

Segunda Lei da Termodinâmica

Flaviano Williams Fernandes

Instituto Federal do Paraná
Campus Irati

3 de Novembro de 2020

Sumário

- 1 Transformações cíclicas
- 2 Máquinas térmicas
- 3 Entropia
- 4 Aplicações
- 5 Apêndice

Diagrama pressão versus volume em processos cíclicos

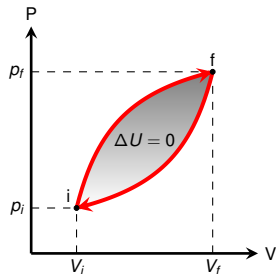
Corollary

Definimos como processo cíclico quando o gás retorna para o seu estado inicial.

A energia interna $U(T)$ de um gás é uma função da temperatura. Se os estados i e f estão em equilíbrio térmico, podemos determinar $U(T)$ sabendo a temperatura nesses estados, os valores **não irão mudar independente do processo termodinâmico** que esse gás poderá sofrer.

Corollary

Durante uma transformação cíclica, a variação da energia interna do gás será zero ($\Delta U = 0$).



Exemplo de processo cíclico.

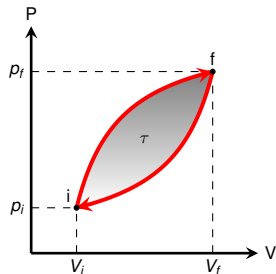
Trabalho realizado pelo gás em processos cíclicos

Podemos definir o trabalho total realizado pelo gás num processo cíclico subtraindo os trabalhos individuais nos processos de i para f e o retorno (f para i),

$$\tau = \tau_{(i \rightarrow f)} - \tau_{(f \rightarrow i)}.$$

Corollary

*Durante uma transformação cíclica, o trabalho realizado pelo gás, ao percorrer o ciclo, é fornecido pela **área entre as curvas**.*



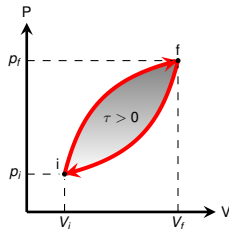
Representação de trabalho em um processo cíclico.

Trabalho e sentido do processo cíclico

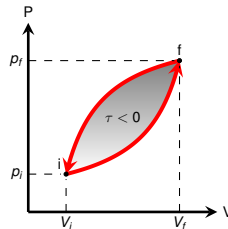
Corollary

O trabalho será positivo se o processo for no sentido horário.

O trabalho será negativo se o processo for no sentido anti-horário.



Sentido horário

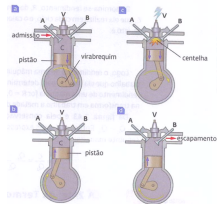


Sentido anti-horário

Definição de máquina térmica

Máquina térmica

Toda máquina térmica opera num processo cíclico, onde ela recebe calor Q_1 de uma fonte quente a temperatura T_1 e parte desse calor (Q_2) ela devolve para uma fonte fria que está a temperatura T_2 , onde $T_2 < T_1$.



Motor a combustão de 4 tempos

Corollary

Parte do calor recebido pela fonte quente é convertido em trabalho e o restante é desperdiçado para a fonte fria.

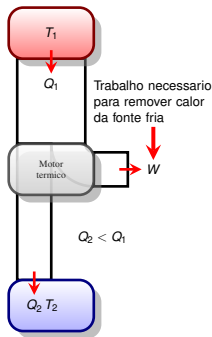
Aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica em máquinas térmicas

O calor total absorvido pelo gás durante o processo será o calor Q_1 recebido menos o calor Q_2 desperdiçado. Pela Primeira Lei da Termodinâmica temos

$$\Delta U = (Q_1 - Q_2) - \tau.$$

Mas $\Delta U = 0$ num processo cíclico, portanto

$$\tau = Q_1 - Q_2.$$



Representação de calor entrando (Q_1) e saindo (Q_2) do sistema.

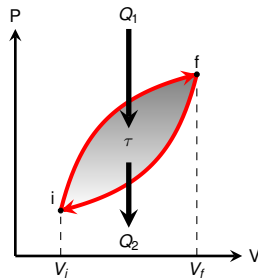
Rendimento de uma máquina térmica

Definimos o rendimento R de uma máquina térmica pela **quantidade de calor que ela consegue transformar em trabalho** à partir do calor que recebe da fonte quente,

$$R = \frac{\tau}{Q_1},$$

$$R = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

$$R = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \Rightarrow R < 1.$$



Representação de calor entrando (Q_1) e saindo (Q_2).

Corollary

O rendimento de uma máquina térmica será sempre menor que 1.

