Segunda Lei da Termodinâmica

Flaviano Williams Fernandes

Instituto Federal do Paraná
Campus Irati

27 de Outubro de 2020

Sumário

Diagrama pressão versus volume em processos cíclicos

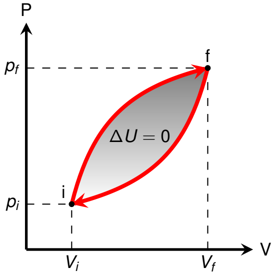
Corollary

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.

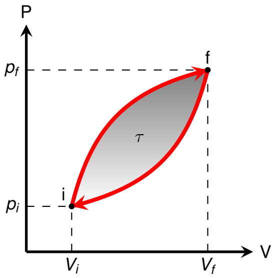
Trabalho realizado pelo gás em processos cíclicos

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),

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

Corollary

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



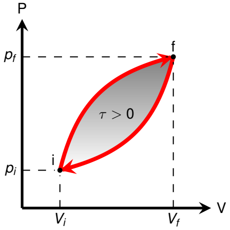
Representação de trabalho em um processo cíclico.

Trabalho e sentido do processo cíclico

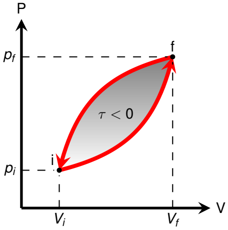
Corollary

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

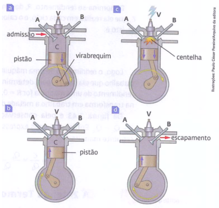


Sentido anti-horário

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.

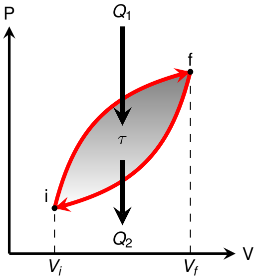
Aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica em máquinas térmicas

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

$$\boxed{\tau = Q_1 - Q_2.}$$



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

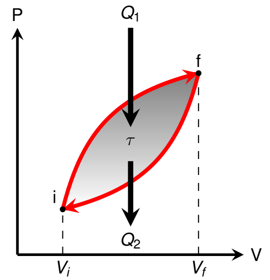
Rendimento de uma máquina térmica

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,

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

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

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



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

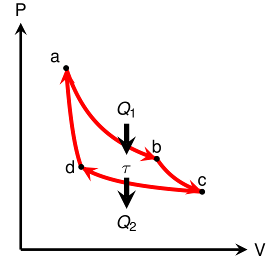
Uma máquina de Carnot é uma máquina térmica que funciona em um processo cíclico formado por dois processos isotérmicos mais dois processos adiabáticos.

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.

O que é entropia?

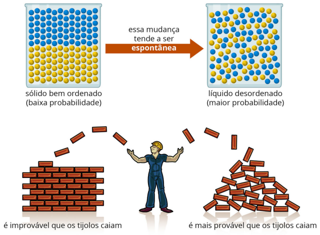
Entropia

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

$$\begin{tikzcd}[column sep=large]
\mathrm{m}_ \arrow[r, bend right, "\times 10^{-1}"'] & \mathrm{c}_ \arrow[l, bend right, "\times 10^{1}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-1}"'] & \mathrm{d}_ \arrow[l, bend right, "\times 10^{1}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-1}"'] & _ \arrow[l, bend right, "\times 10^{1}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-1}"'] & \mathrm{da}_ \arrow[l, bend right, "\times 10^{1}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-1}"'] & \mathrm{h}_ \arrow[l, bend right, "\times 10^{1}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-1}"'] & \mathrm{k}_ \arrow[l, bend right, "\times 10^{1}"']
\end{tikzcd}$$

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

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

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

Conversão de unidades em duas dimensões

$$
\begin{tikzcd}
m\_^2 \arrow[r, bend right, "\times 10^{-2}"'] & c\_^2 \arrow[l, bend right, "\times 10^{2}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-2}"'] & d\_^2 \arrow[l, bend right, "\times 10^{2}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-2}"'] & \_^2 \arrow[l, bend right, "\times 10^{2}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-2}"'] & da\_^2 \arrow[l, bend right, "\times 10^{2}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-2}"'] & h\_^2 \arrow[l, bend right, "\times 10^{2}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-2}"'] & k\_^2 \arrow[l, bend right, "\times 10^{2}"']
\end{tikzcd}
$$

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

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

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

Conversão de unidades em três dimensões

$$
\begin{tikzcd}[column sep=large]
\text{m\_}^{3} \arrow[r, bend right, "\times 10^{-3}"'] & \text{c\_}^{3} \arrow[l, bend right, "\times 10^{3}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-3}"'] & \text{d\_}^{3} \arrow[l, bend right, "\times 10^{3}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-3}"'] & \text{\_}^{3} \arrow[l, bend right, "\times 10^{3}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-3}"'] & \text{da\_}^{3} \arrow[l, bend right, "\times 10^{3}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-3}"'] & \text{h\_}^{3} \arrow[l, bend right, "\times 10^{3}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-3}"'] & \text{k\_}^{3} \arrow[l, bend right, "\times 10^{3}"']
\end{tikzcd}
$$

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

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

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

Alfabeto grego

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

Referências e observações[1]

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

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