



Medidas óticas

Nesta experiência iremos medir com a maior precisão possível (dado o equipamento que temos à mão) as propriedades óticas de amostras.

Nota: debaixo da sua mesa encontram-se 2 garrafas de água que serão usadas na segunda experiência - **não beba a água**.

Na parte A iremos usar dois métodos diferentes para medir o índice de refração de um disco transparente. O primeiro método é tradicional, enquanto o segundo método é original e permite um maior nível de precisão.

Na parte B iremos medir a razão entre o comprimento de onda λ do laser e o espaçamento d entre as linhas de uma rede de difração, tentando atingir a maior precisão possível.

Na parte C iremos medir o índice de refração de um prisma triangular, ainda tentando obter o maior nível possível de precisão.

Nesta experiência a sala será escurecida durante 100 minutos, começando 20 minutos depois do início da prova (pode usar o candeeiro, se precisar). É mais conveniente efetuar as medições da parte A no escuro, mas, também é possível realizar muitas delas com luz.

Pode usar as paredes do cubículo como um ecrã, e pode colar pedaços de fita-cola nas paredes.

Nestas experiências irá usar um laser díodo como fonte de luz.

Intruções de segurança no uso do laser:

- **NUNCA olhar diretamente para o feixe laser!**
- Em todas as experiências, o feixe laser é horizontal. Quando estiver a medir a posição do feixe laser numa superfície, **assegure-se que a sua cabeça fica SEMPRE acima do nível do feixe**.
- Não aponte o laser na direção da entrada do cubículo.
- Desligue o laser, utilizando interruptor adequado, sempre que não estiver a fazer medições.

Lista de material

O material 1-9 é usado em todas as partes do problema, e as componentes do material 10-12 são usadas em diferentes partes problema. Manuseie o material ótico fornecido sem tocar diretamente nas faces verticais, de forma a evitar sujidades.

1. Régua, 60 cm de comprimento
2. Suporte que se pode mover ao longo da régua
3. Fonte laser, montada no suporte móvel. O laser pode ser configurado em duas alturas ou dois níveis: nível inferior 3A, para a parte A, nível superior 3B, para as partes B e C. O interruptor on/off do laser está marcado na figura como 3C
4. O grau de aperto dos parafusos 4A e 4B controla a resistência à rotação e consequentemente a estabilidade da montagem. Use a pequena barra metálica 4C para modificar a direção do laser. Rode 4C de 180°, para modificar a altura do laser. Não rode o laser em torno do eixo do feixe, uma vez que a sua polarização está pré-sintonizada
5. Ecrã: pode usar as paredes do cubículo; pode assumir que as paredes são perpendiculares entre si.
6. Fita-cola que pode ser utilizada para fixar equipamento à mesa
7. Fita métrica flexível
8. Conjunto de réguas

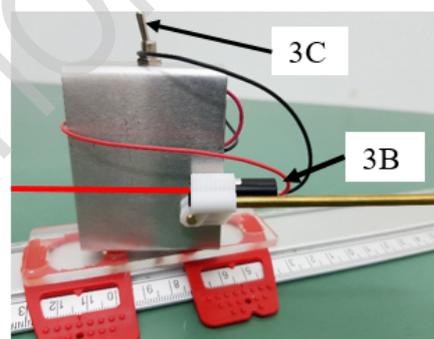
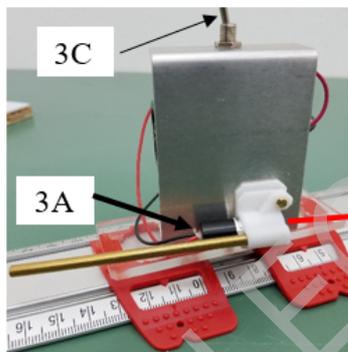
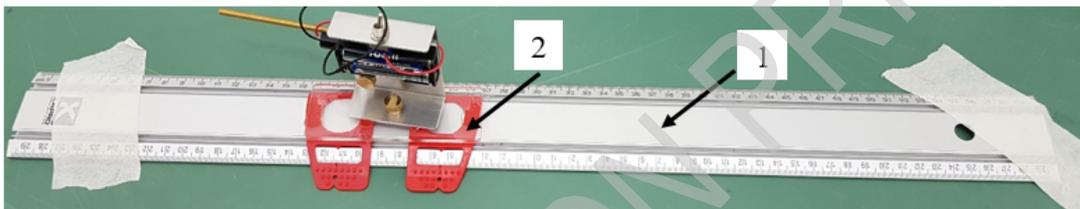
Experiment



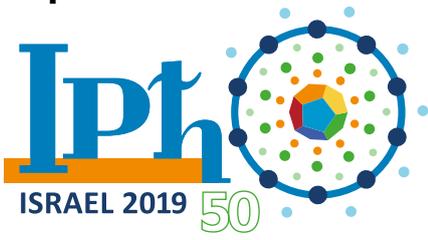
Q1-2

Portugues (Portugal)

9. Candeeiro de mesa
10. Disco redondo transparente com um diâmetro de 20.00 cm, fixo num transferidor, que se encontra colado numa base de madeira (para a parte A). Deve remover os 4 pequenos cubos de madeira que se encontram fixos à base.
11. Papel manteiga que pode ser usado como um ecrã transparente, para ser colocado (à mão) temporariamente junto a um dos lados do disco, permitindo a medição da posição do ponto de saída sem sujar a superfície polida do disco (para a parte A). É mais preciso medir a posição do ponto de saída do feixe desenhando uma linha no papel, conforme ilustrado na figura.
12. Placa de madeira (12A) e suporte cilíndrico (12B), capaz de rodar em torno do seu eixo vertical, para apoiar a rede de difração (12C) ou o prisma triangular(12D)