Rendimento de uma máquina de Carnot

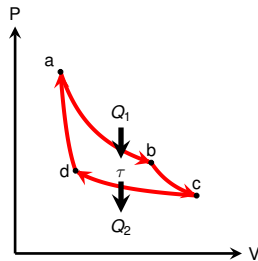
Uma máquina de Carnot é uma máquina térmica que funciona em um processo cíclico formado por dois processos isotérmicos mais dois processos adiabáticos.

Corollary

Nenhuma máquina térmica que opere entre duas fontes às temperaturas T_1 e T_2 , pode ter rendimento maior que uma máquina de Carnot operando entre essas mesmas fontes.

Rendimento de uma máquina de Carnot

$$R = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

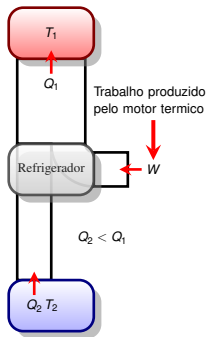


Representação gráfica de uma máquina de Carnot.

Como funciona um refrigerador?

O objetivo de um refrigerador é remover calor de uma fonte fria e transferí-la para uma fonte mais quente. Nesse processo inevitavelmente ele realiza trabalho. Portanto, um refrigerador seria uma máquina térmica funcionando no sentido contrário. O rendimento é medido pela capacidade de transferir calor Q_2 em relação ao trabalho τ que ele realiza,

$$R = \frac{Q_2}{\tau}, \quad (\tau = Q_1 - Q_2)$$
$$R = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}.$$



Representação de calor Q_2 saindo de uma fonte fria e calor Q_1 transferida para a fonte quente.

O que é entropia?

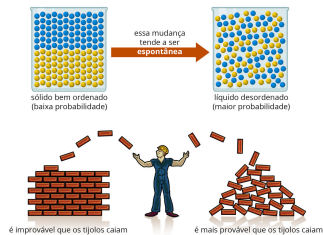
Entropia

A entropia, definida pela letra S , está associada com o grau de desordem de um sistema. No SI a unidade de medida da entropia é Joule por Kelvin (J/K).

Por exemplo, se o processo ocorre sem variar a sua temperatura (isotérmico) a variação da entropia ΔS associado ao sistema será

$$\Delta S = \frac{Q}{T},$$

onde Q é a quantidade de calor que o sistema irá receber ou ceder e T a sua temperatura.



Exemplo de entropia usando tijolos.

Variação da entropia do universo

Segunda lei da termodinâmica

Na natureza, a entropia total, **que é a soma da entropia do sistema com a vizinhança**, sempre aumenta.

Definindo ΔS_u como a variação da entropia do universo, ΔS_s a variação de entropia do sistema e ΔS_v a variação da entropia da vizinhança, onde

$$\Delta S_u = \Delta S_s + \Delta S_v,$$

podemos dizer que para qualquer fenômeno que ocorre na natureza ΔS_u será sempre maior ou no mínimo igual a zero ($\Delta S_u \geq 0$).

Entropia e máquinas térmicas

No ciclo de Carnot temos que a variação da entropia ΔS nos processos adiabáticos é zero, pois $Q=0$. Sabendo que nos processos isotérmicos temos $\Delta S = \frac{Q}{T}$ e que $\Delta S_{\text{Total}} \geq 0$. Se $\Delta S_{\text{sistema}} = 0$ temos

$$\Delta S_{\text{sistema}} = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 0,$$

$$\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0,$$
$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}.$$

Sabemos que $T_1 \neq 0$ e $T_2 \neq 0$, portanto a única maneira de termos $Q_2 = 0$ é se $Q_1 = 0$ (**uma máquina que não existe!**).

Corollary

A segunda lei da termodinâmica impede que todo calor Q_1 recebido pela máquina térmica seja inteiramente convertido na forma de trabalho.

Transformar um número em notação científica

Corollary

Passo 1: Escrever o número incluindo a vírgula.

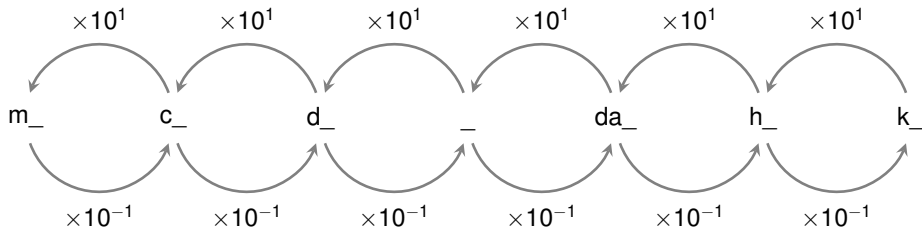
Passo 2: Andar com a vírgula até que reste somente um número diferente de zero no lado esquerdo.

