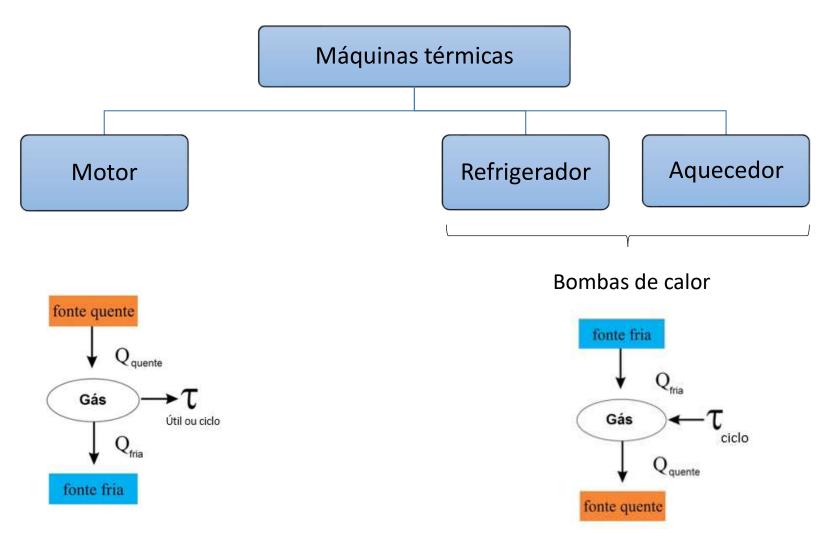
Termodinâmica e máquinas térmicas

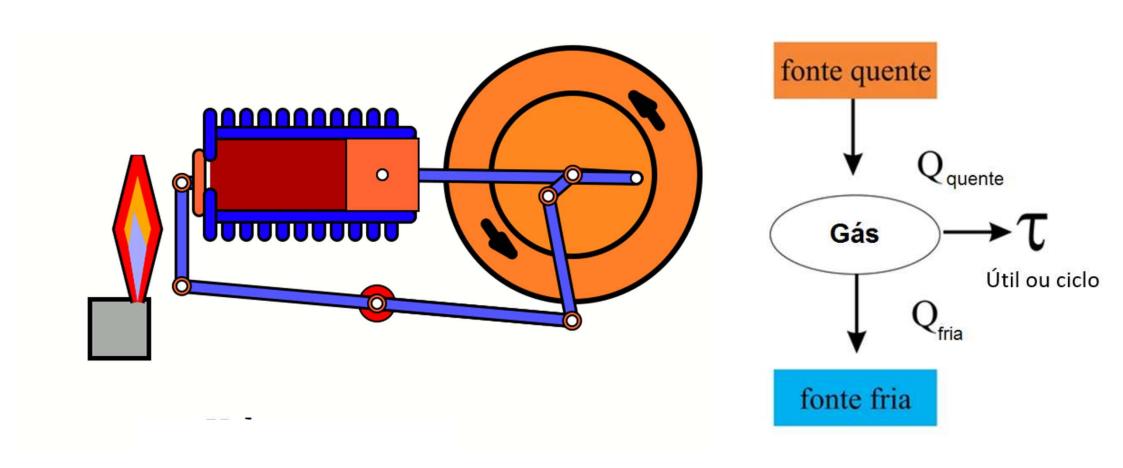
Aulas 19 e 20 / Pg 546 / Tetra 2

- SL 02 Teoria
- SL 24 Exercício

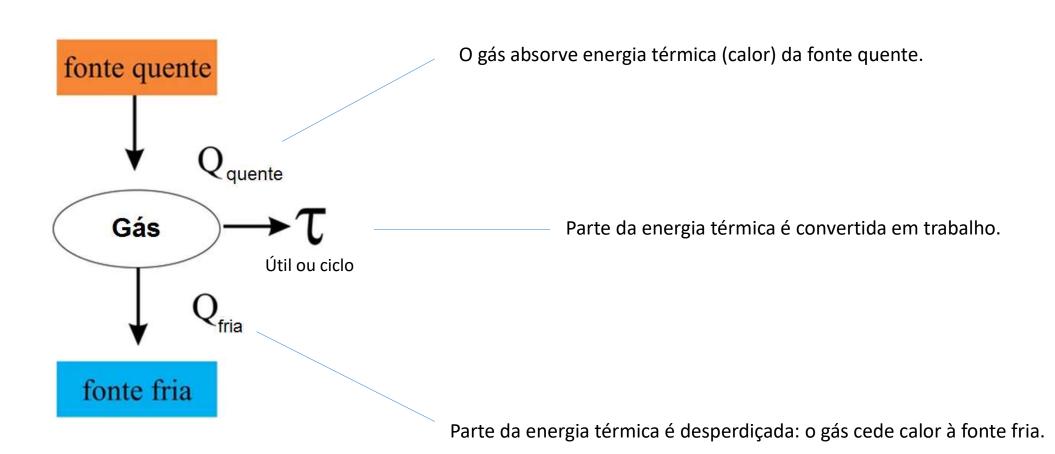
Apresentação e demais documentos: fisicasp.com.br

Máquinas térmicas

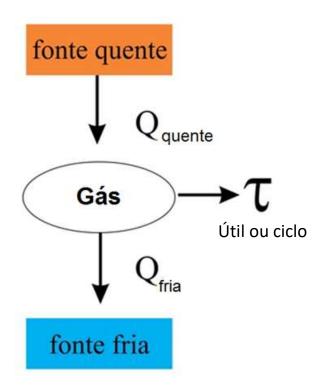


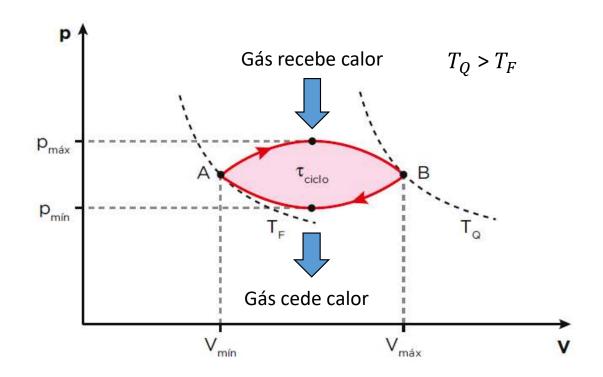






Conversão de parte da energia térmica em energia mecânica

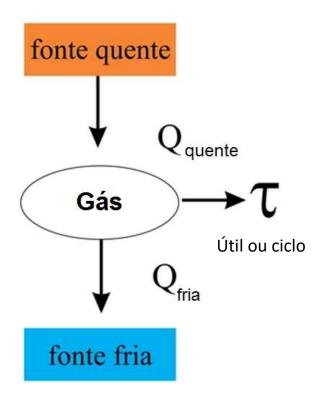




- Ciclo no sentido horário $\rightarrow \tau > 0$
- O gás realiza trabalho e cede energia mecânica ao meio
- $\tau_{\text{ciclo (ú}til)} = |\tau_{\text{expansão}}| |\tau_{\text{compressão}}|$
- $Q_{ciclo} = |Q_{quente/recebido}| |Q_{fria/cedido}|$

KEEP CALM STUDY PHYSICS

Máquinas Térmicas - Rendimento de um motor



$$| Qq | = | \tau_{ciclo} | + | Qf |$$

 $| \tau_{ciclo} | = | Qq | | - | Qf |$

 Avalia o percentual de calor absorvido pelo gás que é convertido em trabalho.

$$n = \frac{|\tau_{\text{útil}}|}{|Qq|} = \frac{|Qq| - |Qf|}{|Qq|}$$

$$0 \le n < 1(100\%)$$

 Não existe máquina com rendimento 100%, ou seja, não existe máquina que converta todo o calor absorvido em trabalho útil!
 Parte do calor sempre é cedido à fonte fria.

