

# Física do calor

F.S. Navarra

navarra@if.usp.br

[edisciplinas.if.usp.br](http://edisciplinas.if.usp.br)

(buscar: física do calor)

# Aula 3

## Calor e 1ª Lei da Termodinâmica



## Capítulo 8

# Termodinâmica

Dinâmica do calor = movimento do calor e suas causas  
Calor = energia em trânsito = mudança de temperatura

Sadi Carnot



# Termodinâmica

Sistemas com muitas partículas  $\simeq 10^{23}$

Variáveis macroscópicas :

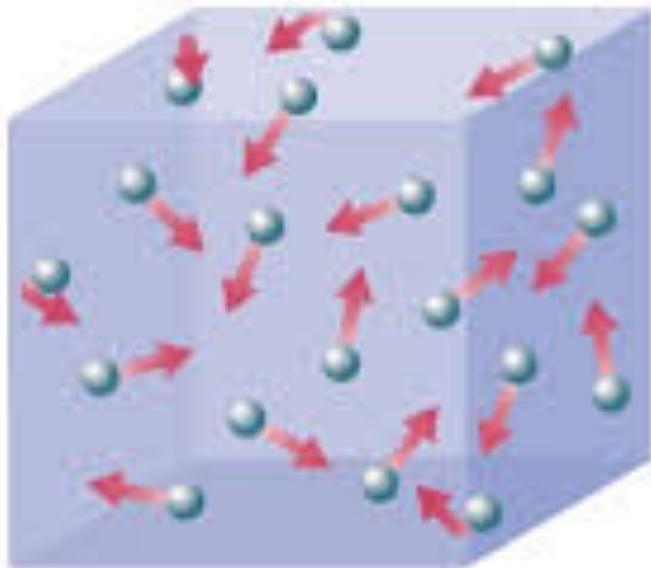
pressão

volume

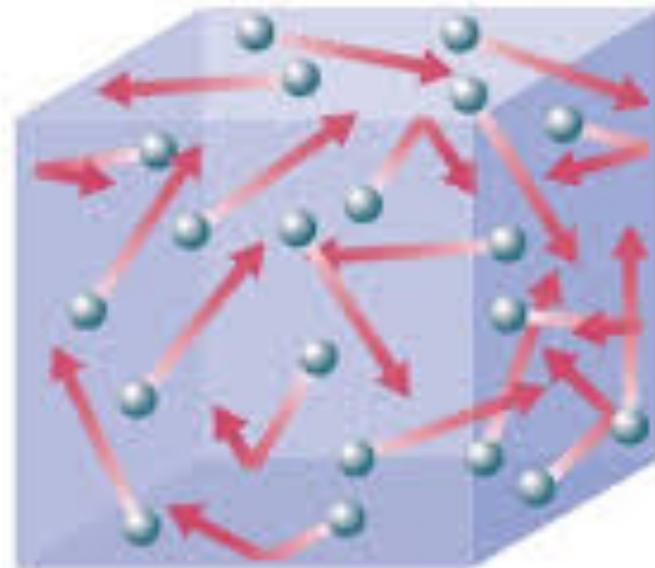
temperatura

# Temperatura

Grandeza física que reflete a **velocidade média** das moléculas que compõem um sistema físico

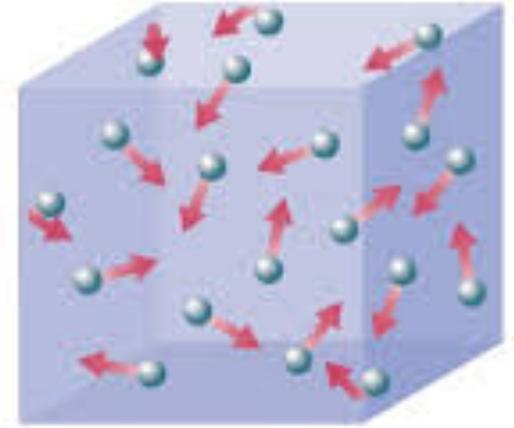


**Menor temperatura**



**Maior temperatura**

# Equilíbrio Térmico



Distribuição de velocidades dada por:

$$f(v) = C e^{-mv^2/2kT}$$

Uma vez atingido o equilíbrio térmico **o sistema nele fica !**

Temperatura e pressão **constantes no tempo !**

# Lei zero da termodinâmica

"Se A está em equilíbrio com C e B está em equilíbrio com C, então A está em equilíbrio com B"

