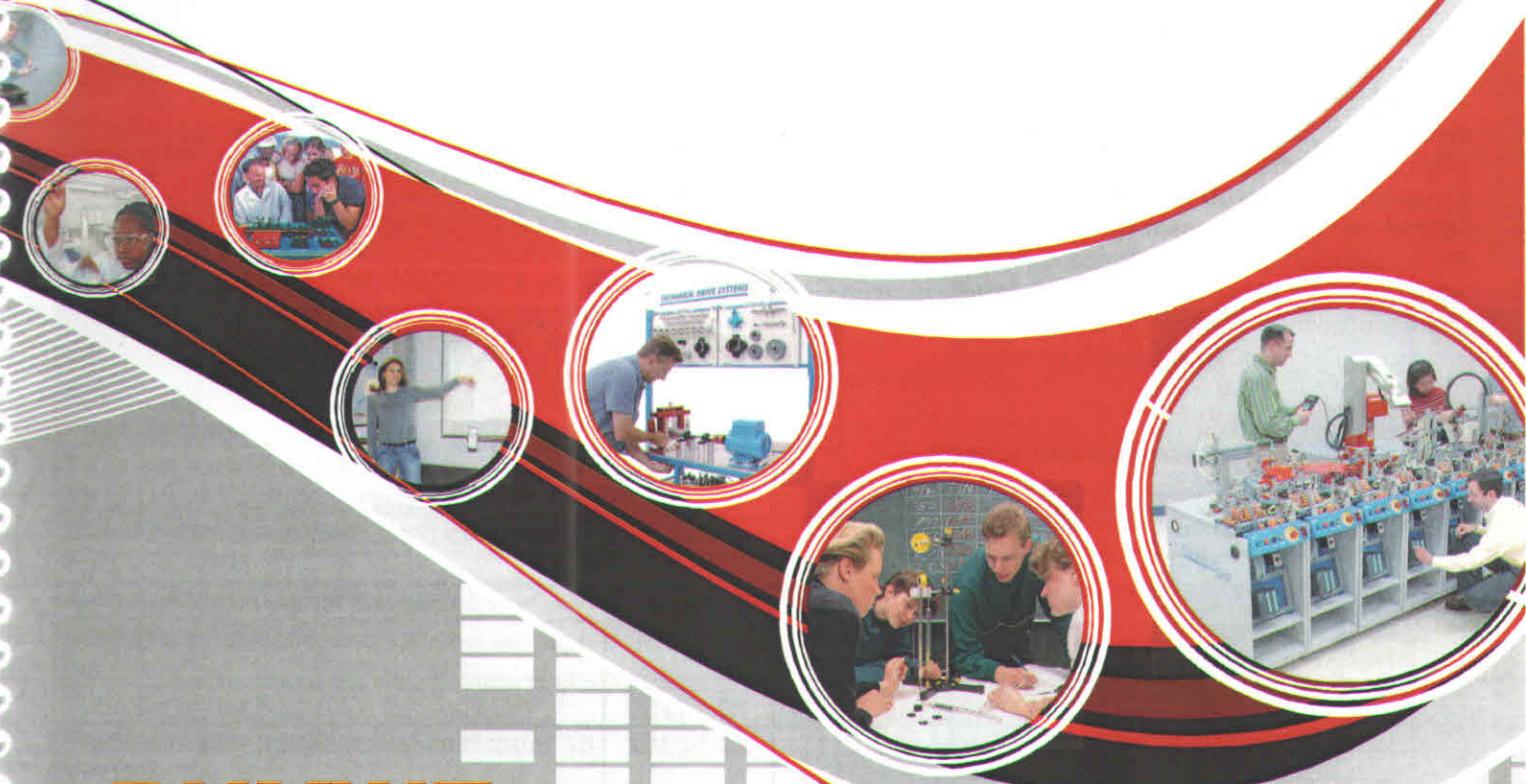


NOVA **DIDACTA**

Sistemas Didáticos



PHYWE

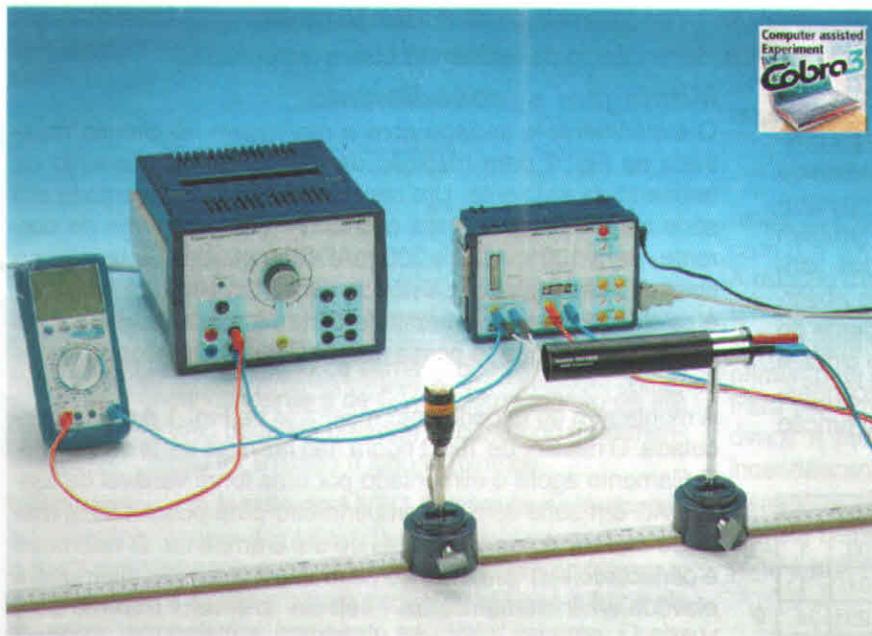
Termodinâmica

Lei da Radiação de Stefan-Boltzmann

P2350115

MANUAL DO USUÁRIO

Soluções Tecnológicas



O que você pode aprender sobre este assunto...

