



Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Departamento de Estudos Básicos e
Instrumentais

4 – Termodinâmica Física II

Prof. Roberto Claudino Ferreira

ÍNDICE

1. Conceitos Fundamentais;
2. Sistemas Termodinâmicos;
3. Leis da Termodinâmica;
4. Gás Real e Gás Ideal;
5. Processos Termodinâmicos;
6. Entropia;
7. Princípio Fundamental da Termodinâmica;
8. A máquina de Carnot.

OBJETIVO GERAL

Alcançar um entendimento das leis, princípios, grandezas e unidades de medidas que envolvem o estudo da termodinâmica, assim como suas aplicações práticas, através de abordagens conceituais, históricas e demonstrações matemáticas.

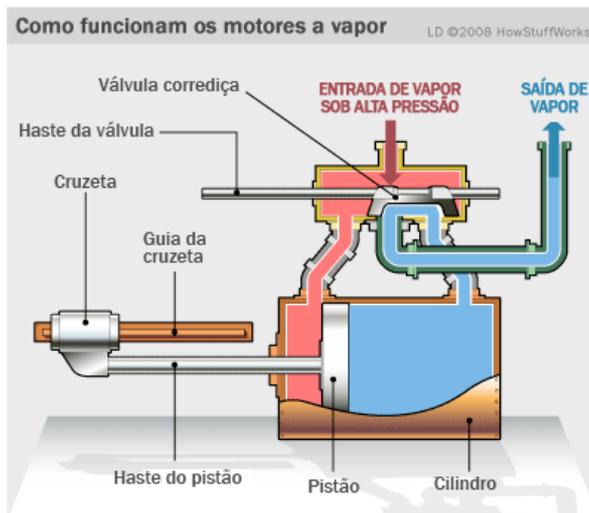
O que é Termodinâmica

A palavra tem origem na junção de duas palavras gregas:

Therme: Calor.

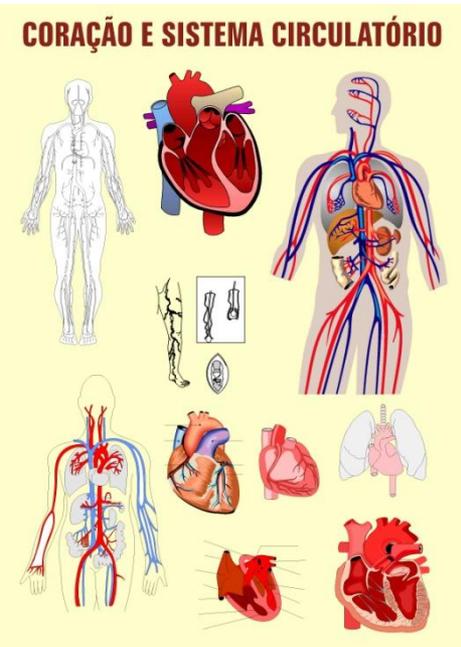
Dynamis: Força.

Que tem origem na tentativa de transformar calor em trabalho.



O motor a vapor transforma energia Térmica em energia mecânica, essa transformação é objeto de estudo da Termodinâmica

Aplicação da Termodinâmica



Corpo Humano



Carros



Aviões



Termoelétricas



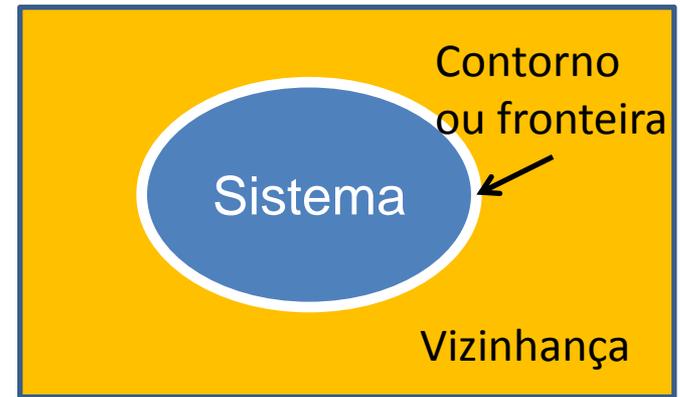
Motores



Refrigeradores

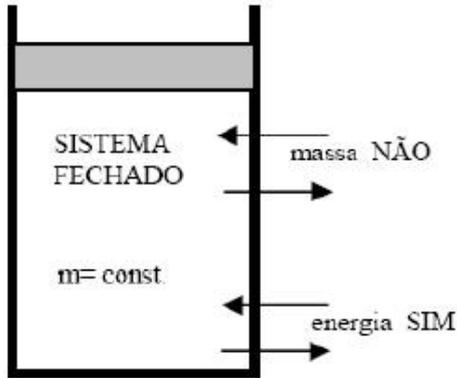
Conceitos Fundamentais

1. Sistema Termodinâmico;
2. Fronteira;
3. Vizinhança;
4. Equilíbrio de um STD;
5. Quase - estaticidade;
6. Tempo de relaxação;
7. Estado de uma substância;
8. Mudança de estado;
9. Processos;
10. Processo reversível e irreversível.

