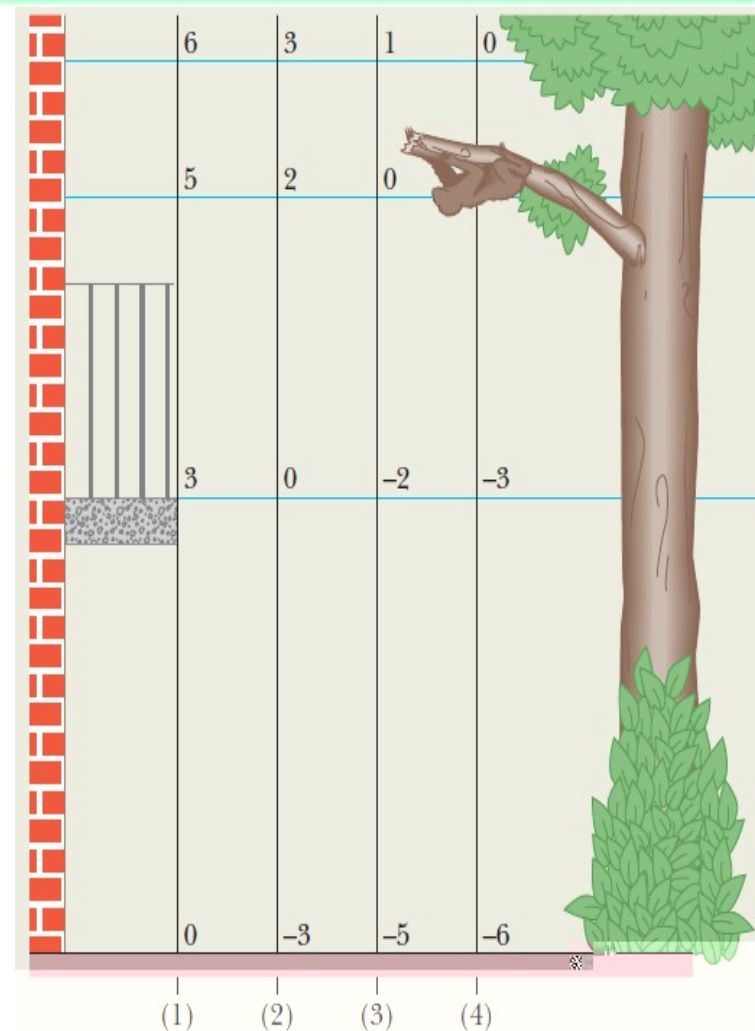
Assim, a preguiça está: $5\text{m} - 3\text{m} = 2\text{m}$, acima do novo nível de referência.

Logo: $U_2 = (2) (10) (2) = 40 \text{ J}$

(3) Referência $y=0$ no galho onde está a preguiça

Agora o próprio galho onde a preguiça está é escolhido como nível de referência. Portanto: $y = 0\text{m}$ e...

$$U_3 = (2) (10) (0) = 0 \text{ J}$$



F f n m 5. T m

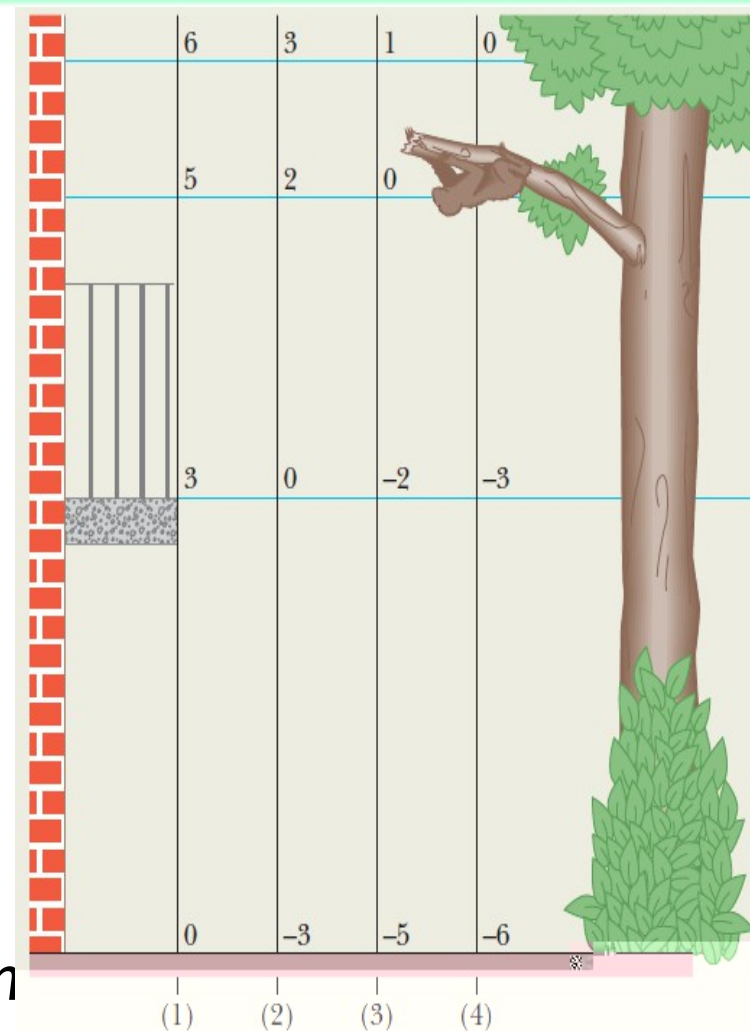
(4) Referência $y=0$ a 1 m acima do galho

Nesse caso, a preguiça está 1m abaixo do nível de referência. Portanto: $y = -1\text{m}$. Logo,

$$U_4 = (2)(10)(-1) = -20 \text{ J}$$

(1) Solo	5 m	100 J
(2) Piso da varanda	2 m	40 J
(3) Galho	0 m	0 J
(4) 1 m acima do galho	-1 m	-20 J

Obs.: Todos os valores são diferentes, mas descrevem exatamente o mesmo estado físico. A escolha do zero da energia potencial é arbitrária.



