

# TERMODINÂMICA

18

TEMPERATURA,  
CALOR

E

PRIMEIRA LEI DA  
TERMODINÂMICA

## 18.2

# TEMPERATURA

**Temperatura** é uma das sete grandezas fundamentais do SI.

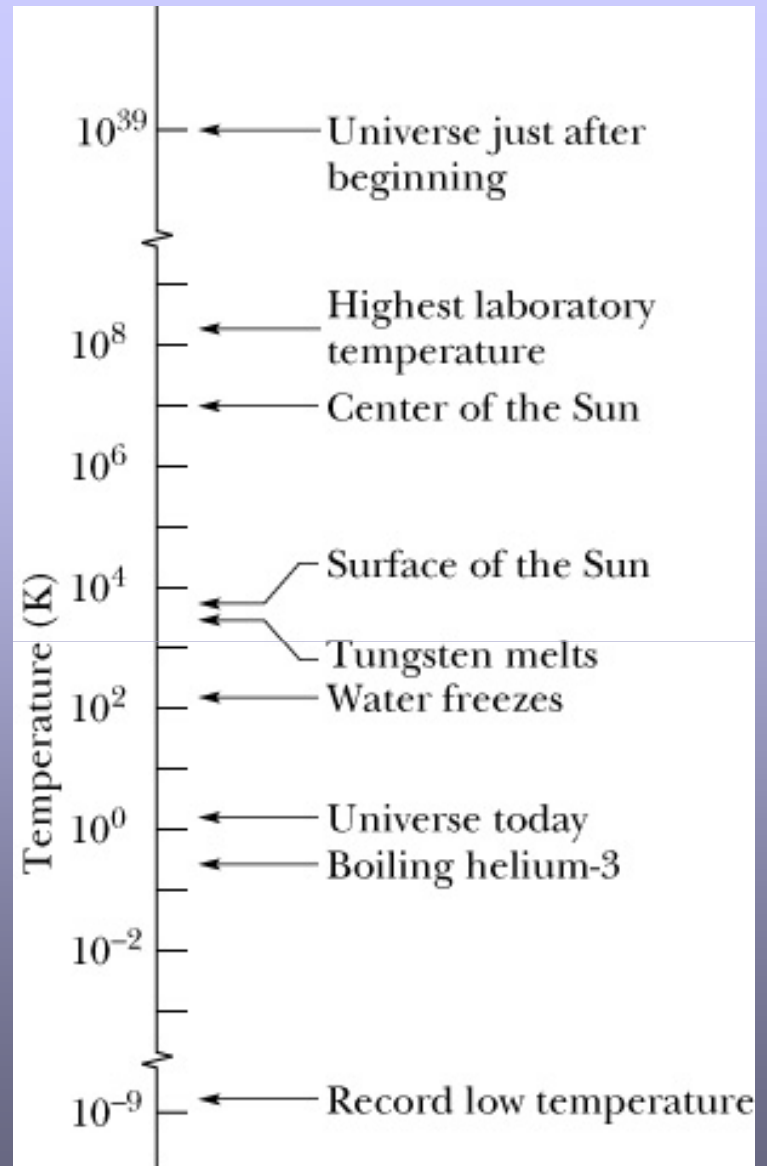
Escala Kelvin (graduada em *kelvins*, *K*).

Limite inferior de temperatura – tomado como zero da escala Kelvin (zero absoluto).

Universo se formou há  $13,7 \times 10^9$  anos – sua temperatura era  $\sim 10^{39} K$ .

A temperatura do Universo hoje é  $\sim 3 K$ .

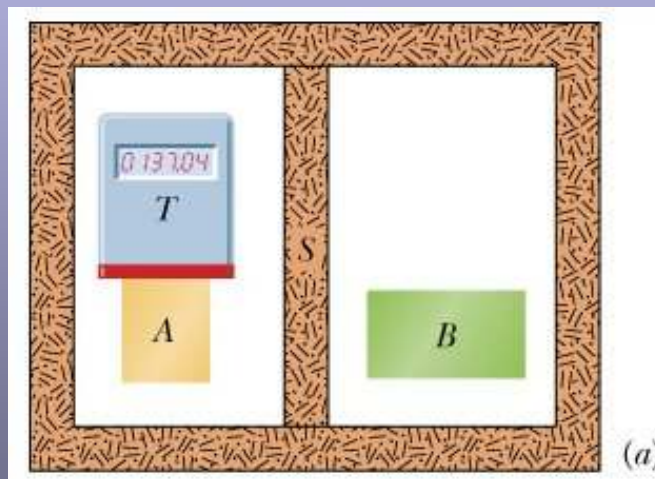
# TEMPERATURA



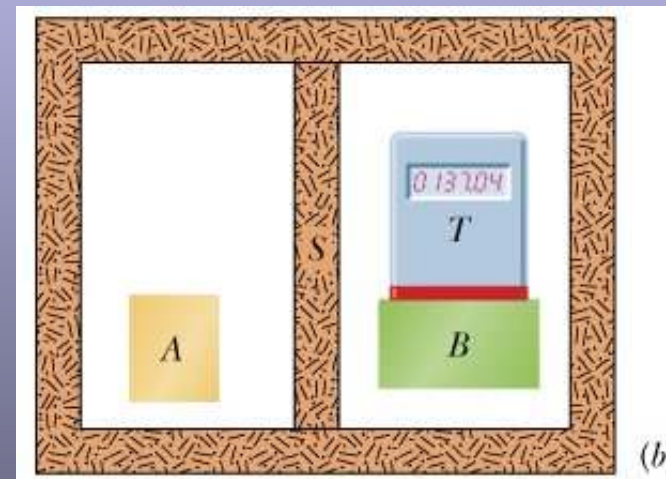
## 18.3 LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

Imagine dois sistemas A e B separados por uma parede isolante ou adiabática.

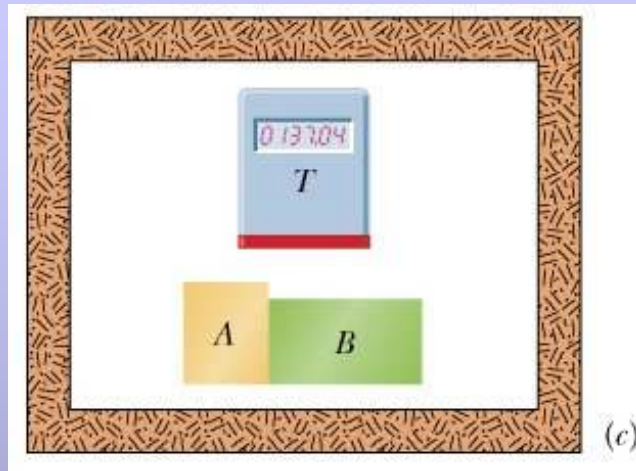
Ambos os sistemas podem ser colocados em contato térmico com um terceiro T (com alguma propriedade que permite medir a temperatura).



O sistema A é posto em contato térmico com T até atingir o equilíbrio térmico.



O sistema B é posto em contato térmico com T até atingir o equilíbrio térmico.



A Lei Zero da termodinâmica diz que

**“Se A está em equilíbrio térmico com T e B também está em equilíbrio térmico com T, então A e B estão em equilíbrio térmico entre si”.**

