

ENERGIA E DESORDEM: A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

**Paulo Seleglim Jr.
Universidade de São Paulo**



Aula passada:
propriedades das substâncias...

O que é energia ?



O que é energia ?

Diferentes tipos de energia:

- ✓ O que é calor ?
- ✓ O que é trabalho mecânico ? (força \times deslocamento)
- ✓ É possível converter diferentes tipos de energia ?
- ✓ Quais os limites de eficiência de conversão ?
- ✓ Diferentes tipos de energia podem realizar a mesma quantidade de trabalho ?
- ✓ ...

Uma definição de energia...

Energia é uma quantidade abstrata com a qual pode-se expressar leis físicas governantes dos fenômenos da natureza...

Perspectiva histórica...



Aristóteles, 400 ac.

“Energeia”: atividade, operacionalidade, a qualidade das coisas vivas incluindo a felicidade e o prazer...

Perspectiva histórica...



Leibniz, 1676–1689

“Vis viva”: em sistemas mecânicos compostos por múltiplas massas a soma dos produtos das massas pelo quadrado das velocidades se conserva...

$$\sum_k m_k v_k^2 = \text{cte}$$

Perspectiva histórica...



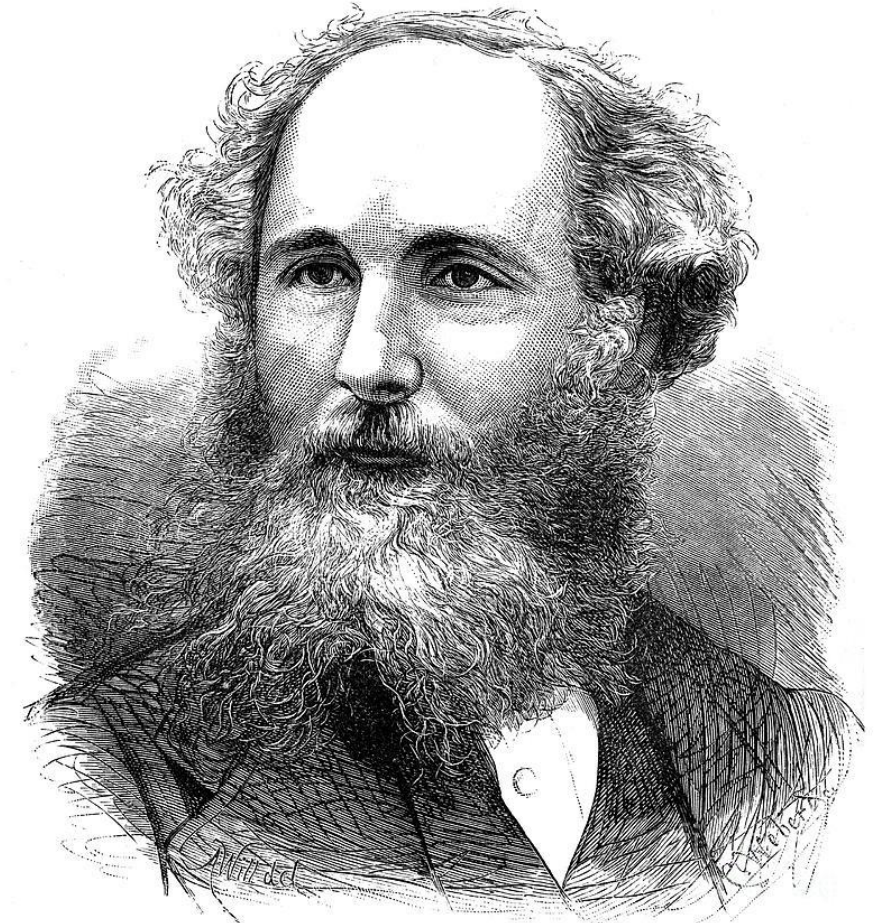
Lavoisier, 1789

“Fluido calórico”: é uma substância que não tem massas, cor, odor ou gosto, mas que pode ser transferida de um corpo para outro...

Quando calórico é adicionado a um corpo sua temperatura aumenta...

Perspectiva histórica...

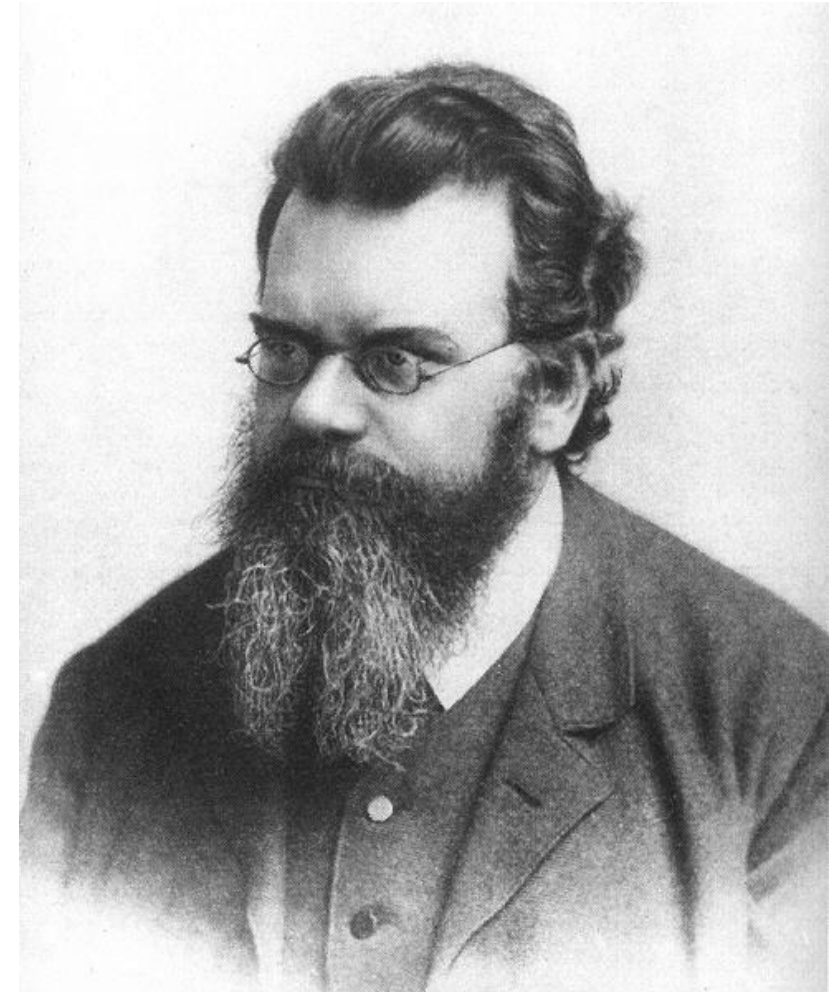
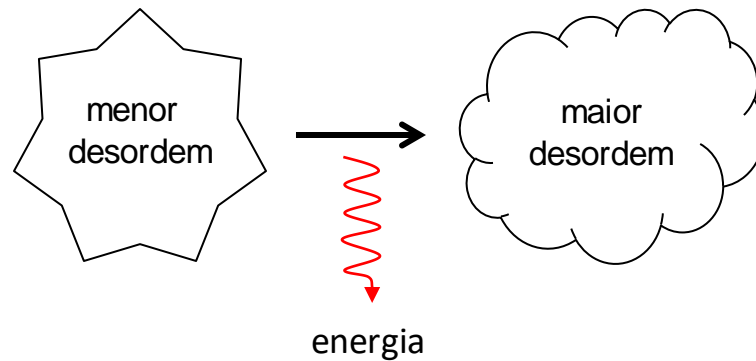
- ✓ É uma quantidade mensurável e, como tal, pode ser tratada matematicamente...
- ✓ É algo que pode ser transferido de um corpo a alta temperatura para outro corpo a baixa temperatura...
- ✓ Não pode ser uma substância material porque é possível transformá-lo em trabalho mecânico (Savier, Newcomen, Watt...da aula passada)
- ✓ É uma forma de energia...



Maxwell: "Theory of Heat", 1871

Perspectiva histórica...

- ✓ Um gás pode ser modelado como uma nuvem de partículas em constante agitação aleatória...
- ✓ Temperatura é uma forma de quantificar o nível médio de agitação molecular
- ✓ A entropia do universo sempre aumenta...



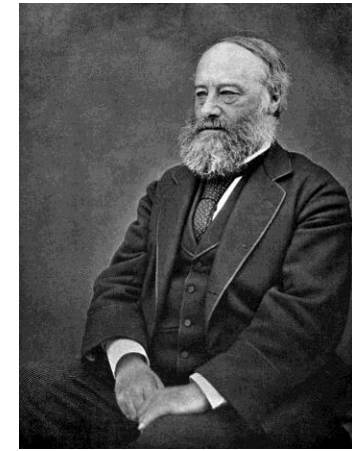
Boltzmann: 1886

$$S = k \cdot \log W$$

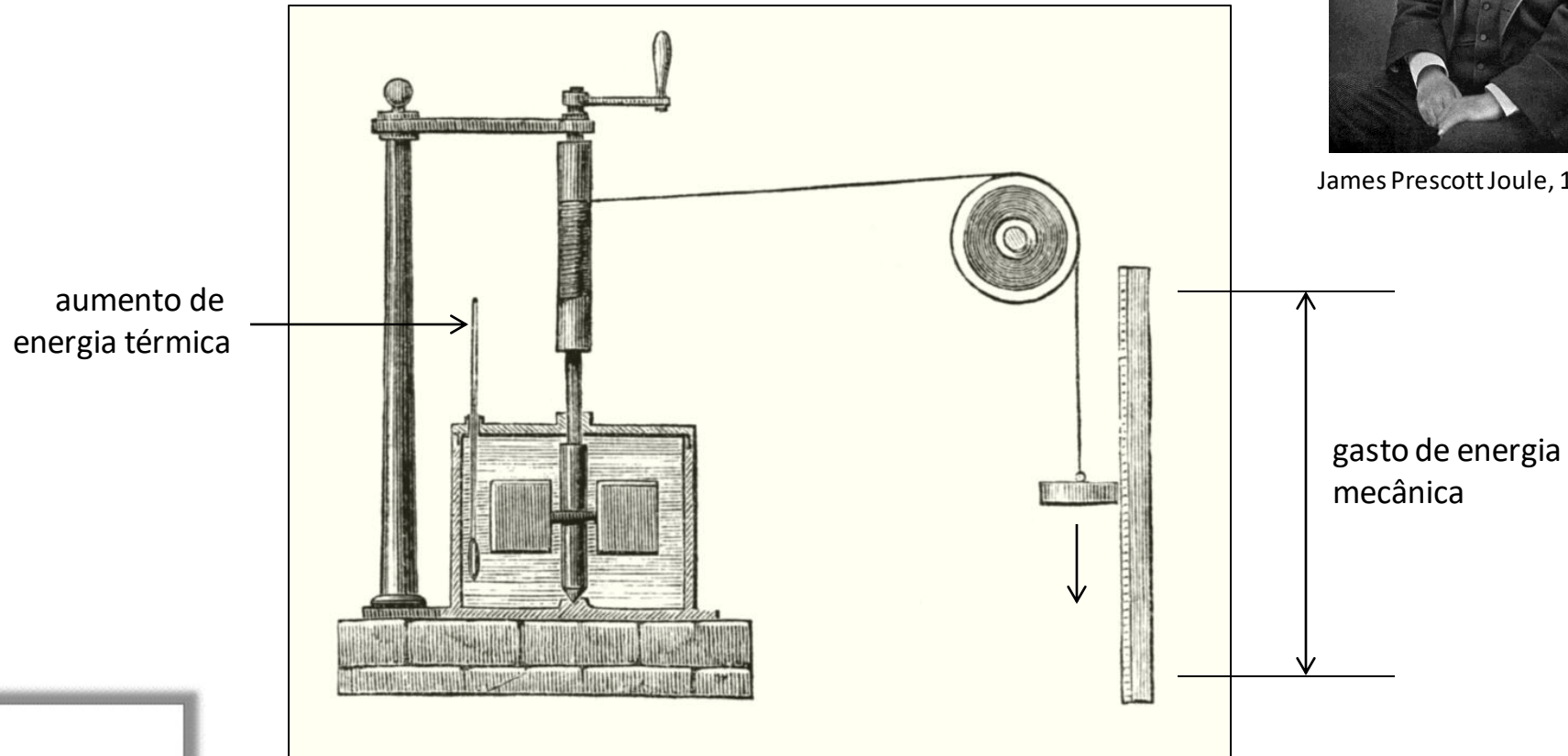
Calor é um fluido ou
uma forma de energia?

