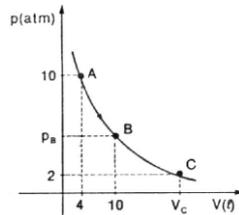


Exercícios de Fixação:

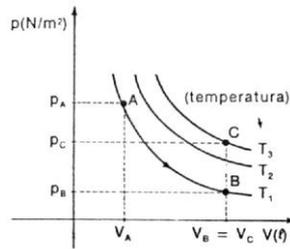
O gráfico mostra uma isoterma de uma massa de gás que é levada do estado A para o estado C. Determine:



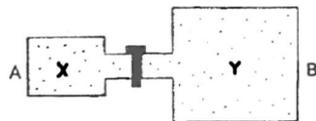
- a) Qual a pressão do gás no estado B?
- b) Qual o volume do gás no estado C?

2) Um cilindro fechado por um pistão, que se move sem atrito, contém 5 litros de um gás sob pressão atmosférica normal e temperatura ambiente. Joga-se o cilindro num lago cujas águas estão à mesma temperatura. Qual o volume do gás quando o cilindro estiver a uma profundidade de 10m? Dados: $P_{atm} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, densidade absoluta de água = 10^3 Kg/m^3 e $g = 10 \text{ m/s}^2$.

3) (Mauá-SP) A figura representa hipérbolas eqüiláteras, diagramas $pV = \text{constante}$, de um gás perfeito. Ele sofre as transformações AB e BC indicadas. Sabe-se que $V_B = 2V_A$ e $T_3 = 1,5 T_1$. Sendo $V_A = 1,00 \text{ m}^3$; $P_A = 2 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$ e $T_A = 200 \text{ K}$, determine as pressões, volumes e temperaturas do gás nos estados B e C.



4) Nos recipientes A e B da figura temos dois gases, X e Y, nas pressões 3 atm e 1 atm, respectivamente, na temperatura ambiente que é mantida constantemente. O volume do recipiente B é o triplo do de A e o volume do tubo que liga A a B é desprezível. Determine a pressão final do conjunto, depois de se abrir a torneira do tubo de união.

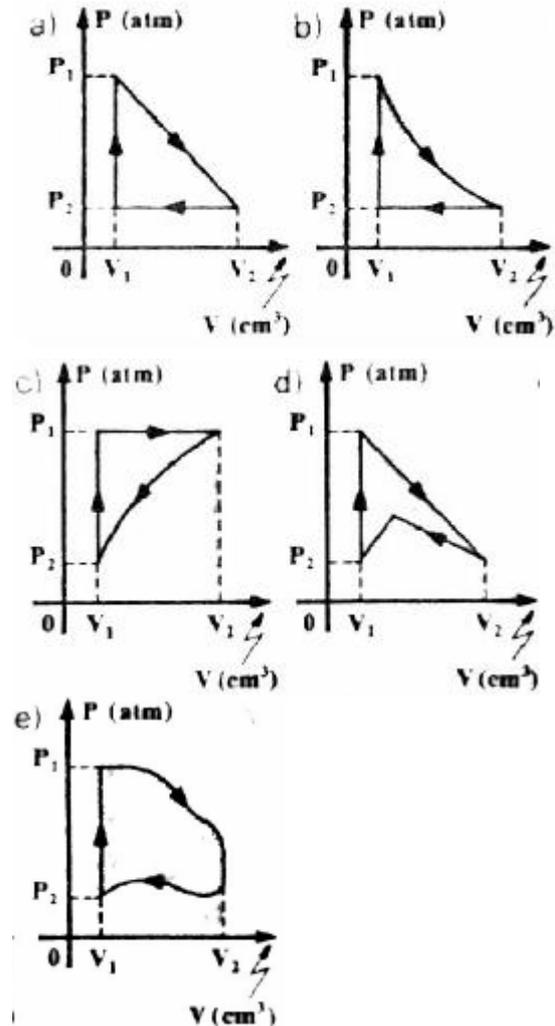


- 5) (PUC-RS) - No estudo de um gás ideal são definidas as variáveis do estado do gás, que são:
- a) massa, volume, temperatura.
 - b) pressão, massa temperatura.
 - c) densidade, temperatura, massa.
 - d) temperatura, pressão, volume.
 - e) pressão, massa, volume.

