

O EQUIVALENTE ELÉTRICO DO CALOR

Material Utilizado:

Parte B - Equivalente Elétrico do Calor

- um aparato para a determinação do equivalente elétrico do calor (PASCO TD-8552), composto de uma jarra com lâmpada incandescente embutida e bornes para conexão elétrica e um calorímetro
- uma garrafa de tinta da Índia
- uma fonte regulada de potência (3A CC, 12 V CC)
- um voltímetro (20 V CC)
- um amperímetro (10 A CC)
- um termômetro (0 - 100 °C)
- uma balança (fundo de escala 500 g, resolução 1g)

Objetivo do Experimento: Aplicar a primeira lei da termodinâmica na determinação dos equivalentes mecânico e elétrico do calor.

INTRODUÇÃO

A primeira lei da termodinâmica (ou o princípio da conservação da energia no contexto da termodinâmica) estabelece que a variação de energia interna ΔU de um sistema que recebe uma quantidade de calor Q e que realiza um trabalho W , é dada por

$$\Delta U = Q - W \quad (1).$$

No caso particular em que o sistema não troca calor com o universo (transformação adiabática, $Q = 0$), tem-se o resultado $\Delta U = -W$, ou seja, todo o trabalho realizado *sobre* o sistema ($-W$) é convertido integralmente em variação de energia interna.

Neste experimento, investigaremos (dois) processos (idealmente) adiabáticos, em que se terá, separadamente, a conversão de trabalho mecânico ou trabalho elétrico em energia interna. Como trabalho é normalmente medido em Joules e variação de energia interna (promovida pela transferência de calor) é usualmente medida em Calorias, esses processos fornecem a oportunidade de se determinar a relação entre essas unidades (isto é, determinar os equivalentes mecânico e elétrico do calor).

O princípio da medição do equivalente mecânico do calor é seguinte. O aparato é montado sobre a borda de uma mesa, de forma que o eixo do cilindro fique orientado horizontalmente. Uma corda é enrolada em torno da superfície do cilindro de raio R , tendo uma de suas extremidades presa a um corpo de massa M conhecida, a ser suspenso. Durante o experimento, enquanto a manivela é girada

com velocidade constante, a corda desliza sobre a superfície do cilindro e o corpo suspenso é mantido em repouso (portanto, a tensão na parte da corda que suspende o corpo é igual a Mg , onde g é a aceleração da gravidade), enquanto que a outra extremidade (livre) da corda é mantida relaxada (isto é, com tensão desprezível). Uma vez que velocidade de rotação da manivela é constante, o torque (constante) empregado pelo agente externo deve ser igual ao torque proporcionado pelo atrito através da corda, que é igual a

$$\tau = M g R \quad (2)$$

O trabalho realizado pelo agente externo para girar a manivela de um ângulo θ é $W = \tau\theta$ e, portanto o trabalho realizado para efetuar um número inteiro de giros N é

$$W = (2\pi N) M g R \quad (3).$$

O calor Q gerado pelo atrito, na condição ideal em que o aparato está termicamente isolado do ambiente, é integralmente transformado em variação de energia interna ΔU do cilindro, cuja temperatura evolui de um valor inicial T_i para um valor final T_f . O calor Q (ou, neste caso, a variação de energia interna do cilindro) pode ser obtido através da relação

$$Q = m c (T_f - T_i) \quad (4),$$

onde m é a massa do cilindro e c é o calor específico do metal de que o mesmo é feito (alumínio). Finalmente, o equivalente mecânico do calor J pode ser obtido calculando a razão $J = W / Q$, onde as grandezas J e Q são expresas em Joule e Caloria, respectivamente.

A medição do equivalente elétrico do calor é realizada da seguinte forma. Uma lâmpada incandescente é imersa em uma quantidade conhecida de água (de massa m), na qual é diluído um corante, para tornar a mistura opaca à luz visível. Durante um intervalo de tempo Δt a lâmpada é submetida a uma diferença de potencial V , sendo então percorrida por uma corrente elétrica i . O trabalho elétrico W realizado pela fonte de força eletromotriz (ou, equivalentemente, a energia elétrica entregue à lâmpada) neste processo pode ser obtido através da relação

$$W = V i \Delta t \quad (5).$$

Na condição em que o sistema (lâmpada + água) está termicamente isolado do ambiente, a energia elétrica entregue ao filamento da lâmpada é transferida integralmente, sob a forma de calor, para a água, gerando um aumento de energia interna ΔU nesta, cuja temperatura evolui de um valor inicial T_i para um valor final T_f neste processo. O calor Q transferido (ou, neste caso, a variação de energia interna da massa de água) pode ser obtido através da relação (4), onde m é a massa da água e c é o calor específico

da água. Finalmente, o equivalente elétrico do calor J pode ser obtido calculando a razão $J = W / Q$, onde as grandezas J e Q são expressas em Joule e Caloria, respectivamente.