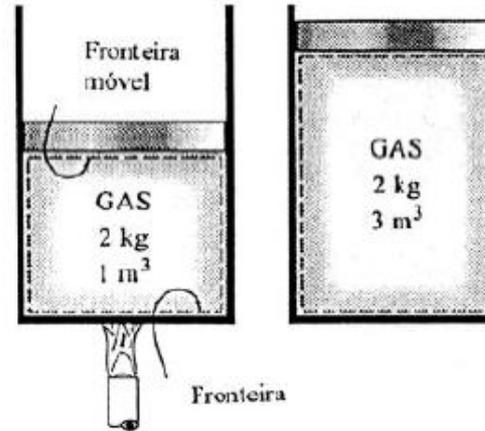


Classificação dos STD

1. **Sistema Fechado.** Intercambia energia mas não matéria.



Sistema fechado

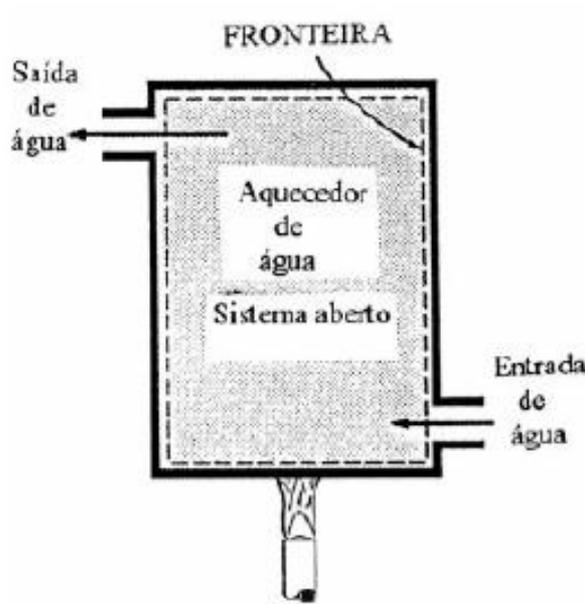


Sistema fechado com fronteira móvel

2. **Sistema Isolado.** Sem nenhuma interação com o meio externo.

Classificação dos STD

3. Sistema Aberto. Intercambia energia e matéria.



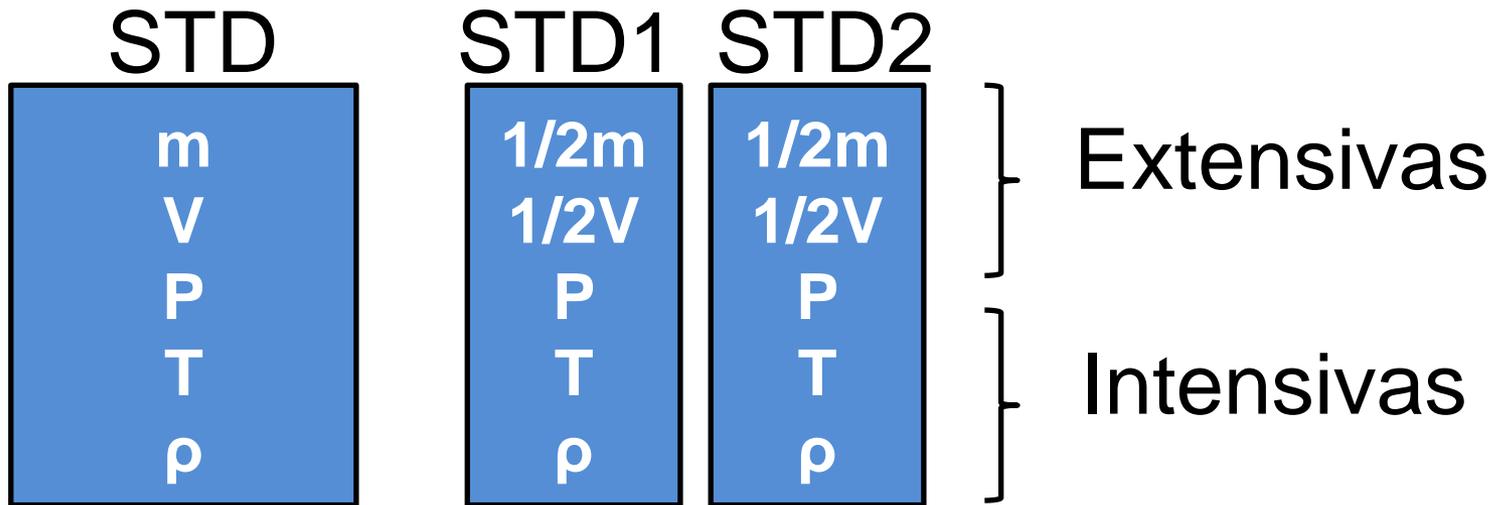
Propriedade dos STD

Qualquer característica de um sistema que pode ser determinada diretamente ou indiretamente por: P , V , T e m . Exemplos: Energia Interna (U) e a Entropia (S).