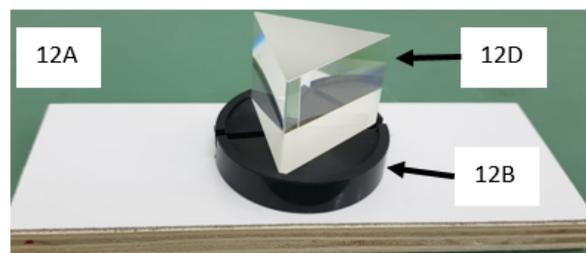
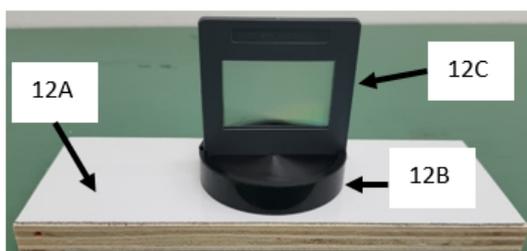
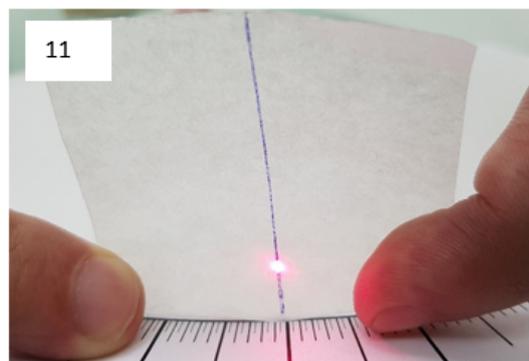
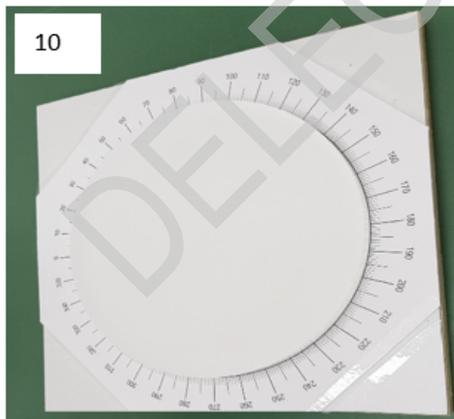
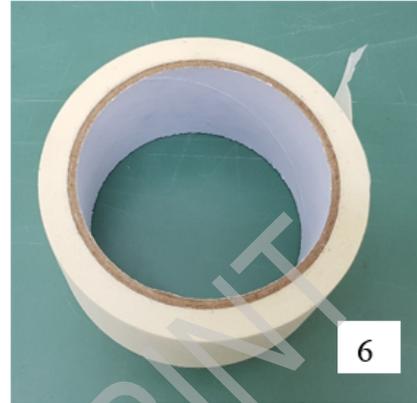
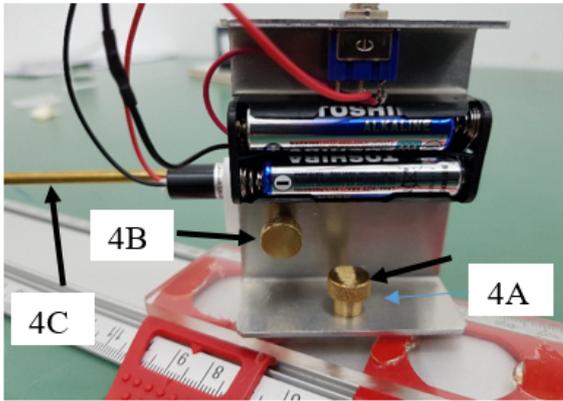


Experiment



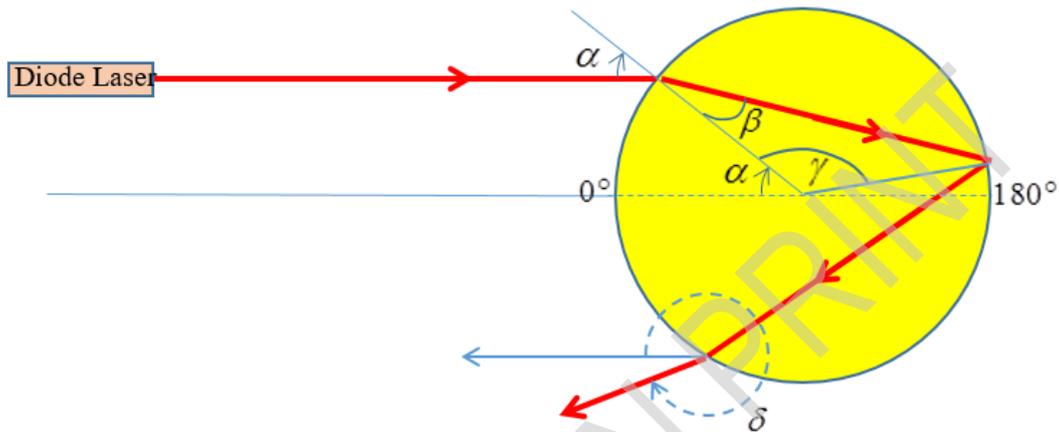
Q1-3

Portugues (Portugal)



Parte A: O índice de refração de um disco (5.5 pontos)

Nesta parte iremos medir o índice de refração de um disco transparente observando o trajeto de um raio de luz que é refratado e refletido nas superfícies do disco.



