

Usando um cubo de Leslie, obtiveram-se os resultados previstos para as emissividades relativas a da face preta, com $\epsilon_p \sim \epsilon_{branca} \dots$

12

T2B - Estudo experimental da radiação térmica

Maria Luís Moura Lopes, PL6, Grupo 4

Experiência realizada a 15 de março de 2022

Na determinação experimental do expoente n prevista pela lei de Stefan-Boltzmann, obtiveram-se um erro de 1.7% e ? ... % ine.

Resumo

Esta experiência tem como objetivo a apreciação qualitativa da emissividade de vários materiais, a determinação da emissividade dos mesmos relativamente a um corpo negro e a verificação da lei de Stefan-Boltzmann.

O expoente experimental relativo à proporcionalidade entre P e T^4 é 4,68 com um erro de 17%. A emissividade para a face negra, branca, metalizada e baça foram, respetivamente, 1, 0.991, 0.776 e 0.104.

§

Não deve usar "bold" na escrita do texto global

1 Introdução

1.1 Lei de Stefan-Boltzman

→ referências?

Existem três processos de transferência de calor: condução, convecção e radiação.

A lei de Stefan-Boltzmann é uma dedução termodinâmica que recorre à Teoria de Planck. O calor radiado deve-se à existência de cargas elétricas em oscilação na matéria, com frequência própria, emitindo radiação eletromagnética. Um sistema é constituído por um número infinito de osciladores.

A potência radiada de um corpo, para uma dada frequência, deve ser proporcional ao número de osciladores com essa mesma frequência. Imaginando uma caixa cujas paredes estão a uma temperatura constante T e trocam energia entre si. Se imaginarmos o sistema constituído pelo interior da caixa, à temperatura T , ocupando o volume V , à pressão p , podemos escrever, aplicando a 2ª Lei da Termodinâmica, para uma transformação elementar:

$$TdS = dW + pdV \quad (1)$$

A energia total W pode escrever-se Vu e a pressão no interior do sistema pode escrever-se $emhu/3$. Substituindo na equação (1) temos:

$$TdS = udV + V \frac{du}{dT} dT + \frac{1}{3} udV = V \frac{du}{dT} dT + \frac{4}{3} udV \quad (2)$$

Desta relação tiramos:

$$\frac{\partial S}{\partial V} = \frac{4u}{3T} \text{ e } \frac{\partial S}{\partial T} = \frac{V du}{T dT} \quad (3)$$

e

$$\frac{\partial}{\partial V} \frac{V du}{T dT} = \frac{\partial^2 S}{\partial T \partial V} = \frac{4d(u/T)}{3dT} \quad (4)$$

ou

$$\frac{1}{T} \frac{du}{dT} = \frac{4}{3} \frac{1}{T} \frac{du}{dT} - \frac{u}{T^2} \quad (5)$$

Concluindo-se que:

$$\frac{du}{dT} = 4 \frac{u}{T} \quad (6)$$

ou

- Remeter as deduções para as referências?

$$u = aT^4 \quad (7)$$

Esta relação constitui a lei de Stefan-Boltzmann e verifica-se independentemente de quaisquer hipóteses sobre a constituição da matéria.

A potência radiada por um corpo é medida por referência a um corpo negro, introduzindo um coeficiente de emissividade, e , cujo valor varia entre 0 e 1.

$$P = \epsilon \sigma T^4 \quad (8)$$

1.2 Cubo de Leslie

A face negra de um corpo negro, tal como um corpo negro, absorve toda a energia que recebe e emite-a em função da temperatura, por essa razão a emissividade é 1.

$$\frac{m_{\text{face}}}{m_{\text{preta}}} = \frac{A\epsilon_{\text{face}}\sigma}{A\epsilon_{\text{preta}}\sigma} = \frac{\epsilon_{\text{face}}}{\epsilon_{\text{preta}}} \quad (9)$$

$$\epsilon_{\text{face}} = \frac{m_{\text{face}}}{m_{\text{preta}}} \quad (10)$$

2 Método experimental

As duas partes da experiência foram executadas em simultâneo.

3.1 Cubo de Leslie

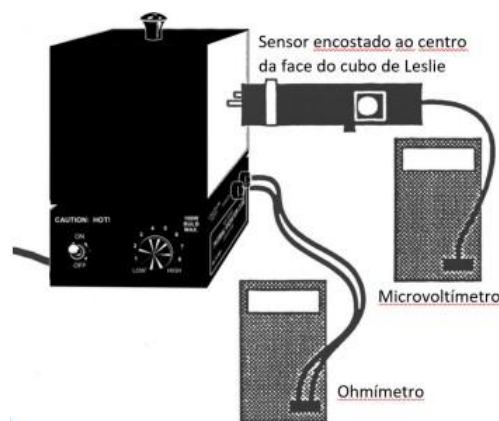


Figura 1: Montagem experimental do Cubo de Leslie (imagem retirada do ~~protocolo experimental~~)

pode ser considerada como ...