Tipos de Propriedades

1. Intensiva: Não depende do tamanho do STD.
2. Extensiva (ou aditiva): Depende do tamanho do STD.

Propriedade dos STD



Dividindo o STD em duas partes iguais.

Propriedades Intensivas continuarão com seus valores iniciais.

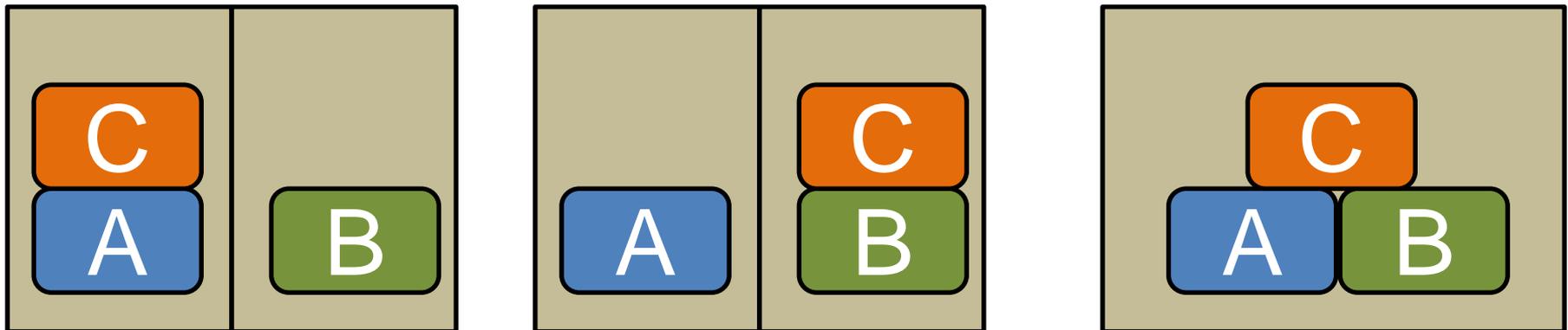
Propriedades Extensivas terão seus valores divididos em dois.

Leis da Termodinâmica

São quatro os princípios, postulados ou Leis da Termodinâmica.

Lei Zero da Termodinâmica:

Se dois corpos A e B estão separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro corpo C, A, B e C estão em equilíbrio entre si.



1ª - Lei da Termodinâmica:

Fundamentado no princípio da conservação da energia.

“A variação da energia interna (U) de um sistema é dada pela diferença entre o calor trocado com o ambiente (Q) e o trabalho realizado no processo termodinâmico (W).”

$$\Delta U = Q - W$$

$$dU = \delta Q - \delta W$$

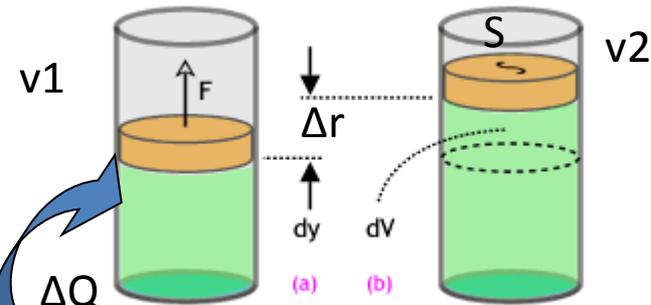


Calor e Trabalho

- Conceito.
- Considerando \vec{F} constante, o trabalho (W) da força \vec{F} no deslocamento (r) é : $W = F \cdot \Delta r$

A pressão P de um gás sobre a base de um êmbolo é: $\Rightarrow P = \frac{F}{S} \Rightarrow F = P \cdot S$

$$dW = P \cdot S \cdot \Delta r \Rightarrow S\Delta r = dV$$



$$W = \int dW = \int_{v_i}^{v_f} P dV$$

Δr = Intensidade de deslocamento do êmbolo.

V_1 = Volume inicial do gás.

V_2 = Volume final do gás.

S = Área da base do êmbolo.

Gás Real e Gás Ideal

- Três grandezas: Pressão, Temperatura e Volume que determinam o estado de um gás.
- Na verdade não existe gás ideal.
- Os gases reais (O_2, H_2, ar, etc) sob pequenas pressões e altas temperaturas apresentam comportamento de gás ideal, que são aqueles que obedecem as leis das transformações gasosas.