Vista esquemática da experiência

Definição e símbolos

α	Ângulo de incidência entre o disco e o raio de luz incidente
$2\Delta\alpha$	Dispersão (erro) do ângulo de incidência, isto é, o tamanho do intervalo dos valores do ângulo de incidência α
β	Ângulo de refração dentro do disco
γ	$= 180^\circ - 2\beta$
n	Índice de refração do material do disco
N	O número de vezes que o feixe atinge uma interface do disco, antes de sair deste para o ar (no esquema, $N = 3$)
δ	O ângulo entre a direção oposta à do feixe incidente e a direção do feixe emergente, medido no sentido dos ponteiros do relógio (o esquema ilustra o ângulo δ para $N = 3$)
$2\Delta\delta$	Dispersão angular de δ

É possível demonstrar que os ângulos α , β e δ estão relacionados por:

$$\delta = 2\alpha + (N - 1)(180^\circ - 2\beta). \quad (1)$$

Pode usar esta equação sem a deduzir.

Usando fita-cola, fixe a régua à mesa, a fim de controlar o ângulo de incidência do feixe, e ajuste o laser de forma a facilitar a medição do ângulo de incidência. De seguida, fixe o disco à mesa, cobrindo os cantos da base de madeira expostos com fita-cola. Ajuste a inclinação com a barra metálica 4C.

Experiment



Q1-5

Portugues (Portugal)

O laser pode ser configurado para diferentes alturas: o nível inferior para a parte A e o nível superior para as partes B e C.

O laser foi previamente sintonizado para que o feixe incidente esteja polarizado na forma em que a reflexão é máxima. **Não altere** a polarização do feixe incidente (não rode o laser em torno do seu eixo)!

A.1	Faça um esquema do sistema, representando a régua com o suporte móvel, o disco, e a trajetória descrita pelo feixe laser. Indique o ângulo de incidência α . Faça um conjunto de medições entre os ângulos $15^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$, e registre $\alpha, \Delta\alpha, \delta, \Delta\delta$ na Tabela 1. Nota: para medir δ , é mais conveniente medir $\delta/2$ diretamente no disco.	1.0pt
A.2	Utilizando a medição da questão anterior, desenhe o gráfico apropriado a partir do qual possa obter o índice de refração n e o erro Δn . Caso necessite de mais quantidades, preencha os valores calculados nas colunas em branco da Tabela 1. Calcule n e Δn .	1.0pt
A.3	Com as medições efetuadas em A1, faça um gráfico de δ em função de α . Represente, para cada ponto medido, os valores de $\Delta\delta$ e $\Delta\alpha$, usando barras de erro. Faça medições adicionais, para determinar o valor mínimo de δ e correspondente valor de α , com mais precisão. Represente-os por δ_{\min} e α_{\min} . De forma a identificar o ponto mínimo com mais precisão, pode utilizar as paredes do cubículo como ecrã de projeção para o feixe emergente.	0.5pt

Um segundo método para medir o índice de refração

Nesta parte, irá desenvolver um método alternativo que lhe irá permitir obter resultados mais precisos. Apesar de ter de efetuar medições com maior precisão, **não é exigido cálculo de erros**. Mesmo assim, deve explicitar as equações que usar para obter os resultados. Escreva-as nas folhas de resposta.

A.4	Baseando-se no traçado do gráfico que obteve em A3, selecione o ângulo ideal a utilizar nas medições para calcular o índice de refração. Escreva a equação que se pode utilizar para obter o índice de refração, usando o método desenvolvido.	0.7pt
A.5	Para $N = 3$, faça as medições necessárias para calcular o índice de refração com elevada precisão, usando o método desenvolvido em A4 <ul style="list-style-type: none">• Desenhe um esquema do disco e da trajetória do feixe, e indique, nesse mesmo esquema, as grandezas que mediu.• Registe as medições que efetuou.• Faça uma análise dos resultados e calcule o índice de refração n do disco, com a mais elevada precisão. Se necessitar, pode utilizar mais folhas de papel milimétrico.	0.8pt

- A.6** Repita os procedimentos que realizou na questão anterior, para $N = 4$ e $N = 5$ (não é necessário desenhar o sistema e a trajetória do feixe). 1.5pt
- Registe as medições que efetuou para $N = 4$.
 - Faça uma análise dos resultados para $N = 4$, e calcule o índice de refração n usando estes resultados com a mais elevada precisão que conseguir.
 - Registe as medições que efetuou para $N = 5$.
 - Faça uma análise dos resultados para $N = 5$, e calcule o índice de refração n usando estes resultados com a mais elevada precisão que conseguir.
 - A partir dos resultados obtidos para o valor do índice de refração, utilizando os resultados para $N = 3$, $N = 4$ e $N = 5$, calcule o seu valor médio $\langle n \rangle$.

Parte B: Os parâmetros de uma rede de difração (2.5 pontos)

Nesta parte não é exigido cálculo de erros.