*referências
númeradas e
indicadas na
referências*

- Montar o esquema experimental.
- Com o sensor afastado das fontes de calor do trabalho, medir e registar a radiação ambiente, R_{amb} .
- Ligar o ohmímetro nos terminais do termistor do cubo de Leslie e iniciar o seu aquecimento utilizando a potência máxima HIGH.
- Ir vigiando (enquanto decorre a 2ª parte da experiência) os valores da resistência do termistor até esta atingir cerca de $40k \Omega$. Depois, ajustar o controle da fonte para a posição 5.
- Quando o cubo atinge o equilíbrio térmico com o exterior para essa potência, efetuar medições, em aquecimento e até ao máximo que conseguir, da radiação emitida pelas diferentes faces, encostando as pontas do sensor sensivelmente ao centro de cada face. Isto é, para cada face medir pares de valores.
- Numa análise gráfica de V_s em função de T^4 , comparar a emissividade das várias faces relativamente à preta, considerando que nesta $\epsilon \sim 1$

3.2 Lei de Stefan-Boltzmann

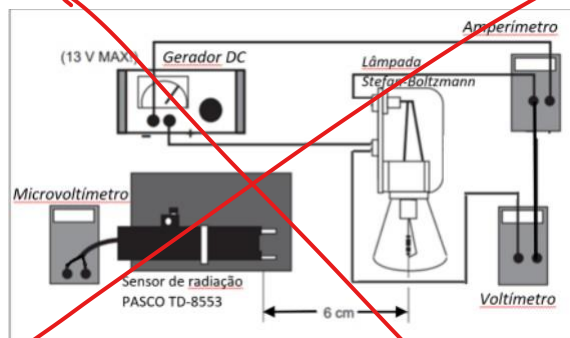


Figura 2: Montagem experimental do estudo de Stefan-Boltzmann (imagem retirada do protocolo experimental)

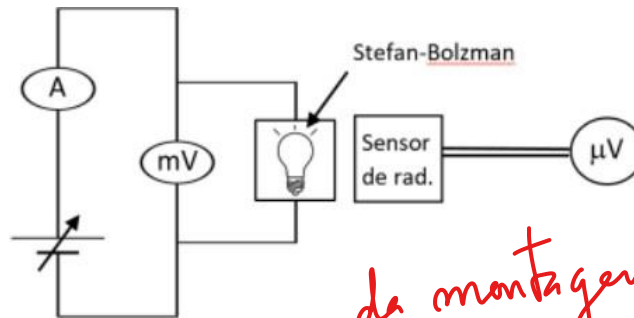


Figura 3: Circuito esquemático do estudo de Stefan-Boltzmann

- Montar o circuito indicado.
- Medir, com uma tensão inferior a 0,1V, a resistência da lâmpada de Stefan Boltzmann, Ramb, e registar esse valor.
- Ajustar a altura do sensor no suporte de modo a estar alinhado com o centro do filamento da lâmpada. Colocar o sensor a cerca de 6cm da lâmpada e desviar todos os objetos do "campo visual" do sensor.

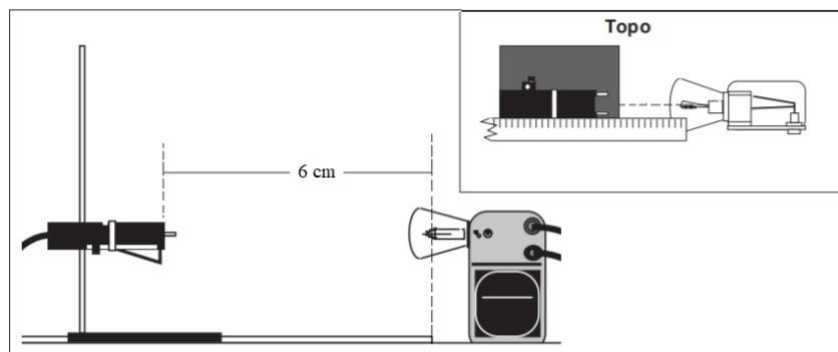


Figura 4: Alinhamento do sensor de radiação com o centro do filamento de tungsténio.