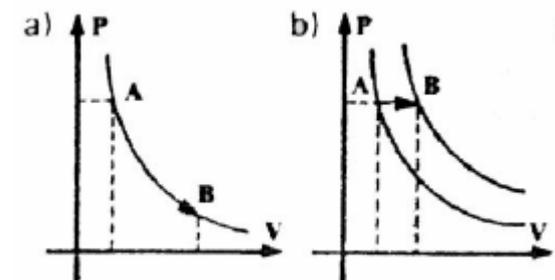
6) (Ucsal-BA) Considerando:
 P: pressão de uma atmosfera de gás perfeito.
 V: volume da amostra do gás perfeito.
 n: número de mols contidos na amostra.
 R: constante dos gases perfeitos.
 T: temperatura absoluta da amostra.
a equação geral dos gases perfeitos é:

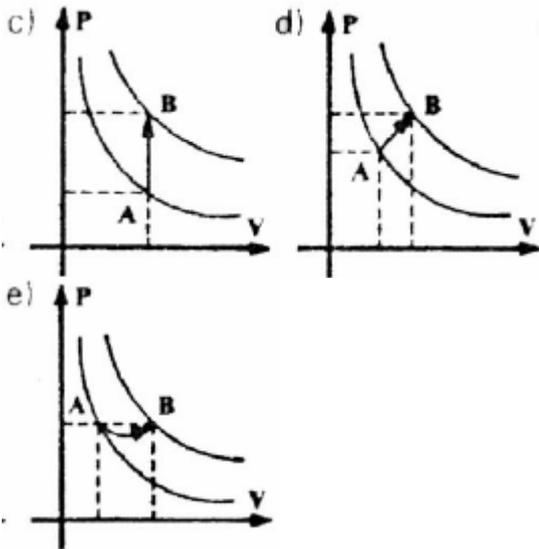
- a) $PV = nR\sqrt{T}$
- b) $PVn = RT$
- c) $PV = \sqrt{nRT}$
- d) $PV = nRT^2$
- e) $PV = nRT$

7) Um gás ideal com pressão P_1 e volume V_1 sofre as seguintes transformações sucessivas: é expandido isotermicamente até a pressão P_2 ; é comprimido isobaricamente até o volume V_1 ; é aquecido isometricamente até a pressão P_1 . O gráfico que melhor representa as transformações sofridas pelo gás é:

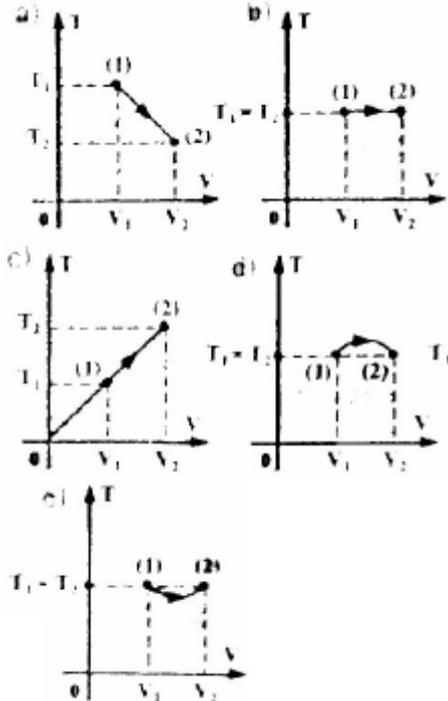


8) (FGV-SP) - Certa massa de um gás perfeito sofre transformação isobárica desde um estado inicial A até um estado final B. O gráfico que melhor representa essa transformação é:

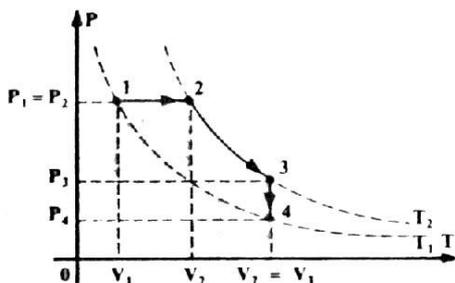




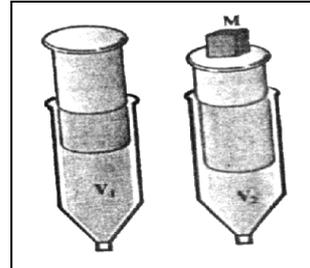
9) (Cesgranrio-RJ) - No diagrama P x V ao lado, uma certa quantidade de gás ideal evolui de um estado inicial (1) para um estado final (2), conforme indicado: Qual das opções a seguir melhor ilustra a variação da temperatura absoluta T com o volume do gás nesse processo?



10) (UFAL) Certa massa gasosa sofre transformação 1-2-3-4, conforme ilustra o diagrama P x V: É correto afirmar que:



- a) a transformação 1-2 foi realizada sob temperatura constante.
- b) a transformação 2-3 foi realizada sob temperatura constante.
- c) a transformação 3-4 foi realizada sob pressão constante.
- d) na transformação 1-2 o volume não mudou.
- e) na transformação 3-4 a temperatura não mudou.