PROCEDIMENTO

Parte B - Equivalente Elétrico do Calor

O aparato de equivalente elétrico do calor é essencialmente constituído de uma jarra transparente (dentro da qual se processa a transformação da energia elétrica em energia térmica) e de um calorímetro, para isolação térmica com o ambiente. A jarra possui uma tampa à qual é fixada em sua parte interna, e através de um soquete, uma lâmpada incandescente. O experimento é realizado com o bulbo da lâmpada imerso em água, cujo nível não deve ultrapassar uma linha limite indicada na jarra, para não reduzir desnecessariamente o tempo de vida da lâmpada. A tampa da jarra possui um orifício para inserção de um termômetro ou de uma sonda térmica (um resistor térmico, por exemplo). Na água é diluída uma pequena quantidade de tinta da Índia para torná-la opaca à luz visível, de forma a garantir que a grande parte da radiação eletromagnética gerada pelo filamento da lâmpada *não* seja transmitida para o ambiente. A medição da potência elétrica entregue à lâmpada pode ser feita da forma mais comum, com o auxílio de um voltímetro e de um amperímetro, como representado na figura abaixo. Para que a corrente e a diferença de potencial na lâmpada permaneçam constantes durante o experimento, é importante que se faça uso de uma fonte regulada de potência.

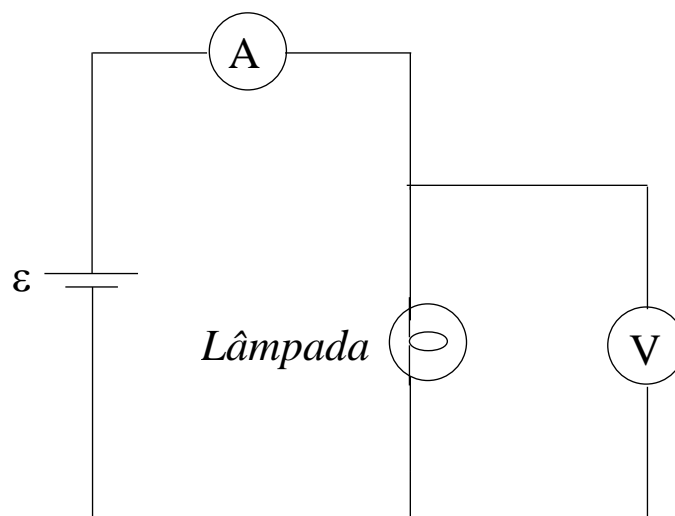


Figura 1 - Circuito elétrico para medição de potência elétrica fornecida a lâmpada incandescente.

1. Faça uso do termômetro para medir e registrar a temperatura ambiente T_a .
2. Meça e registre a massa m_J da jarra (com a tampa).
3. Remova a tampa da jarra e preencha a jarra com água até o nível indicado pela linha limite de água. O ideal é que a água esteja aproximadamente a $10\text{ }^\circ\text{C}$ abaixo da temperatura ambiente (um bebedouro constitui uma fonte conveniente para este propósito) mas o valor exato da temperatura não é crítico.
4. Adicione um pouco de tinta da Índia à água, o suficiente para que a lâmpada seja apenas um pouco visível quando iluminada (aproximadamente 10 gotas).
5. Neste experimento você fará uso de uma *fonte regulada* para alimentar a lâmpada incandescente. Esta fonte deverá trabalhar como uma *fonte de corrente com limitação de tensão*. A diferença de potencial na lâmpada não deverá ultrapassar o valor de 12 V (portanto, a tensão que a fonte deverá ser limitada a este valor).
6. Antes de conectar a fonte à rede, certifique-se de que os potenciômetros de controle de tensão e de corrente encontram-se na posição de zero. Ligue então a fonte e programe-a para trabalhar com limitação de tensão com valor limite de 12 V. Para tanto, atue gradualmente sobre o potenciômetro de controle de tensão, *com o circuito em aberto*, até o voltímetro (embutido) da fonte indicar o valor desejado (12 V) (se necessário, atue também no potenciômetro de controle de corrente). *O potenciômetro de controle de tensão deverá ser mantido nesta posição*. Em seguida, volte à posição de zero o potenciômetro de controle de corrente e desligue a fonte. A mesma estará então programada para trabalhar com limitação de tensão com o valor desejado.
7. Monte o circuito, como representado na figura, *com a fonte desligada*. Escolha fundos de escala adequados para o voltímetro e o amperímetro inseridos no circuito. Uma vez que o valor de corrente no circuito não é conhecido com antecipação, é conveniente começar com o fundo de escala mais elevado disponível no amperímetro.
8. *Peça a seu professor para conferir o circuito, antes de ligá-la*.
9. Insira a jarra no calorímetro e insira o termômetro através do orifício da tampa da jarra. Agite a água levemente com o termômetro. Meça e registre a temperatura inicial T_i da água.
10. “Dê corda” no cronômetro (no caso de ele ser um cronômetro mecânico) e zere-o.