Conversão de trabalho mecânico em calor

Equivalente mecânico do calor



James Prescott Joule, 1840



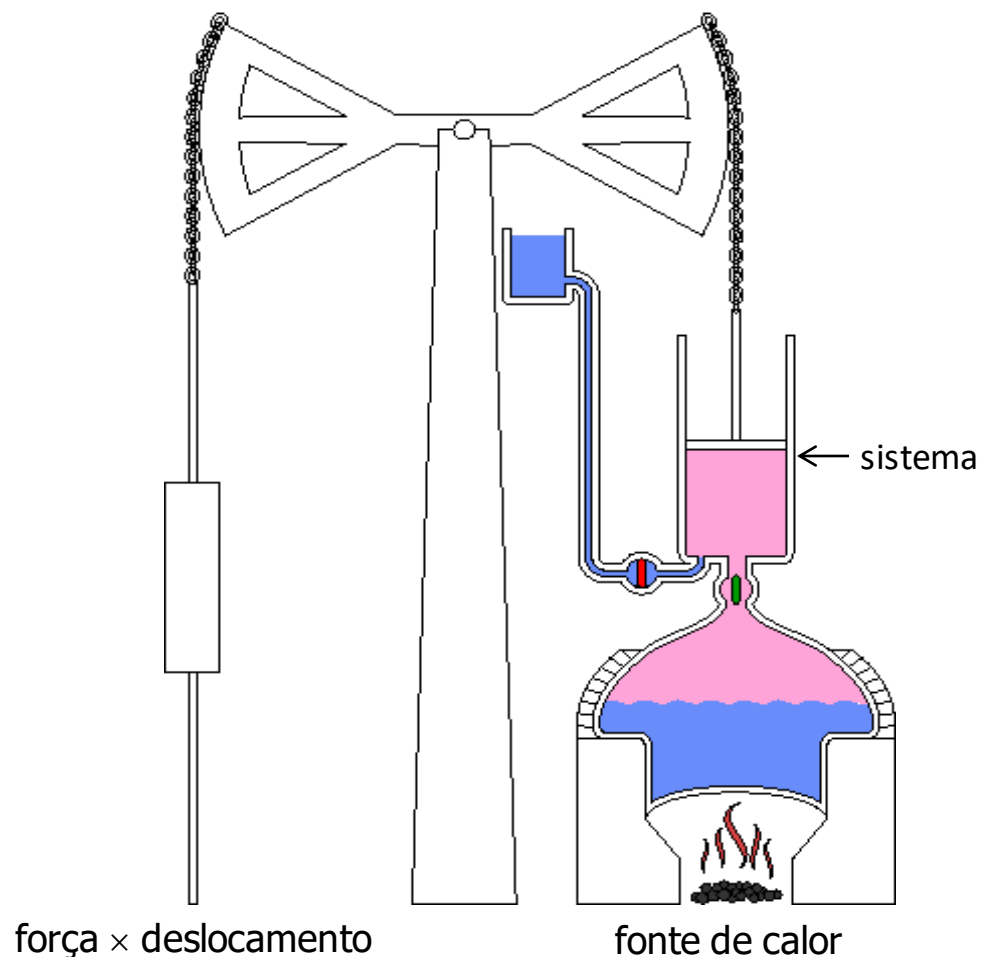
$$1 \text{ caloria} = 4.184 \text{ Joule}$$

Todo o trabalho mecânico é convertido em calor...

... mas apenas uma fração do calor é
convertido em trabalho !?!?

Sistemas e volumes de controle

Revisitando a máquina de Newcomen

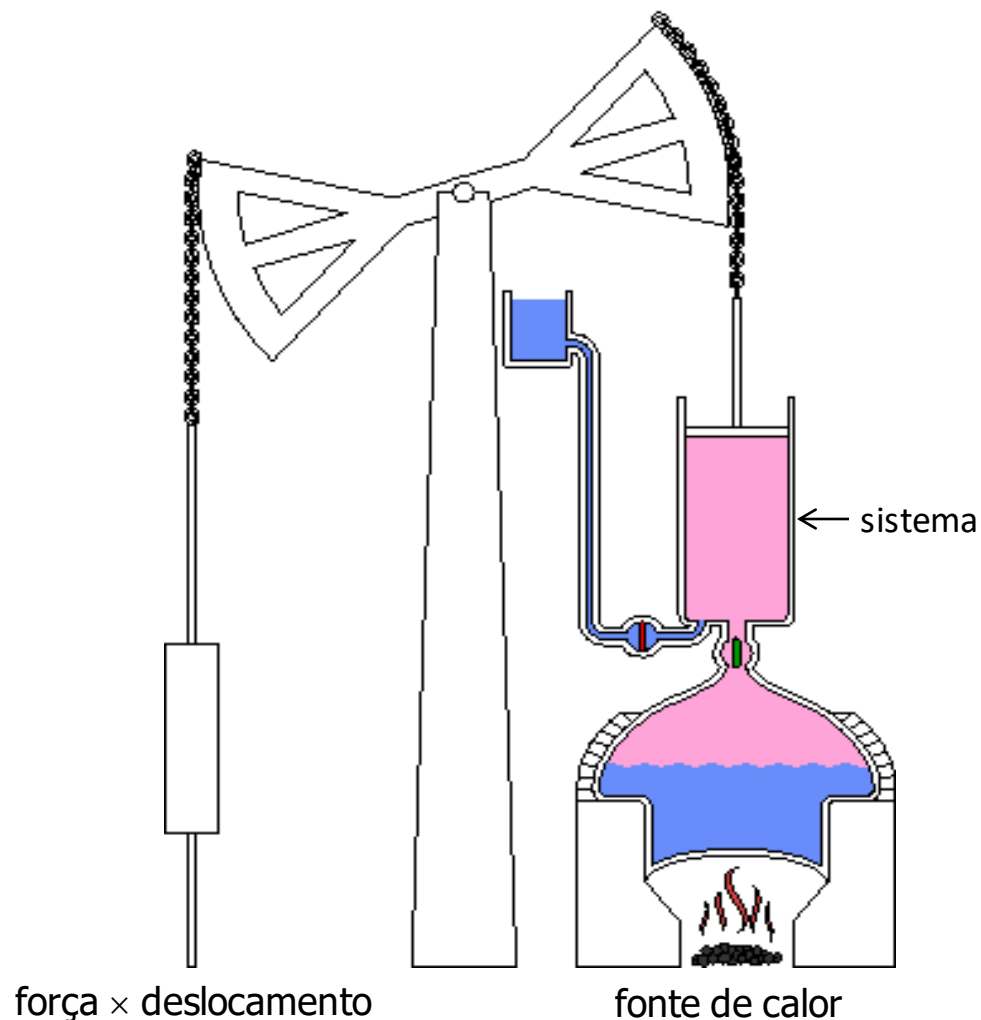


1. Injeção de vapor a alta pressão e temperatura no pistão
2. Condensação do vapor por meio da injeção de água fria, criando vácuo parcial no pistão
3. A ação da pressão atmosférica contrai o pistão gerando uma força de tracionamento da haste
4. Reinício do ciclo

**conversão de calor
em trabalho mecânico**

Sistemas e volumes de controle

Revisitando a máquina de Newcomen

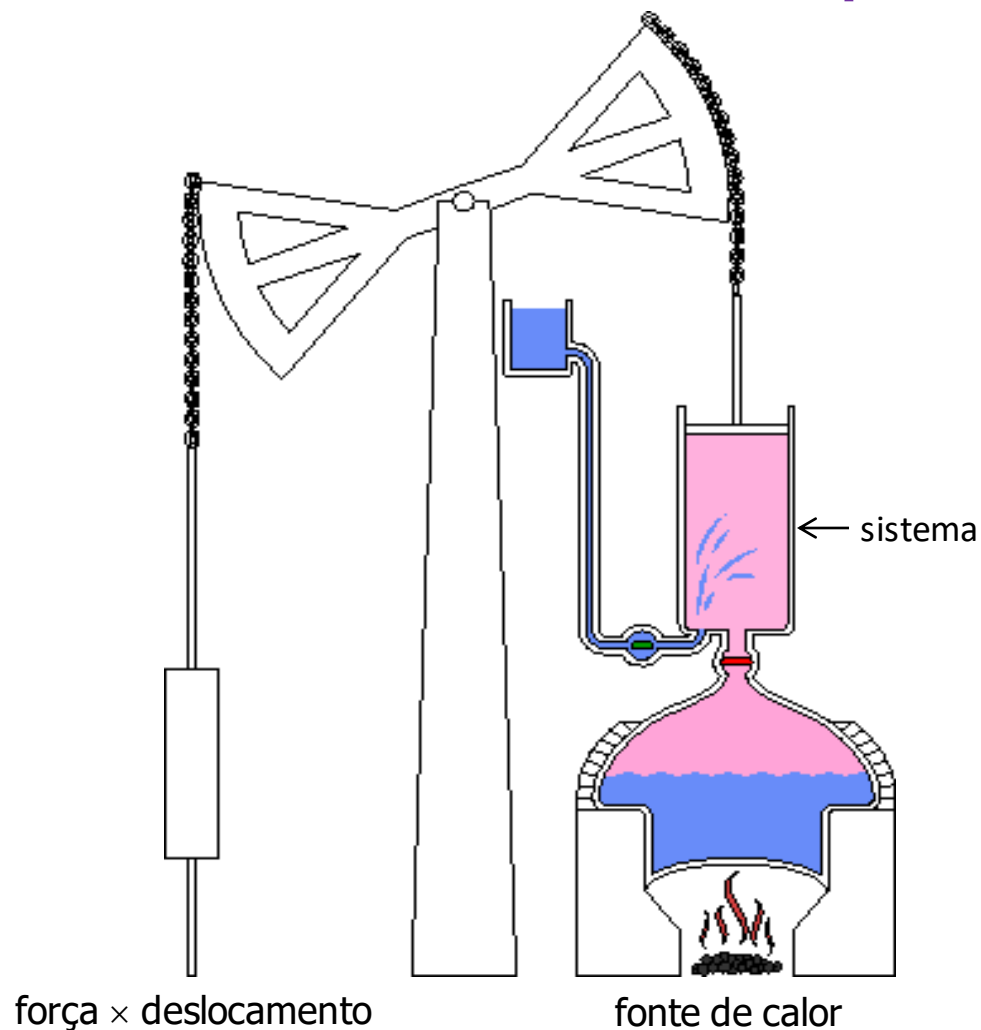


1. Injeção de vapor a alta pressão e temperatura no pistão
2. Condensação do vapor por meio da injeção de água fria, criando vácuo parcial no pistão
3. A ação da pressão atmosférica contrai o pistão gerando uma força de tracionamento da haste
4. Reinício do ciclo