Passo 3: Colocar no expoente da potência de 10 o número de casas decimais que tivemos que "andar" com a vírgula. Se ao andar com a vírgula o valor do número diminuiu, o expoente ficará positivo, se aumentou o expoente ficará negativo.

Exemplo

$$6\,590\,000\,000\,000\,000,0 = 6,59 \times 10^{15}$$

Conversão de unidades em uma dimensão

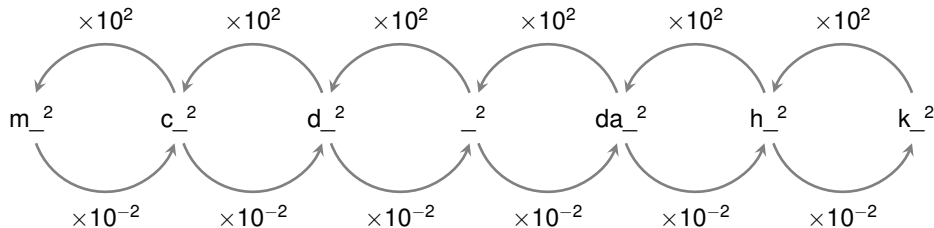


$$1 \text{ mm} = 1 \times 10^{(-1) \times 2} \text{ dm} \rightarrow 1 \times 10^{-2} \text{ dm}$$

$$2,5 \text{ kg} = 2,5 \times 10^{(1) \times 6} \text{ mg} \rightarrow 2,5 \times 10^6 \text{ mg}$$

$$10 \text{ ms} = 10 \times 10^{(-1) \times 3} \text{ s} \rightarrow 10 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Conversão de unidades em duas dimensões

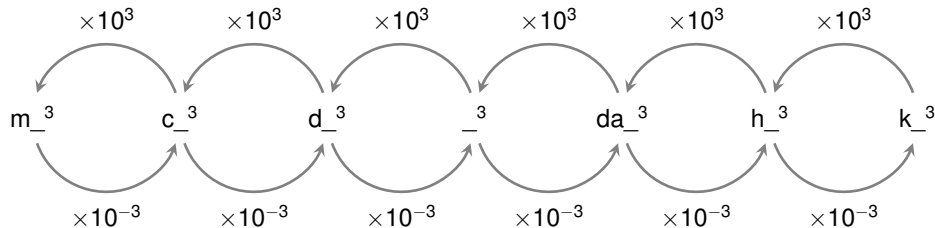


$$1 \text{ mm}^2 = 1 \times 10^{(-2) \times 2} \text{ dm}^2 \rightarrow 1 \times 10^{-4} \text{ dm}^2$$

$$2,5 \text{ m}^2 = 2,5 \times 10^{(2) \times 3} \text{ mm}^2 \rightarrow 2,5 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$10 \text{ ms}^2 = 10 \times 10^{(-2) \times 3} \text{ s}^2 \rightarrow 10 \times 10^{-6} \text{ s}^2$$

Conversão de unidades em três dimensões



$$1 \text{ mm}^3 = 1 \times 10^{(-3) \times 2} \text{ dm}^3 \rightarrow 1 \times 10^{-6} \text{ dm}^3$$

$$2,5 \text{ m}^3 = 2,5 \times 10^{(3) \times 3} \text{ mm}^3 \rightarrow 2,5 \times 10^9 \text{ mm}^3$$

$$2,5 \text{ km}^3 = 2,5 \times 10^{(3) \times 6} \text{ mm}^3 \rightarrow 2,5 \times 10^{18} \text{ mm}^3$$

Alfabeto grego

Alfa	A	α	Ni	N	ν
Beta	B	β	Csi	Ξ	ξ
Gama	Γ	γ	ômicon	O	o
Delta	Δ	δ	Pi	Π	π
Epsílon	E	ϵ, ε	Rô	P	ρ
Zeta	Z	ζ	Sigma	Σ	σ
Eta	H	η	Tau	T	τ
Teta	Θ	θ	Ípsilon	Υ	v
Iota	I	ι	Fi	Φ	ϕ, φ
Capa	K	κ	Qui	X	χ
Lambda	Λ	λ	Psi	Ψ	ψ
Mi	M	μ	Ômega	Ω	ω

Referências e observações¹

 A. Máximo, B. Alvarenga, C. Guimarães, Física. Contexto e aplicações, v.2, 2.ed., São Paulo, Scipione (2016)

Esta apresentação está disponível para download no endereço
<https://flavianowilliams.github.io/education>

¹Este material está sujeito a modificações. Recomenda-se acompanhamento permanente.