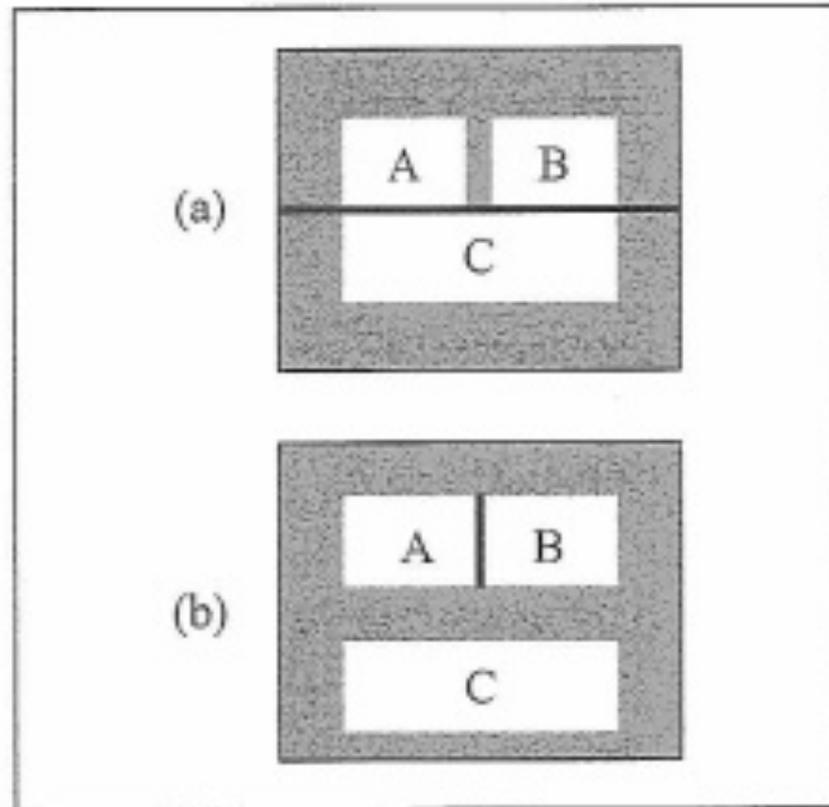
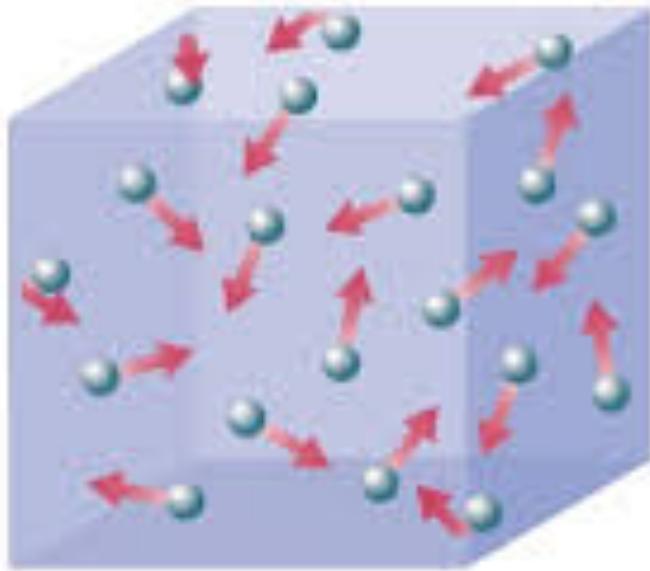


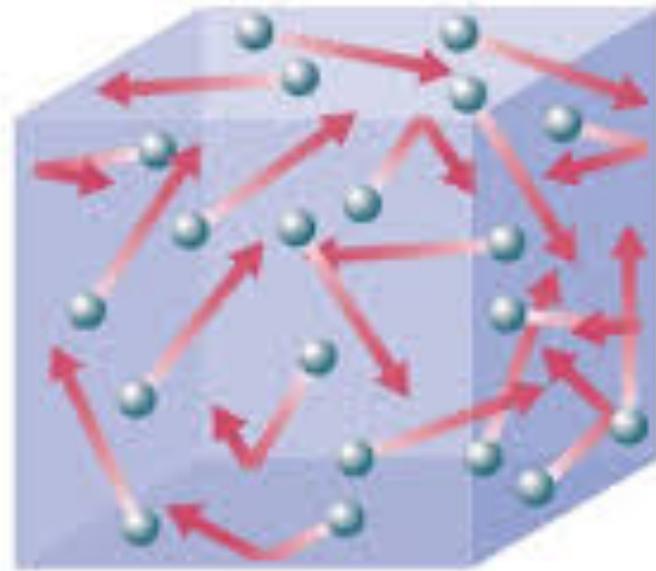
Figura 7.2 — Lei zero da termodinâmica

# Pressão

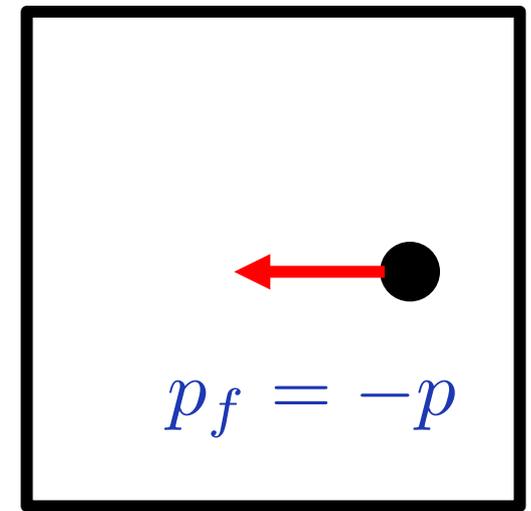
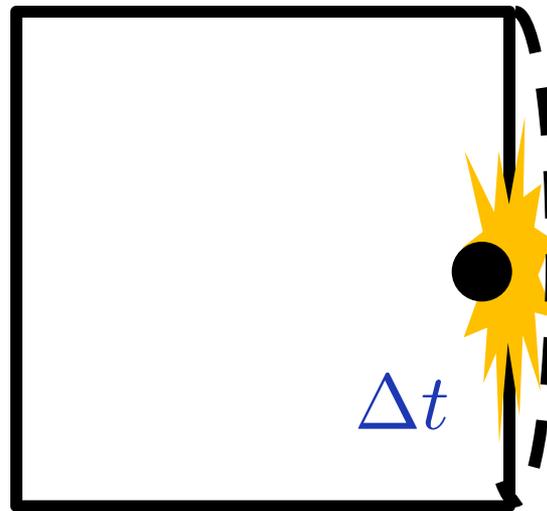
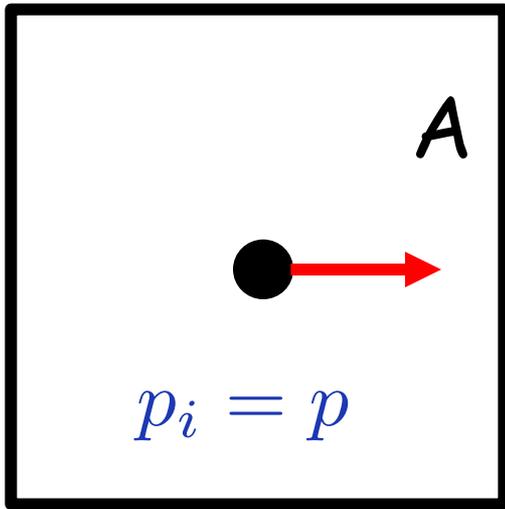
Pressão = Força / Área (do recipiente)



