

37ª Olimpíada Internacional de Física
Singapura
Prova Experimental
Quarta-feira, 12 de Julho de 2006

Por favor, ler estas instruções antes de iniciar a prova:

1. O tempo disponível para a prova experimental é de 5 horas.
2. Há apenas uma prova experimental, dividida em 4 partes, para um total de 20 pontos.
3. Utilizar apenas o material de escrita fornecido.
4. Usar o **papel de prova** fornecido para escrever. *Estas folhas serão avaliadas.*
 - Usar apenas a parte da frente de cada folha. Começar cada questão numa folha de papel nova.
 - Em cada folha de papel, escrever:
 - 1) O número da parte da questão (**Part No.**) a que está a responder;
 - 2) O número de cada página usada nessa parte da questão (**Page No.**);
 - 3) O número total de páginas usadas para essa parte da questão (**Total No. Of Pages**);
 - 4) O código do país (**Country Code**) e o seu número de estudante (**Student Code**).
 - Escrever de forma concisa, limitando o texto ao mínimo. Usar equações, números, símbolos, figuras e gráficos sempre que possível.
 - Se usar folhas que não deseje que sejam corrigidas, marque-as com uma grande cruz sobre a folha e não as inclua na sua numeração.
5. Para cada questão, usar a **Folha de Respostas** para transcrever a sua *resposta final* na caixa apropriada. Responda com o número de algarismos significativos apropriado. Não se esqueça de indicar sempre as unidades.
6. No final da prova, ordenar as folhas de cada parte da questão *pela seguinte ordem*:
 - Folha de Respostas,
 - folhas de prova (ordenadas) que pretender que sejam avaliadas,
 - folhas com os gráficos que pretender que sejam avaliados,
 - folhas de prova e de gráficos inutilizadas e que não serão avaliadas.Colocar no fim todas as folhas não usadas, incluindo as folhas de gráficos não usadas, e o enunciado.
7. Prender *todas as folhas* com o clip e deixá-las em cima da mesa.
8. Não pode levar *qualquer folha de papel ou material* usado na experiência para fora da sala da prova.



