



Universidade Federal do ABC

BCJ0205 - Fenômenos Térmicos

Exp 3 - Calorimetria

Grupo 5

~~9.8~~
~~10.0~~
Para bônus!!!
Excelente trabalho!!!
Continue assim!!!

Professor:	<u>Romerly Fernandes de Costa</u>	Data:	<u>02 / 04 / 2019</u>
Turma:	<u>B2</u>	Turno (D/N):	<u>Diurno</u>
		Campus (SA/SB):	<u>SBC</u>
Nome:	<u>Cemile Mendes Nusse</u>	RA:	<u>11201810378</u>
Nome:	<u>Eduardo de Souza Corrilho</u>	RA:	<u>11201812084</u>
Nome:	<u>Gabriel Moraes de Souza</u>	RA:	<u>11201811286</u>
Nome:	<u>Henrique Leite de Sá Oliveira</u>	RA:	<u>11201811274</u>
Nome:	<u>Lucas Moura de Almeida</u>	RA:	<u>11201811415</u>
Nome:	<u>Mathews Bertolucci</u>	RA:	<u>11201812113</u>

1 Objetivos

Neste experimento, iremos determinar a capacidade térmica de um recipiente que constitui o calorímetro e também o calor específico de uma peça metálica, bem como avaliar as incertezas nestas medidas.

2 Introdução

Calor é o mecanismo pelo qual energia é transferida entre um sistema e seu ambiente por causa de uma diferença de temperatura entre eles. É também a quantidade de energia Q transferida por esse mecanismo. Essa energia transferida está em geral associada ao movimento (energia cinética) das partículas constituintes do sistema físico e é transferida entre o sistema e o seu ambiente pelos processos de radiação, condução e convecção.

Como calor é uma forma de energia, sua unidade pelo SI é o joule (J). Entretanto, por razões históricas costumamos usar também a **caloria (cal)**, que é definida como o calor necessário para elevar a temperatura de um grama de água de $14,5^{\circ}\text{C}$ para $15,5^{\circ}\text{C}$. O valor equivalente de uma caloria em joules é dado pela relação:

$$1\text{cal} = 4,186\text{ J}$$

Denominamos **calorimetria** o conjunto de técnicas e métodos dedicados à medição da quantidade de calor absorvido ou liberado por um sistema em um processo físico ou químico, como, por exemplo, em uma reação química ou em uma mudança de estado físico de uma dada substância. O **calorímetro** é um dos instrumentos utilizados na medição do calor envolvido em uma mudança de estado de um sistema. Tal mudança de estado pode envolver uma mudança de fase, de temperatura, de pressão, de volume, de composição química ou de qualquer outra propriedade associada a trocas de calor.

O calorímetro ideal consiste de um sistema termodinâmico **isolado** e **fechado** que não permite trocas de calor e matéria com o ambiente. Há um estado inicial em que se identificam dois ou mais sistemas

separados, cada um com sua temperatura inicial, e há um estado final onde os sistemas que inicialmente estavam separados entram em contato térmico alcançando o equilíbrio termodinâmico. Nos calorímetros, em geral, a transferência externa de calor por condução é minimizada pelo uso de paredes de material isolante térmico e a transferência externa de calor por radiação é isolada por paredes refletoras, por exemplo, recobertas por material como o alumínio.

O princípio de funcionamento do calorímetro baseia-se na proporcionalidade direta entre a quantidade de calor Q e a variação de temperatura. A constante de proporcionalidade é denominada capacidade calorífica (capacidade térmica) C (cal/°C ou J/°C). Podemos escrever:

$$Q = C(T_f - T_i) = C\Delta T \quad (1)$$

onde T_i é a temperatura inicial do sistema e T_f a temperatura final.

