Física 1 – Ciências Moleculares

Caetano R. Miranda

AULA 20 – 22/11/2023

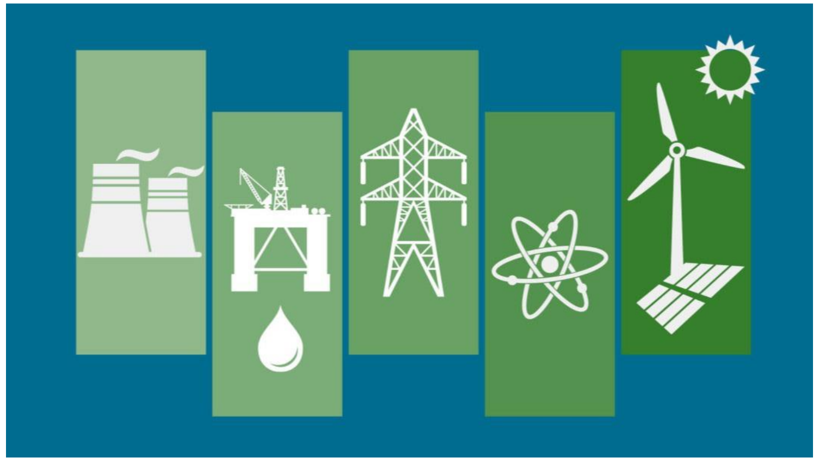
crmiranda@usp.br

TRABALHO E ENERGIA MECÂNICA
CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

CONTEÚDO – Listas Capítulos 5, 6 e 7

LISTA no Moodle (03/12)

PROVA 2 – 30/11 – 14:00



Curso de Física Básica - Vol. 1 - Mecânica - Moysés Nussenzveig
Blog do Prof. Dr. Otaviano Helene (IFUSP).
The Physics of Superheroes – James Kakalious

A Física do “The Flash”

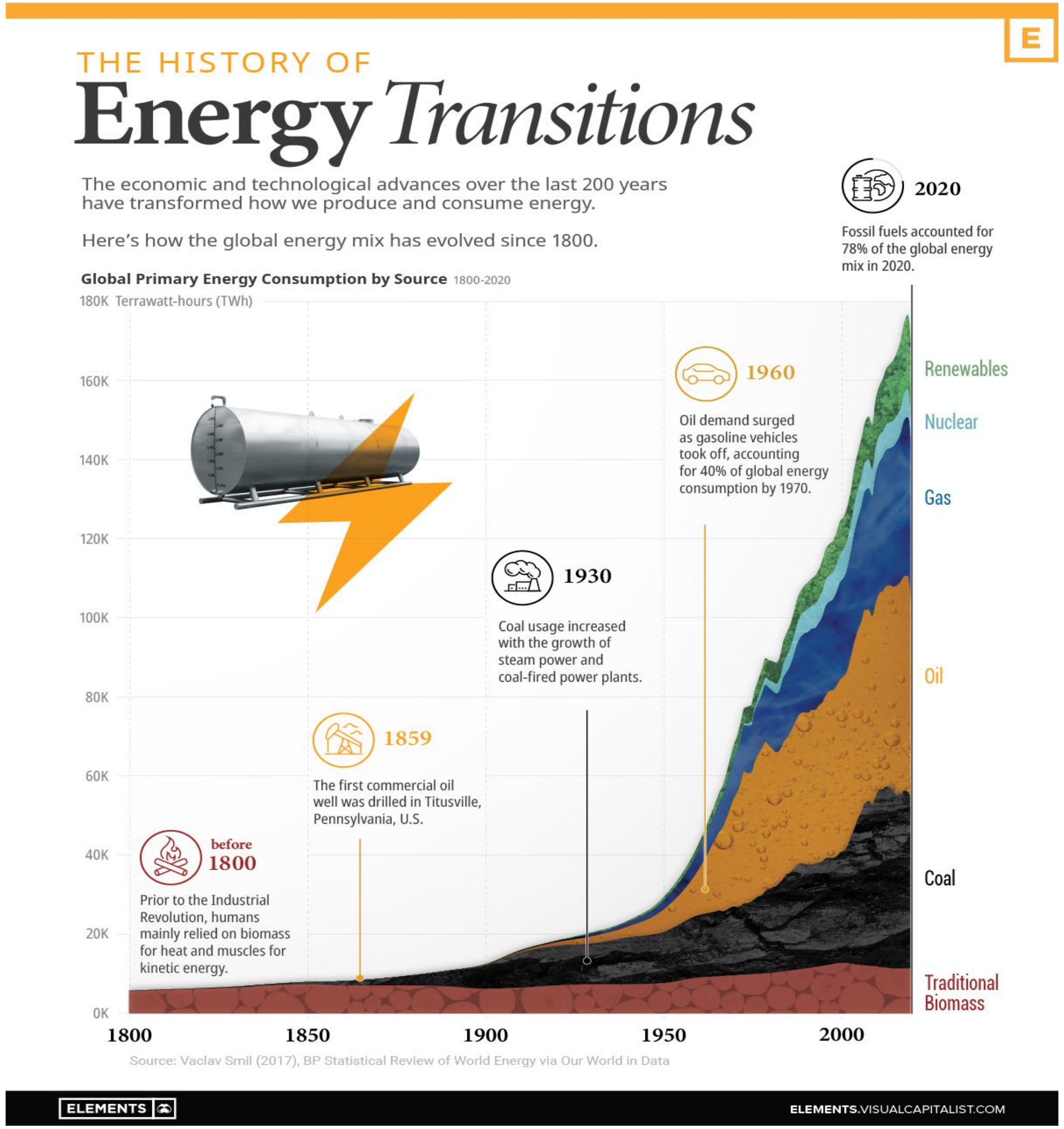
Para pessoa de peso médio conseguisse se sustentar acima da água ela precisaria “caminhar” a uma velocidade de 108 km/h ou 30 m/s !!– quase a velocidade de um guepardo.

