

CURSO INTENSIVO

TERMODINÂMICA E APLICAÇÕES DE ENGENHARIA

ENERGIA E DESORDEM: A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Paulo Seleglim Jr.
Universidade de São Paulo

CURSO INTENSIVO

TERMODINÂMICA E APLICAÇÕES DE ENGENHARIA

AVISOS IMPORTANTES:

DE DATA QUAZÃO DEZA BORA PORA SEMANA !!!



Curso: SEM0233 - Termodinâmi x +

edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=115551

Concluir atualização

Todos os favoritos

USP - DISCIPLINAS Apoio às Disciplinas

Disciplinas » Suporte » Português - Brasil (pt_br)

Paulo Seleglim Junior

SEM0233 - Termodinâmica I (2024)

Início / Meus Ambientes / 2024 / EESC / SEM / SEM0233-103-2024

Ativar edição

Administração

- Administração do ambiente
 - Configurações
 - Conclusão de curso
 - Usuários
 - Filtros
 - Relatórios
 - Configuração das Notas
 - Resultado da aprendizagem
 - Emblemas
 - Importar
 - Backup
 - Restaurar
 - Download center
 - Banco de questões
 - Kit de ferramentas de acessibilidade
 - Certificados
 - Lixeira

Navegação

Cronograma atualizado

Contrair tudo

- Vídeo de Abertura
- Frequência & Notas
- Cronograma 1s2024
- Lista de exercícios: aulas 1 - 4

A large, stylized black and white illustration of a hand with the index finger pointing to the right. The hand is wearing a dark sleeve with a white cuff.

DEDICAÇÃO: 1 HORA POR SEMANA !!!



studio.youtube.com/playlist/PLmho8Rcnd60cYxjBNdCXOdGsKN4oP8hAp/videos

Studio

Search across your channel

Channel content

Playlist videos

EDIT IN YOUTUBE

| Video | Visibility | Monetization | Restrictions | Date | Views | Comments | Likes (vs. dislikes) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|---------------------------|-------|----------|----------------------|
|  ABERTURA do curso: TERMODINÂMICA E APLICAÇÕES DE ENGENHARIA Add description | Public | Off | None | Feb 6, 2024 Published | 349 | 2 | 100.0% 44 likes |
|  SEM0233: TERMODINÂMICA E APLICAÇÕES DE ENGENHARIA 1:29:50 | Public | Off | None | Feb 26, 2024 Streamed | 282 | 4 | 100.0% 27 likes |
|  SEM0233: TERMODINÂMICA E APLICAÇÕES DE ENGENHARIA 1:33:18 | Public | Off | None | Feb 27, 2024 Streamed | 240 | 3 | 96.7% 29 likes |
|  Aula 1 - exercício resolvido / TERMODINÂMICA Um vaso de pressão com volume de 0,4m ³ contém 1,25kg de uma mistura formada... | Public | Off | None | Feb 28, 2024 Published | 128 | 0 | 100.0% 15 likes |
|  Aula 2 - exercício resolvido / TERMODINÂMICA Um pistão com 1m de comprimento e área seccional de 0,5m ² está imerso num... | Public | Off | None | Mar 1, 2024 Published | 117 | 2 | 100.0% 14 likes |

Rows per page: 30 | 1-5 of many

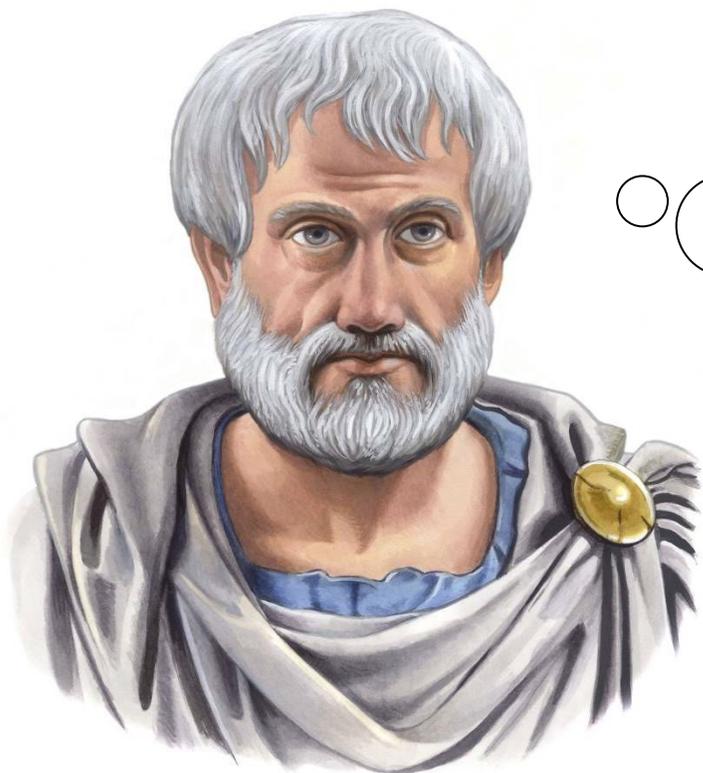
TUTORIAIS



O QUE É ENERGIA ?



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



Aristóteles, 400 ac.

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





Leibniz, 1676–1689

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

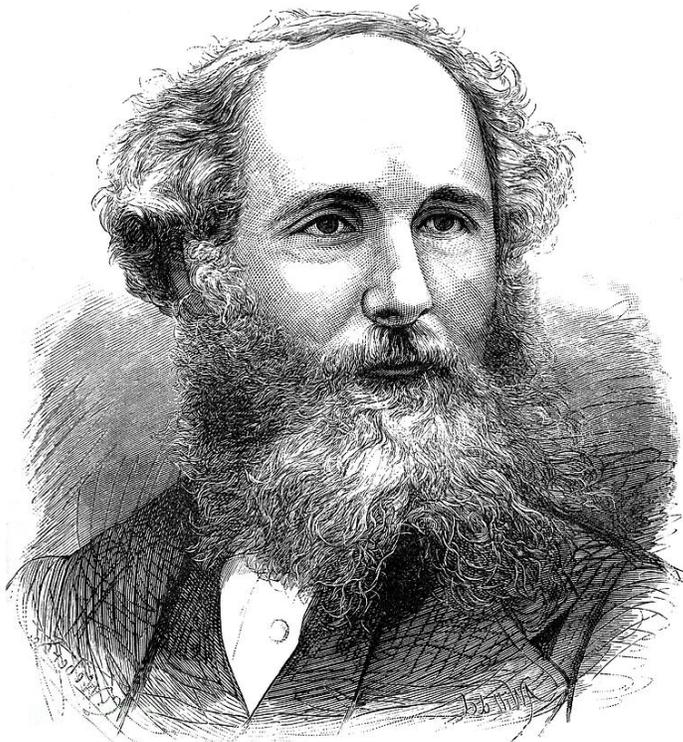
$$\sum_k m_k v_k^2 = \text{cte}$$

Calor é um fluido ou
uma forma de energia?



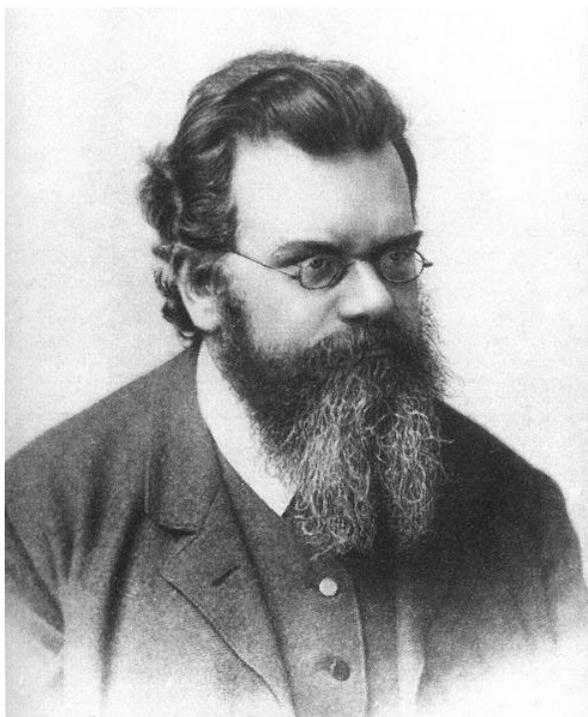
Lavoisier, 1789

“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...



Maxwell: "Theory of Heat", 1871

- ✓ 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 (Savner, Newcomen, Watt... aula passada)
- ✓ É uma forma de energia...

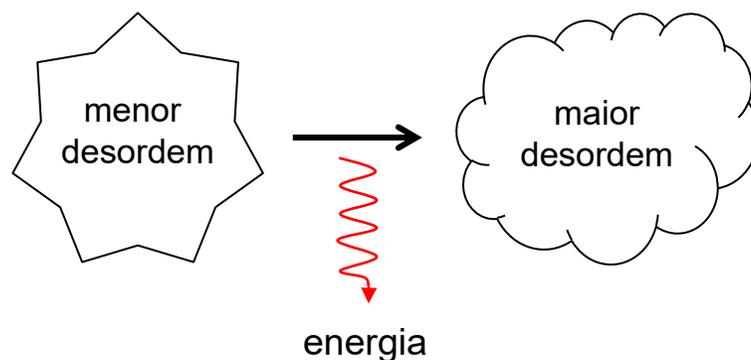


Boltzmann: 1886

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

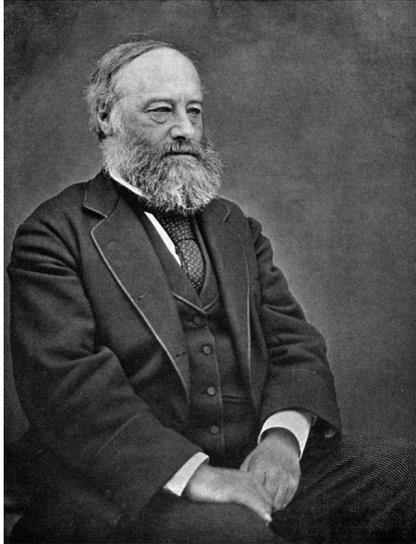
Viena Austria

- ✓ 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...



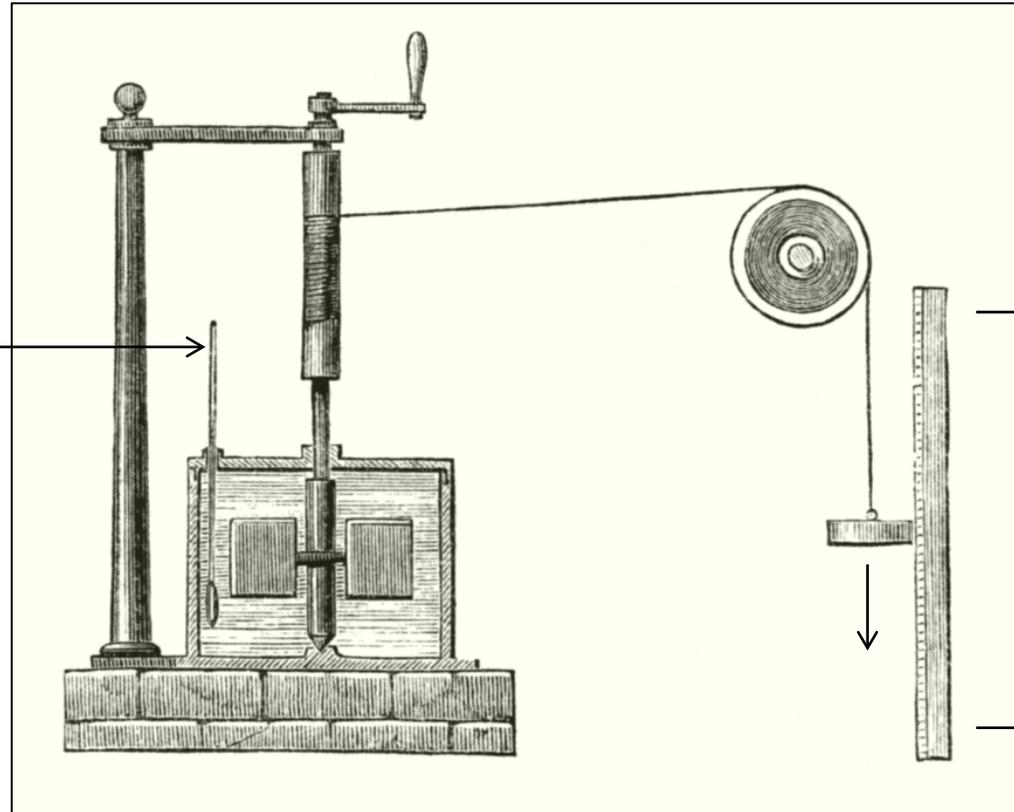
Conversão de trabalho mecânico em calor

EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR



James Prescott Joule, 1840

aumento de
energia térmica



gasto de energia
mecânica

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

Todo o trabalho mecânico é convertido em calor...

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



Q#1: calor e trabalho são forma de energia. Mas o que é energia ?

- A) Energia é a capacidade de realizar trabalho... (ChatGPT)
- B) É o efeito que se observa ao aquecermos um corpo material...
- C) É uma quantia abstrata que permite expressar leis físicas governantes de processos transformacionais...
- D) É um fluido imaginário associado à passagem do tempo...
- E) É impossível saber...

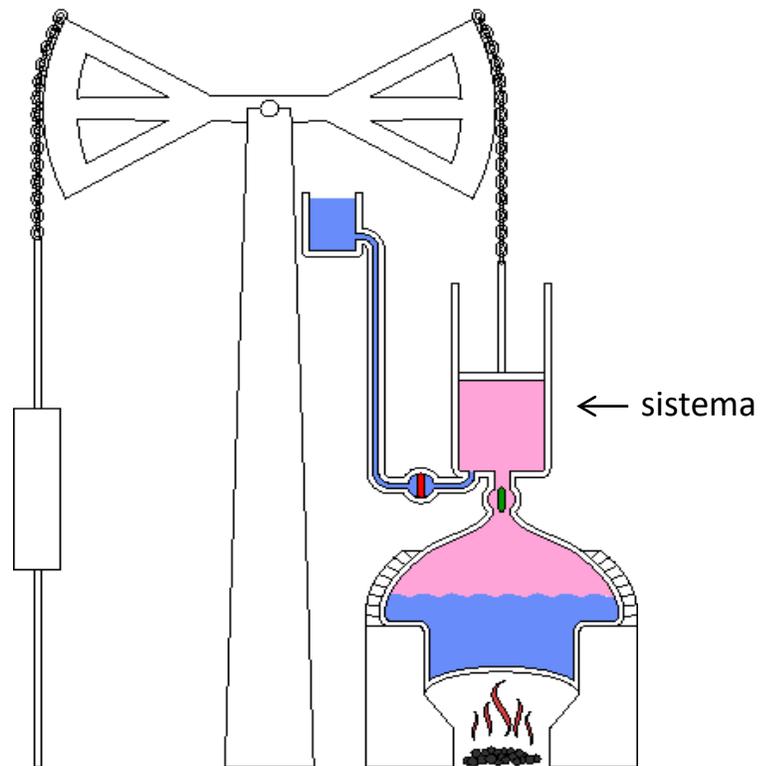
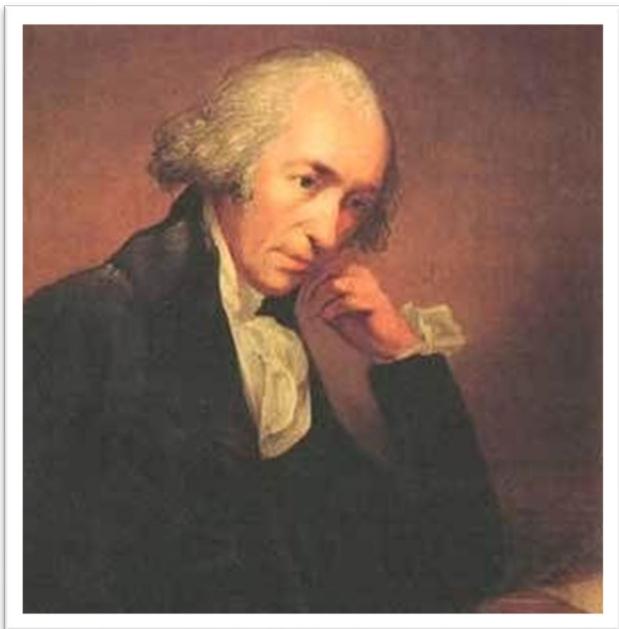


Chat GPT

Obs.: coloque esta pergunta no Chat GPT e solicite uma resposta em uma única frase.

1

Revisitando a máquina de Newcomen



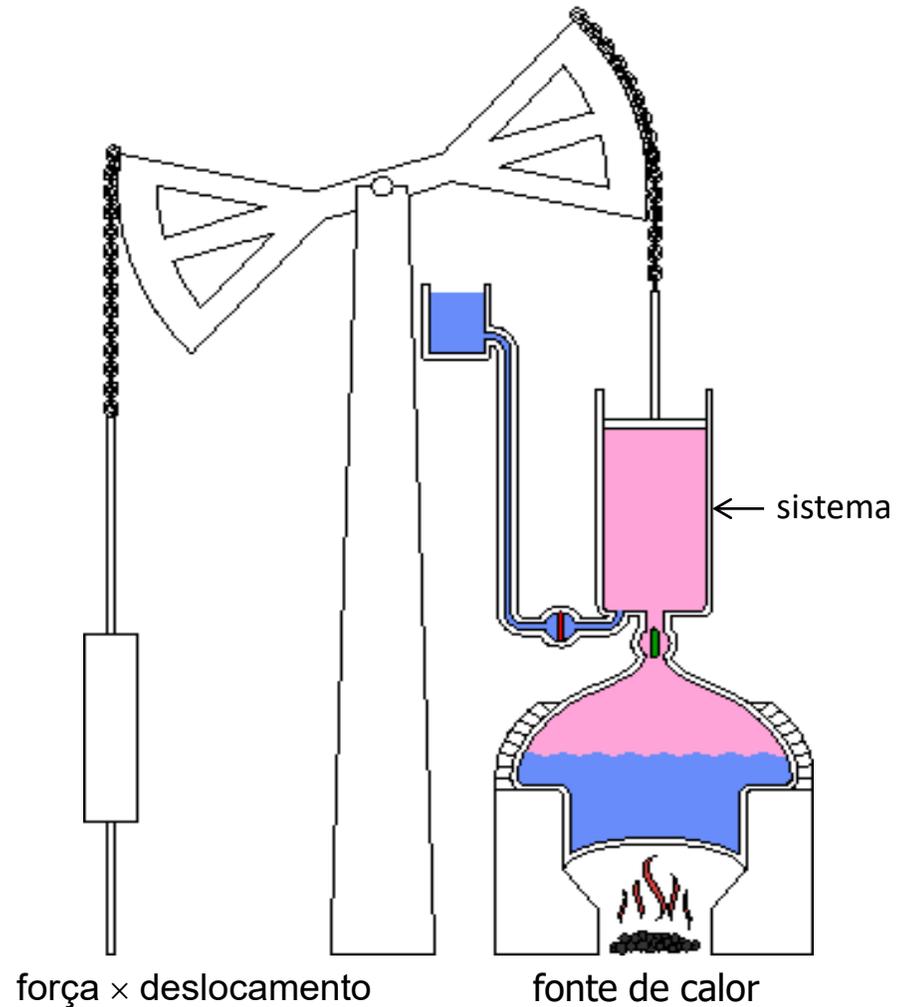
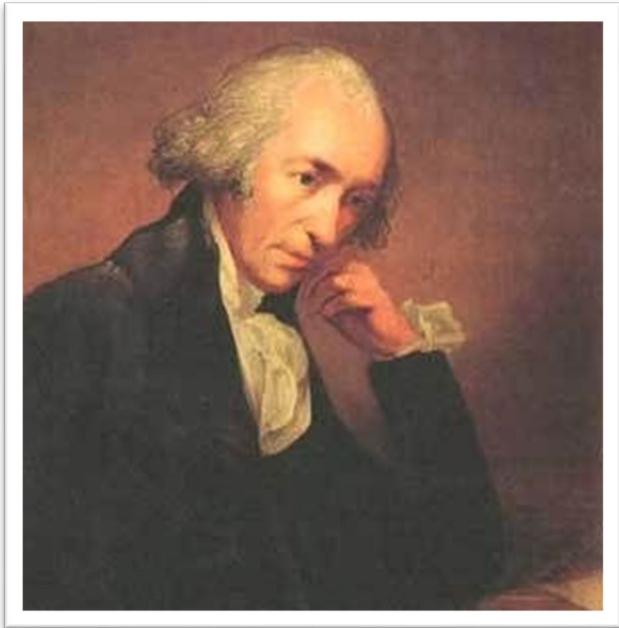
força \times deslocamento