Menos pressão



Mais pressão



$$P = -\frac{2p}{A \Delta t} = -\frac{2mv}{A \Delta t}$$

maior velocidade (temperatura) maior pressão !

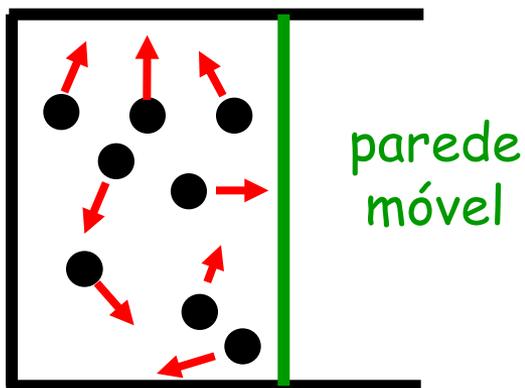
Maior temperatura



Maior pressão

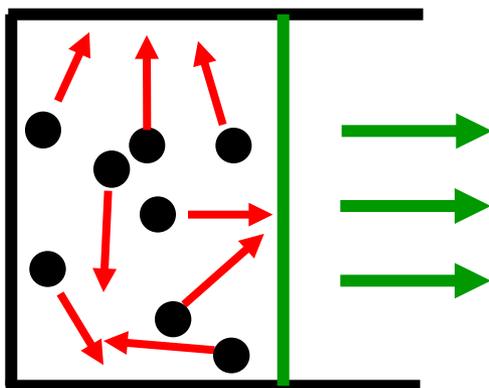


Maior volume

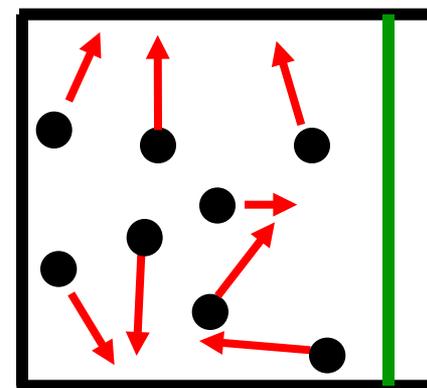


$L_1$

$T_1$



$L_1$



$L_2$

$T_2$

Volume é proporcional à temperatura !

$$T \propto L$$

Medindo  $L$ , medimos  $T$  !



Termômetro !!!

## Escala Celsius

Dois  
pontos fixos

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ponto de fusão do gelo : } T = 0 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \text{Ponto de vaporização da água : } T = 100 \text{ } ^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

$$T = 100 \cdot \frac{L - L_0}{L_{100} - L_0} \text{ (} ^\circ\text{C)}$$

Escala Kelvin

$$\left\{ \begin{array}{l} T = 100 \cdot \frac{L - L_0}{L_{100} - L_0} + 273 \text{ (K)} \\ T_K = T_C + 273 \end{array} \right.$$