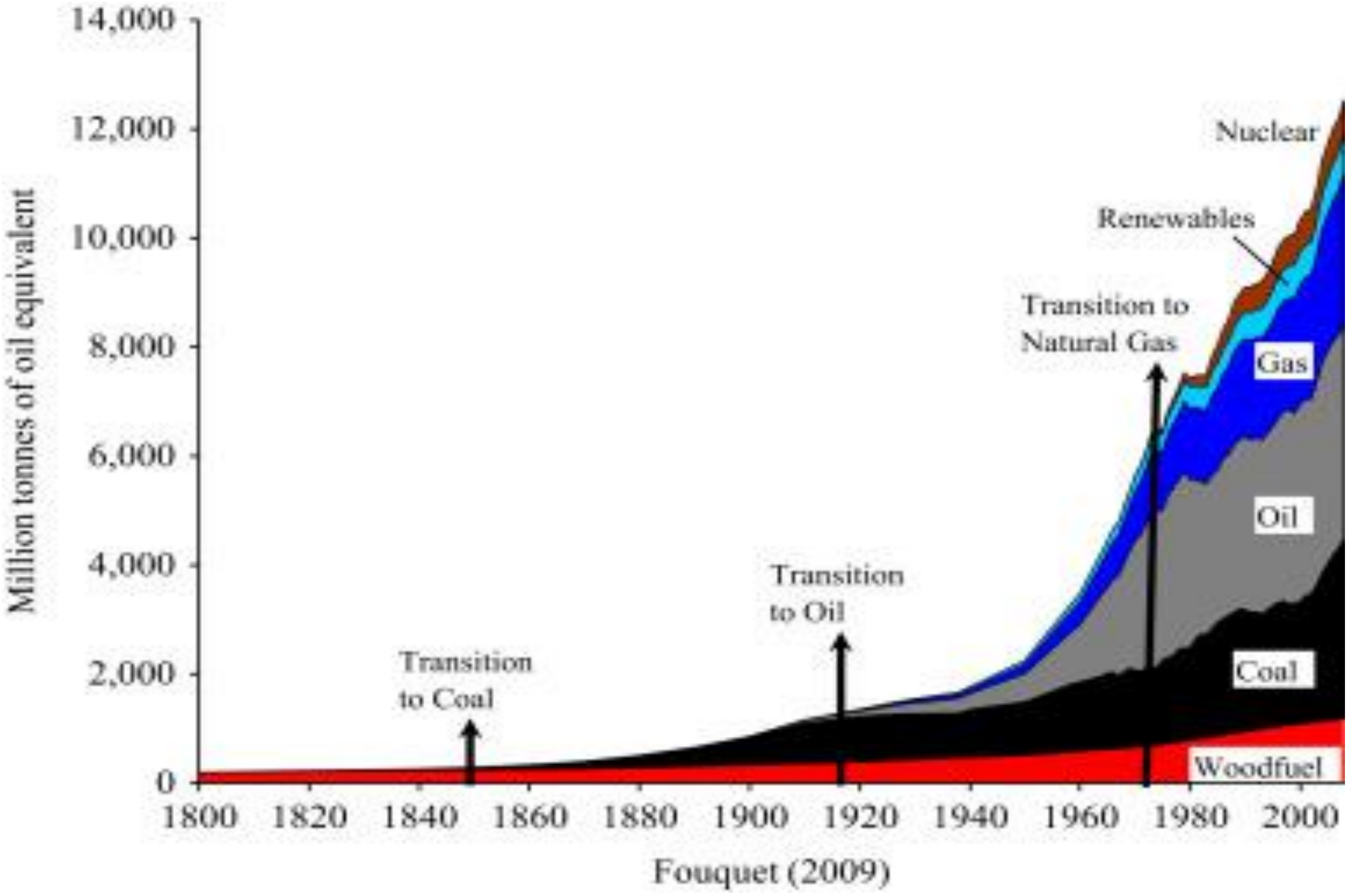
O homem mais rápido do mundo, Usain Bolt, famoso velocista jamaicano, consegue correr até 37,8 km/h.

Ou porque o “The Flash” é o herói favorito do Sheldon ...

Como veremos, ele viola todas as leis de conservação da Física !

Energia e desafios globais

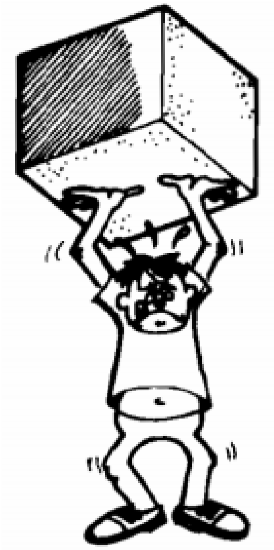




Transição da parte I para II do curso:

- Analisamos o movimento usando: posição, velocidade, aceleração e força.
- Movimentos de difícil descrição usando a Leis de Newton:

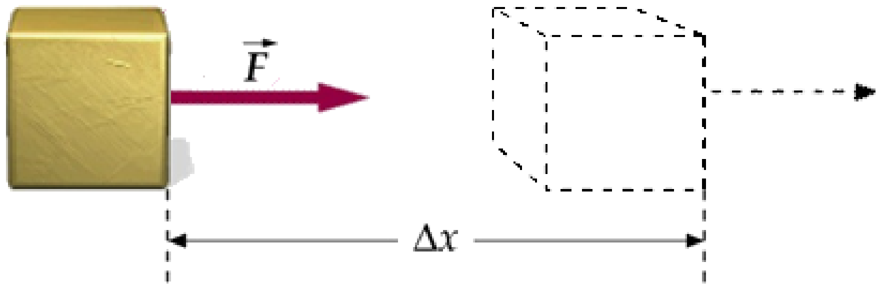
Métodos alternativos para a análise:

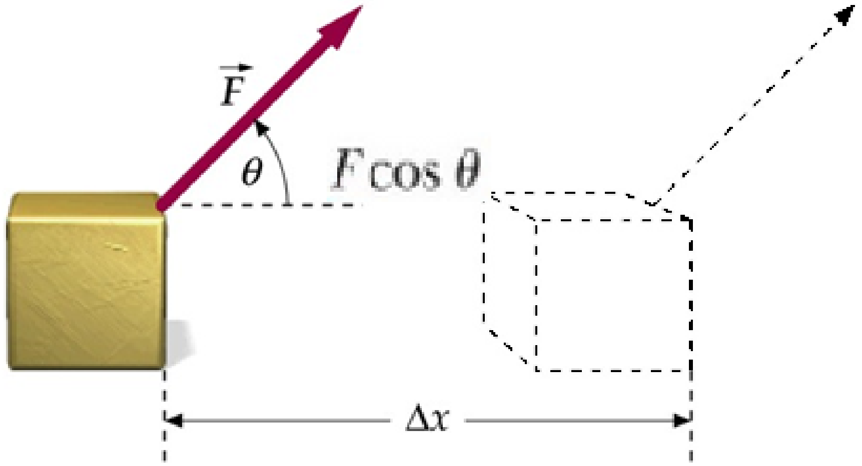


- Conceitos centrais em ciência: energia e trabalho
    - Força: grandeza vetorial
    - Energia e Trabalho: grandezas escalares

Trabalho realizado por uma Força Constante

- Ideia usual: trabalho = qualquer atividade que requeira esforço físico ou mental. (Ex: carregar uma mochila, pedalar uma bicicleta, etc)
- **Conceito Físico:** associado com a transferência de energia devido a uma força.
- Grandeza escalar (positiva ou negativa).
- É realizado sobre um corpo por uma força, quando o ponto de aplicação da força se desloca.





