

Equivalente mecânico do calor

Av. dos Estados, 5001 - Bangú, Santo André - SP, 09210-580

<http://www.ufabc.edu.br> T: (11) 4996-7914

Prof. Responsável: Dra. Leticie Mendonça Ferreira

Material desenvolvido pelo monitor Henrique Barros de Oliveira, sob orientação da profa. Leticie M. Ferreira, no contexto do projeto "Reelaboração do Material Didático das Disciplinas Avançadas de Laboratório de Física".

Caro aluno, neste experimento iremos investigar a relação entre trabalho e calor. Trabalho e calor são transferências de energia entre um sistema e sua vizinhança. Embora possa parecer trivial, a relação entre ambos só foi compreendida no século XIX. Diversas equações surgiram para explicar a conservação da energia mecânica, bem como para a conservação da energia térmica. Porém a relação entre ambas ocupou muitos químicos e físicos na época.

John Playfair foi um dos primeiros a notar que a conservação da energia mecânica não acontecia de forma perfeita. Na época ainda não se conhecia a segunda lei da termodinâmica, o que ocasionou uma grande discussão.

Em 1843 Joule realizou um experimento onde relacionava a energia mecânica e calor, tendo publicado os resultados em 1847.

Pode-se então estabelecer uma relação direta entre calor e trabalho e é este processo que estaremos estudando no experimento a seguir.



1- John Playfair

Datas Históricas

**10 de março de 1748 -
Nascimento**

Professor John Playfair foi um matemático e geólogo escocês. Era geólogo e lecionava matemática na Universidade de Edimburgo. É o responsável pela formulação moderna do quinto postulado de Euclides. Morreu em 20 de julho de 1819

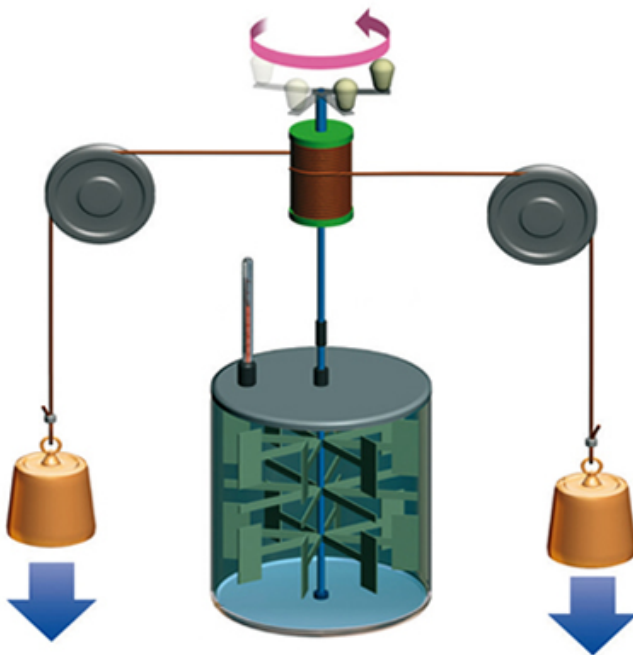
Curiosidade - V Postulado de Euclides

“É verdade que, se uma reta ao cortar duas outras, forma ângulos internos, no mesmo lado, cuja soma é menor do que dois ângulos retos, então as duas retas, se continuadas, encontrar-se-ão no lado onde estão os ângulos cuja soma é menor do que dois ângulos retos”

Introdução

A relação entre calor e trabalho como proposta hoje primeiramente por Julius Robert von Mayer e ampliada por James Prescott Joule.

A ideia é relacionar a força mecânica com a variação de temperatura. O experimento apresenta diversas formas, uma das mais comumente vistas é a do peso que pode agitar uma pequena porção de água, como na imagem abaixo.



Porém, esse experimento apresenta uma série muito grande de limitações, uma vez que é complicado manter as condições ideais, a pressão e temperatura atuais também influenciam no resultado entre outros problemas.

Assim temos outra opção que é usar o equivalente da PHYWE que utiliza do atrito perdido para averiguar a variação da temperatura de um cilindro metálico.