Podemos ainda definir uma grandeza associada apenas às características da substância que constitui o corpo, que independe de sua massa. Essa grandeza é denominada **calor específico** c (cal/kg °C ou J/kg °C) e temos a relação direta $C = mc$ entre capacidade térmica e calor específico. Dessa forma, podemos reescrever a equação 1 como:

$$Q = mc(T_f - T_i) = mc\Delta T \quad (2)$$

Vamos considerar, por exemplo, o caso de uma amostra sólida de massa m_A e de calor específico c_A que é aquecida até uma temperatura T_A . Essa amostra A é colocada em um calorímetro, que é um recipiente de paredes adiabáticas e com capacidade térmica C , contendo uma quantidade de um líquido de massa m e de calor específico c . A água e o calorímetro estavam inicialmente em equilíbrio térmico a uma temperatura $T_i < T_A$. Após um tempo, o sistema (amostra A + líquido + calorímetro) atinge o equilíbrio térmico a uma temperatura final T_f . Como as paredes do calorímetro são adiabáticas (não há troca de calor com o exterior), toda a troca de energia deve ocorrer entre a amostra A , o líquido e o calorímetro. Desse modo, podemos escrever que:

$$m_A c_A (T_f - T_A) + C(T_f - T_i) + mc(T_f - T_i) = 0 \quad (3)$$

Assim, a amostra A cede calor para o líquido e o calorímetro de modo que a soma total de energia permanece nula. Veja que o calor cedido é negativo e o calor recebido, positivo.

3 Procedimento experimental

3.1 Materiais

- Calorímetro;
- Termopar (ou Termômetro);
- Água;
- Balança (Modelo: BL-3200AS, tem legibilidade de $d=0,01g$, e um erro de $e=10d$);
- Chapa aquecedora;
- Peça de metal.

3.2 Métodos: Determinação da capacidade térmica do calorímetro

1. Primeiramente, meça a massa do calorímetro vazio (M_{cal}) com seu respectivo erro (não esqueça de medir a massa do conjunto completo, ou seja, com a tampa e termômetro).
2. Use o termopar para medir a temperatura ambiente (T_a) da sala, que tomaremos como a temperatura do calorímetro para a primeira medida. Para as demais medidas, aguarde equilíbrio térmico do calorímetro com a água fria.

- Transfira uma quantidade de água quente, que está no bquer sobre a placa térmica, suficiente para recobrir a ponta do termopar. Meça a temperatura da água quente (T_q) com o termopar conectado ao multímetro e a respectiva incerteza desta temperatura. Não meça diretamente no bquer mas sim imediatamente após a colocação da água no calorímetro (e pense no porquê isso faz diferença: o valor da capacidade térmica do calorímetro seria alterada?). **Cuidado com acidentes! Na dúvida, peça ajuda ao seu professor ou técnico responsável.** Coloque a tampa no calorímetro e aguarde até que o sistema alcance o equilíbrio térmico (algo em torno de um minuto deve ser o suficiente, ou quando a temperatura parar de variar rapidamente). Meça a temperatura final do sistema (T_f) e a massa total (M_T), que é a massa do calorímetro com a da água. Anote estes valores na tabela 1 com suas respectivas incertezas.
- Descarte a água utilizada na medida. Enxague o calorímetro com água fria para resfriá-lo. Então, repita os passos 2 e 3 para uma nova medida. Faça todas as medidas necessárias para completar a tabela 1.
- Preencha a tabela 2 abaixo com as grandezas determinadas a partir da tabela 1, onde $\Delta T_q = T_f - T_q$ é a variação de temperatura da água quente e $\Delta T_a = T_f - T_a$ é a variação de temperatura do calorímetro.