37^a Olimpíada Internacional de Física

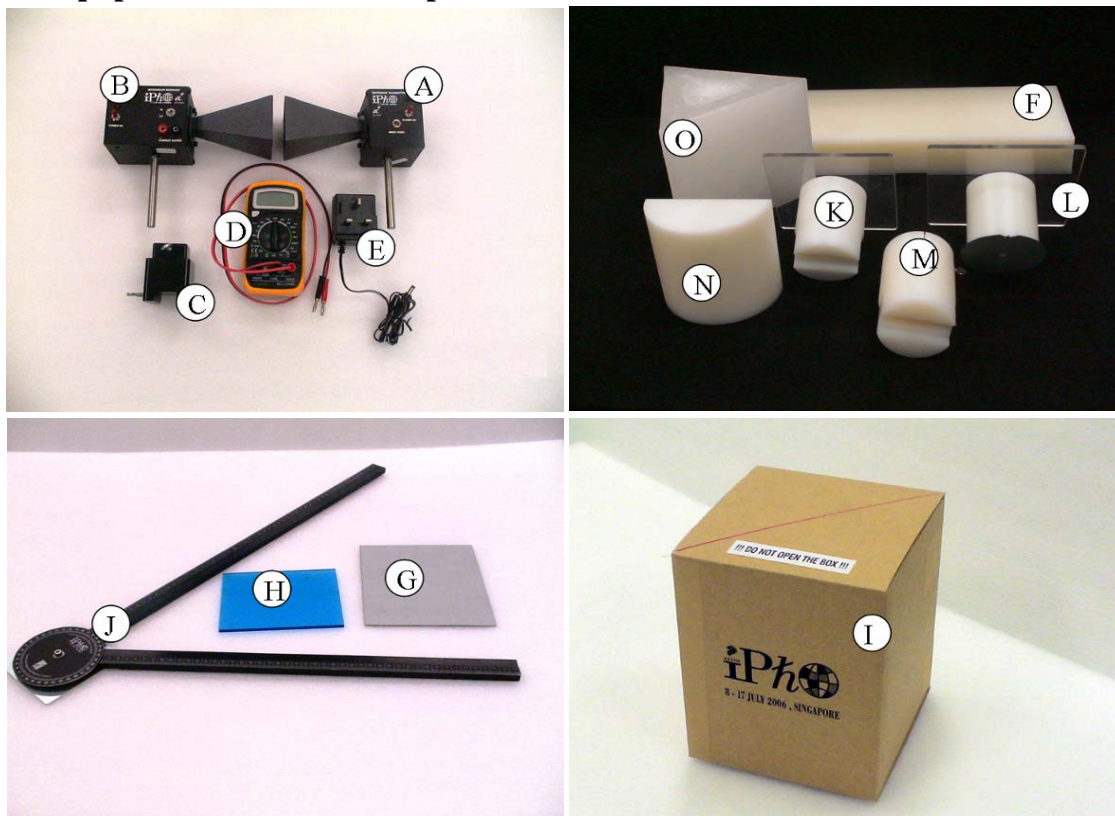
Singapura

8 – 17 de Julho de 2006

Questão Experimental

Quarta-feira, 12 de Julho de 2006

Lista de equipamento e material disponível:



Referência	Componente	Qtd	Referência	Componente	Qtd
(A)	Emissor de micro-ondas	1	(I)	Rede de barras metálicas numa caixa selada	1
(B)	Receptor de micro-ondas	1	(J)	Goniómetro	1
(C)	Suporte para emissor/receptor	2	(K)	Suporte para prisma	1
(D)	Multímetro digital	1	(L)	Mesa giratória	1
(E)	Fonte de corrente contínua para o emissor	1	(M)	Suporte para lente/reflector	1
(F)	Placa que faz o papel de “filme fino”	1	(N)	Lente plano-cilíndrica	1
(G)	Reflector (placa metálica)	1	(O)	Prisma de cera	2
(H)	Separador de feixe (placa azul de plástico)	1		Pacote de Blu-Tack	1
	Craveira (fornecida separadamente)			Régua de 30 cm (fornecida separadamente)	

Cuidado:

- A potência do emissor de micro-ondas encontra-se abaixo do limite de segurança. No entanto, não deve olhar directamente para o bocal do emissor quando este se encontra ligado.
- Não abrir a caixa que contém a rede ①.
- Os prismas de cera ② (utilizados na Parte 3) são frágeis.

Nota:

- É importante notar que a saída do receptor de micro-ondas (CORRENTE) é proporcional à AMPLITUDE da onda detectada.
- Deixar o interruptor de ganho do receptor sempre na posição LO.
- Não alterar a escala do multímetro durante a recolha de dados.
- Afastar da experiência os componentes não utilizados para minimizar as interferências.
- Utilizar sempre as referências ③, ④, ⑤, ... para indicar os componentes nos seus diagramas.



As pontas de prova do multímetro digital devem ser usadas como se mostra no diagrama acima. Deve colocar o selector do multímetro na posição “2m” das leituras de corrente.

Parte 1: Interferómetro de Michelson

1.1. Introdução

Num interferómetro de Michelson, um separador de feixe envia uma onda electromagnética (EM) ao longo de dois caminhos distintos. Depois de reflectidas, o mesmo separador volta a recombinar as ondas, resultando daí um padrão de interferência devido à sua sobreposição. A Figura 1.1 ilustra a montagem experimental de um interferómetro de Michelson. A onda incidente viaja entre o emissor e o receptor por dois caminhos diferentes. As duas ondas sobrepõem-se e interferem no receptor. O sinal detectado no receptor depende da diferença de fase entre as duas ondas, a qual pode ser variada mudando a diferença entre os caminhos ópticos.