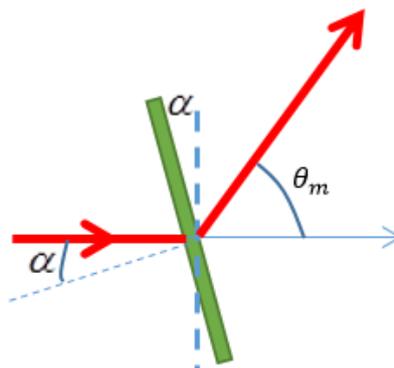
Nesta parte descobrirá a razão λ/d , onde λ é o comprimento de onda do laser e d é a constante de rede (distância entre fendas adjacentes).

Quando um feixe laser passa através de uma rede de difração, o ângulo θ_m , entre a direção do raio incidente e a direção na qual se obtém um máximo de intensidade (de ordem m), é dado por:

$$d \cdot (\sin \alpha + \sin(\theta_m - \alpha)) = m\lambda \quad (2)$$

onde

m	ordem de difração
α	o ângulo de incidência entre o feixe e a rede
θ_m	o ângulo entre a direção inicial do feixe e a direção em que um máximo de ordem m é obtido
d	a constante de rede – distância entre os centros de fendas de rede adjacentes



Ordens de difração mais elevadas permitem obter melhor separação de comprimentos de onda. Assim,

Experiment



Q1-7

Portugues (Portugal)

uma medição precisa usando ordens de difração de maior valor reduz o erro relativo no valor de λ/d .

Solte o parafuso 4B e altere a altura (nível vertical) do laser, rodando-o de 180° em torno do eixo horizontal perpendicular à direção do feixe (tenha cuidado com os fios) para a posição ilustrada em 3B. Este procedimento possibilita a realização das partes B e C. Use a barra metálica 4C, para ajustes finos do laser de forma a alinhá-lo com a altura do dispositivo utilizado para medições com a rede de difração. Alinhe o feixe laser de forma a incidir perpendicularmente no ecrã. Coloque a rede de difração na ranhura do suporte 12B. A orientação da rede de difração é evidenciada por uma etiqueta anexa a um dos lados da rede. Assegure-se que o lado da rede com a etiqueta está voltado para o laser e que a etiqueta está virada para cima. Cada rede tem uma única identificação, escrita na etiqueta. **Escreva a identificação da sua rede de difração na caixa correspondente na folha de resposta.**

Ao longo desta parte, pode achar útil usar uma ideia similar à que utilizou na segunda secção da parte A.

- | | | |
|------------|---|-------|
| B.1 | <ul style="list-style-type: none">• Desenhe na folha de resposta o esquema da montagem. Nesse esquema, assinale o laser sobre a mesa, a rede de difração, a trajetória do feixe laser, os pontos onde atinge o ecrã e as grandezas que mediu.• Efetue medições para $m = 1$. Registe os valores que mediu. Obtenha a razão λ/d.• Efetue medições para $m = 2$. Registe os valores que mediu. Obtenha a razão λ/d. | 0.7pt |
|------------|---|-------|

- | | | |
|------------|--|-------|
| B.2 | Obtenha a razão λ/d usando ordens de difração superiores ($m > 2$). <ul style="list-style-type: none">• Desenhe na folha de resposta dois esquemas da montagem, para $m = 3$ e para $m = 4$. Assinale no esquema o laser, a rede de difração, a trajetória do feixe laser, os pontos onde atinge o ecrã e as grandezas que mediu.• Faça medições para cada uma das ordens $m = 3, 4$. Registe os valores que mediu. Para cada m, obtenha a razão medida λ/d. | 1.8pt |
|------------|--|-------|

Parte C: O índice de refração de um prisma triangular (2.0 pontos)

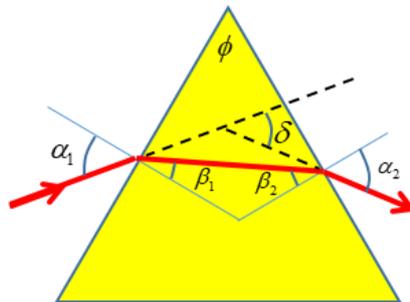
Dispõe de um prisma triangular, aproximadamente equilátero. As três faces do prisma são planas e bem polidas. Os ângulos do prisma podem desviar-se dos 60° , mas não mais do que 0.7° . Não é necessário medir os ângulos do prisma. O objetivo desta secção é medir o índice de refração do material de que o prisma é feito. Para reduzir o erro no índice de refração, é possível usar a aproximação para pequenos ângulos ($\sin x \approx x$, $\cos x \approx 1$ quando x é medido em radianos) para corrigir os pequenos desvios nos ângulos dos prismas. Nesta secção **deve fazer cálculo de erros**. As figuras ilustram um exemplo de um raio entrando no prisma através uma das faces e saindo através da próxima.

Experiment



Q1-8

Portugues (Portugal)



Coloque a régua com o suporte numa posição adequada de forma a que o laser lhe permita obter a maior precisão nas medições.

Coloque o prisma no suporte próprio 12B.

- C.1** No caso simétrico, $\alpha_1 = \alpha_2$, a relação seguinte é válida para um prisma equilátero: $n = 2\sin(\delta_{\text{sym}}/2 + 30^\circ)$. 0.4pt
- Implemente um método que lhe permita determinar o índice de refração do prisma com a mais elevada precisão.
 - Explícite nas folhas de resposta as fórmulas que utilizou para determinar o índice de refração.

- C.2**
- Registe nas folhas de resposta as grandezas que mediu e os respectivos valores (incluindo erros). 1.6pt
 - Calcule o índice de refração do prisma, para o comprimento de onda do laser, e o erro nesse valor.

