

Trabalho e Calor

PME3398

Prof. Antonio Luiz Pacífico

1º Semestre de 2019

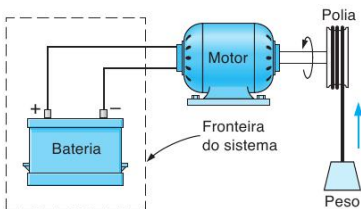
Conteúdo da Aula

- 1 Trabalho
- 2 Calor
- 3 Comentários Finais
- 4 Exercícios

Definição de Trabalho

O trabalho é usualmente definido como uma força F agindo ao longo de um deslocamento x , sendo esse deslocamento na direção da força. Isto é,

$$W = \int_1^2 F \cdot dx$$



Um sistema realiza trabalho se o único efeito sobre a vizinhança **puder ser** o levantamento de um peso.

Figura: Exemplos de trabalho cruzando a fronteira.

Definição de Trabalho

$W > 0$ quando trabalho é produzido pelo sistema (ou VC) - energia sai do sistema;

$W < 0$ quando trabalho é realizado sobre o sistema (ou VC) - energia entra no sistema.

ATENÇÃO: A localização da fronteira do sistema é essencial para se conhecer se tal sistema está ou não realizando (ou recebendo) trabalho sobre (ou da) vizinhança.

Definição de Trabalho

Potência é o trabalho por unidade de tempo, \dot{W} :

$$\dot{W} = \frac{\delta W}{dt} \rightarrow [\text{N.m/s} = \text{J/s} = \text{W}]$$

Trabalho por unidade de massa do sistema, w :

$$w = \frac{W}{m} \rightarrow [\text{J/kg}]$$

Trabalho Realizado num Sistema Compressível Simples Devido ao Movimento de Fronteira

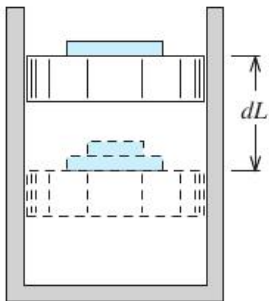


Figura: Trabalho em processo quase estático.

$$F = p \cdot A ; \delta W = F \cdot dL$$

$$\therefore \delta W = p \cdot A \cdot dL \Rightarrow \delta W = p \cdot dV$$

Portanto, num processo quase estático qualquer, W pode ser calculado pela soma de infinitos processos quase estáticos:

$${}_1W_2 = \int_1^2 p \cdot dV$$

Trabalho Realizado num Sistema Compressível Simples Devido ao Movimento de Fronteira

O trabalho é função de linha, é uma diferencial inexata, portanto é dependente do caminho: dV é uma diferencial exata, logo $\int_1^2 dV = V_2 - V_1$; δW é diferencial inexata, logo $\int_1^2 \delta W = {}_1W_2$ (a notação $W_2 - W_1$ é errônea para uma diferencial inexata). O mais correto seria dizer ${}_1W_{2,A}$, onde A indica o caminho, mas convencionalmente não se usa, por estar subentendido no problema.

Portanto, para se resolver $\int_1^2 p \cdot dV$, é preciso conhecer p , tal que $p = f(V)$.

Trabalho Realizado num Sistema Compressível Simples Devido ao Movimento de Fronteira

Num processo isobárico, $p = Cte.$:

$${}_1W_2 = p \cdot (V_2 - V_1)$$

Num processo politrópico, $p \cdot V^n = Cte.$:

$n = 1$ (processo isotérmico)

$${}_1W_2 = p_1 \cdot V_1 \cdot \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

$0 < n < 1$ ou $n > 1$

$${}_1W_2 = \frac{p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1}{1 - n}$$

Definição de Calor

Calor é a forma de energia transferida através da fronteira de um sistema, numa dada temperatura, a um outro sistema (ou meio) numa temperatura inferior, em virtude da diferença de temperatura entre os dois sistemas.

A transferência de calor ocorre unicamente devido a diferença de temperaturas entre dois, ou mais, sistemas.

Um corpo nunca contém calor (contém energia); calor pode somente ser identificado atravessando uma fronteira: calor é um fenômeno transitório; cessada a diferença de temperatura, cessa-se a transferência de calor. Logo, nenhum sistema pode conter calor no início, no meio, ou no fim de um processo.

Definição de Calor

$Q > 0$ quando calor é adicionado ao sistema (ou VC) - energia entra no sistema;

$Q < 0$ quando calor é removido do sistema (ou VC) - energia sai do sistema;

Um processo em que $Q = 0$ é chamado processo *adiabático*.

Como o trabalho, o calor também é uma diferencial inexata, logo se escreve δQ e não dQ ; $\int_1^2 \delta Q = Q_2$ e não $Q_2 - Q_1$.