F f n m5. T m

b) Variação da energia potencial durante a descida do galho até o solo

A preguiça inicia sua descida no galho, que está a: $y_i = 5 \text{ m}$ e, conforme a figura, consideramos sua chegada ao solo:

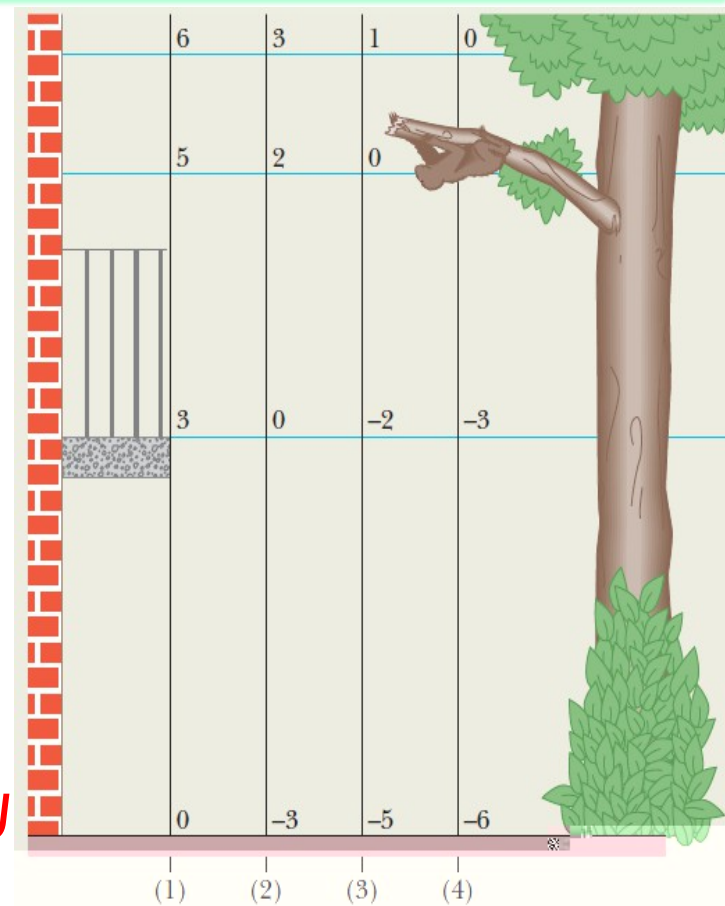
$$y_f = 0 \text{ m}$$

A variação da energia potencial é:

$$\Delta U = U_f - U_i = mg(y_f - y_i) = (2)(10)(0 - 5) = -100 \text{ J}$$

Portanto, *a energia potencial gravitacional diminui 100 J durante a descida.*

Esse resultado é o mesmo para qualquer escolha do nível de referência $y=0$, pois a *variação da energia potencial depende somente da diferença de altura entre os pontos inicial e final.*



9/6 *Do f b e b Fof hjb Nfd ojdb*

8.5 Conservação da Energia Mecânica

Definição

A energia mecânica de um sistema (E_{mec}) é a soma da energia potencial U do sistema com a energia cinética K dos objetos que compõem o sistema.

$$E_{mec} = K + U$$

Quando uma força conservativa realiza um trabalho W sobre um objeto dentro do sistema, essa força é responsável por uma transferência de energia entre a energia cinética K do objeto e a energia potencial do sistema. Sabemos que:

$$\Delta K = W \quad \text{e} \quad \Delta U = -W$$

$$\Delta K = -\Delta U$$

Em resumo, uma dessas energias aumenta exatamente da mesma quantidade que a outra diminui. Assim, podemos escrever:

$$K_2 - K_1 = -(U_2 - U_1),$$

$$K_2 + U_2 = K_1 + U_1$$

*Soma de K e U pra qualquer
estado do sistema*

=

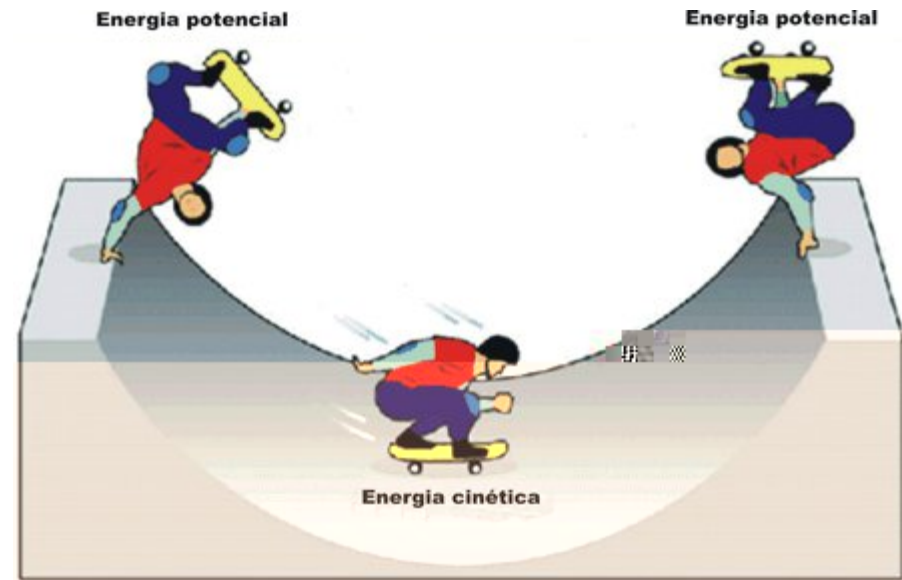
*Soma de K e U para qualquer
outro estado do sistema*

Em um sistema no qual apenas forças conservativas causam variações de energia, a energia cinética e a energia potencial podem variar, mas a soma das duas energias, a energia mecânica do sistema, não pode variar.

Quando a E_{mec} é conservada, podemos igualar a soma da K com a U em um instante ou à soma em outro instante, sem levar em conta o movimento intermediário e sem calcular o trabalho realizado pelas forças envolvidas.

$$\Delta K = -\Delta U.$$

$$\Delta E_{mec} = \Delta K + \Delta U = 0.$$



Fonte: Google Images



Enquanto o jogador se desloca no ar para “enterrar” a bola, uma parte de sua E_{mec} está na forma de K e a outra, em forma de energia potencial gravitacional.