2 – Julius Robert von Mayer

Datas Históricas

25 de novembro de 1814 - Nascimento

Foi um físico e médico alemão e um dos fundadores da termodinâmica. É conhecido por ter enunciado, em 1841, uma das primeiras versões da primeira lei da termodinâmica, dizendo que "energia não pode ser criada ou destruída".

1842

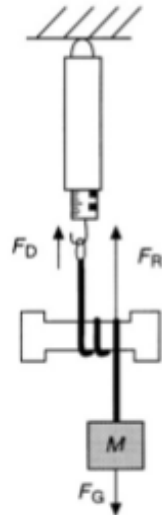
Em 1842, Mayer descreveu o processo de oxidação como a fonte de energia primária de qualquer criatura viva. Suas conquistas não receberam reconhecimento pela comunidade científica, e a descoberta do equivalente mecânico do calor, foi atribuída a James Joule no ano seguinte. Morreu em 1878.

Informações relevantes

<http://repository.phywe.de/files/versuchsanleitungen/p2330200/e/p2330200e.pdf>

Link para documentação original

Equacionamento



Iremos partir da figura acima, sendo esta uma simplificação do modelo utilizado.

Podemos então fazer o equilíbrio de forças:

$$F_R = F_G - F_D$$

Onde F_G é a força peso proporcionada pela massa pendurada. F_D é a força do dinamômetro e F_R é a força de atrito dinâmico entre o cilindro e a fita de alta densidade.

O trabalho de atrito W é então determinado a partir da trajetória em atrito dada por $2\pi \cdot r \cdot n$ (r = raio do cilindro, n = número de voltas) e é dado por:

$$W = 2\pi \cdot r \cdot n \cdot F_R = 2\pi \cdot r \cdot n \cdot (F_G - F_D)$$

Enquanto a tira sintética desliza sobre o cilindro, uma grande parte do trabalho mecânico é convertida em energia térmica ΔQ por causa das deformações inelásticas do material de atrito, ou seja, pela fricção entre os materiais. Em decorrência disto, a temperatura T do cilindro de atrito aumenta de uma quantidade ΔT :

$$\Delta Q = C_{tot} \Delta T$$

Onde C_{tot} representa a capacidade térmica total das partes aquecidas. Ela consiste na soma da

Curiosidades:

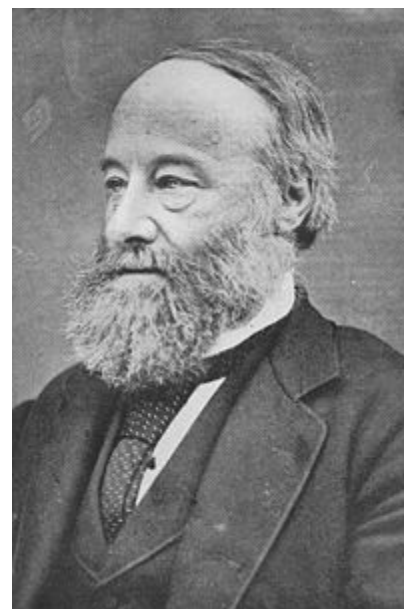
Mayer determinou o equivalente mecânico do calor de forma teórica. O resultado de suas investigações foi publicado em 1842 na edição de maio da *Annalen der Chemie und Pharmacie* de Justus von Liebig, que foi traduzido como "Observações sobre as Forças da Natureza Inorgânica".

capacidade térmica C_{cty} do cilindro de atrito (massa m , calor específico c_{CuZn} (CuZn: $c = 0,385 \text{ J/g.K}$))

$$C_{cty} = c_{CuZn} * m$$

E da capacidade térmica da tira de atrito ($C_{band} = 4 \text{ J/K}$) bem como da capacidade térmica do termômetro ($C_{th} = 4 \text{ J/K}$). Se a massa do cilindro de atrito é $m = 640 \text{ g}$, isto leva a um total de capacidade térmica dado por:

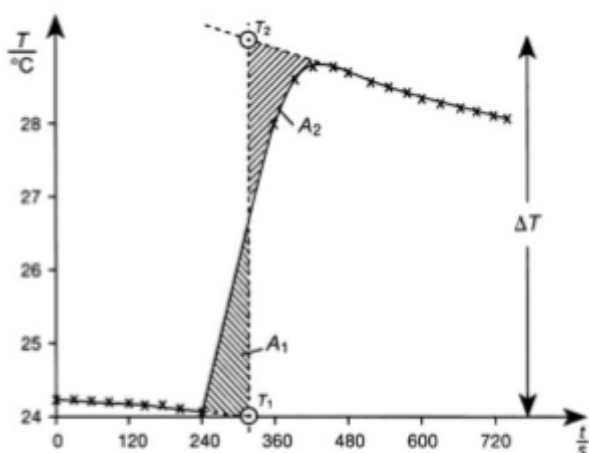
$$C_{tot} = C_{band} + C_{th} + C_{cty} = 254 \text{ J/K}$$



3- James Prescott Joule

Exemplo conceitual

O gráfico na figura abaixo é um exemplo representativo do comportamento esperado para a variação de temperatura da peça metálica.



Podemos então ver as áreas A1 e A2 que representam a diferença entre as duas curvas, ou seja, caso $A1 = A2$ podemos dizer que ambos os experimentos terão recebido exatamente a mesma quantidade de energia.

Datas Históricas

24 de dezembro de 1818 – Nascimento

Joule estudou a natureza do calor, e descobriu relações com o trabalho mecânico. Isso direcionou para a teoria da conservação da energia conhecida como a primeira Lei da Termodinâmica.

11 de outubro de 1889 – Morte

Curiosidade

A nomenclatura Joule, para unidades de trabalho no SI só veio após sua morte, em homenagem.

Antes de iniciar

Verifique as peças do conjunto

O conjunto deve possuir as seguintes peças:

- Cilindro de CuZn (Latão) 640 g
- Cilindro de CuZn (Latão) 1280 g
- Cilindro de Al de 640 g
- Pesos de 1 kg
- Manivela
- Dinamômetros de 10 N e 100 N
- Termopar tipo K
- Suportes
- Fita de alta densidade

Verifique também o alinhamento da fita com relação ao cilindro, mantenha ela de modo que fique sempre a 90° com o mesmo.

Verifique também se o termômetro está perfeitamente alinhado com relação ao cilindro.

Faça as medidas das condições iniciais do experimento nesse momento, pois é o melhor momento para executá-las.

Conferindo o Termopar

Neste experimento você utilizará um termopar do tipo K como sensor de temperatura (termômetro). O termopar é formado por dois fios ligados a um multímetro, tal ligação nos permite medir a diferença de potencial entre as duas pontas. A tabela do termopar será disponibilizada pelo professor.

Antes de iniciar o experimento, é altamente recomendável que você verifique a calibração do termopar. Para tanto você deve verificar se a leitura feita pelo multímetro em duas temperaturas de referência concorda com o valor fornecido pela tabela. O recomendado é utilizar um vasilhame com água fervendo e outro com água e gelo, fim de formar uma diferença de temperatura de 100 K. Abaixo podemos ver algumas imagens que devem auxiliar a montagem.



4- James Prescott Joule

Embora não pareça, Joule era um cientista amador e seus trabalhos tiveram grandes dificuldades em receber aceitação acadêmica uma vez que não eram feitos no ambiente universitário.

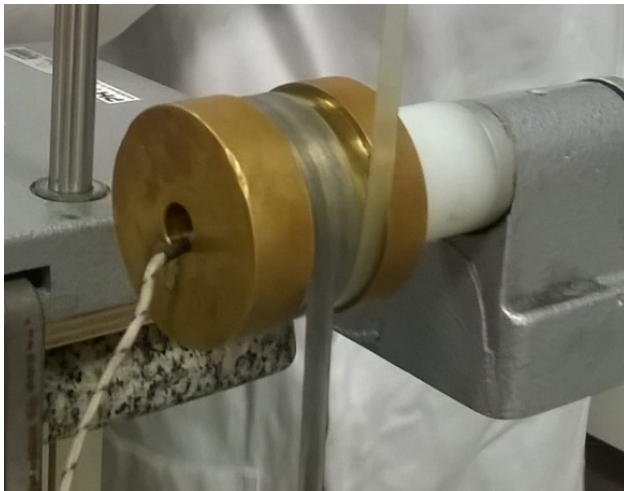
Curiosidade :

Embora amador, os trabalhos realizados por Joule foram muito experimentais, o que proporcionou um bom respaldo às suas observações.