$$\boxed{W = F|\Delta x|}$$

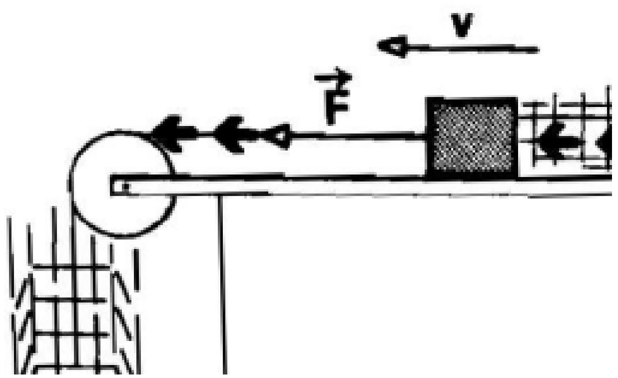
$$\boxed{W = F_x|\Delta x| = F\cos\theta|\Delta x|}$$

W é o trabalho realizado

Influência do ângulo

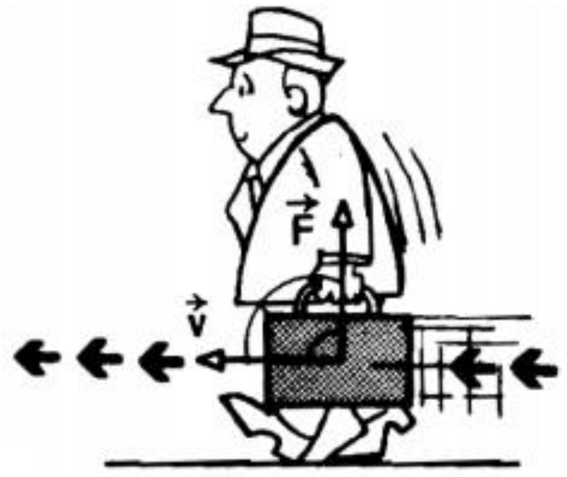
$$W = F\cos\theta\left|\Delta x\right|$$

F atua no mesmo sentido do deslocamento



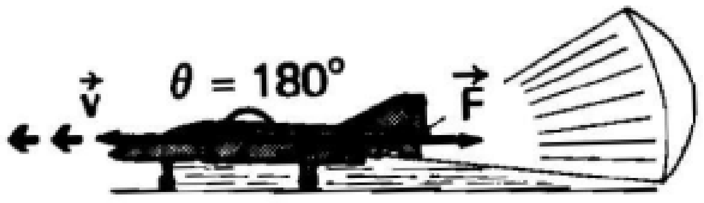
W > 0

F é perpendicular ao deslocamento



W = 0

F atua no sentido contrário ao deslocamento

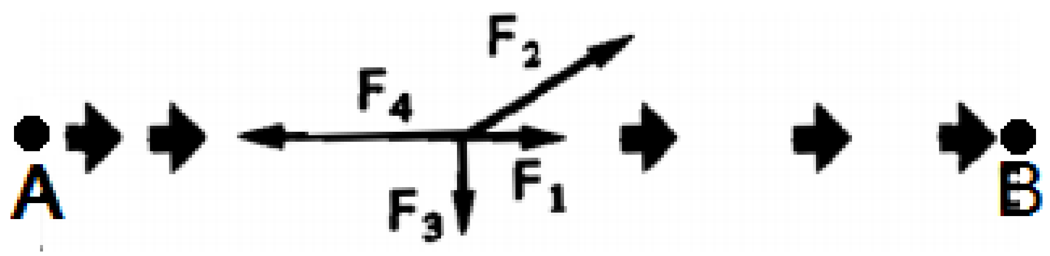


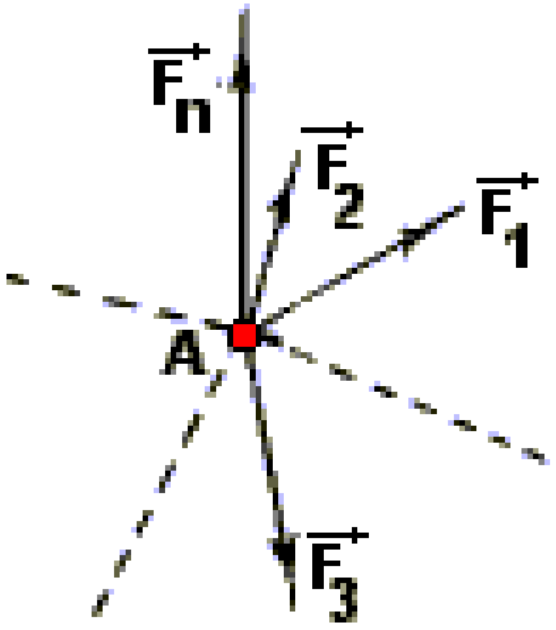
W < 0

Trabalho realizado sobre diversas forças

O trabalho total sobre um sistema é a soma do trabalho realizado por cada força.

$$W = F_{1x}\Delta x_1 + F_{2x}\Delta x_2 + F_{3x}\Delta x_3 + \cdots$$





Caso unidimensional: se a aceleração é nula (velocidade cte):