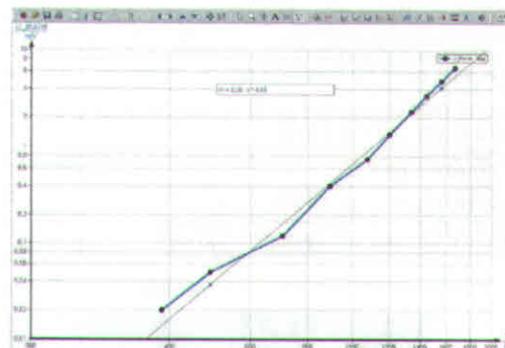
- Radiação de um corpo negro
- Força eletromotriz termoelétrica
- Dependência da resistência com a temperatura

Princípio:

De acordo com a Lei de Stefan Boltzmann, a energia emitida por um corpo negro por unidade de área e unidade de tempo é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta do corpo. A lei de Stefan Boltzmann também é válida para os corpos conhecidos como corpos "cinza", cuja superfície apresenta um coeficiente de absorção com um valor menor do que um e independente do comprimento de onda. No experimento, o corpo cinza é representado pelo filamento de uma lâmpada incandescente cuja emissão de energia é investigada em função da sua temperatura.

Montagem do experimento P2350115 com o Cobra3

O que você necessita:			
Experimento P2350115 com o Cobra3			
Experimento P2350101 com amplificador			
Perfil para bancada óptica, l = 600 mm	08283.00	1	
Base para perfil de bancada óptica, ajustável	08284.00	2	
Suporte deslizante para perfil de bancada óptica, h = 30 mm	13617.93	2	
Amplificador universal de medição	13626.93	1	
Sensor de radiação térmica tipo termopilha	08479.00	1	1
Tubo de proteção para a termopilha	08479.01	1	1
Transformador variável com retificador 15 V~/12V-, 5A	13530.93	1	1
Soquete para lâmpada E14, com haste	06175.00	1	1
Lâmpada de filamento, 6V/5A	06158.00	3	3
Caixa de conexão	06030.23	1	1
Resistor de 100 Ω 2%, 1W, G1	06057.10	1	1
Multímetro digital 2010	07128.00	3	1
Cabo de ligação, conector de 4 mm, 32 A, azul, l = 50 cm	07361.04	4	3
Cabo de ligação, conector de 4 mm, 32 A, vermelho, l = 50 cm,	07361.01	4	2
Base em barril - PASS -	02006.55		2
Escala métrica, l = 1000 x 27 mm	03001.00		1
Unidade básica Cobra3, USB	12150.50		1
Alimentação de energia 12V/2A	12151.99		1
Software Cobra3, gravador universal	14504.61		1
PC, Windows® XP ou superior			
Conjunto completo do equipamento com manual incluído em um CD-ROM			
Lei da radiação de Stefan-Boltzmann P23501 01/15			



Força eletromotriz termoelétrica de uma termopilha em função da temperatura absoluta do filamento.

Tarefas:

1. Medir a resistência do filamento de uma lâmpada incandescente na temperatura ambiente para averiguar a resistência do filamento R_0 para zero graus centígrados.
2. Medir a densidade de fluxo de energia da lâmpada para diferentes valores de tensão de aquecimento. As correntes de aquecimento correspondentes são lidas para cada tensão de aquecimento e a resistência correspondente do filamento é calculada. Admitindo-se uma dependência da temperatura de segunda ordem para a resistência do filamento, a temperatura do filamento pode ser calculada a partir dos valores medidos das resistências.

Tópicos relacionados

Radiação de um corpo negro, força eletromotriz termoelétrica, dependência da resistência com a temperatura.

Princípio:

De acordo com a Lei de Stefan Boltzmann, a energia emitida por um corpo negro por unidade de área e unidade de tempo é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta do corpo. A lei de Stefan Boltzmann também é válida para os corpos conhecidos como corpos "cinza", cuja superfície apresenta um coeficiente de absorção com um valor menor do que um e independente do comprimento de onda. No experimento, o corpo cinza é representado pelo filamento de uma lâmpada incandescente cuja emissão de energia é investigada em função da sua temperatura.