Lei de Wiedemann-Franz

Nos metais o calor é conduzido principalmente pelos eletrões. Por esta razão, as condutividades térmica e elétrica estão relacionadas nestes materiais. Este facto é conhecido como a lei de Wiedemann-Franz.

Nesta experiência o nosso objetivo será medir as propriedades térmicas e elétricas de vários metais com a maior precisão possível. Na parte A iremos medir a condutividade elétrica do cobre, latão e alumínio. Na parte B iremos medir a condutividade térmica do cobre. Na parte C iremos medir o calor específico do cobre. Na parte D iremos medir a condutividade térmica do latão e do alumínio. Finalmente na parte E iremos verificar a relação universal entre estas propriedades físicas para os metais estudados.

Nesta experiência não será preciso realizar cálculo de erros.

Note que entre as partes B e D há um **tempo de espera de 15 minutos**. Organize o seu tempo com cuidado.

Instruções de segurança

Não ligue fios ou instrumentos não autorizados diretamente às tomadas de 220V/25A. Só pode ligar à tomada as fontes de corrente fornecidas.

Lista de material



Figura 1

1. **Cobre**: cilindro oco, 200.0 mm de comprimento, diâmetro interno de 6.0 mm, diâmetro externo de **20.0 mm**
2. **Latão**: cilindro oco, 200.0 mm de comprimento, diâmetro interno de 6.0 mm, diâmetro externo de **19.0 mm**
3. **Alumínio**: cilindro oco, 200.0 mm de comprimento, diâmetro interno de 6.0 mm, diâmetro externo de **20.0 mm**

Experiment



Q2-2

Portugues (Portugal)

4. Pequeno magnete permanente com massa 1.2 gramas.
5. Reservatório de água - normalmente usado em pratos culinários israelitas. A tampa da panela tem dentro um dispositivo para troca de calor e um parafuso em cima. São fornecidos 4 litros de água (2 garrafas de 2 litros) para encher o reservatório.
6. Barra 1 - uma barra de cobre com diâmetro de 20.0 mm com sensores de temperatura ligados por cabos à tomada de 9 pinos e com um aquecedor ligado aos cabos vermelhos, ver figura 2a). Os cabos vermelhos são para ligar à fonte de corrente contínua (item 15, abaixo) através de um circuito. A barra é coberta com espuma preta isolante térmica.
7. Barra 2 - uma barra de diferentes metais com diâmetro de 20.0 mm com sensores de temperatura ligados por cabos à tomada de 9 pinos e com um aquecedor ligado aos cabos vermelhos, ver figura 2b). Os cabos vermelhos são para ligar à fonte de corrente contínua (item 15, abaixo) através de um circuito. A barra é coberta com espuma preta isolante térmica.
8. Tampa isolante térmica.
9. Fonte de corrente contínua de 12V para o mostrador de leitura digital.
10. Mostrador de leitura digital. Este mostrador indica o tempo e as leituras de oito termómetros (ver instruções abaixo). Este mostrador pode também ser usado como cronómetro.
11. Cabo de termómetro que liga os termómetros da barra ao mostrador de leitura digital.
12. Voltímetro - deve seleccionar a escala para 20V DC (Figura 3).
13. Amperímetro - deve seleccionar a escala para 10A DC (figura 3).
14. Cabos eléctricos
15. Fonte de corrente contínua de 9V para o aquecedor com terminais banana.

ATENÇÃO!: 1. Só as fontes de corrente fornecidas (com tomadas AC convencionais) poderão ser ligadas às tomadas de corrente convencionais. Ligar fios isolados ou outro equipamento às tomadas é proibido e pode resultar em danos graves.

2. Não coloque as barras dentro da água.

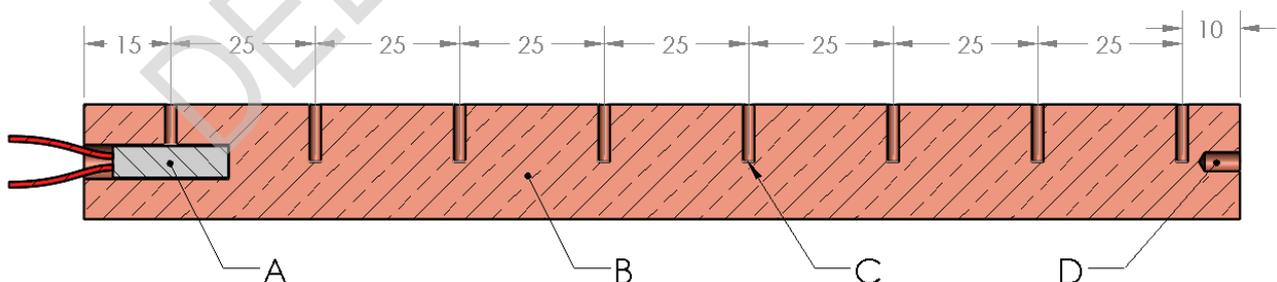


Figura 2.a - Esquema da barra 1.

As distâncias são dadas em mm com precisão de 0.1mm.

(A) Aquecedor ligado aos fios vermelhos. (B) Barra de cobre. (C) Oito sensores de temperatura, cada um representado na figura por uma marca como a apontada pela seta. (D) buraco para o parafuso na tampa do reservatório de água.