fonte de calor

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**

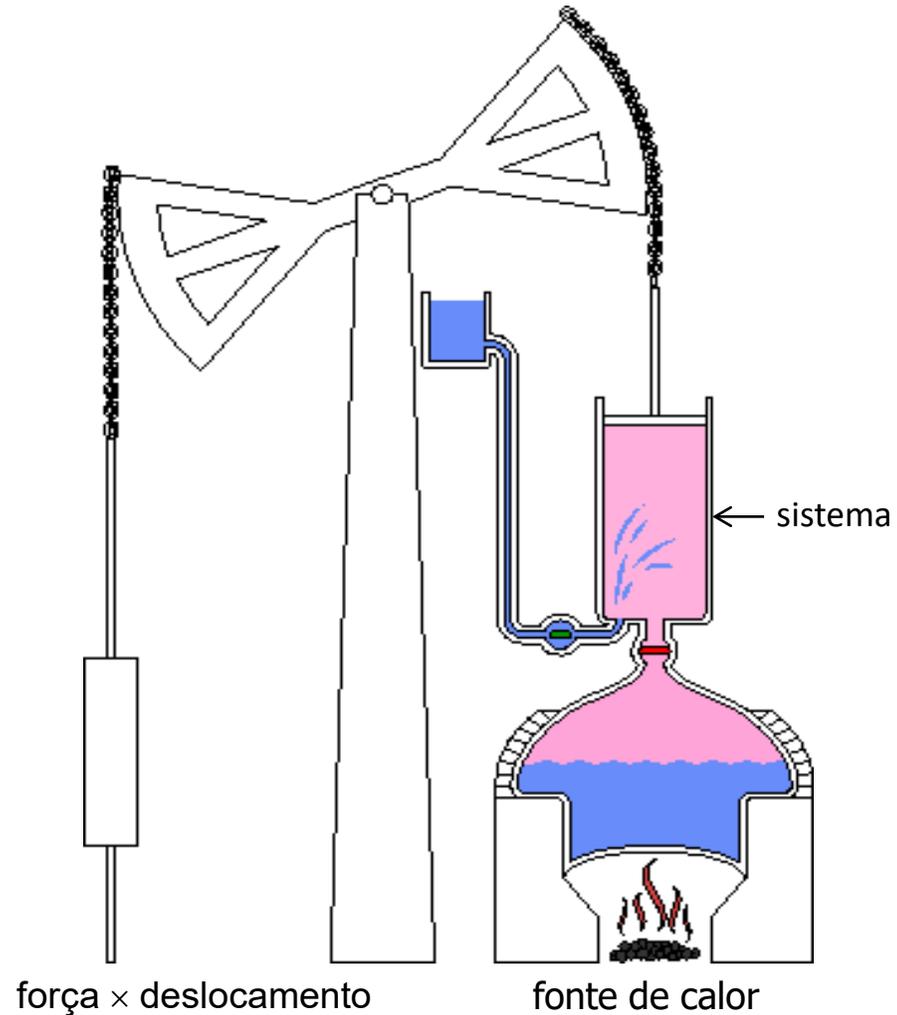
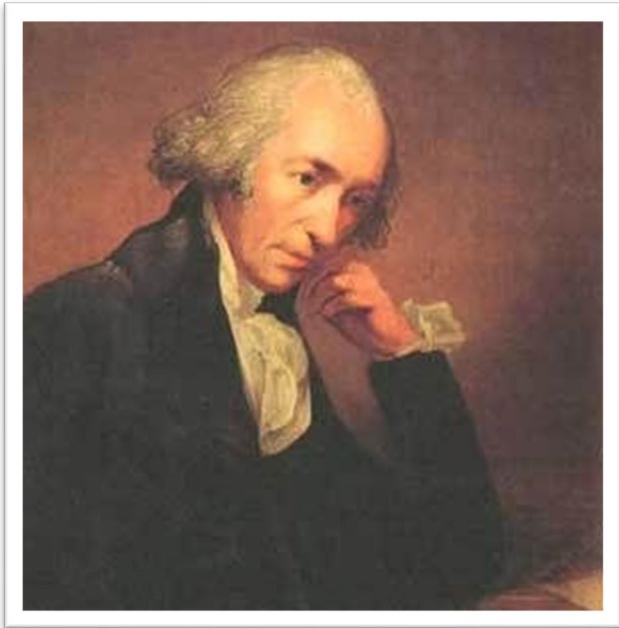
Revisitando a máquina de Newcomen



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**

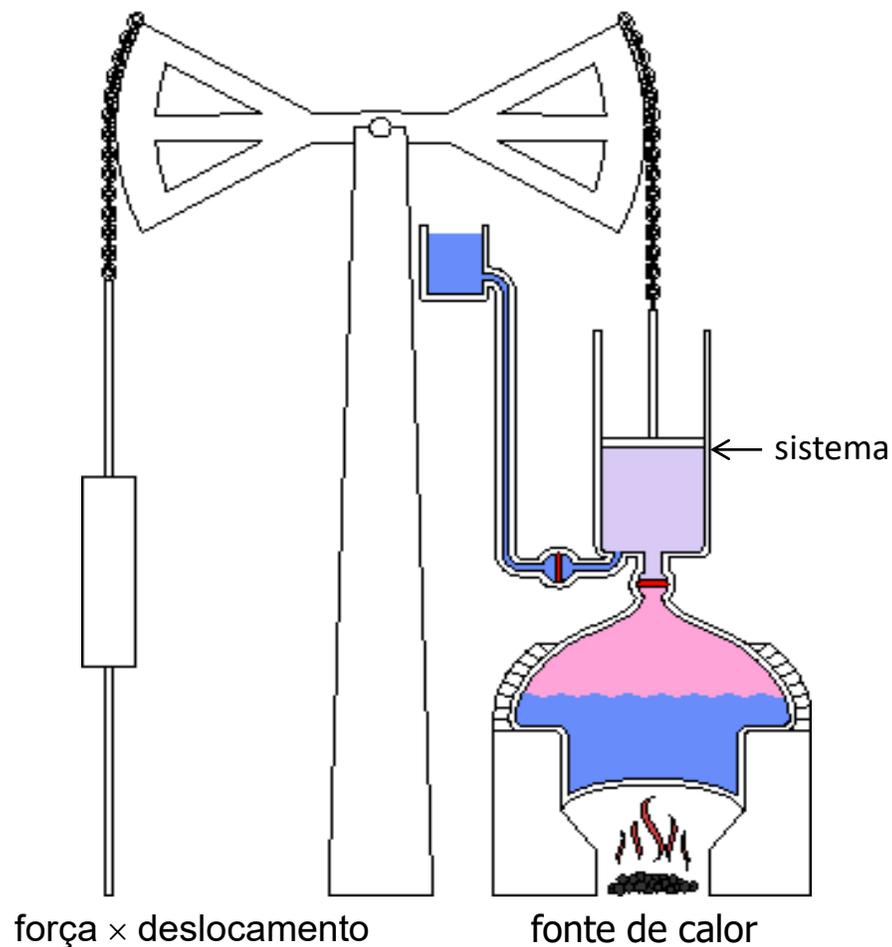
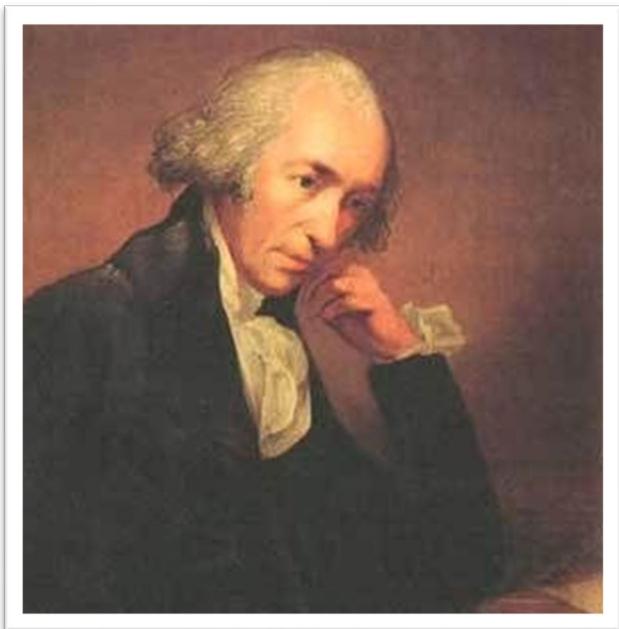
Revisitando a máquina de Newcomen



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**

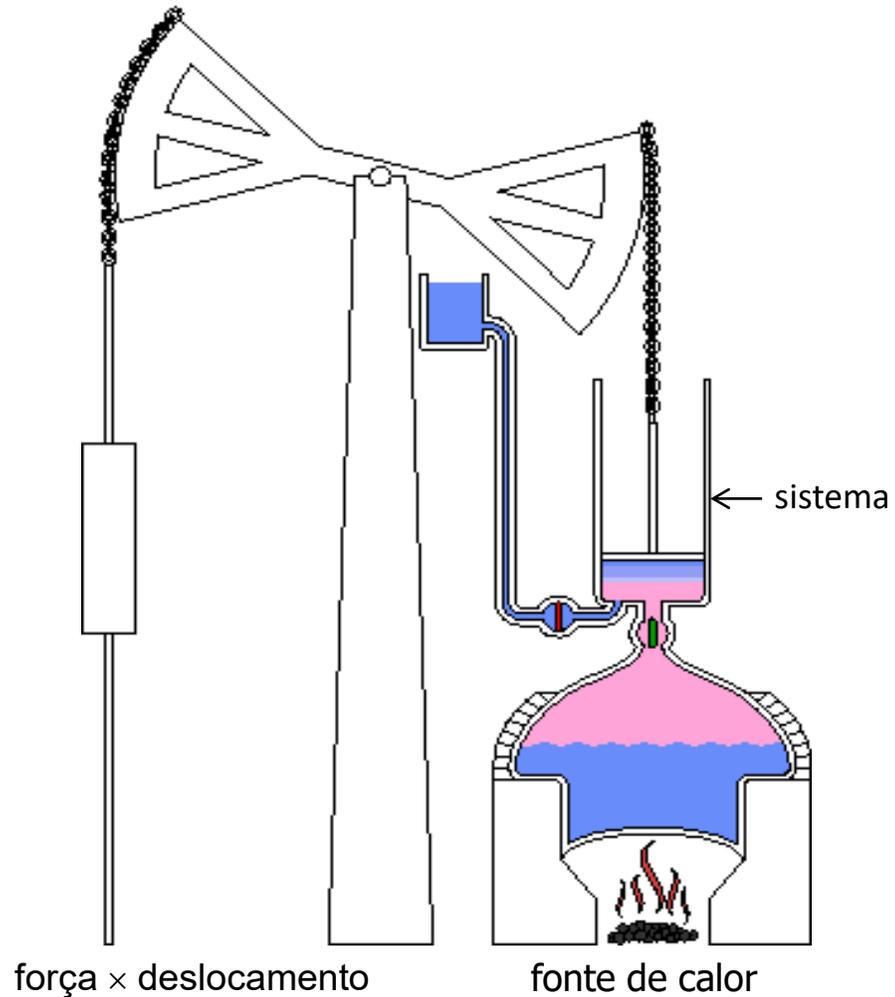
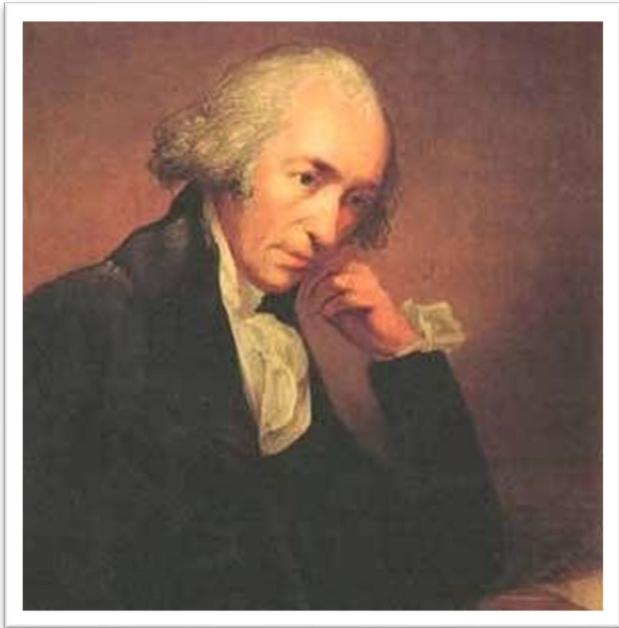
Revisitando a máquina de Newcomen



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**

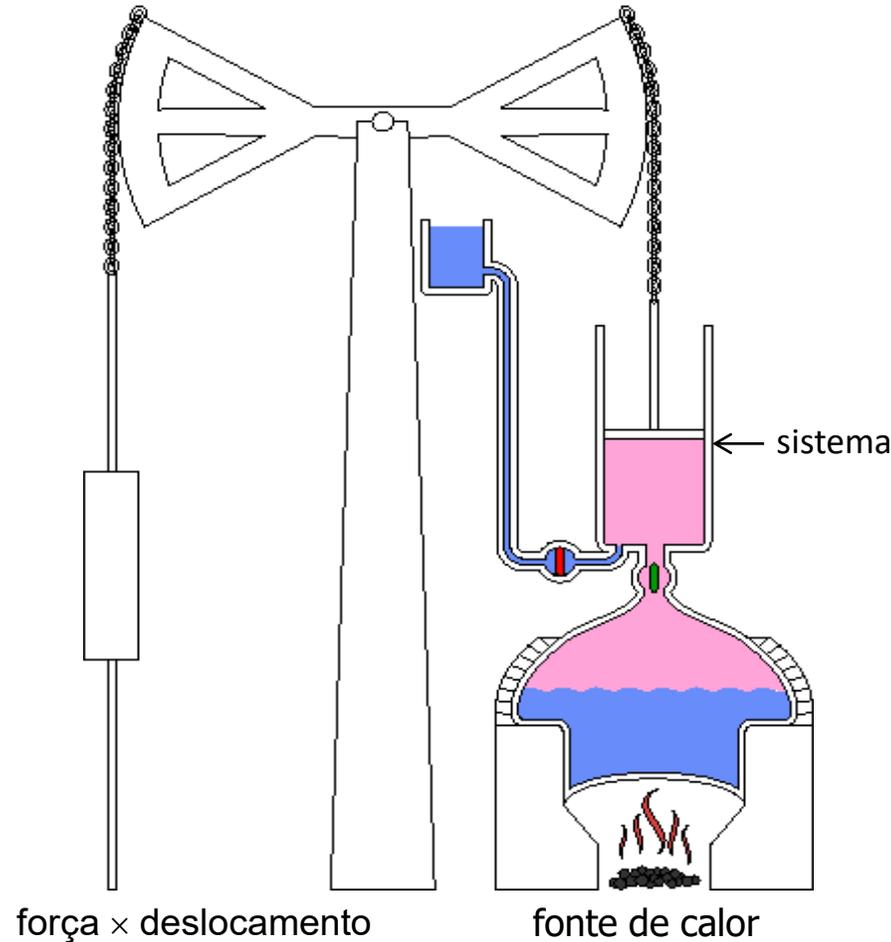
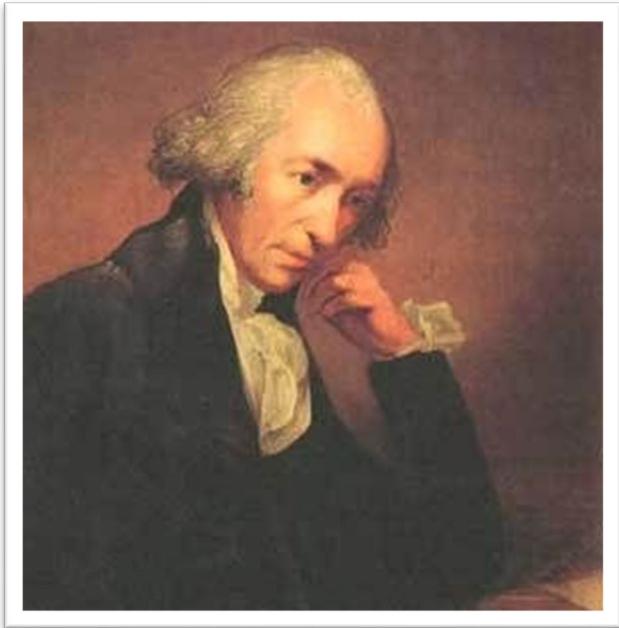
Revisitando a máquina de Newcomen



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**

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**

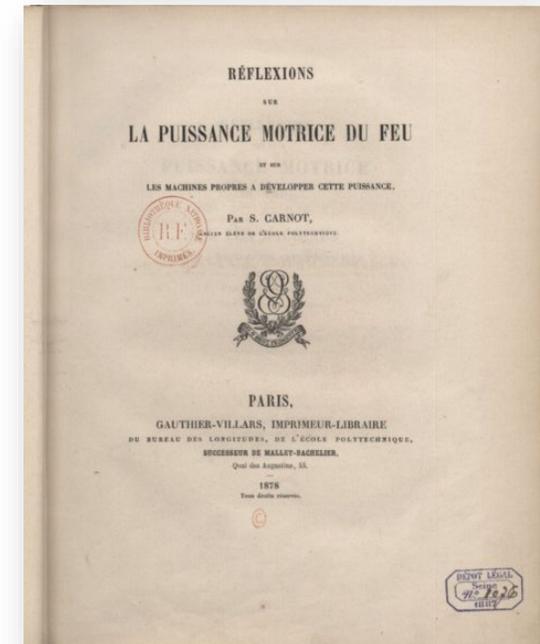
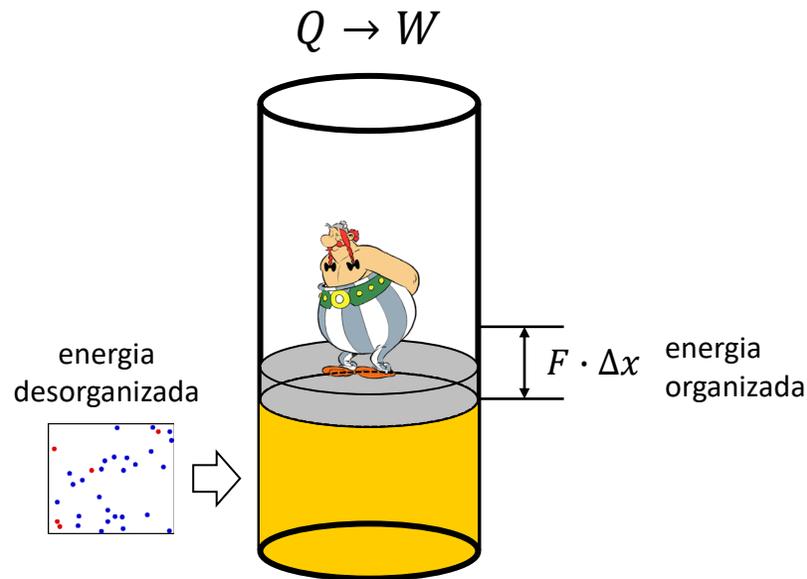
força × deslocamento

Algumas respostas às questões formuladas:



Nicolas Léonard Sadi Carnot
em 1824, aos 28 anos

- ✓ 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... (?!)**



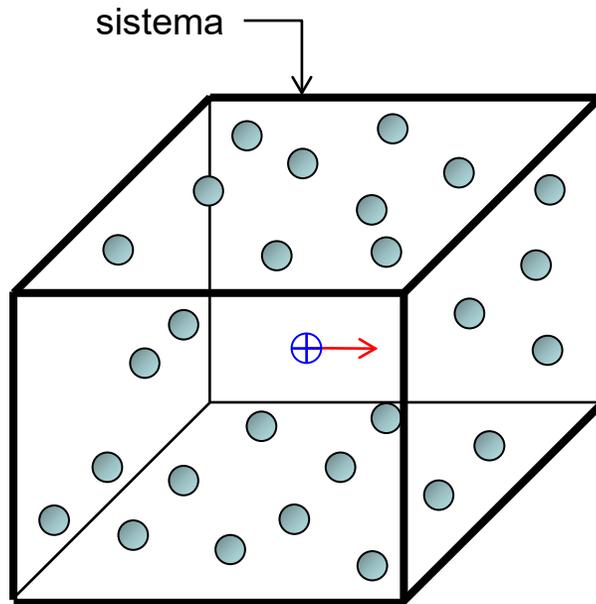
Diferentes formas de energia de um sistema

Formas macroscópicas

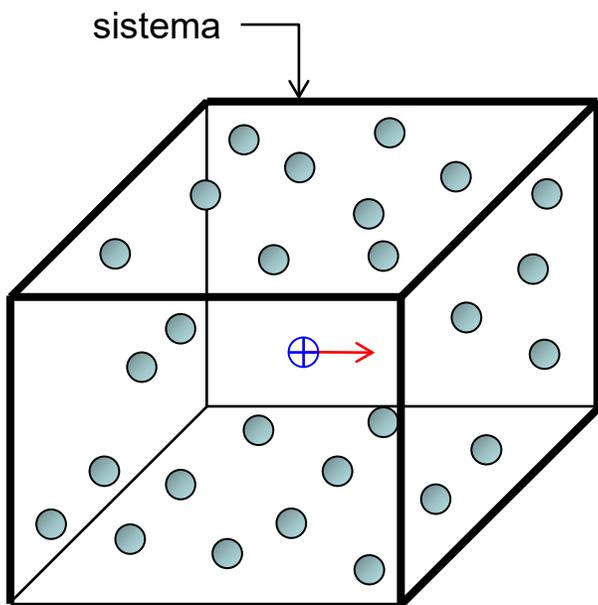
Energia associada ao centro de massa do sistema, relativa a um referencial inercial

