

TERMODINÂMICA

INTRODUÇÃO

Termodinâmica é a parte da Termologia que estuda as transformações entre calor (Q) e trabalho (τ), num gás ideal.
Calor(Q): é uma forma de energia em trânsito, determinada pela diferença de temperatura entre dois corpos.

Trabalho(t): energia em trânsito entre dois corpos devido a ação de uma força.

ENERGIA INTERNA “U”

Para um gás perfeito monoatômico, denomina-se energia interna U a soma das energias cinéticas médias de todas as suas moléculas (E_c).

$$U = E_c = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$$

A energia interna de dada massa de um gás perfeito é função exclusiva da temperatura do gás.

Quando um gás sofre uma variação de temperatura ΔT, a variação de energia interna ΔU será dada por:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

Em conseqüência, temos:

- Se ΔT > 0 ⇒ ΔU > 0 : aumento de energia interna.
- Se ΔT < 0 ⇒ ΔU < 0 : diminuição de energia interna.
- Se ΔT = 0 ⇒ ΔU = 0 : energia interna constante.

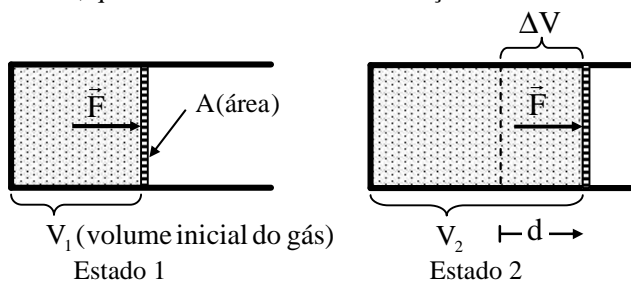
EXERCÍCIOS PROPOSTOS:

P01. Tem-se três mols de um gás monoatômico à temperatura de 50 °C. Dado R = 8,31 J/mol·K, determine a energia interna dessa quantidade de gás.

P02. Se o gás da questão anterior for aquecido até 120 °C, qual a variação de sua energia interna?

TRABALHO NUMA TRANSFORMAÇÃO GASOSA

Consideremos um gás contido num cilindro provido de êmbolo, que se desloca no sentido da força.



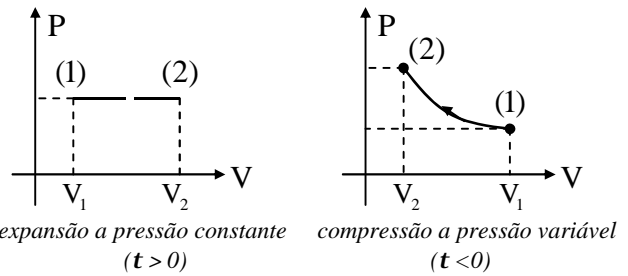
O trabalho dessa força é dado por:

$$\begin{aligned} \tau &= \mathbf{F} \cdot \mathbf{d} \quad (\text{onde } F = P \cdot A) \\ \tau &= P \cdot A \times d \quad (\text{onde } A \cdot d = \Delta V) \\ t &= \mathbf{P} \times \mathbf{DV} \quad \text{ou} \quad t = \mathbf{P} \times (\mathbf{V}_2 - \mathbf{V}_1) \end{aligned}$$

Assim temos:

- ΔV > 0 ⇒ τ > 0; o gás realiza trabalho sobre o meio (expansão).
- ΔV < 0 ⇒ τ < 0; o meio realiza trabalho sobre o gás (compressão).
- ΔV = 0 ⇒ τ = 0; o sistema não troca trabalho.

Num diagrama de pressão × volume, o trabalho realizado pela força que o gás exerce sobre o êmbolo é numericamente igual á área sob a curva.

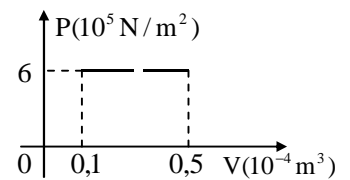


EXERCÍCIOS PROPOSTOS:

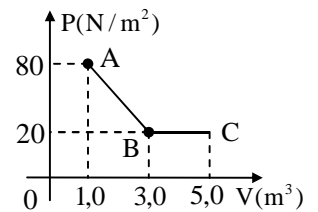
P03. Numa transformação sob pressão constante de 800 N/m², o volume de um gás se altera de 0,020 m³ para 0,060 m³. Determine o trabalho realizado durante a expansão do gás.

