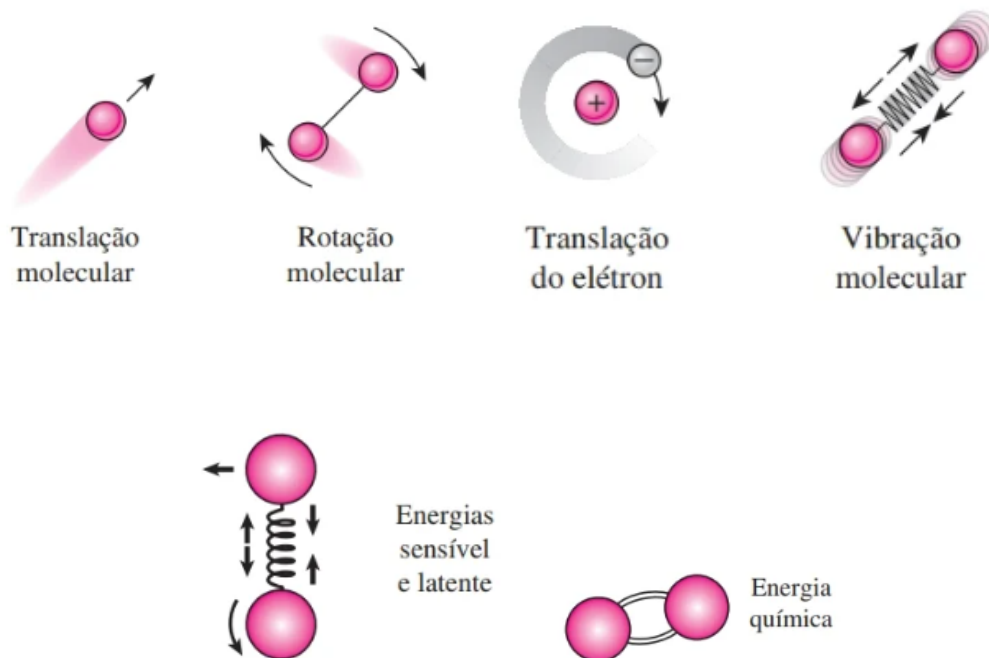


Formas de Energia: Térmica, Mecânica, Cinética, Potencial, Química, **Magnética, Nuclear e Tensão superficial.**

A soma dessas energias constitui a energia total de um sistema.

Podemos separar essas formas de energia em dois grupos: **Macroscópicas** e **Microscópicas**. As formas macroscópicas são aquelas que dependem do sistema como um todo com relação a algum referencial externo (cinética e potencial por exemplo). As formas microscópicas são as relacionadas a estrutura e atividade molecular de um sistema, independentes de um referencial externo.



**Energia Interna (U):** é a soma de todas as formas microscópicas de energia de um sistema, relacionadas à estrutura e ao movimento molecular. Ela inclui:

1. **Energia cinética molecular:**

- **Translação:** Movimento das moléculas pelo espaço.
- **Rotação:** Movimento de rotação das moléculas ou átomos.
- **Vibração:** Movimentos oscilatórios (relevantes a altas temperaturas).
- **Spin:** Movimento de rotação de elétrons e partículas nucleares.

2. **Energia sensível:** Parte da energia cinética das moléculas, proporcional à temperatura. A temperaturas mais altas, as moléculas possuem maior energia cinética e, conseqüentemente, maior energia interna.

3. **Energia potencial molecular:**

- **Energia latente:** Associada às forças de ligação entre moléculas e às mudanças de fase (sólido, líquido, gás).
- **Energia química:** Relacionada às forças que ligam átomos em moléculas. Muda em reações químicas, como na combustão.
- **Energia nuclear:** Associada às intensas forças no núcleo do átomo. É muito maior que outras formas de energia.

Essas formas de energia contribuem para o estado energético total de um sistema e variam conforme temperatura, fase e processos químicos ou nucleares.

**Energia Cinética ( $E_c$ ):** Energia relacionada ao movimento (que pode sofrer efeitos externos da gravidade, magnetismo, eletricidade e tensão superficial). Quando todas as partes de um sistema se movem com a mesma velocidade:

(1)	$E_c = m \frac{v^2}{2}$	(kJ)
-----	-------------------------	------

$v$  é velocidade  $\left(\frac{m}{s}\right)$ ,  $m$  é massa (kg) e  $1 J = 1 N m = 1 \frac{kg m^2}{s^2}$

Por que  $v^2$  ?

O termo  $v^2$  aparece porque a energia cinética depende da quantidade de trabalho realizado para acelerar o objeto.

Sendo Trabalho  $W = F \cdot d$  (Força x deslocamento).

Pela segunda lei de Newton  $F = m \cdot a$  (massa x aceleração).

Temos que  $W = m \cdot a \cdot d$ .

Tendo em vista a equação do movimento retilíneo uniformemente acelerado:  $S = S_0 + v_0 t + \frac{a}{2} t^2$ , o qual derivando em  $t$  nos dá  $v = v_0 + at$ , podemos isolar  $t = \frac{v - v_0}{a}$ .

