

# EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR

## INTRODUÇÃO

Por um longo período de tempo prevaleceu um debate científico sobre como definir a energia térmica de um sistema, outrora chamada apenas de calor, que costumava ser descrita em termos de sua temperatura. Este debate se centrava em compreender se o calor era uma forma de energia ou uma grandeza de magnitude independente, que seria conservada. Durante a primeira metade do século XIX comprovou-se que a energia mecânica produzida devido à fricção era completamente convertida em calor, independentemente do processo de transformação utilizado ou das características físicas e químicas dos materiais envolvidos. O calor foi então definido como a energia devido a movimentos moleculares ou atômicos desordenados e macroscopicamente invisíveis.

A razão entre o trabalho mecânico realizado  $W$  e a quantidade de calor gerado através de fricção  $Q$  é denominada equivalente mecânico do calor.

Neste experimento realizamos trabalho mecânico através da rotação de um cilindro metálico, sujeito à fricção de uma fita de nylon. Avaliaremos o aumento de temperatura do cilindro em função de trabalho realizado e compararemos este valor ao calor produzido.

## PARTE EXPERIMENTAL

### **Objetivo**

→ Medir o equivalente mecânico do calor e verificar a primeira lei da termodinâmica.

### **Material utilizado**

→ Cilindro metálico, fita de nylon, peso com massa entre 1kg e 5kg, dinamômetro, termômetro, sistema com manivela para rotação do cilindro metálico.

### Procedimentos:

Neste experimento, um corpo de teste de metal gira, sendo aquecido pela fricção devido a uma fita tensionada de material sintético. O equivalente mecânico do calor é determinado a partir do trabalho mecânico e comparado ao aumento de energia térmica deduzido através do aumento de temperatura do cilindro.

A montagem experimental é vista na figura 1. O cilindro de fricção e uma manivela estão presos a um rolamento que permite o movimento rotativo. Uma placa base serve como suporte, fixada à mesa com as braçadeiras. A fita de nylon usada para produzir fricção é presa ao dinamômetro e perfaz 2,5 voltas em torno do cilindro (de modo que o dinamômetro seja aliviado quando a manivela é girada no sentido horário). Um peso fornecido, com massa entre 1 kg e 5 kg é ligado à extremidade inferior da fita de fricção. Para medir a temperatura, um termômetro é mantido fixo, introduzido no furo do cilindro metálico. Deve-se verificar se o termômetro e o furo do cilindro estão cuidadosamente alinhados, de modo que o termômetro não seja danificado enquanto o cilindro estiver rodando. Para melhorar o contato térmico, uma pasta de boa condutividade térmica deve ser aplicada à superfície do cilindro que está em contato com a faixa de nylon e à ponta do termômetro.

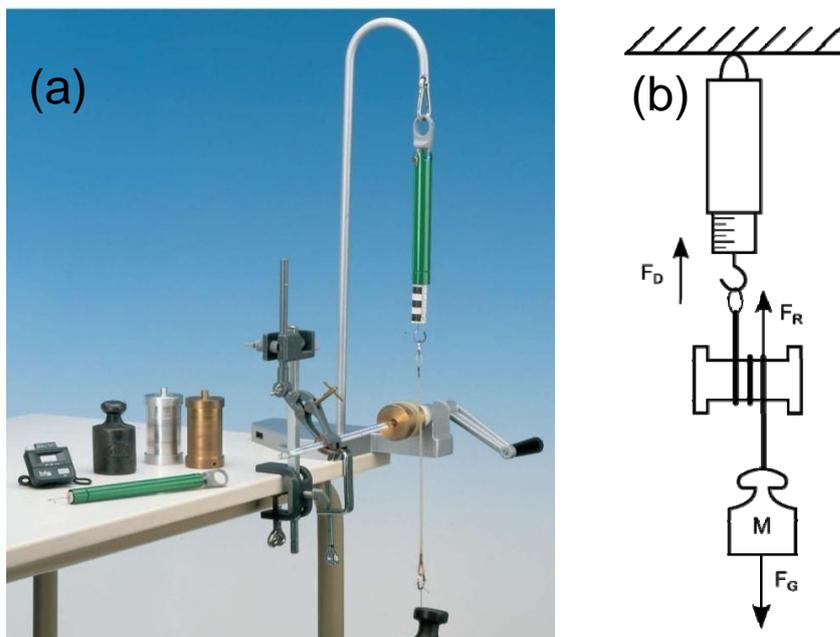


Fig. 1 – (a) Montagem experimental para medição do equivalente mecânico do calor. (b) Representação esquemática das forças que atuam sobre o cilindro de latão, sujeito à tração do dinamômetro e da força peso de uma massa.