Experiment



Q2-3

Portugues (Portugal)

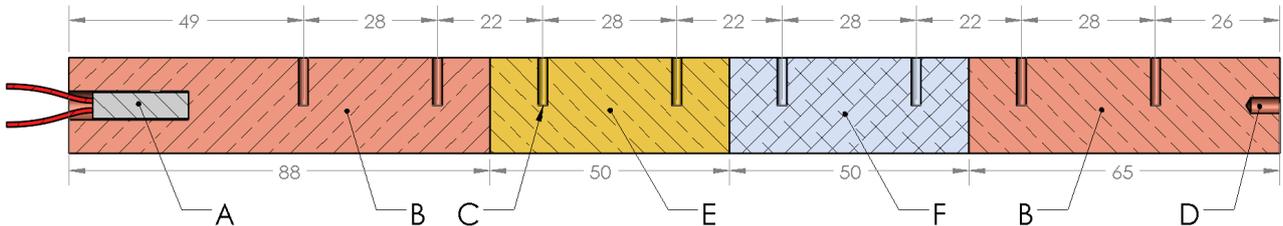


Figura 2.b - Esquema da barra 2.

As distâncias são dadas em mm com precisão de 0.1mm.

(A) Aquecedor ligado aos fios vermelhos. (B) Barra de cobre. (C) Oito sensores de temperatura, cada um representado na figura por uma marca como a apontada pela seta. (D) buraco para o parafuso na tampa do reservatório de água. (E) Barra de latão. (F) Barra de alumínio.



Figura 3 - Amperímetro e voltímetro

(1) - Posição do seletor em 10A nesta experiência. (2) - Terminais de entrada do amperímetro.

(3) - Posição do seletor em 20V nesta experiência. (4) - Terminais de entrada do voltímetro.

Uso do mostrador de leitura digital

Ligue o mostrador à fonte de corrente de 12V.

O mostrador tem dois modos de operação: como um cronómetro e como um leitor de temperaturas. Quando o cabo dos sensores é ligado ao mostrador, o mostrador irá ficar automaticamente no modo de leitura de temperaturas. Quando o cabo é desconectado, o mostrador irá ficar automaticamente no modo de cronómetro.

No modo de temperatura:

- Mantenha o botão vermelho pressionado durante 3 segundos para colocar o tempo a zero.
- Pressione o botão vermelho por pouco tempo para que o mostrador mostre os valores de temperatura e tempo nesse instante (sem continuar a atualizá-los). O mostrador irá continuar a contar o tempo mas não o irá mostrar.
- Pressionando o botão vermelho outra vez faz com que o mostrador volte a mostrar os valores de tempo e de temperatura em tempo real.

No modo cronómetro:

Experiment



Q2-4

Portugues (Portugal)

- O cronómetro começa pressionando o botão vermelho.
- O cronómetro pára ao pressionar o botão uma segunda vez.
- Pressionando o botão uma terceira vez faz com que o tempo volte a zero.

O mostrador de leitura digital deverá ser calibrado antes de ser usado a primeira vez com cada barra. Os termómetros usados na experiência não são perfeitamente idênticos. Deste modo, enquanto a barra está em equilíbrio térmico, devemos calibrar os sensores de modo a termos a mesma leitura de todos eles. Com este objetivo, primeiro deve ligar o cabo de transmissão de dados à barra. Depois deve pressionar o botão vermelho continuamente ao mesmo tempo que liga o cabo de dados ao mostrador. Após este passo, desligar o mostrador da corrente ou do cabo de dados não afeta a calibração realizada.

ATENÇÃO!: Faça a calibração **antes** de ligar a barra ao reservatório de água ou de ligar o aquecedor da barra. Deste modo irá assegurar-se que a temperatura da barra é uniforme quando estiver a calibrá-la.

Se tiver quaisquer problemas com o mostrador, poderá ser útil desligá-lo da corrente e voltá-lo a ligar. O mostrador irá manter-se calibrado.

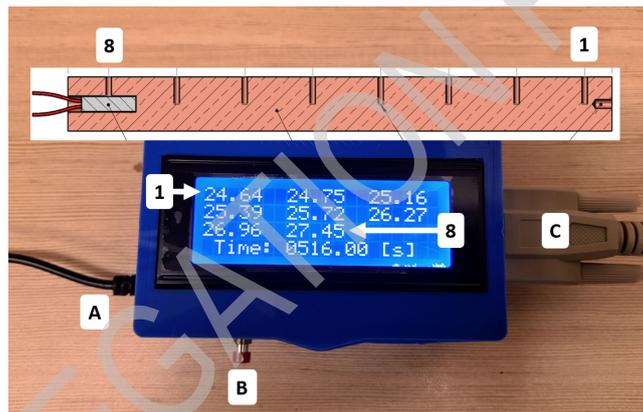


Figura 4 - o mostrador de leitura digital

(A) Cabo da fonte de corrente contínua de 12V DC. (B) Botão vermelho multifunções.

(C) Cabo de dados que liga aos termómetros. (1-8) Leitura dos valores medidos pelos termómetros em Celsius, mostrados em sequência horizontal.