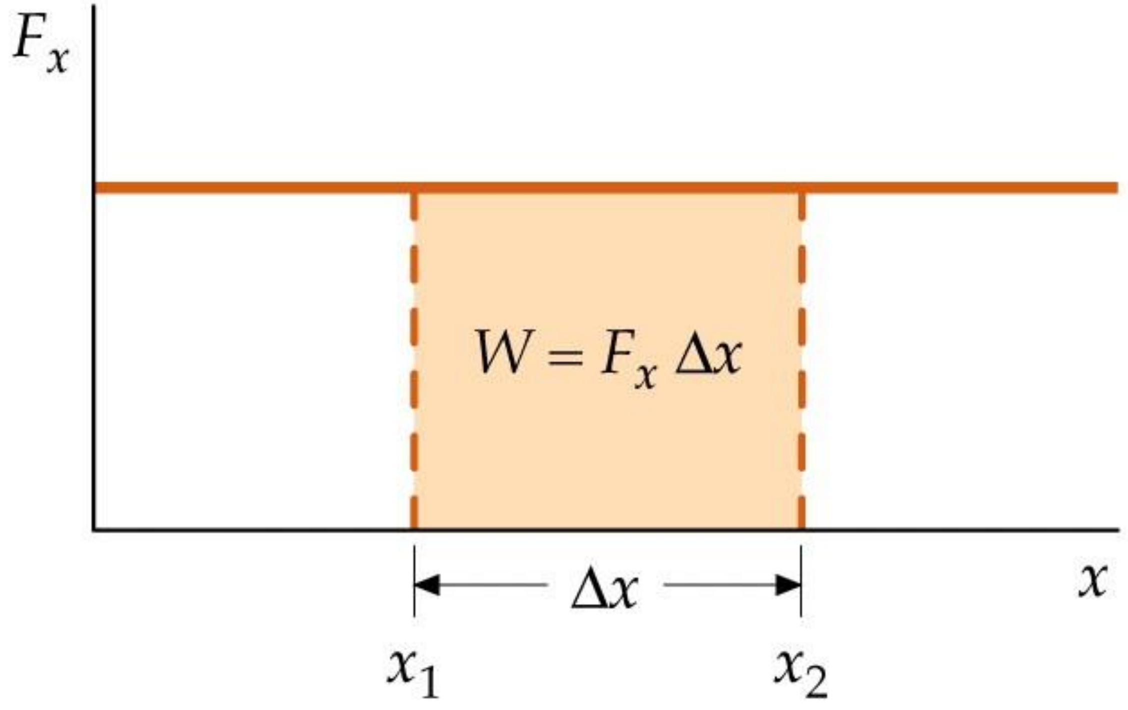
$$\boxed{W = 0}$$

SI: 1 J = 1 N.m

Análise Gráfica

Para força constante:

Gráfico F versus deslocamento



Área sob a curva F_x versus x:

$$W = F_x \Delta x$$

Potência

Aplicações práticas: importante conhecer a rapidez (ou variação temporal)com que o trabalho é feito = **POTÊNCIA**

- **Definição:**

  Potência: Trabalho realizado por unidade de tempo.

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

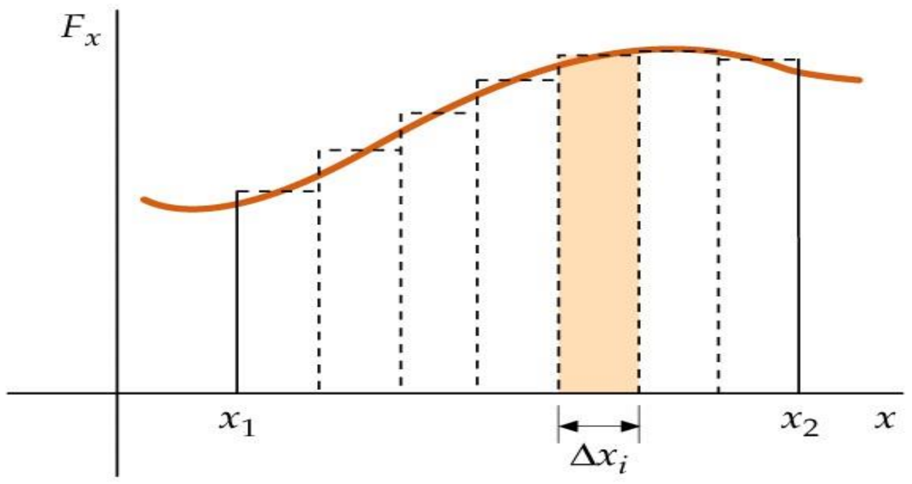
(intervalo de tempo muito pequeno)

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{l} = \vec{F} \cdot \vec{v}dt \quad \Rightarrow \quad \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v} = P$$

SI: [W] = 1 J/s

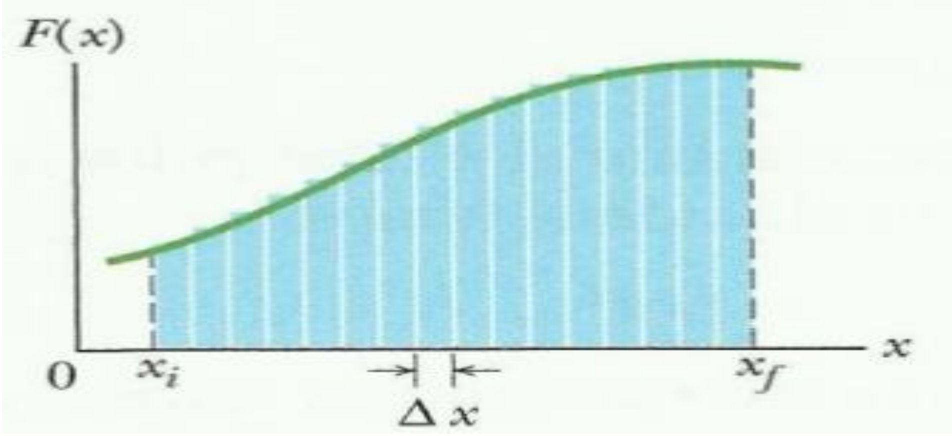
Trabalho de uma força variável

O que acontece quando a força varia à medida que a partícula se desloca?

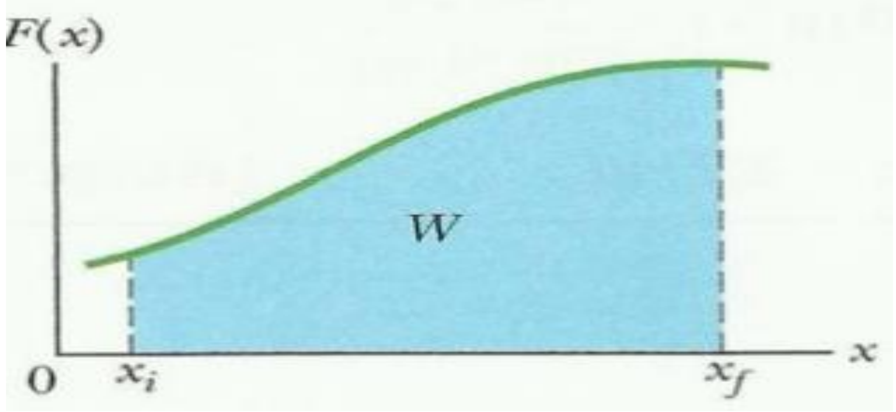


Podemos dividir o movimento em pequenas seções.