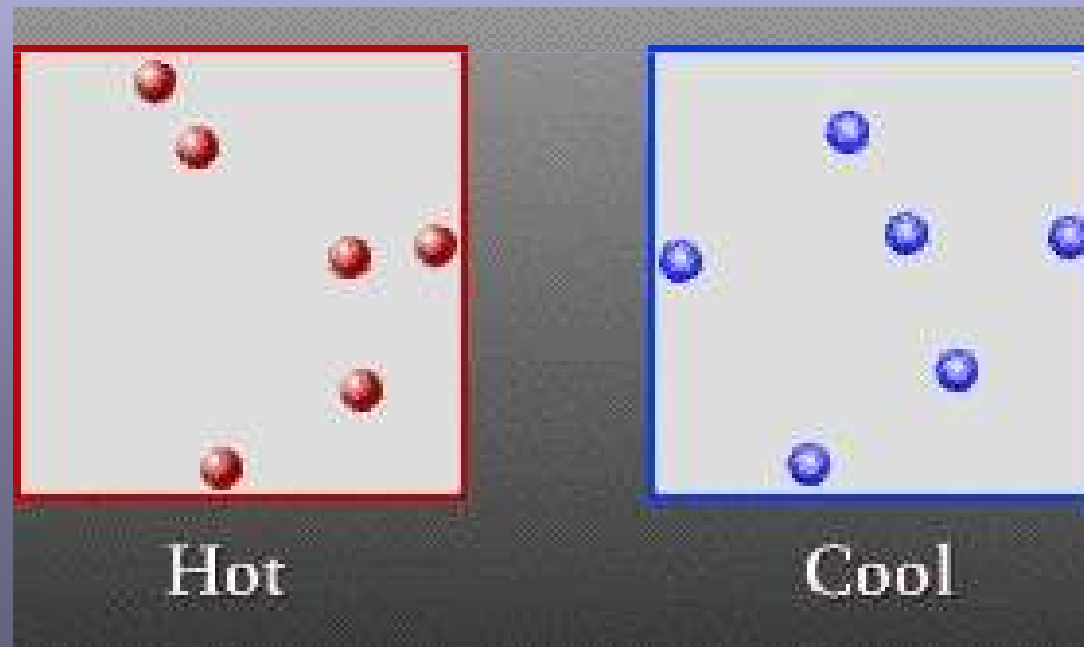
## Mensagem da Lei Zero da Termodinâmica

Todo corpo tem uma propriedade, associada ao equilíbrio térmico, chamada **temperatura**.

Quando dois corpos estão em equilíbrio térmico suas temperaturas são iguais e vice-versa.

# EQUILÍBRIO TÉRMICO

Dois sistemas estão em equilíbrio térmico quando têm a mesma temperatura.

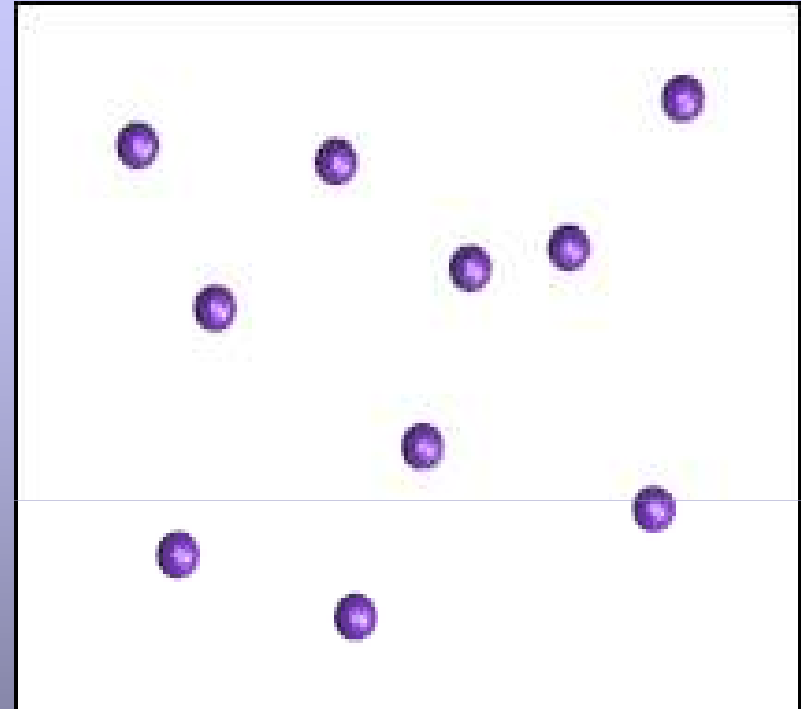




# Temperatura

Do ponto de vista microscópico, **temperatura é a medida da energia cinética média da molécula.**

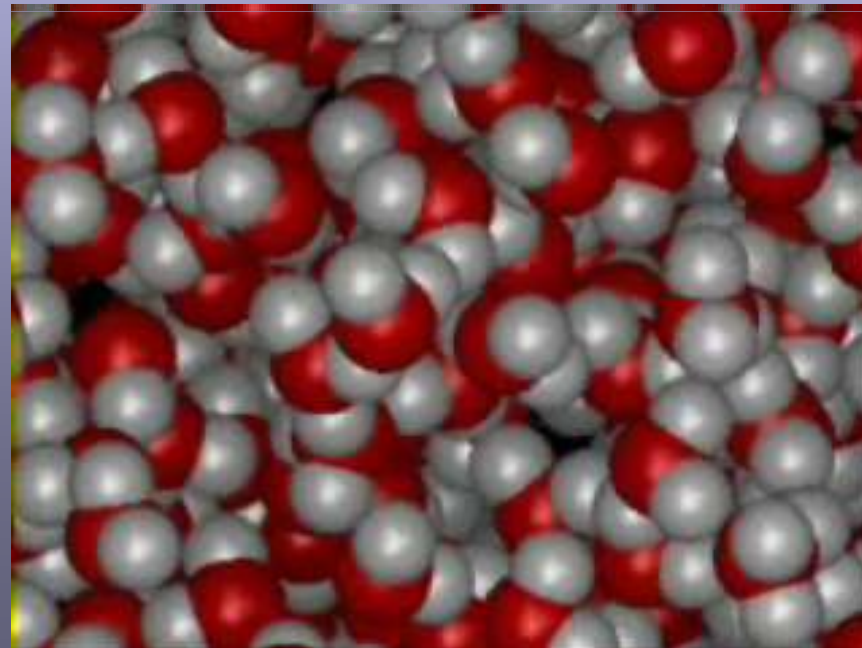
O modelo ao lado representa um gás rarefeito.



A probabilidade de colisão entre as moléculas é pequena. As moléculas colidem essencialmente com as paredes do recipiente.

# Simulação representando as moléculas de água em movimento.

No estado líquido a separação média entre as moléculas é pequena. A colisão entre as moléculas é bem mais provável do que em gases.



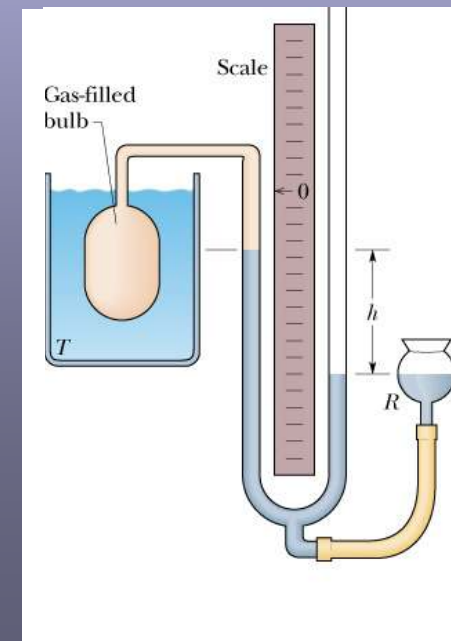
18.4

## MEDINDO A TEMPERATURA

O ponto tríplice da água foi o fenômeno térmico escolhido como padrão na medida da temperatura. Nesta temperatura coexistem os estados sólido, líquido e vapor.