Lei dos Gases Ideais

P = Pressão;

V = volume;

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{N}{N_A}$$

n = n° de mols;

R = Constante para os gases ideais;

R = 8,31 J/mol.K;

T = Temperatura;

N = n° de moléculas de uma amostra;

NA= n° de Avogadro = 6.02×10^{23} /mol;

K = Constante de Boltzmann.

$$k = \frac{R}{N_A}$$

- 1º Problema:** (a) Prove que a lei dos gases ideais também pode ser escrita em função de $(N$ e $K)$.
- (b) Encontre o valor da constante de Boltzmann.
- (c) Demonstre a expressão do trabalho realizado por um gás ideal a temperatura constante.
- (d) Demonstre a expressão do trabalho realizado por um gás ideal a volume constante.
- (e) Demonstre a expressão do trabalho realizado por um gás ideal a pressão constante.

Respostas do 1º Problema

$$PV = nRT \quad n = \frac{N}{N_A} \text{ e } k = \frac{R}{N_A}$$

$$PV = \frac{N}{N_A} \cdot k N_A T$$

(a) $PV = NkT$

(b) $k = \frac{8,31 \frac{J}{mol \cdot K}}{6,02 \times 10^{23} \frac{1}{mol}}$

(c) $W = nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$

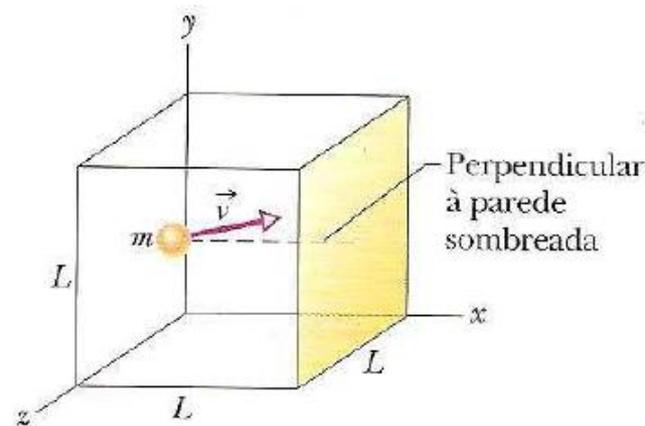
(d) $W = 0$

$$k = 1,38 \times 10^{-23} \frac{J}{K}$$

(e) $W = P(v_f - v_i)$

Pressão, Temperatura e velocidade média quadrática

- Consideremos uma caixa cúbica de volume V com n mols de um gás ideal, onde suas paredes são mantidas a temperatura T . Tomando uma molécula do gás de massa m e velocidade v . Podemos mostrar que a **velocidade média quadrática é dada por:**



$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Energia Cinética de Translação

- Ainda considerando um molécula na caixa, supomos agora que sua velocidade mude quando esta colide com outras moléculas: Assim: **A energia cinética de translação média em um dado intervalo de tempo é dada por:**

$$K_{méd} = \frac{1}{2} m(v^2)_{méd}$$

Substituindo

$$v_{méd} = v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Temos:

$$K_{méd} = \frac{3}{2} KT$$

- Em uma dada temperatura T, todas as moléculas de um gás ideal tem a mesma energia cinética de translação média.

Energia Interna (U)