11) (Fatec-SP) Uma seringa de injeção tem seu bico tapado por um pedaço de borracha. A seringa aprisiona certo volume de ar (V_1) à temperatura (T_1). A pressão é (P_1). Colocando sobre o

êmbolo da seringa uma massa M, seu peso exerce pressão (P_2) sobre o gás e observa-se que o volume (V_2) diminuiu. A temperatura T_1 manteve-se constante. A relação entre as pressões e os volumes será:

- a) $\frac{P_1}{V_1} = \frac{P_2}{V_2}$
- b) $\frac{P_1}{V_1} = \frac{V_2}{P_2}$
- c) $P_1 V_1 = P_2 V_2$
- d) $P_1 + P_2 = V_2 + V_1$
- e) $P_1 - P_2 = V_2 - V_1$

Respostas:

Exercícios de Aprendizagem:

- 1) 30 L 2) 100 L 3) 16/3 L 4) 480K
- 5) 1730cm³ 6) 600K 7) 1 atm 8) 360 K
- 9) $\cong 0,67\text{atm}$ 10) $V_B = 5,0\text{L}$ b) $P_c = 1\text{atm}$
- 12) 1000K 11) 10 litros e 250K
- 13) 0,246 atm e 0,41atm
- 14) 6,18atm 15) 5,29 atm

Exercícios de Fixação:

- 1) a) 4atm b) 20 litros
- 2) 2,5 litros 3) B - 2m³ ; 200K; 1.103N/m²
- C - 2m³ ; 300K ; 1,5 . 10³ N/m²
- 4) 1,5atm 5) d 6) e 7) b 8)b 9) b
- 10) b 11) e

13.8 – Termodinâmica:

13.8.1 – Introdução: É a parte da Física que estuda as transformações entre calor e trabalho. Calor e trabalho estão relacionados entre si por apresentarem em comum a mesma modalidade de energia. Vejamos seus conceitos:

- **Calor:** energia em trânsito de um corpo para outro em virtude da diferença de temperatura existente entre eles.
- **Trabalho:** energia em trânsito entre dois corpos devido à ações de uma força.

As transformações entre calor e trabalho serão estudadas em sistemas formados por recipientes contendo em equilíbrio térmico uma determinada massa de gás perfeito.

13.8.2 - Energia Interna:

A energia interna U de um sistema é a soma de todas as energias que ele armazena dentro de si. Essa energia é a responsável pela agitação de seus átomos ou moléculas. A energia interna de um sistema está diretamente associada à sua temperatura.

Quando um sistema recebe uma determinada quantidade Q de calor, sofre um aumento ΔU de sua energia interna e conseqüentemente um aumento Δt de temperatura. Assim se:

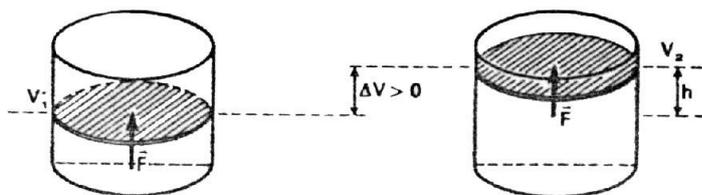
$\Delta t > 0 \Rightarrow \Delta U > 0$: energia interna aumenta.

$\Delta t < 0 \Rightarrow \Delta U < 0$: energia interna diminui.

$\Delta t = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$: energia interna não varia.

13.8.3 - Trabalho em um sistema:

Consideremos um gás contido num cilindro provido de êmbolo. Ao se expandir, o gás exerce uma força no êmbolo que se desloca no sentido da força.



O trabalho dessa força é dado por:

$$\tau = F \cdot h$$

$$\tau = p \cdot S \cdot h$$

$$\tau = p \cdot \Delta V \quad \text{ou} \quad \tau = p (V_2 - V_1)$$

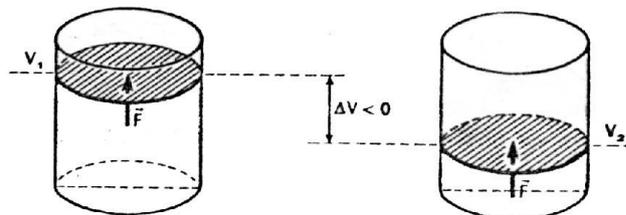
Numa expansão o gás realiza um trabalho positivo sobre o meio exterior. Já numa compressão o deslocamento do êmbolo tem sentido oposto ao da força que o gás exerce sobre o êmbolo. O trabalho é resistente.