Equipamento		
Sensor de radiação térmica tipo termopilha	08479.00	1
Tubo de proteção para a termopilha	08479.01	1
Amplificador universal de medição	13626.93	1
Transformador variável com retificador 15 VAC/12VDC, 5A	13530.93	1
Soquete para lâmpada E14, com haste	06175.00	1
Lâmpada de filamento, 6V/5A	06158.00	3
Caixa de conexão	06030.23	1
Resistor de 100 Ω 2%, 1W, G1	06057.10	1
Perfil para bancada óptica, l = 60 cm	08283.00	1
Base para perfil de bancada óptica, ajustável	08284.00	2
Suporte deslizante para perfil de bancada óptica, h = 30 mm 13617.93	08286.01	2
Multímetro digital 2010	07134.00	3
Cabo de ligação, azul, l = 500 mm	07361.04	4
Cabo de ligação, vermelho, l = 500 mm	07361.01	4

Montagem e procedimento

O experimento é iniciado com a montagem do circuito mostrada na Fig. 2 para medição da resistência do filamento na temperatura ambiente. Um resistor de 100 Ω é conectado em série com a lâmpada para possibilitar um ajuste fino da corrente. Para 100 mADC e 200 mADC as quedas de tensão no filamento são lidas e a resistência para a temperatura ambiente é calculada. As intensidades de corrente são suficientemente pequenas para que se possa desconsiderar os efeitos de aquecimento.

A montagem do experimento mostrada na Fig. 1 é então executada. O resistor de 100Ω agora não faz mais parte do circuito. O filamento agora é alimentado por uma fonte variável de tensão AC em série com um amperímetro para possibilitar a medição das correntes alternadas de até 6 amperes. O voltímetro é conectado aos terminais do filamento e a tensão alternada é elevada em incrementos de 1 volt até um valor máximo de 8 V AC.

Tarefas:

1. Medir a resistência do filamento de uma lâmpada incandescente na temperatura ambiente para averiguar a resistência do filamento R_0 para zero graus centígrados.
2. Medir a densidade de fluxo de energia da lâmpada para diferentes valores de tensão de aquecimento. As correntes de aquecimento correspondentes são lidas para cada tensão de aquecimento e a resistência correspondente do filamento é calculada. Admitindo-se uma dependência da temperatura de segunda ordem para a resistência do filamento, a temperatura do filamento pode ser calculada a partir dos valores medidos das resistências.

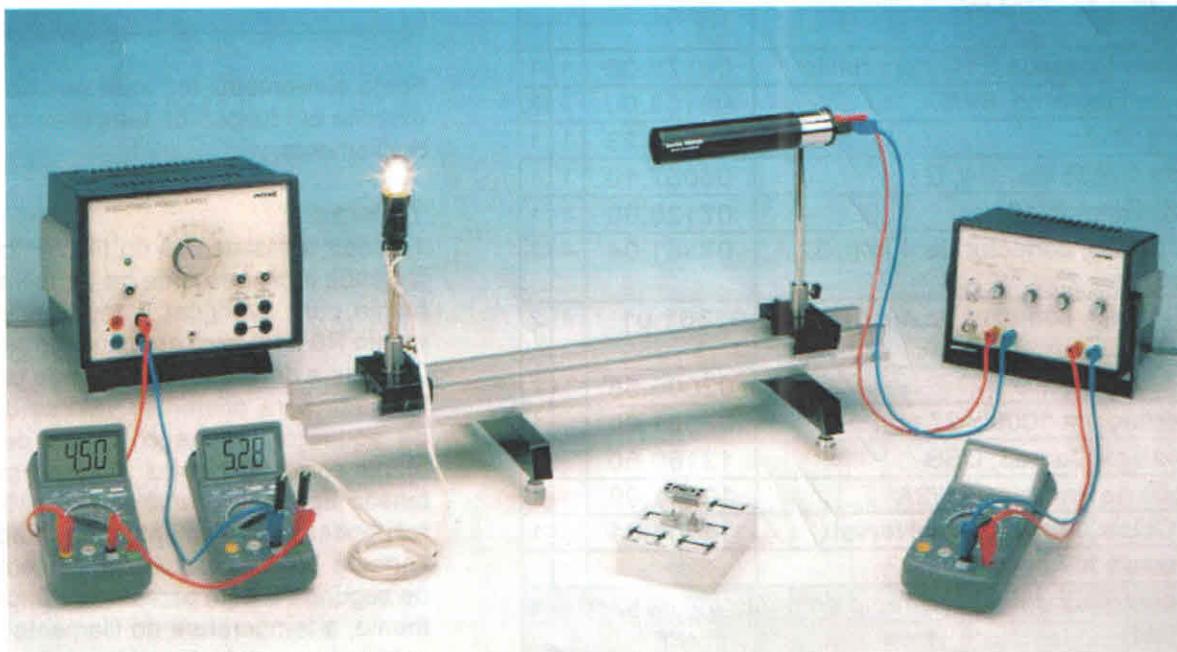
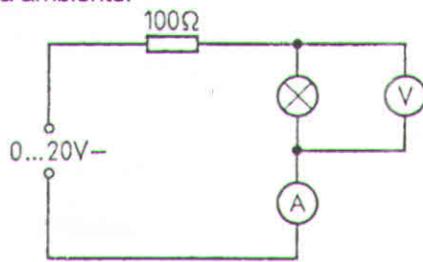


Fig. 1: Montagem para verificação experimental da lei da radiação de Stefan Boltzmann.

Fig. 2: Circuito para medição da resistência do filamento na temperatura ambiente.



Nota: a tensão de alimentação para a lâmpada incandescente é de 6 VAC. Uma tensão de até 8 VAC pode ser utilizada se o período de alimentação for limitado a alguns minutos.