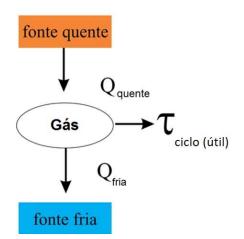
2ª Lei da Termodinâmica

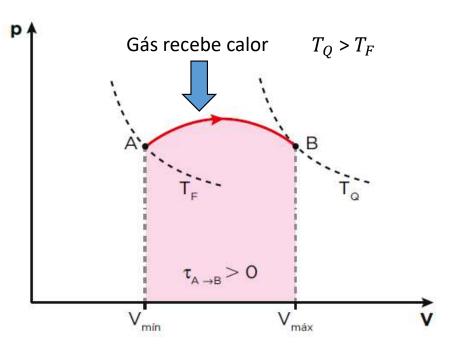
Enunciado de Kelvin-Planck

É impossível a construção de uma máquina que, sem a intervenção de algum agente externo, seja capaz de transformar integralmente em trabalho mecânico todo o calor que recebe da fonte quente.

Interpretação: não existe um motor com rendimento 100%.

Sinais de Q, ΔU, τ e entendimento de cada etapa do ciclo





Expansão
$$\rightarrow$$
 V aumenta \rightarrow $\tau_{AB} > 0$
$$\tau = p_{cte}.~(V_f - V_i)$$
 O gás cede energia mecânica

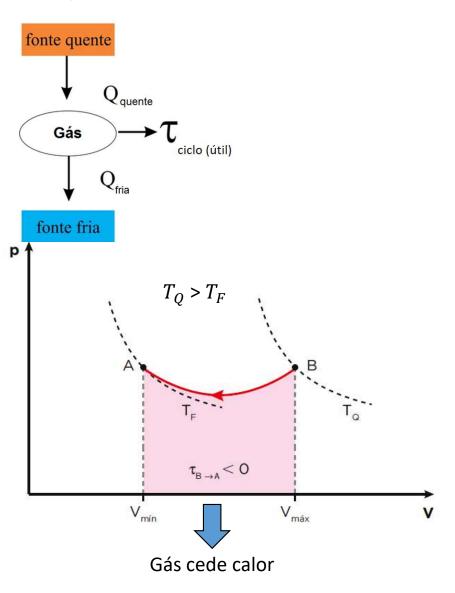
Taumenta \rightarrow Uaumenta \rightarrow AU_{AB} = U_f - U_i > 0