# Dilatação Térmica Linear

Varição de temperatura produz variação de tamanho de um corpo

## Dilatação Linear

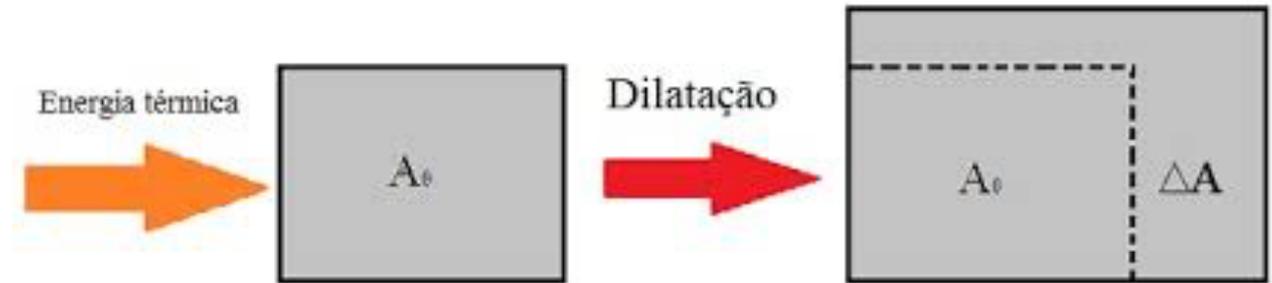


$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$$

$$L = L_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$

$\alpha =$  coeficiente de dilatação linear

## Dilatação Superficial



$$\Delta A = 2 \alpha A_0 \Delta T$$

$$A = A_0 [1 + 2 \alpha (T - T_0)]$$

## Dilatação Volumétrica



$$\Delta V = 3 \alpha V_0 \Delta T$$

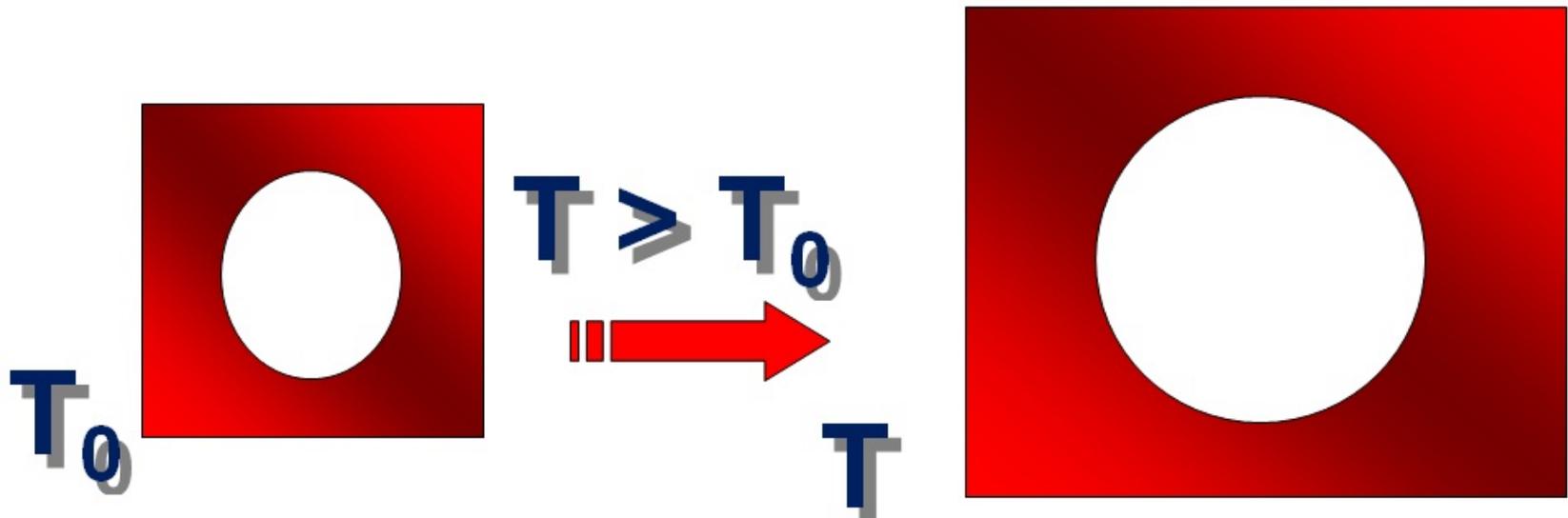
$$V = V_0 [1 + 3 \alpha (T - T_0)]$$

# Dilatação de Líquidos

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \beta \Delta T$$

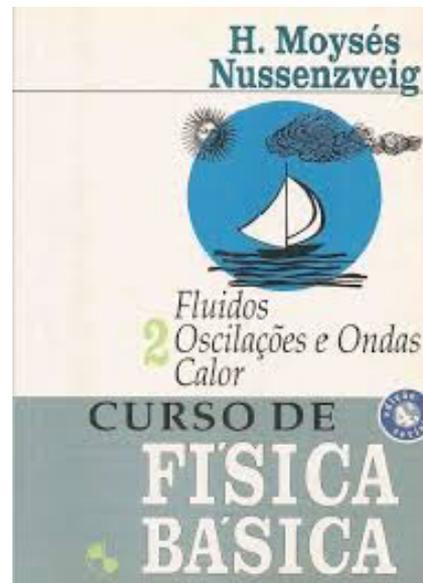
$$V = V_0 [1 + \beta (T - T_0)]$$

"Corpos ocos se dilatam como se não fossem ocos."



# Aula 3

## Calor e 1ª Lei da Termodinâmica



## Capítulo 8

# O que é calor ?

Resposta no final do século XVIII :

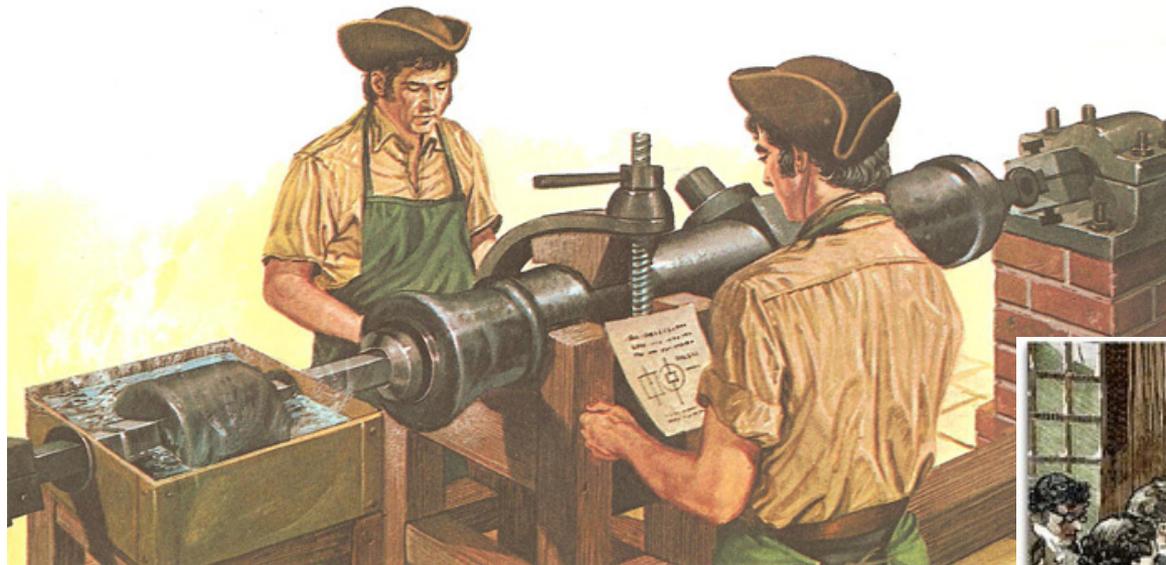
Lavoisier :