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

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



Diferentes formas de energia de um sistema



Formas macroscópicas

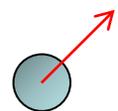
Energia associada ao centro de massa do sistema, relativa a um referencial inercial

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

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

Formas microscópicas

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



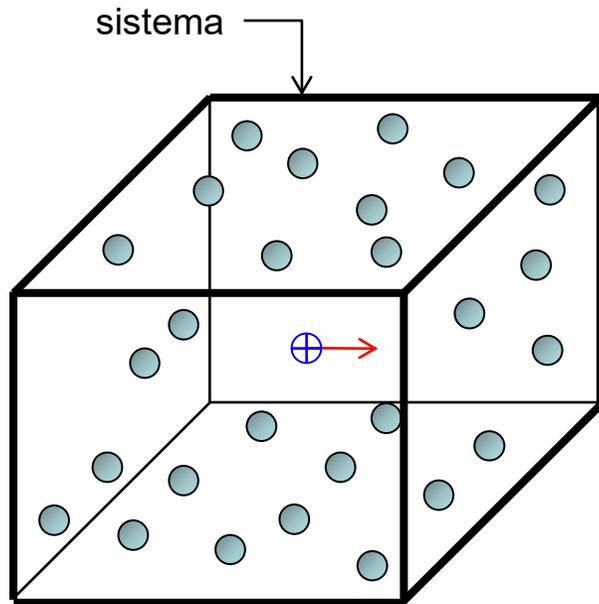
translação
molecular

$$(mV^2/2)_{\text{médio}} = \frac{3}{2} k \cdot T$$

$$\hookrightarrow U \stackrel{\text{GP}}{=} \frac{3}{2} k \cdot T$$



Diferentes formas de energia de um sistema



Formas macroscópicas

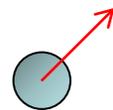
Energia associada ao centro de massa do sistema, relativa a um referencial inercial

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

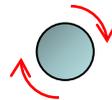
$$EP = mgZ \quad \longrightarrow \quad ep = gZ$$

Formas microscópicas

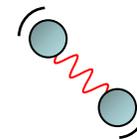
Energia associada à estrutura e ao nível de agitação molecular: energia interna "U"



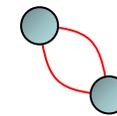
translação molecular



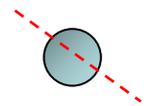
rotação molecular



vibração molecular



energia química



energia nuclear

Energia total de um sistema fechado

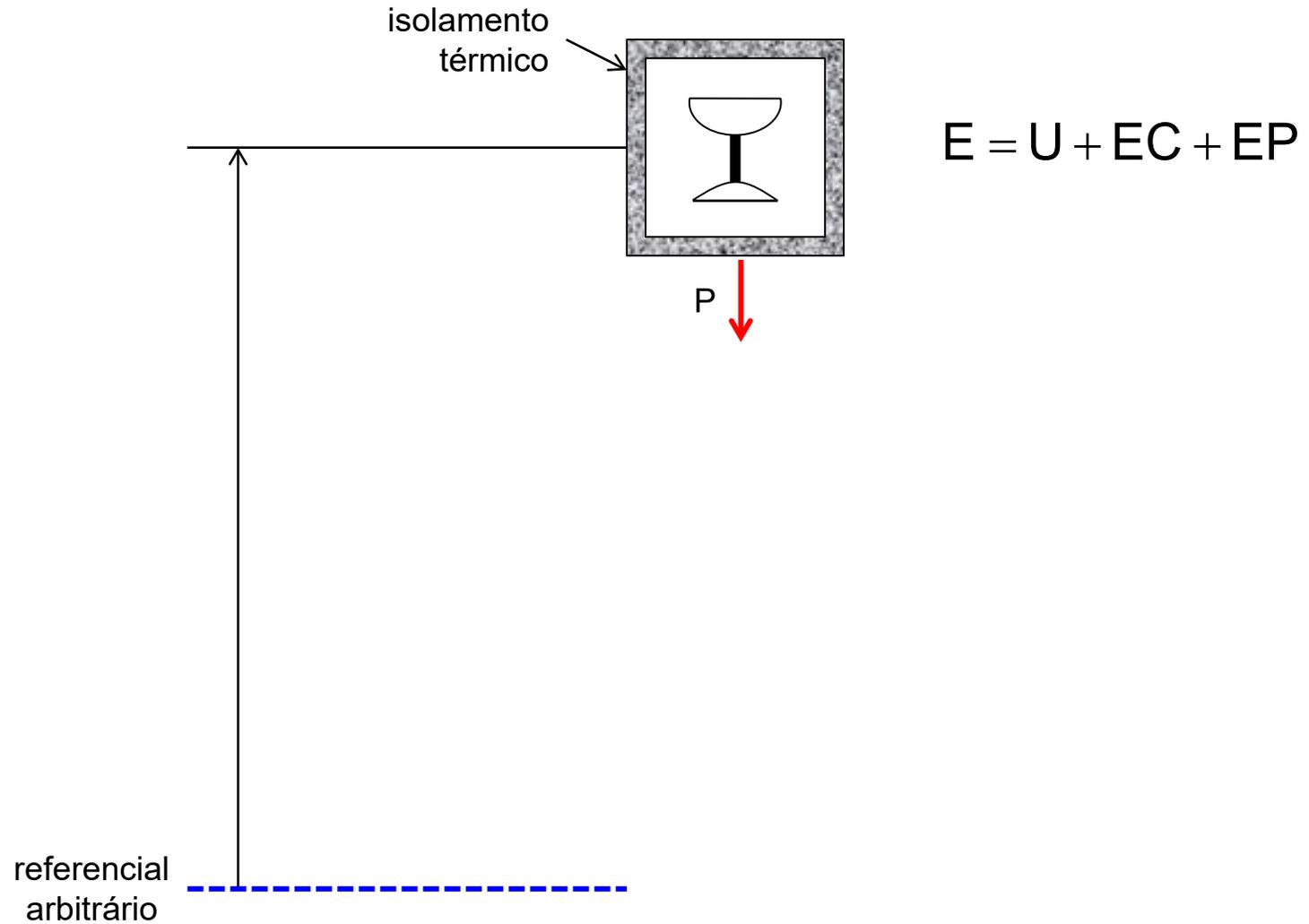
$$E = U + EC + EP$$

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

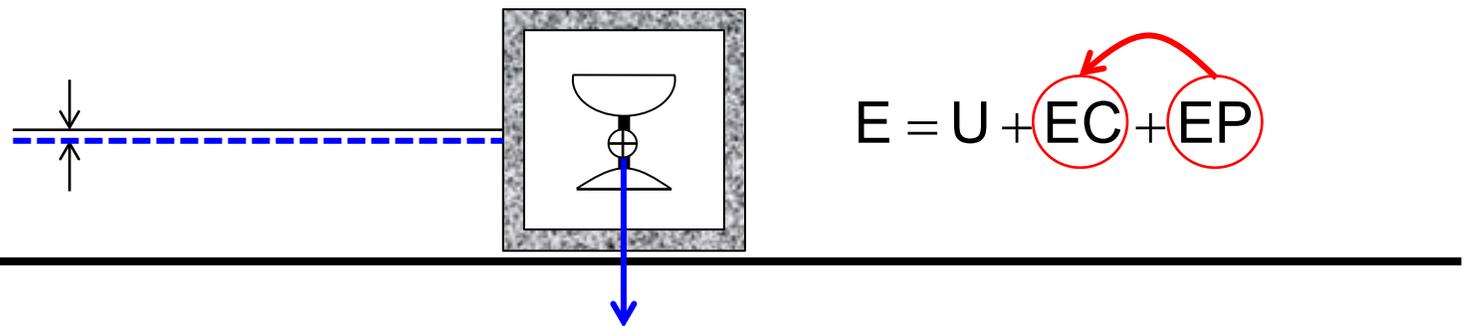
$$e = u + ec + ep$$

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

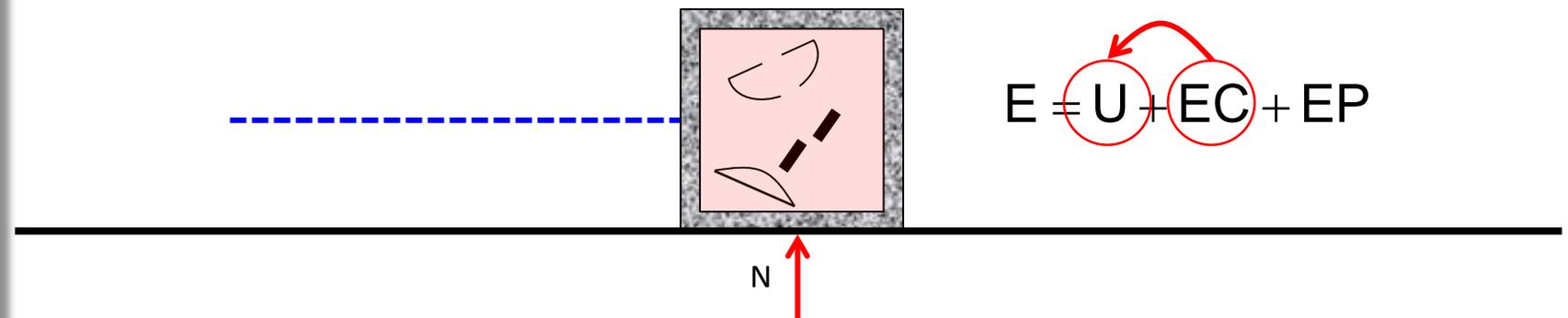
Exemplo: uma caixa em queda livre, contendo...



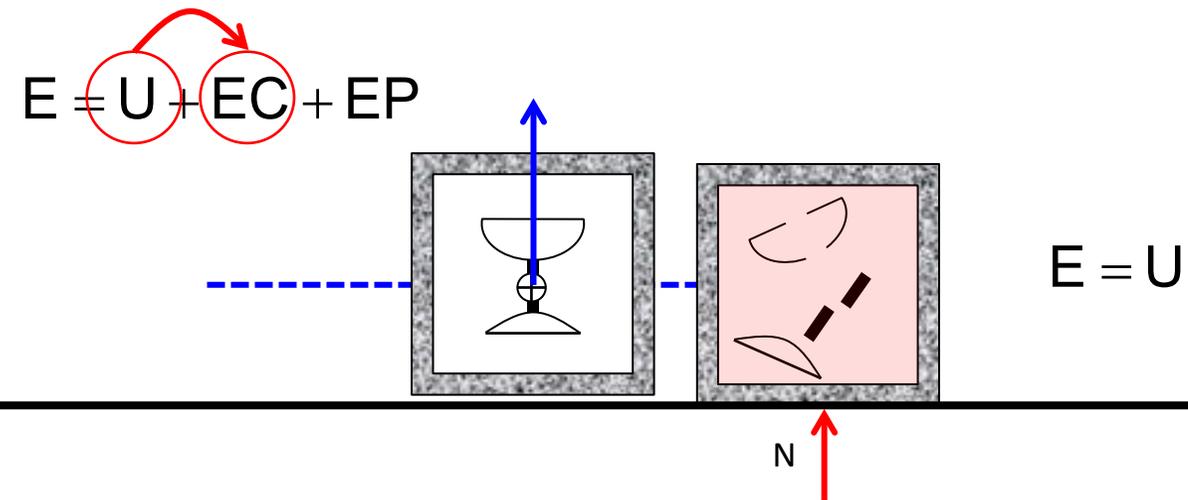
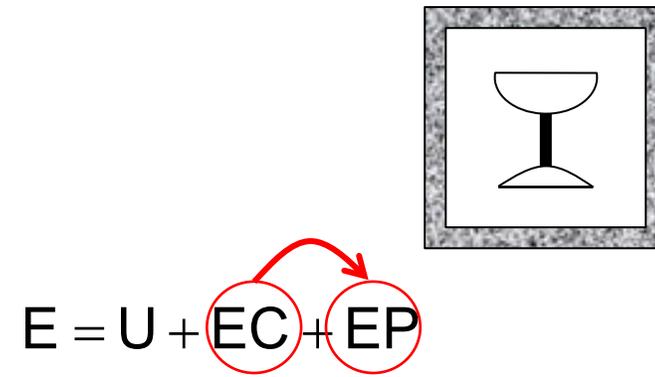
Exemplo: uma caixa em queda livre, contendo...



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



O PROCESSO INVERSO SERIA POSSÍVEL ?





Q#2: A energia interna (U) de uma substância está associada a que aspecto de seu estado ?

- A) À sua contribuição para o aquecimento global...
- B) Ao nível de agitação molecular translacional de suas partículas constituintes...
- C) À possibilidade de mudar de fase, passando de uma gás para um líquido...
- D) É um fluido imaginário associado à passagem do tempo...
- E) É impossível saber...



Chat GPT

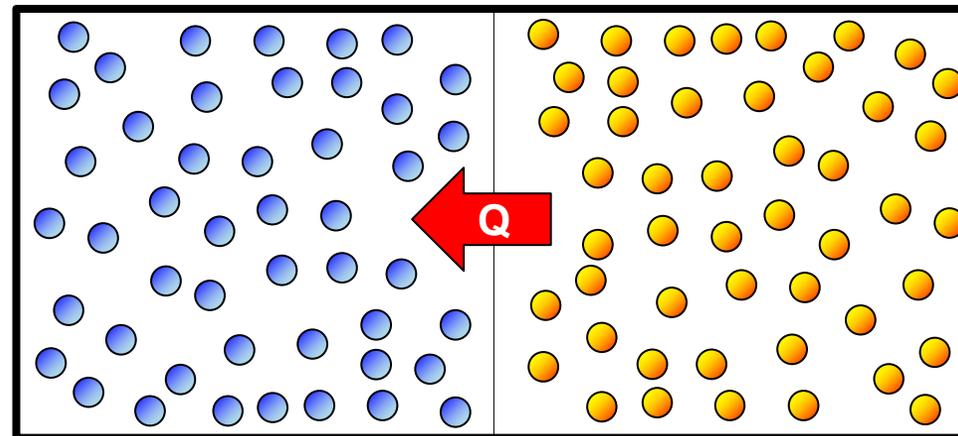
Obs.: coloque esta pergunta no Chat GPT e solicite uma resposta em uma única frase.

2

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

Transferência de energia na forma de calor

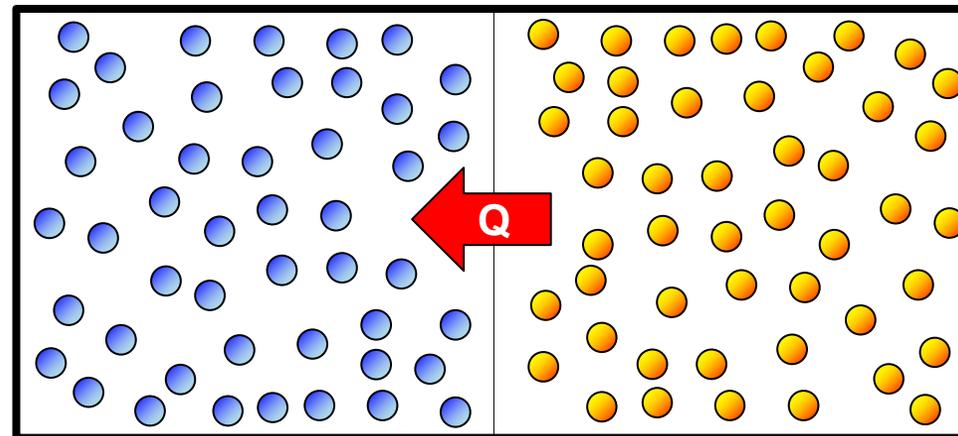
Dois sistemas em contato térmico, ou um sistema e sua vizinhança, a temperaturas diferentes tendem a equalizar seus níveis de agitação molecular...



$$T_1 < T_2$$

Transferência de energia na forma de calor

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

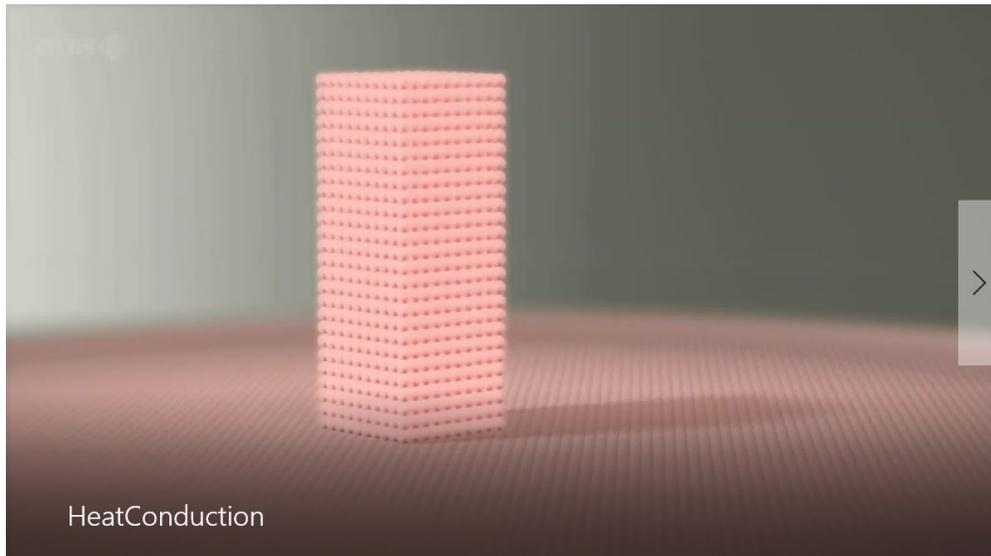


$$T_1 < T_2$$

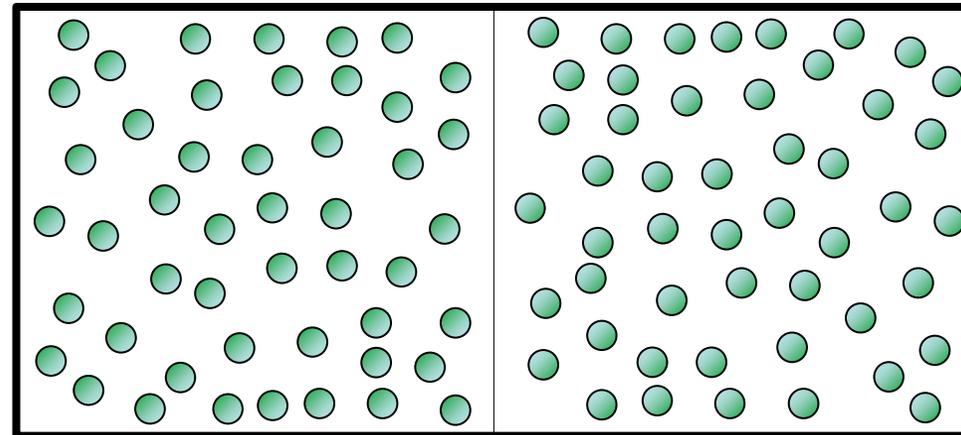
Jim Al-Khalili

Transferência de energia na forma de calor

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

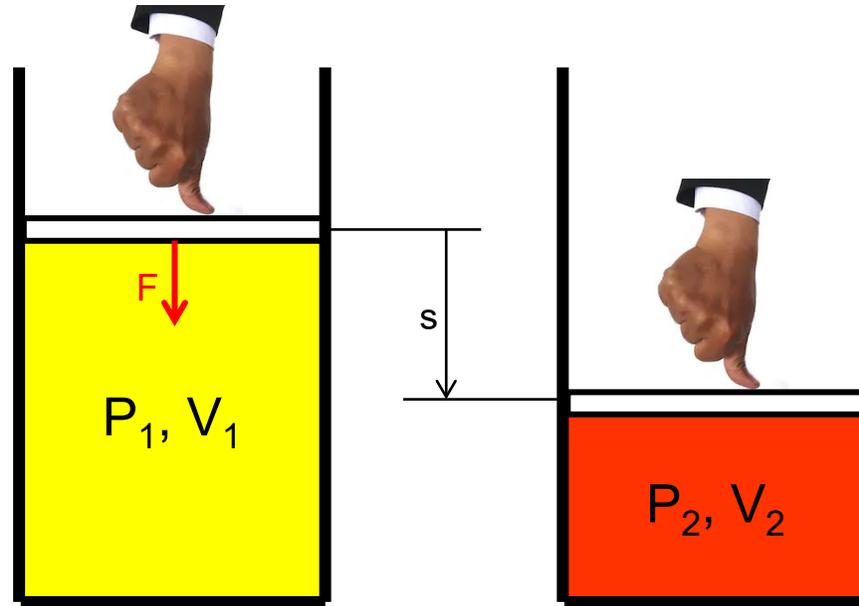


Jim Al-Khalili



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

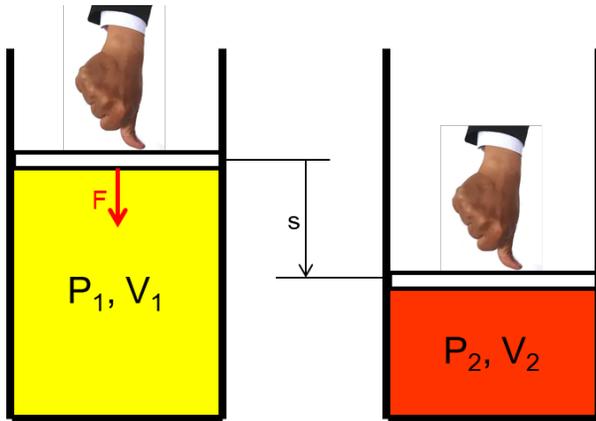
Transferência de energia na forma de trabalho mecânico