Inicialmente, uma tensão de 1 VAC é aplicada na lâmpada e a termopilha (sensor de radiação), montada no suporte sobre o perfil e posicionada a uma distância de 30 cm do filamento, é girada para a direita e para a esquerda até que a força eletromotriz termoelétrica apresente seu valor máximo. O eixo do filamento cilíndrico deve estar perpendicular ao eixo da bancada óptica. Como a força eletromotriz termoelétrica está na ordem de magnitude de milivolts, um amplificador necessita ser utilizado para se obter leituras mais precisas. O fator de amplificação será de 10^2 ou 10^3 quando se utiliza o voltímetro conectado ao amplificador na faixa de 10 V. Antes da leitura de uma força eletromotriz termoelétrica, um ajuste apropriado de zero deve ser executado. Isto é feito retirando-se a lâmpada e seu suporte para longe da bancada e da termopilha por alguns minutos. O amplificador é usado no modo LOW DRIFT ($10^4 \Omega$) com uma constante de tempo de 1 s.

Após a lâmpada ter sido recolocada na bancada, a leitura pode ser feita se o sensor de radiação ficar estabilizado. Isto leva aproximadamente um minuto. Muito cuidado deve ser tomado para que nenhuma radiação do ambiente (radiação de fundo) prejudique as medições.

Teoria e avaliação

Se a densidade de fluxo de energia L de um corpo negro, que consiste na energia emitida por unidade de área e unidade de tempo para uma temperatura T e comprimento de onda λ dentro de um intervalo $d\lambda$, é designada por $dL(T, \lambda)/d\lambda$, a equação de Planck indica:

$$\frac{dL(\lambda, T)}{d\lambda} = \frac{2c^2 h \lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

com: c = velocidade da luz
($3.00 \cdot 10^8$ [m/s])

h = constante de Planck
($6.62 \cdot 10^{-34}$ [J · s])

k = constante de Boltzmann
($1.381 \cdot 10^{-23}$ [J · K⁻¹])

A integração da equação (1) para o espectro total de comprimentos de onda de $\lambda = 0$ até $\lambda = \infty$ fornece a densidade de fluxo $L(T)$, que é a potência total radiada para a temperatura T (Lei de Stefan Boltzmann).

$$L(T) = \frac{2\pi^5}{15} \cdot \frac{k^4}{c^2 h^3} \cdot T^4$$

respectivamente $L(T) = \sigma \cdot T^4$
com $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ [W · m⁻² · K⁻⁴]

A relação de proporcionalidade $L \sim T^4$ também é válida para um corpo cinza cuja superfície mostra um coeficiente de absorção com valor menor do que um e independente do comprimento de onda.

Para provar a validade da lei de Stefan Boltzmann, nós medimos a radiação emitida pelo filamento de uma lâmpada incandescente, que representa muito bem um corpo cinza. Para uma distância fixa entre o filamento e uma termopilha (sensor de radiação), o fluxo de energia ϕ que atinge a termopilha é proporcional a $L(T)$.

$$\phi \sim L(T)$$

Devido à proporcionalidade entre ϕ e a força eletromotriz termoelétrica U_{term} da termopilha, nós também podemos escrever:

$$U_{\text{term}} \sim T^4$$

se a termopilha estiver a uma temperatura de zero graus Kelvin. Como a termopilha está na temperatura ambiente T_R , ela também irradia devido à lei T^4 , então nós temos que escrever:

$$U_{\text{term}} \sim (T^4 - T_R^4)$$

Para as circunstâncias atuais do experimento, nós podemos desconsiderar T_R^4 com relação a T^4 de forma que nós devemos obter uma relação linear com a quarta potência quando se representa a função $U_{\text{term}} = f(T)$ em forma de uma escala di-logarítmica.

$$\lg U_{\text{term}} = 4 \lg T + \text{constante}$$

A temperatura absoluta $T = t + 273$ do filamento é calculada a partir das resistências medidas $R(t)$ do filamento de tungstênio (t = temperatura em graus centígrados). Para a resistência do filamento de tungstênio, nós temos a dependência da temperatura a seguir:

$$R(t) = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2)$$

with R_0 = resistance at 0°C

$$\alpha = 4.82 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$\beta = 6.76 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-2}$$

A resistência R_0 a 0° C pode ser encontrada utilizando-se a relação:

$$R_0 = \frac{R(t_R)}{1 + \alpha \cdot t_R + \beta \cdot t_R^2}$$

Resolvendo-se $R(t)$ com relação a t e usando-se a relação $T = t + 273$, temos:

$$T = 273 + \frac{1}{2\beta} \left[\sqrt{\alpha^2 + 4\beta \left(\frac{R(t)}{R_0} - 1 \right)} - \alpha \right]$$

$R(t_R)$ e $R(t)$ são encontrados pela aplicação da lei de Ohm, ou seja, pelas medições de corrente e de tensão através do filamento.