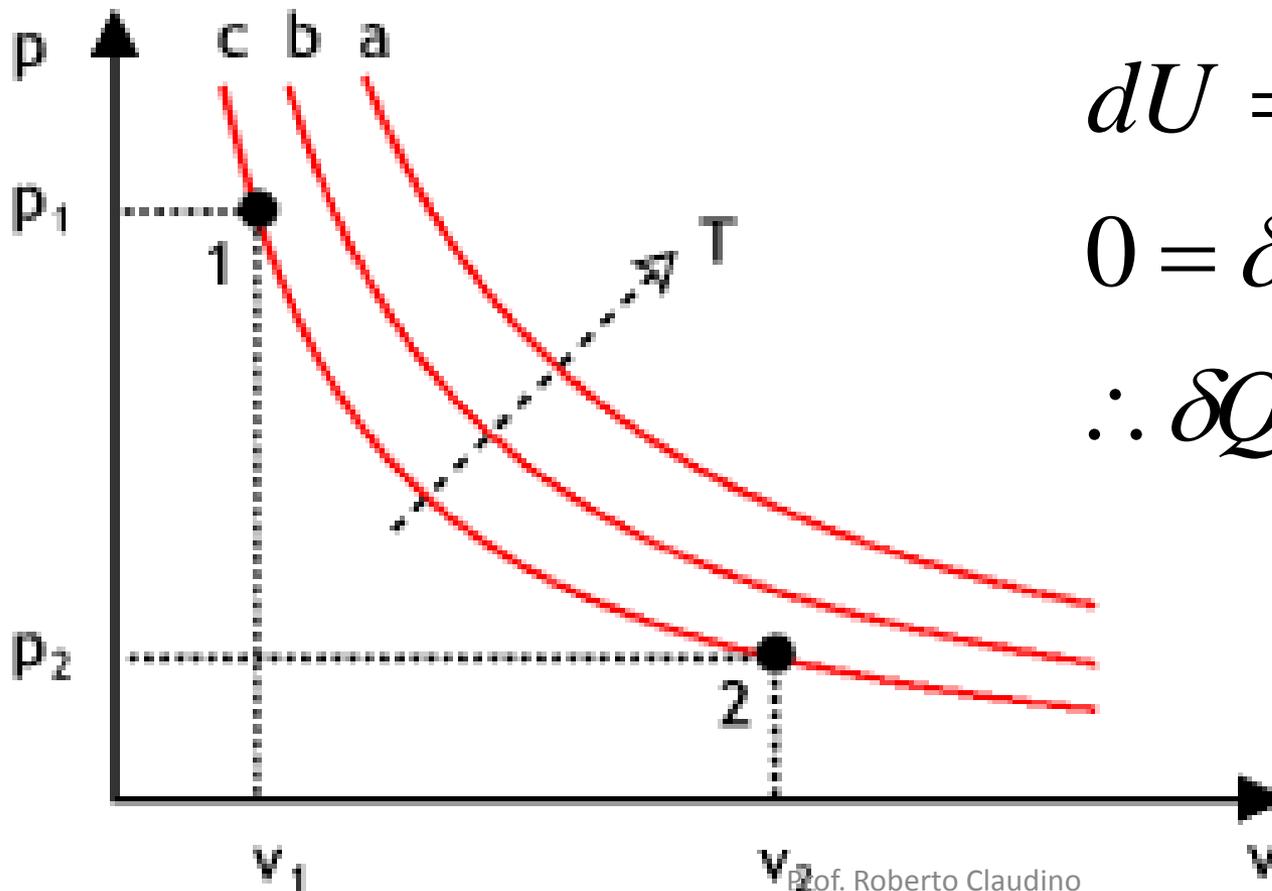
➤ Supondo um gás monoatômico (formado por átomos isolados, ex: Hélio). A energia Interna deste gás é a soma das energias cinéticas de translação dos átomos. $K_{méd} = \frac{3}{2}KT$

Uma amostra com n mols de um gás possui nN_A átomos. Logo: $E_{int.} = U = \frac{3}{2}nRT$

➤ A energia interna de um gás é função apenas da temperatura, não depende de outras variáveis.

Processo Isotérmico

- **Mesma temperatura** (Temperatura constante).
- Como a temperatura não muda $\Delta U = 0$.



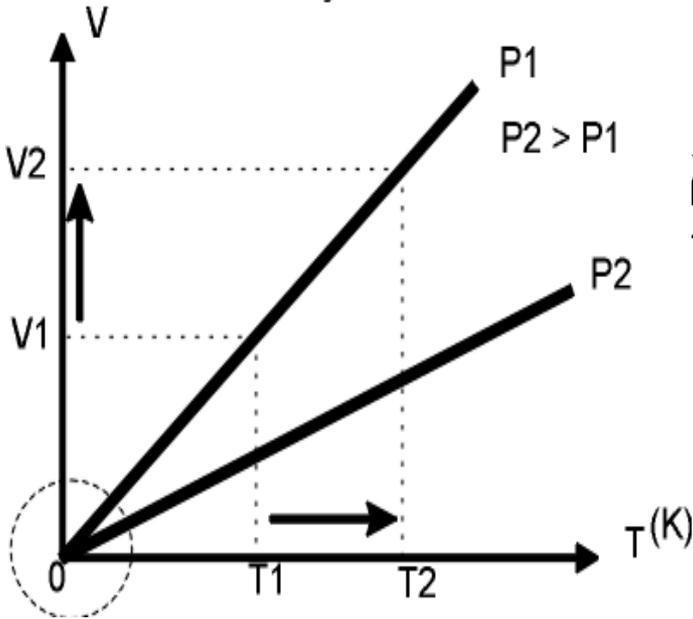
$$dU = \delta Q - \delta W$$

$$0 = \delta Q - \delta W$$

$$\therefore \delta Q = \delta W$$

Processo Isobárico

- **Mesma pressão** (pressão constante).
- Pela equação geral dos gases ideais.