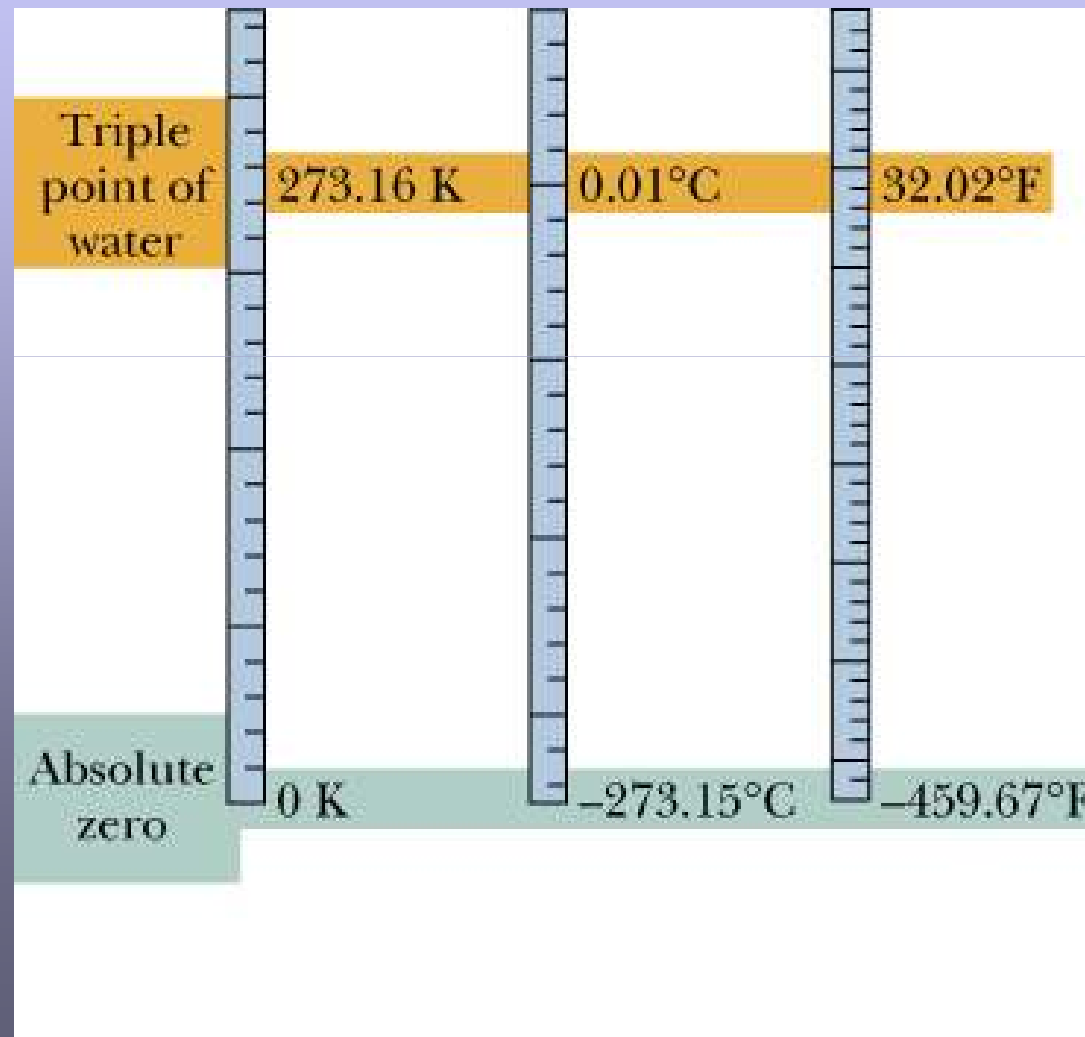
A temperatura do ponto tríplice é  $T = 273,16 \text{ K}$ .

Termômetro de gás a volume constante



18.5

# AS ESCALAS CELSIUS E FAHRENHEIT



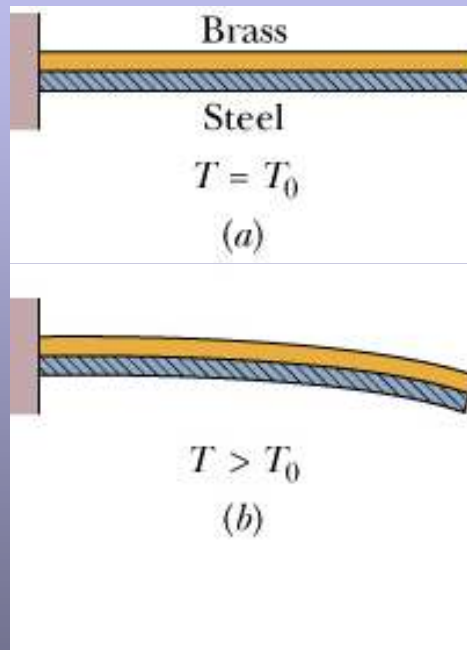
18.6

# EXPANSÃO TÉRMICA

Expansão linear.

$$\Delta L = L \alpha \Delta T$$

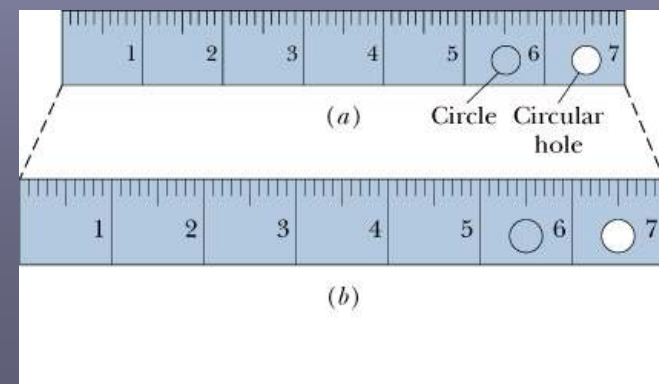
$\alpha$  - coeficiente de  
expansão linear.



Expansão volumétrica.

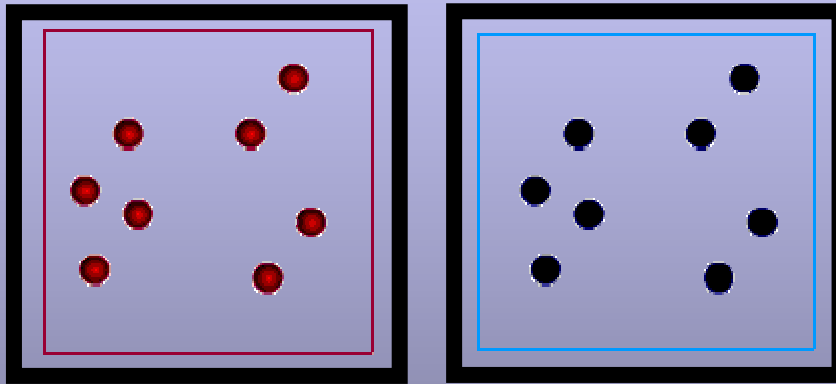
$$\Delta V = V \beta \Delta T$$

$$\beta = 3\alpha$$

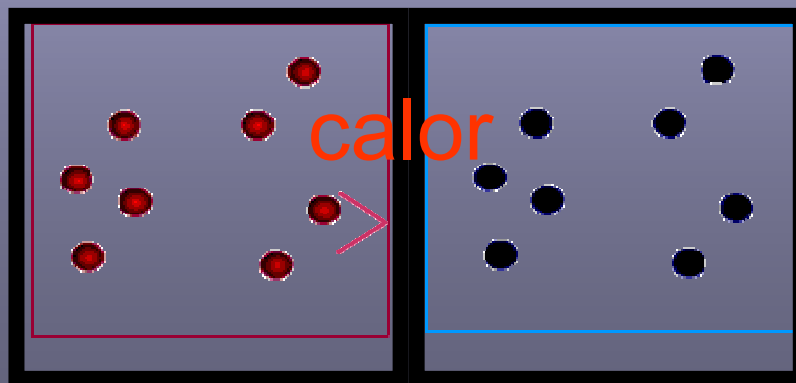


## 18.7 TEMPERATURA E CALOR

Considere o sistema A com temperatura  $T_A$  e um sistema B com temperatura  $T_B$ .  $T_A > T_B$



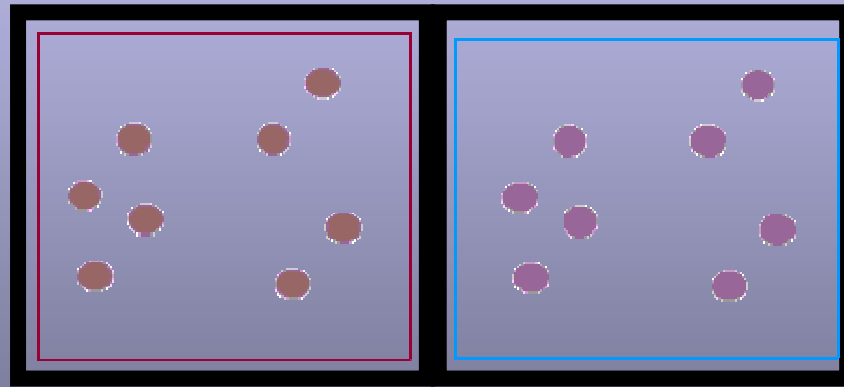
$$T_A > T_B$$



No processo do equilíbrio térmico verifica-se que **o calor flui do sistema A para o B.**