$$\Delta U = Q - \tau$$
 $Q_{AB} = \Delta U + \tau$
 $(+) = (+) + (+)$

$$Q_{AB} > 0$$

 Q_{AB} é o Q_{quente}

O gás recebe calor da fonte quente



Compressão \rightarrow V diminui \rightarrow τ_{BC} < 0

$$\tau = p_{cte}. (V_f - V_i)$$

O gás recebe energia mecânica

T diminui
$$\rightarrow$$
 U diminui \rightarrow AU_{BA} = U_f - U_i < 0

$$\Delta U = Q - \tau$$

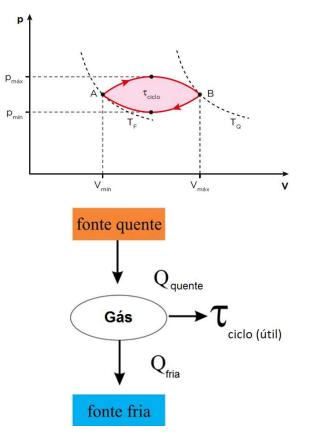
$$Q_{BA} = \Delta U + \tau$$

$$(-) = (-) + (-)$$

$$Q_{BA} < 0$$

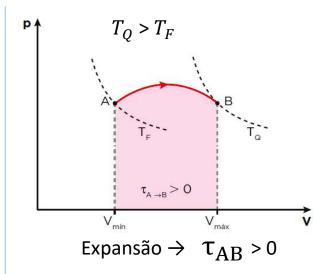
Q_{BA} é o Q_{fria}

O gás cede calor à fonte fria



 $\tau_{ciclo} = |\tau_{expansão}| - |\tau_{compressão}|$

 $\tau_{ciclo} > 0$ o gás cede energia mecânica

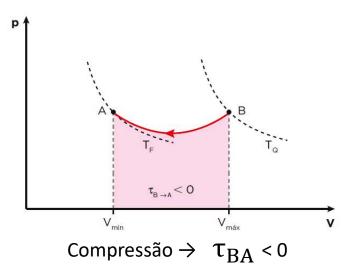


O gás cede energia mecânica



O gás recebe calor da fonte quente

$$Q_{AB} \longrightarrow Q_{quente}$$

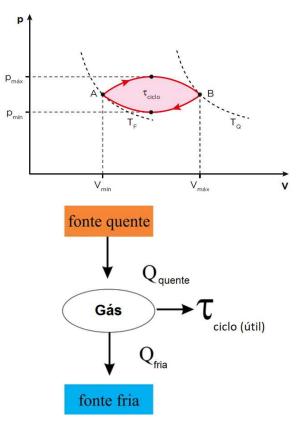


O gás recebe energia mecânica

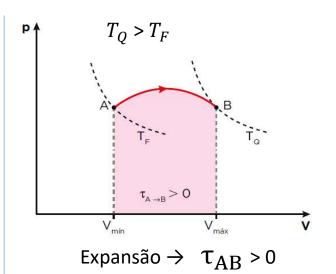
 $Q_{BA} < 0$

O gás cede calor à fonte fria

 $Q_{BA} \implies Q_{fria}$



$$Q_{ciclo}$$
 = $|Q_{quente}|$ - $|Q_{fria}|$
 $|Qq|$ = $|\tau_{ciclo}|$ + $|Qf|$
 $|Qq|$ > $|Qf|$

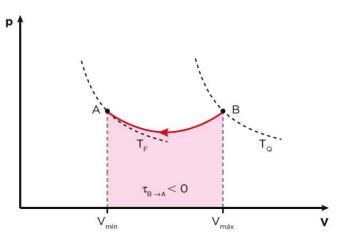


O gás cede energia mecânica

$$Q_{AB} > 0$$

O gás recebe calor da fonte quente

$$Q_{AB} \longrightarrow Q_{quente}$$



Compressão \rightarrow τ_{BA} < 0

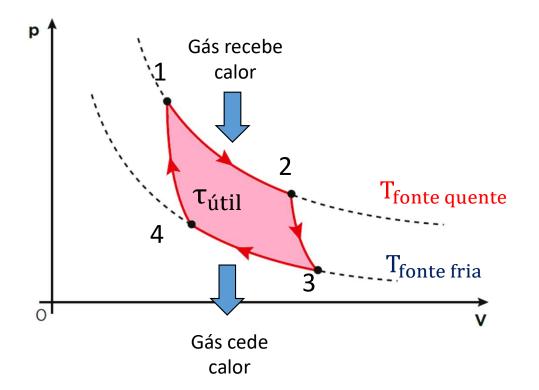
O gás recebe energia mecânica

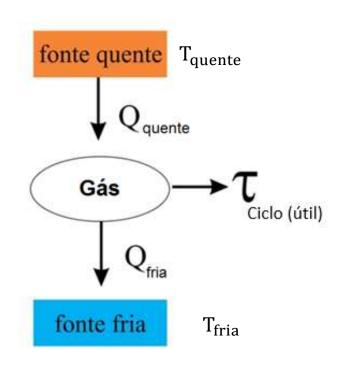
$$Q_{BA} < 0$$

O gás cede calor à fonte fria

$$Q_{BA} \implies Q_{fria}$$

Motor - Ciclo de Carnot



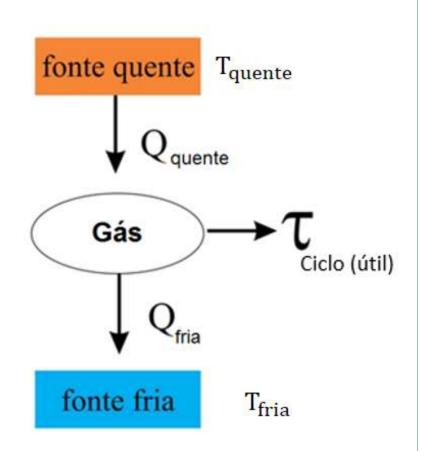


- 1 → 2: expansão isotérmica
- $2 \rightarrow 3$: expansão adiabática
- 3 → 4: compressão isotérmica
- $4 \rightarrow 1$: compressão adiabática

- Ciclo de Carnot: máximo rendimento para uma máquina que opera entre duas temperaturas (T_{quente} e T_{fria}).
- Cuidado! Mesmo sendo máximo, o rendimento nunca será igual a 100%.