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

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

Transferência de energia na forma de trabalho mecânico



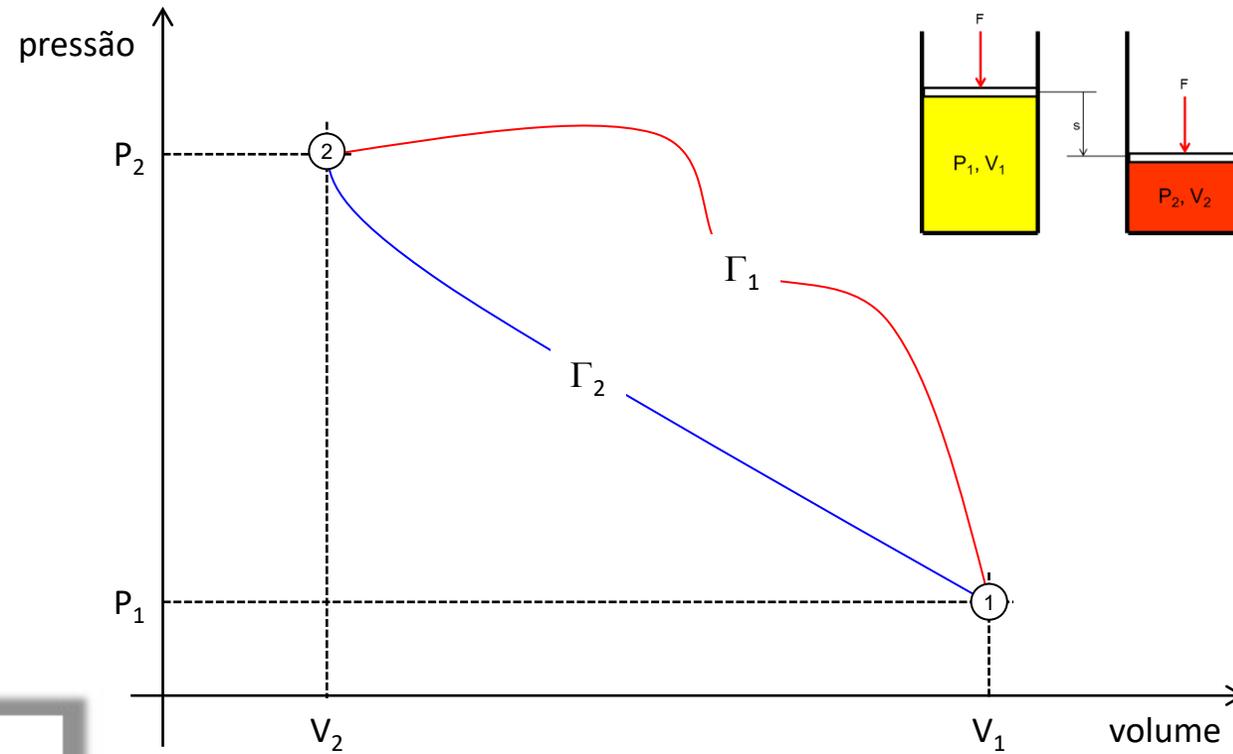
$$W = \int_1^2 F \cdot ds$$

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

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

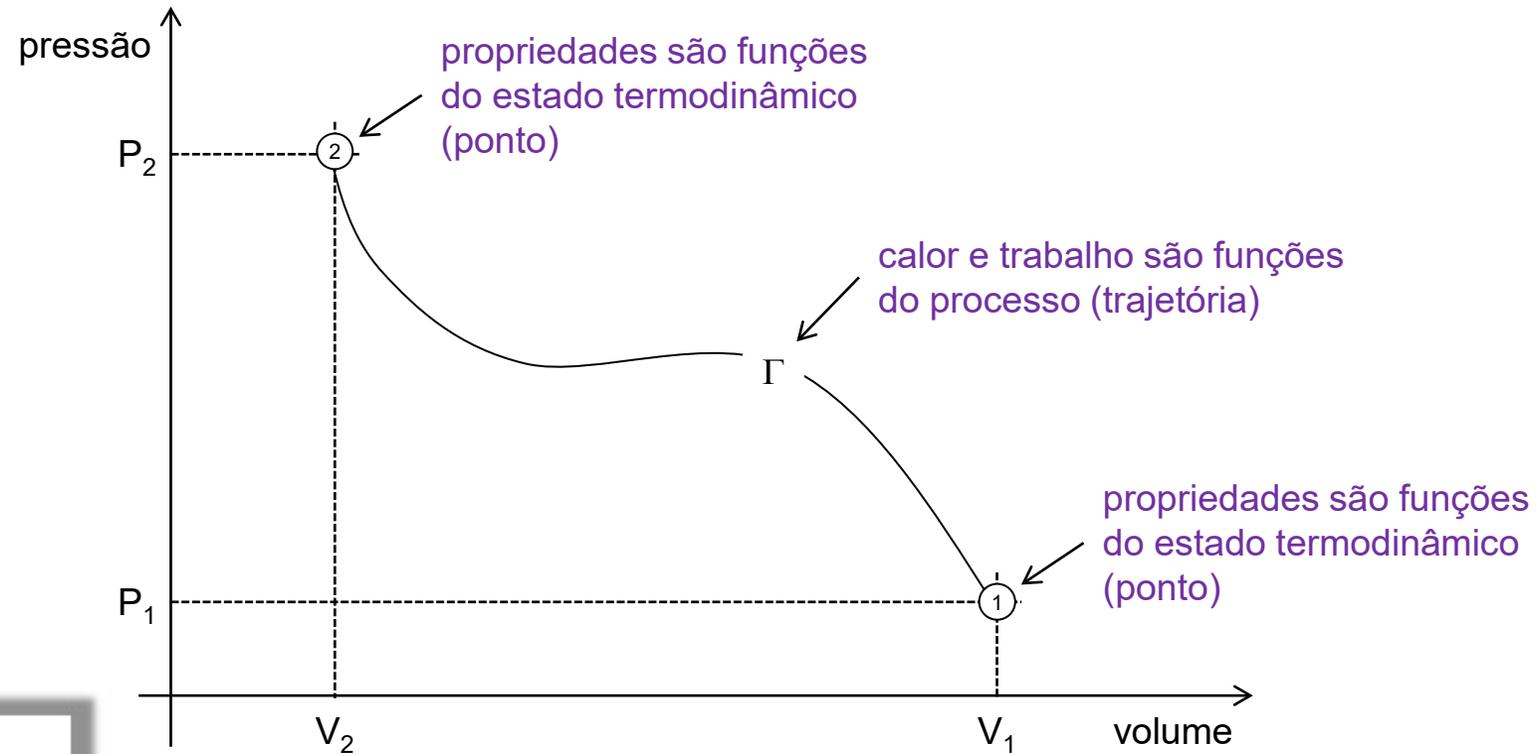
$$W = \int_1^2 P \cdot dV$$

Transferência de energia na forma de 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

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

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

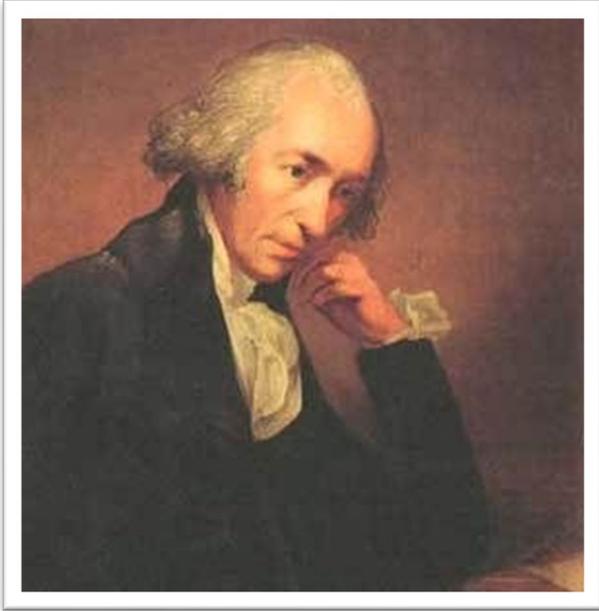
independe
da trajetória

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

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

a trajetória deve
ser especificada

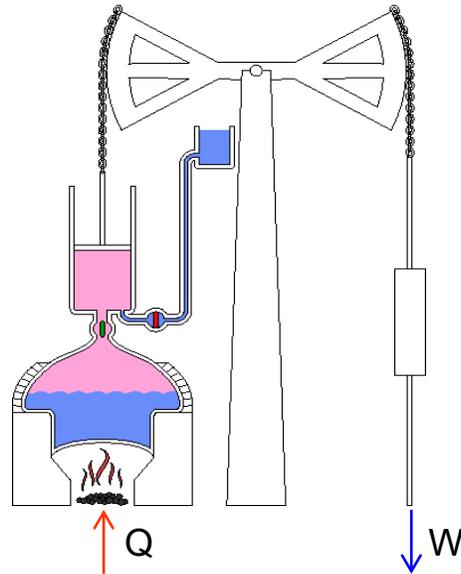
CALOR E TRABALHO PODEM SER “NEGATIVOS” ???



Thomas Newcomen

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



A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA...

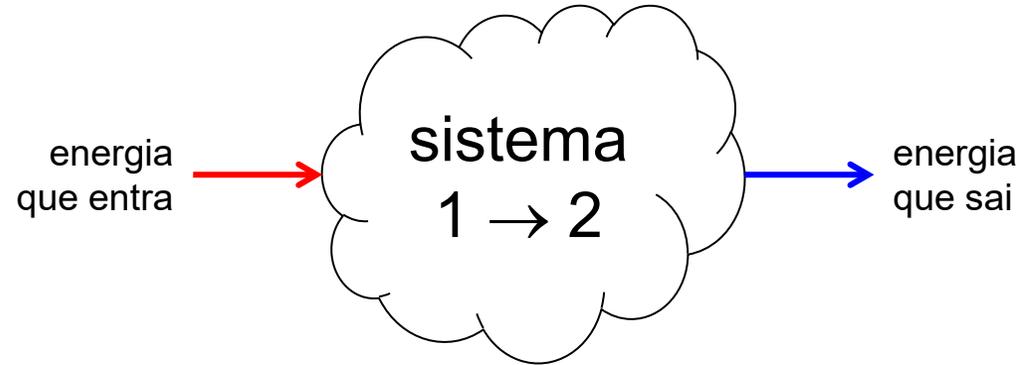
...princípio da conservação da energia !!!

Balanço de transações correntes...



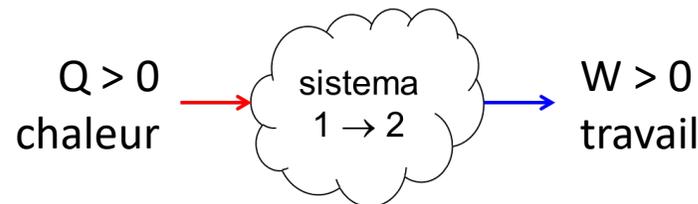
$$\left(\text{variação do saldo na conta} \right) = \left(\text{soma das receitas} \right) - \left(\text{soma das despesas} \right)$$

Princípio da conservação da energia: sistema fechado



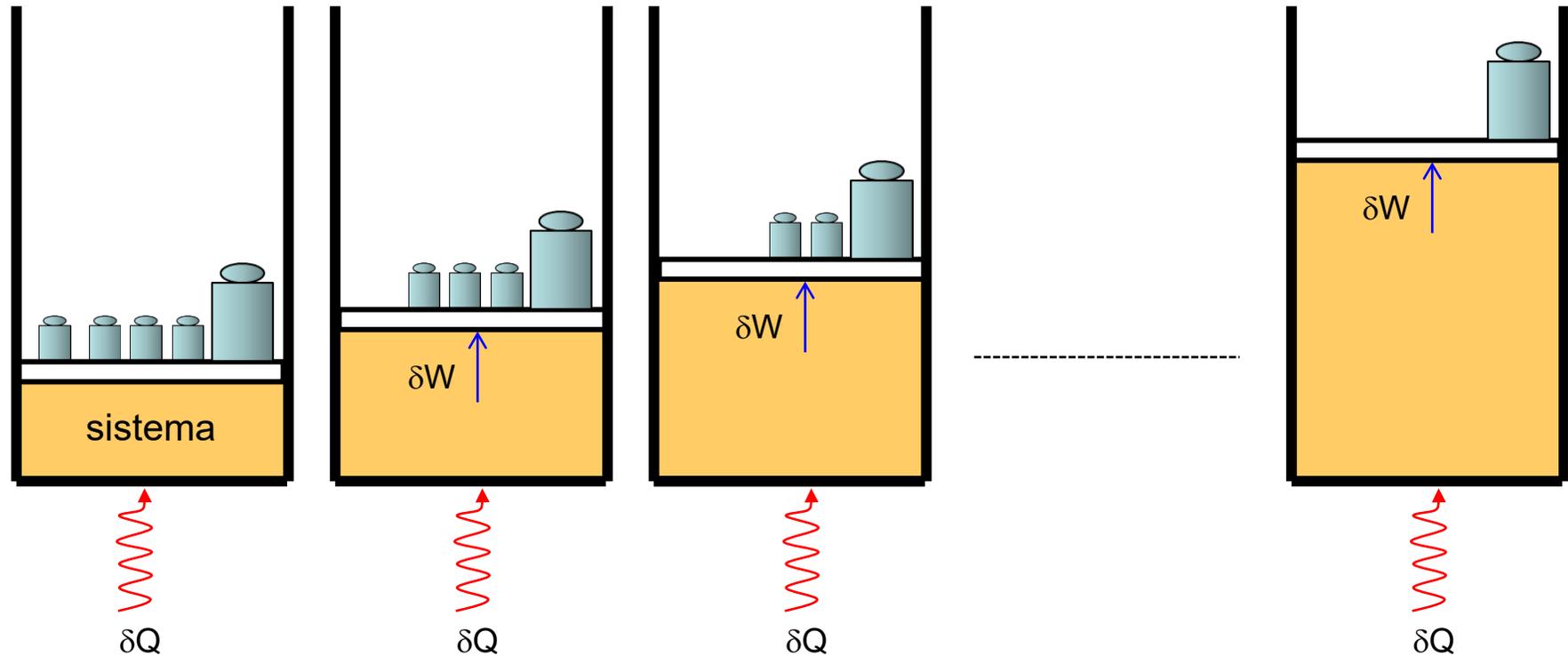
$$\Delta E = \Delta U + \Delta EC + \Delta EP$$

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



$$\Delta U = Q - W$$

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

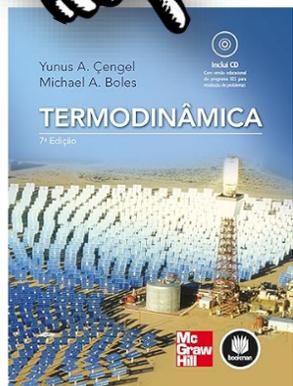
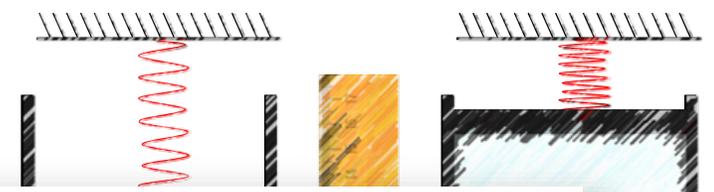
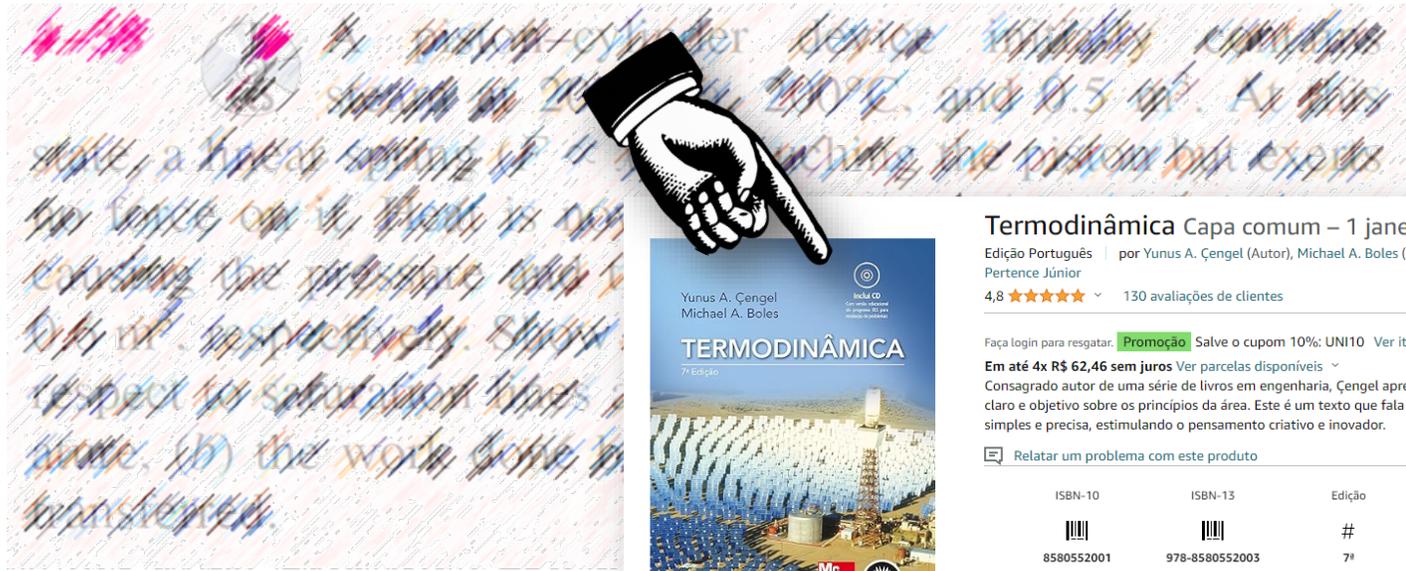
$$E = U + \cancel{EC} + \cancel{EP} \leftarrow \begin{array}{l} \text{sistema} \\ \text{estacionário} \end{array}$$

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

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

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

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



Seguir o autor

Yunus A. Çengel

Termodinâmica Capa comum – 1 janeiro 2013

Edição Portuguesa | por Yunus A. Çengel (Autor), Michael A. Boles (Autor), Paulo Maurício Costa Gomes (Tradutor), Antonio Pertence Júnior

4,8 130 avaliações de clientes [Ver todos os formatos e edições](#)

Faça login para resgatar. **Promoção** Salve o cupom 10%: UNI10 [Ver itens participantes](#)

Em até 4x R\$ 62,46 sem juros [Ver parcelas disponíveis](#)

Consagrado autor de uma série de livros em engenharia, Çengel apresenta na 7ª edição do seu Termodinâmica um texto claro e objetivo sobre os princípios da área. Este é um texto que fala diretamente com o engenheiro de amanhã, de maneira simples e precisa, estimulando o pensamento criativo e inovador.