11. Ligue então a fonte. Lembre-se de que *não se deverá atuar sobre o potenciômetro de controle de tensão*. Gire o potenciômetro de corrente até a posição de máximo (isto fará com que a fonte de forneça o valor máximo programado para a f.e.m. (12 V)) e simultaneamente dispare o cronômetro.
12. Registre a diferença de potencial V e a corrente i na lâmpada. Acompanhe a evolução de V e de i . Se os valores dos mesmos mudarem significativamente durante o experimento, registre os valores *médios* dessas grandezas (que, neste caso, deverão ser os valores utilizados no cálculo).
13. Acompanhe a evolução da temperatura da água, sempre agitando levemente a água antes de fazer uma medição de temperatura.
14. Quando a temperatura T da água estiver tão acima da temperatura ambiente quanto estava inicialmente abaixo desta ($T - T_a = T_a - T_i$), desligue a fonte e, simultaneamente, pare o cronômetro. Registre o intervalo de tempo Δt durante o qual a lâmpada esteve alimentada.
15. Continue a agitar levemente a água. Acompanhe a indicação do termômetro de forma a identificar a temperatura máxima atingida pela água e registre esta temperatura como temperatura final T_f .
16. Rertorne o potenciômetro de corrente da fonte à posição de mínimo e desligue a fonte. Desfaça o circuito elétrico.
17. Retire o termômetro da jarra e esta do calorímetro. Meça e registre a massa m_{JA} da jarra com água. Obtenha então a massa de água aquecida m_A a partir de $m_A = m_{JA} - m_J$.
18. Calcule a energia elétrica W entregue à lâmpada (ou, equivalentemente, o trabalho elétrico realizado pela fonte) através da relação (5).
19. A quantidade de calor Q transferida à água (ou, equivalentemente, o aumento de energia interna da mesma) deve ser, em princípio, obtida através da relação (4):

$$Q = m_A c (T_f - T_i),$$

onde $c = 1 \text{ cal / g } ^\circ\text{C}$ é o calor específico da água. Entretanto, tendo em vista que a jarra absorve parte do calor gerado pelo filamento da lâmpada, um resultado mais confiável pode ser obtido levando em conta a capacidade térmica da jarra, reescrevendo a expressão anterior como

$$Q = (m_A + m_{EJ}) c (T_f - T_i),$$

onde m_{EJ} ($= 23 \text{ g}$) é o equivalente, em unidades de massa de água (gramas), da capacidade térmica da jarra. Calcule o valor de Q fazendo uso da última expressão.

20. Obtenha então J , o equivalente elétrico do calor, calculando $J = W / Q$, onde W e Q são expressos em Joule e Caloria, respectivamente.

FOLHA DE DADOS E RESULTADOS

Experimento: A Primeira Lei da Termodinâmica

Data ____/____/____

COMPONENTES DO GRUPO

NOME _____

NOME _____

NOME _____

NOME _____

Parte B - Equivalente Elétrico do Calor

Caracterização do Corpo em Aquecimento	
Massa da jarra:	$m_J = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ g}$
Massa da jarra com água:	$m_{JA} = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ g}$
Massa de água:	$m_A = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ g}$
Calor específico da água	$c = 1 \text{ cal / g } ^\circ\text{C}$
Equivalente em água da jarra	$m_{EJ} = 23 \text{ g}$

Parâmetros de Fornecimento de Energia Elétrica	
Diferença de potencial na lâmpada:	$V = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ V}$
Corrente elétrica na lâmpada:	$i = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ A}$
Tempo de aplicação de potência à lâmpada	$\Delta t = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ s}$

Evolução da Temperatura	
Temperatura ambiente:	$T_a = (\text{_____} \pm \text{_____}) ^\circ\text{C}$
Temperatura inicial da massa de água:	$T_i = (\text{_____} \pm \text{_____}) ^\circ\text{C}$
Temperatura final da massa de água:	$T_f = (\text{_____} \pm \text{_____}) ^\circ\text{C}$

Energia elétrica entregue à lâmpada: $W = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ J}$

Calor recebido pelo sistema (água + jarra): $Q = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ Cal}$

Equivalente elétrico do calor: $J = W / Q = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ J/Cal}$