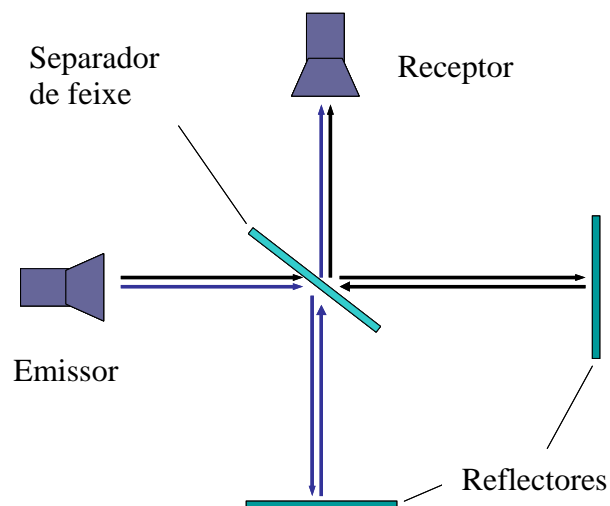


Figura 1.1: Representação esquemática de um interferómetro de Michelson.

1.2. Lista de componentes

- 1) Emissor de micro-ondas (A) com suporte (C)
- 2) Receptor de micro-ondas (B) com suporte (C)
- 3) Goniómetro (J)

- 4) 2 reflectores: reflector (G) com suporte (M) e filme fino (F) que actua como reflector
- 5) Separador de feixe (H) com mesa giratória (L) que serve de suporte
- 6) Multímetro digital (D)

1.3. Tarefa: Determinação do comprimento de onda das micro-ondas**[2 pontos]**

Usando apenas as componentes listadas na secção 1.2, montar o interferómetro de Michelson e com ele determinar o comprimento de onda λ das micro-ondas, no ar. Registar os dados e determinar λ com uma incerteza $\leq 0,02$ cm .

Ter em atenção que o “filme fino” deixa passar alguma radiação, pelo que não deve colocar-se ou mover-se por trás dele, pois poderá afectar os resultados.

Parte 2: Interferência num “filme fino”

2.1. Introdução

Quando um feixe de ondas EM incide num filme fino dielétrico, este separa-se em duas componentes tal como mostra a figura 2.1. O feixe A é reflectido na superfície superior do filme enquanto que o feixe B é reflectido na superfície inferior do filme. A sobreposição dos feixes A e B resulta no chamado padrão de interferência de filme fino.

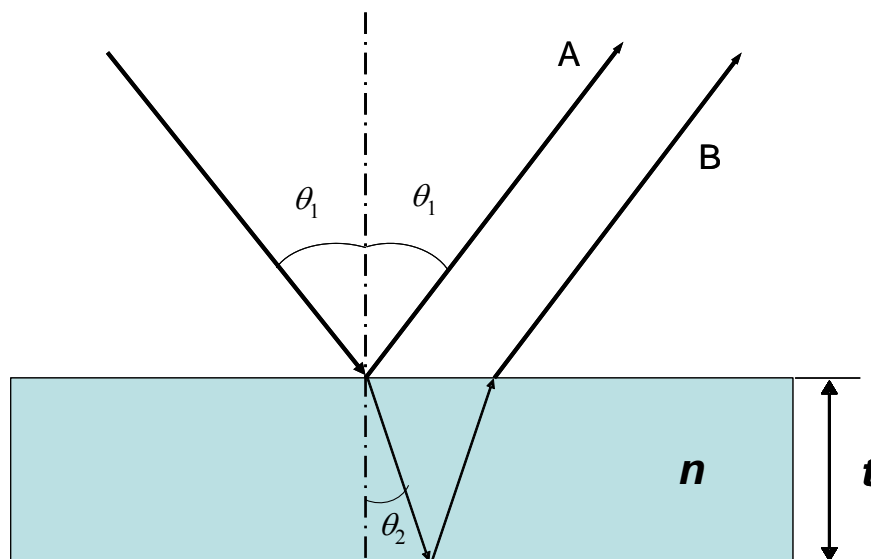


Figura 2.1: Esquema de interferência de filme fino.

