

## 1301 – Conjunto básico de calorimetria



Roteiro elaborado com base na documentação que acompanha o conjunto por:  
*Oswaldo Guimarães – PUC-SP*

### Tópicos Relacionados

Calor, temperatura, equilíbrio térmico, transferência de calor, capacidade térmica, calor específico e experiência de Joule — equivalente mecânico do calor.

### Princípios e objetivos

Determinar o equivalente mecânico do calor — roteiro à parte — e realizar experimentos básicos de calorimetria.

### Equipamentos

Balança de mola 100 N	03060.04	1
Tampa do calorímetro	04404.01	1
Bastonete agitador	04404.10	1
Folha de feltro 100x100mm	04404.20	2
Corpos de metal, conjunto de 3	04406.00	1
Bolsa de gaze	04408.00	1
Aparato de equivalente mecânico	04440.00	1
Bobina de aquecimento com encaixes	04450.00	1
Béquer de vidro, pequeno, 250 ml	36013.00	1
Béquer de vidro, pequeno, 400 ml	36014.00	1
Termômetro -10...+110 °C	38005.10	1



Frascos para mistura de líquidos e verificação das condições de equilíbrio térmico, tampo isolante, termômetros, rede de suporte de amostra, base de feltro isolante e anti-impacto além de pequenos de sólidos metálicos para

## 1301 – Conjunto básico de calorimetria

medição de calor específico. Embora não faça parte do especificado na licitação, adicionalmente, um pequeno resistor de aquecimento é fornecido. A fonte de alimentação adequada para esse aquecedor deve ser de 6 V.

### Objetivos

Medir o calor específico de alguns metais, medir a potência térmica de uma fonte e verificar as equações do equilíbrio de térmico.

### Montagem e procedimentos

A transferência de calor de um sólido metálico submerso em água é um processo rápido em que as perdas para o ambiente são mínimas. Para evitar a troca de calor por condução com as paredes do recipiente o sólido deve ser inserido no líquido e mantido suspenso na rede para que não tenha contato direto com as paredes.

Conhecendo-se a massa do sólido, a massa de água no recipiente, as temperaturas iniciais e finais, determina-se o calor específico da substância amostra.

### Teoria e Análise

A temperatura de equilíbrio térmico quando colocamos dois corpos  $A$  e  $B$  para troca de calor em um sistema isolado pode ser obtida por:

$$Q_A + Q_B = 0, \text{ como } Q = mc \cdot \Delta T = C \cdot \Delta T, \text{ temos: } C_A(T - T_A) + C_B(T - T_B) = 0$$

$$\text{Assim, } C_B = m_B \cdot c_B = \frac{C_A(T - T_B)}{(T_A - T)}$$

Fazendo-se várias medidas, em condições iniciais de temperatura diferentes, o calor específico médio do metal é determinado, admitindo-se conhecido o do líquido em que ele foi imerso (e.g. água  $c = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ ).

Um experimento preliminar pode ser feito para se determinar a capacidade térmica do conjunto “becker + termômetro”. Esse valor será adicionado à capacidade térmica do líquido em que vai ser colocado o metal.

## 1301 – Conjunto básico de calorimetria

### Equivalente mecânico do calor – Experiência de Joule

Roteiro elaborado com base na documentação que acompanha o conjunto por:  
*Oswaldo Guimarães* – PUC-SP

### Tópicos Relacionados

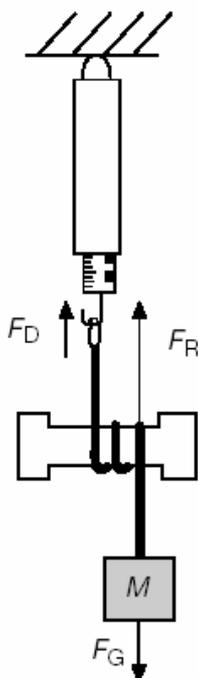
Equivalente mecânico do calor, trabalho mecânico, energia térmica, capacidade térmica, primeira lei da termodinâmica, calor específico.

### Princípios e objetivos

Neste experimento um corpo metálico é girado e aquecido por atrito com uma fita sintética. O equivalente mecânico do calor é determinado a partir de determinado trabalho mecânico. Assumindo-se a equivalência entre o trabalho mecânico e o calor, o calor específico do bronze e do alumínio é determinado.