Outro ponto, esse talvez mais importante, era seu contato com Lord Kelvin, que na época já era um dos mais respeitados cientistas.



Acima vemos como colocar a ponta de um termopar em um béquer com gelo para que a diferença de temperatura medida seja em relação ao 0 °C.



Veja agora a outra ponta do termopar dentro do cilindro, junto com a pasta térmica, é assim que seu experimento deve ficar depois de concluída a calibração.



Acima temos o exemplo de como o multímetro deverá mostrar uma variação de voltagem. Com isso e a tabela disponível, podemos estimar a diferença de temperatura entre as duas pontas.



5- Thomas Johann Seebeck

Thomas J. Seebeck

(1770 —1831)

Foi o físico responsável pela descoberta, em 1821, do efeito termoeelétrico. Devido a este efeito, uma junção de metais distintos produz uma tensão elétrica, cuja intensidade depende dos materiais que a compõem e da temperatura em que se encontra. Também conhecido como efeito Seebeck, explica o funcionamento do termopar.

Curiosidade :

O efeito Seebeck é o reverso do efeito Peltier, que é a produção de um gradiente de temperatura em duas junções de dois condutores de materiais diferentes quando submetidos a uma diferença de potencial.

Parte 1 - Determinação do equivalente mecânico do calor



A imagem acima ilustra a montagem do aparato. O procedimento a seguir deve ser seguido com o conjunto deste modo a fim de obter os resultados necessários.

- Conecte a fita ao dinamômetro e dê duas voltas ao redor do cilindro;
- Suspenda o peso na outra extremidade da fita;
- Verifique se o termômetro está correto e se o cilindro está preenchido com pasta térmica;
- Meça a tensão a cada 30 s por quatro minutos; A ideia aqui é aguardar que o termopar entre em equilíbrio térmico com a peça metálica;
- Comece a girar o cilindro (serão de 200 a 1000 voltas; então não se esqueça de contar), faça isso da forma mais regular possível;
- Anote o valor do dinamômetro.
 - É de se supor que esse valor seja constante
- Anote o valor de tensão a cada 30 segundos (ou quando perceber alteração no valor de tensão);
- Após finalizar as voltas, continue anotando o valor de tensão e tempo por pelo menos 10 minutos. Você perceberá que o decaimento de temperatura será bem mais lenta.

Determine o valor de F_D e sua incerteza e construa um gráfico de temperatura em função do tempo.

Efeito Seebeck

Para uma combinação de dois supostos metais A e B, em uma pequena diferença de temperatura entre as junções:

$$dE_S = \alpha_{A,B} dT$$

Onde o coeficiente de proporcionalidade $\alpha_{A,B}$ é conhecido como coeficiente de Seebeck.

Fazemos então a relação

$$\alpha_{A,B} = \frac{dE_S}{dT}$$

A seguinte função é então encontrada através da calibração

O que nos leva a

$$\alpha_{A,B} = \frac{dE}{dT} = a + bT$$

Podemos então afirmar que, para uma determinada combinação de metais, o coeficiente de Seebeck é função apenas da temperatura e dois metais envolvidos.

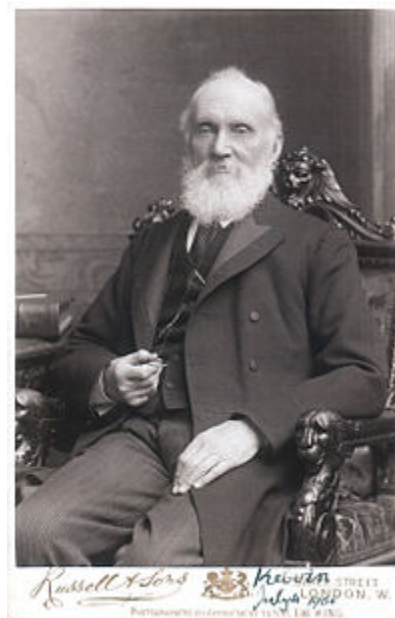
Parte 2 - Determinação do calor específico do latão e alumínio

Deve ser executado de forma idêntica ao procedimento anterior, substituindo o cilindro de 640 g pelos cilindros de 1280 g de Latão e de 640 g de alumínio.