$$W = \lim_{\Delta xi \to 0} \sum_i F_{xi} \Delta x_i$$



$$\boxed{W = \int_{x_i}^{x_f} F_x dx}$$



Área compreendida entre F(x) e o eixo Ox

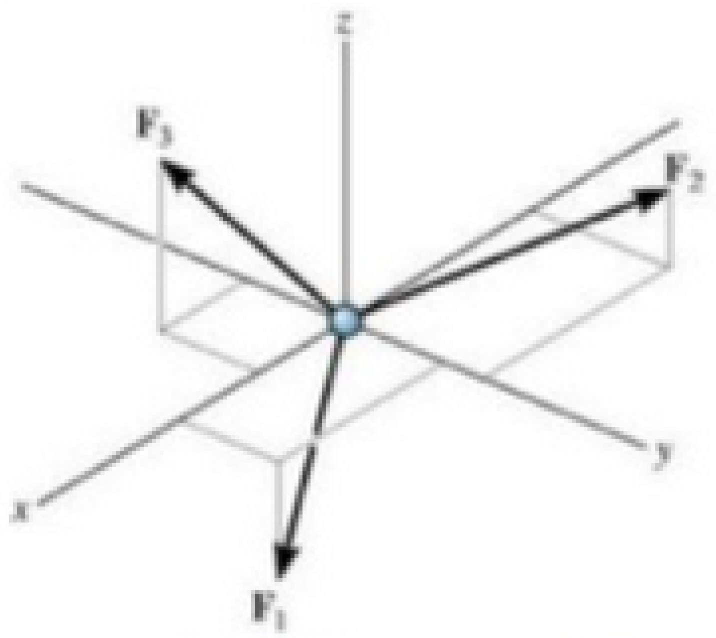
Análise Tridimesional

Partícula sob a ação de uma força tridimensional:

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

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

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



Trabalho W realizado por F quando uma partícula se move de uma posição inicial $\mathbf{r_i}$ de coordenadas (x_i,y_i,z_i) para uma posição final $\mathbf{r_f}$ de coordenadas (x_f,y_f,z_f):

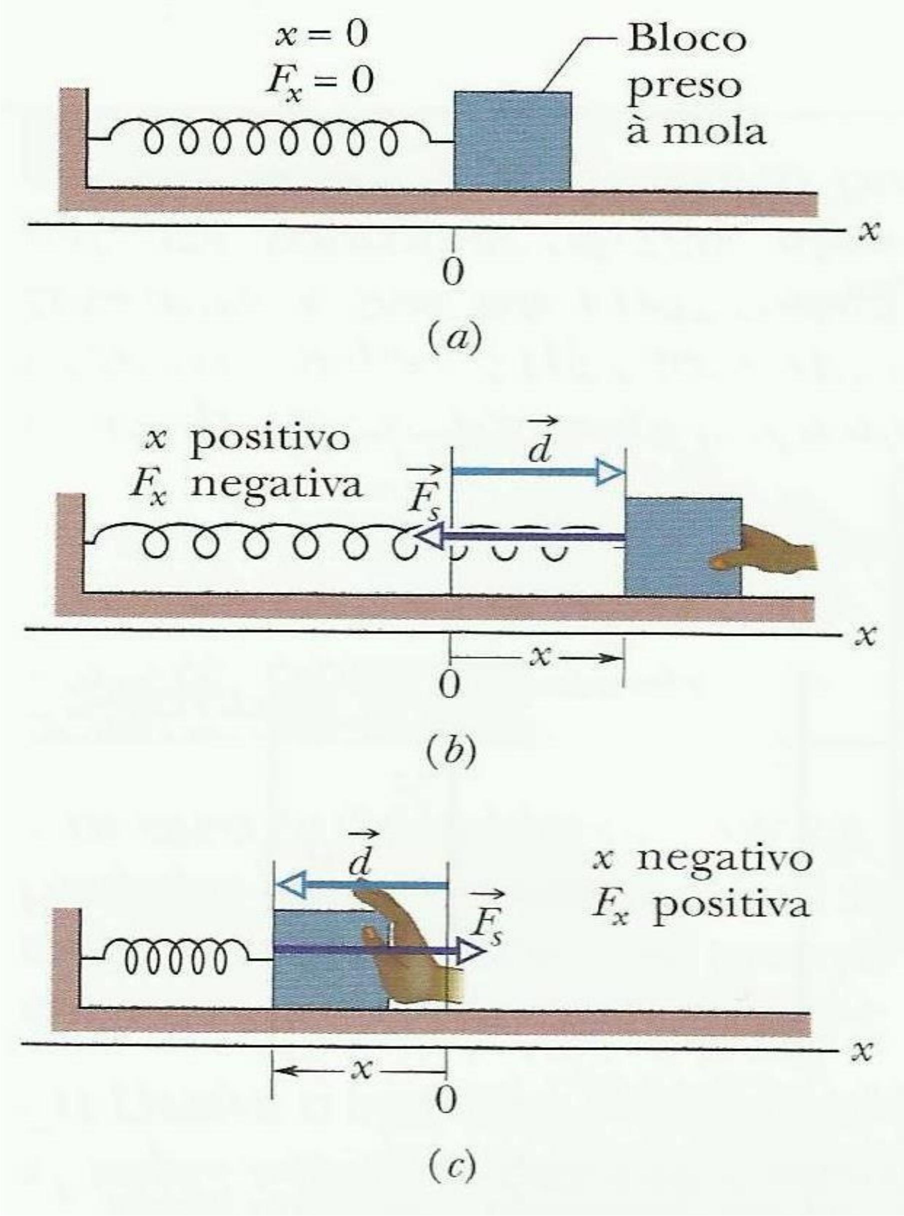
$$\boxed{W = \int_{r_i}^{r_f} dW = \int_{x_i}^{x_f} F_x\,dx + \int_{y_i}^{y_f} F_y\,dy + \int_{z_i}^{z_f} F_z\,dz.}$$

Trabalho Realizado por uma Força Elástica

- *Trabalho realizado por uma mola*
  - Força não é constante = varia com x!
    - Bloco sob a ação de uma mola.
      - Força exercida pela mola: Lei de Hooke

$$\vec{F} = -kx\vec{i}$$

- *Tende a se opor ao deslocamento da partícula, trazendo-a de volta à situação de equilíbrio!*
  - *força restauradora*
  - *proporcional à deformação*



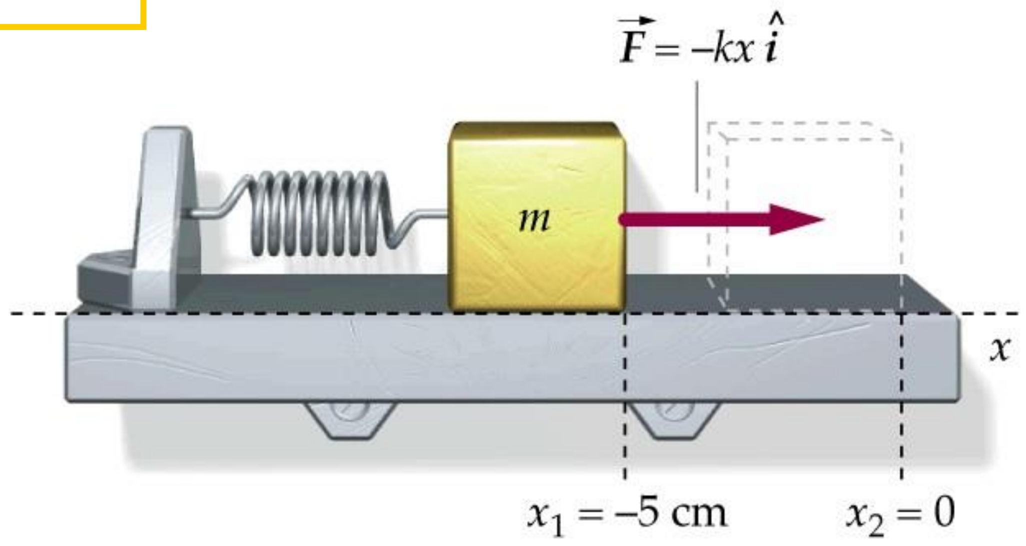
Trabalho Realizado por uma Força Elástica