**Fig. 1: Montagem experimental: Equivalente mecânico do calor.**

**1301 – Conjunto básico de calorimetria**

**Fig. 2: Equilíbrio de forças quando o cilindro metálico é rotacionado.**  
**Problemas**

1. Determinação do equivalente mecânico do calor
2. Determinação do calor específico do alumínio e do bronze.

**Montagem e procedimentos**

A montagem do experimento pode ser observada na fig. 1. Para iniciar o acionamento da manivela e girar o cilindro submetido à fricção, a base do aparato deve estar firmemente fixada a uma bancada. Má fixação pode resultar em oscilação do aparato e quebra do termômetro inserido no furo. A cinta de fricção ligada ao dinamômetro é enrolada 2,5 vezes em torno do cilindro. O peso de 5 kg é preso à parte inferior e a rotação da manivela deve acontecer de forma que o dinamômetro fique tracionado. O termômetro é introduzido no furo do cilindro envolto por uma pasta condutora para garantir uma boa troca de calor entre ambos. Começando as medidas, a temperatura deve ser registrada a cada 30 s, durante 4 minutos. Depois disso, a manivela é acionada um determinado número de voltas (e.g. 200 vezes) tão rápido quanto permita a regularidade no movimento. Simultaneamente a intensidade da força  $F_D$ , agindo sobre a parte superior é lida no dinamômetro. Em seguida, a queda contínua de temperatura é registrada em intervalos de 30 s.

A segunda parte do experimento é conduzida de maneira similar, com a intenção de medir a capacidade térmica de um cilindro de alumínio e outro de bronze, cuja massa é o dobro da do de alumínio. Antes de começar o

## 1301 – Conjunto básico de calorimetria

experimento, o cilindro a ser friccionado bem como a cinta de fricção devem ser limpos com um pano seco para prevenir eventuais influências de pó metálico produtos da abrasão ou do ambiente. Quando do uso do cilindro de alumínio, o atrito não deve exceder 10 N, (para isso, o peso de 1 kg e o dinamômetro de 10 N, o de maior precisão, são usados), com a intenção de prevenir abrasões mais severas. O calor específico do cilindro é calculado a partir do número de voltas da manivela  $n$ , a força média no dinamômetro  $F_D$  e o aumento de temperatura  $\Delta T$ .

### Teoria e Análise

A razão entre o trabalho mecânico realizado  $\Delta W$  e a quantidade de calor gerada  $\Delta Q$  em qualquer processo é chamada de equivalente mecânico do calor. Neste experimento, trabalho mecânico é realizado pela rotação de um cilindro em oposição ao atrito  $F_R$  de uma cinta de material sintético. Como o peso pendurado ( $F_G = Mg = 49 \text{ N}$  — assumindo  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ) e em outra extremidade da fita age a força aplicada pelo dinamômetro  $F_D$ , esse conjunto deve ter resultante nula, logo:

$$F_R = F_G - F_D \quad (1)$$

O trabalho do atrito é assim determinado pelo percurso ao longo do qual age a força de atrito  $2\pi r \cdot n$  ( $r =$  raio do cilindro,  $n =$  número de voltas), sendo dado por:

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

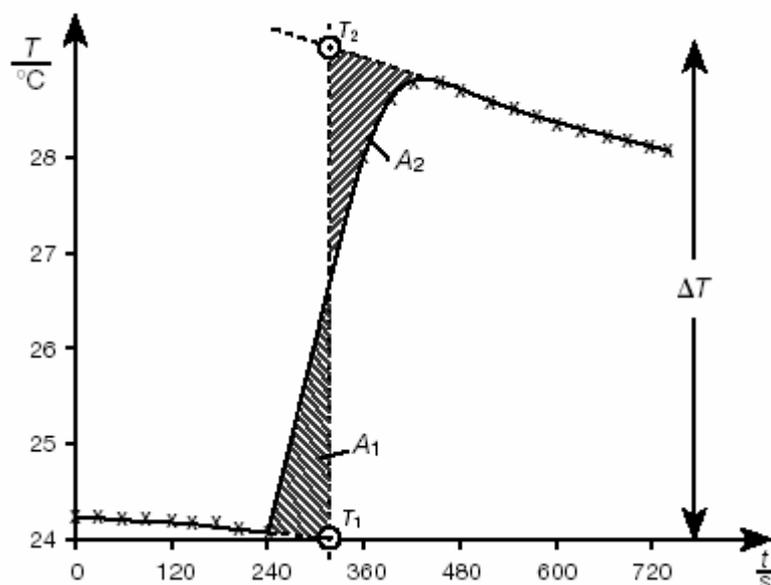


Fig. 3: Exemplo de diagrama temperatura em função do tempo:  $T \times t$

**1301 – Conjunto básico de calorimetria**

Ainda que a fita sintética escorregue sobre o cilindro, uma grande parte do trabalho mecânico é convertido em energia térmica  $\Delta Q$  pela fricção. Em decorrência, a temperatura do conjunto sofre um acréscimo  $\Delta T$ :

