

BCJ0205-15

Fenômenos Térmicos

Prof. Paramita Barai

**Modulo 4: Máquinas Térmicas, Entropia e
a Segunda Lei da Termodinâmica**

Capítulo 18 do livro texto
(Princípios de Física, Serway, Vol. 2)

Unidades 18.6, 18.7 (páginas 208 – 212)

4.6 – Entropia



- Novo variável de estado usada para descrever a Segunda Lei da Termodinâmica → Entropia, S
- Entropia em escala macroscópica foi definido pelo físico alemão Rudolf Clausius em 1865.

- Para o ciclo de Carnot em máquina térmica de eficiência máxima →

– Consideramos o sinal correto agora.

$$\frac{|Q_c|}{|Q_h|} = \frac{T_c}{T_h}$$

$$\frac{|Q_c|}{T_c} = \frac{|Q_h|}{T_h}$$

- Q_c = Energia dissipada do sistema de gás para o reservatório durante a compressão isotérmica.

– Um número negativo.

$$-\frac{Q_c}{T_c} = \frac{Q_h}{T_h}$$

- Esta equação é verdadeira para:

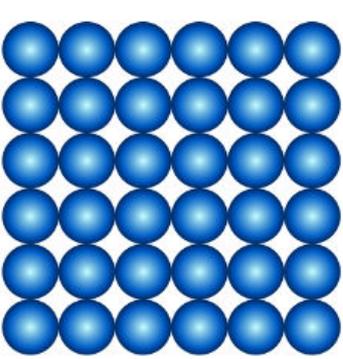
- Todos os ciclos de Carnot,
- Qualquer ciclo Reversível.

$$\frac{Q_h}{T_h} + \frac{Q_c}{T_c} = 0$$

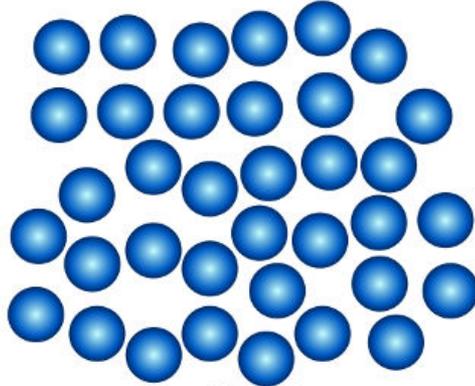
→ A razão (Q/T) é fisicamente importante.

$$\sum \frac{Q}{T} = 0$$

Entropia



**BAIXA
ENTROPIA**



**ALTA
ENTROPIA**

- Sistema que passa por um processo infinitesimal entre 2 estados de equilíbrio.
- dQ_r = Energia transferida pelo calor quando o sistema segue um caminho reversível entre os estados.

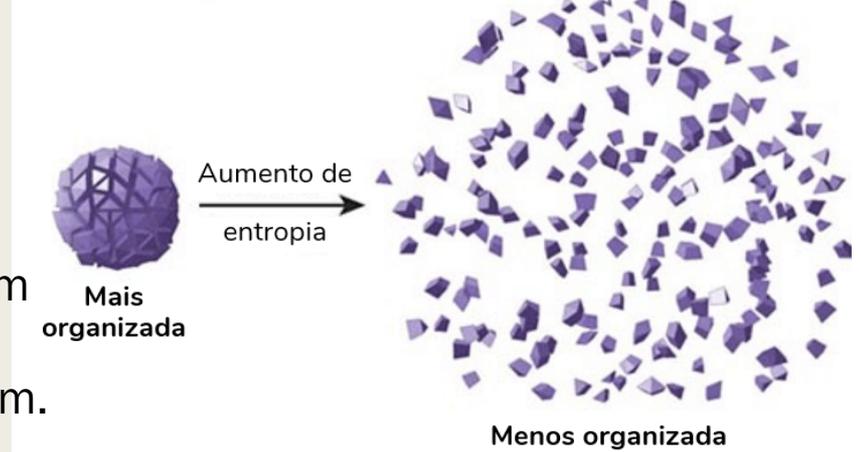
$$dS = \frac{dQ_r}{T}$$

- **Varição em Entropia** →
 - *Energia transferida pelo calor ao longo do caminho reversível dividido pela temperatura absoluta do sistema.*
- Energia transferida deve ser determinada ao longo de um caminho reversível, mesmo que o sistema tenha seguido algum caminho irreversível.
 - *Devemos modelar um processo irreversível pelo processo reversível entre os estados inicial e final para calcular a variação de entropia.*
- Quando a energia é absorvida pelo sistema
 - dQ_r é positivo, entropia aumenta.
- Quando a energia é expelida pelo sistema
 - dQ_r é negativo, entropia diminui.