→ Para iniciar as medidas a temperatura do cilindro deve ser registrada a cada trinta segundos durante três minutos.

→ Depois disso, a alça da manivela deve ser girada 200 vezes no sentido horário, reduzindo-se a tensão medida pelo dinamômetro em relação à condição de repouso do sistema (para um operador posicionado atrás da manivela). O movimento deve ser o mais rápido e regular possível. Sugere-se uma taxa média de uma volta por segundo.

→ Deve-se então, simultaneamente, registrar o valor médio da força  $F_D$  que atua sobre um dos lados da fita, determinada pelo o dinamômetro (o valor deve ser lido ao se executarem as revoluções da manivela sob a taxa constante escolhida acima).

→ Durante todo o processo deve-se continuar coletando os valores da temperatura a cada intervalo de 30 segundos. Após terminar o movimento da manivela, será observada uma diminuição contínua da temperatura. Os valores obtidos no termômetro ainda devem ser anotados a cada 30 segundos ao longo de um intervalo de, no mínimo, 5 minutos.

Os dados devem ser dispostos em um gráfico de temperatura em função do tempo, como o visto na fig. 2.

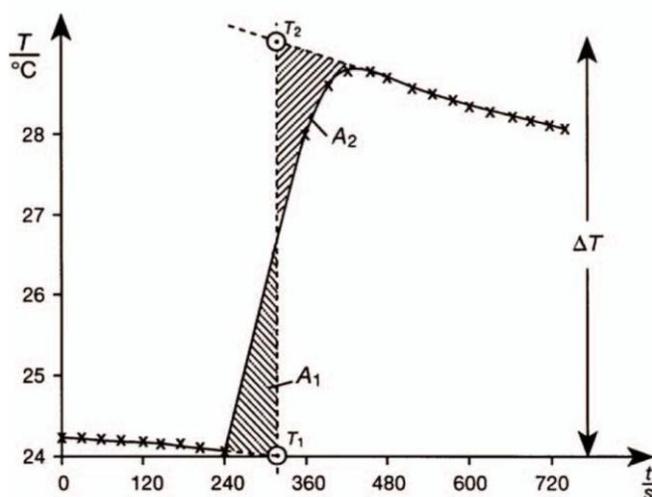


Fig. 2 - Exemplo de gráfico da temperatura registrada no termômetro para o cilindro de latão em função do tempo.

Através do gráfico obtido deve-se encontrar a diferença de temperatura  $\Delta T$  obtida para o cilindro de latão e o trabalho realizado sobre o mesmo. Para tal, traça-se linhas retas (apenas visuais, utilize a ferramenta de desenho do software de análise de dados) para a sequência de pontos anterior ao movimento da manivela e posterior ao movimento da manivela. Estas linhas devem ser prolongadas ao longo de todo o gráfico.

A diferença de temperatura de um processo ideal é aquela obtida a partir de uma linha vertical que deixa áreas iguais dos dois lados do degrau de aquecimento.

Após o processo de rotação da manivela o trabalho ( $W$ ) realizado sobre cilindro pode ser calculado por:

$$W = 2\pi r N F_R = 2\pi r N (F_G - F_D) \quad , \quad (1)$$

onde  $N$  é o número de voltas efetuadas na manivela,  $r$  é o raio do cilindro de latão e  $F_R$  é a força resultante que executa o trabalho, dada pela diferença da força peso  $F_G$  da massa utilizada e a força média vista no dinamômetro  $F_D$ .

→ Calcule o valor de  $W$  e sua respectiva incerteza.

Deve-se então comparar o valor obtido com o calor transferido para o cilindro, que depende da diferença de temperatura aferida e da capacidade térmica do sistema:

$$Q = C_{\text{sistema}} \times \Delta T \quad , \quad (2)$$

onde  $C_{\text{sistema}} = C_{\text{cilindro}} + C_{\text{fita}} + C_{\text{termômetro}}$ . Assumindo que  $C_{\text{fita}} = C_{\text{termômetro}} \approx 4 \text{ J/K}$  e que a capacidade térmica do cilindro de latão (com massa 0,640 kg) é  $c_{\text{latão}} = 385 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ .

→ Compare o valor de  $Q$  e  $W$  e comente o processo físico observado.

#### QUESTÕES:

- Qual o efeito esperado no gráfico se a massa utilizada no dinamômetro fosse 2 vezes maior?
- O processo realizado através da movimentação da manivela não é o ideal em alguns aspectos termodinâmicos. Quais seriam as modificações necessárias para que o processo possa ser interpretado de maneira mais exata a partir da primeira lei da termodinâmica? Que implicações estas modificações trariam ao gráfico obtido?