A diferença dos caminhos ópticos percorridos pelos feixes A e B resulta em interferência construtiva ou destrutiva. A intensidade da onda EM resultante, I , depende da diferença de caminho percorrido pelos dois feixes que interferem, e esta diferença de caminho, por sua vez, depende do ângulo de incidência do feixe incidente, θ_1 , do comprimento de onda λ da radiação e da espessura t e índice de refração n do filme fino. Assim, o índice de refração n pode ser determinado a partir do gráfico $I(\theta_1)$, usando os valores de t e λ .

2.2. Lista de componentes

- 1) Emissor de micro-ondas (A) com suporte (C)
- 2) Receptor de micro-ondas (B) com suporte (C)
- 3) Lente plano-cilíndrica (N) e suporte (M)
- 4) Goniómetro (J)
- 5) Mesa giratória (L)
- 6) Multímetro digital (D)
- 7) Placa em polímero que faz o papel de “filme fino” (F)
- 8) Craveira

2.3. Tarefas: Determinação do índice de refração do material polimérico da placa

[6 pontos]

- 1) Deduzir as expressões para as condições de interferência construtiva e destrutiva em função de θ_1 , t , λ e n .

[1 ponto]

- 2) Usando apenas as componentes experimentais listadas na secção 2.2, montar uma experiência que permita medir o sinal S à saída do receptor em função do ângulo de incidência θ_1 no intervalo entre 40° e 75° . Fazer um esboço da montagem experimental que mostre claramente os ângulos de incidência e de reflexão, bem como a posição do filme na mesa giratória. Legendar todos os componentes do esboço usando as referências indicadas na página 2. Apresentar os dados numa tabela. Representar na forma de gráfico o sinal S à saída do receptor em função do ângulo de incidência θ_1 e determinar com precisão os ângulos que correspondem a interferência construtiva e destrutiva.

[3 pontos]

- 3) Assumindo que o valor do índice de refração do ar é 1,00, determinar a ordem m da interferência e o índice de refração n da placa de polímero. Escrever os valores de m e n na Folha de Respostas.

[1,5 pontos]

- 4) Fazer a análise da propagação de erros nos resultados obtidos e estimar a incerteza no valor de n . Escrever esta incerteza, Δn , na Folha de Respostas.

[0,5 pontos]

Notas:

- *A lente deve ser colocada à frente do emissor de micro-ondas com a face plana voltada para o emissor por forma a obter um feixe de micro-ondas quase-paralelo. A distância entre a face plana da lente e o bocal do emissor deve ser de 3 cm.*
- *Para obter melhores resultados, deve-se maximizar a distância entre o emissor e o receptor.*
- *Como a onda emitida pelo emissor não é rigorosamente uma onda plana, poderão existir pequenos picos extra, espúrios, no padrão observado. No intervalo de medidas prescrito, entre 40° e 75° , existem apenas um máximo e um mínimo causados pela interferência.*

Parte 3: Reflexão interna total frustrada

3.1. Introdução

O fenómeno da reflexão interna total (RIT) pode ocorrer quando uma onda plana passa de um meio opticamente mais denso para um meio de menor densidade. Contudo, em vez da RIT na interface prevista pela óptica geométrica, a onda incidente penetra, na realidade, no meio de menor densidade e desloca-se alguma distância ao longo da interface antes de ser reenviada de volta ao meio mais denso (ver a figura 3.1). Este efeito resulta num deslocamento D do feixe reflectido, conhecido por deslocamento de Goos-Hänchen.

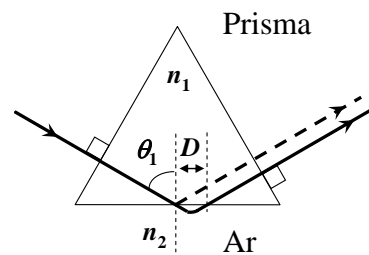


Figura 3.1: Esquema ilustrativo de uma onda EM que sofre reflexão interna total num prisma. O deslocamento D ao longo da superfície com o ar é o deslocamento de Goos-Hänchen.

