Aula

18

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

META

Apresentar a primeira lei da termodinâmica e as definições de trabalho e calor nas trocas termodinâmicas.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:
calcular o trabalho efetuado por forças conservativas; e
relacionar o trabalho efetuado com variações em temperatura

PRÉ-REQUISITOS

Álgebra, vetores, escalas termodinâmicas.

Força (Fonte: http://www.gettyimages.com).

INTRODUÇÃO

Quando estudamos termodinamicamente um dado sistema precisamos ter em mente quais são as variáveis de estado e como elas dependem da interação deste sistema com o meio ambiente. Por exemplo, quando ocorre a explosão do combustível dentro do pistão de um automóvel uma reação química provoca uma expansão de um gás que move uma manivela. Neste processo o pistão realiza trabalho sobre a manivela que faz o automóvel se mover. Ao mesmo tempo, a própria explosão e o atrito que existe em todos os sistemas reais se traduzem em um aumento de temperatura que se propaga por todo o motor e até mesmo sobre a lataria do automóvel. Ocorre então a transferência de calor. Estes dois processos (realização de trabalho e transferência de calor) são observados nos fenômenos termodinâmicos e levam a uma variação da energia interna do sistema (variável de estado). Para relacionar estes processos com esta variável de estado introduziremos agora a Primeira Lei da Termodinâmica.

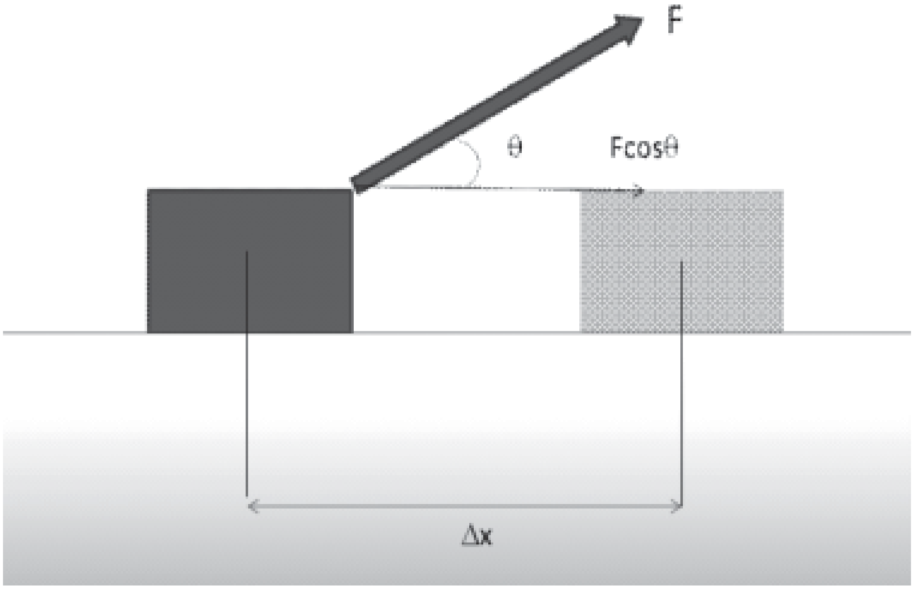
(Fonte: http://www.gettyimages.com).

TRABALHO

Em aulas anteriores discutimos a energia em várias de suas formas: cinética, potencial, térmica, etc. Uma maneira de compreender a energia, no entanto, ainda não foi explorada: sua utilização na realização de trabalho. A palavra trabalho é utilizada coloquialmente para designar o esforço humano para seu sustento (ou algo parecido), mas tem um significado bastante distinto e específico na física. O trabalho é definido como:

Trabalho: produto da magnitude do deslocamento com a componente da força externa aplicada que é paralela ao deslocamento.

Em termos mais diretos: se uma força é aplicada sobre um corpo e causa a sua movimentação, a parte da força que é realmente utilizada para mover o corpo, multiplicada pela distância percorrida corresponde ao trabalho. Considere a figura abaixo.



Uma força F é aplicada sobre uma caixa, através de sua extremidade e faz um ângulo q com a horizontal. Como podemos ver, uma parte desta força (componente vertical) somada à reação normal da mesa se igualam ao peso. Se esta componente for maior que a força peso, então o movimento será diferente e não será tratado aqui. A outra parte desta força (componente horizontal) é a responsável pelo deslocamento da caixa. Como o deslocamento total é dado por Dx, o trabalho realizado pela força, sobre a caixa é dado por:

$$W = F\cos\theta \times \Delta x$$

Note que esta equação é particular para este problema apenas. A real equação para o trabalho, quando a força é constante e conservativa (não é dissipativa, tal como o atrito) é uma equação vetorial:

$$W = \vec{F}.\vec{d}$$

Esta equação mostra o produto escalar entre o vetor força e o vetor deslocamento. Como este produto não foi definido anteriormente, vamos dar uma paradinha para estudá-lo. É realmente muito simples.