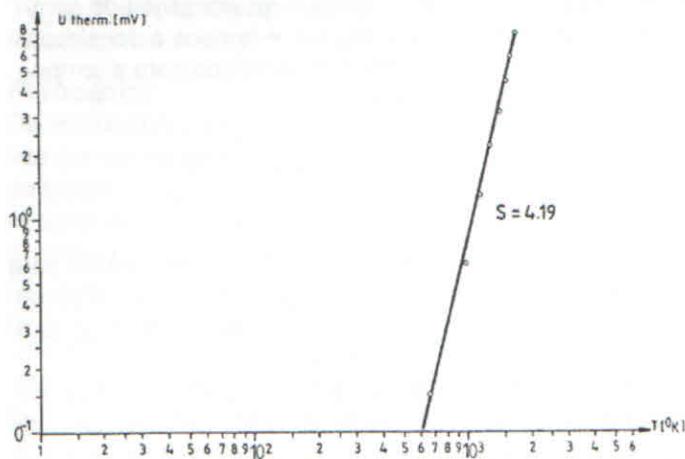


Fig. 3: Força eletromotriz termoelétrica da termopilha em função da temperatura absoluta do filamento.

A representação gráfica di-logarítmica do fluxo de energia com relação à temperatura absoluta é mostrada na Fig. 3. O coeficiente S da linha reta é calculado, por regressão pelos mínimos quadrados, como sendo:

$$S = 4.19 \pm 0.265$$

O valor teórico de S , que é 4, foi encontrado dentro dos limites de incerteza apresentados.

1. Usando a saída de tensão DC da unidade de alimentação de energia, uma corrente contínua de 100 mA e depois de 200 mA foi aplicada ao filamento montado em série com um resistor de 100 Ω . As quedas correspondentes de tensão foram encontradas com os valores de 16,5 mV e 33 mV. Ao dobrar a corrente, também dobra a queda de tensão. Isto mostra que a influência da temperatura na resistência permanece extremamente pequena para os valores DC escolhidos. Nós encontramos neste caso

$$R(r_R) = 0.165 [\Omega]$$

e conseqüentemente

$$R_0 = 0.15 [\Omega]$$

Pequenas variações em R_0 só influenciam levemente o coeficiente S .

2. O aumento da tensão AC de aquecimento em incrementos de 1 VAC de 0 a 8 volts levou aos resultados a seguir:

U [V]	I [A]	U_{therm} [mV]	T [K]
1	2.20	0.15	672
2	2.80	0.62	983
3	3.45	1.30	1160
4	4.00	2.20	1300
5	4.45	3.20	1430
6	4.90	4.45	1540
7	5.30	5.90	1630
8	5.70	7.50	1720

Tópicos relacionados

Radiação de um corpo negro, força eletromotriz termoelétrica (força eletromagnética), dependência da resistência com a temperatura.

Princípio:

De acordo com a Lei de Stefan Boltzmann, a energia emitida por um corpo negro por unidade de área e unidade de tempo é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta do corpo. A lei de Stefan Boltzmann também é válida para os corpos conhecidos como corpos "cinza", cuja superfície apresenta um coeficiente de absorção com um valor menor do que um e independente do comprimento de onda. No experimento, o corpo cinza é representado pelo filamento de uma lâmpada incandescente cuja emissão de energia é investigada em função da sua temperatura.

Tarefas:

1. Medir a resistência do filamento de uma lâmpada incandescente na temperatura ambiente para averiguar a resistência do filamento R_0 para zero graus centígrados.
2. Medir a densidade de fluxo de energia da lâmpada para diferentes valores de tensão de aquecimento. As correntes de aquecimento correspondentes são lidas para cada tensão de aquecimento e a resistência correspondente do filamento é calculada. Admitindo-se uma dependência da temperatura de segunda ordem para a resistência do filamento, a temperatura do filamento pode ser calculada a partir dos valores medidos das resistências.

Equipamento		
Unidade básica Cobra3, USB	12150.50	1
Alimentação de energia 12V/2A	12151.99	1
Software Cobra3, gravador universal	14504.61	1
Sensor de radiação térmica tipo termopilha	08479.00	1
Tubo de proteção para a termopilha	08479.01	1
Transformador variável com retificador 15 VAC/12VDC, 5A	13530.93	1
Soquete para lâmpada E14, com haste	06175.00	1
Lâmpada de filamento, 6V/5A	06158.00	3
Caixa de conexão	06030.23	1
Resistor de 100 Ω 2%, 1W, G1	06057.10	1
Multímetro digital	07134.00	3
Cabo de ligação, azul, l = 500 mm	07361.04	3
Cabo de ligação, vermelho, l = 500 mm	07361.01	2
Base em barril - PASS -	02006.55	2
Escala métrica, l = 1000 x 27 mm	03001.00	1
PC, Windows® 95 ou superior		

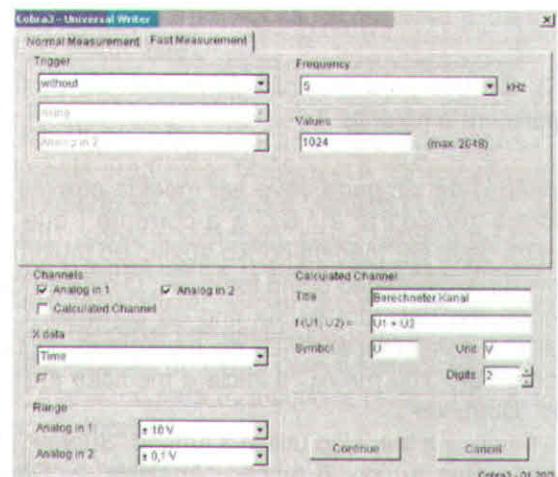


Fig. 2: Configurações do "Universal Writer"

Montagem e procedimento

1. Conecte a unidade básica Cobra3 na porta USB do computador e inicialize o programa "measure" (medição). Selecione "Gauge" > "Universal Writer". Selecione "Fast measurement" e ajuste os parâmetros de acordo com a Fig. 2.