# O calor flui da maior para a menor temperatura.

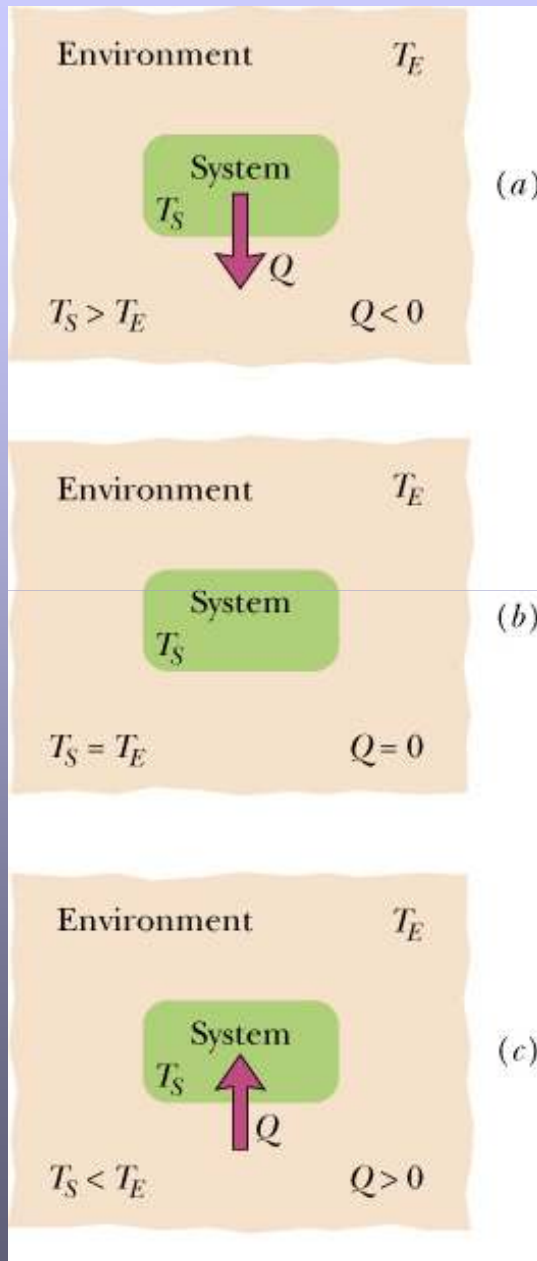
Quando se alcança o equilíbrio térmico, isto é,  $T_A = T_B$ , verifica-se que a temperatura de A diminuiu a de B aumentou.



$$T_A = T_B$$

Calor ( $Q$ ) é a energia transferida devido a uma diferença de temperatura.

## 18.8



A unidade de calor é a caloria  
 $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ Joules}$ .

## Absorção de calor

$$Q = C \Delta T = C (T_f - T_i)$$

$C$  é a **capacidade térmica**.

**Calor específico  $c$**  é a capacidade térmica por unidade de massa.

$$dQ = C dT, \text{ sendo } C = m c$$
$$dQ = m c dT$$



# Calores de transformação

Quando há mudança de fase há troca de calor sem que a temperatura mude, necessariamente.

$$Q = L m$$

$L$  é o calor de transformação.

Unidades: J / kg (SI)

Outra interpretação para o calor:

Calor é a energia transferida de forma microscópica e desordenada de um sistema a outro.

# Exercício

Que quantidade de calor deve absorver 720 g de gelo a  $-10^{\circ}\text{C}$  para passar ao estado líquido a  $15^{\circ}\text{C}$ .

$$C_{\text{gelo}} = 2.22 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

$$C_{\text{liq}} = 4.19 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

$$L_F = 333 \text{ kJ}/\text{kg}$$

18.9

## CALOR E TRABALHO

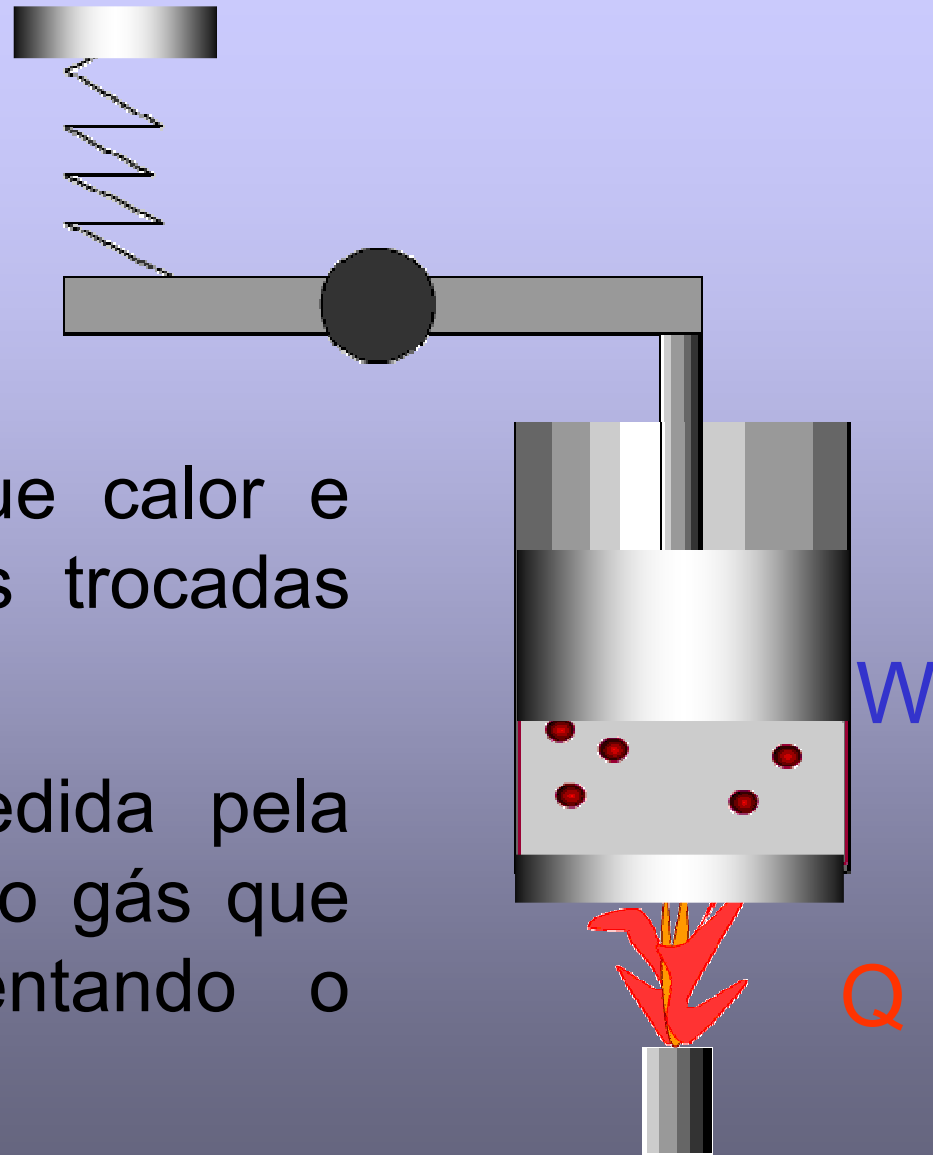
Calor e trabalho são energias trocadas entre sistemas.

A diferença está no mecanismo.

Trabalho é uma transferência de energia ordenada, enquanto que o calor é uma transferência desordenada de energia.