Rendimento de um motor (n): Ciclo de Carnot



$$| Qq | = | \tau_{util} | + | Qf | \rightarrow | \tau_{util} | = | Qq | - | Qf |$$

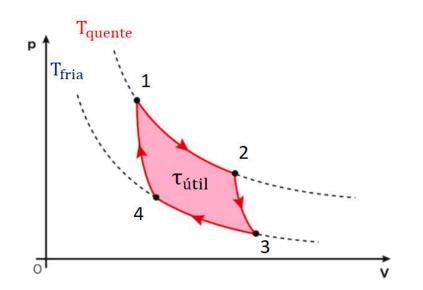
Expressões válidas para todos os casos de motores (inclusive para ciclo de Carnot)

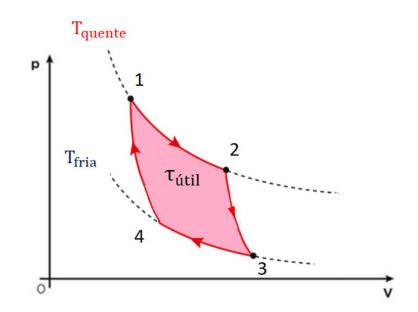
Expressão válida apenas para o Ciclo de Carnot

$$n = \frac{|\tau_{\text{útil}}|}{|Qq|} = \frac{|Qq| - |Qf|}{|Qq|} = \frac{Tq - Tf}{Tq}$$

- As temperaturas das fontes fria e quente se mantém constantes.
- Para os valores de temperatura utilizar a escala Kelvin.

Rendimento de um motor (n): Ciclo de Carnot



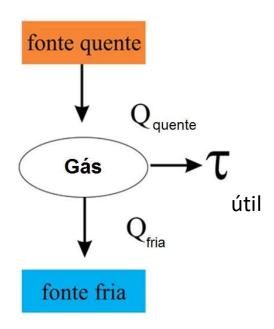


$$n = \frac{|\tau_{\text{útil}}|}{|Qq|} = \frac{(Tq - Tf)}{Tq}$$

3º Princípio da Termodinâmica

É impossível levar um sistema ao zero absoluto através de um número finito de operações.

Exemplo:



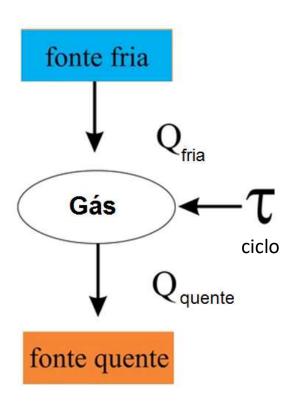
$$n = \frac{|\tau_{\text{útil}}|}{|Qq|} = \frac{|Qq| - |Qf|}{|Qq|} = \frac{Tq - Tf}{Tq}$$

Se
$$T_f = 0 \rightarrow n = 100 \%$$
 (impossível!)

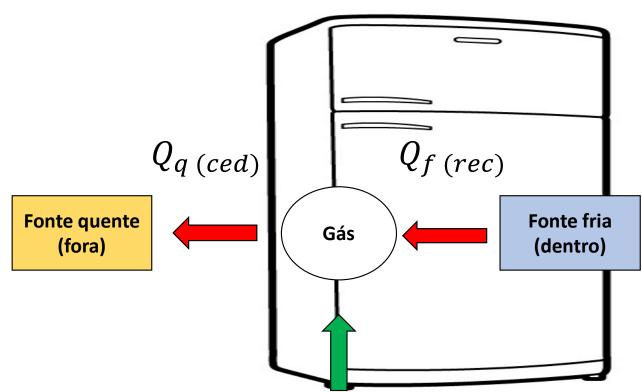
KEEP CALM STUDY PHYSICS

Máquinas térmicas: bombas de calor - refrigerador

Conversão de Energia Mecânica em Energia Térmica



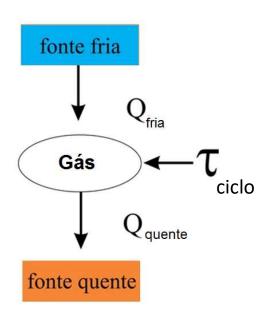
$$| Qq | = | \tau_{ciclo} | + | Qf |$$

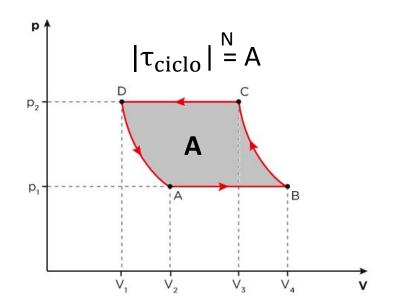


 τ_{ciclo}

Energia mecânica fornecida ao gás por um compressor ligado à rede elétrica

Máquinas térmicas: bombas de calor - refrigerador





 au_{ciclo} < 0 (sentido anti-horário)