**conversão de calor
em trabalho mecânico**

Sistemas e volumes de controle

Revisitando a máquina de Newcomen

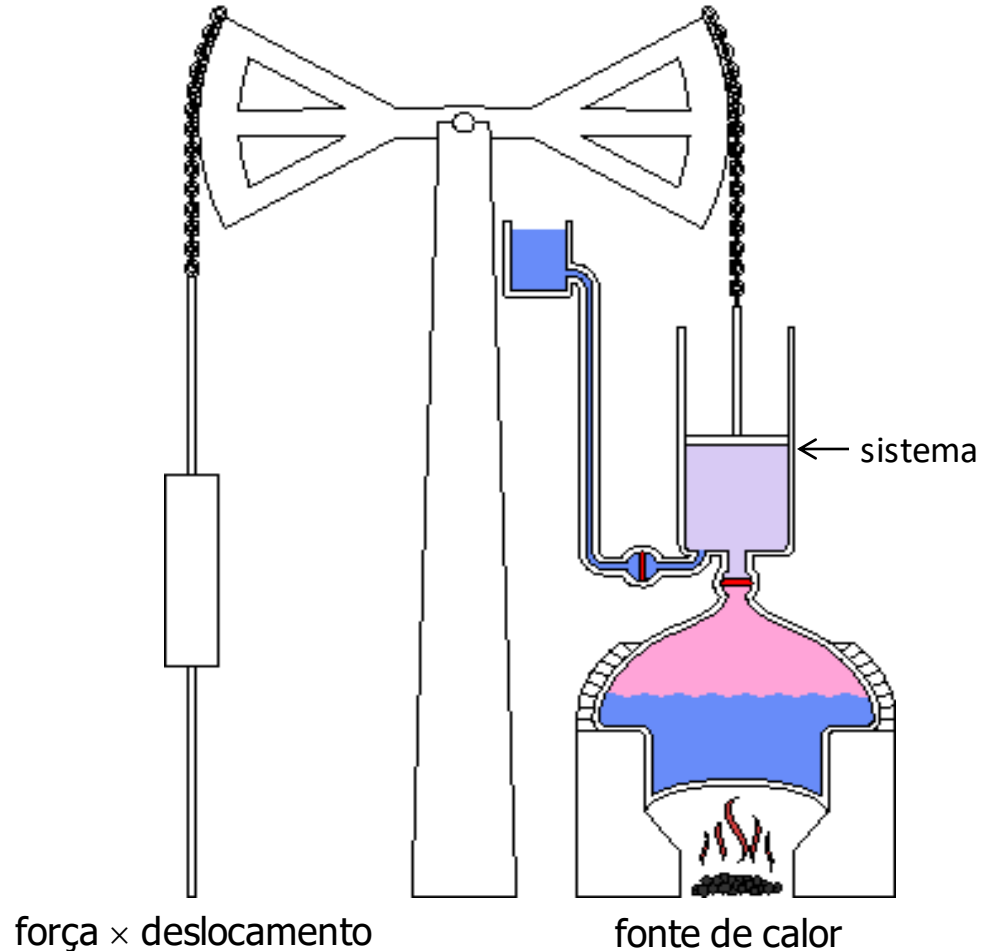


1. Injeção de vapor a alta pressão e temperatura no pistão
2. Condensação do vapor por meio da injeção de água fria, criando vácuo parcial no pistão
3. A ação da pressão atmosférica contrai o pistão gerando uma força de tracionamento da haste
4. Reinício do ciclo

**conversão de calor
em trabalho mecânico**

Sistemas e volumes de controle

Revisitando a máquina de Newcomen

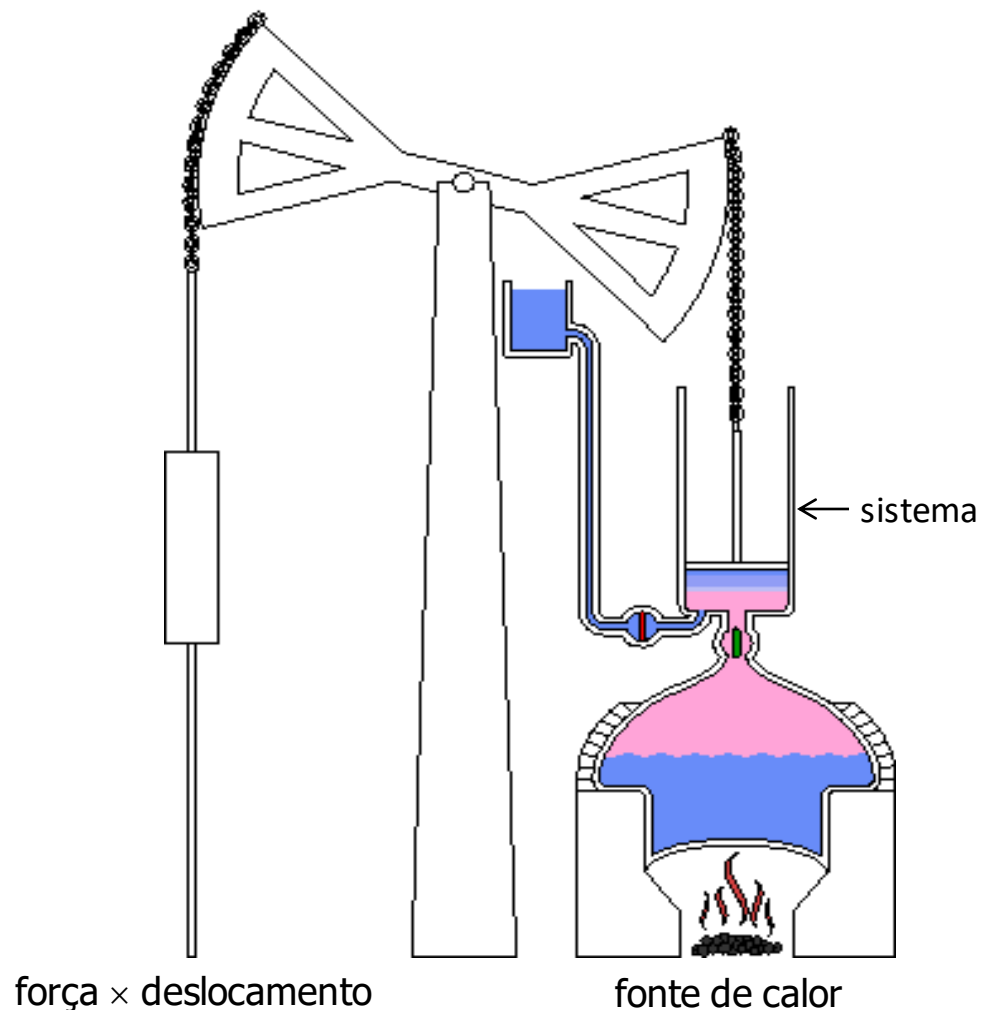


1. Injeção de vapor a alta pressão e temperatura no pistão
2. Condensação do vapor por meio da injeção de água fria, criando vácuo parcial no pistão
3. A ação da pressão atmosférica contrai o pistão gerando uma força de tracionamento da haste
4. Reinício do ciclo

**conversão de calor
em trabalho mecânico**

Sistemas e volumes de controle

Revisitando a máquina de Newcomen

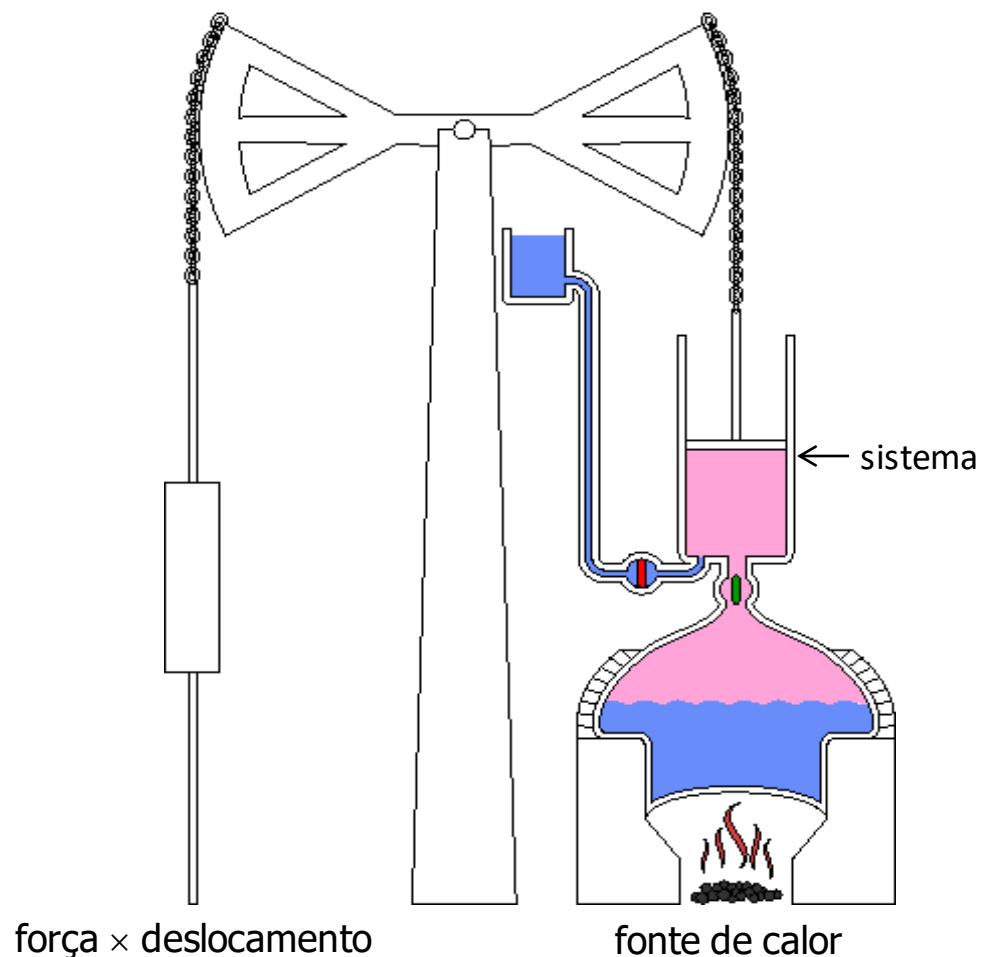


1. Injeção de vapor a alta pressão e temperatura no pistão
2. Condensação do vapor por meio da injeção de água fria, criando vácuo parcial no pistão
3. A ação da pressão atmosférica contrai o pistão gerando uma força de tracionamento da haste
4. Reinício do ciclo

**conversão de calor
em trabalho mecânico**

Sistemas e volumes de controle

Revisitando a máquina de Newcomen



1. Injeção de vapor a alta pressão e temperatura no pistão
2. Condensação do vapor por meio da injeção de água fria, criando vácuo parcial no pistão
3. A ação da pressão atmosférica contrai o pistão gerando uma força de tracionamento da haste
4. Reinício do ciclo