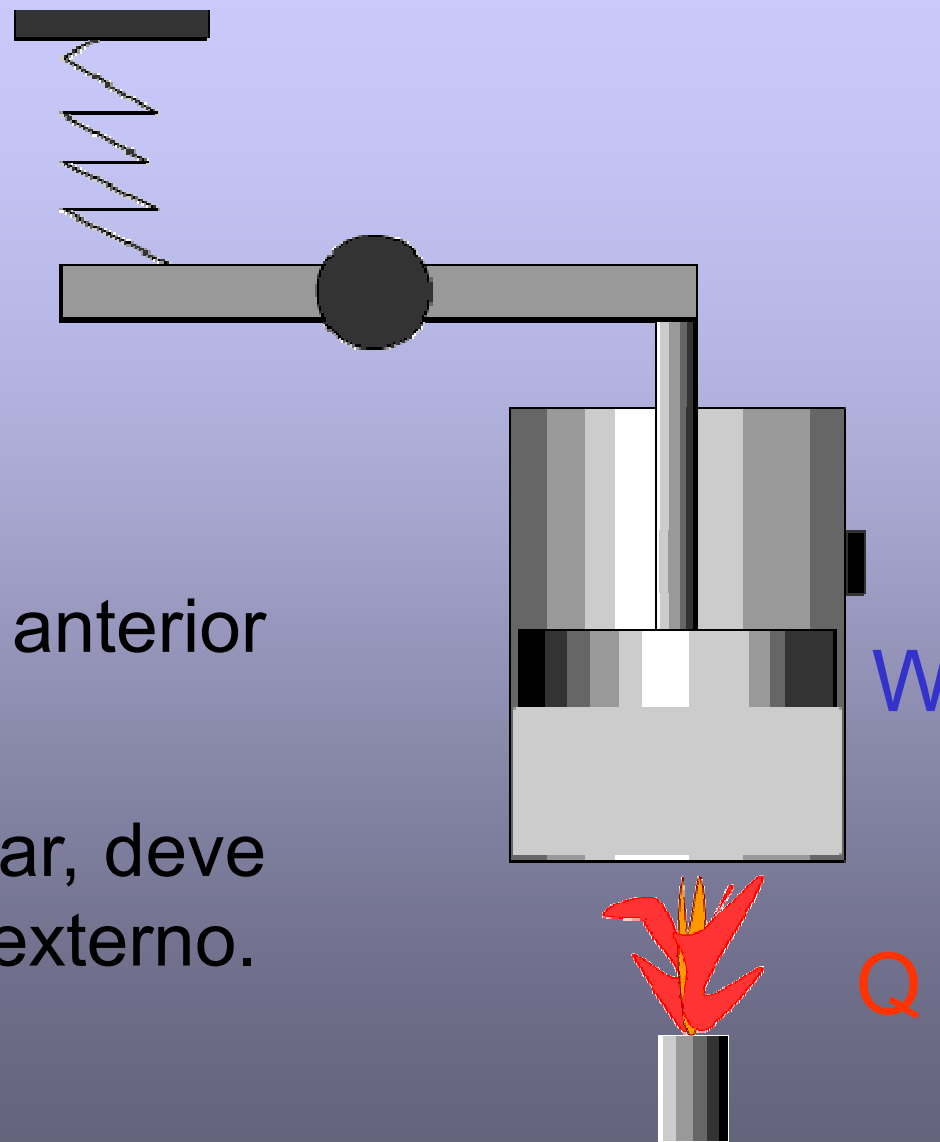
A máquina mostra que calor e trabalho são energias trocadas entre sistemas.

A energia térmica cedida pela chama é transferida ao gás que se expande movimentando o pistão.



A máquina do exemplo anterior não pode existir.

A máquina, para funcionar, deve trocar calor com o meio externo.



**PRIMEIRA LEI  
DA  
TERMODINÂMICA**

# **A Primeira Lei da Termodinâmica expressa a Conservação de Energia.**

A variação da energia interna de um gás é devida à troca de:

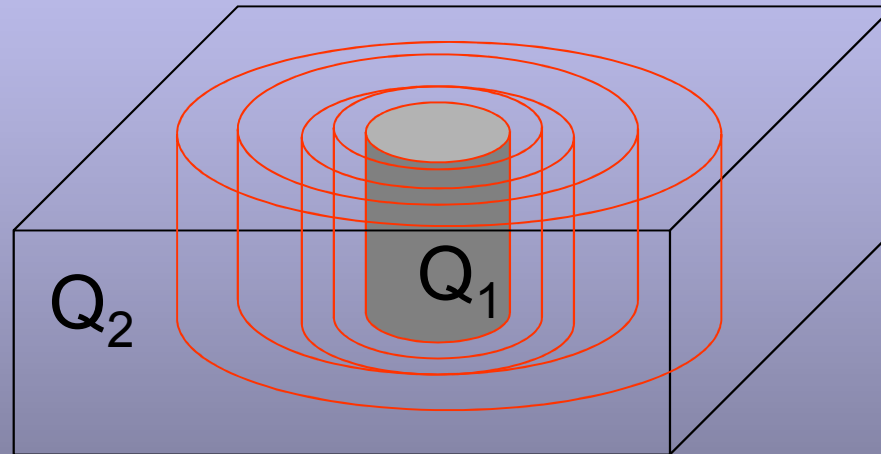
- energia térmica (calor)
- energia mecânica ( trabalho).



# CALOR

A energia térmica pode ser calculada em alguns casos pela variação de temperatura.

$$dQ = mc dT$$



No processo, o calor  $Q_1$  cedido pelo corpo quente é absorvido pelo corpo frio.

$$|Q_1| = |Q_2|$$

Neste caso a energia interna do material variou devido exclusivamente ao processo de troca de calor.

$$Q_1 = m_1 c_1 (T_f - T_1)$$

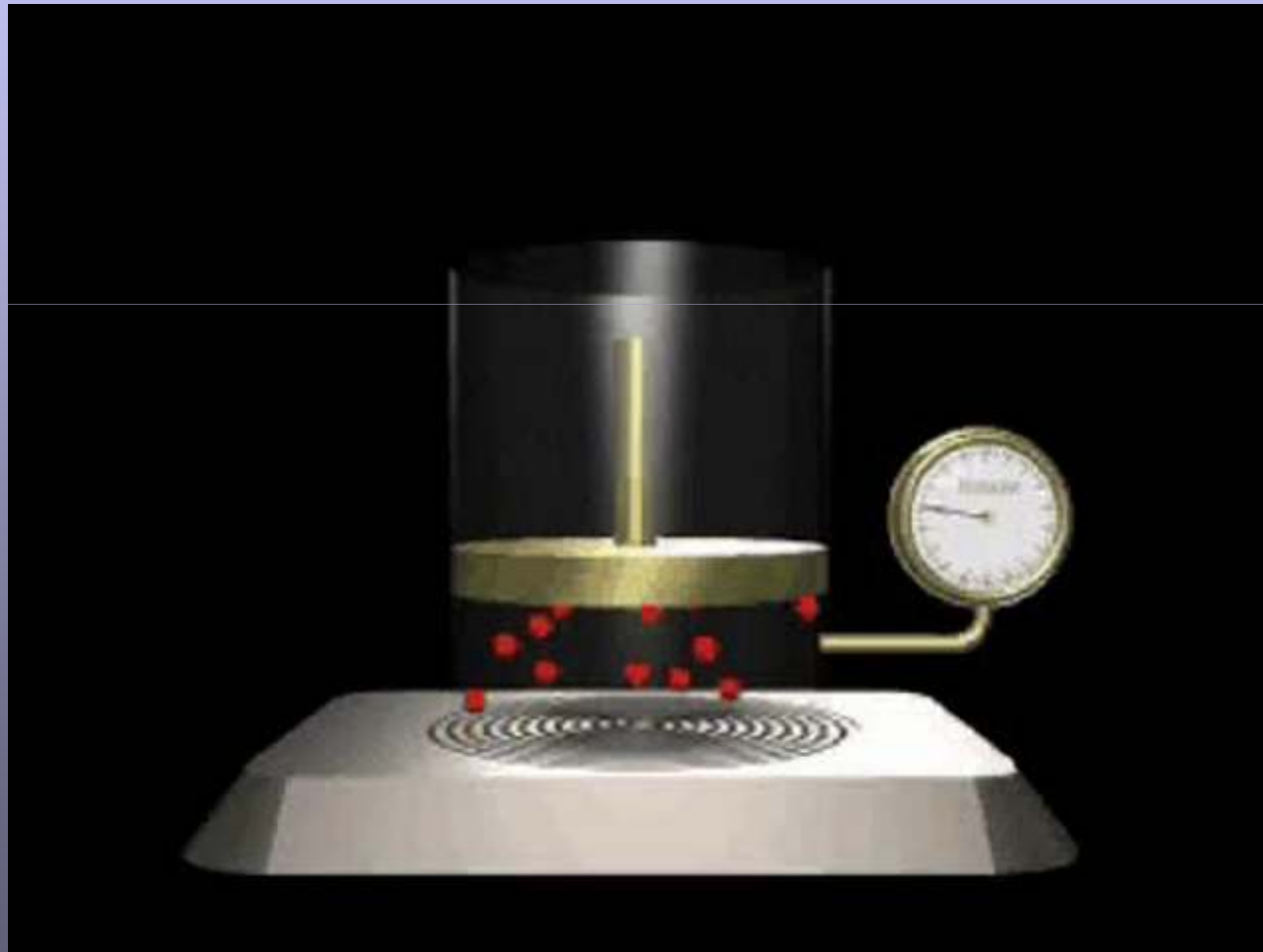
$$Q_2 = m_2 c_2 (T_f - T_2)$$

O calor cedido é negativo e o recebido positivo.