O gás recebe energia

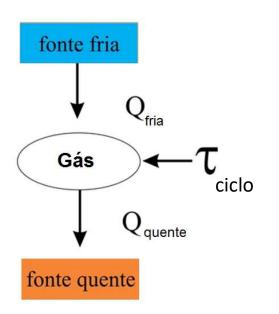
mecânica do compressor

$$| Qq | = | \tau_{ciclo} | + | Qf |$$

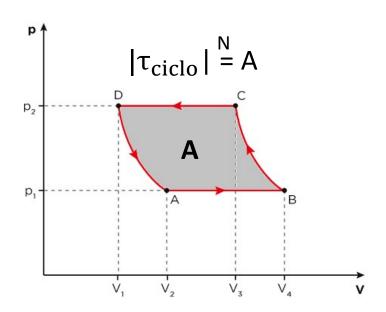
• Um refrigerador retira calor da fonte fria e despeja na fonte quente (processo não espontâneo). Para que isso aconteça, um compressor realiza trabalho sobre o gás $(\tau < 0)$.



Máquinas térmicas: bombas de calor - refrigerador



$$| Qq | = | \tau_{ciclo} | + | Qf |$$



Eficiência térmica

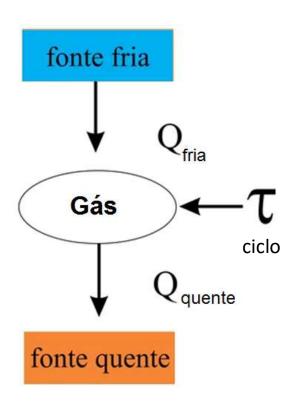
$$e = \frac{|Q_{fria}|}{|\tau_{ciclo}|}$$

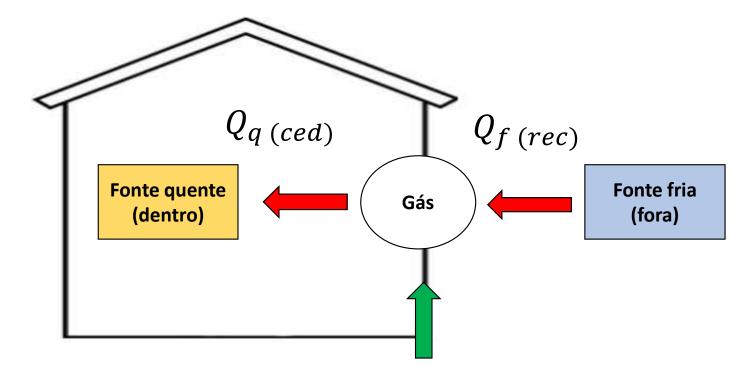
A eficiência térmica (e) calcula a relação entre a quantidade de calor retirada da fonte fria e o trabalho realizado pelo compressor.