Vale notar que, ao se utilizar o cilindro de alumínio, não se deve usar peso superior a 1 kg. Para tal é interessante utilizar também o dinamômetro de 10 N.

Repita exatamente o mesmo procedimento anterior com os cilindros de latão e alumínio, respectivamente, anotando os correspondentes valores.

Obs: Lembre-se de anotar e propagar as incertezas.



6- William Thomson, 1º barão Kelvin

Datas Históricas

26 de junho de 1824 - Nascimento

Nasceu em Belfast, Irlanda do Norte.

As propriedades do calor foram um dos sistemas preferidos de Kelvin. Analisou com mais profundidade as descobertas de Jacques Charles sobre a variação de volume dos gases em função da variação da temperatura. Charles concluíra, com base em experimentos e cálculos, que à temperatura de -273°C todos os gases teriam volume igual a zero. Kelvin propôs outra conclusão que seria a energia cinética das moléculas que iria chegar a Zero.

Questões

Parte 1

1. Para uma medição onde a carga residual do dinamômetro seja F_D , calcule o trabalho após n rotações.
2. Calcule a quantidade de calor absorvida pelo sistema
3. Calcule o equivalente mecânico $\frac{\Delta W}{\Delta Q}$

Outros pontos que devem estar em seu relatório

- O valor do equivalente mecânico está próximo de aceitável? Por que?
- Qual é o impacto no experimento a variação da velocidade da manivela?

Parte 2

1. Assumindo que o equivalente mecânico do calor é igual a 1, calcule a quantidade de calor absorvida pelos cilindros de latão e de alumínio.
2. Calcule o calor específico do latão e do alumínio.
3. Compare com os valores de referência e estime o erro percentual nestas medidas.

a. $c_{Al} = 0,902 \frac{J}{gK}$

b. $c_{latão} = 0,392 \frac{J}{gK}$

Notas finais

Lembre-se que todos os valores apresentam incerteza, inclusive os informados no relatório como massas e é parte importante do relatório fazer as propagações de erro de forma bem organizada.

Faça seu relatório de forma concisa e bem estruturada.

Referências

Phywe, Excellence in science. Manual do usuário.

H. Moysés Nussenzveig (2002). Física Básica. 2 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher

Revista Brasileira de Ensino de Física Print version ISSN 1806-1117 On-line version ISSN 1806-9126
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172009000300013 Acessado dia 19/05/2017

James Prescott Joule. Enciclopédia Mirador Internacional; Oxford Dictionary of Scientists. UOL
<https://educacao.uol.com.br/biografias/james-joule.jhtm> Acessado dia 19/05/2017

Playfair, John (1802). Illustration of the Huttonian Theory. Edinburgh: Cadell & Davies <https://archive.org/details/NHM104643>
Acessado dia 19/05/2017

Euclid's Parallel Postulate and Playfair's Axiom <https://archive.org/details/elementsgeometr05playgoog> Acessado dia 19/05/2017

Universidade Federal de Campina Grande <http://www.dec.ufcg.edu.br/biografias/JuliusRv.html> Acessado dia 19/05/2017

Grupo escolar <http://www.grupoescolar.com/pesquisa/lord-kelvin-william-thomson-1824-1907.html> Acessado dia 19/05/2017

Figuras

1 From Wikimedia Commons, the free media repositior https://commons.wikimedia.org/wiki/File:John_Playfair_by_Sir_Henry_Raeburn.jpg

2 From Wikimedia Commons, the free media repository https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Julius_Robert_Mayer_von_Friedrich_Berrer.jpg

3 From Wikimedia Commons, the free media repositior <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SS-joule.jpg>

4 From Wikimedia Commons, the free media repositior https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Joule_James_Jeens_engraving.jpg

5 From Wikimedia Commons, the free media repository <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ThomasSeebeck.jpg>

6 From Wikimedia Commons, the free media repository https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portrait_of_William_Thomson,_Baron_Kelvin.jpg