Parte A: Condutividade elétrica do cobre, do alumínio e do latão (1.5 pontos)

Teoria

Quando um ímã permanente cai dentro de um tubo cilíndrico oco, sofre uma força dissipativa devido às correntes induzidas na superfície interna do tubo, e atinge uma velocidade terminal. Nesta geometria, a velocidade terminal pode ser dada por:

$$v_{terminal} = \frac{8\pi m g a^2}{\mu_0^2 (\pi r_m^2 M)^2 \sigma \omega f \left(\frac{d}{a}\right)} \quad (1)$$

Aqui m é a massa do ímã, σ é a condutividade elétrica do material do tubo, a é o diâmetro interno do tubo, r_m e d são o raio e diâmetro do ímã, respetivamente, M é a magnetização do ímã,

Experiment



Q2-5

Portugues (Portugal)

w é a espessura da parede do tubo e $f(\frac{d}{a})$ é uma função de escalonamento. No nosso caso, $a \approx r_m$, $d = 2r_m \approx 2a$ e $f(2) \approx 1.75$. Então, o tempo que o magnete leva a cair no tubo pode ser aproximado por:

$$t = 0.22 \frac{\pi r_m^2 (\mu_0 M)^2 w L_0 \sigma}{mg} \quad (2)$$

Aqui $L_0 = 0.2$ m é o comprimento do tubo e é assumido que o magnete atinge a velocidade terminal imediatamente após ser largado.

Características do magnete e do tubo que são necessárias para o cálculo:

$\mu_0 M = 0.65$ T, $w_{\text{Alumínio}} = w_{\text{Cobre}} = 7.0 \times 10^{-3}$ m, $w_{\text{Latão}} = 6.5 \times 10^{-3}$ m, $m = 1.2 \times 10^{-3}$ kg, $r_m = 3.0 \times 10^{-3}$ m, $g = 9.8$ m/s²

DELEGATION PRINT

Experiment



Q2-6

Portugues (Portugal)

Experiência

A.1 Usando o mostrador de leitura digital em modo cronómetro meça o tempo que leva ao magnete cair dentro dos tubos de alumínio, cobre e latão. Escreva o resultado das medidas na tabela A1. 1.0pt

A.2 Usando a equação acima, obtenha as condutividades elétricas $\sigma_{\text{Alumínio}}$, σ_{Cobre} , $\sigma_{\text{Latão}}$ para cada um dos três metais. 0.5pt

Parte B: Condutividade térmica do cobre

O objetivo desta secção é medir a condutividade térmica do cobre perto do seu estado estacionário.

Teoria

A condutividade térmica κ é definida pela equação $P(x) = -\kappa A \cdot \frac{\Delta T(x)}{\Delta x}$. Esta equação descreve uma relação linear entre o gradiente local de temperatura e o fluxo local da potência na secção reta da barra. Aqui, $P(x)$ é a potência que passa pela área de secção reta da barra na coordenada x , A é a área da secção reta da barra, e $\Delta T(x)/\Delta x$ é o gradiente de temperatura na posição x .

Experiência

Ligue o mostrador digital à barra e calibre a barra 1. Deite 4 litros (duas garrafas) de água no recipiente de modo a emergir completamente o dispositivo de troca de calor. Feche a tampa.

B.1 Escreva a temperatura inicial da barra 1 quando está colocada na mesa. 0.1pt

Desligue o cabo de dados da barra. Remova a tampa isoladora e aparafuse a barra 1 à tampa do reservatório de água. Ligue de novo o cabo ao mostrador digital do modo mostrado na figura 5. Tenha cuidado para não apertar com muita força.



Figura 5

Experiment



Q2-7

Portugues (Portugal)

- B.2** Faça um desenho do circuito que lhe permite fornecer corrente ao aquecedor e medir a potência fornecida. O circuito deve conter: a fonte de corrente de 9V, o aquecedor (que já está ligado à barra), o voltímetro, o amperímetro e os cabos. Pode usar os cabos como um interruptor para abrir e fechar o circuito. 0.5pt

A condutividade térmica pode ser medida através do fornecimento de calor a um dos lados da barra enquanto se mantém o outro lado à temperatura aproximadamente constante do reservatório de água. Pretendemos chegar a um estado estacionário para todos os termómetros. Ligue o circuito da secção B2 e ligue a fonte de corrente.

- B.3** Realize as medições apropriadas para calcular a potência P fornecida ao aquecedor, e escreva o seu valor na folha de resposta. 0.1pt

Espera 15 minutos com o aquecedor ligado (pode usar este tempo para planear a sua experiência).

- B.4** Escreva na tabela as temperaturas dos oito termómetros nos tempos aproximados: 15 min, 17.5 min, 20 min. 0.5pt

- B.5** Numa folha de papel milimétrico represente num único gráfico a temperatura em função da posição para cada um dos três tempos medidos. Estes gráficos irão ser usados na parte D. 1.0pt

- B.6** Use o gráfico para obter a condutividade térmica do cobre, κ_0 , com os dados correspondentes ao tempo aproximado de 17.5 min. Despreze as perdas de calor nesta parte. Estime a taxa média de variação de temperatura da barra $\frac{\Delta T}{\Delta t}$, para o tempo aproximado de 17.5 min. 0.5pt

- B.7** Espera um valor mais baixo / mais alto / ou igual para κ_0 , quando comparado com o valor real κ ? 0.3pt

Parte C: Estime a perda de calor e a capacidade calorífica do cobre (4.0 pontos)

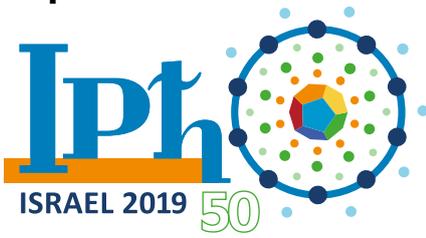
Teoria

A capacidade calorífica C é definida pelas duas seguintes equações:

$$\Delta Q = C \Delta T, \quad \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right). \quad (3)$$

Aqui, $\Delta Q/\Delta t$ é a taxa de calor transferida para o material e $\Delta T/\Delta t$ é a taxa de variação de temperatura. O calor específico c_p é a capacidade calorífica por unidade de massa. A massa da barra de cobre é igual a 0.58 kg.