Máquinas térmicas: bombas de calor - aquecedor

Conversão de Energia Mecânica em Energia Térmica



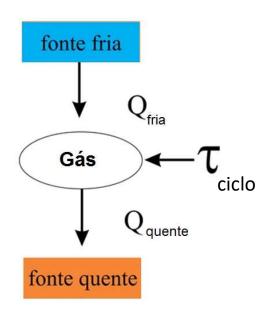


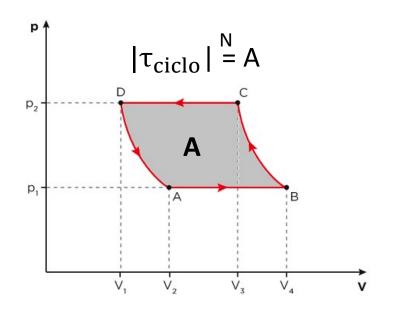
$$| Qq | = | \tau_{ciclo} | + | Qf |$$

 τ_{ciclo}

Energia mecânica fornecida ao gás por um compressor ligado à rede elétrica

Máquinas térmicas: bombas de calor - aquecedor





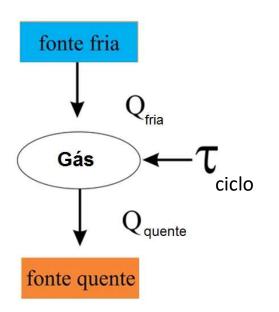
 au_{ciclo} < 0 (sentido anti-horário) O~gás~recebe~energia mecânica~do~compressor

$$| Qq | = | \tau_{ciclo} | + | Qf |$$

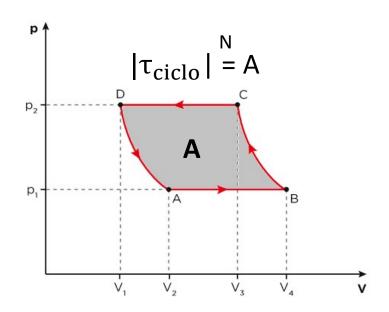
• Um aquecedor retira calor da fonte fria e despeja na fonte quente (processo não espontâneo). Para que isso aconteça, um compressor realiza trabalho sobre o gás $(\tau < 0)$.



Máquinas térmicas: bombas de calor - aquecedor



$$| Qq | = | \tau_{ciclo} | + | Qf |$$



Eficiência térmica

$$e = \frac{|Q_{fria}|}{|\tau_{ciclo}|}$$

A eficiência térmica (e) calcula a relação entre a quantidade de calor retirada da fonte fria e o trabalho realizado pelo compressor.

2ª Lei da Termodinâmica - refrigerador

Enunciado de Clausius

É impossível a construção de um dispositivo que, por si só, isto é, sem a intervenção do meio externo, consiga transferir calor de um corpo para outro de temperatura mais elevada.

Interpretação: não existe um refrigerador que consiga transferir calor de uma fonte fria para uma fonte quente sem a intervenção de um agente externo. No caso de uma geladeira, para que o calor possa ser absorvido da parte interna (fonte fria) e despejado na parte de trás (fonte quente), é preciso que o compressor dessa geladeira realize um trabalho sobre o gás.

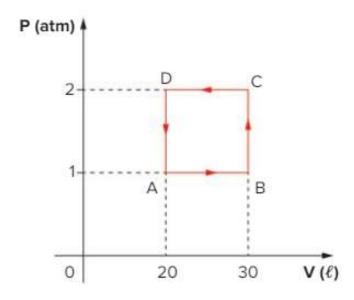


Exercícios

1. IFSul-RS 2016 Durante cada ciclo, uma máquina térmica absorve 500 J de calor de um reservatório térmico, realiza trabalho e rejeita 420 J para um reservatório frio. Para cada ciclo, o trabalho realizado e o rendimento da máquina térmica são, respectivamente, iguais a

- a) 80 J e 16%.
- b) 420 J e 8%.
- c) 420 J e 84%.
- d) 80 J e 84%.

3. Considere o seguinte diagrama P × V executado sobre 0,5 mol de um gás monoatômico e responda ao que se pede.



- a) Identifique o tipo de máquina térmica.
- b) Qual o trabalho necessário, em joules, para a máquina completar um ciclo?
- c) Obtenha o rendimento, se a máquina for um motor térmico, ou a eficiência térmica, se ela for uma bomba de calor.

Dado: 1 atm = $1 \cdot 10^5$ Pa.

- 3. Considere o seguinte diagrama P × V executado sobre 0,5 mol de um gás monoatômico e responda ao que se pede.
- a) Identifique o tipo de máquina térmica.