[Relatar um problema com este produto](#)

| ISBN-10 | ISBN-13 | Edição | Editora | Data da publicação |
|------------|----------------|--------|---------|--------------------|
| 8580552001 | 978-8580552003 | # 7ª | AMGH | 1 janeiro 2013 |

Kindle **R\$ 237,26**
Disponível instantaneamente

Capa Comum **R\$ 249,75**

Outros Usado e Novo a partir de R\$ 175,00

Comprar novo: **R\$ 249,75**

De: R\$ 388,00

Você economiza: R\$ 138,25 (36%)

Entrega **GRÁTIS: 7 - 13 de Março**

Entregando em São Carlos, 13560000. [Atualizar local](#)

Em estoque

Quantidade: 1

Enviado por Amazon.com.br

Vendido por Amazon.com.br

Devolução Elegível para Devolução, Reembolso ou Troca em até 30 dias após o recebimento

Pagamento Transação segura

Sim, eu quero frete **GRÁTIS** para este pedido com o Amazon Prime

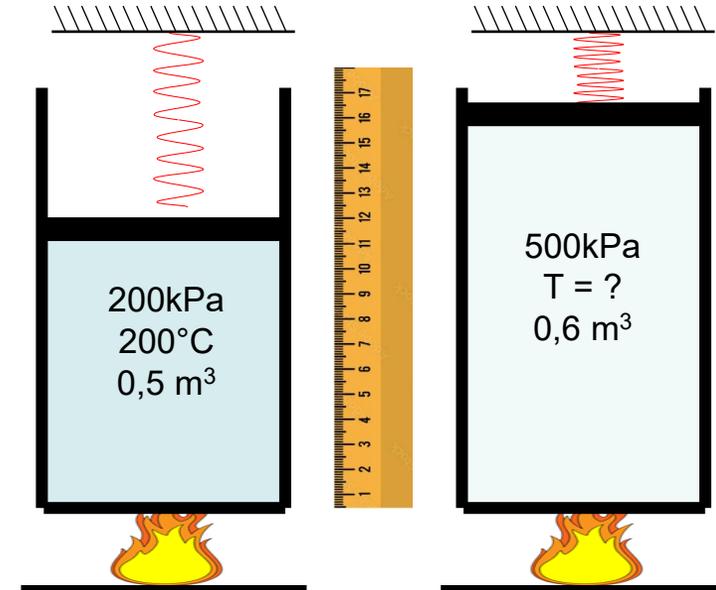
Comprar este item como presente



4-38



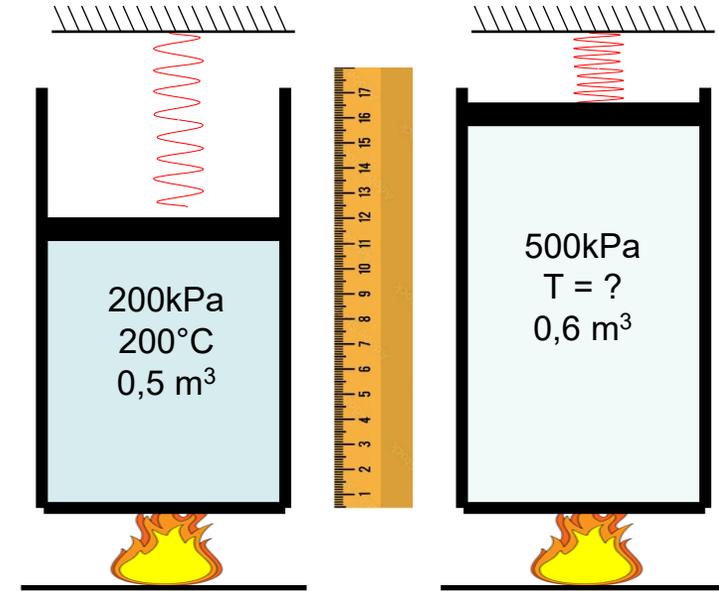
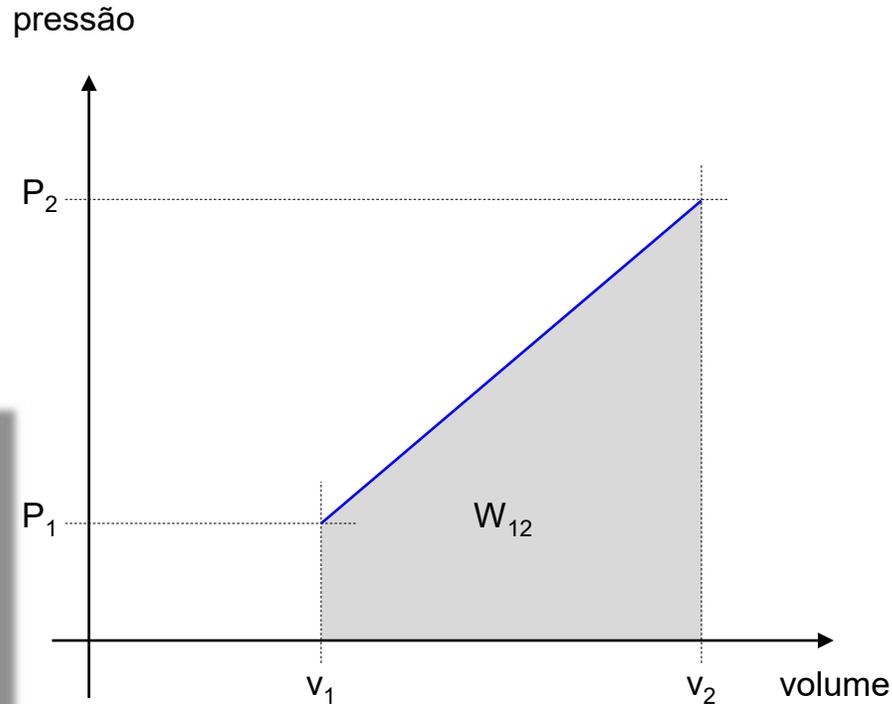
A piston–cylinder device initially contains steam at 200 kPa, 200°C, and 0.5 m³. At this state, a linear spring ($F \propto x$) is touching the piston but exerts no force on it. Heat is now slowly transferred to the steam, causing the pressure and the volume to rise to 500 kPa and 0.6 m³, respectively. Show the process on a P - v diagram with respect to saturation lines and determine (a) the final temperature, (b) the work done by the steam, and (c) the total heat transferred.



4-38



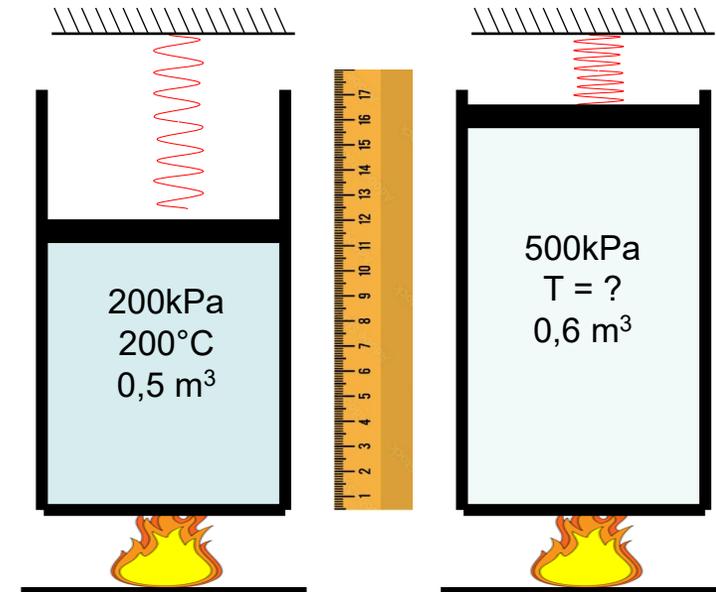
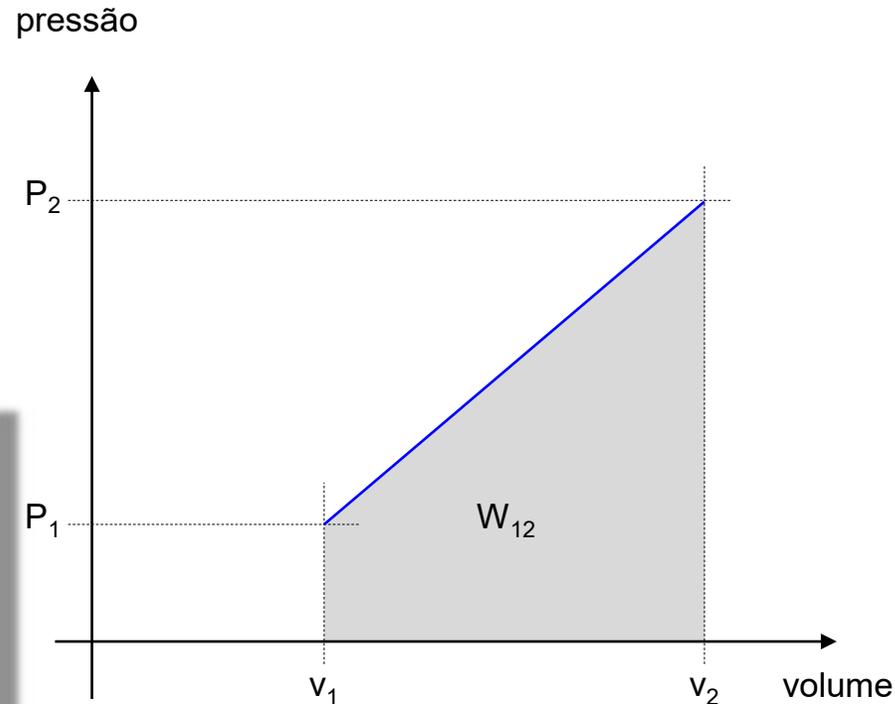
A piston–cylinder device initially contains steam at 200 kPa, 200°C, and 0.5 m³. At this state, a linear spring ($F \propto x$) is touching the piston but exerts no force on it. Heat is now slowly transferred to the steam, causing the pressure and the volume to rise to 500 kPa and 0.6 m³, respectively. Show the process on a P - v diagram with respect to saturation lines and determine (a) the final temperature, (b) the work done by the steam, and (c) the total heat transferred.



4-38



A piston–cylinder device initially contains steam at 200 kPa, 200°C, and 0.5 m³. At this state, a linear spring ($F \propto x$) is touching the piston but exerts no force on it. Heat is now slowly transferred to the steam, causing the pressure and the volume to rise to 500 kPa and 0.6 m³, respectively. Show the process on a P - v diagram with respect to saturation lines and determine (a) the final temperature, (b) the work done by the steam, and (c) the total heat transferred.



$$W_{12} = \int_{v_1}^{v_2} P dv = \Delta v \cdot \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right)$$

$$= (0,6 - 0,5) \left(\frac{200 + 500}{2} \right) = 0,1 \cdot 350$$

$$= 35 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 = 35 \text{ kJ}$$

$$\Delta U = Q_{12} - W_{12} \dots$$

$$\begin{array}{l}
 P_1 = 200 \text{ kPa} \\
 T_1 = 200^\circ \text{C}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} P_1 \\ T_1 \end{array}} \right\} \rightarrow
 \begin{array}{l}
 v_1 = 1,0805 \text{ m}^3/\text{kg} \\
 u_1 = 2654,6 \text{ kJ/kg}
 \end{array}
 \quad U_1 = 0,4627 \text{ kg} \cdot 2654,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1228,28 \text{ kJ}$$

$$m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0,5 \text{ m}^3}{1,0805 \text{ m}^3/\text{kg}} = 0,4627 \text{ kg}$$

$$v_2 = \frac{V_2}{m} = \frac{0,6 \text{ m}^3}{0,4627 \text{ kg}} = 1,2967 \text{ m}^3/\text{kg}$$

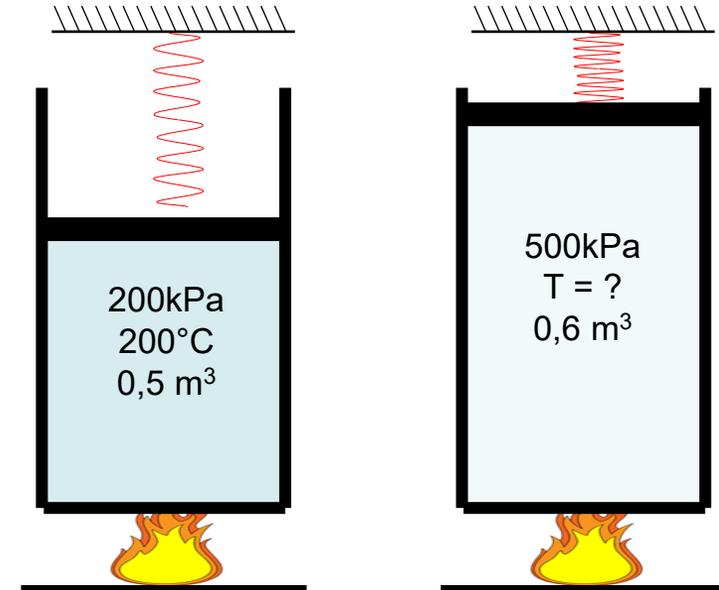
$$\begin{array}{l}
 P_2 = 500 \text{ kPa} \\
 v_2 = 1,2967 \text{ m}^3/\text{kg}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} P_2 \\ v_2 \end{array}} \right\} \rightarrow
 \begin{array}{l}
 T_2 = 1131,8^\circ \text{C} \\
 u_2 = 4325,5 \text{ kJ/kg}
 \end{array}
 \rightarrow U_2 = 0,4627 \text{ kg} \cdot 4325,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} =$$

$$= 2001,41 \text{ kJ}$$

4-38



A piston–cylinder device initially contains steam at 200 kPa, 200°C, and 0.5 m³. At this state, a linear spring ($F \propto x$) is touching the piston but exerts no force on it. Heat is now slowly transferred to the steam, causing the pressure and the volume to rise to 500 kPa and 0.6 m³, respectively. Show the process on a P - v diagram with respect to saturation lines and determine (a) the final temperature, (b) the work done by the steam, and (c) the total heat transferred. *Answers: (a) 1132°C, (b) 35 kJ, (c) 808 kJ*

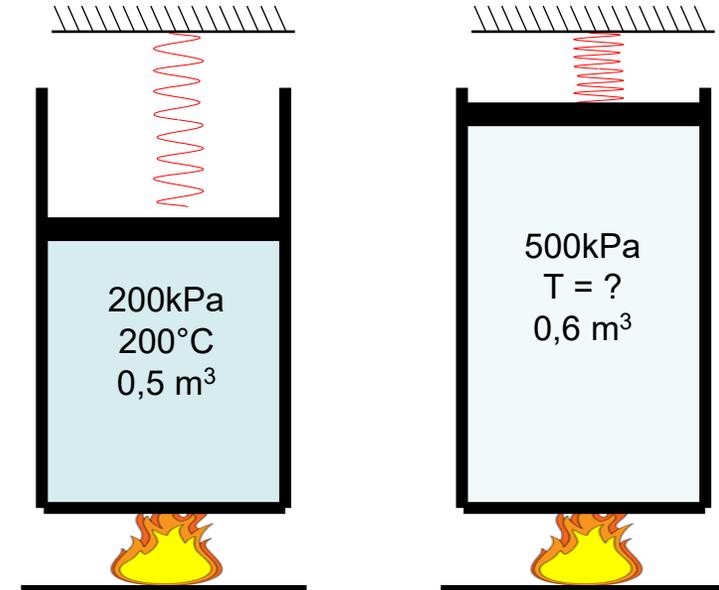


$$\Delta U = Q_{12} - W_{12}$$

4-38



A piston-cylinder device initially contains steam at 200 kPa, 200°C, and 0.5 m³. At this state, a linear spring ($F \propto x$) is touching the piston but exerts no force on it. Heat is now slowly transferred to the steam, causing the pressure and the volume to rise to 500 kPa and 0.6 m³, respectively. Show the process on a P - v diagram with respect to saturation lines and determine (a) the final temperature, (b) the work done by the steam, and (c) the total heat transferred. *Answers: (a) 1132°C, (b) 35 kJ, (c) 808 kJ*



Ans:

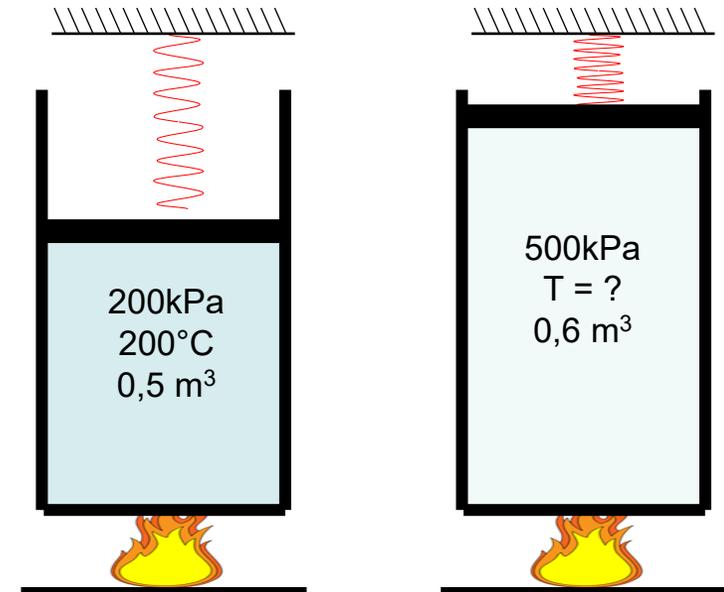
$$\Delta U = Q_{12} - W_{12}$$

$$2001,41 - 1228,23 = Q_{12} - 35 \text{ kJ}$$

4-38



A piston-cylinder device initially contains steam at 200 kPa, 200°C, and 0.5 m³. At this state, a linear spring ($F \propto x$) is touching the piston but exerts no force on it. Heat is now slowly transferred to the steam, causing the pressure and the volume to rise to 500 kPa and 0.6 m³, respectively. Show the process on a P - v diagram with respect to saturation lines and determine (a) the final temperature, (b) the work done by the steam, and (c) the total heat transferred. *Answers: (a) 1132°C, (b) 35 kJ, (c) 808 kJ*



Ans.

$$\Delta U = Q_{12} - W_{12}$$

$$2001,41 - 1228,23 = Q_{12} - 35 \text{ kJ}$$

$$Q_{12} = 808,13 \text{ kJ}$$

Por que a energia se conserva ?



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



Curso aberto: Introdução à Engenharia Aeroespacial - Prof. Seleglim, Universidade de São Paulo
 Vídeo de lançamento do curso aberto e gratuito: "Introdução à Engenharia Aeroespacial" - Prof. Seleglim, Universidade de São Paulo - USP. Formulário de pré-inscrição = ...

Aula 1/10: Os foguetes e os lançamentos orbitais – análise da missão CRS20 (Falcon 9)
 Link para os questionários relâmpago (pop quizzes) = <https://forms.gle/nP2cN5uXwi5MaaQTA>
 Programação das aulas 20/11/2023 Os foguetes e os lançamentos orbitais – análise da missão...

Aula 2/10: É possível alcançar o espaço sem um foguete? (Canhões, Elevadores, Aviões Es...)
 Link para os questionários relâmpago (pop quizzes) = <https://forms.gle/nP2cN5uXwi5MaaQTA>
 Programação das aulas 20/11/2023 Os foguetes e os lançamentos orbitais – análise da missão...

Aula 3/10: Projeto conceitual de um foguete – otimização do estagiamento + tutorial de cál...
 Link para os questionários relâmpago (pop quizzes) = <https://forms.gle/nP2cN5uXwi5MaaQTA>
 Programação das aulas 20/11/2023 Os foguetes e os lançamentos orbitais – análise da missão...

Aula 4/10: Projeto conceitual de um foguete – otimização da trajetória de lançamento
 Link para os questionários relâmpago (pop quizzes) = <https://forms.gle/nP2cN5uXwi5MaaQTA>
 Programação das aulas 20/11/2023 Os foguetes e os lançamentos orbitais – análise da missão...

Aula 5/10: Projeto conceitual de um foguete – motores termoquímicos e bocais
 Link para os questionários relâmpago (pop quizzes) = <https://forms.gle/nP2cN5uXwi5MaaQTA>
 Programação das aulas 20/11/2023 Os foguetes e os lançamentos orbitais – análise da missão...

Aula 6/10: Projeto conceitual de um foguete – tecnologias de propulsão e combustíveis
 Link para os questionários relâmpago (pop quizzes) = <https://forms.gle/nP2cN5uXwi5MaaQTA>
 Programação das aulas 20/11/2023 Os foguetes e os lançamentos orbitais – análise da missão...

Aula 7/10: A reentrada orbital e tecnologias de pouso controlado (não espatifado)
 Link para os questionários relâmpago (pop quizzes) = <https://forms.gle/nP2cN5uXwi5MaaQTA>
 Programação das aulas 20/11/2023 Os foguetes e os lançamentos orbitais – análise da missão...

Aula 8/10: Mecânica orbital – equações de trabalho e manobras orbitais 1/2
 Link para os questionários relâmpago (pop quizzes) = <https://forms.gle/nP2cN5uXwi5MaaQTA>
 Programação das aulas 20/11/2023 Os foguetes e os lançamentos orbitais – análise da missão...

Aula 9/10 - Mecânica orbital – equações de trabalho e manobras orbitais 2/2
 Link para os questionários relâmpago (pop quizzes) = <https://forms.gle/nP2cN5uXwi5MaaQTA>
 Programação das aulas 20/11/2023 Os foguetes e os lançamentos orbitais – análise da missão...

Aula 10/10 - Projeto conceitual de uma colônia espacial – sistemas de sustentação da vida
 Link para os questionários relâmpago (pop quizzes) = <https://forms.gle/nP2cN5uXwi5MaaQTA>
 Programação das aulas 20/11/2023 Os foguetes e os lançamentos orbitais – análise da missão...

COMO VIAJAR PARA OUTROS SISTEMAS SOLARES ?

↳ Deslocando-se no espaço-tempo : limites relativísticos (T.R. Restrita)

tempo

$\Delta t_v = \Delta t_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$

espaço (3D)

SpaceX

Clique para se inscrever

Entendendo a Exploração Espacial



Prof. P. Seleglim

27.2K subscribers

Analytics

Edit video

3.2K



Share

Promote

Download

Clip



232K views 2 years ago

A ocupação do planeta Terra pelo Homo Sapiens e de Neandertal levou cerca de 100 mil anos, durante os quais desenvolvemos a ciência e tecnologia que nos permitiu suportar temperaturas extremas, obter, preparar e conservar alimentos etc. Foi recentemente que, após desenvolvermos navios e técnicas de navegação avançados, fomos capazes de avistar pela primeira vez o continente antártico (1820) e alcançar o polo sul (1911). A exploração do espaço pode ser entendida desta forma, qual seja, a necessidade de desenvolvermos a ciência e tecnologia que nos permita sobreviver num a ...more



Amalie Emmy Noether em 1915



*Simetrias
implicam em leis de
conservação e vice-
versa...*

Teorema de Noether

| SYMMETRY | CONSERVATION LAW |
|-----------------------------|-------------------------|
| Spatial Translation | Momentum |
| Time Translation | Energy |
| Rotational Translation | Angular Momentum |
| Quantum Mechanical Phase | Charge |



$t = 0$ ou $t = 123$ s

O universo é simétrico (invariante) por translação temporal... \Leftrightarrow Conservação da energia total



Q#3: por que a energia se conserva num processo transformativo natural sem destruição ou criação de massa ?