- Na gama experimental de 1V a 12V, e variando V , registar tanto em aquecimento como em arrefecimento, trios de valores de (V, IV_s) , onde V e I são obtidos no circuito da lâmpada, e a tensão V_s é lida no microvóltímetro ligado ao sensor
- Numa análise adequada, investigue a veracidade da lei de Stefan-Boltzmann

$$V_s = A\epsilon\sigma T^4 \quad (11)$$

4 Resultados experimentais e análise

4.1 Cubo de Leslie

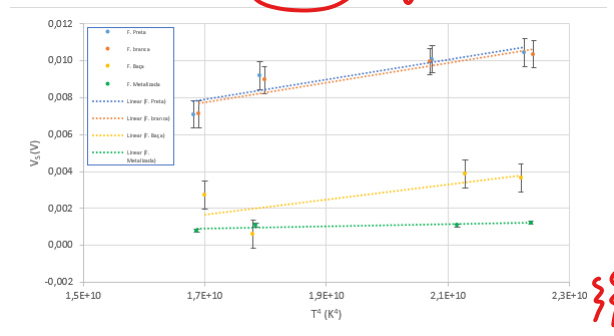


Figura 5: Gráfico $V_s(T^4)$ para cada face do cubo de Leslie

| Face preta | | | |
|-------------|----------|----------|------|
| m | 5,38E-13 | -1,3E-03 | b |
| u(m) | 2E-13 | 4E-03 | u(b) |
| r^2 | 0,816 | 8E-04 | u(y) |
| Face branca | | | |
| m | 5,33E-13 | -1,3E-03 | b |
| u(m) | 2E-13 | 3E-03 | u(b) |
| r^2 | 0,852 | 7E-04 | u(y) |

| Face baixa | | | |
|-----------------|---------|----------|------|
| m | 4,2E-13 | -5,4E-03 | b |
| u(m) | 3E-13 | 6E-03 | u(b) |
| r^2 | 0,51 | 1E-03 | u(y) |
| Face metalizada | | | |
| m | 6E-14 | 0,0000 | b |
| u(m) | 3E-14 | 0,0006 | u(b) |
| r^2 | 0,61 | 1E-04 | u(y) |

Figura 6: Ajuste linear de cada uma das faces

figura de mercado pequena!

Estando mal estruturada de como tal

Tabela 1

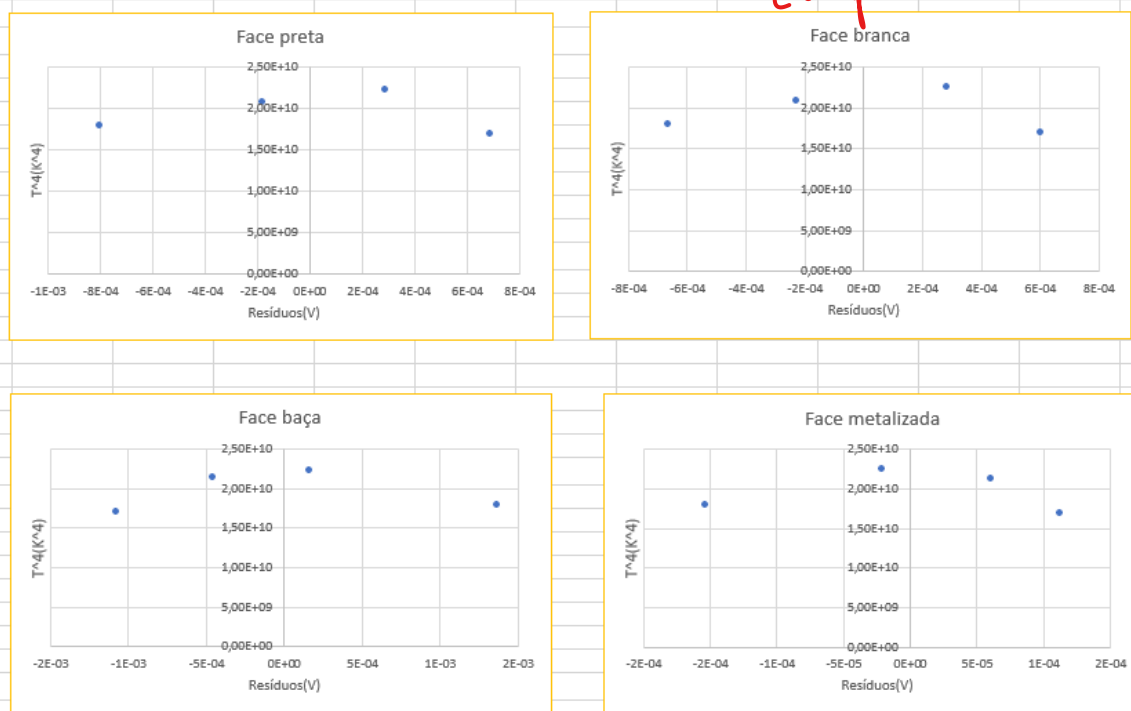


Figura 7: Resíduos

O cálculo das emissividades foi feito a partir da equação (10).