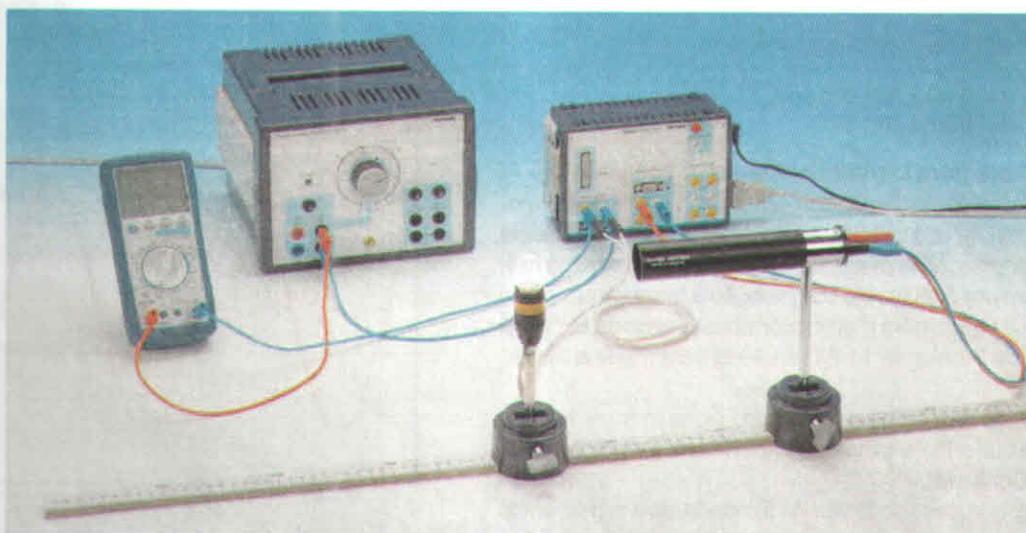


Fig. 1: Montagem experimental para a parte dois

Primeiro meça a resistência do filamento da lâmpada para a temperatura ambiente usando o circuito mostrado na Fig. 3. Para a montagem do circuito utilize a caixa de conexão e o resistor de 100 Ohms.

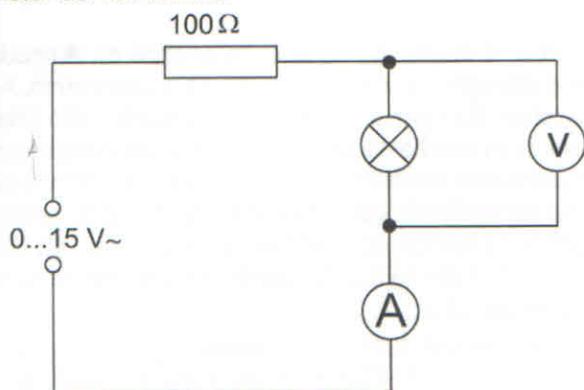


Fig. 3: Circuito para medição da resistência do filamento na temperatura ambiente.

A tensão U da lâmpada deve ser medida através da entrada analógica "Analog In 2 / S2" e a corrente I que passa pela lâmpada deve ser medida com o auxílio do multímetro. Utilize a fonte de alimentação como fonte AC. O resistor de 100 Ohm é necessário para um ajuste fino da corrente. Certifique-se de usar a configuração "AC" do multímetro digital. Ajuste a corrente para 100 mA AC e inicie a medição pressionando o botão "Continue".

Após finalizar a medição utilize a função "Survey" para avaliar a tensão pico a pico. A função "Analysis" > "Smooth" pode auxiliar na avaliação ao melhorar a visibilidade dos picos.

Divida a tensão pico a pico por dois e pelo quadrado de dois para determinar a tensão efetiva sobre a lâmpada. Faça o mesmo para uma corrente na lâmpada de 50 mA AC. Estas correntes devem ser suficientemente baixas para não aquecerem consideravelmente o filamento. Calcule a resistência $R(t_R)$ na temperatura ambiente t_R (em °C) (através da lei de Ohm $R = U/I$) e a partir deste valor, calcule a resistência R_0 a 0° C através de

$$R_0 = R(t_R) / (1 + \alpha t_R + \beta t_R^2)$$

com

$$\alpha = 4.82 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} \text{ and } e$$

$$\beta = 6.67 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-2}.$$

a e b são constantes para o material usado, o tungstênio.

2. Agora monte o experimento de acordo com a Fig. 1 e alinhe a termopilha de forma que ela receba a radiação da lâmpada com a distância entre a lâmpada e a termopilha menor do que 20 cm. O filamento helicoidal deve estar com um ângulo reto com relação à termopilha.

O multímetro digital é usado para medir a corrente através da lâmpada e a entrada analógica "Analog In 1 / S1" é usada para medir a tensão na lâmpada.

Ajuste a corrente AC de forma que o multímetro digital indique 1 A. Espere um minuto até que a termopilha estabilize e inicie a medição pressionando o botão "Continue".

Aumente a corrente que passa através da lâmpada com incrementos de 0,5 A e obtenha uma medição para cada corrente até 5,5 A. U_2 é proporcional ao fluxo de energia da lâmpada se não existirem outras fontes detectadas pela termopilha como distúrbios indesejáveis. Espere sempre pelo menos um minuto para a estabilização da termopilha.