Sendo o deslocamento  $d = S - S_0$ , temos:

$$d = v_0 \left( \frac{v - v_0}{a} \right) + \frac{a}{2} \left( \frac{v - v_0}{a} \right)^2$$

$$2ad = 2v_0(v - v_0) + (v - v_0)^2$$

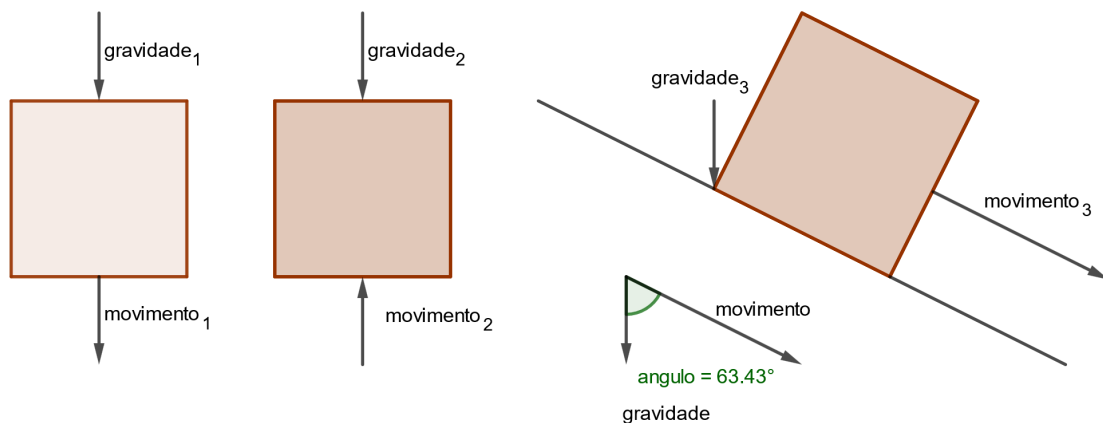
$$2ad = 2v_0 v - 2v_0^2 + v^2 - 2v_0 v + v_0^2$$

$$ad = \frac{v^2 - v_0^2}{2}$$

Partindo do princípio de que  $v_0 = 0$  para se calcular o trabalho  $W$ , temos:

$$W = m \cdot a \cdot d = m \cdot \frac{v^2}{2}$$

**Energia Potencial ( $E_p$ ):** É o trabalho realizado pela força gravitacional. Essa força gravitacional sempre age na mesma direção e sentido, que pode não ser a direção e sentido do movimento do objeto, formando assim um ângulo  $\theta$  entre a direção e sentido da ação da gravidade e o movimento do objeto.



Assim

$$E_p = W = F \cdot d \cdot \cos(\theta)$$

Sendo  $\cos(\theta) = \frac{\text{direção}_{\text{gravidade}}}{\text{direção}_{\text{movimento}}} = \frac{z}{d}$ , temos  $z = d \cdot \cos(\theta)$ .

Sendo  $F = m \cdot g$  (massa x aceleração da gravidade), temos, no caso em que a gravidade está no mesmo sentido (+) ou sentido contrário (-):

$$E_p = \pm mgz$$

Assim, a Energia Total de um sistema é dada pela soma da Energia Interna ( $U$ ), Energia Cinética ( $E_c$ ) e Energia Potencial ( $E_p$ ):

$$E = U + E_c + E_p$$

$$E = U + \frac{mv^2}{2} \pm mgz$$

#### Formas estáticas de energia:

- São armazenadas dentro de um sistema, como energia interna, potencial e cinética.

#### Formas dinâmicas de energia:

- Não são armazenadas, mas atravessam a fronteira do sistema durante um processo. Representam a energia que o sistema ganha ou perde.
- As formas dinâmicas de energia em **sistemas fechados** são:
  - **Transferência de calor:** Energia transferida devido à diferença de temperatura.
  - **Trabalho:** Energia transferida por outros meios que não a diferença de temperatura.
- Em **volumes de controle** (sistemas abertos), há também:
  - **Transferência de massa:** Energia transportada com a entrada ou saída de massa.

## Conceito Básico

A equação do calor se baseia na **Primeira Lei da Termodinâmica**, que expressa a conservação da energia em sistemas fechados. Ela relaciona a **variação da energia interna** ( $\Delta U$ ) de um sistema com as formas dinâmicas de energia que cruzam suas fronteiras:

$$\Delta U = Q - W$$

Aqui:

- $Q$ : Calor transferido para o sistema.
  - $W$ : Trabalho realizado pelo sistema.
  - $\Delta U$ : Variação da energia interna.
- 

## Energia Interna ( $\Delta U$ )

A energia interna ( $U$ ) é composta pela soma das formas microscópicas de energia de um sistema, como energia cinética e potencial das moléculas. Ela varia com:

- Mudanças na **temperatura** (energia cinética molecular);
  - Mudanças de **fase** (energia latente);
  - Reações químicas ou nucleares (energia química ou nuclear).
- 

## Transferência de Calor ( $Q$ )

O calor é a energia que atravessa as fronteiras de um sistema devido à **diferença de temperatura**. A quantidade de calor  $Q$  é proporcional à capacidade térmica ( $C$ ) e à variação de temperatura ( $\Delta T$ ):

$$Q = m c \Delta T$$

Aqui:

- $m$ : Massa do sistema;

- $c$ : Calor específico da substância;
- $\Delta T = T_{final} - T_{inicial}$ : Variação de temperatura.