3.3 Métodos: Determinação do calor específico de uma peça metálica

- Meça a massa da peça metálica (M_M) e anote o material do qual você foi informado que ela é feita.
- Meça a temperatura da água quente (T_q), imediatamente após a colocação da água no calorímetro. Anote estes valores nas colunas apropriadas da tabela 3. Além disso, use o termopar para medir a temperatura ambiente (T_a) da sala, que iremos supor ser também a temperatura do calorímetro e da peça metálica.
- Transfira uma quantidade de água quente suficiente para recobrir totalmente a peça metálica. Coloque a tampa no calorímetro e aguarde até que o sistema alcance o equilíbrio térmico. Meça a temperatura final do sistema (T_f) e a massa total (M_T), que é a massa do calorímetro com a da água e da peça de metal. Anote estes valores na primeira linha da tabela 3 com suas respectivas incertezas.
- Descarte a água utilizada na primeira medida. Enxague o calorímetro e a peça de metal com água fria para garantir que eles retornem à temperatura ambiente. Repita os passos anteriores para uma nova medida até completar a tabela 3.
- Preencha a tabela 4 com as grandezas determinadas a partir da tabela 3, onde $\Delta T_q = T_f - T_q$ é a variação de temperatura da água quente e $\Delta T_a = T_f - T_a$ é a variação de temperatura do calorímetro e da peça metálica.

4 Resultados e Discussões

4.1 Determinação da capacidade térmica do calorímetro

- (5 pontos) Anote no espaço abaixo os dados do calorímetro.

Massa do calorímetro: $M_{cal} =$ 139,15 \pm 0,01 g

1. 5

- (15 pontos) Preencha a tabela 1 com os dados experimentais.

2. 15

Medida	$T_a(^{\circ}\text{C})$	$\sigma_{T_a}(^{\circ}\text{C})$	$T_g(^{\circ}\text{C})$	$\sigma_{T_g}(^{\circ}\text{C})$	$M_T =$ $M_{cal} + m_q \text{ (g)}$	$\sigma_{M_T} \text{ (g)}$	$T_f(^{\circ}\text{C})$	$\sigma_{T_f}(^{\circ}\text{C})$
1	23 ✓	1 ✓	84 ✓	1 ✓	278,93 ✓	0,01 ✓	77 ✓	1 ✓
2	23 ✓	1 ✓	82 ✓	1 ✓	274,83 ✓	0,01 ✓	72 ✓	1 ✓
3	23 ✓	1 ✓	81 ✓	1 ✓	283,10 ✓	0,01 ✓	76 ✓	1 ✓
4	23 ✓	1 ✓	82 ✓	1 ✓	251,50 ✓	0,01 ✓	76 ✓	1 ✓
5	23 ✓	1 ✓	84 ✓	1 ✓	287,17 ✓	0,01 ✓	80 ✓	1 ✓

Tabela 1: Dados de temperatura e massa da água e calorímetro.

Medida	$\Delta T_q(^{\circ}\text{C})$	$m_q \text{ (g)}$	$\Delta T_a(^{\circ}\text{C})$	$C_{cal} \text{ (J/^{\circ}\text{C})}$
1	-7 ✓	144,78 ✓	54 ✓	78,56 ✓
2	-10 ✓	140,68 ✓	49 ✓	120,18 ✓
3	-5 ✓	148,95 ✓	53 ✓	58,82 ✓
4	-6 ✓	117,35 ✓	53 ✓	55,61 ✓
5	-4 ✓	153,02 ✓	57 ✓	44,95 ✓

Tabela 2: Dados adicionais para determinar a capacidade térmica do calorímetro.

3. (10 pontos) Utilizando os dados da tabela 1 determine e preencha todos valores da tabela 2 exceto a última coluna.

3. 10

4. (5 pontos) Obtenha a expressão para o cálculo da capacidade térmica do calorímetro (C_{cal}) em termos das variáveis da tabela 2, calor específico da água ($c_{agua} = 4186 \text{ J/kg.K}$) e massa da água. Explícite os seus cálculos.

$$\Sigma Q = 0$$

$$C_{cal} \cdot \Delta T_2 + m_q \cdot c_{agua} \cdot \Delta T_q = 0$$

$$C_{cal} \cdot \Delta T_2 = -m_q \cdot c_{agua} \cdot \Delta T_q$$

$$C_{cal} = \frac{-m_q \cdot c_{agua} \cdot \Delta T_q}{\Delta T_2}$$

Temos então,

$$C_{cal} = \frac{-4186 \cdot m_q \cdot \Delta T_q}{\Delta T_2} \text{ [J/}^{\circ}\text{C]}$$

E como c_{agua} é constante e igual a $4186 \text{ [J/kg.}^{\circ}\text{C]}$ ok!