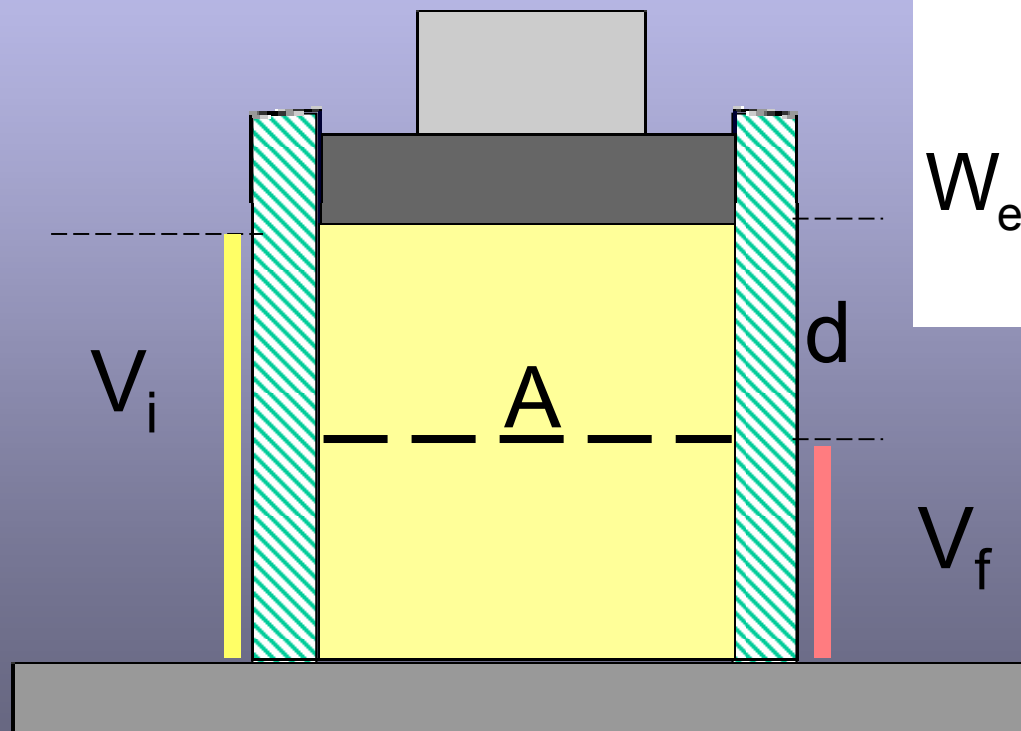
$$Q_1 + Q_2 = 0$$

# TRABALHO

Na animação o gás recebe calor e produz trabalho ao levantar o êmbolo.



O trabalho realizado pelo êmbolo é transferido ao gás.



$$W_{\text{ext}} = \int \vec{F}_{\text{ext}} \cdot d\vec{s} = - \int_{V_i}^{V_f} pA ds$$

$$W_{\text{ext}} = - \int_{V_i}^{V_f} p dV$$

$$W_{\text{ext}} = -W_{\text{gás}}$$

$$W_{\text{gás}} = \int_{V_i}^{V_f} p dV$$

*Definição (Halliday-Resnick-Walker)*

$W$  = trabalho realizado pelo gás.

$$dW = p dV$$

$$W = \int_{V_i}^{V_f} p dV$$

$W > 0$  expansão

$W < 0$  compressão

Geometricamente, o trabalho é a área debaixo da curva no plano pV.

$$W = \int_{V_i}^{V_f} p dV$$

- **Na compressão**, a energia interna  $E_{int}$  do sistema (gás) **aumenta**. Neste caso o meio externo realizou trabalho sobre o gás.

O trabalho realizado pelo gás é negativo se o volume diminui.

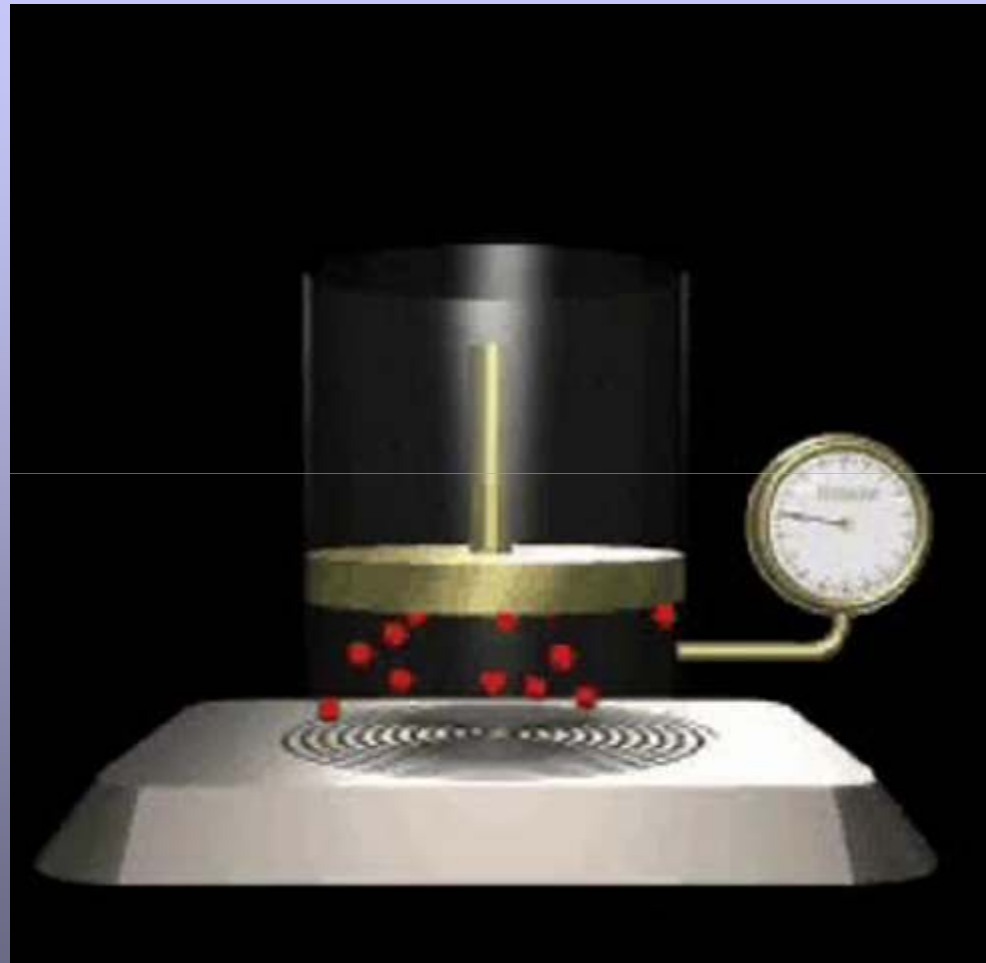
$$dW = p dV$$

$$\text{Se } dV < 0 \quad \rightarrow \quad W < 0$$

Quando é o gás que realiza trabalho, o que acontece na expansão, o trabalho é positivo.

$$W > 0$$

- A energia interna  $E_{\text{int}}$  do sistema (gás) **diminui**. O gás realizou trabalho sobre o meio externo.