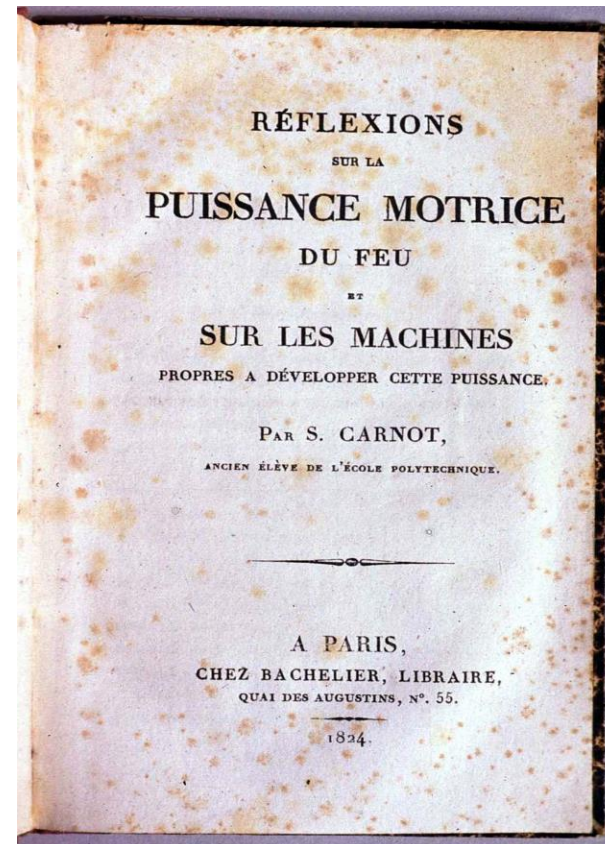
**conversão de calor
em trabalho mecânico**

Algumas respostas às questões formuladas:

- ✓ Calor é uma forma de energia. (“desorganizada”)
- ✓ Trabalho é uma forma de energia. (“organizada”)
- ✓ Trabalho pode ser totalmente convertido em calor.
- ✓ Calor pode ser convertido parcialmente em trabalho. (!?)



Nicolas Léonard Sadi Carnot
em 1824, aos 28 anos



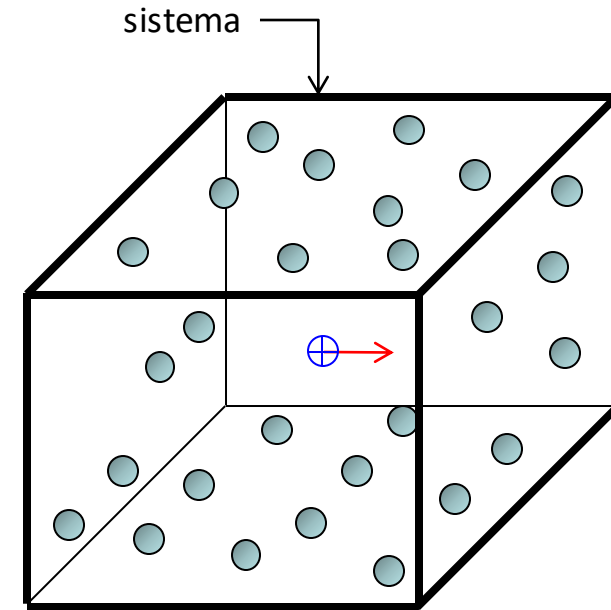
Diferentes formas de energia de um sistema

Formas macroscópicas

Energia associada ao centro de massa do sistema, relativa a um referencial inercial

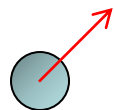
$$EC = m \frac{V^2}{2} \quad \longrightarrow \quad ec = \frac{V^2}{2}$$

$$EP = mgZ \quad \longrightarrow \quad ep = gZ$$

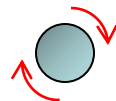


Formas microscópicas

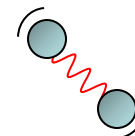
Energia associada à estrutura e ao nível de agitação molecular: energia interna "U"



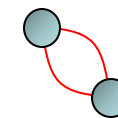
translação
molecular



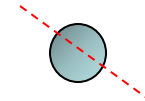
rotação
molecular



vibração
molecular



energia
química



energia
nuclear

Energia total de um sistema fechado

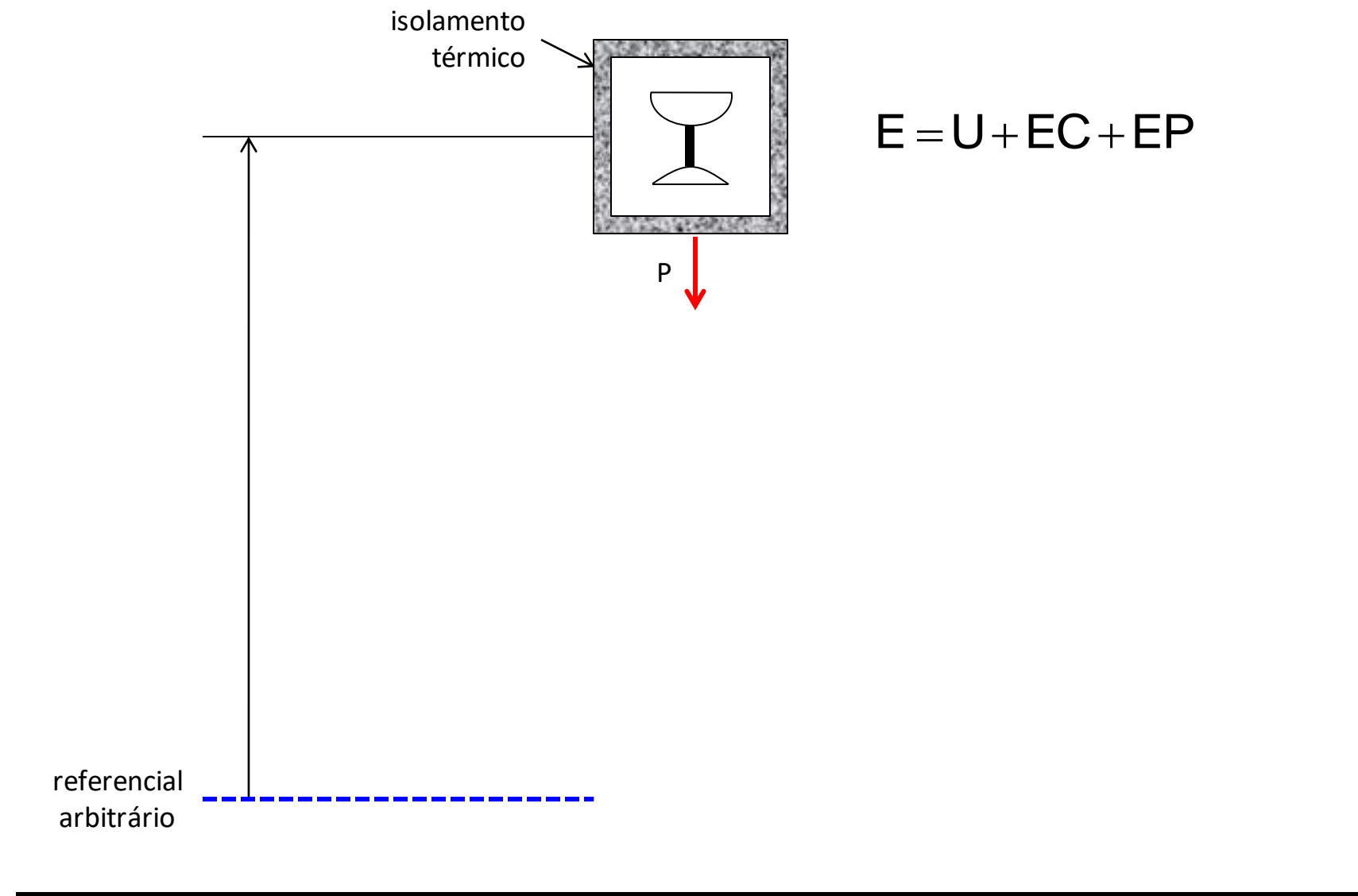
$$E = U + EC + EP$$

$$E = U + m \frac{v^2}{2} + mgZ$$

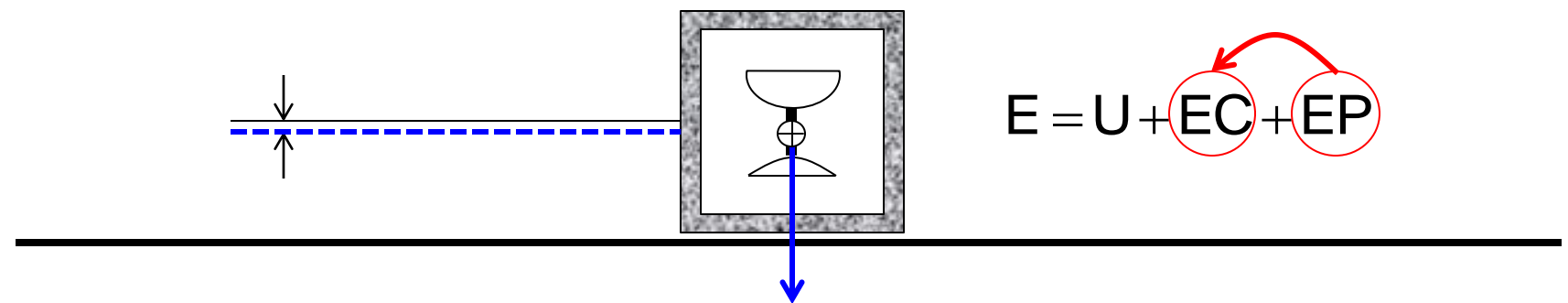
$$e = u + ec + ep$$

$$e = u + \frac{v^2}{2} + gZ$$

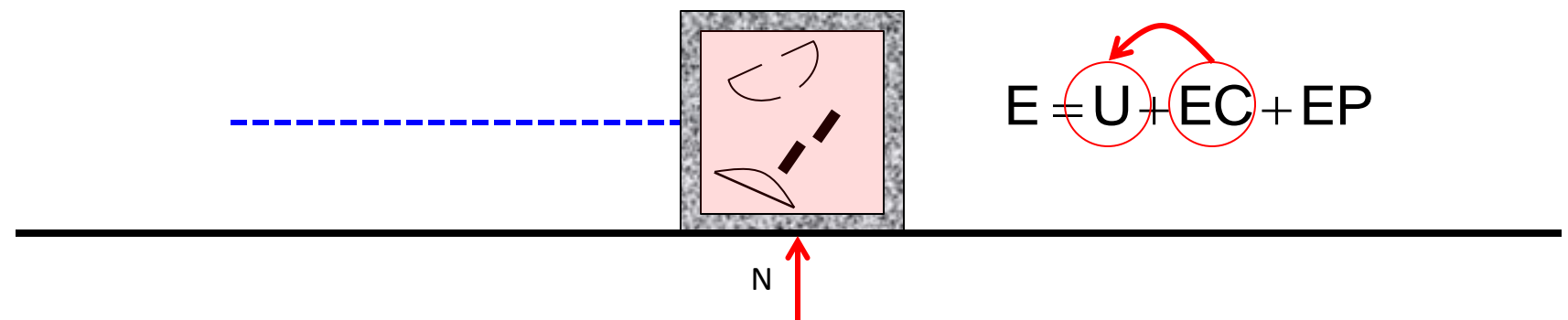
Exemplo: uma caixa em queda livre, contendo...



Exemplo: uma caixa em queda livre, contendo...