Fonte: Livro da Moderna Plus - Física

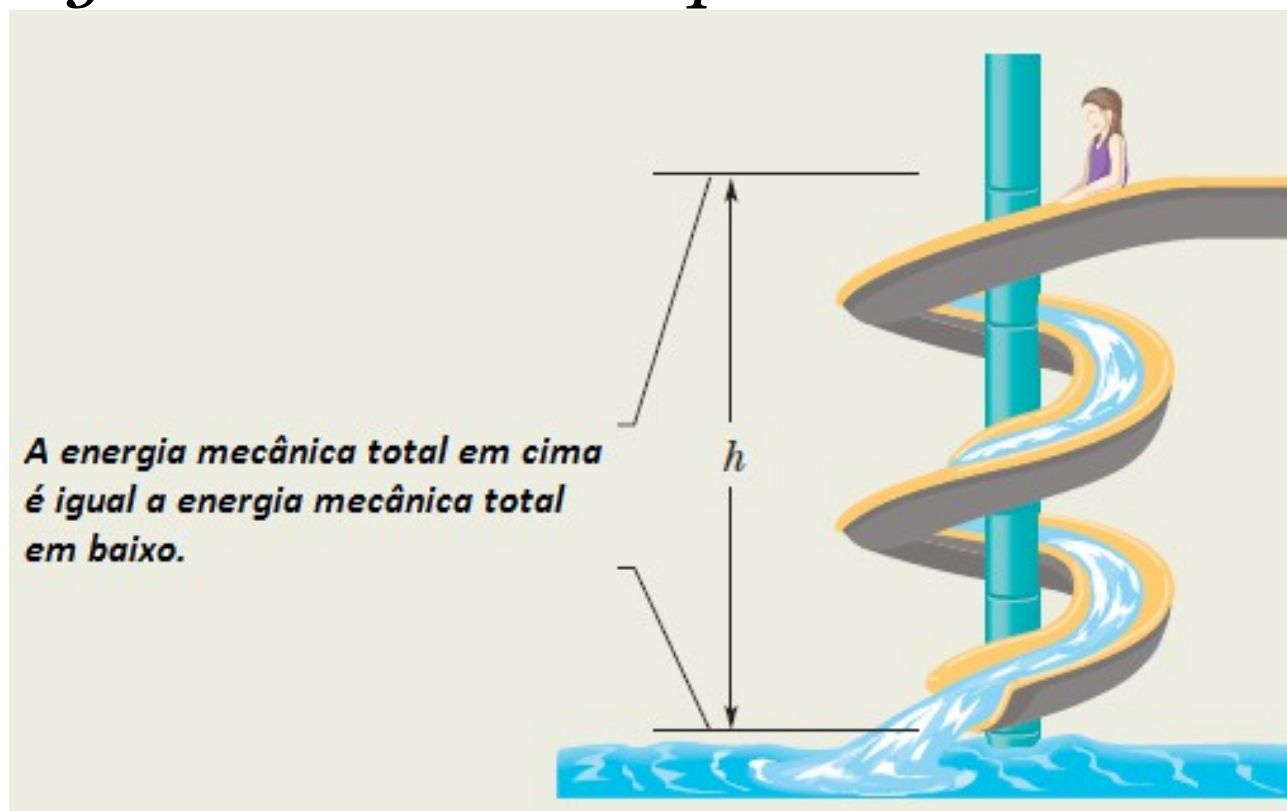


No salto com vara, o atleta usa a energia associada à deformação da vara e a transforma em energia potencial gravitacional e em energia cinética suficiente para conseguir transpor o sarrafo.

Fonte: *Livro da Moderna Plus - Física*

F f_n m

Uma criança de massa m parte do repouso no alto de um tobogã, a uma altura $h=8,5\text{m}$ acima da base do brinquedo. Supondo que a presença da água torna o atrito desprezível, determine a velocidade da criança ao chegar à base do brinquedo.



F f n m 6 T m

Exercício resolvido diretamente pelo enunciado pois o enunciado informa que o atrito é desprezível.

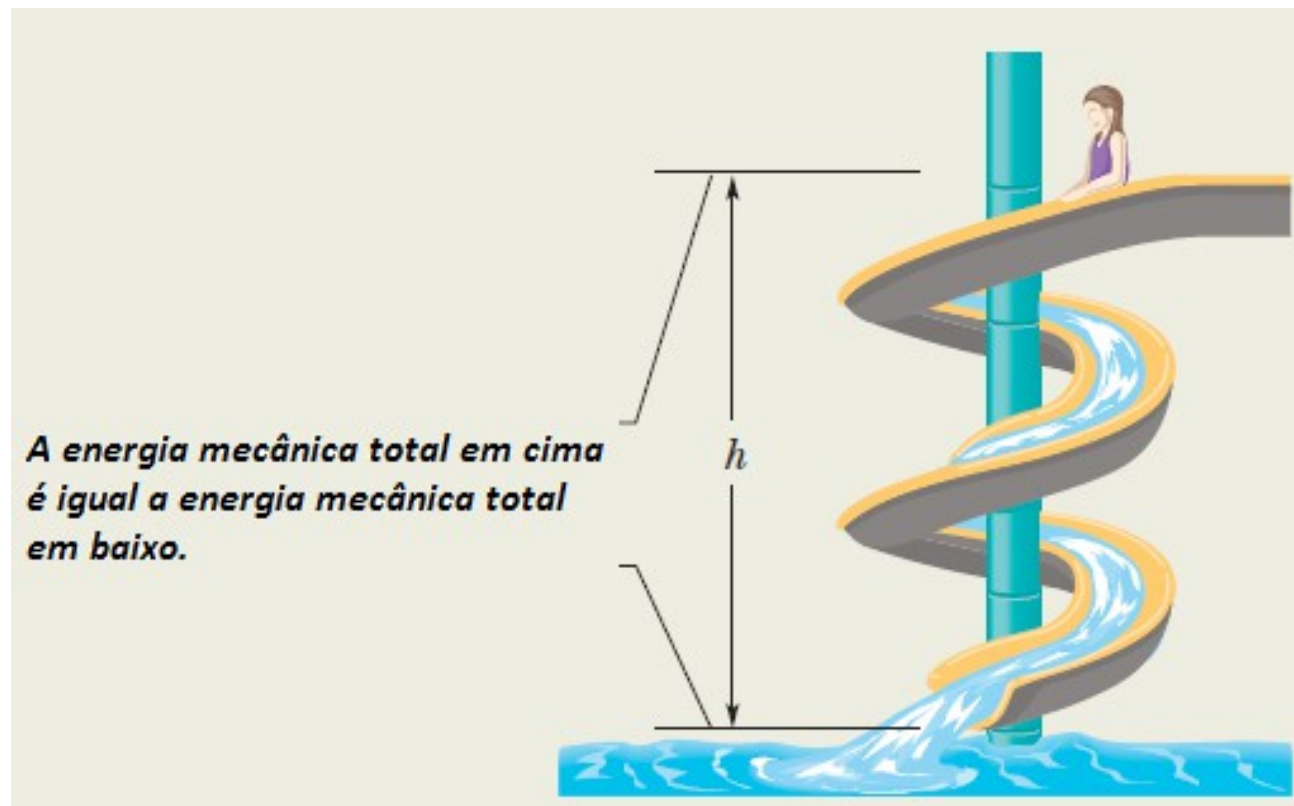
No ponto inicial, no alto do tobogã, a criança parte do repouso.