P04. Um gás ideal, sob pressão constante de 2,5 atm, tem seu volume reduzido de 12 litros para 8,0 litros. Determine o trabalho realizado no processo. Considere que 1 atm = 10⁵ N/m² e 1ℓ = 10⁻³ m³.

P05. O gráfico indica como varia o volume de um gás ideal num processo isobárico de expansão. Determine o trabalho realizado pelo gás nessa transformação.



P06. (UNIRIO-RJ) O gráfico mostra uma transformação sofrida por uma certa massa de gás ideal, partindo da temperatura inicial 300 K. Determine:

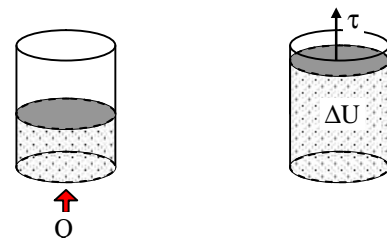


- a) a temperatura do gás no estado C (em Celsius);
- b) o trabalho realizado pelo gás na transformação AB.
- c) o trabalho realizado pelo gás na transformação BC.

PRIMEIRO PRINCÍPIO DA TERMODINÂMICA

O primeiro princípio da termodinâmica é uma *Lei da Conservação da Energia*.

Consideremos um sistema recebendo uma certa quantidade de calor Q.



Parte desse calor (Q) foi utilizado para realizar trabalho (t) e o restante provocou um aumento na sua energia interna DU.

$$Q = t + DU \quad \text{ou} \quad DU = Q - t$$

A convenção de sinais para a quantidade de calor trocada Q e o trabalho realizado t é:

calor recebido pelo gás	$Q > 0$
calor cedido pelo gás	$Q < 0$
trabalho realizado pelo gás (expansão)	$\tau > 0$
trabalho realizado sobre o gás (compressão)	$\tau < 0$

EXERCÍCIOS PROPOSTOS:

P07. Num dado processo termodinâmico, certa massa de um gás ideal recebe 260 J de calor de uma fonte térmica. Verifique-se que nesse processo o gás sofre uma expansão, tendo sido realizado um trabalho de 60 J. Determine a variação de energia interna sofrida pelo gás.

P08. O gás contido em um recipiente cilíndrico de êmbolo móvel sofre uma transformação na qual recebe de uma fonte térmica 800 cal. Simultaneamente, executa-se sobre o gás um trabalho de 209 J. Sabendo-se que 1 cal = 4,18 J, determine a variação de energia interna do gás.

P09. Uma bomba de potência 150 W comprime um gás contido num recipiente durante 20 s. Nesse tempo o gás dispersa para o ambiente externo uma quantidade de calor de 200 cal. De quanto varia a energia interna do gás?
Adote 1 cal = 4,18 J.

TRANSFORMAÇÃO ISOBÁRICA

Na transformação isobárica a pressão permanece constante, o trabalho e a quantidade de calor são dados por:

$\tau = P \cdot \Delta V$
 $Q_P = m \cdot c_p \cdot \Delta T$ (c_p : calor específico à pressão constante)
 $Q_P = t + \Delta U$

TRANSFORMAÇÃO ISOMÉTRICA OU ISOCÓRICA

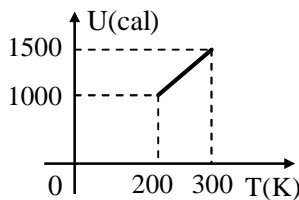
O volume permanece constante, logo não há realização de trabalho ($\tau = 0$) e a quantidade de calor Q_V , é dada por:

$Q_V = m \cdot c_v \cdot \Delta T$ (c_v : calor específico à volume constante)
 $Q_V = \tau + \Delta U \Rightarrow Q_V = 0 + \Delta U \Rightarrow Q_V = \Delta U$

EXERCÍCIOS PROPOSTOS:

P10. Numa transformação isobárica, o volume de um gás ideal aumentou de 0,10 m³ para 0,60 m³, sob pressão de 4,2 N/m². Durante o processo o gás recebeu 6,1 J de calor do ambiente. Determine a variação de energia interna do gás.

P11. (U.F. Uberlândia-MG) O gráfico representa a variação de energia interna de um gás ideal a volume constante.



- a) Qual o trabalho feito no intervalo de 200 K a 300 K?
- b) Qual o calor que o gás absorveu?
- c) Se a massa do gás é 32 g, calcule o calor específico a volume constante, em cal/g.°C.

TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA

Na transformação isotérmica, como a temperatura permanece constante, a energia interna não varia, isto é:

$\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$
 $Q = \tau + \Delta U \Rightarrow Q = \tau + 0 \Rightarrow Q = \tau$

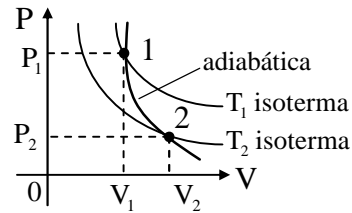
TRANSFORMAÇÃO ADIABÁTICA

Chama-se *adiabática* a transformação gasosa em que o gás não troca calor com o meio ambiente, seja porque o gás está termicamente isolado, seja porque o processo é suficientemente rápido para que qualquer troca de calor possa ser considerada desprezível. Assim:

$Q = 0$
 $Q = \tau + \Delta U \Rightarrow 0 = \tau + \Delta U \Rightarrow \Delta U = -\tau$

- Na expansão adiabática, o volume do gás aumenta, a pressão diminui e a temperatura diminui.
- Na compressão adiabática, o volume diminui, a pressão aumenta e a temperatura aumenta.

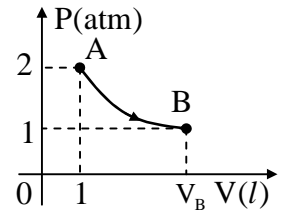
Graficamente, a transformação adiabática é representada, no diagrama de Clapeyron, pela curva indicada abaixo. Observe que essa curva vai do isoterma correspondente à temperatura inicial (T_1) à isoterma da temperatura final (T_2).



EXERCÍCIOS PROPOSTOS:

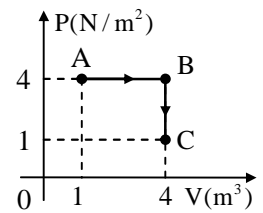
P12. Um gás recebe 80 J de calor durante uma transformação isotérmica. Qual a variação de energia interna e o trabalho realizado pelo gás no processo?

P13. (FUVEST-SP) Um mol de moléculas de um gás ideal sofre uma transformação isotérmica reversível $A \Rightarrow B$, mostrada na figura.



- a) Determine o volume V_B .
- b) Sabendo-se que o gás realizou um trabalho igual a 5,7 joules, qual a quantidade de calor que ele recebeu?

P14. (FUVEST-SP) O gráfico da figura representa uma transformação reversível sofrida por determinada massa de gás perfeito.



- a) Qual a variação de temperatura do gás entre o estado inicial A e o estado final C?
- b) Qual a quantidade de calor, em joules, recebida pelo gás na transformação ABC?

P15. (UF-RS) Qual é a variação de energia interna de um gás ideal sobre o qual é realizado um trabalho de 80 J, durante uma compressão adiabática?

- a) 80 J b) 40 J c) zero d) - 40 J e) - 80 J

P16. Um gás ideal é comprimido adiabaticamente, realizando-se sobre ele um trabalho de 100 joules. Determine:

- a) A quantidade de calor trocada com o meio ambiente;
- b) A variação de energia interna sofrida pelo gás;
- c) Como variam a pressão, o volume e a temperatura do gás no processo.

TRANSFORMAÇÃO CÍCLICA

Um gás sofre uma *transformação cíclica* ou realiza um *ciclo* quando a pressão, o volume e a temperatura retornam aos seus valores iniciais, após uma seqüência de transformações. Portanto, o estado final coincide com o estado inicial. Sendo coincidentes os valores das temperaturas final e inicial, temos que $\Delta U = 0$.

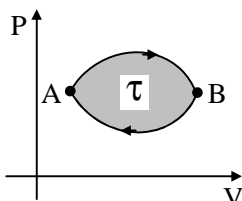
Em vista do Primeiro Princípio da Termodinâmica:

$$Q = \tau + \Delta U \Rightarrow Q = \tau + 0 \Rightarrow Q = \tau$$

Uma transformação cíclica é representada no gráfico $P \times V$ através de uma curva fechada, cuja área interna fornece o trabalho total trocado com o meio exterior.