Exemplo: uma caixa em queda livre, contendo...

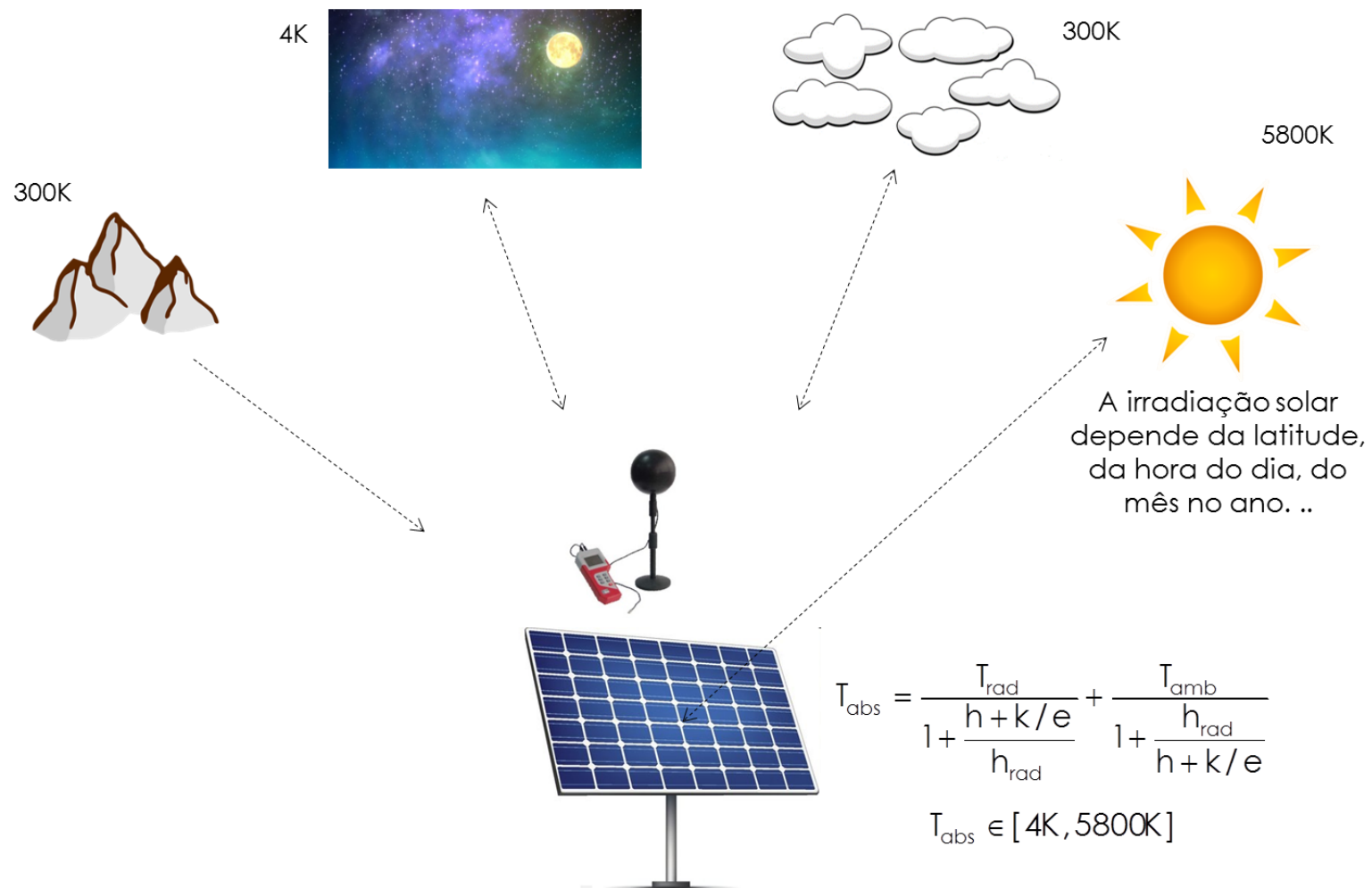


Trabalho mecânico e calor
são processos de transferência
de energia...

Transferência de energia via calor

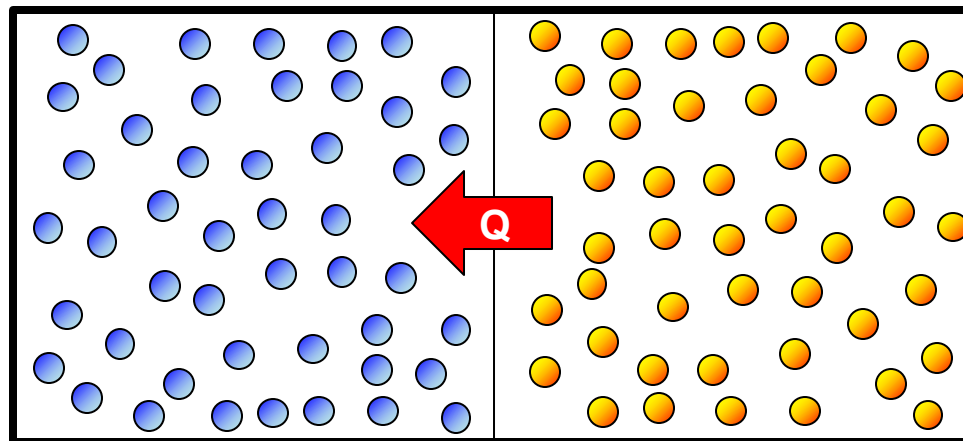
Dois sistemas em contato térmico, ou um sistema e sua vizinhança, a temperaturas diferentes tendem a equalizar seus níveis de agitação molecular...

- **Condução**
- **Convecção**
- **Radiação**



Transferência de energia via calor

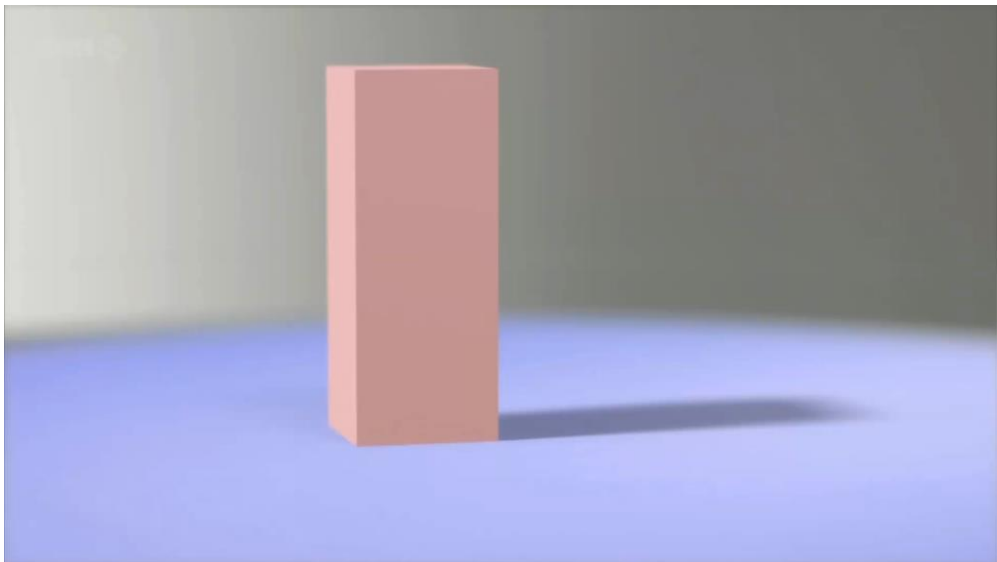
Dois sistemas em contato térmico, ou um sistema e sua vizinhança, a temperaturas diferentes tendem a equalizar seus níveis de agitação molecular...



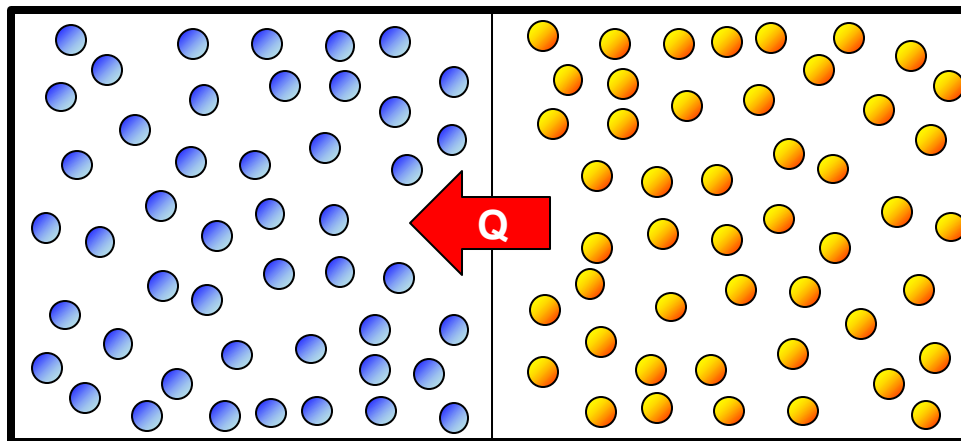
$$T_1 < T_2$$

Transferência de energia via calor

Dois sistemas em contato térmico, ou um sistema e sua vizinhança, a temperaturas diferentes tendem a equalizar seus níveis de agitação molecular...



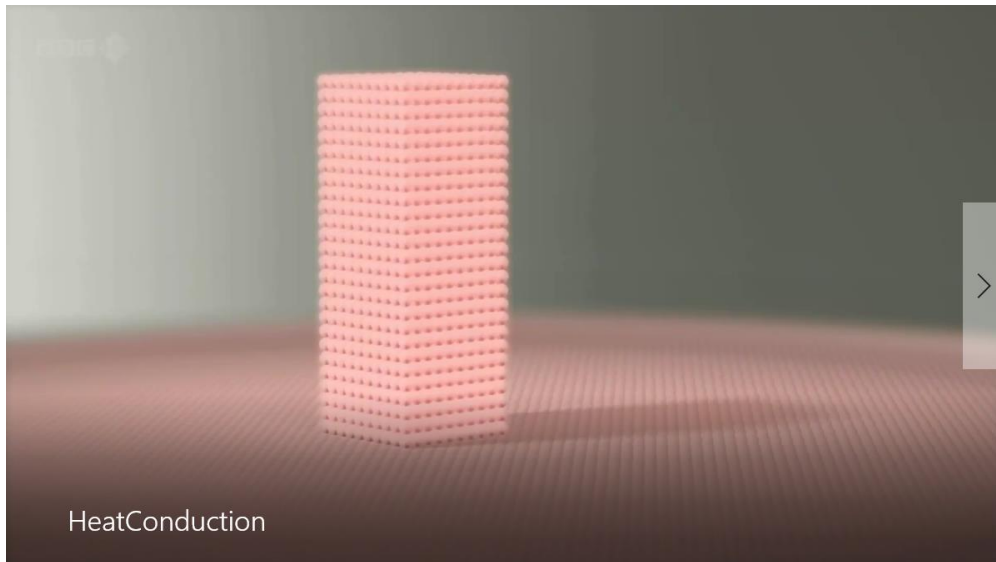
Jim Al-Khalili



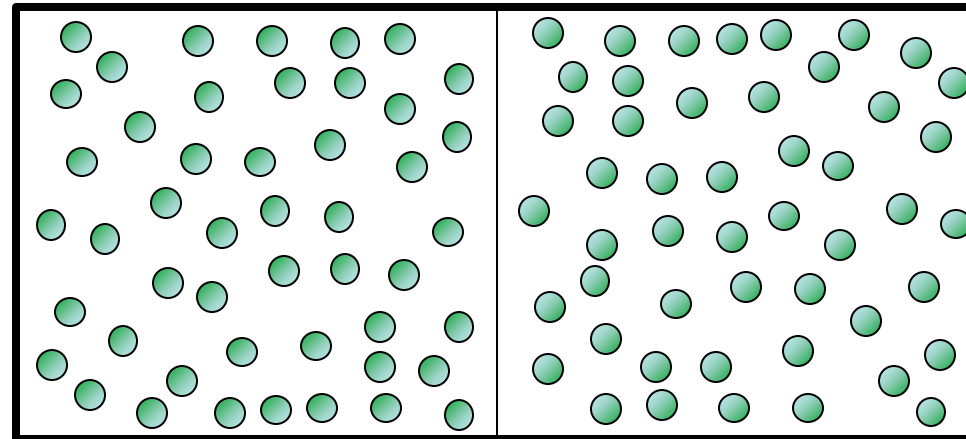
$$T_1 < T_2$$

Transferência de energia via calor

Dois sistemas em contato térmico, ou um sistema e sua vizinhança, a temperaturas diferentes tendem a equalizar seus níveis de agitação molecular...