Portanto: $v_i = 0 \text{ m/s}$

A energia mecânica inicial é:

$E_i = K_i + U_i$, como a $v_i = 0 \text{ m/s}$, logo $K_i = 0 \text{ J}$, consequentemente:

$$E_i = mgh$$



F f n m 6 T m

Na base do brinquedo, podemos considerar: $h_f = 0$ m. Portanto, toda a energia potencial gravitacional foi transformada em energia cinética:

$$E_f = \frac{1}{2}mv_f^2$$

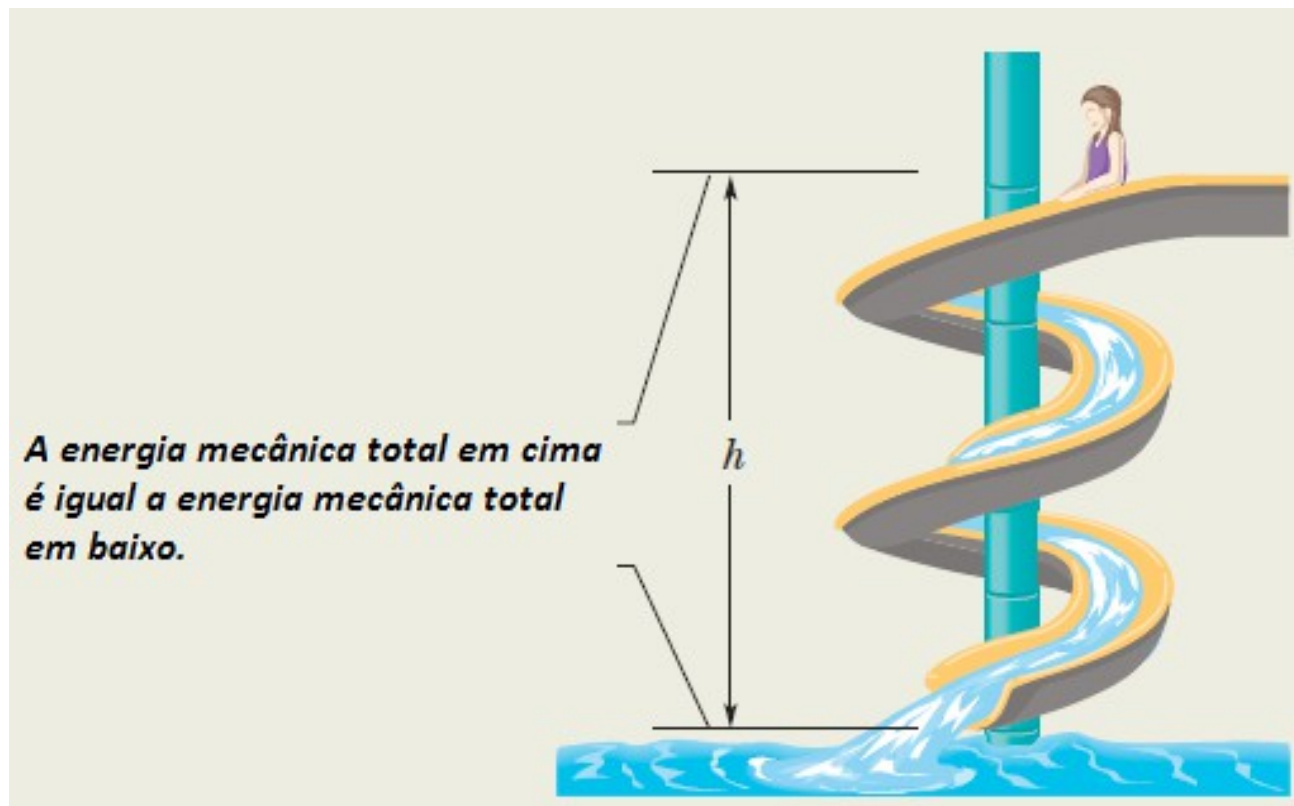
Pela conservação da energia mecânica: $E_i = E_f$, logo:

$$mgh = \frac{1}{2}mv_f^2$$

A massa m aparece nos dois lados e pode ser cancelada:

$$gh = \frac{1}{2}v_f^2. \text{ Portanto: } v_f = \sqrt{2gh}.$$

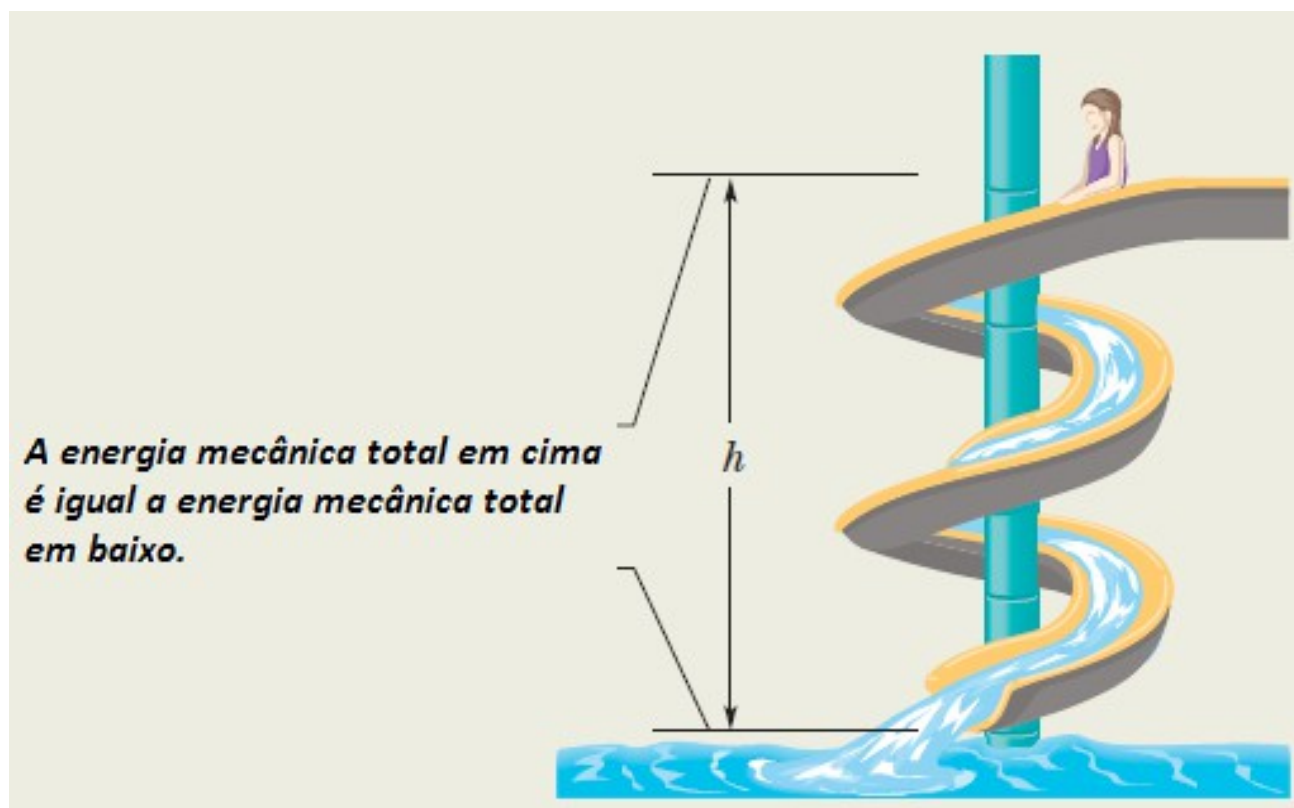
$$v_f \approx 13,0 \text{ m/s}$$



$$F f n \quad m \cdot T \quad m$$

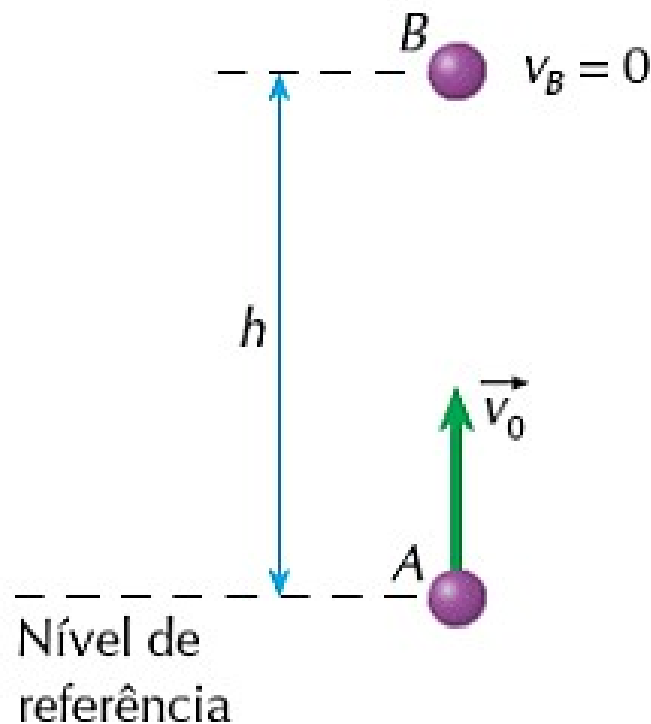
Portanto, a criança chega à base do tobogã com velocidade aproximada de 13,0m/s.

Observação: a massa da criança não influencia a velocidade final neste problema, pois ela é cancelada na equação da conservação da energia mecânica. Isso ocorre porque o atrito é considerado desprezível.



F fn m7

Um corpo é atirado verticalmente para cima com velocidade v_o . Supondo conhecidos v_o e a aceleração da gravidade g , determine a altura máxima que o corpo atinge.



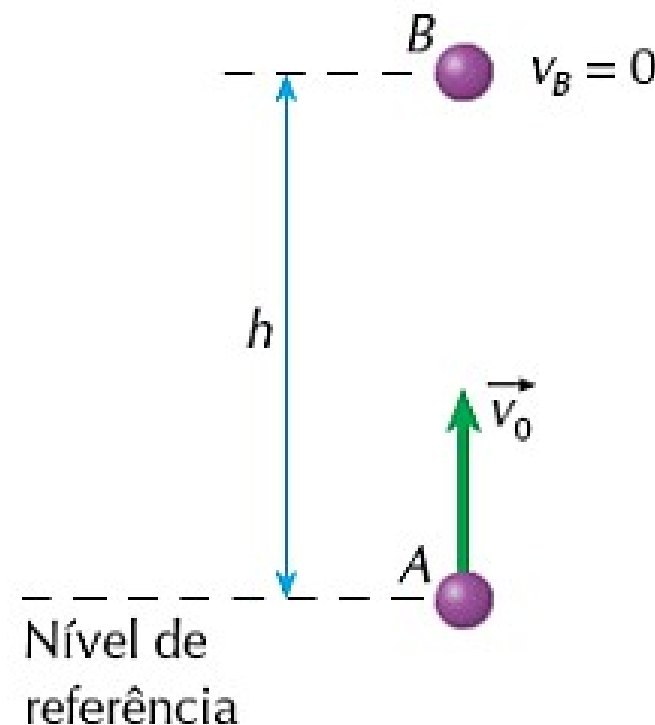
F f_n m g T m

Este exercício é resolvido pelo **jod j eb d o f b eb fof hjb nfd ojd** pois **não há indicação de forças dissipativas**. O corpo é lançado verticalmente para cima com velocidade inicial v_i .

Escolhemos o ponto A como nível de referência da energia potencial gravitacional: $U_A = 0$ J. No ponto A, a energia mecânica é exclusivamente cinética:

$$E_A = K_A + U_A = \frac{1}{2}mv_i^2$$

No ponto B, o corpo atinge sua **altura máxima**. Nesse instante, sua velocidade é nula: $v_B = 0$ m/s.



$$F \quad f_n \quad m \quad T \quad m$$

Portanto, toda a energia cinética inicial foi transformada em energia potencial gravitacional: $E_B = K_B + U_B \longrightarrow E_B = 0 + mgh$

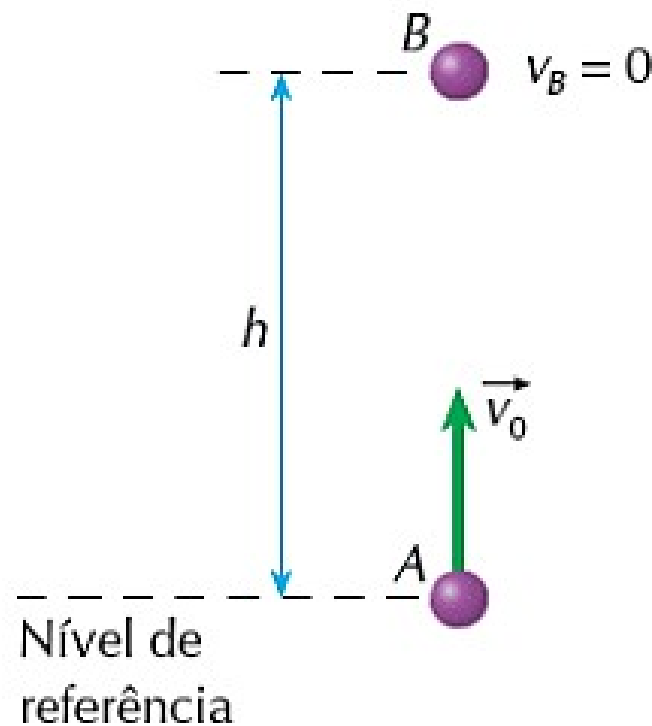
Pela conservação da energia mecânica: $E_A = E_B$. Assim,

$$\frac{1}{2}mv_i^2 = mgh$$

Isolando h:

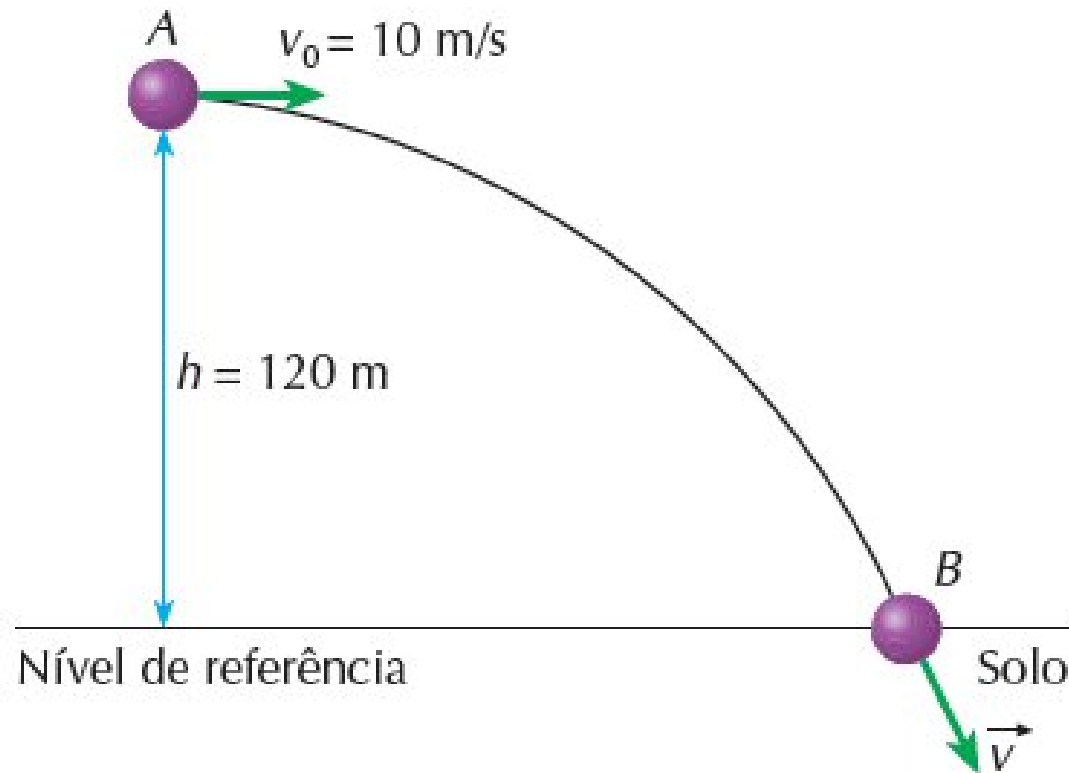
$$h_{max} = \frac{v_i^2}{2g}$$

Portanto, a altura máxima atingida pelo corpo, medida a partir do ponto de lançamento A, é h_{max} . **Observação:** a massa do corpo não influencia a altura máxima.



F_{fn} m8

Uma bola é lançada horizontalmente do alto de uma colina de 120 m de altura com velocidade de 10 m/s. **Despreze a resistência do ar e adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.**



$$F \quad f_n \quad m g \quad T \quad m$$

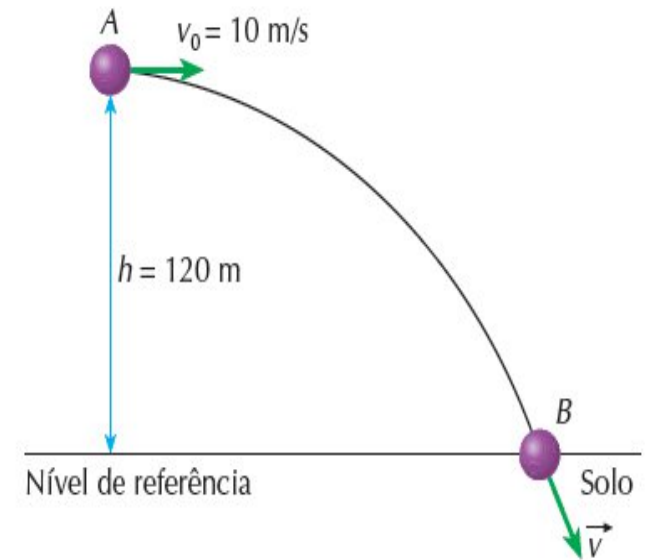
Pelo princípio da conservação da energia mecânica, uma vez que a resistência do ar é desprezada, tem-se:

- No ponto A, a bola possui: velocidade inicial $v_0=10\text{m/s}$ e altura $h=120\text{m}$.
- No ponto B, ao atingir o solo: $h_B=0\text{ m}$.

Como não há resistência do ar, a energia mecânica se conserva: $E_A=E_B$.

A energia mecânica no ponto A é:

$$E_A = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh$$



$$F_{fn} = m g \quad T = m$$

No ponto B, toda a energia é cinética:

$$E_B = \frac{1}{2} m v^2$$

Portanto,

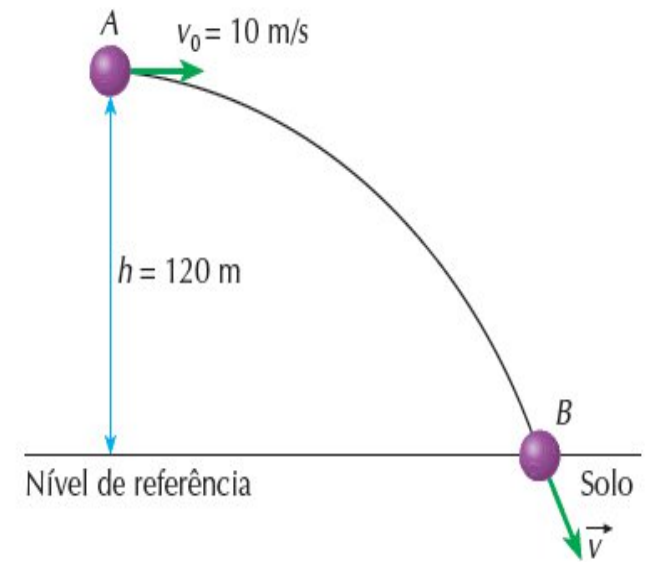
$$\frac{1}{2} m v_0^2 + m g h = \frac{1}{2} m v^2$$