| | |
|--------------------------------|-------|
| ϵ_{preta} | 1,00 |
| ϵ_{branca} | 0,991 |
| $\epsilon_{\text{baça}}$ | 0,776 |
| $\epsilon_{\text{metalizada}}$ | 0,104 |

Tabela ? , - - - - -

Comparar!

4.2 Lei de Stefan-Boltzmann

Traçou-se um gráfico $V_s(P)$ de modo a garantir que os valores de V_s são proporcionais a P .

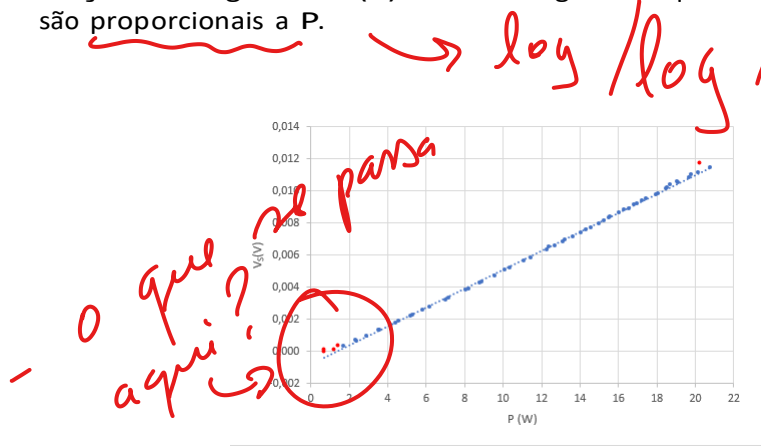


Figura 8: Gráfico $V_s(P)$

Com o objetivo de provar a Lei de Stefan-Boltzmann traçou-se o gráfico de $\log(V_s)$ em função de $\log(T)$.

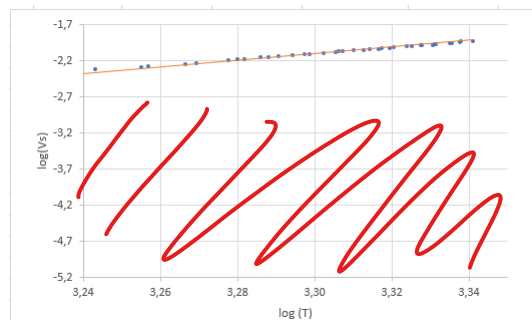


Figura 9: Gráfico $\log(V_s)(\log(T))$

| | | | |
|------|------------|-------------|------|
| m | 4,6849606 | -17,5563154 | b |
| u(m) | 0,11259745 | 0,36412534 | u(b) |
| r^2 | 0,96758382 | 0,10354516 | u(y) |

Figura 10: Ajuste linear de $\log(V_s)(\log(T))$

Faltam os gráficos de resíduos!
Sem eles não há como avaliar a qualidade dos ajustes!

*mal formatado;
 escala muito mal escolhida
 {alg? signif. erros*

ANÁLISE INSUFICIENTE!

A partir da equação (11) deduz-se:

$$\log(V_s) = 4 \log(T) \quad (12)$$

| | |
|-----------------------------|------|
| $m_{\text{teórico}}$ | 4 |
| m_{obtido} | 4,68 |
| $u(m_{\text{obtido}})$ | 0,11 |
| $u(m_{\text{obtido}}) (\%)$ | 2,4 |
| erro (%) | 17,1 |

Figura 11: Valores obtidos a partir do ajuste

5 Conclusão

Na experiência do cubo de Leslie, foram determinadas as emissividades das diferentes faces do cubo relativamente a um corpo negro, sendo ele neste caso a face preta. Foi possível concluir que a face preta e branca apresentam uma emissividade muito semelhante e são bastante superiores às emissividades das restantes faces.

Na verificação da Lei de Stefan-Boltzmann traçou-se o gráfico de V_s em função de P e de seguida o gráfico de $\log(V_s)$ em função de $\log(T)$. Esta experiência teve um erro relativo percentual de 17%.

much incomplete!

Estimativa exp. p/ A_r ?

