Segunda Lei da Termodinâmica

Flaviano Williams Fernandes

Instituto Federal do Paraná
Campus Irati

3 de Novembro de 2020

Sumário

Diagrama pressão versus volume em processos cíclicos

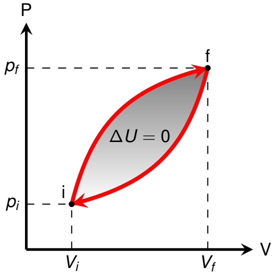
Corollary

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.

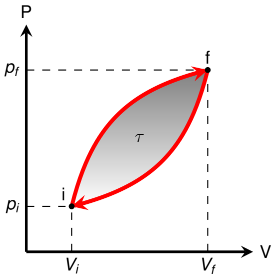
Trabalho realizado pelo gás em processos cíclicos

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.



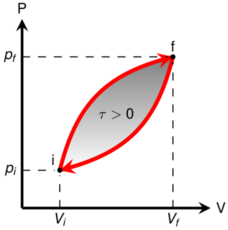
Representação de trabalho em um processo cíclico.

Trabalho e sentido do processo cíclico

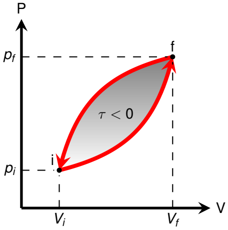
Corollary

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

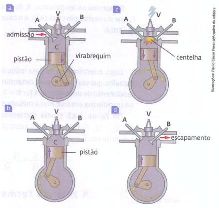


Sentido anti-horário

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.

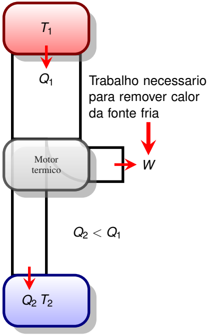
Aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica em máquinas térmicas

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.

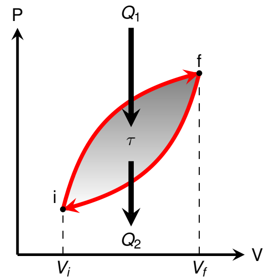
Rendimento de uma máquina térmica

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

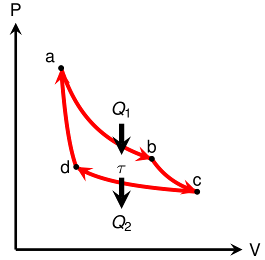
Uma máquina de Carnot é uma máquina térmica que funciona em um processo cíclico formado por dois processos isotérmicos mais dois processos adiabáticos.

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.

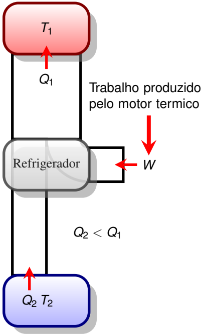
Como funciona um refrigerador?

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,

$$R = \frac{Q_2}{\tau},$$

$$(\tau = Q_1 - Q_2)$$

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



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

O que é entropia?

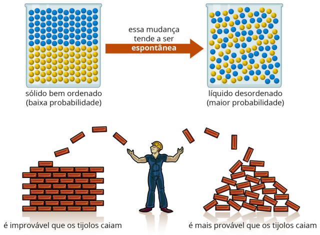
Entropia

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

$$\begin{tikzcd}[column sep=large]
m_ \arrow[r, bend right, "\times 10^{-1}"'] & c_ \arrow[l, bend right, "\times 10^{1}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-1}"'] & d_ \arrow[l, bend right, "\times 10^{1}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-1}"'] & _ \arrow[l, bend right, "\times 10^{1}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-1}"'] & da_ \arrow[l, bend right, "\times 10^{1}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-1}"'] & h_ \arrow[l, bend right, "\times 10^{1}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-1}"'] & k_ \arrow[l, bend right, "\times 10^{1}"']
\end{tikzcd}$$

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

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

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

Conversão de unidades em duas dimensões

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

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

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

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

Conversão de unidades em três dimensões

$$\begin{tikzcd}[column sep=large]
\mathrm{m_}^3 \arrow[r, bend right, "\times 10^{-3}"'] & \mathrm{c_}^3 \arrow[l, bend right, "\times 10^{3}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-3}"'] & \mathrm{d_}^3 \arrow[l, bend right, "\times 10^{3}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-3}"'] & \mathrm{_}^3 \arrow[l, bend right, "\times 10^{3}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-3}"'] & \mathrm{da_}^3 \arrow[l, bend right, "\times 10^{3}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-3}"'] & \mathrm{h_}^3 \arrow[l, bend right, "\times 10^{3}"'] \arrow[r, bend right, "\times 10^{-3}"'] & \mathrm{k_}^3 \arrow[l, bend right, "\times 10^{3}"']
\end{tikzcd}$$

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

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

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

Alfabeto grego

Alfa	A	α	Ni	N	ν
Beta	B	β	Csi	Ξ	ξ
Gama	Γ	γ	ômicron	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	υ
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 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.