$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} = \text{constante} \quad \boxed{\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}}$$

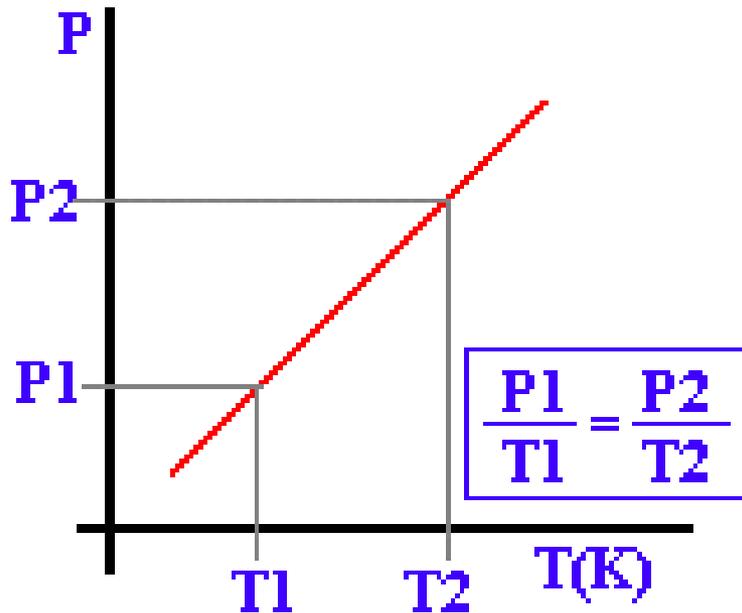
A quantidade de calor trocada entre o meio ambiente e o gás pode ser calculada com:

$$\boxed{Q = mc_p \Delta t}$$

C_p = calor específico do gás.

Processo Isométrico

- **Mesmo volume** (volume constante).
- Não há realização de trabalho já que não há deslocamento no ponto de aplicação da força.



$$W = 0 \Rightarrow dU = \delta Q$$

A quantidade de calor trocada entre o meio ambiente e o gás pode ser calculada com:

$$Q = mc_V \Delta t$$

c_V = calor específico do gás.

Relação de Maier

➤ O Alemão Julius Robert Maier famoso por trabalhos com sistemas gasosos, encontrou uma relação em que a diferença entre o calor específico de um gás a uma pressão e o calor específico de um gás temperatura constante é igual a uma constante universal dos gases (R).

$$C_P - C_V = R$$



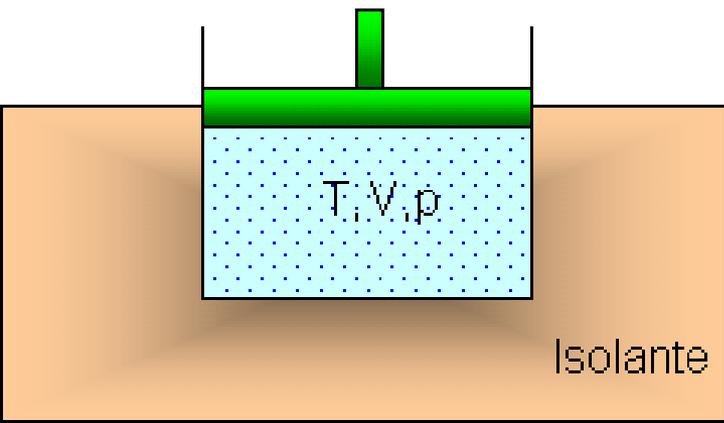
Processo Adiabático

➤ Não há troca de calor entre o sistema e o ambiente.

➤ Como $\Delta Q = 0$, $dU = \delta Q - \delta W$ $dU = -\delta W$
 $dU = 0 - \delta W$

➤ A pressão e o volume se relacionam com:

$P \cdot V^\gamma = \text{constante}$ $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ Expoente de Poisson



2º Problema: Sabendo que a energia interna de um gás depende só da temperatura, temos que:

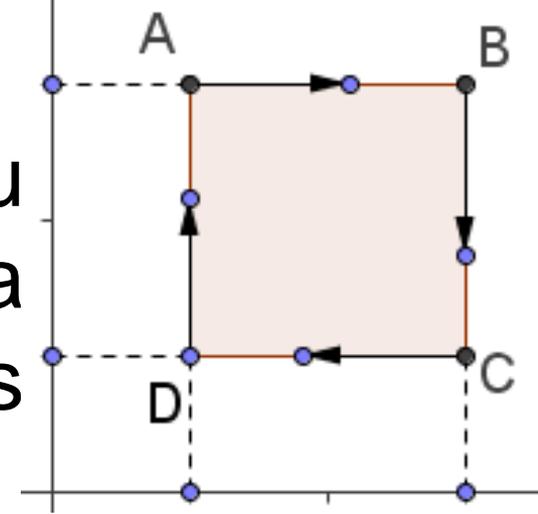
$$dU = nc_v dT$$

Considerando um processo onde a pressão é constante. Prove que: $P \cdot V^\gamma = \text{constante}$

3º Problema: Um gás ideal com volume constante de 15 m^3 e massa 5 kg recebe um acréscimo de temperatura de $30 \text{ }^\circ\text{C}$ para $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Sabendo que o calor específico a volume constante do gás é $c_v = 25 \text{ J/kg.K}$, Determine: (a) O calor transferido durante a variação de temperatura. (b) A variação da energia interna de um gás.