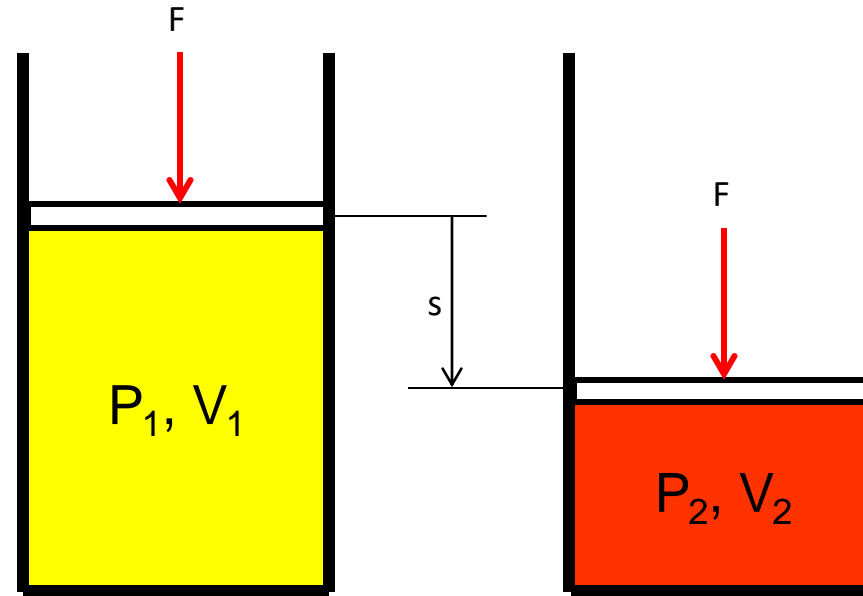


Jim Al-Khalili



$$T_1 \rightarrow T_3 = T_3 \leftarrow T_2$$

Transferência de energia via trabalho mecânico



$$\delta W = F \cdot ds$$

$$W = \int_1^2 F \cdot ds$$

Transferência de energia via trabalho mecânico

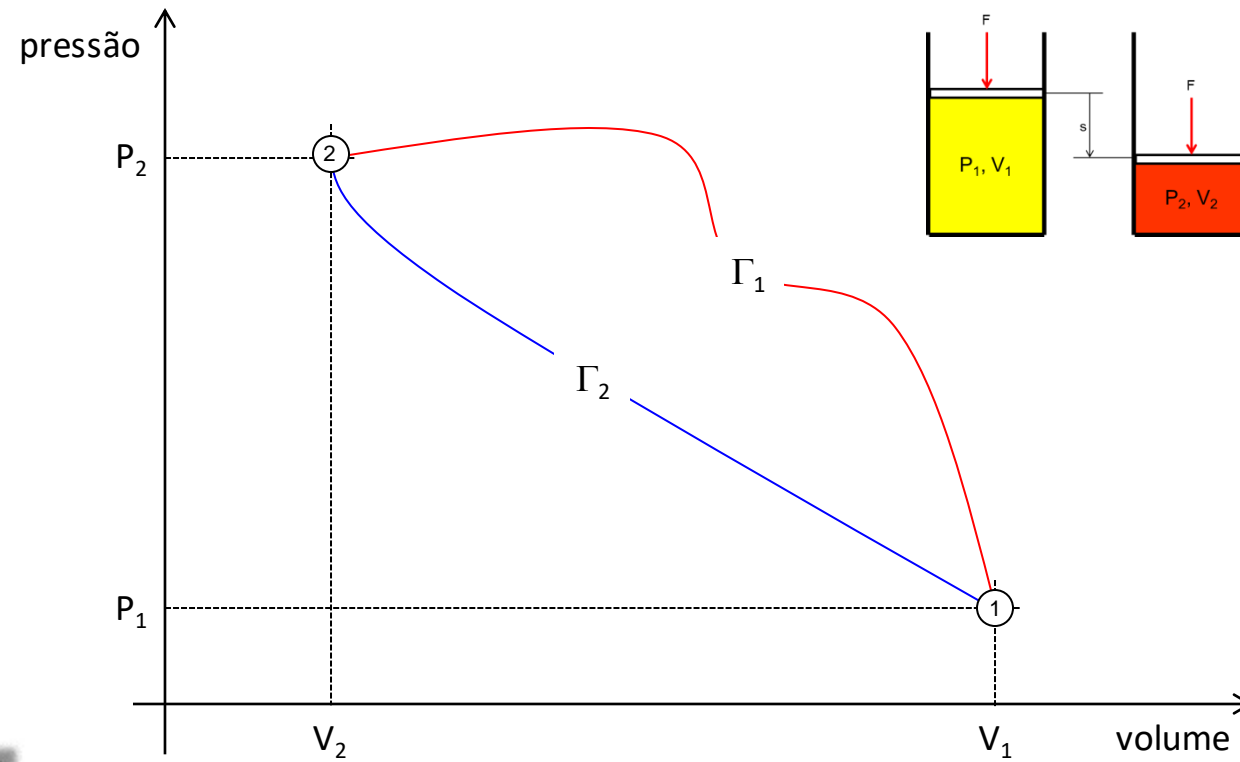
$$W = \int_1^2 \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s}$$

$$W = \int_1^2 (P \cdot A) \cdot ds$$

$$W = \int_1^2 P \cdot (A \cdot ds)$$

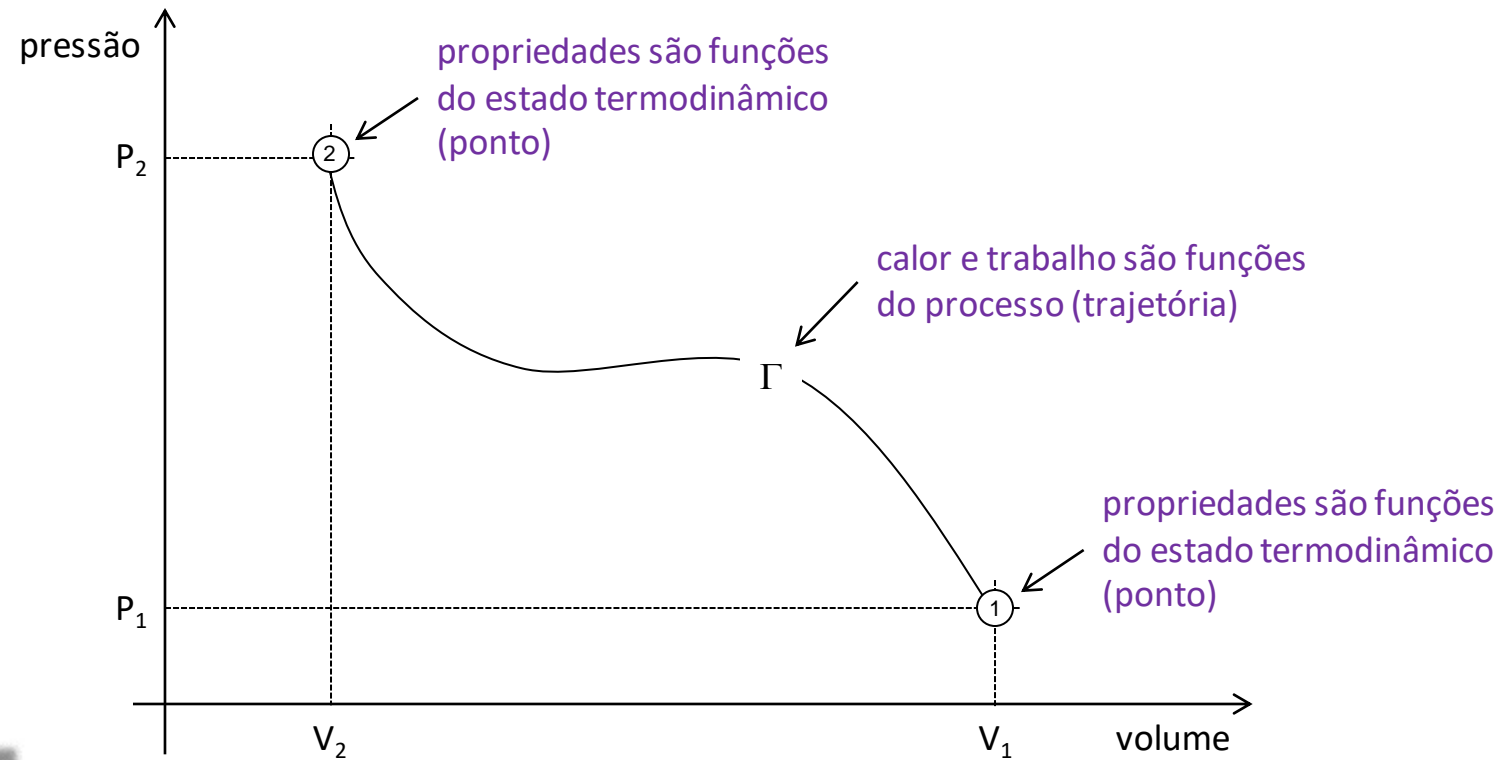
$$W = \int_1^2 P \cdot dV$$

Transferência de energia via trabalho mecânico



$$\int_{\Gamma_1} P \cdot dV \neq \int_{\Gamma_2} P \cdot dV$$

Propriedades de um sistema, trabalho, calor e processos termodinâmicos



$$\delta W = P \cdot dV$$

“ δ ” indica um diferencial inexato

“ d ” indica um diferencial exato

Propriedades de um sistema, trabalho, calor e processos termodinâmicos

$$\int_1^2 dV = V_2 - V_1 = \Delta V$$

$$\int_1^2 dU = U_2 - U_1 = \Delta U$$

independe
da trajetória

$$\int_1^2 \delta W = W_{12}$$

$$\int_1^2 \delta Q = Q_{12}$$

a trajetória deve
ser especificada

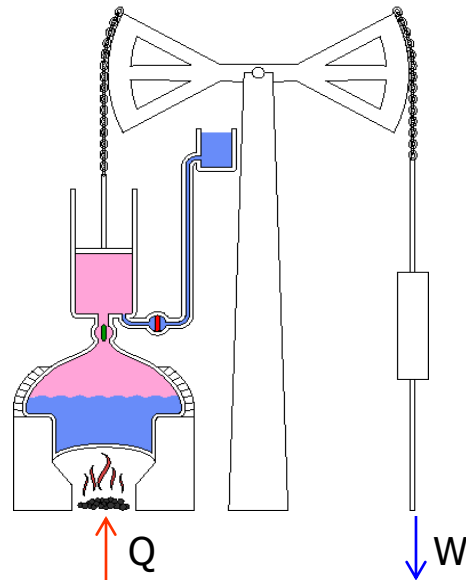
Convenção de sinais...