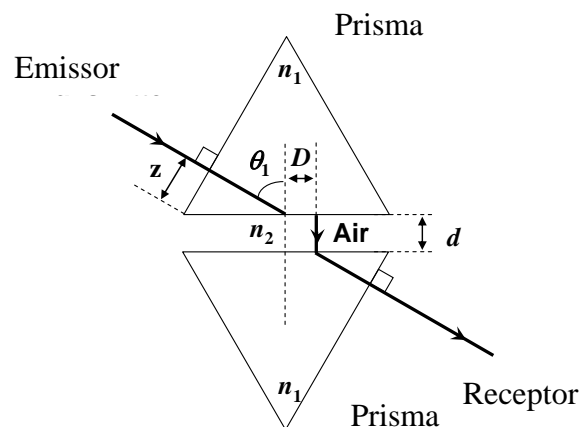


Figura 3.2: Esquema da montagem experimental mostrando os dois prismas separados por uma camada de ar de espessura d . O deslocamento D ao longo da superfície com o ar representa o deslocamento de Goos-Hänchen. A distância z é medida entre o vértice do prisma e a direcção do feixe incidente, definida pelo eixo central do emissor.

Se outro meio de índice de refração n_1 (ou seja, do mesmo material de que é feito o primeiro meio) for colocado a uma pequena distância d do primeiro meio, tal como mostra a figura 3.2, a onda EM atravessa, por efeito de túnel, o segundo meio. Este fenómeno intrigante é conhecido por *reflexão interna total frustrada* (RITF). A intensidade da onda transmitida, I_t , decresce exponencialmente com a distância d :

$$I_t = I_0 \exp(-2\gamma d) \quad (3.1)$$

onde I_0 é a intensidade da onda incidente e γ é

$$\gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{n_1^2}{n_2^2} \sin^2 \theta_1 - 1} \quad (3.2)$$

onde λ é o comprimento de onda da onda EM no meio 2 e n_2 o índice de refração do meio 2 (pode assumir que o índice de refração do meio 2, ar, é 1,0).

3.2. Lista de componentes

- 1) Emissor de micro-ondas (A) e suporte (C)
- 2) Receptor de micro-ondas (B) e suporte (C)
- 3) Lente plano-cilíndrica (N) com suporte (M)
- 4) 2 prismas equiláteros de cera (O) com suporte (K) e mesa giratória (L) que actua como suporte
- 5) Multímetro digital (D)
- 6) Goniómetro (J)
- 7) Régua

3.3. Descrição da experiência

Usando exclusivamente a lista de componentes dada na secção 3.2, montar uma experiência para investigar a variação da intensidade I_t em função da espessura de ar, d , na reflexão interna total frustrada.

Para obter resultados consistentes, ter em atenção o seguinte:

- Usar apenas um dos braços do goniómetro nesta experiência.
- Colocar os prismas com cuidado, por forma a que as superfícies que ficam voltadas uma para a outra sejam paralelas entre si.
- A distância do centro da superfície curva da lente à superfície do prisma deve ser 2 cm.
- Colocar o receptor por forma a que o seu bocal encoste na face do prisma.
- Para cada valor de d , ajustar a posição do receptor de micro-ondas na superfície do prisma para maximizar o sinal.
- Utilizar o multímetro digital na escala de 2 mA. Recolher dados a partir de $d = 0,6$ cm . Parar as medidas quando a leitura do multímetro for inferior a 0,20 mA.

3.4. Tarefas: Determinação do índice de refração do material do prisma

[6 pontos]

Tarefa 1

Desenhar um esquema da montagem experimental e indicar nele todas as componentes, legendando-as com as referências dadas na página 2. Nesse esquema, escrever a distância z (ver figura 3.2), onde z é a distância do vértice do prisma ao feixe incidente.

[1 ponto]

Tarefa 2

Realizar a experiência e apresentar os dados numa tabela. Repetir toda a tarefa.

[2,1 pontos]

Tarefa 3

- Usando gráficos apropriados, determinar o índice de refração do prisma, n_1 , incluindo o cálculo de erros.
- Escrever o índice de refração do prisma n_1 , e a sua incerteza, Δn_1 , na Folha de Respostas.