4. 5

5. (5 pontos) A partir dos dados da tabela 2, determine o valor de C_{cal} para cada medida usando a expressão do item anterior, completando a última coluna da tabela 2. Além disso, calcule o valor médio da capacidade térmica do calorímetro com sua respectiva incerteza e anote no espaço abaixo.

Para N medidas a incerteza é dada por $\sigma_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (c_i - \bar{c})^2}{N(N-1)}}$, onde \bar{c} é a média dos c_i .

$\bar{C}_{cal} =$ 72 \pm 13 J/°C

Seria melhor expressar o resultado da seguinte forma:

$\bar{C}_{cal} = (7 \pm 1) \times 10^1 \text{ J/}^\circ\text{C}$, ok!?

5. 5

6. (5 pontos) Dado o valor calculado no item anterior, este calorímetro pode ser considerado ideal? Justifique sua resposta. Caso não seja ideal, explique quais são as fontes de perdas no sistema, bem como possíveis fontes de erros durante a execução do experimento e que podem afetar o resultado final da medida.

De acordo com o resultado obtido no item anterior, o calorímetro não é ideal, visto que em um calorímetro ideal a capacidade térmica se aproxima de zero. Um fator que pode afetar o resultado é a qualidade do calorímetro usado.

6. 5

4.2 Determinação do calor específico de uma peça metálica

7. (5 pontos) Anote no espaço abaixo os dados da peça metálica.

Suposto material da peça metálica: Latão

Massa peça metálica: $M_M =$ 97,89 \pm 0,01 g

7. 5

8. (15 pontos) Preencha a tabela 1 com os dados experimentais.

8. 15

9. (10 pontos) Utilizando os dados da tabela 3 determine e preencha todos valores da tabela 4 exceto a última coluna.

9. 10

Medida	$T_a(^{\circ}\text{C})$	$\sigma_{T_a}(^{\circ}\text{C})$	$T_q(^{\circ}\text{C})$	$\sigma_{T_q}(^{\circ}\text{C})$	$M_T = M_{\text{cal}} + m_q + M_M \text{ (g)}$	$\sigma_{M_T} \text{ (g)}$	$T_f(^{\circ}\text{C})$	$\sigma_{T_f}(^{\circ}\text{C})$
1	23	1	81	1	383,70	0,01	73	1
2	23	1	79	1	348,05	0,01	69	1
3	23	1	76	1	359,37	0,01	67	1
4	23	1	83	1	319,72	0,01	71	1
5	23	1	85	1	403,58	0,01	77	1

Tabela 3: Dados de temperatura e massa da peça metálica, água e calorímetro.

Medida	$\Delta T_q(^{\circ}\text{C})$	$m_q \text{ (g)}$	$\Delta T_a(^{\circ}\text{C})$	$c_M \text{ (J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C)}$
1	-8	151,66	50	306
2	-10	116,01	46	347
3	-9	127,33	44	382
4	-12	87,68	48	206
5	-8	171,54	54	355

Tabela 4: Dados adicionais para determinar o calor específico da peça metálica.

10. (5 pontos) Obtenha a expressão para o cálculo do calor específico da peça metálica (c_M) em termos das variáveis da tabela 3, calor específico da água ($c_{\text{agua}} = 4186 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$), massa do calorímetro, massa da peça metálica e a capacidade térmica do calorímetro. Explícite os seus cálculos.

$$\Sigma Q = 0$$

$$C_{\text{cal}} \cdot \Delta T_2 + m_q \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T_q + M_m \cdot c_M \cdot \Delta T_2 = 0$$

$$M_m \cdot c_M \cdot \Delta T_2 = -m_q \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T_q - C_{\text{cal}} \cdot \Delta T_2$$

$$M_m \cdot c_M = - \left(\frac{m_q \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T_q}{\Delta T_2} + C_{\text{cal}} \right)$$

$$c_M = - \frac{1}{M_m} \cdot \left(\frac{m_q \cdot 4186 \cdot \Delta T_q}{\Delta T_2} + C_{\text{cal}} \right)$$