Para avaliação utilize a função "Survey" para medir a amplitude da tensão U_1 em "Analog In 1" para a medição que acabou de ser realizada (observe a Fig. 4). Obtenha o valor efetivo, que consiste na amplitude (metade do valor pico a pico) dividida pela raiz quadrada de dois. Utilize a função "Show average value" para avaliar a tensão U_2 em "Analog In 2". Anote os dois resultados no programa "measure" usando "Measurement" > "Enter data manually..." com a corrente I como conjunto de dados em x e dois canais (para U_1 e U_2) – meça os novos valores e continue com o próximo incremento de corrente.

Teoria e avaliação

Se a densidade de fluxo de energia L de um corpo negro, que consiste na energia emitida por unidade de área e unidade de tempo para uma temperatura T e comprimento de onda λ dentro de um intervalo $d\lambda$, é designada por $dL(T, \lambda)/d\lambda$, a equação de Planck indica:

$$\frac{dL(\lambda, T)}{d\lambda} = \frac{2c^2 h \lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

com:

c = velocidade da luz
($3.00 \cdot 10^8$ [m/s])

h = constante de Planck
($6.62 \cdot 10^{-34}$ [J · s])

k = constante de Boltzmann
($1.381 \cdot 10^{-23}$ [J · K⁻¹])

A integração da equação (1) para o espectro total de comprimentos de onda de $\lambda = 0$ até $\lambda = \infty$ fornece a densidade de fluxo $L(T)$, que é a potência total radiada para a temperatura T (Lei de Stefan Boltzmann).

$$L(T) = \frac{2\pi^5}{15} \cdot \frac{k^4}{c^2 h^3} \cdot T^4$$

respectivamente $L(T) = \sigma \cdot T^4$

com $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ [W · m⁻² · K⁻⁴]

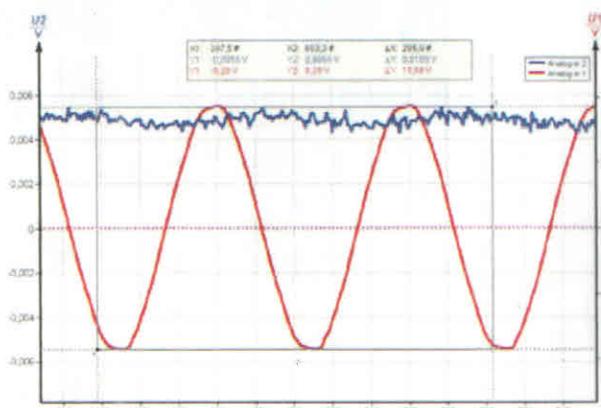


Fig. 4: Exemplo do uso da "Survey function" para avaliação – a amplitude consiste na metade do valor pico a pico.

A relação de proporcionalidade $L \sim T^4$ também é válida para um corpo cinza cuja superfície mostra um coeficiente de absorção com valor menor do que um e independente do comprimento de onda.

Para provar a validade da lei de Stefan Boltzmann, nós medimos a radiação emitida pelo filamento de uma lâmpada incandescente, que representa muito bem um corpo cinza. Para uma distância fixa entre o filamento e uma termopilha (sensor de radiação), o fluxo de energia ϕ que atinge a termopilha é proporcional a $L(T)$.

$\phi \sim L(T)$

Devido à proporcionalidade entre ϕ e a força eletromotriz termoelétrica U_{therm} da termopilha, nós também podemos escrever:

$U_{\text{therm}} \sim T^4$

se a termopilha estiver a uma temperatura de zero graus Kelvin. Como a termopilha está na temperatura ambiente T_R , ela também irradia devido à lei T^4 , então nós temos que escrever:

$U_{\text{therm}} \sim (T^4 - T_R^4)$

Para as circunstâncias atuais do experimento, nós podemos desconsiderar T_R^4 com relação a T^4 de forma que nós devemos obter uma relação linear com a quarta potência quando se representa a função $U_{\text{therm}} = f(T)$ em forma de uma escala di-logarítmica.

$\lg U_{\text{therm}} = 4 \lg T + \text{constante}$

(3)

A temperatura absoluta $T = t + 273$ do filamento é calculada a partir das resistências medidas $R(t)$ do filamento de tungstênio ($t =$ temperatura em graus centígrados). Para a resistência do filamento de tungstênio, nós temos a dependência da temperatura a seguir:

$R(t) = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2)$

com $R_0 =$ resistência a 0°C

$\alpha = 4.82 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

$\beta = 6.76 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-2}$

A resistência R_0 a 0°C pode ser encontrada utilizando-se a relação:

$$R_0 = \frac{R(t_R)}{1 + \alpha \cdot t_R + \beta \cdot t_R^2}$$

Resolvendo-se $R(t)$ com relação a t e usando-se a relação $T = t + 273$, temos:

$$T = 273 + \frac{1}{2\beta} \left[\sqrt{\alpha^2 + 4\beta \left(\frac{R(t)}{R_0} - 1 \right)} - \alpha \right]$$

$R(t_R)$ e $R(t)$ são encontrados pela aplicação da lei de Ohm, ou seja, pelas medições de corrente e de tensão através do filamento.