- A) Devido ao princípio da conservação de energia (Chat GPT)...
- B) Devido ao derretimento das calotas polares...
- C) Devido à compressibilidade dos fluidos materiais...
- D) Porque as leis físicas que governam um processo transformativo não dependem do tempo... (e.g.: $E = m \cdot C^2, \forall t > 0$)
- E) É impossível saber...



Chat GPT

Obs.: coloque esta pergunta no Chat GPT e solicite uma resposta em uma única frase.

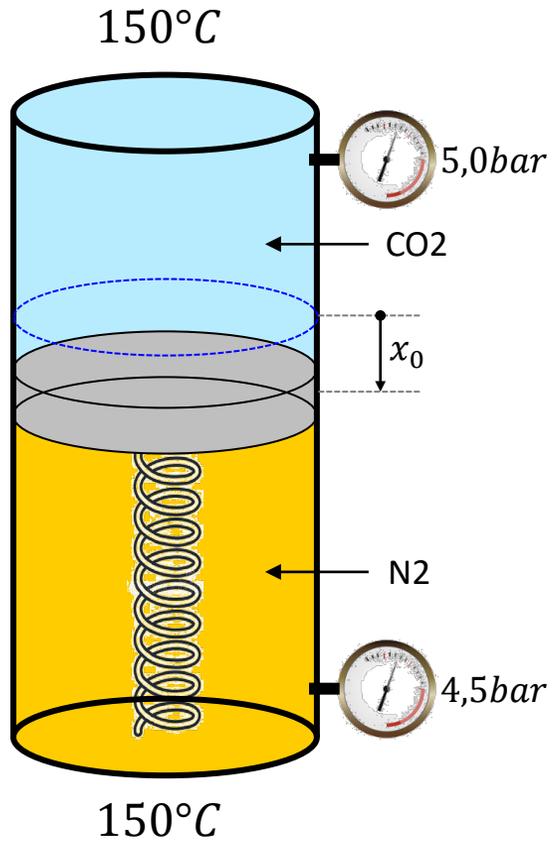
3

Curso de Termodinâmica

energia e desordem



aula 02/20



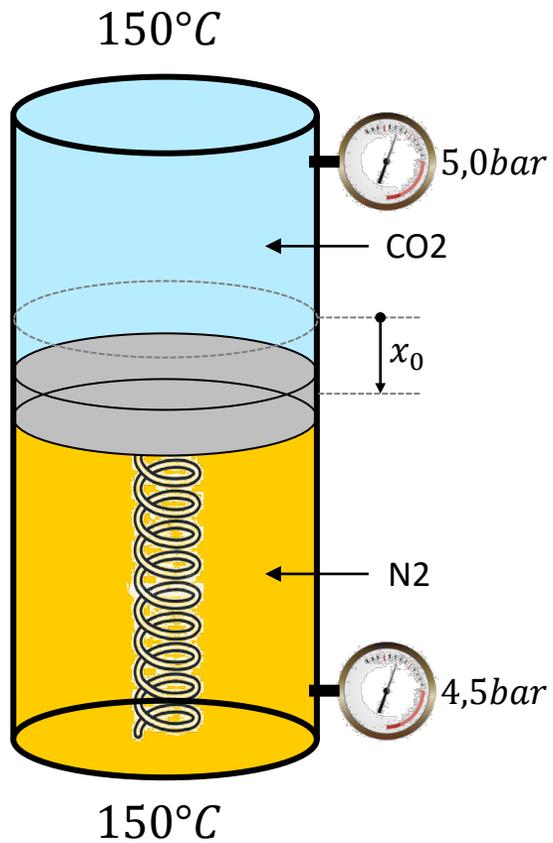
Um pistão com 1m de comprimento e área seccional de $0,5\text{m}^2$ está imerso num banho isotérmico a 150°C . O êmbolo define duas câmaras herméticas de volume variável, uma delas contendo CO_2 e a outra contendo N_2 , confinando assim uma massa total de gases de $2,5\text{kg}$. A pressão na câmara de CO_2 é de 5bar . Uma mola linear ($k=2\times 10^5\text{N/m}$) instalada na câmara de N_2 reduz a pressão local para $4,5\text{bar}$. A temperatura do banho isotérmico é então aumentada lentamente para 1000°C e uma nova situação de equilíbrio é alcançada. Calcule: a) as massas de CO_2 e N_2 contidas no cilindro, b) os volumes iniciais... Despreze atritos, dimensões e massas do cilindro, êmbolo e mola. $R_{\text{CO}_2}=188,92\text{J/kg/K}$, $R_{\text{N}_2}=296,80\text{J/kg/K}$.

EQUAÇÕES GOVERNANTES

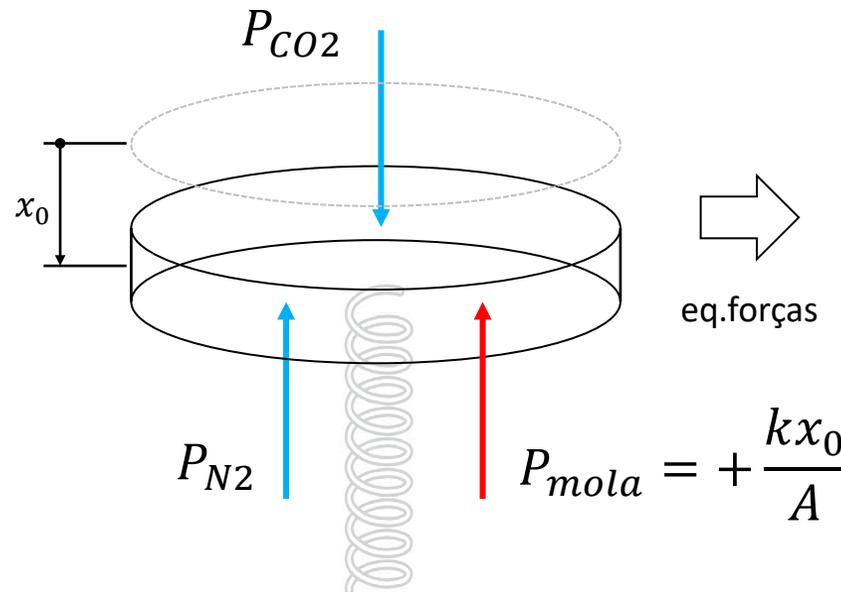
EQUILÍBRIO TERMODINÂMICO CO_2

EQUILÍBRIO TERMODINÂMICO N_2

EQUILÍBRIO DE FORÇAS

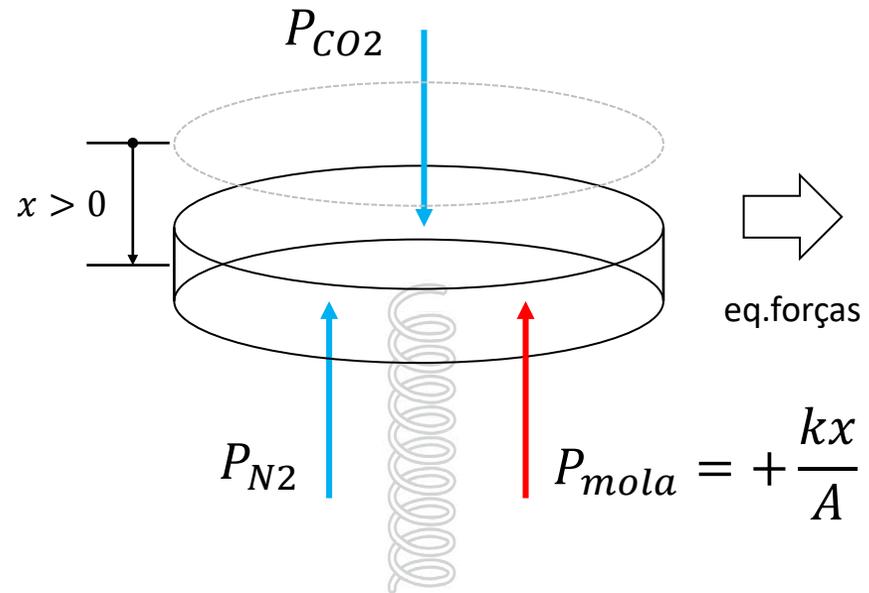
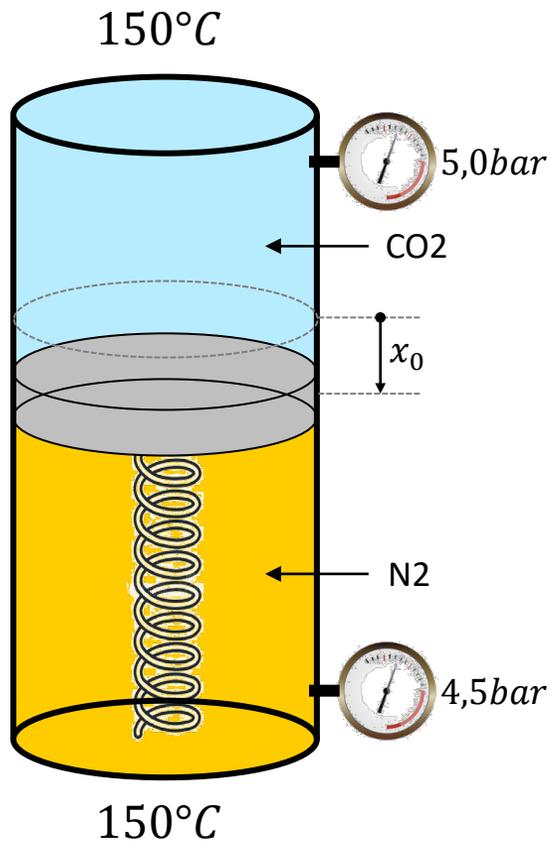


Um pistão com 1m de comprimento e área seccional de 0,5m² está imerso num banho isotérmico a 150°C. O êmbolo define duas câmaras herméticas de volume variável, uma delas contendo CO2 e a outra contendo N2, confinando assim uma massa total de gases de 2,5kg. A pressão na câmara de CO2 é de 5bar. Uma mola linear ($k=2 \times 10^5$ N/m) instalada na câmara de N2 reduz a pressão local para 4,5bar. A temperatura do banho isotérmico é então aumentada lentamente para 1000°C e uma nova situação de equilíbrio é alcançada. Calcule: a) as massas de CO2 e N2 contidas no cilindro, b) os volumes iniciais... Despreze atritos, dimensões e massas do cilindro, êmbolo e mola. $R_{CO_2}=188,92$ J/kg/K, $R_{N_2}=296,80$ J/kg/K.



EQUILÍBRIO DE FORÇAS

$$P_{N_2} = P_{CO_2} - P_{mola}$$



$$P_{N_2} = P_{CO_2} - P_{mola}$$

CONFIG. OPÉRATIONNEL...

$$T_{CO_2} = T_{N_2} = T$$

$$V_{CO_2} + V_{N_2} = V = 0,5m^3$$

$$m_{CO_2} + m_{N_2} = m = 2,5kg$$

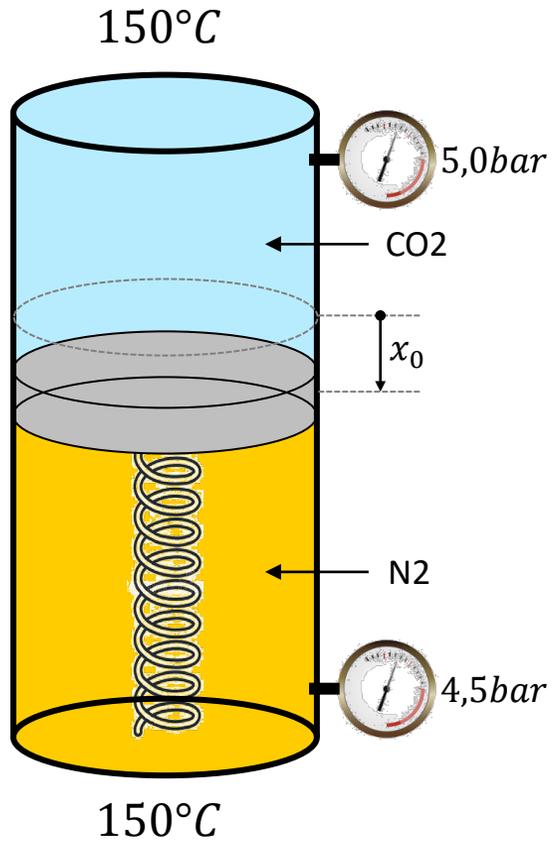
EQ. TERMODINÂMICO...

$$P_{N_2} = P_{CO_2} - P_{mola}$$

$$P_{N_2}V_{N_2} = m_{N_2}R_{N_2}T$$



$$P_{CO_2}V_{CO_2} = m_{CO_2}R_{CO_2}T$$



$$V_{CO_2} = m_{CO_2} R_{CO_2} \frac{T}{P_{CO_2}} \quad V_{N_2} = m_{N_2} R_{N_2} \frac{T}{P_{N_2}}$$

$$V_{CO_2} + V_{N_2} = V$$

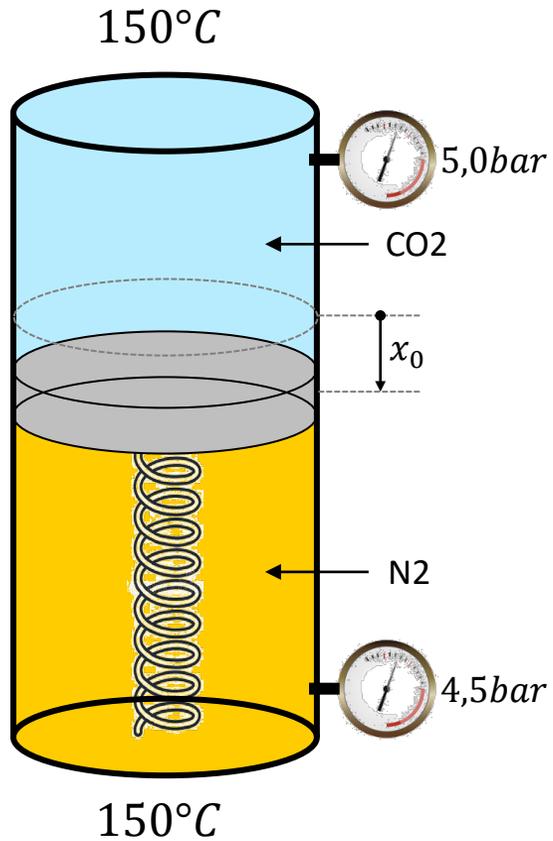
Les SLIDES suivantes sont
ANTI-PÉDAGOGIQUE

$$m_{CO_2} R_{CO_2} \frac{T}{P_{CO_2}} + m_{N_2} R_{N_2} \frac{T}{P_{N_2}} = V$$

$$m_{CO_2} R_{CO_2} \frac{T}{P_{CO_2}} + (m - m_{CO_2}) R_{N_2} \frac{T}{P_{N_2}} = V$$

$$m_{CO_2} = \frac{m R_{N_2} - P_{N_2} V / T}{R_{N_2} - R_{CO_2} P_{N_2} / P_{CO_2}} = \dots = 1,659 \text{ kg}$$

$$m_{N_2} = m - m_{CO_2} = \dots = 0,841 \text{ kg}$$



$$m_{CO_2} = \frac{mR_{N_2} - P_{N_2}V/T}{R_{N_2} - R_{CO_2}P_{N_2}/P_{CO_2}} = \dots = 1,659kg$$

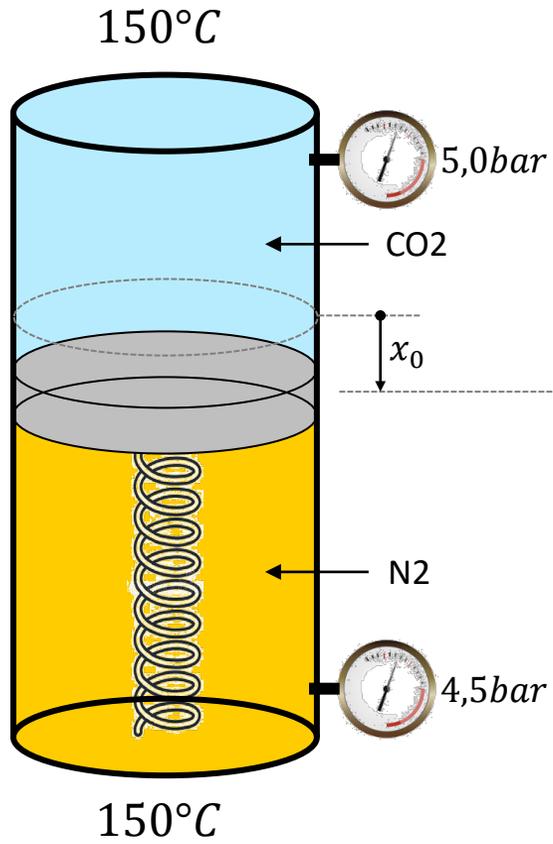
$$V_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}R_{CO_2}T}{P_{CO_2}} = \dots = 0,265m^3$$

$$m_{N_2} = m - m_{CO_2} = \dots = 0,841kg$$

$$V_{N_2} = \frac{m_{N_2}R_{N_2}T}{P_{N_2}} = \dots = 0,235m^3$$

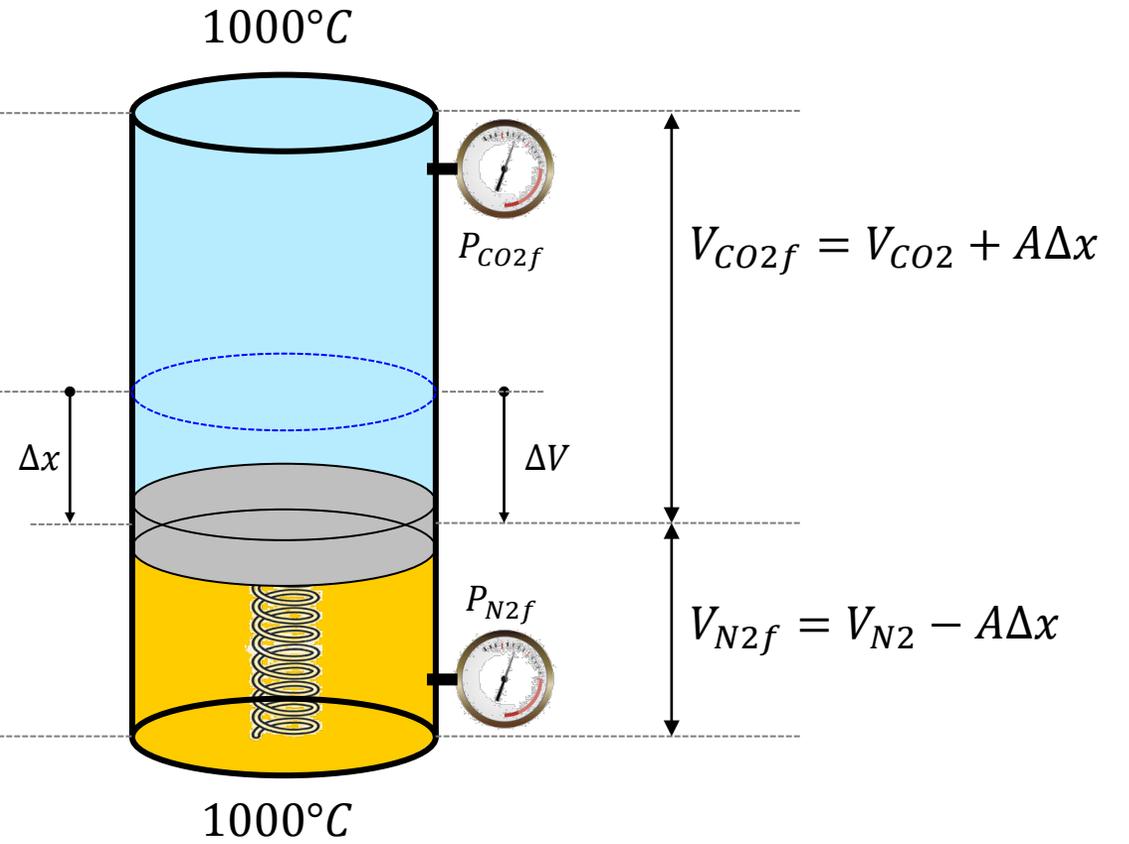
$$P_{mola} = P_{CO_2} - P_{N_2} = k \frac{x_0}{A} \rightarrow x_0 = A \frac{P_{CO_2} - P_{N_2}}{k} = \dots = 0,125m$$





$$V_{CO_2} = 0,265m^3$$

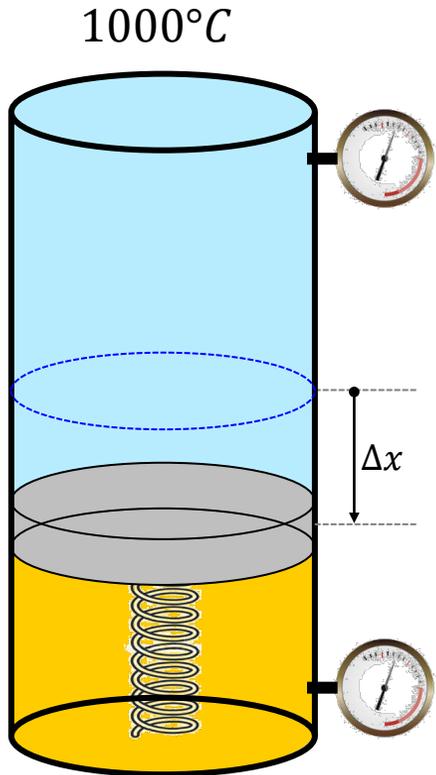
$$V_{N_2} = 0,235m^3$$



$$P_{CO_2f}(V_{CO_2} + A\Delta x) = m_{CO_2}R_{CO_2}T_f$$

$$P_{N_2f}(V_{N_2} - A\Delta x) = m_{N_2}R_{N_2}T_f$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{CO_2f}(V_{CO_2} + A\Delta x) = m_{CO_2}R_{CO_2}T_f \\ P_{N_2f}(V_{N_2} - A\Delta x) = m_{N_2}R_{N_2}T_f \end{array} \right\} P_{N_2f} = P_{CO_2f} - k \frac{x_0 + \Delta x}{A}$$



$$P_{N_2f} = \frac{m_{N_2} R_{N_2} T_f}{V_{N_2} - A \Delta x}$$

$$P_{CO_2f} = \frac{m_{CO_2} R_{CO_2} T_f}{V_{CO_2} + A \Delta x}$$

$$P_{N_2f} = P_{CO_2f} - k \frac{x_0 + \Delta x}{A}$$

Les SLIDES suivantes sont
ANTI-PÉDAGOGIQUE



$$\frac{m_{N_2} R_{N_2} T_f}{V_{N_2} - A \Delta x} = \frac{m_{CO_2} R_{CO_2} T_f}{V_{CO_2} + A \Delta x} - k \frac{x_0 + \Delta x}{A}$$