PRODUTO ESCALAR ENTRE VETORES

Considere dois vetores **A** e **B** descritos por:

$$\vec{A} = a_x\hat{\imath} + a_y\hat{\jmath} + a_z\hat{k}$$

E

$$\vec{B} = b_x\hat{\imath} + b_y\hat{\jmath} + b_z\hat{k}$$

O produto escalar entre estes dois vetores é dado por:

$$\vec{A}.\vec{B} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z = |\vec{A}||\vec{B}|cos\theta$$

Onde q é o ângulo formado entre os dois vetores.
Para que esta equação seja verdadeira, as seguintes relações precisam ser satisfeitas:

$$\boldsymbol{i}.\boldsymbol{i} = \boldsymbol{j}.\boldsymbol{j} = \boldsymbol{k}.\boldsymbol{k} = 1$$

$$\boldsymbol{i}.\boldsymbol{j} = \boldsymbol{j}.\boldsymbol{k} = \boldsymbol{k}.\boldsymbol{i} = 0$$

Estas últimas equações nos dizem simplesmente que os versores dos eixos x, y e z são perpendiculares entre si.

Note que o resultado de um produto escalar entre dois vetores é um escalar, ou seja, um número. No caso particular do trabalho, W, o resultado deste produto vetorial é um número cuja magnitude é dada (no S.I.) em Joules, assim como a energia. Vejamos agora alguns exemplos para esclarecer os conceitos.

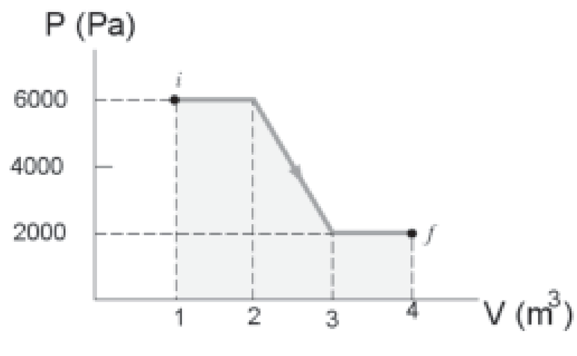
ATIVIDADES

1. Considere a figura mostrada no texto acima. Assumiremos que não existe atrito entre a caixa, de massa 48 kg, e a mesa. Se a força aplicada for de 30 N e o deslocamento total 0,7 m, calcule o trabalho realizado para os ângulos: q=0, 10, 20, 30 e 40^{o}. É possível levantar a caixa com esta força?

Uma caixa de 48 kg sobe 8 metros de um plano inclinado a 30º em relação
2. à horizontal como mostra a figura abaixo:

A força responsável por este deslocamento é aplicada por uma corda amarrada ao centro de massa da caixa e que apresenta uma tensão constante de 540 N paralela ao plano inclinado. Se o coeficiente de atrito cinético é dado por m=0,40, determine o trabalho realizado por cada uma das forças envolvidas.

3. Determine o trabalho realizado sobre um sistema que vai do estado inicial ao final de acordo com o seguinte gráfico:



4. Uma partícula se move no plano *xy* sendo que o seu movimento é descrito pelo vetor ***r***=(2,0***i***+3,0***j)*** m. A causa deste movimento é uma força aplicada dada por ***F***=(5,0***i***+2,0***j)*** N. Determine a magnitude do deslocamento e da força e o ângulo formado entre os dois. Determine também o trabalho realizado por esta força.

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

1. Este é um problema extremamente simples de aplicação direta da fórmula. Vamos a ela:

$$W_0 = 30 \times 0{,}7 \times cos0 = 21J$$

$$W_{10} = 30 \times 0{,}7 \times cos10 = 20{,}7J$$

$$W_{20} = 30 \times 0{,}7 \times cos20 = 19{,}7J$$

$$W_{30} = 30 \times 0{,}7 \times cos30 = 18{,}2J$$

$$W_{40} = 30 \times 0{,}7 \times cos40 = 16{,}1J$$

Como podemos ver, quanto maior o ângulo, menor o trabalho para realizar a tarefa. Isto lhe causa alguma estranheza? Como a distância percorrida é a mesma para todos os casos, quanto maior o ângulo, *menor é a força aplicada*. Ou seja, quando aumentamos o ângulo, diminui a força necessária para deslocar a caixa. Se isto lhe soa estranho pense em outra pergunta: com que velocidade a caixa chega ao final da trajetória? Isto independe do ângulo? Pense um pouco e a resposta ficará clara. Quanto à última pergunta da questão: sendo a massa 20 kg, a força peso corresponde a aproximadamente 200 N. É então claramente impossível levantar a caixa com esta força.