Para a avaliação dos dados adicione a resistência calculada $R(t)$ como um novo canal para a medição criada manualmente através de "Analysis" > "Channel modification..." dividindo-se os valores "Analog In 1 / S1", isto é, a tensão U_1 sobre a lâmpada, pelos valores de corrente I . Adicione a temperatura T , que foi calculada a partir dos valores de resistência, à medição da mesma maneira: A equação (6) deve ser escrita de uma forma adequada para a modificação do canal com o símbolo atual para R e o valor numérico para R_0 inseridos (eles forma medidos no passo 1) como

$f := 273 + 7396,45 * ((0,2323 + 0,02704 * (R/R_0 - 1))^0,5 - 0,482).$

Observe a Fig. 5 e a Fig. 6 (neste caso, $R_0 = 0,16 \text{ Ohms}$). Agora utilize "Measurement" > "Channel manager..." e ajuste os dados de temperatura para o eixo x para criar um gráfico da tensão da termopilha versus a temperatura T . O resultado deve se parecer com a Fig. 7.

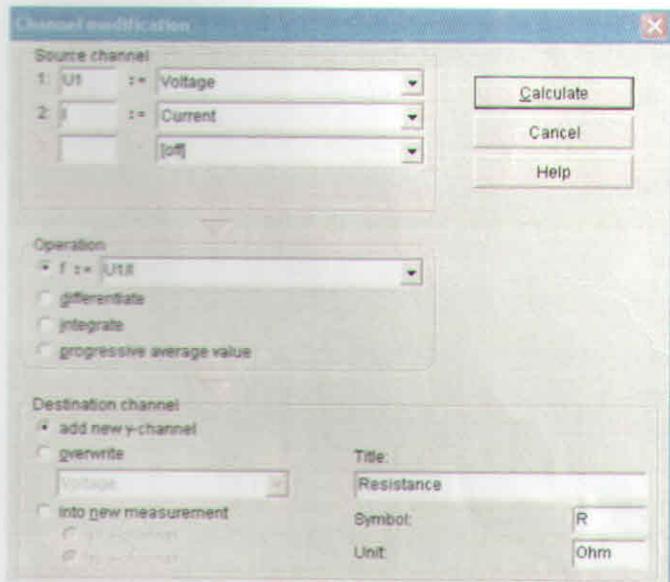


Fig. 5

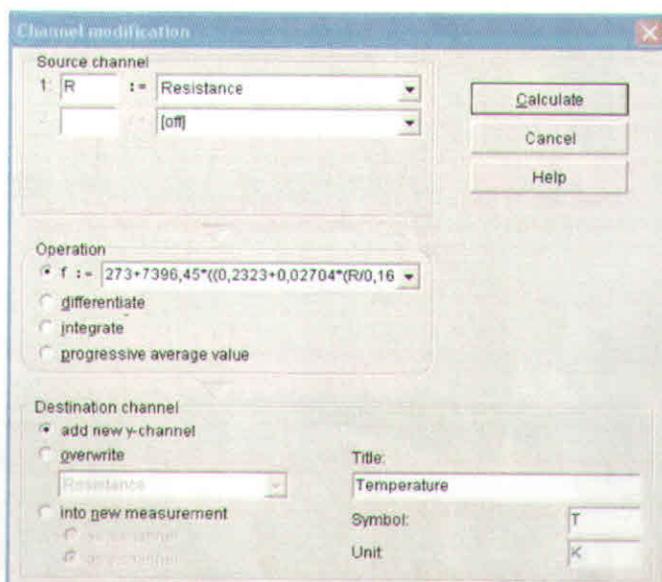


Fig. 6

A tabela a seguir mostra os valores correspondentes medidos, a resistência R_0 foi calculada com um valor de 0,16 Ohm, e a inclinação da linha de regressão é de 3,97, próxima ao valor teórico de 4,00 para o expoente da lei de Stefan Boltzmann.

Current I/A	Voltage U_{eff}/V	Energy flux U_{therm}/mV	Temperature T/K
1.00	0.25	0.02	384.74
1.50	0.50	0.05	491.09
2.00	1.03	0.12	704.29
2.50	1.70	0.40	893.31
3.00	2.55	0.75	1075.62
3.50	3.39	1.35	1202.10
4.00	4.42	2.30	1339.01
4.50	5.45	3.40	1442.76
5.00	6.65	4.80	1557.97
5.50	7.92	6.60	1662.25

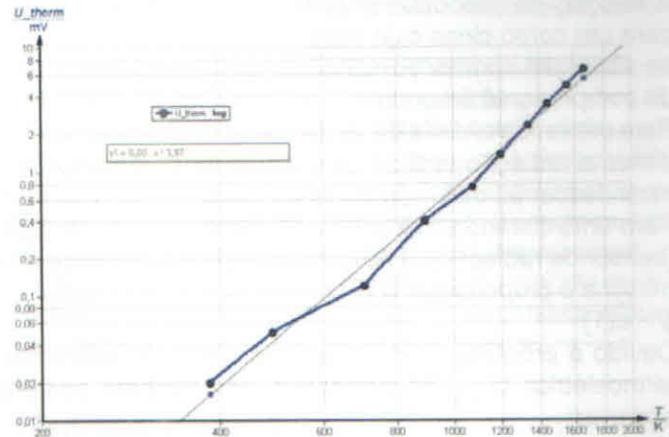


Fig. 7: Exemplo de resultados de medição