[2,9 pontos]

Parte 4: Difracção de micro-ondas por uma rede de barras metálicas: reflexão de Bragg

4.1. Introdução

Lei de Bragg

A estrutura cristalina de um cristal pode ser estudada recorrendo à lei de Bragg,

$$2d \sin \theta = m\lambda \quad (4.1)$$

onde d é a distância entre planos paralelos do cristal (que reflectem os raios-X), m é a ordem de difracção e θ é o ângulo entre o feixe de raios-X incidente e os planos cristalinos. A lei de Bragg é também normalmente designada por reflexão de Bragg ou difracção de raios-X.

Rede de barras metálicas

Como o comprimento de onda dos raios-X é da ordem de grandeza da constante de rede de um cristal, as experiências de difracção de Bragg são normalmente efectuadas com raios-X. Contudo, utilizando micro-ondas a difracção ocorre para redes com constantes de rede muito maiores, mensuráveis com uma régua.

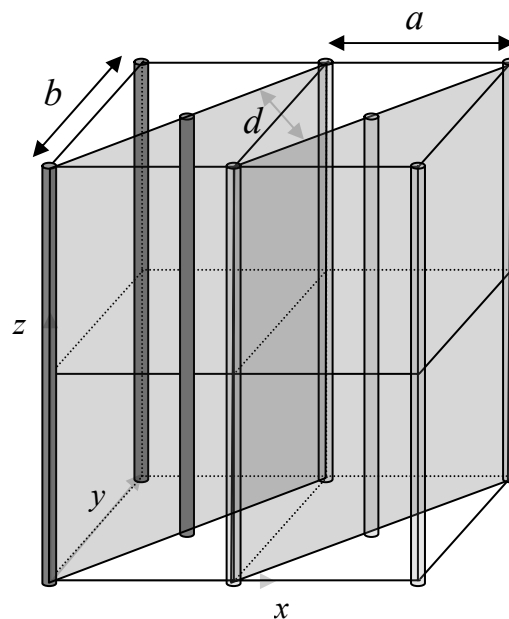


Figura 4.1: Uma rede de barras metálicas de constantes de rede a e b , e distância interplanar d .

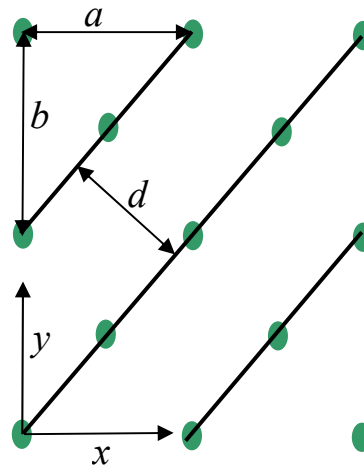


Figura 4.2: Vista de topo da rede de barras metálicas da Fig. 4.1 (não está à escala).

As linhas indicam os planos diagonais da rede.

Nesta experiência, a lei de Bragg é usada para determinar a constante de rede de uma rede de barras metálicas. A Fig. 4.1 mostra uma rede deste tipo, sendo as barras representadas por linhas verticais espessas. Os planos da rede na direcção diagonal do plano xy são indicados como planos sombreados. A Fig. 4.2 mostra a vista de topo (ao longo do eixo z) da rede de barras metálicas. Nesta figura os pontos representam as barras e as linhas os planos diagonais da rede.

4.2. Lista de componentes

- 1) Emissor de micro-ondas (A) e suporte (C)
- 2) Receptor de micro-ondas (B) e suporte (C)
- 3) Lente plano-cilíndrica (N) e suporte (M)
- 4) Caixa fechada contendo uma rede de barras metálicas (I)
- 5) Mesa giratória (L)
- 6) Multímetro digital (D)
- 7) Goniómetro (J)