Vale a pena notar que o calor específico  $c$  é uma propriedade material que mede a energia necessária para alterar a temperatura de 1 kg, de uma substância específica em 1 °C. Ele reflete o comportamento térmico do material:

- Substâncias com alto  $c$  requerem mais energia para aquecer.
- Substâncias com baixo  $c$  aquecem ou esfriam rapidamente.

Ou seja, é “realista” deduzir que a quantidade de calor que atravessa o sistema seja a quantidade de massa x a quantidade de energia necessária para mudar a temperatura o material x a variação da temperatura.

## Trabalho ( $W$ )

O trabalho, em sistemas fechados, é a energia transferida por forças externas. Por exemplo:

- Em processos de expansão ou compressão, o trabalho pode ser expresso como:  $W = \int P dV$ , Onde  $P$  é a pressão e  $V$  é o volume.

Essa equação vem da definição de trabalho infinitesimal ( $\delta W$ ), isto é, quando olhamos em uma pequena variação  $dx$  ao longo do eixo  $x$ . Assim:

$$\delta W = F \cdot dx$$

Especificamente para gases, podemos trocar  $F$  por Pressão sobre uma determinada Área ( $P \cdot A$ ). Sendo que o termo  $A \cdot dx$  pode representar um volume infinitesimal, temos, integrando dos dois lados que:

$$W = \int P \cdot A \cdot dx = \int P dV$$

## Balanço de Energia - Forma Diferencial Parcial

A seguir, apresentamos a dedução do balanço de energia na forma de equações diferenciais parciais, baseado nos princípios da conservação de energia e na Primeira Lei da Termodinâmica.

### 1. Forma Geral do Balanço de Energia

O balanço de energia geral, considerando a energia interna (U), cinética (Ek) e potencial (Ep), é dado por:

$$\frac{dE_{total}}{dt} = \frac{dQ}{dt} - \frac{dW}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}$$

Expandindo  $E_{total}$  em termos de energia interna, cinética e potencial:

$$E_{total} = \rho u + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z$$

A forma diferencial parcial do balanço de energia é expressa como:

$$\frac{\partial(\rho u + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z)}{\partial t} + \nabla(\rho v(u + \frac{1}{2}v^2 + g z) - k \nabla T) = Q - W$$

### 2. Expansão dos Termos

#### a) Energia Interna (dU):

A energia interna é relacionada à variação de temperatura ou mudanças de fase. Para uma substância de massa m, temos:

$$dU = mc dT$$

#### b) Energia Cinética (dEk):

A energia cinética está relacionada à variação de velocidade do sistema:

$$dEk = \frac{1}{2}m d(v^2) = mv dv$$

#### c) Energia Potencial (dEp):



A energia potencial está relacionada à variação de altura do sistema em um campo gravitacional:

$$dE_p = mg \, dz$$

d) Trabalho (W):

O trabalho diferencial para um sistema fechado é expresso como:

$$\delta W = P \, dV$$

e) Fluxo de Calor (Q):

O fluxo de calor é descrito pela Lei de Fourier, considerando o gradiente de temperatura:

$$q = -k \nabla T$$

A Lei de Fourier é baseada na observação experimental de que:

O calor flui espontaneamente de regiões mais quentes para regiões mais frias.

A taxa de transferência de calor ( $q$ ) é proporcional ao gradiente de temperatura ( $\nabla T$ ).

Matematicamente:  $q \propto -\nabla T$  ( $q$  proporcional a  $\nabla T$ , isto é,  $q$  é múltiplo de  $\nabla T$ )

Introduzindo a constante de proporcionalidade  $k$  (condutividade térmica), obtemos a formulação final da Lei de Fourier:

$$q = -k \nabla T$$

### 3. Equação Geral

Combinando todos os termos, a forma diferencial parcial do balanço de energia é:

$$\frac{\partial(\rho u + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v(u + \frac{1}{2}v^2 + g z) - k \nabla T) = \dot{Q} - \dot{W}$$

Observação: No termo  $\nabla \cdot (\rho v(u + \frac{1}{2}v^2 + g z) - k \nabla T)$  o símbolo  $\nabla$  é o vetor gradiente  $\left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z}\right)$ , e  $\nabla \cdot F$  denota o divergente, que é o produto escalar  $\frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial y} + \frac{\partial F}{\partial z}$ .

### 4. Casos Específicos

Dependendo das simplificações, podemos obter formas mais específicas do balanço de energia, como para sistemas estacionários, processos adiabáticos ou desprezando energia cinética e potencial.