$$\boxed{W = \int_{x_i}^{x_f} F_x dx} \Rightarrow \boxed{\vec{F} = -kx\vec{i}}$$

$$W = \int_{x_i}^{x_f} (-kx)dx$$

$$W = -k\int_{x_i}^{x_f} xdx = -k\,\tfrac{1}{2}\,x^2\Big|_{x_i}^{x_f} = -k\left(\frac{x_f^2}{2} - \frac{x_i^2}{2}\right)$$

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

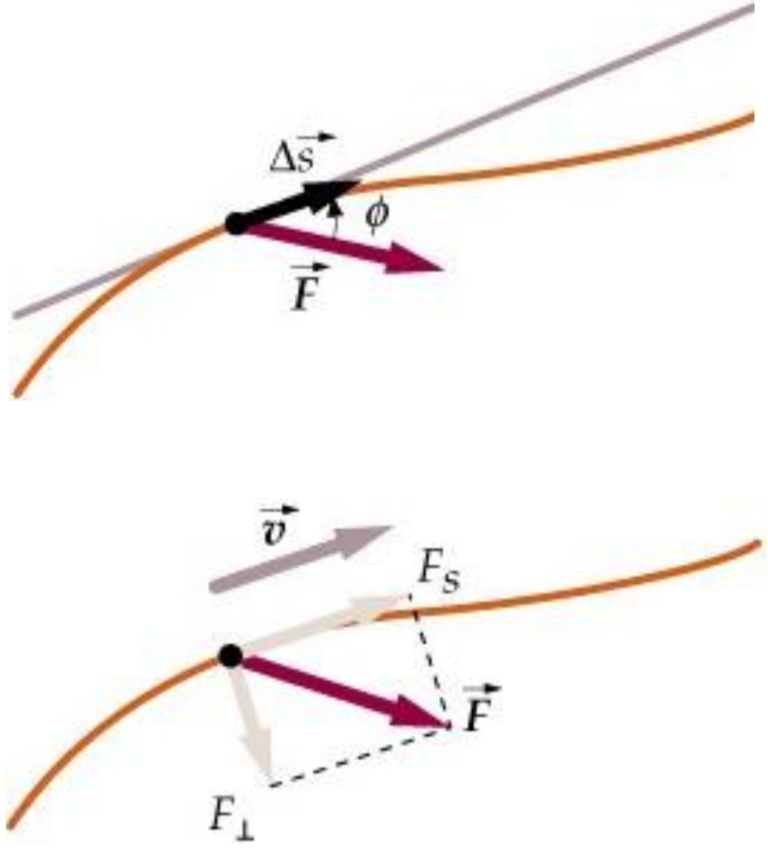


$$|\,x_f^2\,| > |\,x_i^2\,| \Rightarrow W < 0$$

$$|\,x_f^2\,| < |\,x_i^2\,| \Rightarrow W > 0$$

Integral de Linha e Notação Vetorial

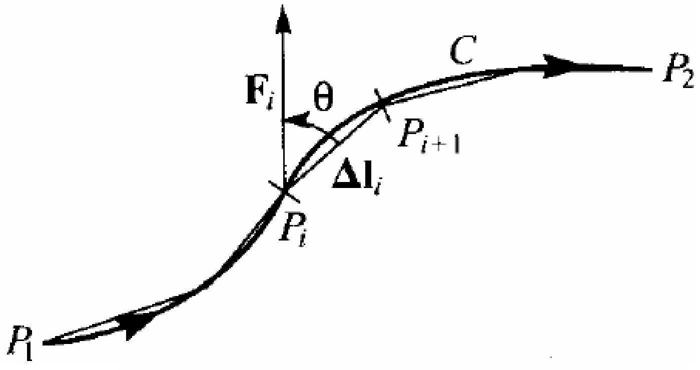
Trabalho: depende da componente da força na direção do movimento.



$$W = F_{//}l = (F\cos\phi)l$$

Considerando-se deslocamentos infinitesimais (dl)

$$\boxed{dW = \vec{F}\cdot d\vec{l}}$$



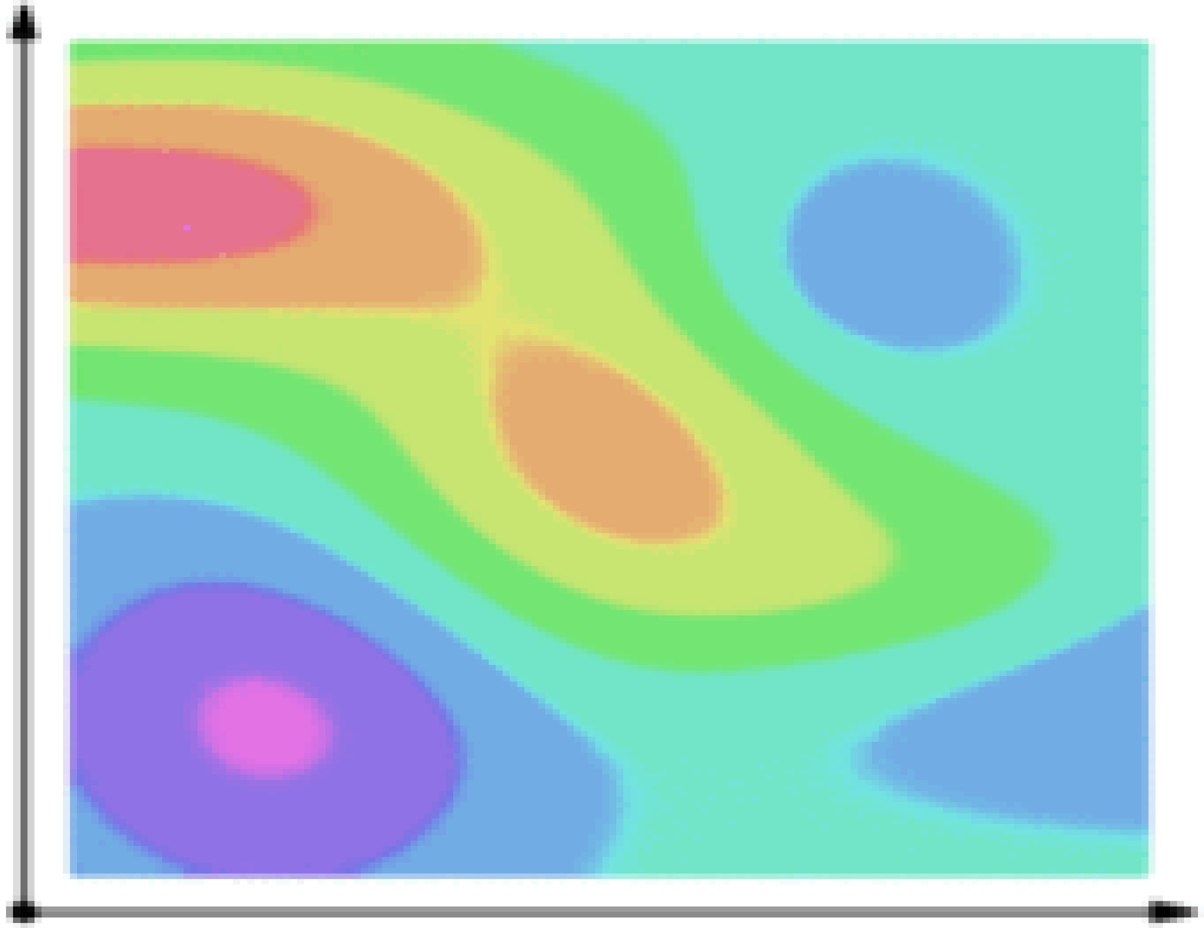
$$\mathbf{dl} = dx\mathbf{i} + dy\mathbf{j} + dz\mathbf{k}$$