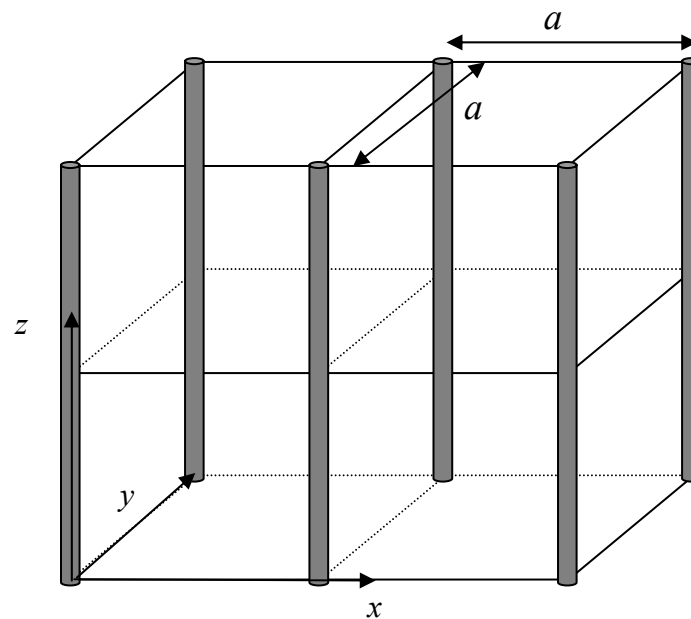


Figura 4.3: Uma rede quadrada simples.

Nesta experiência é fornecida uma rede quadrada simples de barras metálicas (Fig. 4.3). A rede está fechada dentro de uma caixa selada. O objectivo da experiência é determinar o parâmetro de rede a . NÃO ABRIR a caixa. Não serão atribuídos pontos aos resultados experimentais se o selo estiver quebrado.

4.3. Tarefas: Determinação da constante de rede de uma rede quadrada simples

[6 pontos]

Tarefa 1

Esboçar um diagrama da vista de topo da rede quadrada simples da Fig. 4.3. No diagrama, indicar a constante de rede a da rede e a distância interplanar d para os planos diagonais. Com a ajuda deste diagrama, deduzir a lei de Bragg.

[1 ponto]

Tarefa 2

Usando a lei de Bragg e o material disponível, conceber uma experiência de difracção de Bragg para determinar a constante de rede a da rede.

- (a) Desenhar um diagrama da montagem experimental. Identificar todos os componentes usando as referências da página 2, indicar claramente o ângulo entre o eixo do emissor de micro-ondas e os planos da rede, θ , e o ângulo entre os eixos do emissor e do receptor, ζ . Nesta experiência os planos de difracção são os planos diagonais, indicados com uma linha vermelha na caixa.

[1,5 pontos]

- (b) Efectuar a experiência de difracção para $20^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$. Neste intervalo será apenas observada a primeira ordem de difracção. Registar os resultados numa tabela na folha de respostas, indicando os valores de θ e de ζ .

[1,4 pontos]

- (c) Representar graficamente a grandeza proporcional à intensidade da onda difractada em função de θ .

[1,3 pontos]

- (d) Partindo do gráfico, determinar a constante de rede a e estimar o erro experimental.

[0,8 pontos]

Notas:

1. Para obter bons resultados, o emissor deve estar fixo durante toda a experiência. O emissor e a rede devem estar afastados de cerca de 50 cm, assim como a rede e o receptor.
2. Utilizar apenas os planos diagonais. O resultado não estará correcto se tentar usar outros planos.
3. A face da caixa onde está desenhada a linha vermelha deve estar para cima.
4. Para aumentar a precisão, medir vários pontos em torno da posição do pico de difracção.

Country Code	Student Code

Parte 1:

1. Tabela com os dados.

**For
Examiners
Use
Only**

2. Comprimento de onda $\lambda =$

--

Country Code	Student Code

Parte 2:

Tarefa 1

Condição para interferência construtiva

Condição para interferência destrutiva

Tarefa 2

(a) Esboçar a montagem experimental na caixa seguinte.

For
Examiners
Use
Only

Country Code	Student Code

Parte 2:

Tarefa 2 (Continuação da página anterior)

(b) Espaço para tabela de dados.

**For
Examiners
Use
Only**

Country Code	Student Code

Parte 2:

Tarefa 2 (Continuação da página anterior)

(c) Traçar o gráfico (no papel para gráficos fornecido).