Experiment



Q2-8

Portugues (Portugal)

Experiência

Desligue a fonte de corrente do aquecedor. Desmonte o circuito, desaparafuse a barra 1 e coloque-a na mesa. Coloque a tampa isoladora na barra da maneira que encontrou no início da experiência. Monte outra vez o circuito do aquecedor e volte a ligar a barra ao mostrador de leitura digital.

ATENÇÃO!: Nesta parte, não deixe o aquecedor ligado por longos períodos de tempo sem monitorizar a temperatura.

Usando uma sequência de arrefecimento, aquecimento, e arrefecimento, podemos obter tanto as perdas de calor como a capacidade calorífica do material. O processo de aquecimento deve alterar a temperatura média por aproximadamente 2.5°C . Para obter dados com a precisão pretendida, neste passo a sequência arrefecimento-aquecimento-arrefecimento deve demorar um total de 10-15 minutos.

Aqui iremos trabalhar perto da temperatura média medida perto do estado estacionário da Parte B.

De modo a tomar em conta toda a energia térmica armazenada na barra, iremos seguir a variação da sua temperatura média. A medida do valor da temperatura no centro da barra é uma boa aproximação para esta temperatura média.

C.1	Realize uma sequência arrefecimento-aquecimento-arrefecimento e registe as suas medições na tabela C1, de modo a obter a temperatura média.	1.0pt
C.2	Represente graficamente no papel milimétrico a temperatura média em função do tempo.	1.0pt
C.3	Usando o gráfico, calcule o calor específico c_p e o calor perdido por unidade de tempo P_{loss} para uma temperatura perto da temperatura média medida na Parte B. Descreva o seu método usando diagramas e equações.	1.0pt

Há dois mecanismos principais que devem ser tidos em conta para melhorar a precisão da medida da condutividade térmica realizada na Parte B.

- Existe perda de calor devido à transferência radial de calor através do isolamento.
- O sistema não chegou ao estado estacionário durante o tempo da medida.

Em primeira ordem, pode considerar a alteração do fluxo de potência $\Delta P(x)/\Delta x$ devido a estes mecanismos é constante ao longo da barra.

C.4	Escreva a equação que corrija até primeira ordem a condutividade térmica obtida na Parte B tendo em conta estes mecanismos. Use $\kappa_0, P, c_p, m, P_{\text{loss}}, \frac{\Delta T}{\Delta t}$ das Partes B e C para exprimir o calor corrigido da condutividade térmica κ_{Cobre} e calcule o seu valor.	1.0pt
------------	--	-------

Parte D: Condutividade térmica do latão e do alumínio (1.0 pontos)

Ligue a barra 2 ao mostrador de leitura digital e calibre os termómetros desta barra tal como fez no início da Parte B (enquanto o botão vermelho está carregado, ligue com o cabo de dados a barra 2 isolada ao mostrador).

Experiment



Q2-9

Portugues (Portugal)

D.1 Escreva a temperatura inicial da barra quando está colocada na mesa. 0.1pt

Desligue o cabo e aparafuse a barra 2 à tampa do recipiente de água como é mostrado na figura 4. Volte a ligar o cabo ao mostrador.

Repita o processo usado na Parte B para se aproximar do estado estacionário durante o aquecimento.

Mantenha o aquecedor ligado pelo menos **15 minutos** antes de tirar medidas.

Pode supor que, para a precisão requerida nesta parte, a barra atinge o estado estacionário. Pode também assumir que a perda de calor por unidade de comprimento é constante ao longo da barra.

D.2 Registe as medições de temperatura de todos os 8 termómetros da barra 2 e tome também nota de $\Delta T/\Delta x$ para cada uma das secções da barra. 0.2pt

Em primeira ordem pode também usar a mesma hipótese da questão C.4, ou seja, que $\Delta P(x)/\Delta x$ é constante.

D.3 Obtenha $\kappa_{\text{Latão}}$ e $\kappa_{\text{Alumínio}}$ usando as medidas realizadas anteriormente e calcule os seus valores numéricos. 0.7pt

Parte E: A lei de Wiedemann-Franz (0.5 pontos)

A lei de Wiedemann-Franz diz que em metais onde o transporte de calor é dominado pela condução de eletrões, a razão entre as condutividades térmica e elétrica depende linearmente da temperatura absoluta. Para além disto, a lei indica que o declive desta dependência é $L = \frac{\kappa}{\sigma T}$ (conhecido como o "Número de Lorenz"), que é o mesmo para a maioria dos metais, e que depende somente de constantes universais. Na realidade, para a maioria dos metais à temperatura ambiente, esta lei é verificada com uma precisão de 10%.

E.1 Escreva na tabela E1 os valores que encontrou para as condutividades térmica e elétrica (κ, σ). Calcule o valor de L para cada material e escreva-o na mesma tabela E1. Assuma que a condutividade não depende da temperatura em primeira ordem. 0.5pt