



INSTITUTO  
SUPERIOR  
TÉCNICO

Física Experimental II

T.L. N°7

## Difracção

5ª Feira

Lisboa, 20 de Maio de

GRUPO N°1

André Cunha	N° 53757
Tiago marques	N° 53775
Ricardo Figueira	N° 53755

## 1. Difraccção de micro-ondas

Nesta primeira parte do trabalho foi observado o fenómeno de difracção de micro-ondas por uma fenda dupla. Através da medição das posições angulares dos máximos e através das seguintes equações:

$$\lambda = \frac{a \cdot \sin \theta}{n} \quad \text{com} \quad e\lambda = \left| \frac{\sin \theta}{n} \right| \cdot ea + \left| \frac{a \cdot \cos \theta}{n} \right| \cdot e\theta;$$

foi possível determinar o comprimento de onda da radiação bem como o erro associado. Assim, preencheu-se a seguinte tabela:

n	$\theta$ (°)	$\theta_{\text{médio}}$ (°)	$\Delta\theta$ (°)	$\lambda$ (mm)	$\Delta\lambda$ (mm)
1	14.5	15	0.50	28.5	1,19
-1	15.5				
2	30.5	31.3	0.75	28.6	1,90
-2	32.0				
3	48.5	50.5	2.0	28.3	1,07
-3	52.5				

O valor de a medido é de 0.11 +/- 0.001 m.

O valor tabelado para  $\lambda$  é de 28.57 mm.

Posteriormente, mediu-se a posição do 1º mínimo quando a onda atravessou uma fenda simples. Com esse valor e sabendo que:

$$s = \frac{n \cdot \lambda}{\sin \theta} \quad \text{com} \quad es = \frac{\lambda \cdot n \cdot \cot g(\theta)}{\text{sen}(\theta)} \cdot e\theta$$

determinou-se a abertura da fenda assim como o seu erro.

n	$\theta$ (°)	$\theta_{\text{médio}}$ (°)	$\Delta\theta$ (°)	s (m)	$\Delta s$ (m)
1	31.5	31.0	0.50	0.0555	0.000806
-1	30.5				

Usou-se o valor tabelado de  $\lambda$  para o cálculo de s.

## 2. Difraccção de um feixe de luz verde proveniente de um *laser* por rede de difraccção

Fez-se passar um feixe de luz proveniente de um *laser*, por uma rede de difraccção com uma distância ( $a$ ) entre fendas de  $3.33 \mu\text{m}$ . Através da medição dos máximos e sabendo que,

$$\lambda = \frac{a \cdot \sin \theta}{n} \text{ com } e\lambda = \left| \frac{a \cdot D}{n \cdot (D^2 + x^2) \cdot \sqrt{1 + \frac{x^2}{D^2}}} \right| \cdot ex + \left| \frac{a \cdot x}{n \cdot (D^2 + x^2) \cdot \sqrt{1 + \frac{x^2}{D^2}}} \right| \cdot eD$$

onde  $D$  é a distância da rede ao alvo ( $0.627 \pm 0.005 \text{ m}$ ).

$n$	$x \text{ (cm)}$	$x_{\text{médio}} \text{ (cm)}$	$\Delta x \text{ (cm)}$	$\lambda \text{ (nm)}$	$\Delta \lambda \text{ (nm)}$	$\lambda_{\text{fab}} \text{ (nm)}$
1	10.15	10.15	0.2	532.1	14.35	543.5
-1	10.15					
2	21.25	21.20	0.2	533.3	8.323	
-2	21.15					
3	34.45	34.35	0.2	533.4	5.647	
-3	34.25					

## 3. Difraccção de um feixe de luz vermelha proveniente de um *laser* por várias fendas

Analisou-se a imagem de interferências e difraccção de um feixe proveniente de um *laser* por uma fenda simples, dupla, tripla e quádrupla (figuras 1 a 4).