Trabalho realizado sobre uma partícula por uma força: produto escalar dos vetores força aplicada e deslocamento do seu ponto de aplicação

$$\boxed{W = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}\cdot d\vec{l}}$$

Deslocamento de uma posição 1 para uma posição 2: *Integral de Linha*

Integral de linha



Fonte: wikipédia

Produto Escalar

Definição: combinação de dois vetores com o cosseno do ângulo entre suas orientações

$$\boxed{\vec{A}\cdot\vec{B} = AB\cos\phi}$$

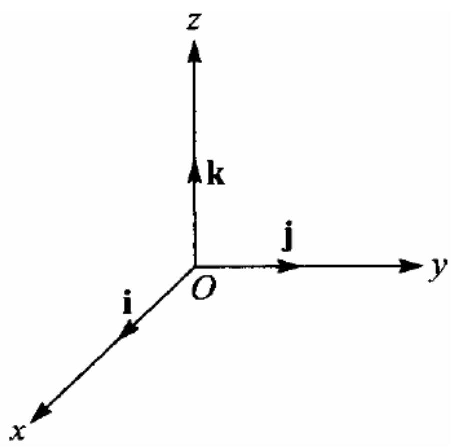
Ou alternativamente:

$$\vec{A}\cdot\vec{B} = (A_x\hat{i} + A_y\hat{j} + A_z\hat{k})\cdot(B_x\hat{i} + B_y\hat{j} + B_z\hat{k})$$

Mas, como:

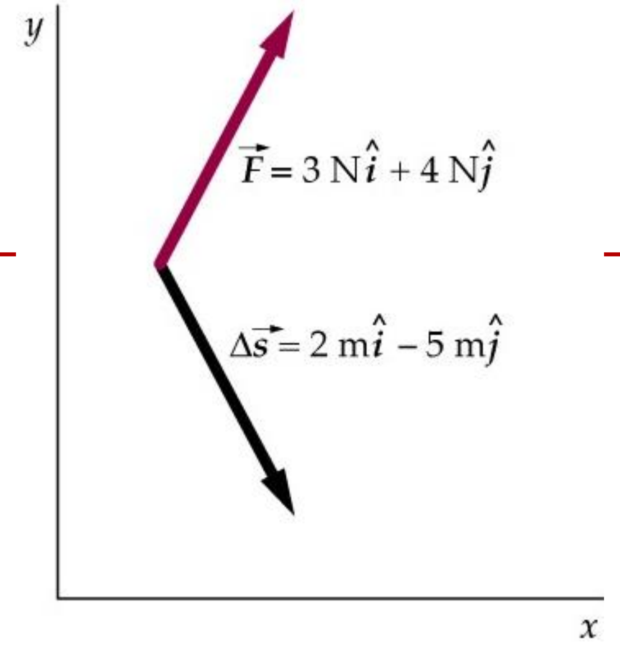
$$\mathbf{i}^2 = \mathbf{j}^2 = \mathbf{k}^2 = 1$$
$$\mathbf{i}\cdot\mathbf{j} = \mathbf{j}\cdot\mathbf{k} = \mathbf{k}\cdot\mathbf{i} = 0$$

$$\vec{A}\cdot\vec{B} = A_xB_x + A_yB_y + A_zB_z$$



Se	Então
$\vec{A}$ e $\vec{B}$ são perpendiculares,	$\vec{A}\cdot\vec{B} = 0$ (porque $\phi = 90°$, $\cos\phi = 0$)
$\vec{A}$ e $\vec{B}$ são paralelos,	$\vec{A}\cdot\vec{B} = AB$ (porque $\phi = 0°$, $\cos\phi = 1$)
$\vec{A}\cdot\vec{B} = 0$,	Ou $\vec{A} = 0$ ou $\vec{B} = 0$ ou $\vec{A}\perp\vec{B}$
Ademais,	
$\vec{A}\cdot\vec{A} = A^2$	Porque $\vec{A}$ é paralelo a si mesmo
$\vec{A}\cdot\vec{B} = \vec{B}\cdot\vec{A}$	Regra comutativa da multiplicação
$(\vec{A}+\vec{B})\cdot\vec{C} = \vec{A}\cdot\vec{C} + \vec{B}\cdot\vec{C}$	Regra distributiva da multiplicação

Exercício



Uma partícula sofre um deslocamento *l* com uma força constante **F** atuando sobre a partícula. Determine:

(a) o trabalho realizado pela força

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

$$W = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

$$W = \vec{F} \cdot \int_{P_1}^{P_2} d\vec{l} = \vec{F} \cdot \vec{l}$$

$$\boxed{W = (3{,}0i + 4{,}0\,\hat{j}) \cdot (2{,}0i - 5{,}0\,\hat{j}) = -14{,}0J}$$

(b) a componente da força na direção do deslocamento.

$$F_{//} = \frac{\vec{F} \cdot \vec{l}}{l}$$

$$l = \sqrt{2^2 + 5^2} = \sqrt{29}$$

$$\boxed{\left|F_{//}\right| = 2{,}6N}$$

Se um corpo se move sob a ação de uma força, só há realização de trabalho pela componente paralela à direção do deslocamento. A componente perpendicular ao deslocamento não realiza trabalho.