{ Calórico: substância fluida indestrutível  
que escorre do corpo mais quente para o  
corpo mais frio

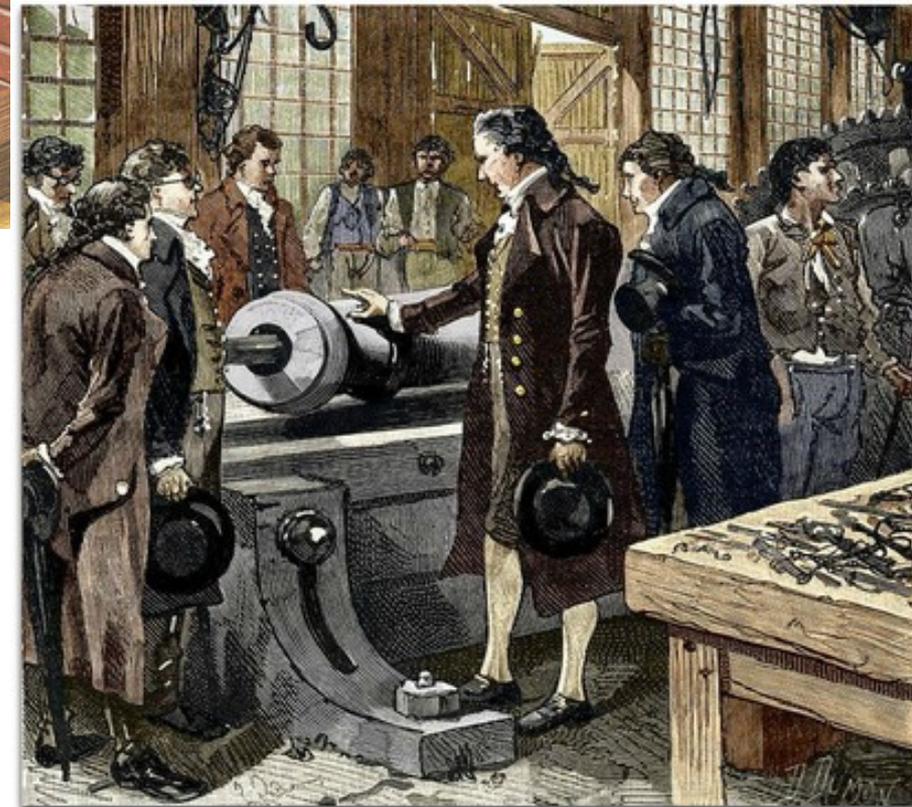
Bacon, Hooke  
B. Thomson :

{ Movimento de vibração das partículas  
dos corpos

# Observação de Thomson:



Perfurando o canhão ele esquentá!  
Esquentá tudo o que está em volta !  
**Estamos extraindo seu calórico !**



Quantidade de calórico num corpo deve ser finita !

Podemos extrair uma quantidade de calor sem limite de um objeto !!!

Calor não pode ser uma substância material !!!