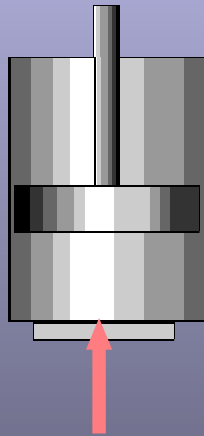




# Primeira Lei da Termodinâmica

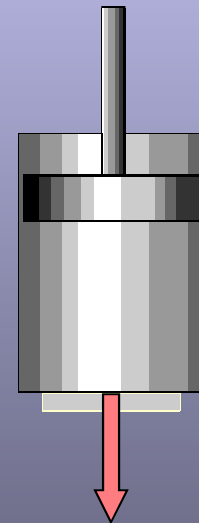
$$\Delta E = Q - W$$

$W > 0$



$Q > 0$

$W < 0$



$Q < 0$

# Primeira Lei da Termodinâmica

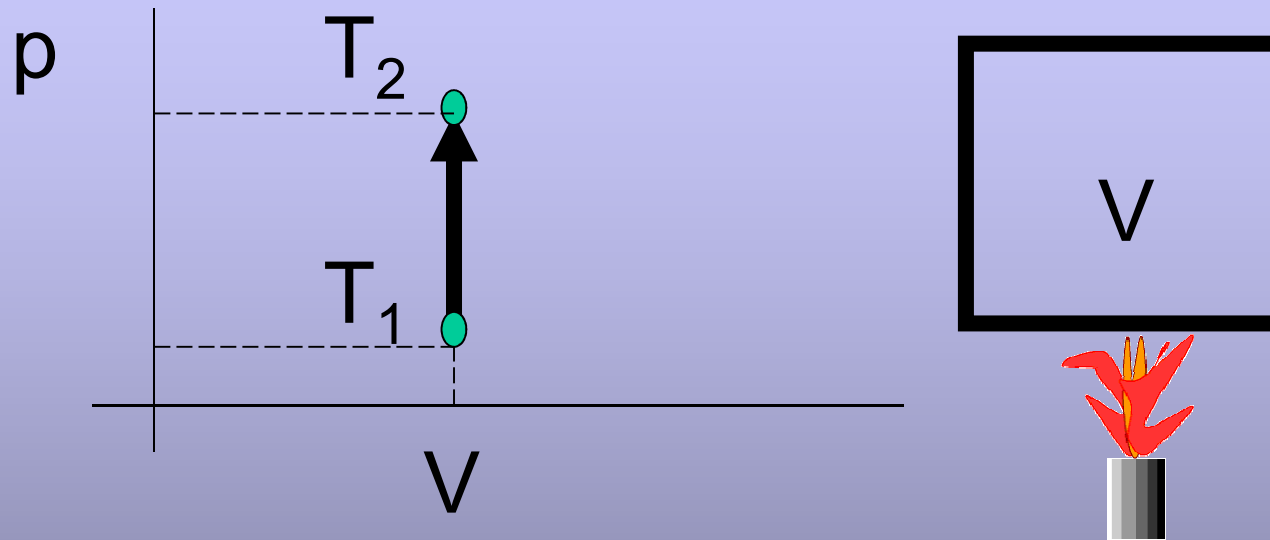
$$dE_{\text{int}} = đQ - đW$$

A variação de Energia Interna depende apenas dos estados inicial e final.

# PROCESSOS TERMODINÂMICOS

- ISOMÉTRICO
- ISOBÁRICO
- ISOTÉRMICO
- ADIABÁTICO

# PROCESSO ISOVOLUMÉTRICO OU ISOMÉTRICO

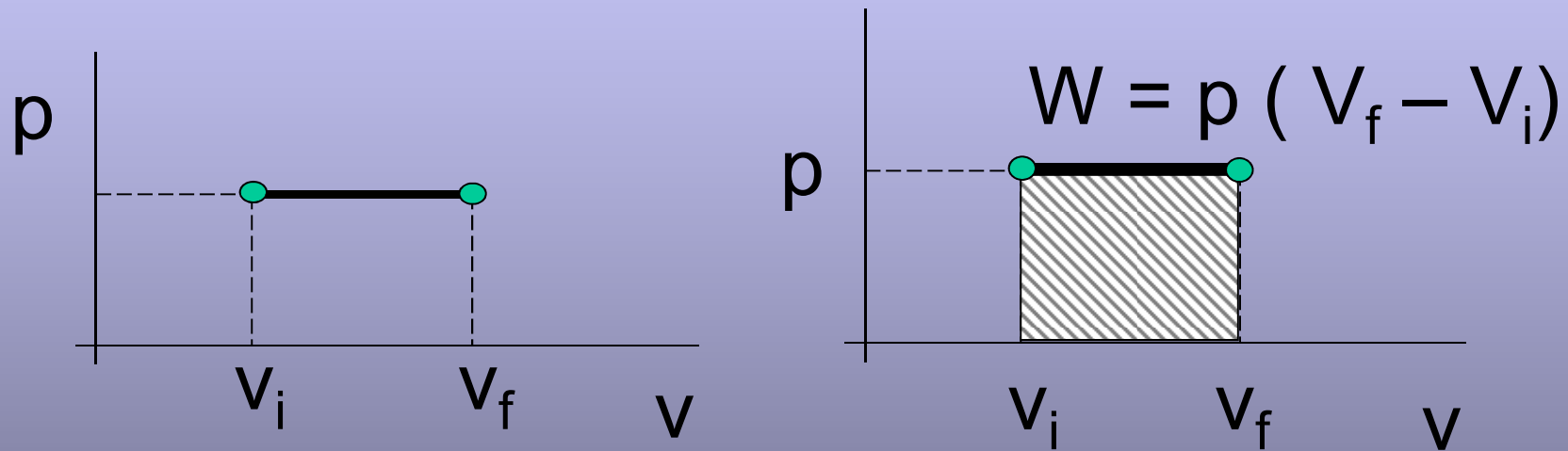


Neste processo não há trabalho realizado pois não há variação de volume do gás. O processo deve necessariamente envolver troca de calor ou energia térmica.

$$W = 0 \quad \rightarrow \quad \Delta E_{\text{int}} = Q \quad (\text{calor trocado})$$

# PROCESSO ISOBÁRICO

Neste processo há variação de volume e a pressão permanece constante.



O trabalho é a área debaixo da curva.  
Nesse caso, área do retângulo.

## PROCESSO ISOTÉRMICO

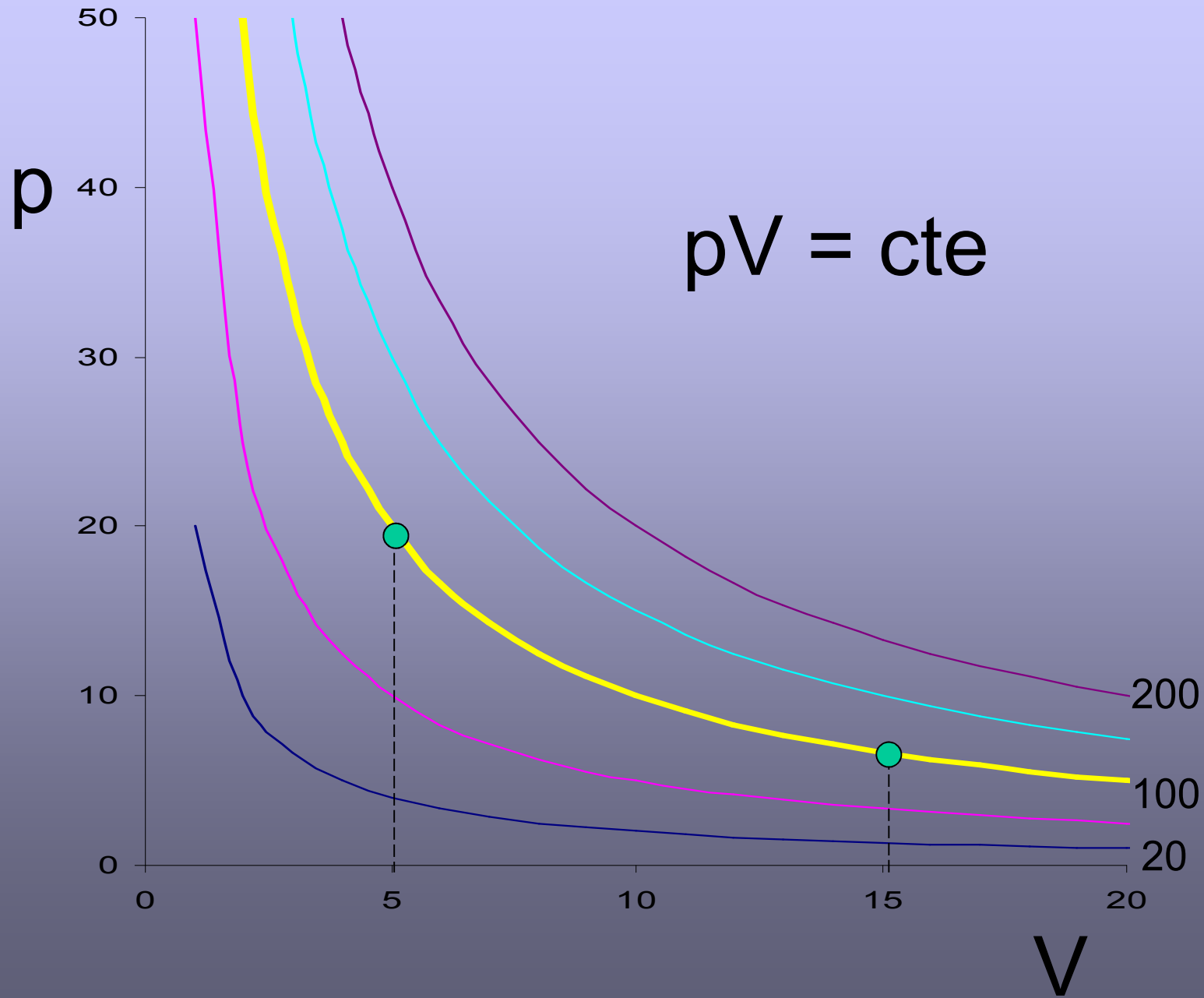
Neste processo é a temperatura que permanece constante.