Na compressão o meio externo realiza um trabalho negativo sobre o gás. Assim, temos:

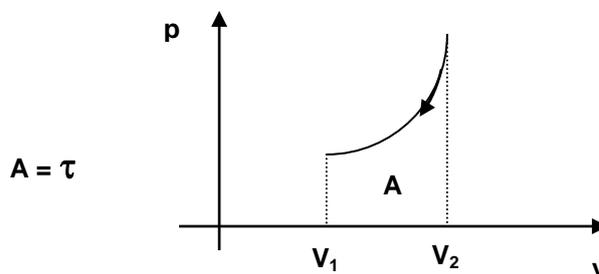
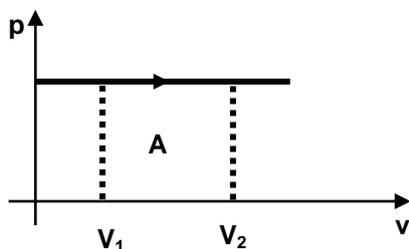
$\Delta V > 0 \Rightarrow \tau > 0$: gás realiza trabalho sobre o meio.

$\Delta V < 0 \Rightarrow \tau < 0$: meio realiza trabalho sobre o gás.

$\Delta V = 0 \Rightarrow \tau = 0$.



Num diagrama pressão x volume, o trabalho realizado pela força que o gás exerce sobre o êmbolo é numericamente igual à área sobre a curva.



EXERCÍCIO RESOLVIDO:

Em um processo à pressão constante de $2,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ um gás aumenta seu volume de $8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ para $13 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$. Calcular o trabalho realizado pelo gás.

Resolução:

Dados: $p = 2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

$V_2 = 13 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

$V_1 = 8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

$$\tau = p (V_1 - V_2) \Rightarrow \tau = 2 \cdot 10^5 (13 \cdot 10^{-6} - 8 \cdot 10^{-6})$$

$$\tau = 2 \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 10^{-6}$$

$$\tau = 10 \cdot 10^{-1}$$

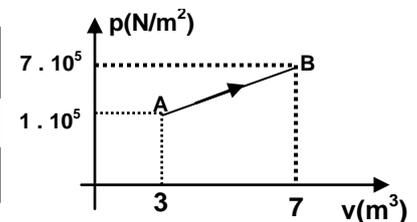
$$\tau = 1 \text{ J}$$

Resposta: O trabalho é de 1J

Exercícios de aprendizagem:

16) Num processo à pressão constante de $4,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, um gás aumenta seu volume, de 2 m^3 para 5 m^3 . Determine o trabalho realizado pelo gás.

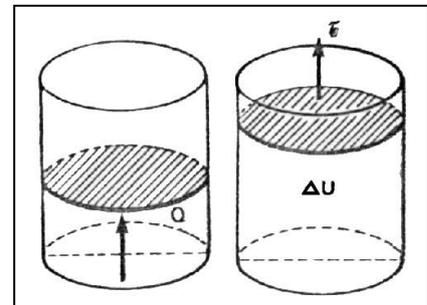
17) Uma massa gasosa realiza a transformação de A para B indicada pela figura ao lado. Calcule o trabalho realizado pelo gás.



13.8.4 - Primeiro Princípio da Termodinâmica (1ª. lei da Termodinâmica):

De acordo com o princípio da Conservação da Energia, a energia não pode ser criada nem destruída, mas somente transformada de uma espécie em outra. O primeiro princípio da Termodinâmica estabelece uma equivalência entre o trabalho e o calor trocados entre um sistema e seu meio exterior.

Consideremos um sistema recebendo uma certa quantidade de calor Q . Parte desse calor foi utilizado para realizar um trabalho τ e o restante provocou um aumento na sua energia interna ΔU .



A expressão $\Delta U = Q - \tau$ representa analiticamente o primeiro princípio da termodinâmica cujo enunciado pode ser:

A variação da energia interna de um sistema é igual a diferença entre o calor e o trabalho trocados pelo sistema com o meio exterior.

Para a aplicação do primeiro princípio de Termodinâmica deve-se respeitar as seguintes convenções:

$Q > 0$: calor recebido pelo sistema.

$Q < 0$: calor cedido pelo sistema.

$\tau > 0$: volume do sistema aumenta.

$\tau < 0$: volume do sistema diminui.

$\Delta U > 0$: temperatura do sistema aumenta.

$\Delta U < 0$: temperatura do sistema diminui.

Exercício Resolvido: Sobre um sistema realiza-se um trabalho de 3000J e, em conseqüência, ele fornece 500 cal ao meio exterior durante o mesmo intervalo de tempo. Determine a variação da energia do sistema. Adote $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$.

Resolução:

Dados: $\tau = -3000\text{J}$ (trabalho realizado sobre o sistema compressão)

$Q = 500\text{cal}$ (calor cedido pelo sistema)

$Q = -500 \times 4,2 = -2100\text{J}$

A variação da energia interna é dada por:

$$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow \Delta U = -2100 + 3000$$

$$\Delta U = 900\text{J}$$

Resposta: A variação da energia vale 900J.