2. Este problema exige que façamos uma pequena modificação na equação do trabalho, observe a maneira como ela está escrita abaixo:

$$W = F\Delta r$$

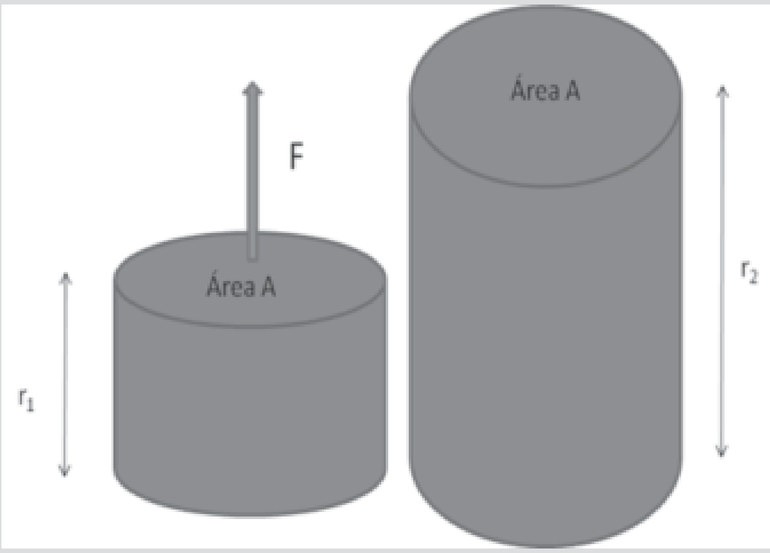
Nesta forma identificamos *Dr* com o deslocamento e assumimos que o deslocamento e a força estão na mesma direção e sentido, dispensando assim a notação vetorial. Vamos agora lembrar que a pressão exercida por uma força é definida como o quociente entre a força aplicada e a área sobre a qual ela atua, ou na forma de equação:

$$P = \frac{F}{A}$$

Substituindo agora esta definição de pressão na equação do trabalho nós obtemos:

$$W = PA\Delta r$$

Esta equação parece bastante suspeita e nós não sabemos ainda o que ela significa porque não conhecemos o sistema. Como ela deve valer para qualquer sistema, vamos aplicá-la a algum sistema bem simples apenas para conseguir identificar as variáveis. Tal sistema é um cilindro sendo comprimido por um pistão como na figura abaixo:



Enquanto a área se mantém constante, a altura do cilindro passa de r_1 para r_2 devido à força aplicada. Utilizando este exemplo chegamos ao resultado:

$$W = PA\Delta r = PA(r_2 - r_1) = P\Delta V$$

CONCLUSÃO

O conceito de energia é mais amplo que imaginávamos. Ela possui várias formas, incluindo a Energia Interna de sistemas que é uma variável de estado e também pode ser vista apenas como um processo, como é o caso da troca de calor e de realização de trabalho. Através da Primeira Lei da Termodinâmica fomos capazes de relacionar estas grandezas de maneira quantitativa e pudemos concluir que a mesma é uma maneira diferente de dizer que a energia é conservada.

RESUMO

Nesta aula serão abordados os seguintes tópicos:
- Trabalho realizado por uma força constante;
- Diagrama *PV*;
- Transferência de Calor;

Primeira lei da Termodinâmica.

PRÓXIMA AULA

Na próxima aula estudaremos aplicações das leis da termodinâmica para sistemas específicos onde algumas variáveis de estado se mantêm constante.

REFERÊNCIAS

DOUGLAS, C. Giancoli. **Physics for Scientists and Engineers**, 3 ed. Editora Prentice Hall, New Jersey, 2000.

HUGH, D. Young e Roger A. Freedman: **Física I – Mecânica**, 10 ed. Tradução de Adir Moysés Luiz. Editora Addison Wesley, São Paulo, 2003.

FREDERICK, J. Keller, W. Edward Gettys e Malcolm J. Skove. **Física**, v. 1, 1 ed. Tradução de Alfredo Alves de Farias. Editora Makron Books, São Paulo, 1997.

ROBERT Resnick, David Halliday e Kenneth S. Krane. **Física 1**, 5 ed. Tradução de Pedro M. C. L. Pacheco, Marcelo A. Savi, Leydervan S. Xavier, Fernando R. Silva. LTC Editora, Rio de Janeiro, 2003.