No caso de um gás ideal (isto é, que obedece à equação do gás ideal),

$$pV = nRT$$

as isotérmicas são curvas onde o produto

$$pV = \text{cte.}$$



# Gás ideal, processo isotérmico

$$W = \int p dV$$

$$pV = nRT \quad \Rightarrow \quad p = \frac{nRT}{V}$$

$$W = nRT \int \frac{dV}{V}$$

$$W = nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$$



TRANSMISSÃO  
DE  
CALOR

A energia térmica ou calor, é a energia distribuída de forma desordenada às moléculas e átomos do material.

O calor pode ser trocado ou transmitido por três processos básicos, por convecção, radiação e/ou condução.

CONVECÇÃO

RADIAÇÃO

CONDUÇÃO

# CONVECÇÃO

Convecção é o mecanismo de troca de calor no qual a energia térmica é transferida através do transporte de matéria.

$\Delta Q/\Delta t = Ah\Delta T$  é a energia por unidade de tempo trocada na convecção.

$h$  é coeficiente de convecção  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ,  $A$  é a área da superfície.



# RADIAÇÃO



Todo corpo com temperatura não nula irradia ondas eletromagnéticas que interagem com outros corpos, transferindo energia.

A energia solar é o exemplo mais marcante da transferência de energia via radiação.

A taxa de emissão de radiação é proporcional à temperatura T(K) a quarta potência.

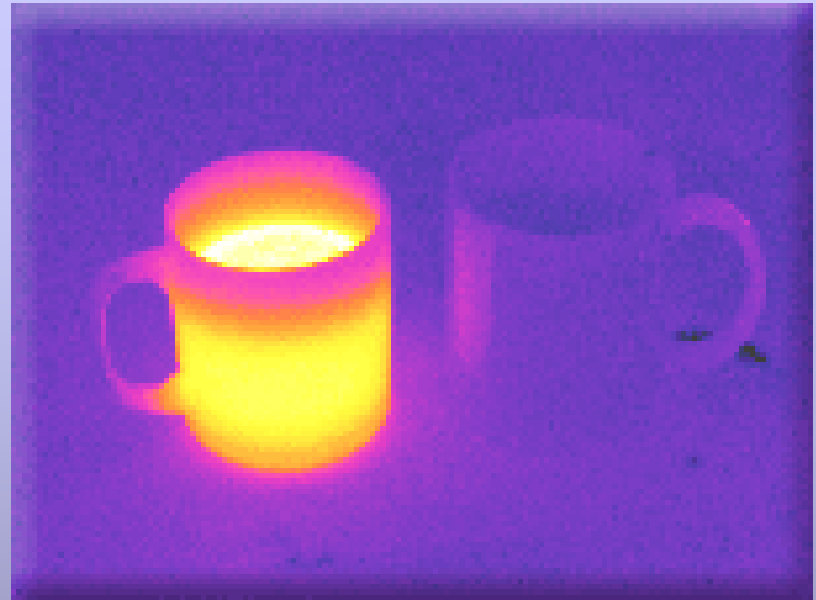
$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = e\sigma AT^4$$

e – emissividade varia entre 0 e 1

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

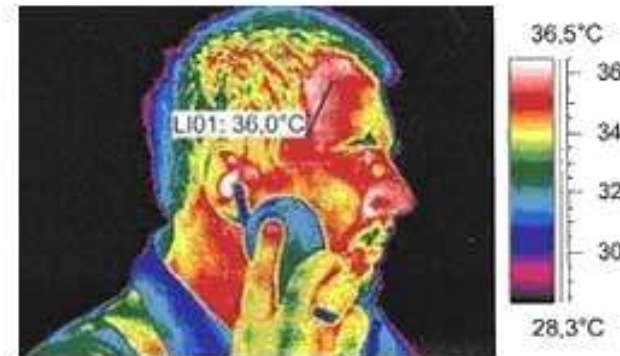
A - área do corpo.



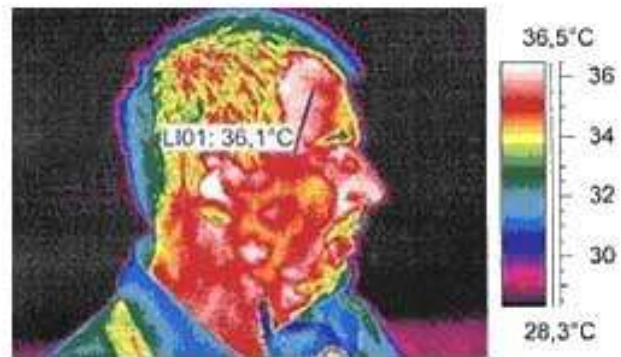




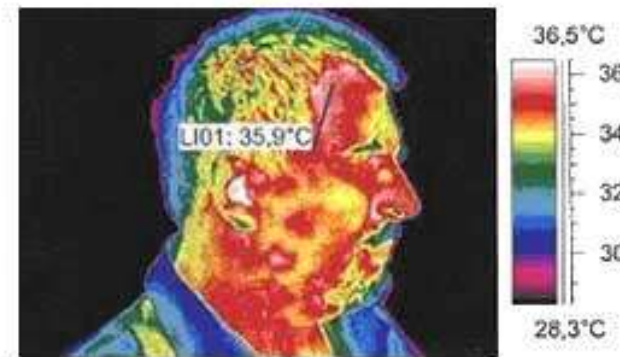
TERMOGRAMA INFRARROJO 1 SIN PROTARK



TERMOGRAMA INFRARROJO 1 CON PROTARK



TERMOGRAMA INFRARROJO 2 SIN PROTARK



TERMOGRAMA INFRARROJO 2 CON PROTARK



TERMOGRAMA INFRARROJO 3 SIN PROTARK



TERMOGRAMA INFRARROJO 3 CON PROTARK

# Visão noturna



# CONDUÇÃO

A troca de calor por condução se processa por meio de íons e/ou elétrons do material da mesma forma que a condução elétrica.

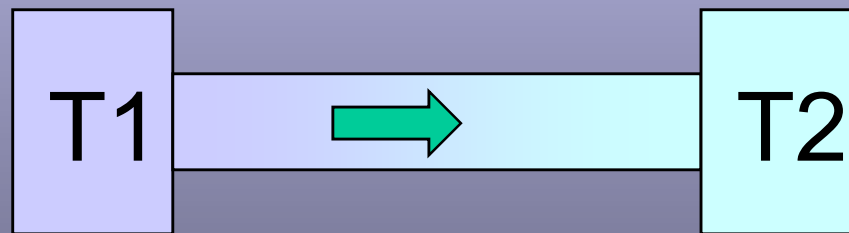
A energia térmica sempre flui da maior para a menor temperatura.

# Condução



Na condução, a quantidade de calor que flui através do corpo por unidade de tempo é proporcional ao gradiente de temperatura  $\Delta T/\Delta x$ .

$$H = \Delta Q / \Delta t$$



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta X}$$