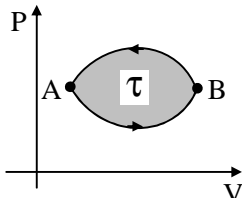
Ciclo horário:

- $\tau > 0$
- $\Delta U = 0$
- $Q = \tau$ ($Q > 0$)
- O sistema recebe calor e realiza trabalho



Ciclo anti-horário:

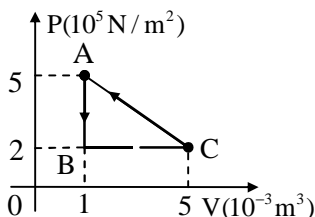
- $\tau < 0$
- $\Delta U = 0$
- $Q = \tau$ ($Q < 0$)
- O sistema cede calor e recebe trabalho



EXERCÍCIOS PROPOSTOS:

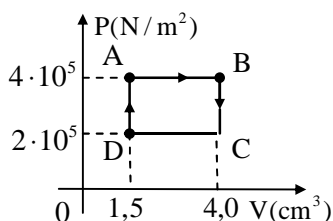
P17. Certa massa de gás perfeito sofre o processo cíclico representado no gráfico. Determine:

- A variação da energia interna;
- O trabalho realizado no processo;
- A quantidade de calor trocada com o ambiente.



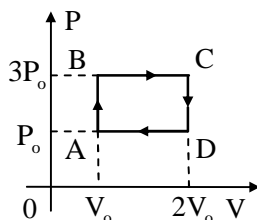
P18. (FUVEST-SP) O diagrama $P \times V$ da figura refere-se a um gás ideal passando por uma transformação cíclica através de um sistema cilindro-pistão.

- Qual o trabalho realizado pelo gás no processo AB?
- Em que ponto do ciclo a temperatura do gás é menor?



P19. (ACAPE-SC) O diagrama a seguir representa uma transformação ABCD, realizada por 2 mols de um gás ideal. As unidades de pressão e volume são, respectivamente, N/m^2 e m^3 . Se a temperatura do gás, no estado A, é $77^\circ C$, o trabalho realizado no ciclo será:

- 11 200 J
- 5 600 J
- 2 800 J
- 2 464 J
- 2 100 J

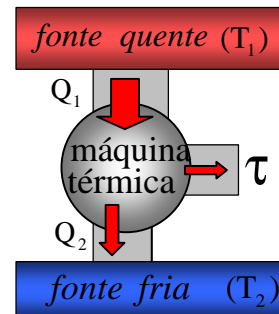


SEGUNDO PRINCÍPIO DA TERMODINÂMICA

O Segundo Princípio da Termodinâmica, tal como foi enunciado pelo físico francês Sadi Carnot, estabelece limitações às transformações termodinâmicas, realizadas pelas chamadas máquinas térmicas.

Para haver conversão contínua de calor em trabalho, um sistema deve operar continuamente em ciclos entre uma fonte quente e uma fonte fria, que permanecem em temperaturas constantes. Em cada ciclo, é retirada uma certa quantidade de calor (Q_1) da fonte quente, que é parcialmente convertido em trabalho (t), sendo o restante (Q_2) rejeitado para a fonte fria.

A figura ao lado representa uma *máquina térmica*, que pode ser uma máquina a vapor, um motor a explosão de automóvel, etc.



$$Q_1 = t + Q_2$$

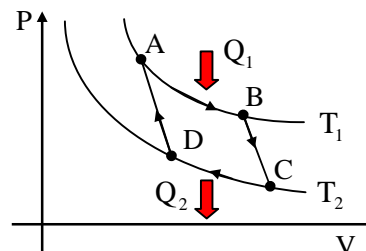
RENDIMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS “h”

O rendimento de uma máquina térmica é dado pela relação entre o trabalho τ (energia útil) e a quantidade de calor Q_1 retirada da fonte quente (energia total).

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

CICLO DE CARNOT

Carnot demonstrou que o maior rendimento possível para uma máquina térmica entre duas temperaturas T_1 (fonte quente) e T_2 (fonte fria). Este ciclo idealizado por Carnot consiste em duas transformações adiabáticas alternadas com duas transformações isotérmicas. Graficamente, fica assim:



- A → B: expansão isotérmica → o sistema transforma o calor recebido da fonte quente em trabalho.
- B → C: expansão adiabática → o sistema ao realizar trabalho, sofre um abaixamento de temperatura T_1 para T_2 .
- C → D: compressão isotérmica → o trabalho realizado sobre o sistema é convertido em calor, que é transmitido à fonte fria.
- D → A: compressão adiabática → o trabalho realizado sobre o sistema produz um aumento de temperatura de T_2 para T_1 .

Em particular, para o ciclo de Carnot foi demonstrado que o rendimento máximo depende exclusivamente das temperaturas absolutas das fontes quente e fria.

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad \text{e} \quad \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