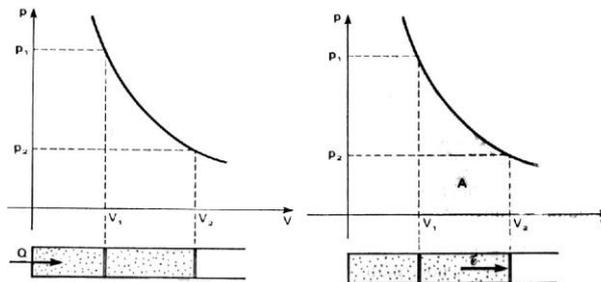
13.8.5 - Transformações Termodinâmicas Particulares:

a) Transformação isotérmica: Como a temperatura do sistema se mantém constante, a variação da energia interna é nula.

$$\Delta U = Q - \tau \quad \text{Como } \Delta U = 0 \Rightarrow 0 = Q - \tau$$

$$Q = \tau$$

Por exemplo, considere um gás sofrendo uma expansão isotérmica conforme mostra as figuras.



A quantidade de calor que o gás recebe é exatamente igual ao trabalho por ele realizado. A área sombreada sob a curva é numericamente igual ao trabalho realizado.

b) Transformação isométrica: como o volume do sistema se mantém constante, não há realização de trabalho.

$$\Delta U = Q - \tau \quad \text{Como } \tau = 0 \Rightarrow \Delta U = Q - 0$$

$$\Delta U = Q$$

Todo o calor trocado com o meio externo é transformado em variação da energia interna.

Se o sistema recebe calor:

$Q > 0 \Rightarrow \Delta U > 0$: temperatura aumenta se o sistema recebe calor.

$Q < 0 \Rightarrow \Delta U < 0$: temperatura diminui se o sistema cede calor.

c) Transformação isobárica: Numa transformação onde a pressão permanece constante, a temperatura e o volume são diretamente proporcionais, ou seja, quando a temperatura aumenta o volume também aumenta.

$\Delta U > 0 \Rightarrow$ temperatura aumenta.

$\tau > 0 \Rightarrow$ volume aumenta.

Parte do calor que o sistema troca com o meio externo está relacionado com o trabalho realizado e o restante com a variação da energia interna do sistema.

$$Q = \Delta U + \tau$$

d) Transformação adiabática: Nessa transformação, o sistema não troca calor com o meio externo; o trabalho realizado é graças à variação de energia interna.

$$\Delta U = Q - \tau \quad \text{como} \quad Q = 0 \Rightarrow \Delta U = Q - \tau$$

$$\tau = -\Delta U$$

Numa expansão adiabática, o sistema realiza trabalho sobre o meio e a energia interna diminui.



Expansão adiabática ocorre um abaixamento de temperatura.

Durante a compressão adiabática, o meio realiza trabalho sobre o sistema e a energia interna aumenta.



Ocorre uma elevação de temperatura.

Exercício Resolvido: Um sistema gasoso recebe do meio externo 200cal em forma de calor. Determinar em joules:

- a) o trabalho trocado com o meio, numa transformação isotérmica.
- b) a variação da energia interna numa transformação isométrica.

Solução:

a) Numa expansão isotérmica, a temperatura permanece constante ($\Delta U = 0$), o gás ao receber calor aumenta de volume e realiza trabalho $Q = 200\text{cal}$ transformando: $Q = 200 \cdot 4,2 = 840\text{J}$.

Como $\Delta U = 0 \Rightarrow Q = \tau \quad \tau = 840\text{J}$

Numa transformação isométrica, o volume permanece constante ($\Delta V = 0$), o calor recebido é transformado em variação da energia interna.

$Q = 200\text{cal} = 200 \cdot 4,2 = 840\text{J}$.

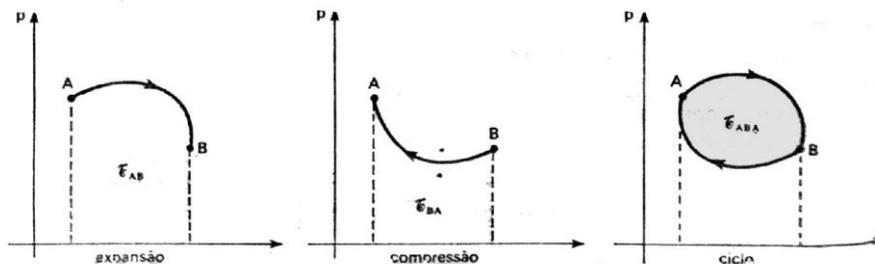
Como $\Delta V = 0 \Rightarrow Q = \Delta U \quad \Delta U = 840\text{J}$

13.8.6- Transformação Cíclica:

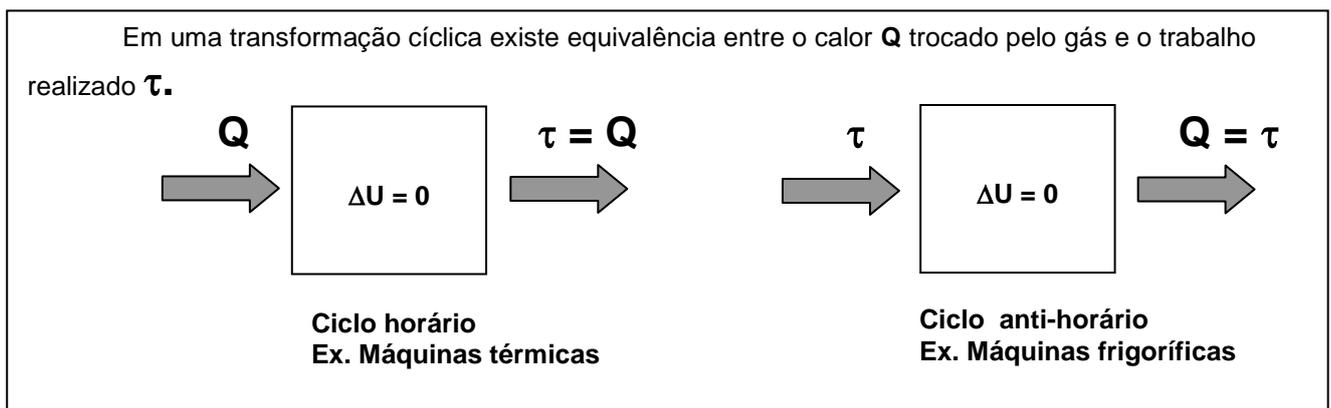
Denomina-se transformação cíclica ou ciclo de um sistema o conjunto de transformações sofridas pelo sistema de tal forma que seus estados final e inicial são iguais.

Como a temperatura final é igual à temperatura inicial, a energia interna do sistema não varia, havendo uma igualdade entre o calor e o trabalho trocados em cada ciclo.

Num diagrama $p \times V$ uma transformação cíclica é representada por uma curva fechada. A área interna do ciclo é numericamente igual ao trabalho total trocado com o meio exterior.



Quando o ciclo é percorrido no sentido horário, o sistema recebe calor e realiza trabalho; e no sentido anti-horário o sistema cede calor e recebe trabalho.



13.8.7- A segunda lei da termodinâmica:

A segunda lei da termodinâmica estabelece um sentido preferencial de ocorrência dos processos naturais. De maneira simples podemos enunciar da seguinte maneira:

O calor ocorre sempre no sentido do corpo mais quente para o corpo mais frio.

Existem vários enunciados para a segunda lei da termodinâmica, todos equivalentes, dos quais citarei mais dois, por terem importância fundamental na análise das máquinas térmicas que faremos logo a seguir.

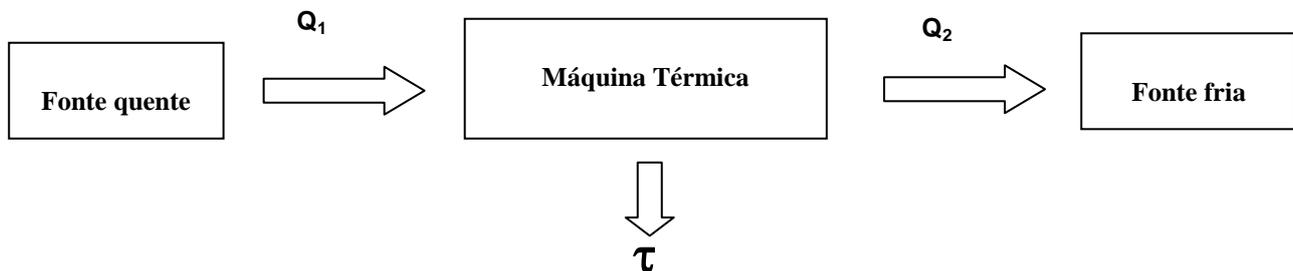
Segundo Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822-1888), físico e matemático alemão:

O calor não flui espontaneamente de um corpo frio para um corpo quente.

É impossível construir uma máquina térmica, que opere num ciclo termodinâmico, cujo único efeito seja a retirada de calor de uma fonte quente e sua integral conversão em trabalho mecânico.

13.8.7.1- Máquinas térmicas e rendimento:

Máquina térmica é todo dispositivo que converte continuamente calor em trabalho útil utilizando um fluido, dito **fluido de trabalho**, que realiza ciclos de sentido horário entre duas temperaturas que permanecem constantes.



A máquina térmica operando em ciclos retira uma determinada quantidade de calor da fonte quente, transformando parte desse calor em trabalho. A parte restante é rejeitada à fonte fria.