Trabalho e calor são grandezas direcionais pois dependem da trajetória. Portanto, é conveniente estabelecer uma convenção de sinais para definir o sentido da interação com um determinado sistema:

- ✓ $Q > 0$ quando é transferido para um sistema
- ✓ $W > 0$ quando é realizado por um sistema



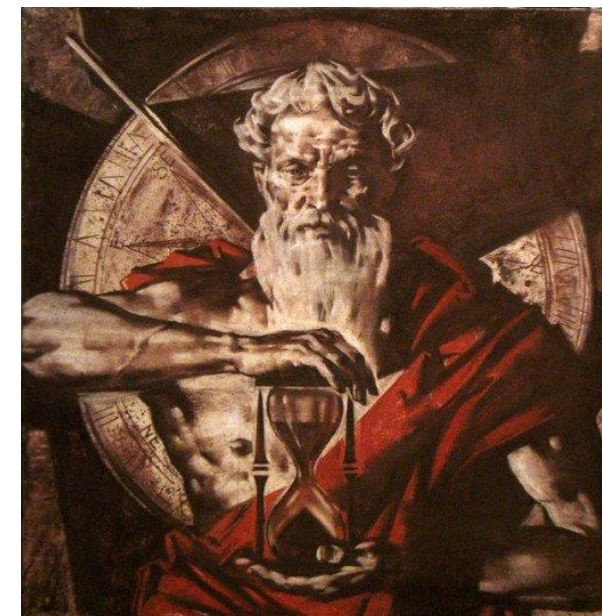
Thomas Newcomen



A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA...

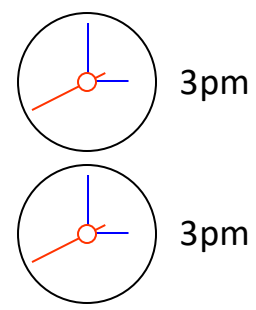


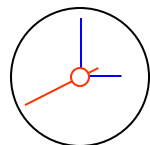
As leis da física
independem do referencial
de tempo, ou seja não
existe um tempo universal
absoluto...



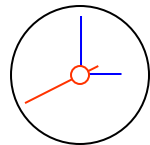


GARGANTUA
INTERSTELLAR FANART: ENSOU

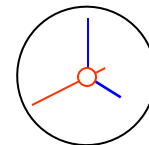




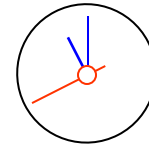
3pm



3pm



4pm



11pm

Teorema de Noether

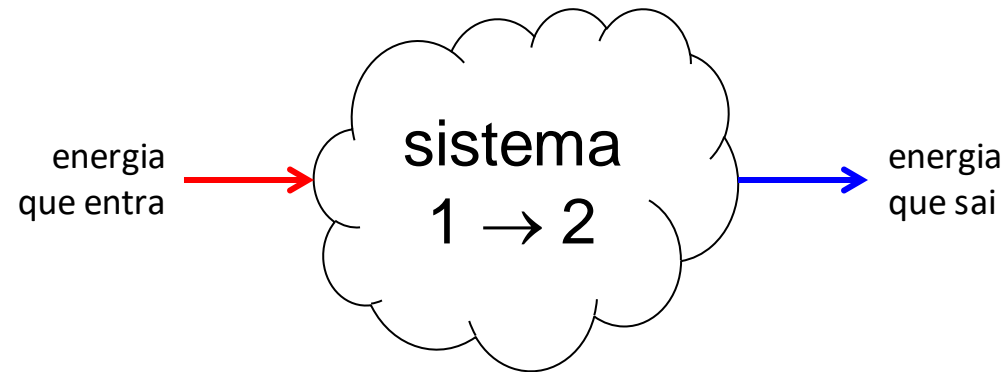
*...any differentiable
symmetry of the action
of a physical system
has a corresponding
conservation law !*



Amalie Emmy Noether em 1915

...princípio da conservação
da energia !!!

Princípio da conservação da energia: sistema fechado



$$\Delta E = E_{\text{entra}} - E_{\text{sai}}$$

$$\Delta E = \Delta U + \Delta EC + \Delta EP$$

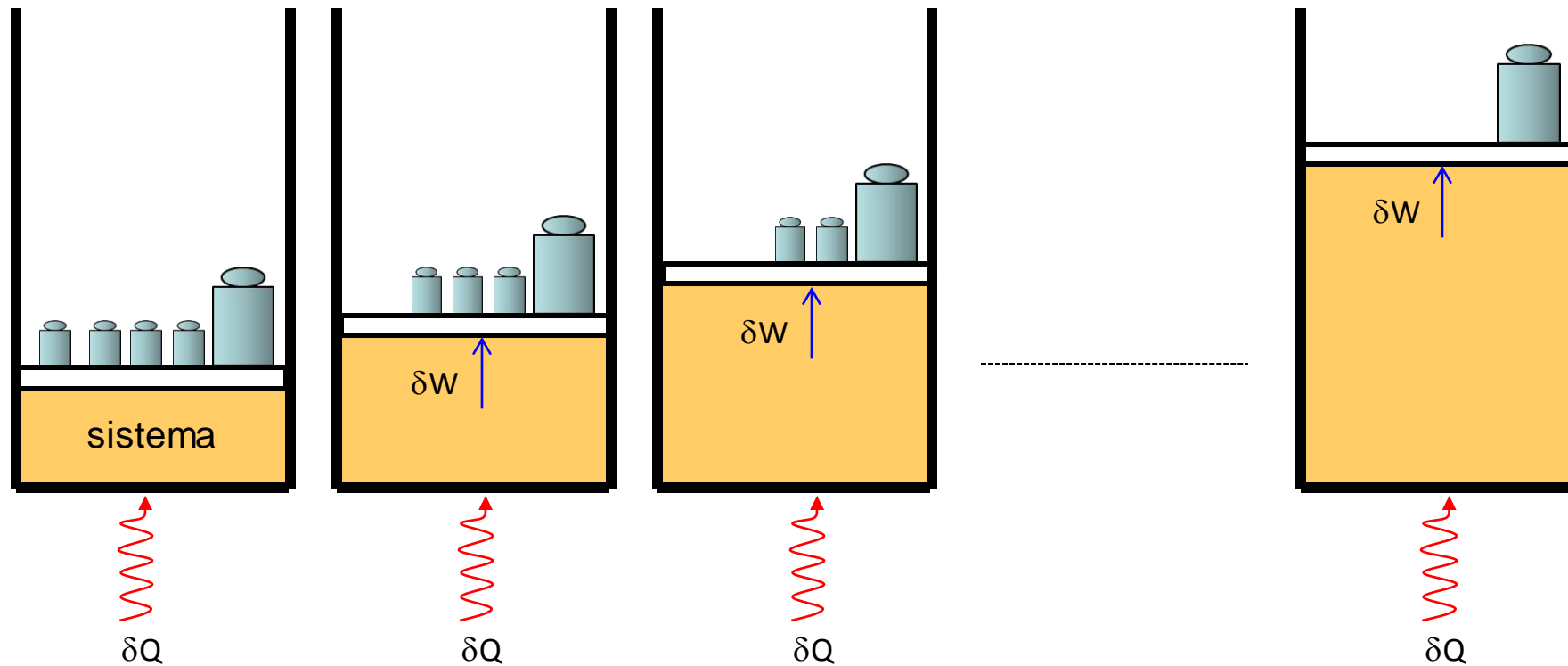
$$\Delta U = m \cdot (u_2 - u_1) \quad \Delta EC = \frac{m}{2} \cdot (V_2^2 - V_1^2) \quad \Delta EP = mg \cdot (z_2 - z_1)$$

Balanço de transações correntes...



$$\left(\begin{array}{l} \text{variação do} \\ \text{saldo na conta} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{soma das} \\ \text{receitas} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{soma das} \\ \text{despesas} \end{array} \right)$$

Exemplo: expansão isotérmica de um gás perfeito



$$\Delta E = E_{\text{entra}} - E_{\text{sai}} = Q_{\text{isoT}} - W_{\text{isoT}}$$

Exemplo: expansão isotérmica de um gás perfeito

$$E = U + EC + EP$$

Exemplo: expansão isotérmica de um gás perfeito

$$E = U + \cancel{EC} + \cancel{EP} \leftarrow \begin{array}{l} \text{sistema} \\ \text{estacionário} \end{array}$$

Exemplo: expansão isotérmica de um gás perfeito

$$E = U + \cancel{EC} + \cancel{EP} \leftarrow \begin{array}{l} \text{sistema} \\ \text{estacionário} \end{array}$$

$$\Delta E \stackrel{T=\text{cte}}{=} 0 \rightarrow W_{\text{isoT}} = Q_{\text{isoT}}$$

Exemplo: expansão isotérmica de um gás perfeito

$$E = U + \cancel{EC} + \cancel{EP} \leftarrow \begin{array}{l} \text{sistema} \\ \text{estacionário} \end{array}$$

$$\Delta E \stackrel{T=\text{cte}}{=} 0 \rightarrow W_{\text{isoT}} = Q_{\text{isoT}}$$

$$W_{\text{isoT}} = \int_1^2 P \cdot dV = \int_1^2 \frac{nRT}{V} \cdot dV = nRT \int_1^2 \frac{dV}{V}$$

Exemplo: expansão isotérmica de um gás perfeito

$$E = U + \cancel{EC} + \cancel{EP} \leftarrow \begin{array}{l} \text{sistema} \\ \text{estacionário} \end{array}$$

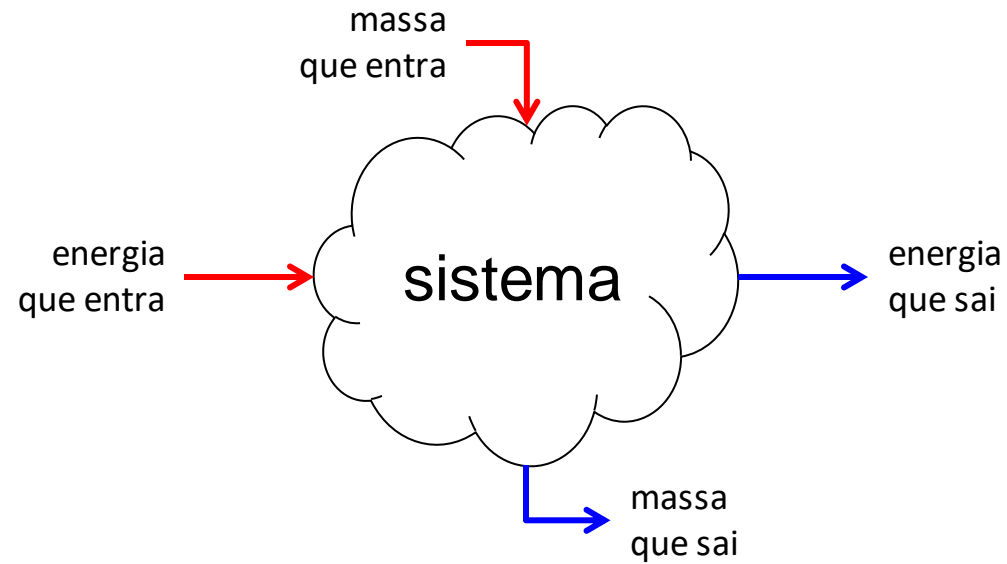
$$\Delta E \stackrel{T=\text{cte}}{=} 0 \rightarrow W_{\text{isoT}} = Q_{\text{isoT}}$$

$$W_{\text{isoT}} = \int_1^2 P \cdot dV = \int_1^2 \frac{nRT}{V} \cdot dV = nRT \int_1^2 \frac{dV}{V}$$