$$\Delta Q = C_{\text{tot.}} \Delta T \quad (3)$$

Onde  $C_{\text{tot.}}$  é a capacidade térmica total das partes aquecidas. Ela corresponde à soma da capacidade térmica do cilindro friccionado  $C_{\text{cil.}}$  (massa  $m$ , calor específico  $c$  (CuZn:  $c = 0,385 \text{ J/gK}$ ))

$$C_{\text{cil.}} = c \cdot m \quad (4)$$

da capacidade térmica da porção de fita friccionada ( $C_{\text{fit.}} = 4 \text{ J/K}$ ) e da capacidade térmica do termômetro ( $C_{\text{tém.}} = 4 \text{ J/K}$ ). Se a massa do cilindro atritado é  $m = 640 \text{ g}$ , a capacidade térmica total resulta em:

$$C_{\text{tot.}} = C_{\text{cil.}} + C_{\text{fit.}} + C_{\text{term.}} = 254 \text{ J/K} \quad (5)$$

Outras capacidades térmicas, como a do eixo, suporte, etc. são desprezadas em virtude da pequena quantidade de calor que esses corpos recebem.

A fig. 3 mostra um diagrama  $T \times t$  como exemplo de medida. A forma do gráfico mostra claramente que energia térmica é continuamente cedida ao ambiente enquanto a manivela é acionada. Além disso, a variação de temperatura  $\Delta T$  é determinada como se faz genericamente na determinação do calor específico: a compensação instantânea de temperatura é extrapolada pelo prolongamento de ambas as retas apresentadas no gráfico. Se traçarmos uma vertical de forma a obter duas áreas iguais  $A_1$  e  $A_2$ , a diferença entre as ordenadas dos pontos de intersecção é a diferença de temperatura procurada. No caso da medida de exemplo, em que a carga residual no dinamômetro é  $F_D = 3 \text{ N}$ , o trabalho realizado após 200 rotações é:  
 $\Delta W = 1301 \text{ J}$ ;

de acordo com a equação (3), o acréscimo de temperatura resultante da fricção do cilindro,  $\Delta T = 5,1 \text{ K}$ , produz a seguinte quantidade de energia térmica:

$$\Delta Q = 1296 \text{ J.}$$

Se o equivalente mecânico do calor é calculado, o quociente (1,003) resulta na unidade dentro dos limites de precisão das medidas.

Como o calor é uma modalidade de energia, a quantidade de energia mecânica é transformada na mesma quantidade de calor, de acordo com a lei da conservação da energia. Dessa forma, o equivalente mecânico do calor

**1301 – Conjunto básico de calorimetria**

resulta:  $\frac{\Delta W}{\Delta Q} = 1$ , quando ambas as quantidades são expressas no mesmo

sistema de unidades.

Experimentos similares, nos quais energia elétrica é convertida em energia térmica mostram que o equivalente elétrico do calor também resulta na unidade. Esses resultados são claramente presumidos pela 1ª Lei da Termodinâmica.

A variação da energia interna  $\Delta U$  de um sistema é igual à quantidade de calor trocada mais a quantidade de energia trocada na forma de trabalho, independentemente do tipo de processo:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W \quad (7)$$

Se, inversamente, a equação 6 é assumida ( $\Delta W = \Delta Q$ ), o calor específico pode ser determinado com esse equipamento. Se as equações 3 e 5 forem transformadas observando a capacidade térmica do cilindro, o seguinte resultado é obtido:

$$C = \frac{\Delta W}{\Delta T} = 8 \frac{\text{J}}{\text{gK}} \quad (8)$$

O calor específico da substância é definido como a relação entre a capacidade térmica do corpo  $C$  e sua massa  $m$ :

$$c = \frac{C}{m} \quad (9)$$

Essa grandeza é uma constante característica da substância, a qual sob pressão atmosférica normal depende ligeiramente da temperatura.

Como exemplo de medida com um corpo suspenso de 4 N no dinamômetro, 200 voltas na alavanca e um acréscimo de temperatura de  $\Delta T = 2,5$  K, resulta em uma capacidade térmica de:

$$C = 501 \text{ J/gK}$$

Para um cilindro de 1280 g. (o que é realmente cerca de duas vezes a capacidade térmica de um cilindro com metade dessa massa (247 J/gK). O calor específico calculado pela equação 9 é então:

$$c_{\text{bronze}} = 0,392 \text{ J/gK}$$

As medidas para o cilindro de alumínio nos levam a um bom resultado, dentro da precisão das medidas ( $c_{\text{Al}} = 0,870 \text{ J/gK}$ ), quando comparado ao valor da literatura ( $c_{\text{Al}} = 0,902 \text{ J/gK}$ ).