(d) Ângulo de incidência, θ_{\max} , correspondente à interferência construtiva

Ângulo de incidência, θ_{\min} , correspondente à interferência destrutiva

Tarefa 3

Ordem da interferência, $m =$

Índice de refração n do material do filme fino =

Tarefa 4

$\Delta n =$

For
Examiners
Use
Only

Country Code	Student Code

Parte 3:

Tarefa 1

Esboçar a montagem experimental no espaço abaixo.

**For
Examiners
Use
Only**

Country Code	Student Code

Parte 3:

Tarefa 2

Representar os dados na tabela. Realizar a experiência duas vezes.

For
Examiners
Use
Only

Country Code	Student Code

Parte 3:

Tarefa 2 (continuação da página anterior)

**For
Examiners
Use
Only**

Country Code	Student Code

Parte 3:

Tarefa 3

a) Traçar os gráficos apropriados no papel para gráficos fornecido.

b) Índice de refração $n_1 =$

Incerteza $\Delta n_1 =$

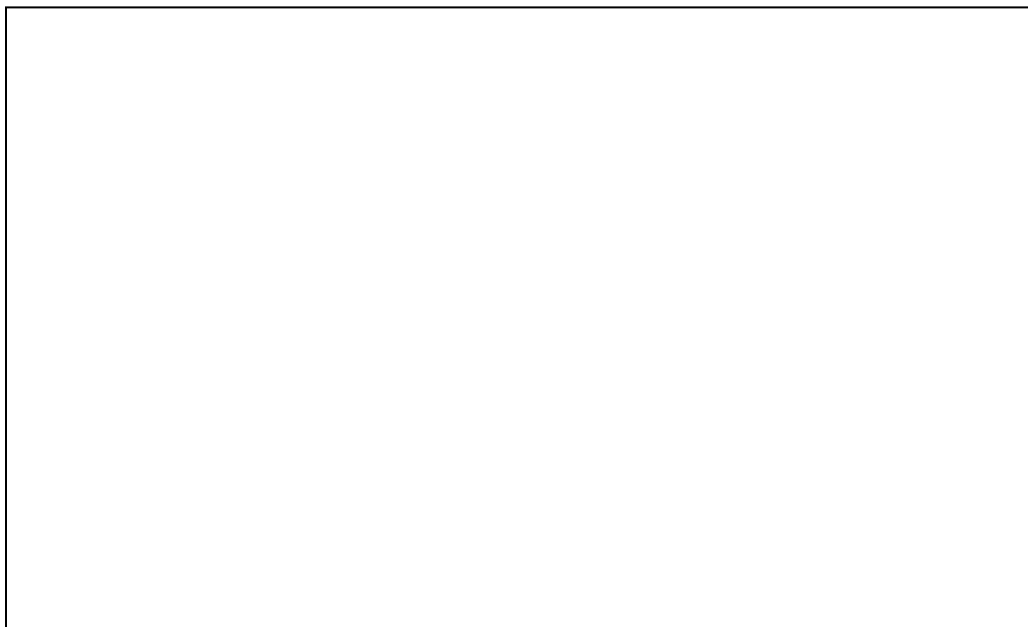
For
Examiners
Use
Only

Country Code	Student Code

Parte 4:

Tarefa 1

Diagrama da vista de topo da rede quadrada simples:



Dedução da Lei de Bragg:

For
Examiners
Use
Only

Country Code	Student Code

Parte 4:

Tarefa 2

(a) Esboçar a montagem experimental na caixa abaixo

**For
Examiners
Use
Only**

Country Code	Student Code

Parte 4:

Tarefa 2 (continuação da página anterior)

(b) Tabela dos dados experimentais:

$\theta(\quad)$	$\zeta(\quad)$	

**For
Examiners
Use
Only**

Country Code	Student Code

Parte 4:

Tarefa 2 (continuação da página anterior)

(c) Representar a intensidade em função de θ no papel para gráficos fornecido.

(d) Constante de rede, $a =$

Incerteza experimental, $\Delta a =$

For
Examiners
Use
Only