Processo Cíclico

➤ Quando o sistema retorna ao seu estado inicial, após realizar uma série de transformações intermediárias. $dU = 0 \Rightarrow \delta Q = \delta W$

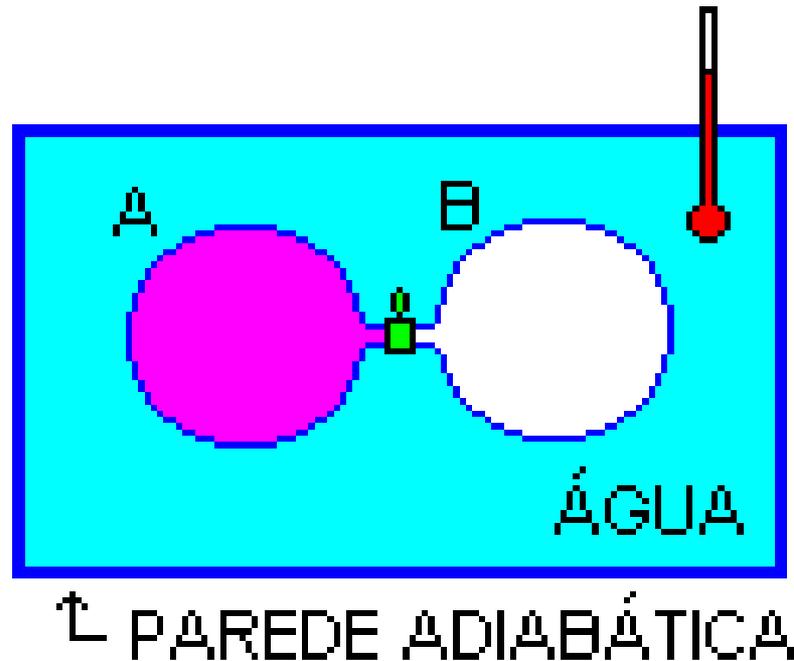


$W > 0$, o calor que o sistema recebe do ambiente é totalmente transformado em trabalho. As máquinas térmicas é um exemplo.

$W < 0$, o sistema transforma parte do calor em trabalho. Ocorre nas máquinas frigoríficas.

Processo de Expansão Livre

➤ Processo adiabático no qual nenhum trabalho é realizado. $Q=W=0$, então a energia interna $dU=0$.



Resumo dos Processos

PROCESSO	RESTRIÇÃO	CONSEQUÊNCIA
Isotérmico $T = \text{const.}$	$dU = 0$	$Q = W$
Isobárico $P = \text{const.}$		$dU = Q - PdV$
Isométrico $V = \text{const.}$	$W = 0$	$dU = Q$
Adiabático	$Q = 0$	$dU = -W$
Cíclico	$dU = 0$	$Q = W$
Expansão livre	$Q = W = 0$	$dU = 0$

4º Problema: Suponha que 1,80 mol de gás ideal é levado de um volume de 3,0 m³ para um volume de 1,5 m³ através de uma compressão isotérmica a 30 °C (a) Qual o calor transferido durante a compressão e (b) o calor é absorvido ou cedido pelo gás?

5º Problema: Um sistema passa por um processo isobárico de pressão 40 Pa, sua temperatura varia de 30 °C até 45 °C, onde ocorre uma expansão de 5 m³ para 9 m³. Determine (a) O calor recebido no processo se o $c_p = 12 \text{ J/kg.K}$ e sua massa é de 50 kg (b) o trabalho realizado (c) a variação da energia interna do sistema.

Entropia

Existem processos que são irreversíveis. A passagem do calor do corpo mais quente para o mais frio, o contrário não ocorre. Um carro ao subir uma montanha queima combustível, mas ao descê-la, o combustível não retorna ao tanque. Parece haver um sentido de atuação de uma grandeza que a 1ª lei não explica. Esta grandeza é a **entropia**.

$$\Delta S = \int \frac{dQ}{T}$$

Força associada a Entropia

6º Problema: Considere um elástico que sofre um pequeno aumento de comprimento dx , ao ponto de considerarmos sua variação da energia $dU=0$. Partindo da 1ª lei, encontre: (a) A expressão que associa a força e a entropia. (b) Explique seu sentido físico.

2ª - Lei da Termodinâmica:

“Se um processo ocorre em um sistema fechado, a entropia do sistema aumenta para processos irreversíveis e permanece constante para processos reversíveis”.

$$\Delta S \geq 0$$

Princípio Fundamental da Termodinâmica

Trata-se da união dos conceitos da 1ª lei e da expressão da entropia.