O trabalho realizado pela máquina térmica é igual à diferença entre o calor recebido (retirado) e o calor rejeitado.

$$\tau = Q_1 - Q_2$$

O rendimento de uma máquina térmica é definido como a razão entre o trabalho que dela pode ser aproveitado e a quantidade de calor recebido da fonte quente.

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1}$$

$$\text{Como } \tau = Q_1 - Q_2 \Rightarrow \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Logo o rendimento pode ser dado por:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

(onde Q_1 e Q_2 estão em módulo).

Como nem todo o calor retirado da fonte quente é transformado em trabalho, o rendimento de uma máquina térmica nunca poderá ser 100% ($\eta = 1$); daí o enunciado de Planck já enunciado acima.

Reforçando o enunciado de Planck, **Carnot** demonstrou que as quantidades de calor Q_1 e Q_2 seriam proporcionais às temperaturas T_1 e T_2 :

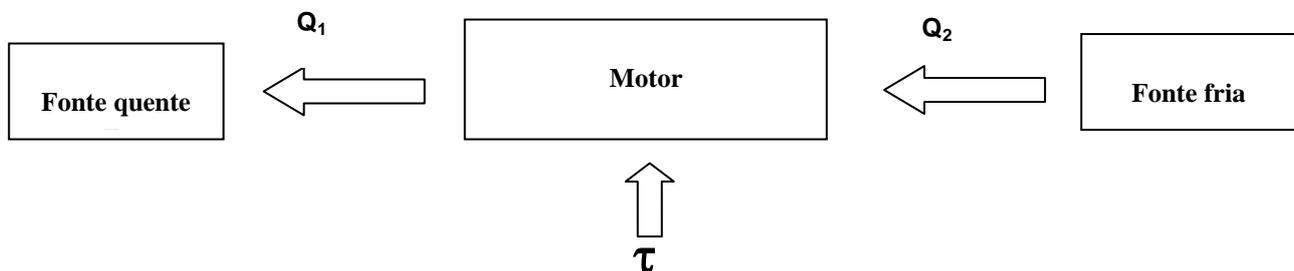
$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \boxed{\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}}$$

Como as temperaturas devem ser dadas em Kelvin, para que o rendimento fosse de 100% deveríamos ter a temperatura da fonte fria igual ao zero absoluto, o que não pode ser atingida na prática.

- Máquinas frigoríficas:

Numa **máquina frigorífica**, ou bomba de calor, o fluido de trabalho realiza um ciclo de sentido contrário, retirando calor Q_2 de uma fonte fria e cedendo calor Q_1 a uma fonte quente. Obviamente essa passagem de calor de uma fonte fria para uma fonte quente não é espontânea, visto que se realiza à custa de um trabalho externo; portanto não viola a segunda lei da termodinâmica.

O diagrama abaixo representa esquematicamente uma máquina frigorífica, na qual ocorre conversão de trabalho em calor.



A geladeira doméstica, por exemplo, é uma máquina frigorífica na qual a fonte fria é o congelador, a fonte quente é o meio ambiente e o trabalho é realizado pelo compressor.

Exercício de aprendizagem:

(UFJF-99) - Assinale a alternativa que explica, com base na termodinâmica, um ciclo do funcionamento de um refrigerador:

- remove uma quantidade de calor Q_1 de uma fonte térmica quente à temperatura T_1 , realiza um trabalho externo W e rejeita uma quantidade de calor Q_2 para uma fonte térmica fria à temperatura T_2 , com $T_1 > T_2$;
- remove uma quantidade de calor Q_1 de uma fonte térmica quente à temperatura T_1 e rejeita a quantidade de calor Q_1 para uma fonte térmica fria à temperatura T_2 , com $T_1 > T_2$;
- remove uma quantidade de calor Q_1 de uma fonte térmica fria à temperatura T_1 , recebe o trabalho externo W e rejeita uma quantidade de calor Q_2 para uma fonte térmica quente à temperatura T_2 , com $T_1 < T_2$;
- remove uma quantidade de calor Q_1 de uma fonte térmica fria à temperatura T_1 e rejeita a quantidade de calor Q_1 para uma fonte térmica quente à temperatura T_2 , com $T_1 < T_2$.

Exercício resolvido: Uma máquina térmica de Carnot recebe de uma fonte quente 1 000 cal por ciclo. Sendo as temperaturas das fontes quente e fria, respectivamente, 127°C e 427°C, determinar:

- o rendimento da máquina;
- o trabalho, em joules, realizado pela máquina em cada ciclo;
- a quantidade de calor, em joules, rejeitada para a fonte fria.