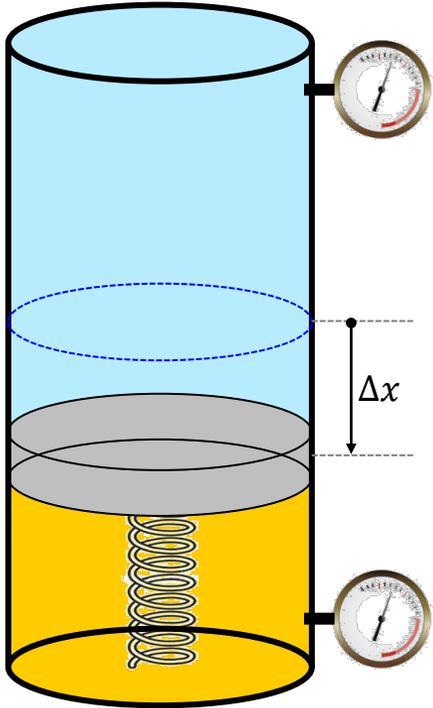
← Newton-Raphson

$$\Delta x = 0,01636m$$



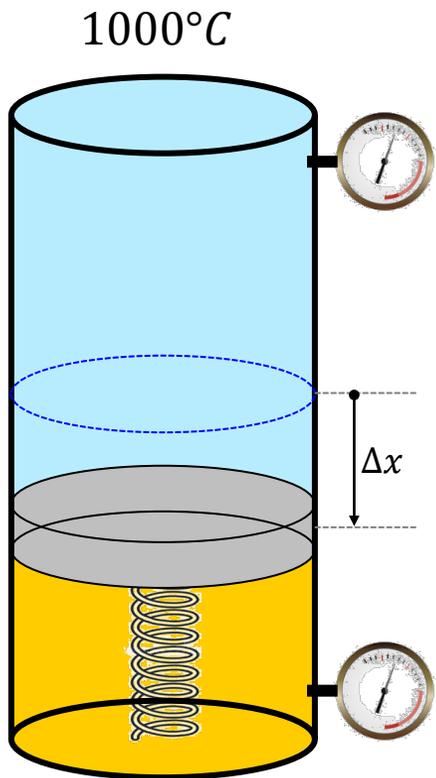
$$P_{N_2f} = \frac{m_{N_2} R_{N_2} T_f}{V_{N_2} - A \Delta x} = \dots = 14,03bar \quad P_{CO_2f} = \frac{m_{CO_2} R_{CO_2} T_f}{V_{CO_2} + A \Delta x} = \dots = 14,59bar$$

1000°C

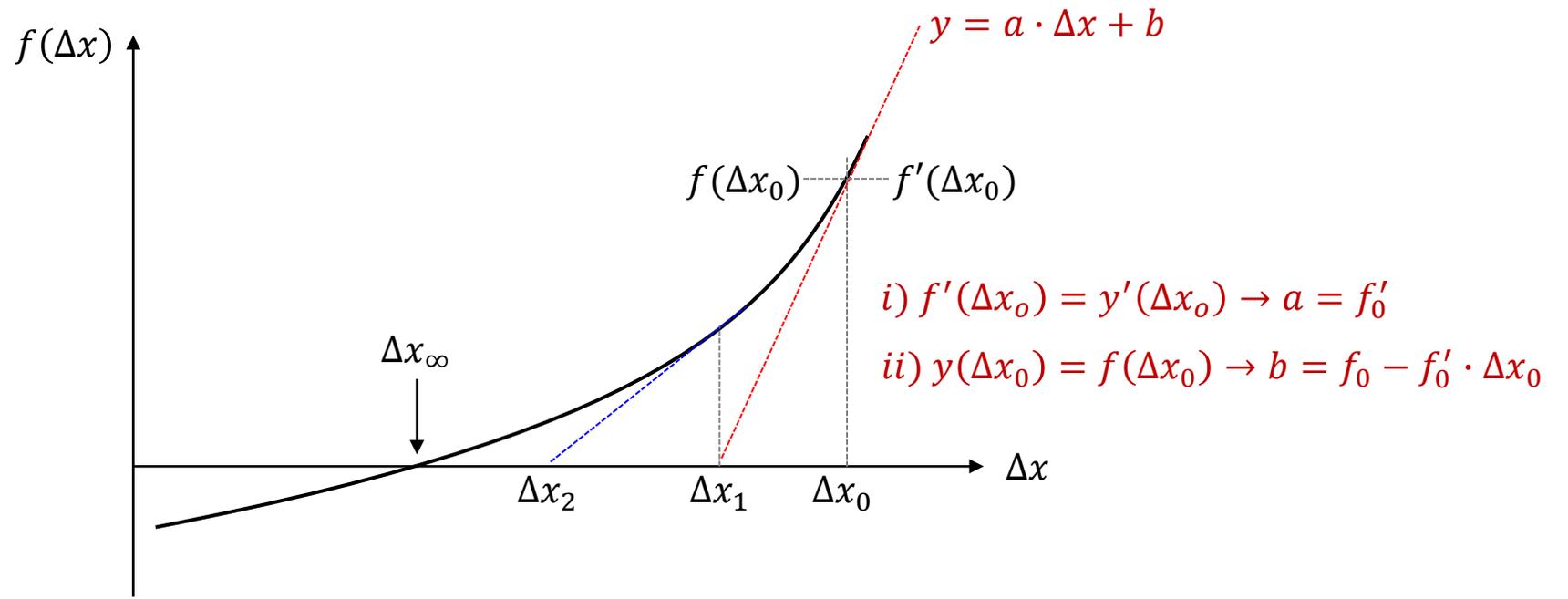


The screenshot shows the YouTube Studio interface. At the top, there is a search bar and a 'CREATE' button. A hand icon is pointing to the search bar. The main content area displays a 'Playlist videos' table with columns for Video, Monetization, Restrictions, Date, Views, Comments, and Likes (vs. dislike...). The table lists several videos related to mathematics and COVID-19. The left sidebar contains navigation options: Channel content, Your playlist, Details, Videos, Analytics, Settings, and Send feedback.

| Video | Monetization | Restrictions | Date | Views | Comments | Likes (vs. dislike...) | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|-----------|---------------------------|----------|------------------------|---------------------|
| Equações não lineares - o método de ... Muitos problemas práticos resultam equações que, para serem resolvidas... | Public | Off | None | Mar 18, 2021 Published | 4,661 | 20 | 98.3% 231 likes |
| Entendendo a COVID-19 - Modelos Co... A COVID-19 é certamente um dos mais importantes acontecimentos dos último... | Public | Off | None | Feb 9, 2021 Premiered | 1,911 | 22 | 100.0% 124 likes |
| É POSSÍVEL PREVER O FUTURO ? Os ... Prever a evolução de um sistema dinâmico a partir de modelos físico... | Partially bl... | Ineligible | Copyright | Feb 18, 2021 Published | 1,724 | 25 | 100.0% 136 likes |
| Entendendo a Transformada de Fourie... A transformada de Fourier é uma das mais importantes ferramentas da... | Partially bl... | Ineligible | Copyright | Feb 23, 2021 Published | 2,097 | 24 | 98.6% 146 likes |
| Aplicando a Transformada de Fourier ... A transformada de Fourier é uma das mais importantes ferramentas da... | Public | Off | None | Mar 8, 2021 Published | 939 | 7 | 100.0% 58 likes |
| Entendendo os Números Complexos Os números são objetos abstratos utilizados para contar, enumerar, ... | Public | Off | None | Mar 16, 2021 Published | 763 | 19 | 98.9% 92 likes |
| O MÉTODO OS MÍNIMOS QUADRADO... O método dos mínimos quadrados pode ser interpretado como uma técnica de... | Public | Off | None | Mar 24, 2021 Published | 1,086 | 3 | 98.4% 62 likes |



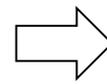
$$f(\Delta x) = \frac{m_{CO_2} R_{CO_2} T_f}{V_{CO_2} + A\Delta x} - k \frac{x_0 + \Delta x}{A} - \frac{m_{N_2} R_{N_2} T_f}{V_{N_2} - A\Delta x} = 0$$



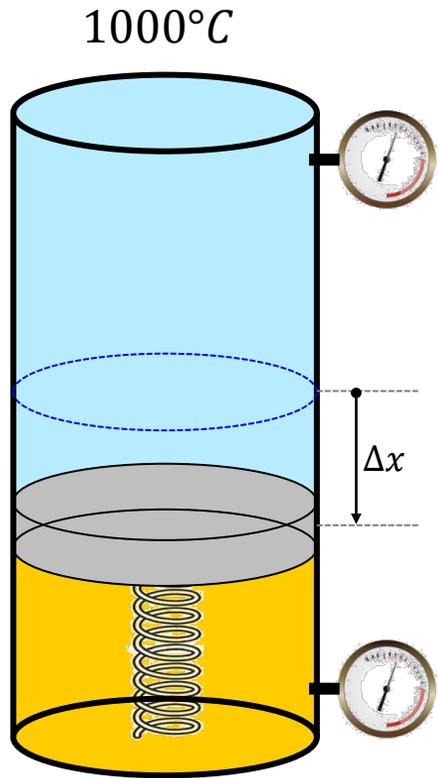
Raiz da reta tangente

$$\Delta x = -b/a = \dots$$

$$\Delta x_1 = \Delta x_0 - f_0/f'_0$$



$$\Delta x_{k+1} = \Delta x_k - f(\Delta x_k)/f'(\Delta x_k)$$



| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------|-----|--------------|-----------|-----------|--------------|---|--|
| 1 | A | 0,5 | m ² | dtx | | f(dtx) | f'(dtx) | dtx | | |
| 2 | L | 1 | m | | 1,200000E-02 | 2,68E+04 | -6,15E+06 | 1,636668E-02 | | |
| 3 | V | 0,5 | m ³ | | 1,636668E-02 | -3,24E+01 | -1,24E+08 | 1,636642E-02 | | |
| 4 | V _{CO2} | 0,2651941 | m ³ | | 1,636642E-02 | -3,08E+01 | -1,24E+08 | 1,636617E-02 | | |
| 5 | V _{N2} | 0,2348059 | m ³ | | 1,636617E-02 | -2,93E+01 | -1,24E+08 | 1,636594E-02 | | |
| 6 | m | 2,5 | kg | | 1,636594E-02 | -2,78E+01 | -1,24E+08 | 1,636571E-02 | | |
| 7 | m _{CO2} | 1,6586759 | kg | | 1,636571E-02 | -2,64E+01 | -1,24E+08 | 1,636550E-02 | | |
| 8 | m _{N2} | 0,841324 | kg | | 1,636550E-02 | -2,51E+01 | -1,24E+08 | 1,636529E-02 | | |
| 9 | R _{CO2} | 188,92 | J/kg/K | | 1,636529E-02 | -2,39E+01 | -1,24E+08 | 1,636510E-02 | | |
| 10 | R _{N2} | 296,8 | J/kg/K | | 1,636510E-02 | -2,27E+01 | -1,24E+08 | 1,636492E-02 | | |
| 11 | T | 1000 | °C | | 1,636492E-02 | -2,15E+01 | -1,24E+08 | 1,636474E-02 | | |
| 12 | x ₀ | 0,125 | m | | 1,636474E-02 | -2,05E+01 | -1,24E+08 | 1,636458E-02 | | |
| 13 | k | 2,00E+05 | N/m | | 1,636458E-02 | -1,94E+01 | -1,24E+08 | 1,636442E-02 | | |
| 14 | | | | | 1,636442E-02 | -1,85E+01 | -1,24E+08 | 1,636427E-02 | | |
| 15 | | | | | 1,636427E-02 | -1,76E+01 | -1,24E+08 | 1,636413E-02 | | |
| 16 | eps | 1,00E-04 | | | 1,636413E-02 | -1,67E+01 | -1,24E+08 | 1,636399E-02 | | |
| 17 | | | | | | | | | | |
| 18 | $f(\Delta x) = \frac{m_{CO_2} R_{CO_2} T_f}{V_{CO_2} + A \Delta x} - k \frac{x_0 + \Delta x}{A} - \frac{m_{N_2} R_{N_2} T_f}{V_{N_2} - A \Delta x} = 0$ | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | | | | |

EQUILÍBRIO TERMODINÂMICO...

$T_{CO_2} = T_{N_2} = T$ ✓ $V_{CO_2} + V_{N_2} = V$ ✓ $P_{CO_2} = P_{N_2} = P_{mist}$ ✓

$V_{CO_2} + V_{N_2} = V = 0,5m^3$ ✓ $P_{CO_2} V_{CO_2} = m_{CO_2} R_{CO_2} T$ ✓

$m_{CO_2} + m_{N_2} = m = 2,5kg$ ✓ $P_{N_2} V_{N_2} = m_{N_2} R_{N_2} T$ ✓

$P_{CO_2} V_{CO_2} = m_{CO_2} R_{CO_2} T$ ✓

49:51

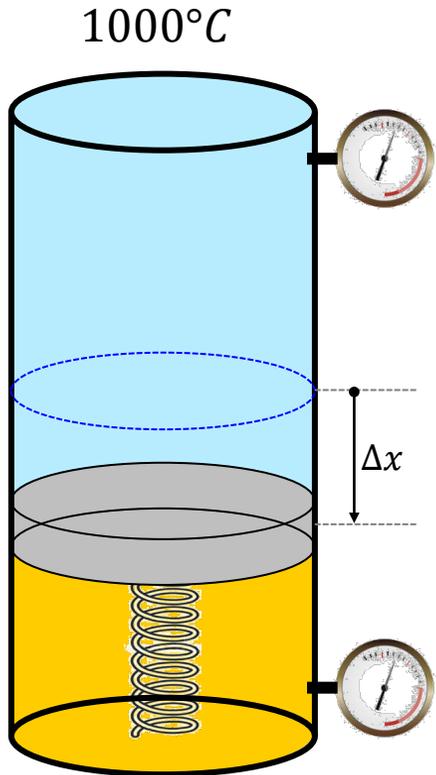
Aula 2 - exercício resolvido / TERMODINÂMICA / Prof. Paulo Seleglim / USP

95 views • 1 day ago

Prof. P. Seleglim

Um pistão com 1m de comprimento e área seccional de 0,5m² está imerso num banho isotérmico a 150°C. O êmbolo define duas ...

New



$$\Delta x = 0,01636m \quad P_{N_2f} = 14,03bar \quad P_{CO_2f} = 14,59bar$$

$$V_{N_2f} = \frac{m_{N_2} R_{N_2} T_f}{P_{N_2f}} = \dots = 0,227m^3 \quad V_{CO_2f} = \frac{m_{CO_2} R_{CO_2} T_f}{P_{CO_2f}} = \dots = 0,273m^3$$

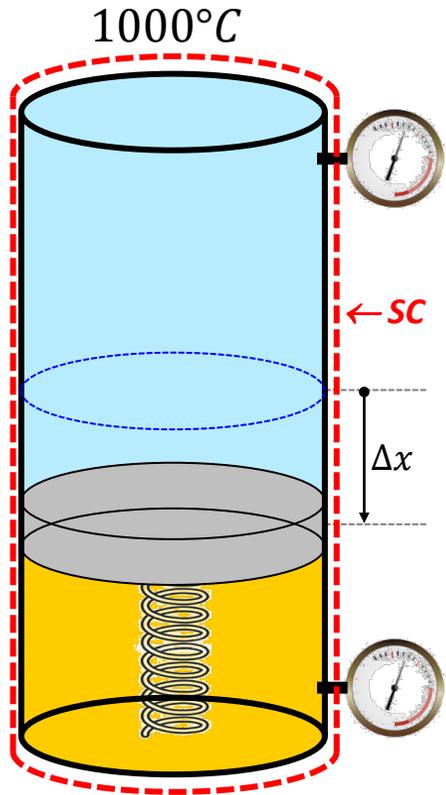
$$U_{CO_2f} = \frac{3}{2} m_{CO_2} R_{CO_2} T_f = \dots = 5,984 \times 10^5 J \quad U_{CO_2} = 1,989 \times 10^5 J$$

$$\Delta U_{CO_2} = U_{CO_2f} - U_{CO_2} = \dots = +3,995 \times 10^5 J$$

$$U_{N_2f} = \frac{3}{2} m_{N_2} R_{N_2} T_f = \dots = 4,769 \times 10^5 J \quad U_{N_2} = 1,585 \times 10^5 J$$

$$\Delta U_{N_2} = U_{N_2f} - U_{N_2} = \dots = +3,184 \times 10^5 J$$

$$\Delta U_{mola} = \frac{k}{2} (x_0 + \Delta x)^2 - \frac{k}{2} x_0^2 = \dots = +4,358 \times 10^2 \text{ Joules}$$



$$\Delta U_{CO_2} = U_{CO_2f} - U_{CO_2} = \dots = +3,995 \times 10^5 J$$

$$\Delta U_{N_2} = U_{N_2f} - U_{N_2} = \dots = +3,184 \times 10^5 J$$

$$\Delta U_{mola} = \dots = +4,358 \times 10^2 J$$

$$1^{\circ} \text{ Lei} \rightarrow \Delta U = Q - W$$

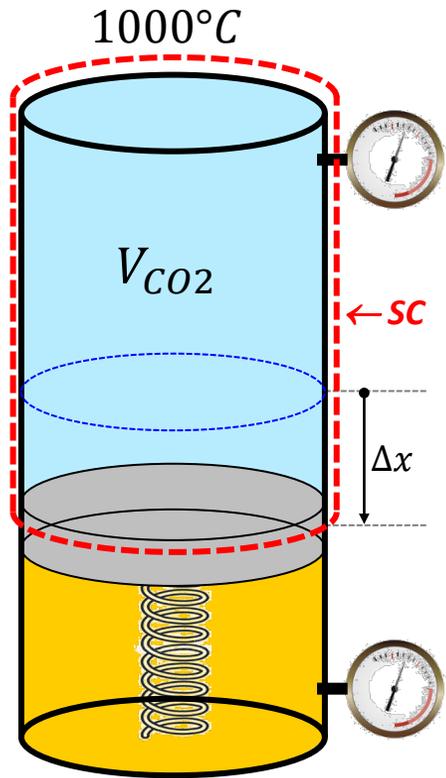
$$\Delta U_{CO_2} + \Delta U_{N_2} + \Delta U_{mola}$$

chaleur reçue
de la source

$$\int_{SC} P dV = 0$$

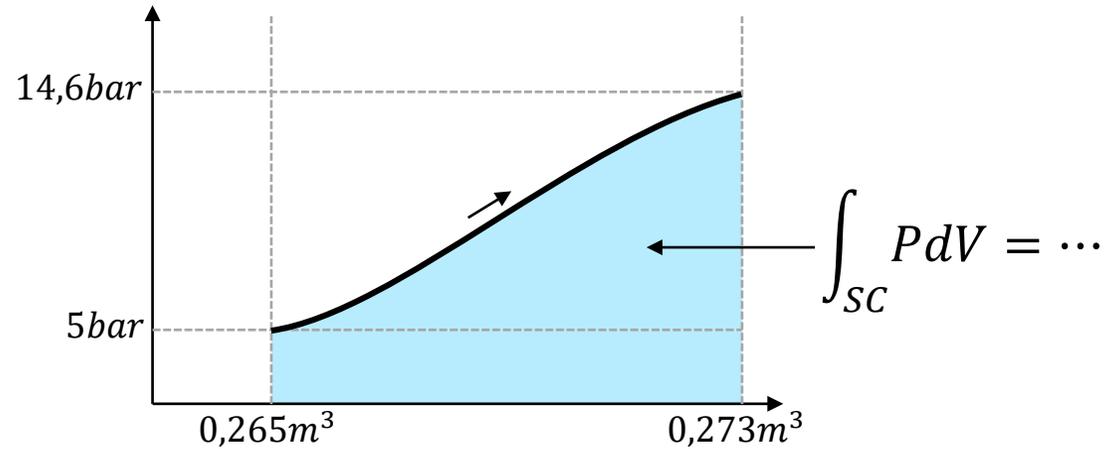


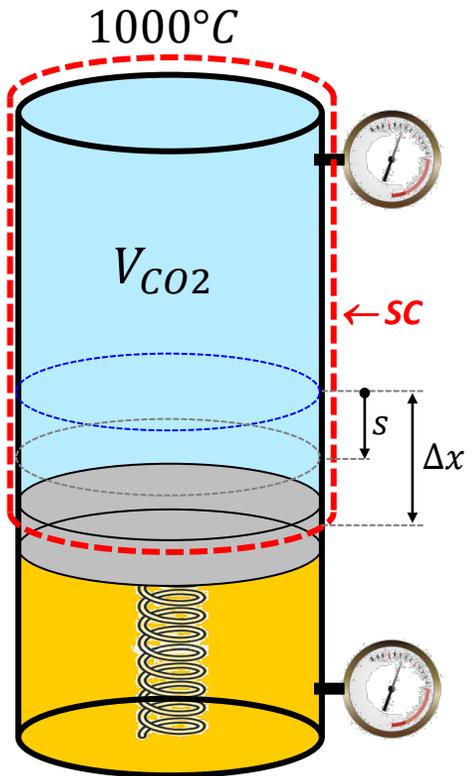
$$Q = \dots = 7,183 \times 10^5 \text{ Joules}$$