B. Thomson ou Conde de Rumford  
(1798)



# Experiência de Thomson versão caseira :



Panela Le Creuset: 700 Reais

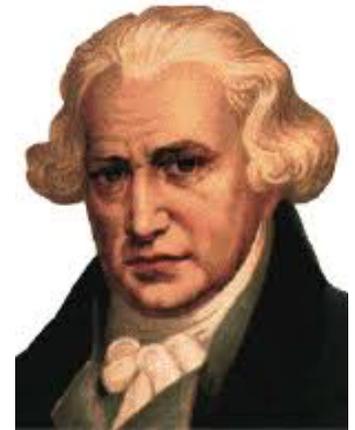


Bom Bril: 3 Reais

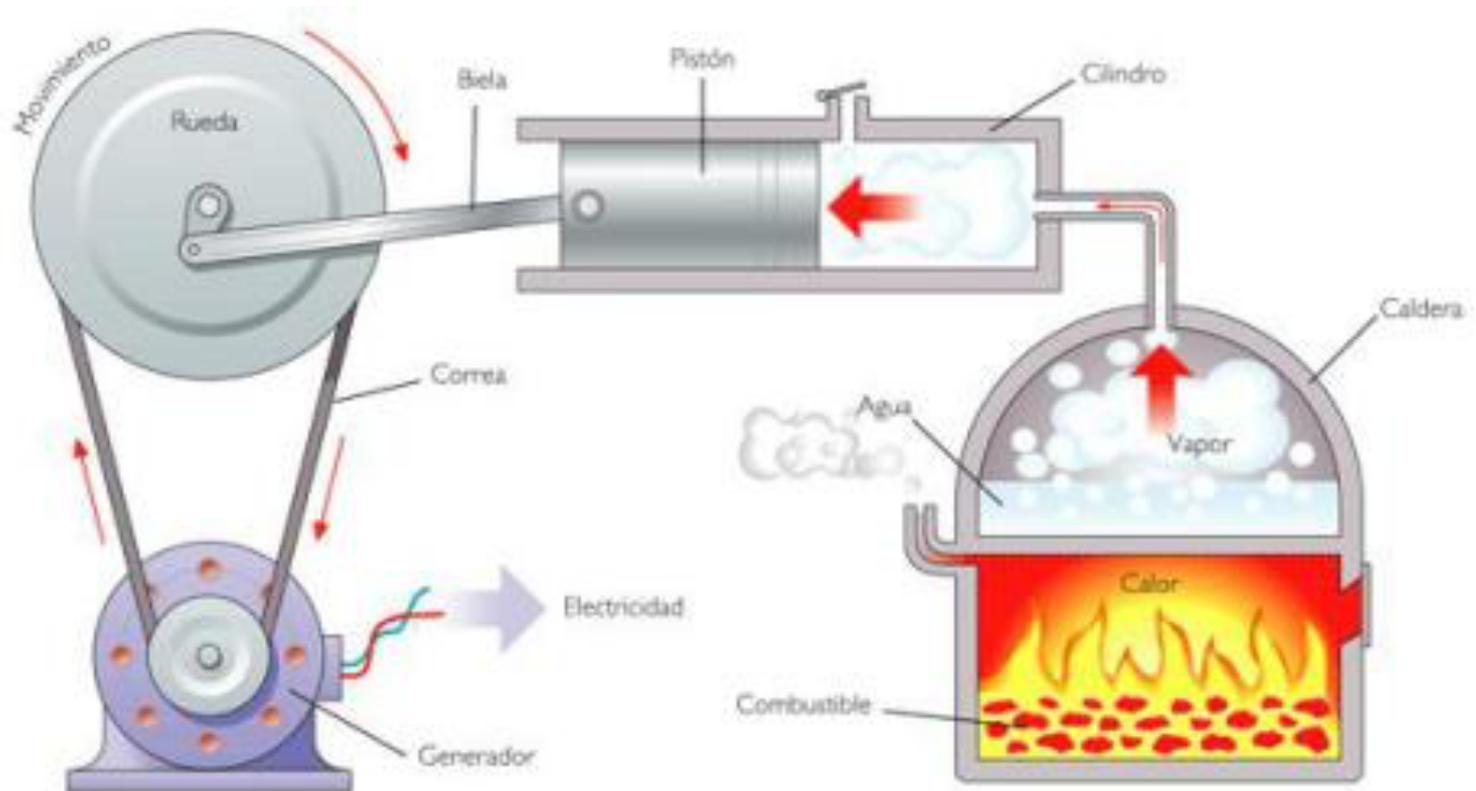
Mostrar que o calor é uma forma de energia : **NÃO TEM PREÇO !!!**

# Máquina a vapor: calor gera trabalho !

(Calor produz energia mecânica)