Taxa de transferência de calor, \dot{Q} :

$$\dot{Q} = \frac{\delta Q}{dt} \rightarrow [\text{W}]$$

Transferência de calor por unidade de massa do sistema, q :

$$q = \frac{Q}{m} \rightarrow [\text{J/kg}]$$

Modos de Transferência de Calor

A transferência de energia entre moléculas é denominada transferência de calor por **condução**, e aumenta com a diferença de temperatura e com a habilidade da substância para realizar a transferência de energia. Isso é expresso pela lei de Fourier da condução,

$$\dot{Q} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

que fornece a taxa de transferência de calor por condução como proporcional à condutibilidade térmica, k , a área total, A , e ao gradiente de temperatura. O sinal negativo indica que o sentido da transferência de calor é da região que apresenta temperatura mais alta para a que apresenta temperatura mais baixa.

Modos de Transferência de Calor

A transferência que ocorre quando um meio está escoando é chamada de transferência de calor por **convecção**. Nesse modo o movimento da substância desloca matéria, que apresenta certo nível energético, sobre uma superfície que apresenta uma temperatura diferente da do meio que escoar. O coeficiente de transferência de calor por convecção é correlacionado pela lei do resfriamento de Newton,

$$\dot{Q} = h.A.\Delta T$$

A propriedades de transferência estão agrupadas no coeficiente de transferência de calor por convecção, h , que é função das propriedades físicas do fluido que escoar, do escoamento e da geometria.

Modos de Transferência de Calor

A transferência de calor por **radiação** é aquela na qual a energia é transmitida por ondas eletromagnéticas. A transferência de calor por radiação pode ocorrer no vácuo e não requer a presença de matéria, mas é necessário um meio material para que ocorra tanto a emissão (geração) quanto a absorção de energia. A taxa de emissão superficial de energia é escrita como uma fração, emissividade ϵ , da taxa de emissão de um corpo negro perfeito, ou seja,

$$\dot{Q} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_s^4$$

em que T_s é a temperatura da superfície e σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$).

Interação Sistema-Vizinhança

O que faz um sistema mudar de estado?

Um sistema em equilíbrio termodinâmico é um sistema incapaz de mudar de estado espontaneamente. Assim, para alterar o estado de um sistema em equilíbrio só *algo* vindo de fora pode fazê-lo.

Dito de outro modo, um sistema em equilíbrio só muda de estado sob ação de *algo* proveniente da sua vizinhança que atravesse a fronteira para agir sobre o sistema.

Interação Sistema-Vizinhança

Esse algo é o que chamamos de **energia**, mas não é algo *estático*, pois está em movimento, em trânsito, porque atravessa a fronteira do sistema.

Para que haja esta transferência de energia é necessário a existência de um potencial. Quando esse potencial é a diferença de temperatura, chamamos essa energia em trânsito de *calor*. Quando for *qualquer* outro potencial, ela é chamada de **trabalho**.

Portanto, calor e trabalho são energia em trânsito. Sistemas **nunca possuem** calor e/ou trabalho.

Interação Sistema-Vizinhança

CALOR: energia em trânsito, devida a uma diferença de temperatura, sem associação ao transporte de massa.

TRABALHO: energia em trânsito, devido a um potencial que não seja temperatura, não associada à transferência de massa.

Um sistema só interage com sua vizinhança através de calor e trabalho.

Calor e Trabalho: funções do caminho

Calor e trabalho, por não pertencerem ao sistema, **não são propriedades do sistema**, mas podem alterá-las. Na verdade, são fenômenos de fronteira, observáveis somente na fronteira do sistema e nunca no seu interior.

Ambos ocorrem na direção de um gradiente de potencial negativo. Entretanto o caminho percorrido entre dois estados inicial e final pode ser qualquer um.

Conceito: Calor e trabalho são *diferenciais inexatas*, são funções do caminho (funções de linha). Propriedades são funções do estado, independem do caminho percorrido.

Exercício de Aula 1

Enunciado: Um conjunto cilindro-pistão sem atrito contém 5 kg de vapor de refrigerante R-134a a 1000 kPa e 140 °C. O sistema é resfriado a pressão constante, até que o refrigerante apresente título igual a 25%. Calcule o trabalho realizado pelo fluido no processo.

Exercício de Aula 2

Enunciado: Um conjunto cilindro-pistão contém, inicialmente, $0,1 \text{ m}^3$ de um gás a 1 MPa e $500 \text{ }^\circ\text{C}$. O gás é expandido isotermicamente até a pressão atingir 100 kPa . Determine o trabalho envolvido neste processo, considerando o modelo de gás perfeito.

Exercício de Aula 3

Enunciado: O conjunto cilindro-pistão da figura contém 2 kg de água. O pistão está submetido à ação de uma mola linear e da pressão atmosférica e apresenta massa desprezível. No estado inicial, o volume da câmara é 200 L, a mola toca levemente o pistão de modo que a pressão é igual à atmosférica ($p_0 = 100$ kPa). Quando o êmbolo encontra o batente, o volume da câmara é de 800 L e a temperatura da água 600 °C. Se a água for aquecida até que sua pressão atinja $1,2$ MPa, determine as temperaturas dos estados final e inicial, mostre o processo num diagrama $p - V$ e determine o trabalho realizado pelo sistema.