Usar 1 cal = 4,2 J

Solução:

- $T_1 = 427 + 273 = 700$ K
 $T_2 = 127 + 273 = 400$ K
 $Q_1 = 1\ 000$ cal = $1000 \cdot 4,2 = 4\ 200$ J

O rendimento da máquina é dado por: $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{400}{700} \Rightarrow \boxed{\eta = 0,43 \text{ ou } 43\%}$

b) O trabalho realizado em cada ciclo é: $\eta = \frac{\tau}{Q_1} \Rightarrow 0,43 = \frac{\tau}{4200} \Rightarrow \tau = 1806J$

c) A quantidade de calor rejeitada para a fonte fria é dada por:

$$\tau = Q_1 - Q_2 \Rightarrow 1806 = 4200 - Q_2 \Rightarrow Q_2 = 2394J$$

Exercícios de aprendizagem:

19) Um motor a vapor absorve, em cada ciclo, 1 000 kcal da fonte quente e devolve 900 kcal para a fonte fria.

- Qual o trabalho realizado em cada ciclo em joules?
- Qual o rendimento do motor?

20) Uma máquina de Carnot opera entre duas fontes cujas temperaturas são 27°C e 177°C. Qual o rendimento dessa máquina?

21) Uma máquina térmica recebe, por ciclo, 1.000 J de calor de uma fonte quente enquanto rejeita 700J para uma fonte fria. Sabe-se que a máquina realiza 10 ciclos/s. Determine:

- o trabalho realizado por ciclo pela máquina térmica;
- a potência útil obtida da máquina;
- o rendimento dessa máquina.

Exercícios de Fixação:

12) Um gás recebe 80J de calor durante uma transformação isotérmica. Qual a variação de energia interna e o trabalho realizado pelo gás no processo?

13) Se um gás ideal é comprimido isotermicamente:

- ele recebe calor do ambiente.
- ele cede calor ao ambiente.
- ele realiza trabalho sobre o ambiente.
- sua energia interna aumenta.
- sua energia interna diminui.

14) Uma dada massa de gás perfeito sofre uma compressão isotérmica. Nessa situação, é correto afirmar que o gás:

- recebe trabalho do meio exterior e sua energia interna aumenta.
- recebe calor do meio exterior e sua energia interna aumenta.
- cede calor ao meio exterior e sua energia interna não varia.
- recebe trabalho do meio exterior e sua energia interna diminui.
- realiza trabalho sobre o meio exterior e sua energia interna não varia.

15) Se, numa transformação, certa amostra de gás perfeito realiza trabalho apenas às custas de sua energia interna, essa transformação é:

- Adiabática
- isotérmica
- isocórica
- isobárica
- isométrica

16) Um gás ideal é comprimido tão rapidamente que o calor trocado com o meio é desprezível. É correto afirmar que:

- a temperatura do gás diminui.

- o gás realiza trabalho para o meio exterior.
- a energia interna do gás aumenta.
- o volume do gás aumenta.
- a pressão do gás diminui.

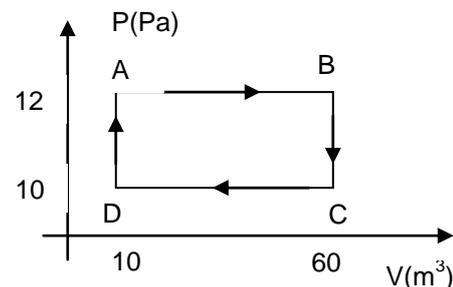
17) Qual é a variação de energia interna de um gás ideal sobre o qual é realizado um trabalho de 80J, durante uma compressão adiabática?

- 80J
- 40J
- zero
- 40J
- 80J

18) Numa transformação isobárica, um gás realiza o trabalho de 400J, quando recebe do meio externo 500J. Determine a variação de energia interna do gás nessa transformação.

19) Consideremos um gás ideal contido em um recipiente cilíndrico provido de um êmbolo móvel, que pode mover-se livremente sem atrito.

Partindo do estado A, o gás sofre as transformações vistas na figura. Determine o trabalho realizado (em joules) pelo gás no ciclo A - B - C - D - A.

**Exercícios de Aprendizagem:**

- 16)** 1) $1,2 \cdot 10^6 \text{ J}$ **17)** $1,6 \cdot 10^6 \text{ J}$ **18)** c
19) a) 100 kcal b) 10% **20)** $\cong 33\%$
21) a) 300J b) 3.000W c) 30%

Exercícios de Fixação:

- 12)** $\Delta U = 0$ e $\tau = 80 \text{ J}$ **13)** b **14)** c **15)** a **116)** c
17) a **18)** 100J **19)** 100J

**Aula de Física**

Aula particular de Física pela internet, individual ou em grupo.

☎ (21) 98469-9906 - [Whatsapp](https://www.whatsapp.com)

Programas Skype ou [TeamViewer](https://www.teamviewer.com)

Veja como funciona em

www.fisicafacil.net