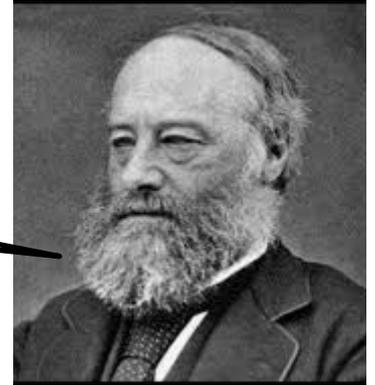
James Watt



# Calor é uma forma de energia !

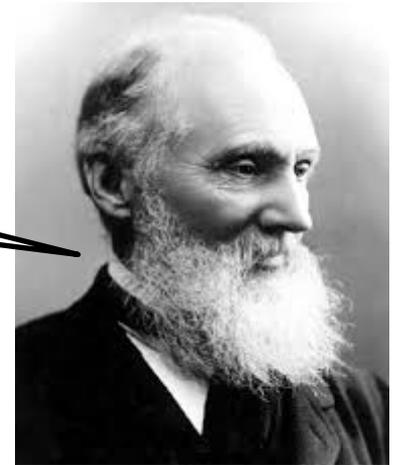
Energia mecânica produz calor

1843 -1868 : equivalência entre  
calor e energia



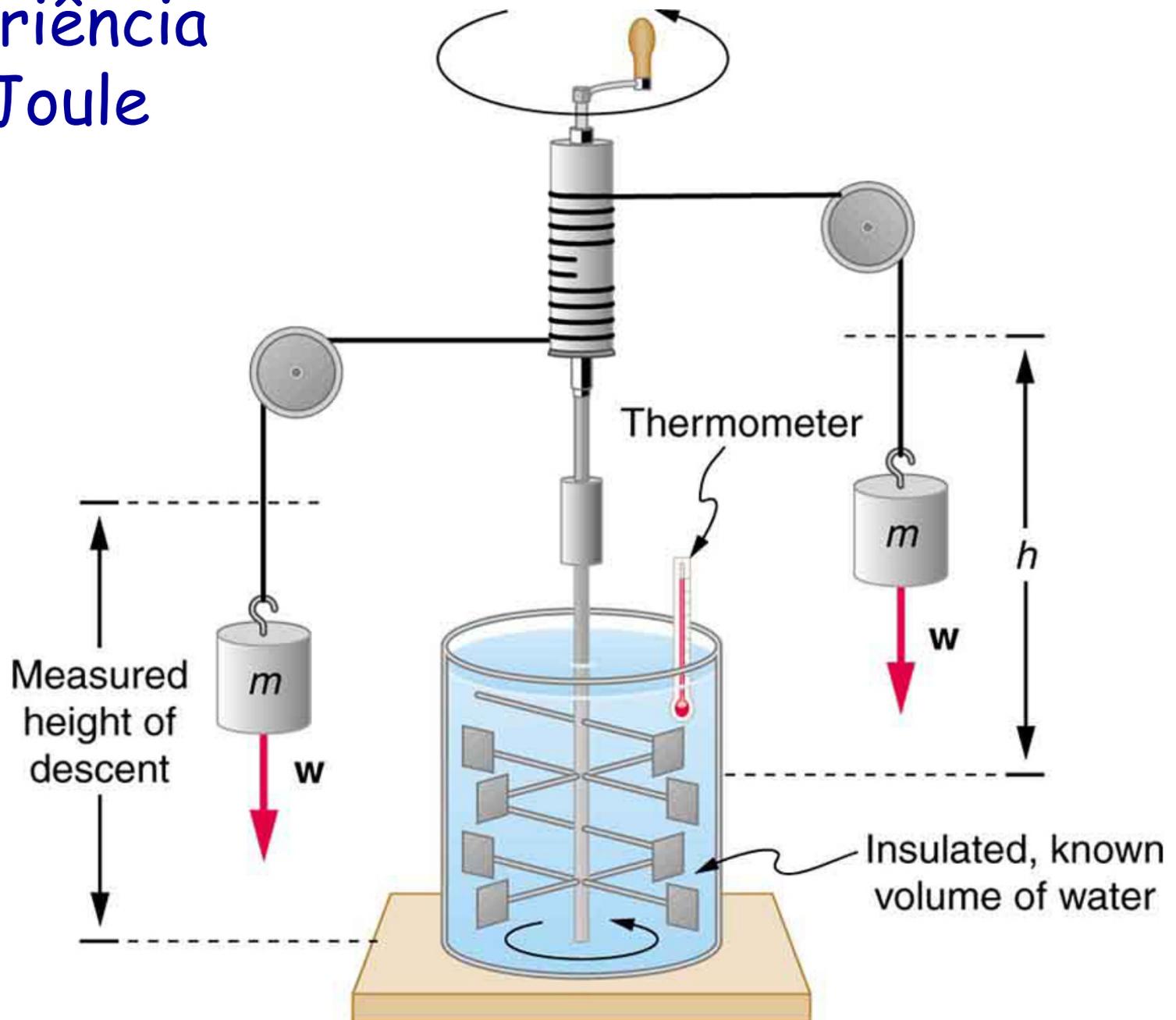
James Joule

Apoio o Joule !!!



William Thomson  
- Lord Kelvin

# Experiência de Joule



# Conservação da energia total !

"...As energias são entidades conversíveis e indestrutíveis..."

1842 : primeiro enunciado da conservação da energia



Julius Mayer

# Conservação da energia total !

"Chegamos à conclusão de que a natureza como um todo possui um estoque de energia que não pode ser aumentado ou reduzido ! "

1847 : "Sobre a conservação da energia"



Hermann von  
Helmholtz

# Vocabulário

# Quantidade de calor

Calor é energia mas (historicamente) é medido em **calorias**

**Caloria** = quantidade de calor necessária para elevar de 14.5 °C a 15.5 °C a temperatura de 1 g de água

## Calor específico

**c** = quantidade de calor necessária para elevar de 1 °C a temperatura de 1 g de uma substância

Água:  $c = 1. \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$

# Calor específico

$C_p$  = calor específico a pressão constante

$C_v$  = calor específico a volume constante

$$\Delta Q = m c \Delta T$$

Capacidade Térmica

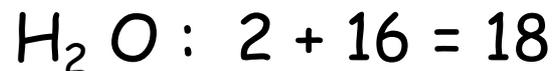
$$C = m c$$

# Capacidade Térmica Molar

Capacidade térmica de um mol da substância ( $C_M$ )

1 mol = massa em gramas igual  
à massa molecular da substância

Massa molecular ~ número de prótons ou  
neutrons na molécula



Para sólidos numa certa região de temperatura:

$$C_M \simeq 6 \frac{\text{cal}}{\text{mol } ^\circ\text{C}}$$

Lei de Dulong e Petit

Reservatório Térmico

$$\Delta T = \frac{\Delta Q}{C}$$

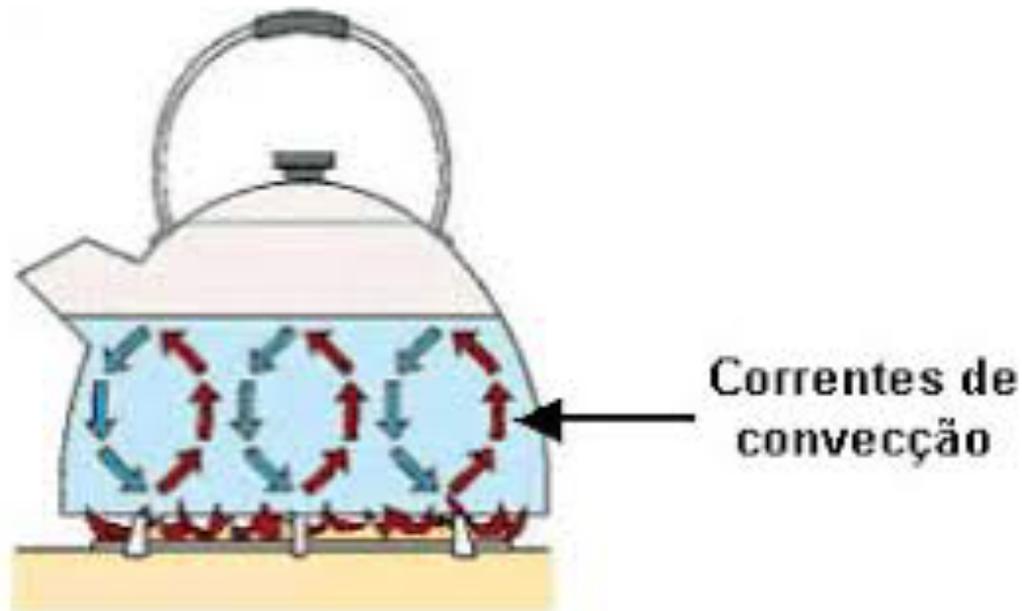
$$C \rightarrow \infty \quad \Delta T \rightarrow 0$$

Oceano, atmosfera...