1° Lei → $\Delta U_{CO_2} = Q_{CO_2} - W_{CO_2}$

ΔU_{CO_2} chaleur reçue de la source $\int_{SC} PdV > 0$





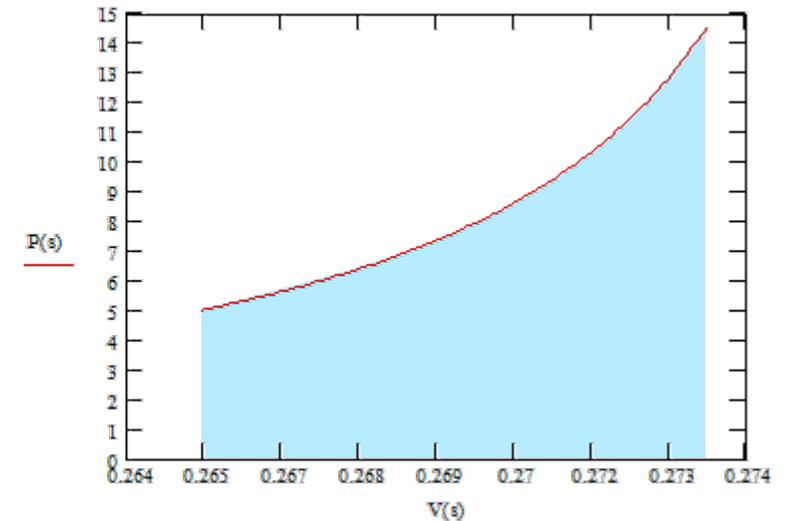
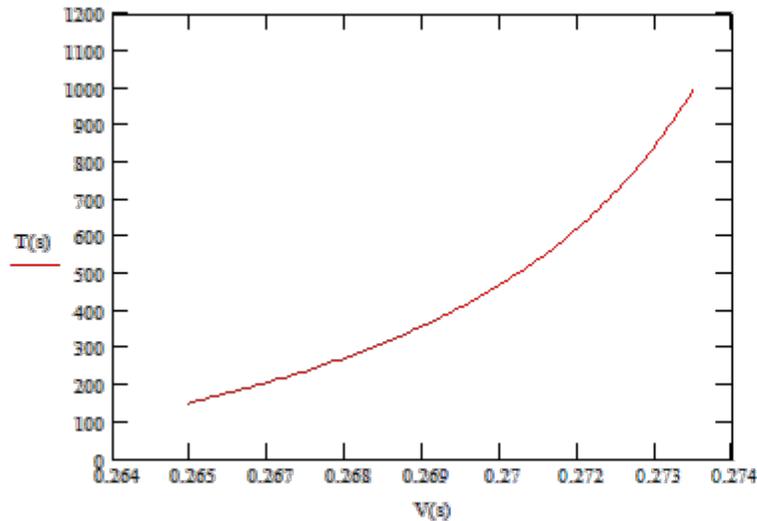
$$V(s) = V_{CO_2} + As$$

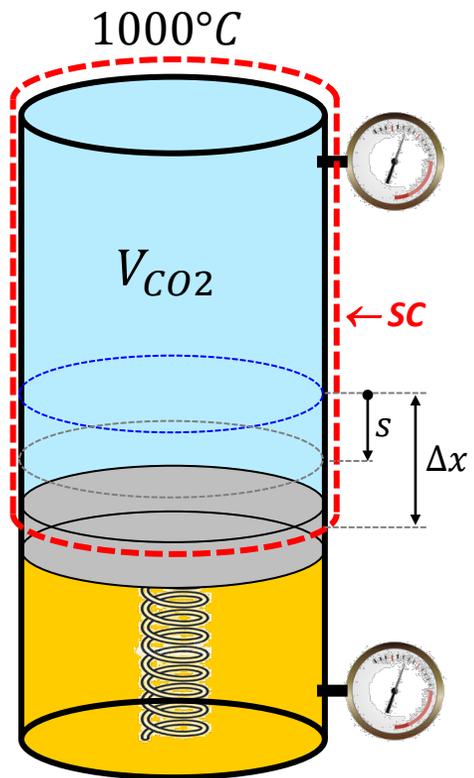
$$\int_{SC} P dV = m_{CO_2} R_{CO_2} \int_{V_{CO_2}}^{V_{CO_2 f}} \frac{T(V)}{V} dV$$



$$\frac{m_{N_2} R_{N_2} T_f}{V_{N_2} - A\Delta x} = \frac{m_{CO_2} R_{CO_2} T_f}{V_{CO_2} + A\Delta x} - k \left(\frac{x_0 + \Delta x}{A} \right) \rightarrow \frac{m_{N_2} R_{N_2} T(s)}{V_{N_2} - As} = \frac{m_{CO_2} R_{CO_2} T(s)}{V_{CO_2} + As} - k \left(\frac{x_0 + s}{A} \right)$$

$$T(s) = k \left(\frac{x_0 + s}{A} \right) \left(\frac{m_{CO_2} R_{CO_2}}{V_{CO_2} + As} - \frac{m_{N_2} R_{N_2}}{V_{N_2} - As} \right)^{-1} \rightarrow P_{CO_2}(s) = \frac{m_{CO_2} R_{CO_2} T(s)}{V_{CO_2} + As}$$

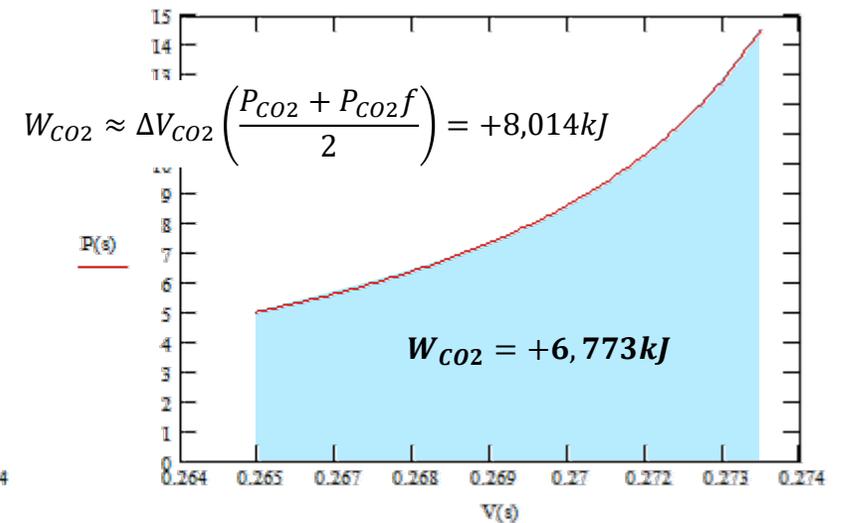
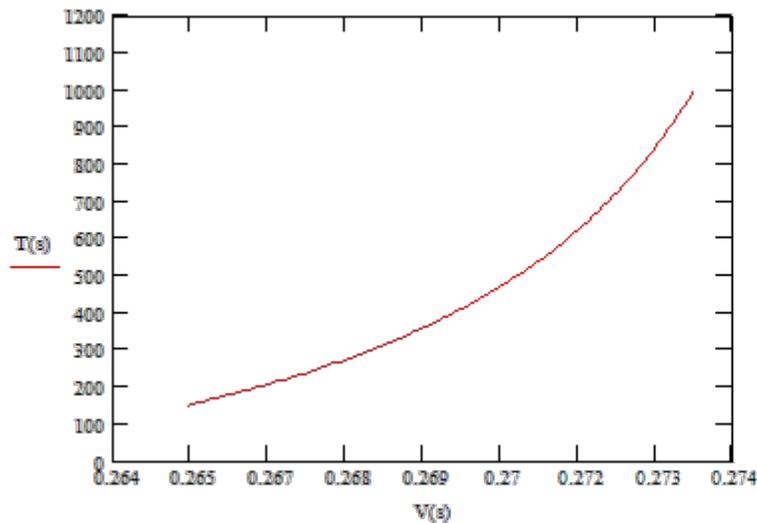


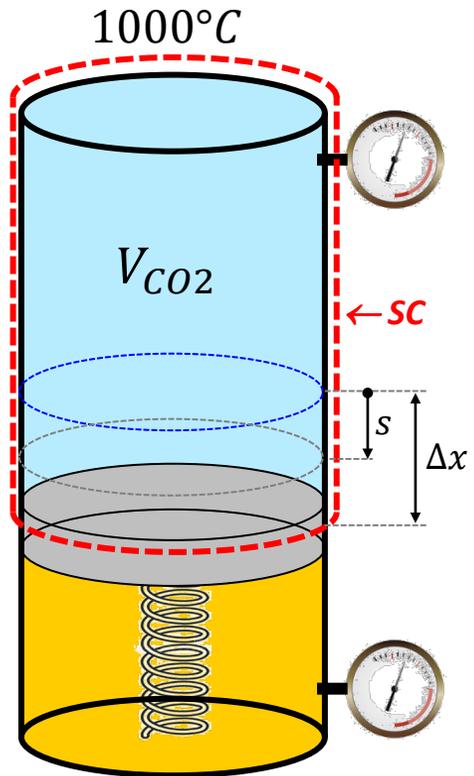


$$T(s) = k \left(\frac{x_0 + s}{A} \right) \left(\frac{m_{CO_2} R_{CO_2}}{V_{CO_2} + As} - \frac{m_{N_2} R_{N_2}}{V_{N_2} - As} \right)^{-1} \quad \text{---} \quad V(s) = V_{CO_2} + As$$

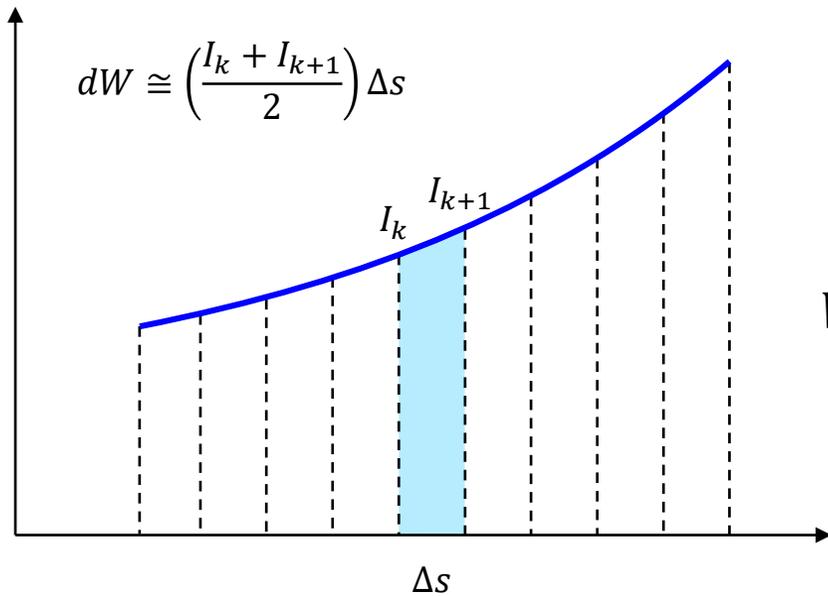
$$\int_{SC} P dV = m_{CO_2} R_{CO_2} \int_{V_{CO_2}}^{V_{CO_2f}} \frac{T(V)}{V} dV$$


$$W_{CO_2} = m_{CO_2} R_{CO_2} k \int_0^{\Delta x} \left(\frac{x_0 + s}{V_{CO_2} + As} \right) \left(\frac{m_{CO_2} R_{CO_2}}{V_{CO_2} + As} - \frac{m_{N_2} R_{N_2}}{V_{N_2} - As} \right)^{-1} ds$$

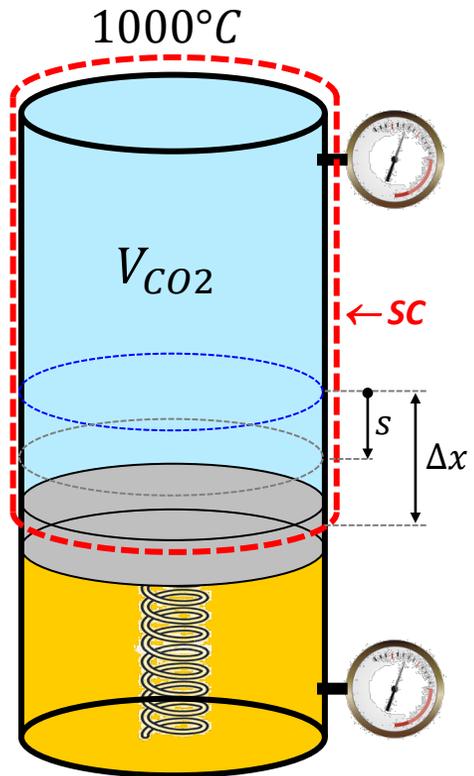




$$W_{CO_2} = m_{CO_2} R_{CO_2} k \int_0^{\Delta x} \underbrace{\left(\frac{x_0 + s}{V_{CO_2} + As} \right) \left(\frac{m_{CO_2} R_{CO_2}}{V_{CO_2} + As} - \frac{m_{N_2} R_{N_2}}{V_{N_2} - As} \right)^{-1}}_{I(s)} ds$$



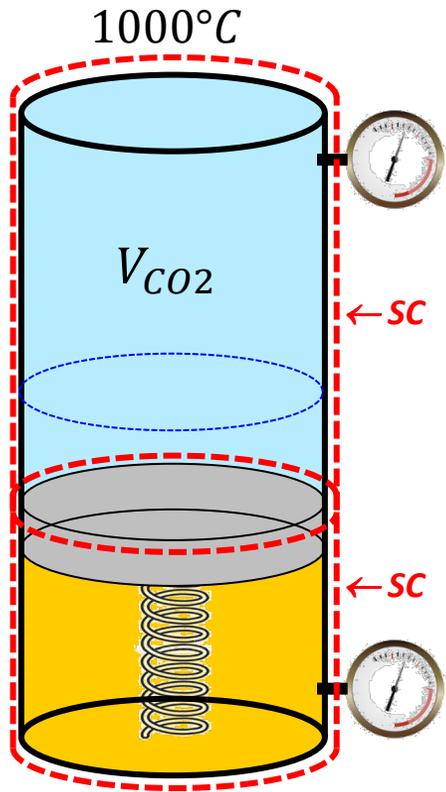
$$W_{CO_2} = m_{CO_2} R_{CO_2} k \sum \left(\frac{I_k + I_{k+1}}{2} \right) \Delta s$$



$$W_{CO_2} = m_{CO_2} R_{CO_2} k \int_0^{\Delta x} \left(\frac{x_0 + s}{V_{CO_2} + As} \right) \left(\frac{m_{CO_2} R_{CO_2}}{V_{CO_2} + As} - \frac{m_{N_2} R_{N_2}}{V_{N_2} - As} \right)^{-1} ds$$

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T |
|----|------------------|----------|----------------|---|----|--------|----------|----------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | A | 0,5 | m ² | n | s | ln(s) | dW | Int | | | | | | | | | | | | |
| 2 | L | 1 | m | | 0 | 0 | 3,99E-03 | | 6,7733E+03 | | | | | | | | | | | |
| 3 | V | 0,5 | m ³ | | 1 | 0,0005 | 4,09E-03 | 2,20E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | V _{CO2} | 0,265194 | m ³ | | 2 | 0,0011 | 4,19E-03 | 2,26E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | V _{N2} | 0,234806 | m ³ | | 3 | 0,0016 | 4,30E-03 | 2,31E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | m | 2,5 | kg | | 4 | 0,0022 | 4,41E-03 | 2,37E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 7 | m _{CO2} | 1,658676 | kg | | 5 | 0,0027 | 4,52E-03 | 2,44E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 8 | m _{N2} | 0,841324 | kg | | 6 | 0,0033 | 4,65E-03 | 2,50E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 9 | R _{CO2} | 188,92 | J/kg/K | | 7 | 0,0038 | 4,77E-03 | 2,57E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 10 | R _{N2} | 296,8 | J/kg/K | | 8 | 0,0044 | 4,91E-03 | 2,64E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 11 | T | 1000 | °C | | 9 | 0,0049 | 5,05E-03 | 2,72E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 12 | x0 | 0,125 | m | | 10 | 0,0055 | 5,20E-03 | 2,80E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 13 | k | 2,00E+05 | N/m | | 11 | 0,006 | 5,36E-03 | 2,88E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 14 | deltax | 0,01636 | m | | 12 | 0,0065 | 5,52E-03 | 2,97E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | 13 | 0,0071 | 5,70E-03 | 3,06E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 16 | eps | 1,00E-04 | | | 14 | 0,0076 | 5,88E-03 | 3,16E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | 15 | 0,0082 | 6,08E-03 | 3,26E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | 16 | 0,0087 | 6,29E-03 | 3,37E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | 17 | 0,0093 | 6,51E-03 | 3,49E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | 18 | 0,0098 | 6,75E-03 | 3,61E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | 19 | 0,0104 | 7,00E-03 | 3,75E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | 20 | 0,0109 | 7,27E-03 | 3,89E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | 21 | 0,0115 | 7,56E-03 | 4,04E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | 22 | 0,012 | 7,88E-03 | 4,21E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | 23 | 0,0125 | 8,21E-03 | 4,39E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | 24 | 0,0131 | 8,58E-03 | 4,58E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 27 | | | | | 25 | 0,0136 | 8,98E-03 | 4,79E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 28 | | | | | 26 | 0,0142 | 9,42E-03 | 5,02E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 29 | | | | | 27 | 0,0147 | 9,89E-03 | 5,26E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | 28 | 0,0153 | 1,04E-02 | 5,54E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 31 | | | | | 29 | 0,0158 | 1,10E-02 | 5,84E-06 | | | | | | | | | | | | |
| 32 | | | | | 30 | 0,0164 | 1,16E-02 | 6,17E-06 | | | | | | | | | | | | |

$$W_{CO_2} = km_{CO_2} R_{CO_2} \int_0^{\Delta x} \left(\frac{x_0 + s}{V_{CO_2} + As} \right) \left(\frac{m_{CO_2} R_{CO_2}}{V_{CO_2} + As} - \frac{m_{N_2} R_{N_2}}{V_{N_2} - As} \right)^{-1} ds$$



$$\Delta U_{CO_2} = +3,995 \times 10^5 J \quad \swarrow \quad \searrow \quad W_{CO_2} = +6,773 \times 10^3 J$$

$$1^\circ \text{ Lei} \rightarrow \Delta U_{CO_2} = Q_{CO_2} - W_{CO_2}$$

$$Q_{CO_2} = \Delta U_{CO_2} + W_{CO_2} = \dots = +4,063 \times 10^5 J$$

$$Q = 7,179 \times 10^5 J \rightarrow Q_{N_2} = +3,995 \times 10^5 J$$

$$\Delta U_{CO_2} = +3,995 \times 10^5 J \quad \swarrow \quad \searrow$$

$$1^\circ \text{ Lei} \rightarrow \Delta U_{N_2} = Q_{N_2} - W_{N_2}$$

$$W_{N_2} = -6,746 \times 10^5 J$$

$$W_{CO_2} + W_{N_2} = +435,806 J = \Delta U_{mola}$$





Q#4: por que não há trabalho (energia mecânica) exportado ou recebido do ambiente externo no último exemplo ?

- A) Devido ao princípio da conservação de energia (Chat GPT)...
- B) Devido ao derretimento das calotas polares...
- C) Devido à compressibilidade dos fluidos materiais...
- D) Porque as leis físicas que governam um processo transformativo não dependem do tempo...
- E) porque as paredes do pistão são indeformáveis...



Chat GPT

Obs.: coloque esta pergunta no Chat GPT e solicite uma resposta em uma única frase.

4

Curso de Termodinâmica

energia e desordem



aula 02/20