Substituindo os valores:

$$\frac{1}{2} m (10)^2 + m (10)(120) = \frac{1}{2} m v^2$$

$$v = 50 \text{ m/s}$$

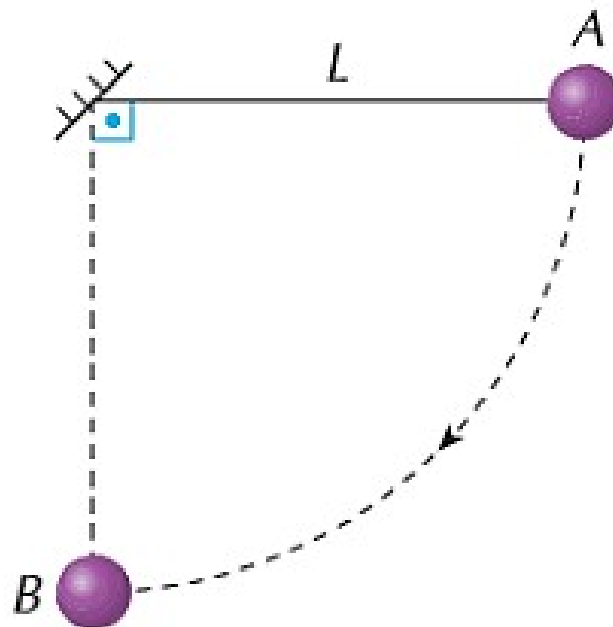
Como a velocidade inicial é exclusivamente horizontal e a gravidade atua verticalmente, no instante do impacto a velocidade possui componentes horizontal e vertical. Portanto, a velocidade no momento do impacto é a resultante vetorial das componentes horizontal e vertical.



$F_{fn} = mg$

Uma esfera de massa $m = 2,0 \text{ kg}$ presa a um fio de comprimento $L = 0,45 \text{ m}$ é abandonada na posição A, conforme a figura. No instante em que a esfera passa pela posição B, determine:

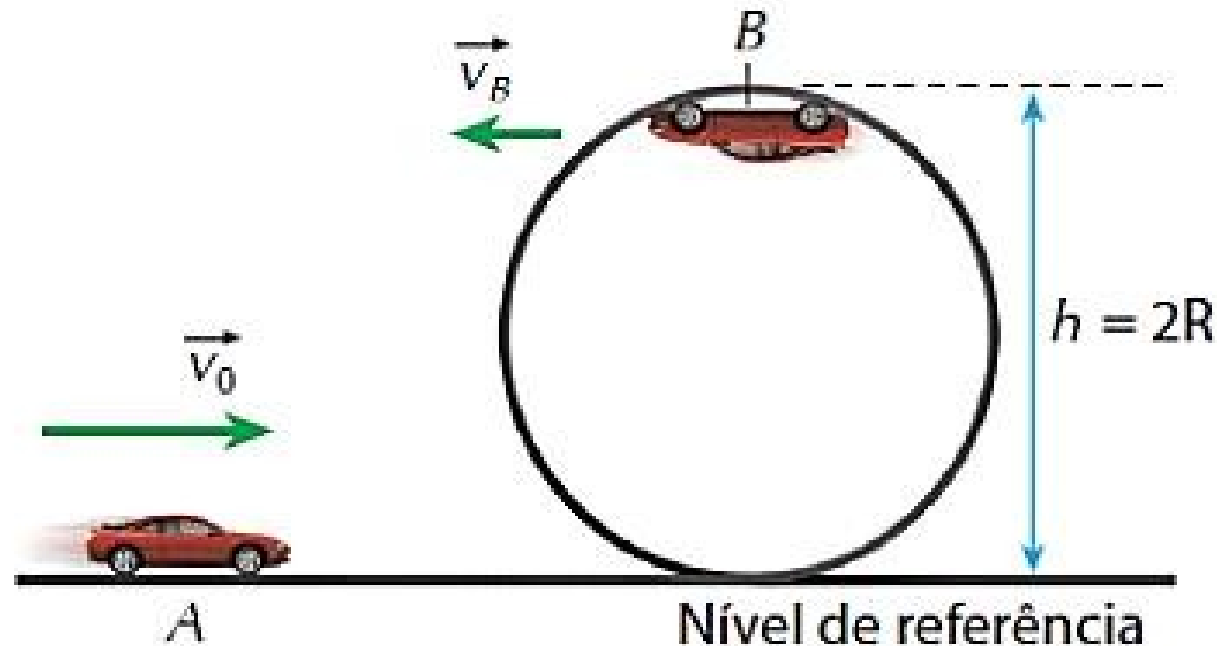
- a) sua velocidade escalar;
- b) a intensidade da força de tração no fio.



Despreze os atritos e considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

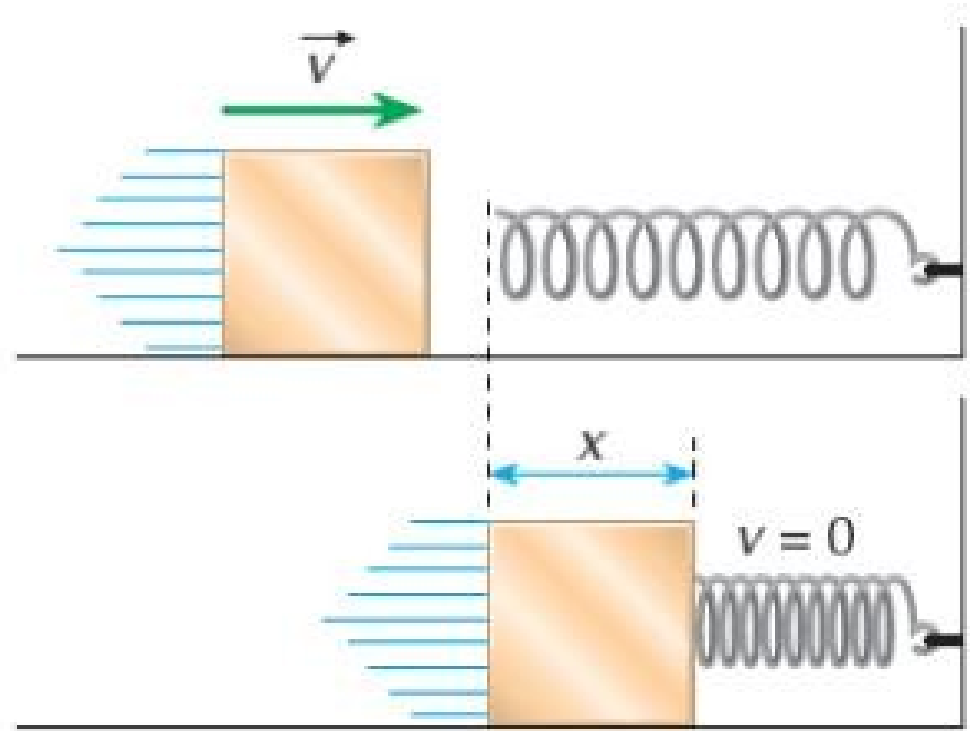
F f_n m

Numa superfície plana e polida um carrinho tem velocidade v_0 e percorre a pista curva indicada. Conhecendo-se R , raio da curva da pista, e g , aceleração da gravidade local, determine o menor valor da velocidade inicial para que o fenômeno seja possível. (A curva é chamada looping.)