10. 5

11. (5 pontos) A partir dos dados da tabela 4, determine o valor de c_M (use o valor médio da capacidade térmica obtido na etapa anterior), para cada medida usando a expressão do item anterior, completando a última coluna da tabela 4. Além disso, calcule o valor médio do calor específico do metal com sua respectiva incerteza e anote no espaço abaixo.

$$\bar{c}_M = \underline{319} \pm \underline{31} \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$\rightarrow \bar{c}_M = (32 \pm 3) \times 10^1 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

11. 3

12. (5 pontos) Considerando o valor obtido para o calor específico do metal e a tabela 12, qual o material da peça metálica? Justifique.

Devido o valor obtido para o calor específico e sua respectiva incerteza, não há coincidência com nenhum material listado na tabela. ✓

12. 5

Material	c (J/kg.°C)
Alumínio	900
Bismuto	123
Chumbo	128
Cobre	386
Latão	380

Material	c (J/kg.°C)
Mércurio	140
Ouro	126
Prata	233
Tungstênio	134
Zinco	387

Tabela 5: Calor específico de alguns metais.[4]

13. (5 pontos) O valor de calor específico obtido experimentalmente coincide com o que era esperado para o metal suposto? Você considera que obteve um resultado adequado, dadas às limitações dos instrumentos utilizados? Justifique suas respostas.

O valor obtido não coincide com valor esperado que seria o do latão ($380 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$). ✓
Visto que o equipamento utilizado era bem limitado, o que comprometeu a obtenção de valores precisos, portanto comprometendo o resultado. ✓

13. 5

14. (5 pontos) Suponha que o calorímetro fosse ideal, o valor do calor específico para o metal seria maior, menor ou igual ao que foi obtido? Dentro das incertezas e imperfeições da medida é realmente importante considerar o valor da capacidade térmica do calorímetro para determinar o calor específico da peça metálica? Justifique suas respostas.

Se o calorímetro fosse ideal, o valor obtido seria maior, pois assim realmente não haveria troca com o meio externo e o calorímetro.
É necessário levar em consideração a capacidade térmica do calorímetro visto que houve troca considerável de calor entre a água e o calorímetro.

14. 5

Pontos

Questão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total
Pontos:	5	15	10	5	5	5	5	15	10	5	5	5	5	5	100
Notas:	6	15	10	5	5	5	5	15	10	5	3	5	5	5	98

Referências

- [1] H. Moysés Nussenzveig, Curso de Física Básica - 2, Editora Edgard Blücher (1996)
- [2] A. A. Campos, E. S. Alves, N. L. Speziali, Física experimental básica na Universidade, Ed. UFMG (2008).
- [3] R.A Serway, J.W. Jewett Jr., Princípios de Física - vol. 2, Cengage Learning (2004)
- [4] Tipler, Paul A., Physics for Scientists and Engineers, 4th Ed., W.H. Freeman, (1999).

Romarly, Ao realizarmos a análise de dados para constatação de calor específico notamos que houve certos resultados que não condizem com a realidade. Venho por meio deste texto explicar as divergências entre os valores anotados na folha de dados entregue ao Prof. Dr. Flávio Souza, que ministrou a aula de laboratório, na sua ausência e os valores presentes no relatório entregue. Durante o processo experimental anotamos diversos resultados, em relação a temperatura, visto que o multímetro variava constantemente; ao usarmos os outros valores percebemos que uma uma melhora significativa dos dados, portanto, como um grupo, decidimos modificá-los e avisá-la das inconsistências que ocorrem entre a folha de dados e o relatório. ok! Agradeço pela consideração em me avisar sobre o ocorrido pois, de fato, estranhei as inconsistências entre os dados sumarizados na folha de dados e aqueles que constam no relatório propriamente dito. Numas próximas vezes, sugiro que vocês comuniquem o professor imediatamente (antes da entrega do relatório) para evitar maiores problemas! Mas é só uma sugestão....

Atenciosamente,

Romarly.