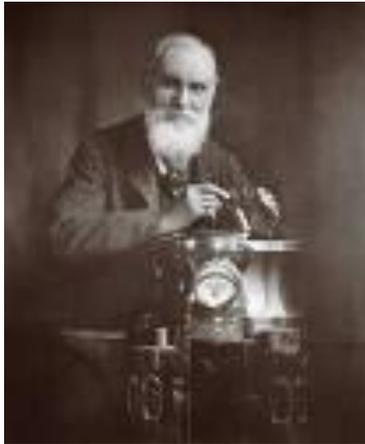
$$dU = \delta Q - \delta W \quad 1^{\text{a}} \text{ Lei da Termodinâmica}$$

$$\Delta S = \frac{Q}{T} \quad \text{Expressão da Entropia}$$

Isolando o calor na duas expressões, substituindo a 2ª expressão na 1ª, temos o princípio fundamental da termodinâmica.

$$TdS = dU + \delta W$$

Enunciado de Kelvin Planck



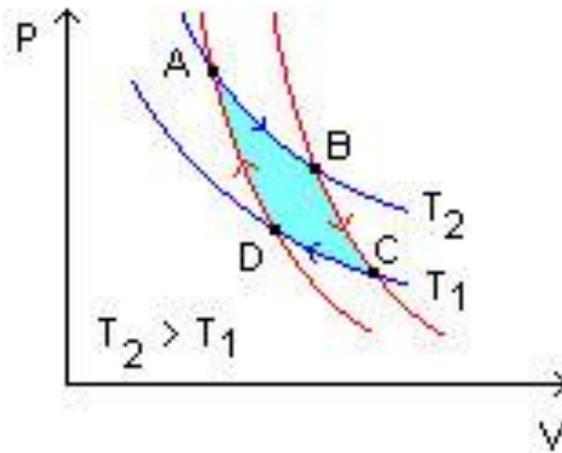
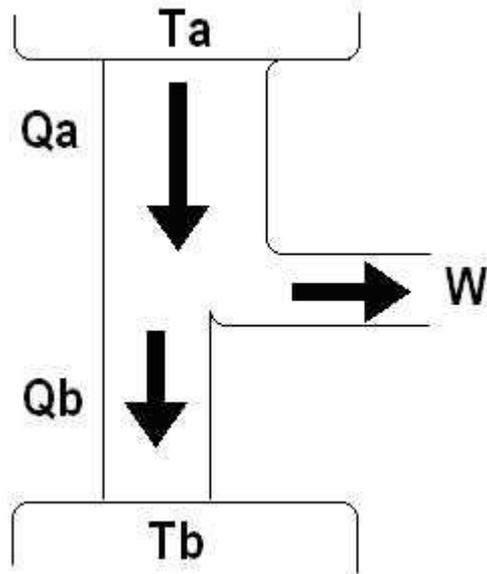
Kelvin



Plank

- É impossível construir uma máquina térmica, que em ciclos, produza trabalho pela troca de calor com uma única fonte térmica ou que converta totalmente calor em trabalho.

A máquina de Carnot



$$W = |Q_Q| - |Q_F|$$

$$\Delta S = \Delta S_Q - \Delta S_F = \frac{|Q_Q|}{T_Q} - \frac{|Q_F|}{T_F}$$

Para o ciclo completo $\Delta S = 0$

$$\frac{Q_Q}{Q_F} = \frac{T_Q}{T_F}$$

Eficiência

$$\varepsilon = \frac{\text{Energia Utilizada}}{\text{Energia Adquirida}} = \frac{|W|}{|Q|}$$

Eficiência da máquina de Carnot

A eficiência de qualquer máquina térmica é dada por:

$$\varepsilon = \frac{\text{Energia Utilizada}}{\text{Energia Adquirida}} = \frac{|W|}{|Q|}$$

7º Problema: Mostre que a eficiência da máquina de Carnot pode ser escrita como:

$$\varepsilon_C = 1 - \frac{T_F}{T_Q}$$

8º Problema: Uma máquina de Carnot opera entre as temperaturas $T_Q=850\text{K}$ e $T_F= 300\text{K}$. A máquina realiza 1200J de trabalho em cada ciclo, que leva a $0,25\text{s}$. (a) Qual a eficiência da máquina? (b) Qual é a potência média da máquina? (c) Qual é a energia $|Q_q|$ extraída em forma de calor da fonte quente a cada ciclo? (d) Qual é a energia $|Q_f|$ liberada em forma de calor para a fonte fria a cada ciclo?

3ª - Lei da Termodinâmica:

Teorema de Nerst: *“Para todas as substâncias a zero grau absoluto ($T = 0 \text{ K}$ ou -273°C) a entropia é zero ($S=0$)”.*

Deste teorema se deduz a 3ª Lei.

“O zero absoluto é impossível de ser alcançado em um processo finito, e só é possível aproximar assintoticamente”.

9º Problema: Suponha que 1,0 mol de nitrogênio esteja confinado no lado esquerdo do recipiente da figura abaixo. A válvula é aberta e o volume do gás dobra. Qual é a variação da entropia do gás para esse processo irreversível? Trate o gás como sendo ideal.