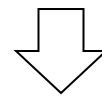
$$W_{\text{isoT}} = nRT \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = Q_{\text{isoT}}$$

Obs.: $V_2 > V_1 \rightarrow W_{\text{isoT}}$ e Q_{isoT} são positivos,
coerentemente com a convenção

Princípio da conservação da energia: sistema aberto



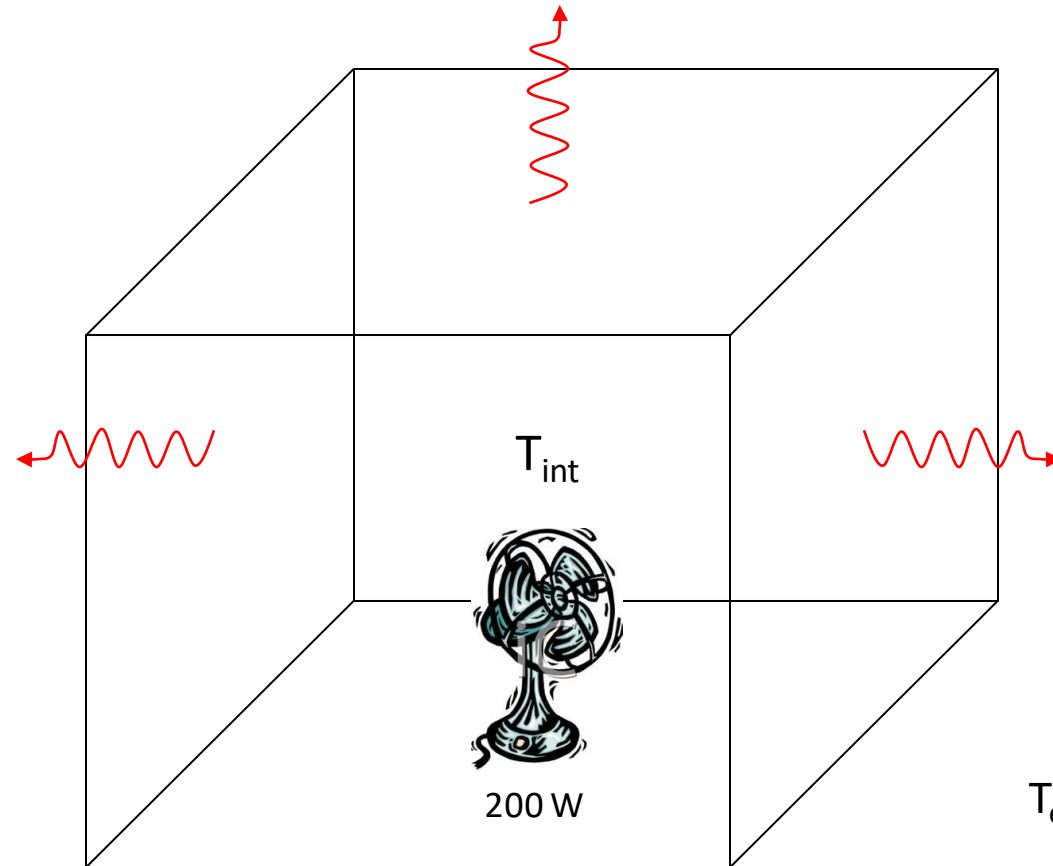
$$\Delta E = (E_{\text{entra}} - E_{\text{sai}})_{Q,W} + (E_{\text{entra}} - E_{\text{sai}})_{\text{massa}}$$



$$\frac{dE}{dt} = \left(\frac{dE_{\text{entra}}}{dt} - \frac{dE_{\text{sai}}}{dt} \right)_{Q,W} + \left(\frac{dE_{\text{entra}}}{dt} - \frac{dE_{\text{sai}}}{dt} \right)_{\text{massa}}$$

Exemplo: um ventilador é um aquecedor ?

$$Q = UA \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})$$

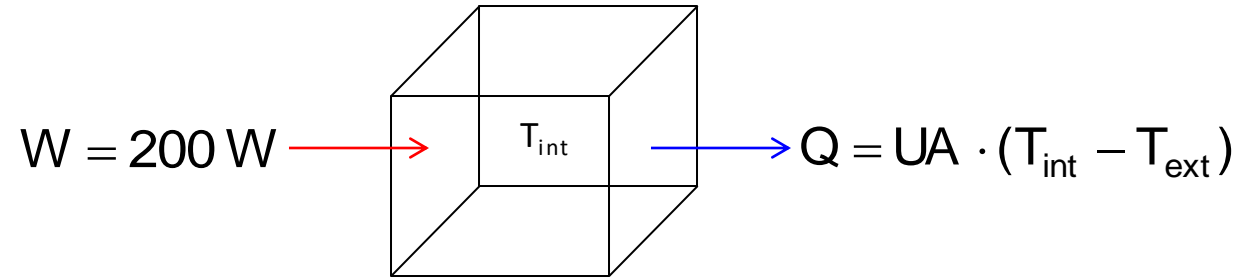


$$T_{\text{ext}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U = 6 \text{ W/m}^2/\text{ } ^\circ\text{C}$$

$$A = 30 \text{ m}^2$$

Exemplo: um ventilador é um aquecedor ?



$$\frac{dE}{dt} = \left(\frac{dE_{\text{entra}}}{dt} - \frac{dE_{\text{sai}}}{dt} \right)_{Q,W} + \left(\frac{dE_{\text{entra}}}{dt} - \frac{dE_{\text{sai}}}{dt} \right)_{\text{massa}}$$

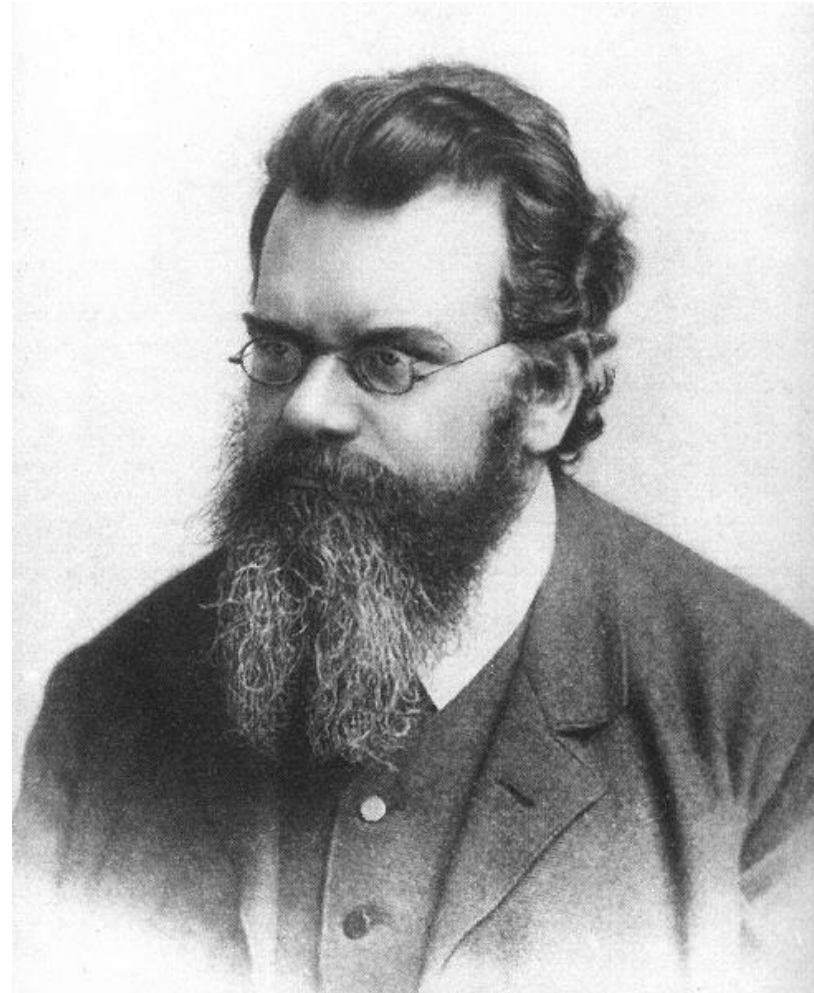
regime
permanente

sistema
fechado

$$0 = 200 \text{ W} - 6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \times 30 \text{ m}^2 \times (T_{\text{int}} - 25 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$T_{\text{int}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C} + \frac{200}{6 \times 30} \text{ } ^\circ\text{C} = 26,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Voltando às ideias de Boltzmann...



Boltzmann: 1886

$$S = k \cdot \log W$$

As leis da física não são violadas se o tempo fluir ao contrário...

Exceto a segunda lei da termodinâmica:

O universo evolui de forma contínua e espontânea para estados de maior desordem...

Ou, a entropia do universo sempre aumenta !



$t \rightarrow \infty$



... mas este é um assunto
para as próximas aulas !

http://www.youtube.com/PSeleghim

Paulo Selegim - YouTube

https://www.youtube.com/user/PSeleghim

Google

YouTube BR

164 subscribers 31,477 views Video Manager View as public

What to Watch
My Channel
My Subscriptions
History
Watch Later 8

PLAYLISTS
TooMuchHeaven
Trocadores de Calor
Economics for Dummies
Cosmology
Thermodynamics and I...
Missão E.
History of the World Pet...
Liked videos
More >

SUBSCRIPTIONS
Aerosmith - Topic
AerosmithVEVO
Aflac201
Alan Carre
Andrea Vadrucchi (Vadru...
Aron Stock
capitalcitiesmusic
CapitalCitiesVEVO
More >

Browse channels
Manage subscriptions

Paulo Selegim

Home Videos Playlists Channels Discussion About

Teoria da Informação - Regimes de Escoamentos Multifásicos
35 views 2 days ago
Aula de encerramento do curso de INSTRUMENTAÇÃO E ANÁLISE DE SINAIS: Teoria da Informação - Regimes de Escoamentos Multifásicos.
Sistemas dinâmicos, pêndulo simples, espaço de fase, simulação por diferenças finitas, sonda de impedância para medição de fração de vazio, modelos simplificados, espaço de caracterização, transformada de Fourier, transformada de Gabor, análise espectral, conteúdo espectral instantâneo, análise da fala, ...
Read more

Channel tips
Add a section
Featured channels
View all >

None
+ Add channels

Popular channels on YouTube
Aulalivre .net
Subscribe
Brainstorm Tutoriais ...
Subscribe
FISCATOTAL
Subscribe
denisleees
Subscribe
CANAL DAS VIDEOAU...
Subscribe

Popular uploads

Conforto térmico - parte 1
2,686 views 2 years ago

Trocador de Calor / Newton-Raphson: Demo Excel
2,700 views 10 months ago

Optimal Industrial Bioreactor Design
2,148 views 1 year ago

Conforto térmico - parte 2
1,730 views 2 years ago