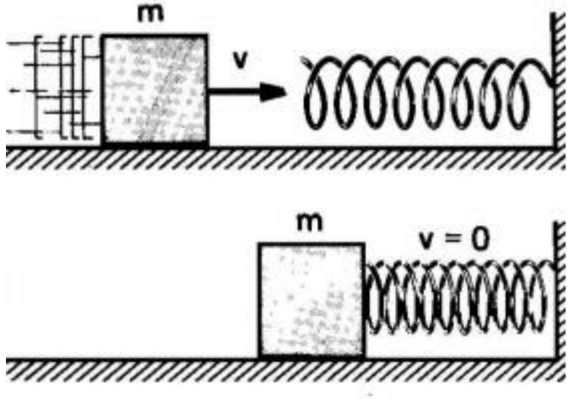
Trabalho e Energia

- Energia: um dos conceitos mais importantes na física
  - Capacidade de realizar trabalho
  - *Ex: uma pessoa é capaz de realizar o trabalho de sustentar um corpo graças à energia que lhe é fornecida pelos alimentos que ela ingere.*
- Formas de apresentação: energia química, energia mecânica, energia térmica, energia elétrica, energia atômica, energia nuclear, etc.

- Energia: grandeza escalar.
  - SI: [J]

Energia Cinética

- ❑ Bloco em movimento aproximando-se de uma mola
- ❑ Ao colidir: velocidade do bloco diminui até anular $\Rightarrow$ mola comprimida



Capaz de realizar o trabalho de comprimir a mola

Qualquer corpo em movimento tem capacidade de realizar trabalho

possui energia denominada **energia cinética** (T)

$$\boxed{T = \frac{1}{2}mv^2}$$

Teorema Trabalho-Energia Cinética

Quando forças realizam trabalho sobre uma partícula:
resultado = variação da energia cinética da partícula.

$$F_{res_x} = ma_x$$

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a_x \Delta x \quad \Rightarrow \quad a_x = \frac{1}{2\Delta x}(v_f^2 - v_i^2)$$

$$F_{res_x} = m\frac{1}{2\Delta x}(v_f^2 - v_i^2) \quad \Rightarrow \quad F_{res_x}\Delta x = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

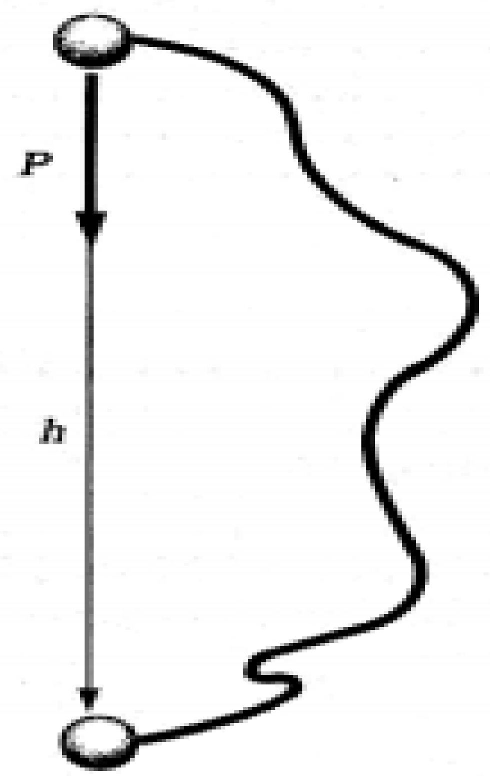
$$\boxed{W_{total} = \Delta T} \qquad \boxed{T = \frac{1}{2}mv^2}$$

Trabalho realizado pela Força Peso

Uma pessoa transportada por um elevador até o topo de um edifício de altura h:

$$W_{peso} = -mgh$$

Ao retornar do topo ao solo: $W_{peso} = +mgh$



Movimento de subida e descida = feito por uma escada rolante $\Rightarrow$ W_{peso} seria o mesmo.

Este trabalho não depende da trajetória e sim do desnível em relação ao solo, ou seja, da altura h

Forças Conservativas

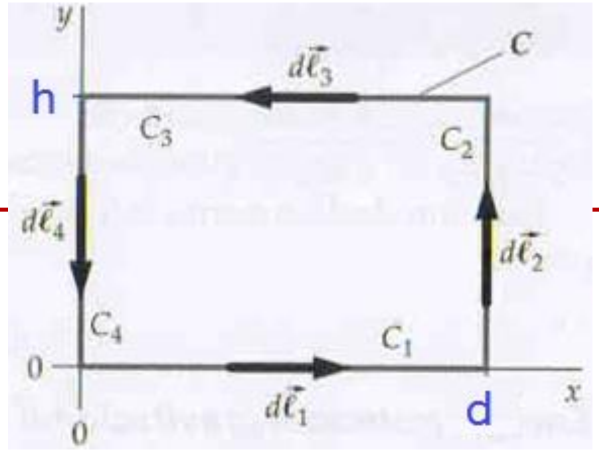
Uma força é dita **conservativa** quando o seu trabalho é independente da trajetória

Exercício

Calcular o trabalho realizado.

$$\boxed{W = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}}$$

$$\vec{F} = Ax\hat{i}$$



$$W = \int_{C_1} \vec{F} \cdot d\vec{l}_1 + \int_{C_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}_2 + \int_{C_3} \vec{F} \cdot d\vec{l}_3 + \int_{C_4} \vec{F} \cdot d\vec{l}_4 = \oint_C \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

$$\begin{cases} \int_{C_1} \vec{F} \cdot d\vec{l}_1 = \int_0^d Ax\hat{i} \cdot dx\hat{i} = A\int_0^d xdx = A\tfrac{1}{2}x^2\Big|_0^d = A\tfrac{1}{2}(d^2) - A\tfrac{1}{2}(0^2) = \dfrac{1}{2}Ad^2 \\ \int_{C_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}_2 = \int_0^h Ax\hat{i} \cdot dy\hat{j} = 0 = \int_{C_4} \vec{F} \cdot d\vec{l}_4 \\ \int_{C_3} \vec{F} \cdot d\vec{l}_3 = \int_d^0 Ax\hat{i} \cdot dx\hat{i} = A\int_d^0 xdx = -\dfrac{1}{2}Ad^2 \end{cases}$$

$$\boxed{\oint_C \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0}$$

EX: Força Elástica

Uma força é conservativa se o trabalho que ela realiza sobre uma partícula é zero quando a partícula percorre qualquer caminho fechado.