



BCJ0205-15

# Fenômenos Térmicos

## U - 2020.QS

**Prof. Paramita Barai**

**Aula 17. Data: 03/12/2020**

# MODULO 4:

## **MÁQUINAS TÉRMICAS, ENTROPIA E A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA**

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

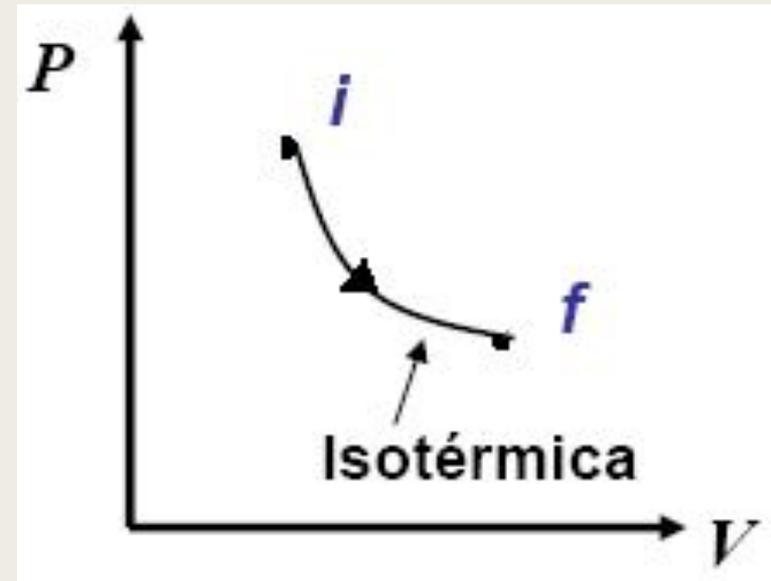
Unidade 18.8 (páginas 213 – 215)

# 4.8 – Variação da Entropia nos Processos Irreversíveis

- Considere um processo reversível (ou série de processos reversíveis) entre 2 estados de equilíbrio → calcule  $\int dQ_r/T$  para os processos reversíveis.
- Em **processos Irreversíveis**, deve distinguir entre :
  - $Q$  = Transferência real de energia no processo.
  - $Q_r$  = Energia que teria sido transferida pelo calor ao longo de um **caminho reversível entre os mesmos estados.**
    - Apenas  $Q_r$  fornece a variação na entropia correta.

❖ Ex.: Gás ideal se expande adiabaticamente no vácuo:  $Q=0$ , mas  $\Delta S \neq 0$ , porque  $Q_r \neq 0$ .

- ✓ O caminho reversível entre 2 estados iguais é a expansão reversível e isotérmica que fornece  $\Delta S > 0$ .



# Entropia das Partes do Universo



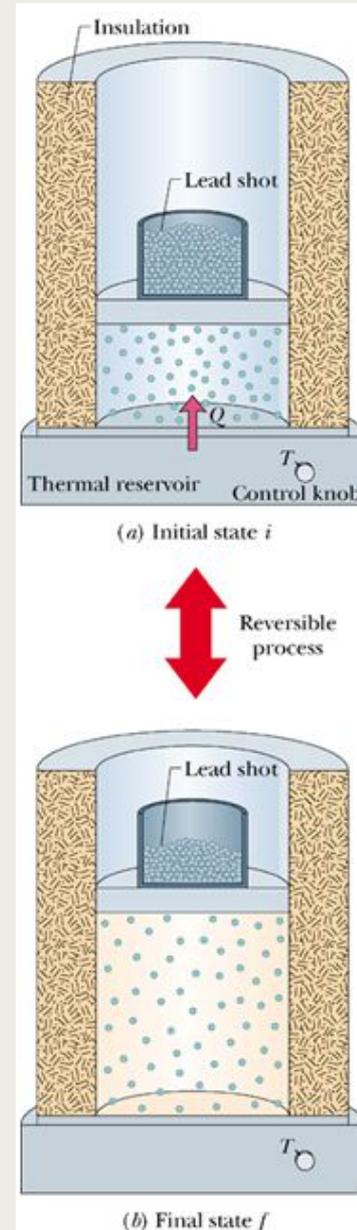
- Sistemas Isolados:
  - processo Irreversível → Entropia do sistema aumenta.
  - processo Adiabático Reversível → Entropia total = constante.
- Sistemas não Isolados: Sistema + seus arredores.
  - processo Irreversível → Aumento da entropia em uma parte do Universo é maior do que a diminuição da entropia na outra parte.
    - ∴ Variação da Entropia do Universo  $> 0$ .
  - processo Adiabático Reversível → Variação da entropia do Universo = 0.

- Finalmente, a entropia do Universo deve atingir seu valor máximo.
    - Todo Universo estará em temperatura e densidade uniformes.
    - Estado de perfeita desordem → falta de energia disponível para fazer o trabalho.
      - Todos os processos físicos, químicos e biológicos cessarão.
- “Morte Térmica” do Universo.

# Variação de Entropia em uma Expansão Livre

- Gás ideal em um reservatório isolado.
  - Volume inicial do gás =  $V_i$
- O gás se expande em um processo irreversível adiabático.
  - Volume final =  $V_f$
- Trabalho feito no gás = 0 ( $\because$  paredes são isoladas)
  - Nenhuma energia é transferida pelo calor.
  - A Primeira Lei 
$$Q=0, W=0. \rightarrow \Delta E_{int}=0$$
- Primeiro, encontrar  $Q_r$  : um caminho reversível equivalente com os mesmos estados inicial e final.
  - Uma expansão isotérmica e reversível:
    - Gás empurra um pistão, enquanto a energia entra no gás pelo calor de um reservatório para manter  $T =$  constante.

$$\Delta S = \int \frac{dQ_r}{T} = \frac{1}{T} \int_i^f dQ_r$$



# Variação de Entropia em uma Expansão Livre

- Processo Isotérmico

- A Primeira Lei

- Entrada de energia pelo calor é igual ao trabalho negativo realizado no gás.

$$\Delta E_{\text{int}} = 0 \quad \rightarrow \quad Q = -W$$

$$dQ_r = -dW = P dV$$

$$\Delta S = \frac{1}{T} \int_i^f dQ_r = \frac{1}{T} \int_i^f P dV$$

$$\Delta S = \frac{1}{T} \int_i^f \frac{nRT}{V} dV = nR \int_{V_i}^{V_f} \frac{1}{V} dV$$

$$\Delta S = nR \ln \left( \frac{V_f}{V_i} \right)$$

- $\because V_f > V_i \rightarrow \Delta S > 0$ .

- A entropia e a desordem do gás (e do Universo) aumentam como resultado de uma expansão irreversível e adiabática.