# Transferência de calor

- Convecção
- Radiação
- Condução

Convecção : calor transferido pelo movimento das moléculas  
há transporte de matéria !



Radiação : emissão de radiação eletromagnética ("luz")  
não há transporte de matéria !

Emissão de luz ocorre quando há cargas elétricas aceleradas  
(na física clássica)

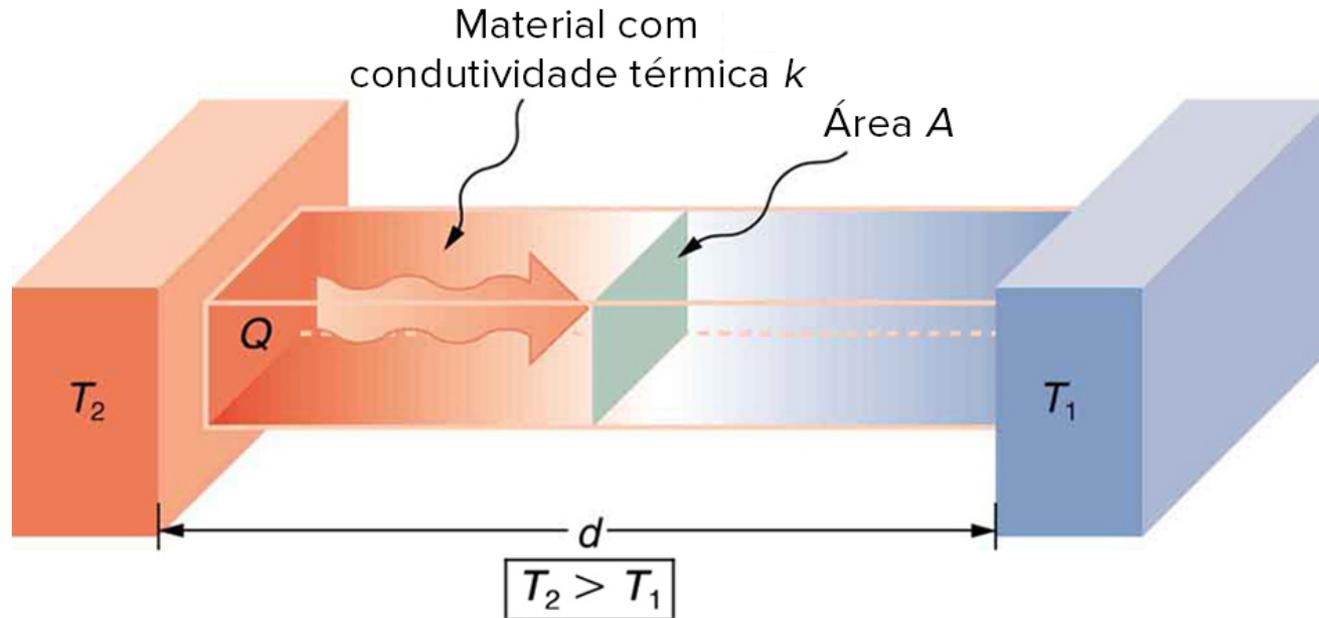


corpo aquecido

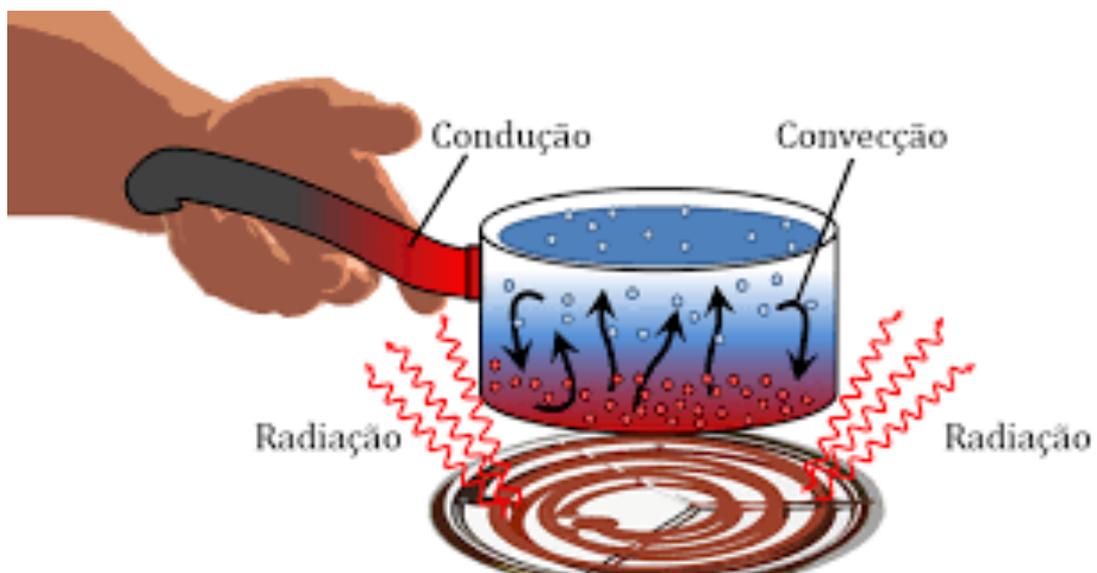


sol

Condução : através de um meio material  
**sem transporte de matéria !**



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -k A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$



Perde calor ?



E a garrafa térmica ?