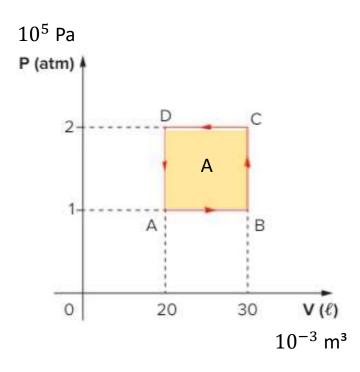
Ciclo anti-horário: bomba de calor

b) Qual o trabalho necessário, em joules, para a máquina completar um ciclo?

$$|\tau_{ciclo}|^{N} = A$$

$$A = B \cdot h = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^{5} = 10^{6}$$

$$\tau_{ciclo}$$
 = - 1000 J



Dado: 1 atm = $1 \cdot 10^5$ Pa.

- 3. Considere o seguinte diagrama P × V executado sobre 0,5 mol de um gás monoatômico e responda ao que se pede.
- c) Obtenha o rendimento, se a máquina for um motor térmico, ou a eficiência térmica, se ela for uma bomba de calor.

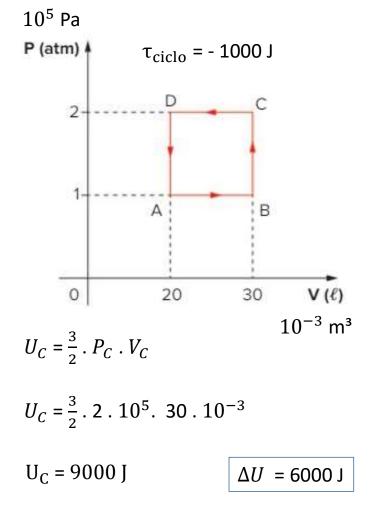
$$e = \frac{|Q_{fria}|}{|\tau_{ciclo}|} = \frac{7000}{1000} = 7$$

O gás recebe calor da fonte fria nos processos AB e BC

$$Q = \Delta U + \tau$$
 $\tau = \tau_{AB} + \tau_{BC}$ $\tau = p. \Delta V + 0$ $\tau = 10^5 (10.10^{-3}) + 0$ $\tau = 1000 \text{ J}$

$$U_A = \frac{3}{2} \cdot P_A \cdot V_A$$

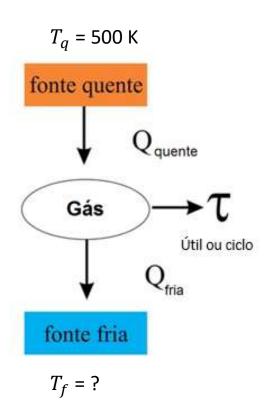
 $U_A = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot 20 \cdot 10^{-3}$
 $U_A = 3000 \text{ J}$



4. UFRGS 2020 Uma máquina de Carnot apresenta um rendimento de 40% e a temperatura de sua fonte quente é 500 K. A máquina opera a uma potência de 4,2 kW e efetua 10 ciclos por segundo. Qual é a temperatura de sua fonte fria e o trabalho que a máquina realiza em cada ciclo?

- a) 200 K 42 J
- b) 200 K 420 J
- c) 200 K 42 000 J
- d) 300 K 42 J
- e) 300 K 420 J

4. UFRGS 2020 Uma máquina de Carnot apresenta um rendimento de 40% e a temperatura de sua fonte quente é 500 K. A máquina opera a uma potência de 4,2 kW e efetua 10 ciclos por segundo. Qual é a temperatura de sua fonte fria e o trabalho que a máquina realiza em cada ciclo?



$$T_f = ?$$

$$n = \frac{Tq - Tf}{Tq}$$

$$0,4 = \frac{500 - Tf}{500}$$

$$200 = 500 - T_{\rm f}$$

$$T_f = 500 - 200$$

$$T_f = 300 \text{ K}$$

$$\tau_{ciclo} = ?$$

$$\Delta t = 1 \text{ s} \rightarrow 10 \text{ ciclos}$$

$$P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{\tau_{10 \ ciclos}}{\Delta t}$$

$$4200 = \frac{\tau_{10 \ ciclos}}{1}$$

$$\tau_{10 \text{ ciclos}}$$
 = 4200 J

$$\tau_{1 \text{ ciclo}}$$
 = 420 J

5. Uma máquina real opera entre as temperaturas 27 °C e 1 227 °C e consome uma energia de 800 J/ciclo. Sabendo que seu rendimento corresponde a 75% do ideal, qual é o trabalho que ela realiza por ciclo?