Entropia

❖ De acordo com a análise em mecânica estatística:

- ❑ Sistemas isolados tendem a ir de ordem em desordem,
- ❑ Entropia é uma medida dessa desordem.



- Do ponto de vista microscópico pela análise estatística do movimento molecular.
- Conexão entre a entropia e a quantidade de microestados associados ao macroestado →

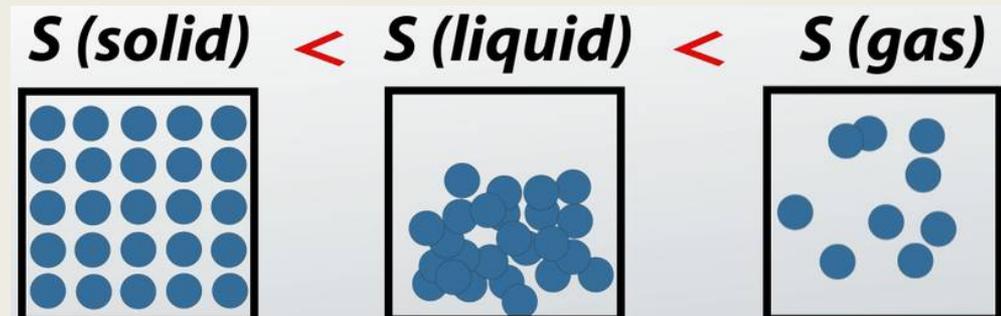
$$S \equiv k_B \ln(W)$$

- $W = \text{Número de microestados associados ao macroestado,}$
 - $S = \text{Entropia do macroestado.}$
 - Os macroestados mais prováveis têm a maior quantidade de microestados.
 - Maiores quantidades de microestados → Maior desordem.
- ∴ Entropia é uma medida de desordem microscópica.

4.7 – Entropia e a Segunda Lei da Termodinâmica

- Enunciado de Entropia da Segunda Lei da Termodinâmica : A Entropia do Universo aumenta em todos os processos naturais.
- dQ_r = Energia transferida reversivelmente pelo calor quando o sistema está na temperatura T
 - T geralmente não é constante para um processo finito.
- Variação de Entropia em um processo arbitrário reversível entre os estados inicial e final →

$$\Delta S = \int_i^f dS = \int_i^f \frac{dQ_r}{T}$$



- A variação na entropia de um sistema depende apenas das propriedades dos estados de equilíbrio inicial e final.
 - ∴ Entropia é uma variável de estado.

Entropia e a Segunda Lei da Termodinâmica

- Um processo reversível e adiabático:

$$dQ=0 \rightarrow \Delta S = 0$$

- *Nenhuma energia é transferida pelo calor entre o sistema e seus arredores.*
- Também um **processo isentrópico** (como não há variação na entropia).

- Em um máquina de Carnot operando entre as temperaturas T_c e T_h

- Para um ciclo de Carnot, variação na entropia \rightarrow

$$\Delta S = 0$$

- Um sistema que passa por um **ciclo reversível arbitrário** :

- *Como a entropia é uma variável de estado e, portanto, depende apenas das propriedades do estado de equilíbrio.*

- $\therefore \Delta S=0$ para qualquer ciclo reversível.

- Esta condição na forma matemática \rightarrow

$$\oint \frac{dQ_r}{T} = 0$$

- *Onde a integração ocorre em um caminho fechado.*

A Segunda Lei e a Vida Humana no Universo



- ❑ Espécie humana é um sistema altamente organizado que evolui a partir de vida simples.
- ❑ O aumento na ordem da evolução humana na Terra é inconsistente com a Segunda Lei ?

- Aumentos locais em ordem são permitidos.
 - *Desde que todo o sistema esteja em conformidade com a Segunda Lei.*
 - **Ex.: Flocos de neve hexagonais ordenados são formados a partir de moléculas de água no ar → só um aumento local na ordem.**
- A Terra é um sistema não isolado : a Terra + seu ambiente.
 - *Enorme quantidade de energia do Sol entra na Terra continuamente.*
 - *Aumento na ordem (diminuição da entropia, evolução humana) pode ocorrer.*
- A Evolução do nosso Universo está de acordo com a Segunda Lei.
 - *Pequeno e quente (Big Bang) torna-se maior e mais frio (Universo atual).*