F f_n m

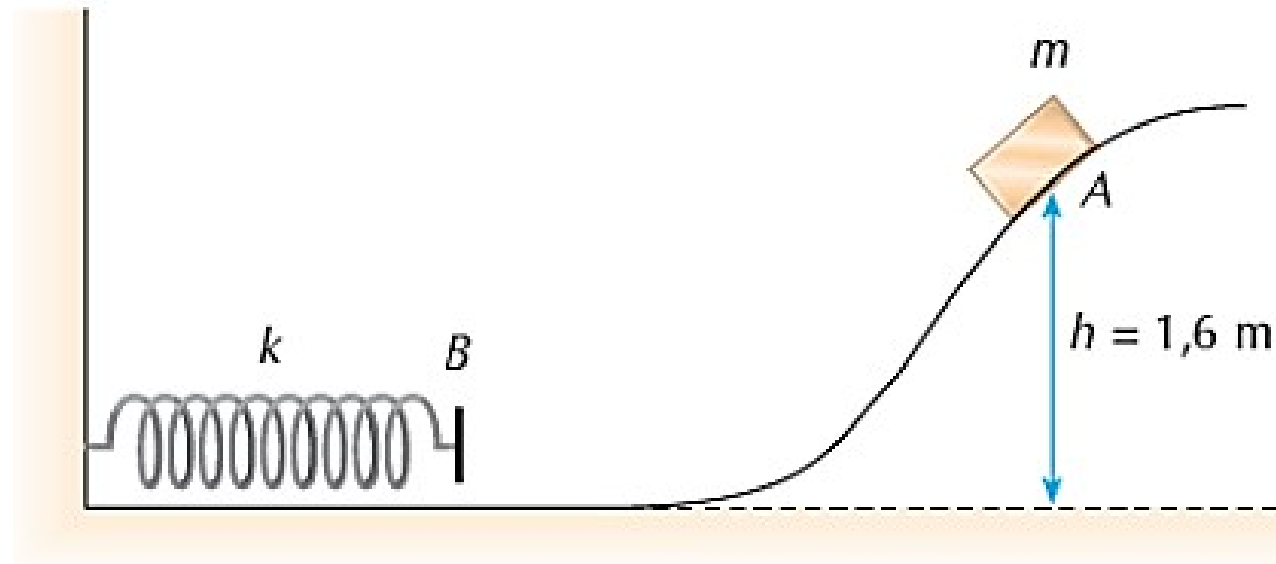
Um bloco de massa $m = 4 \text{ kg}$ e velocidade horizontal $v = 0,5 \text{ m/s}$ choca-se com uma mola de constante elástica $k = 100 \text{ N/m}$. Não há atrito entre o bloco e a superfície de contato. Determine a máxima deformação sofrida pela mola.



F f n m22

Um pequeno bloco, de massa $m = 0,5 \text{ kg}$, inicialmente em repouso no ponto A, é largado de uma altura de $h = 1,6 \text{ m}$. O bloco desliza, sem atrito, ao longo de uma superfície e colide, no ponto B, com uma mola de constante elástica $k = 100 \text{ N/m}$ (veja a figura abaixo). Determine a compressão máxima da mola, em cm.

(Use $g = 10 \text{ m/s}^2$.)



F fn m23

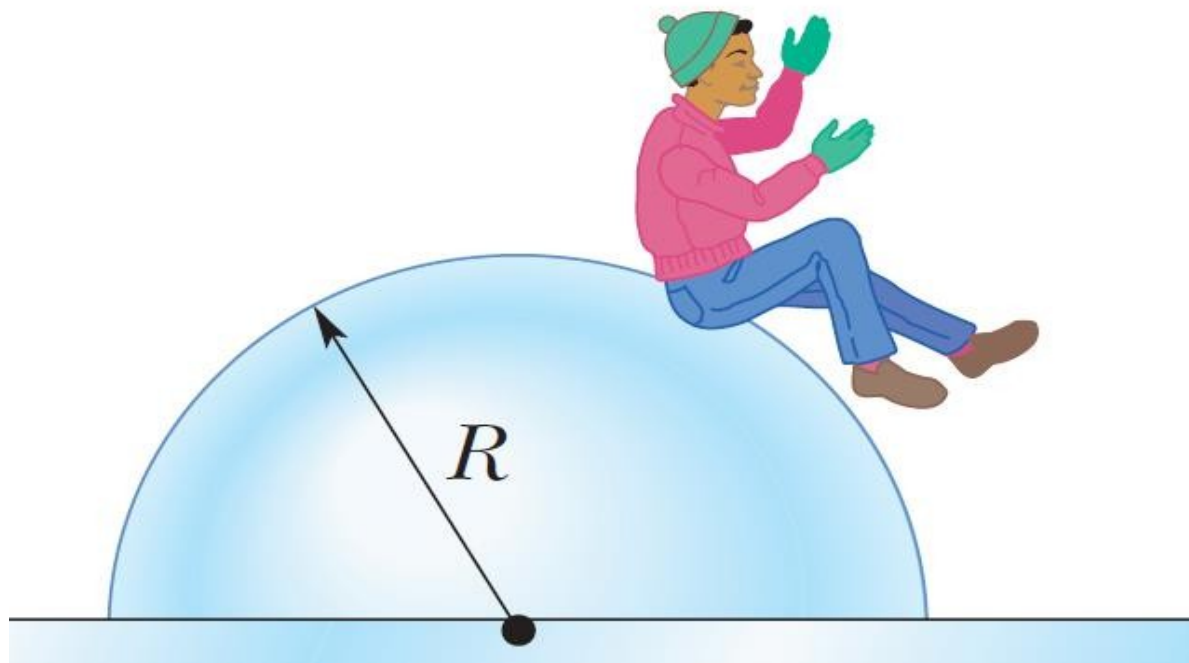
Tarzan, que pesa 688N, salta de um penhasco, pendurado na extremidade de um cipó com 18m de comprimento. Do alto do penhasco até o ponto mais baixo da trajetória, ele desce 3,2m. O cipó se romperá se a força exercida sobre ele exceder 950N. O cipó se rompe? (Use $g = 10 \text{ m/s}^2$.)

$$T=933\text{N}$$



F f n m24

*Um garoto está inicialmente sentado sobre o topo de um monte hemisférico de gelo de raio $R=13,8\text{m}$. Ele começa a deslizar para baixo com uma velocidade inicial desprezível. Suponha que o atrito é desprezível. Em que altura H o garoto perde contato com o gelo?
(Use $g = 10 \text{ m/s}^2$.)*



$$H = \frac{2R}{3}$$