A distância das fendas ao alvo foi medida com um erro associado em  $1.826 \pm 0.005 \text{ m}$ .

Para a fenda simples, através da medição dos mínimos até à 3ª ordem, foi possível obter 3 valores para abertura da fenda ( $s = 48.55 \mu\text{m}$  para  $n = 1$ ;  $s = 50.25 \mu\text{m}$  para  $n = 2$ ;  $s = 49.70 \mu\text{m}$  para  $n = 3$ ).

Utilizou-se para tal de novo a equação  $s = \frac{n \cdot \lambda}{\sin \theta}$ .

Para a fenda dupla, a partir da medição dos máximos, foi possível calcular três valores de  $a$  (distância entre fendas). Foram obtidos os valores  $a = 97.93 \mu\text{m}$  para  $n = 1$ ;  $a = 97.11 \mu\text{m}$  para  $n = 2$ ;  $a = 99.06 \mu\text{m}$  para  $n = 3$ .

Para tal utilizou-se a relação  $a = \frac{n \cdot \lambda}{\sin \theta}$ .

#### 4. Difracção de um feixe de raios catódicos por uma estrutura de grafite

Recorrendo a um aparato que nos permitia acelerar electrões, num campo eléctrico, até grandes velocidades, conseguiu-se observar a imagem resultante da difracção dos raios catódicos por uma estrutura de grafite. Fizemos variar o comprimento de onda dos electrões, através da alteração da diferença de potencial e consequentemente do momento linear destes, pela lei de Broglie:

$$\lambda_{\text{Broglie}} = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{h}{\sqrt{2} \cdot m_e \cdot U_a},$$

Observámos a variação dos diâmetros dos círculos com a variação do momento linear dos electrões.

Desta forma, foi possível traçar um gráfico do comprimento de onda experimental em função do teórico quer para o círculo interior quer para o exterior (gráficos 1 e 2).

Para as barras de erro do comprimento de onda obtido utilizou-se a seguinte equação

$$e\lambda = |2d \cdot \cos\theta| \cdot e\theta.$$

Para estimar uma barra de erro aceitável, escolheu-se uma medição e calculou-se o erro para esse valor. Estabeleceu-se então o valor obtido de 13.1% de desvio.

## Conclusões

### Micro-ondas

A utilização dos micro-ondas permitiu-nos estudar a difracção através de uma fenda dupla. Obtiveram-se 3 ângulos referentes à posição dos 3 primeiros máximos principais, calculando-se seguidamente para os máximos de ordem 1 até 3, o comprimento de onda da radiação, obtendo-se os valores 28,5 mm, 28,6 mm e 28,3 mm. Ora, uma vez que o valor real é 28,57 nm, cada medição corresponde, respectivamente, a um desvio à exactidão de 0,00245 %, 0,00105 % e 0,00945 %. Consequentemente e para cada máximo principal de ordem 1 até 3, temos, também respectivamente, um erro à precisão de 4,18 %, 6,64 % e 3,78 %.

Ainda foi possível analisar o comportamento das micro-ondas ao atravessarem uma única fenda de 6,0 cm (valor medido com régua). Dado que a posição dos mínimos encontrava-se bastante afastada do centro só foi possível medir a posição do primeiro para cada lado. Desta vez, calculou-se a largura da fenda recorrendo ao valor teórico do comprimento de onda, obtendo-se o valor 5,55 cm, o que equivale um erro à exactidão de 7,5 % e com uma precisão de 1,45 %.

### Fontes de erros

À semelhança de muitas outras experiências que requerem alinhamentos precisos, uma das fontes de erro mais significativas prende-se com o facto de ser impossível garantir que a fenda construída tem exactamente a distância que se pretende. Do mesmo modo, também é difícil garantir que as fendas estão exactamente à mesma distância do centro. Outro dos problemas, prende-se com a dificuldade de determinação da posição dos máximos e mínimos, uma vez que existe uma gama de valores de intensidade para a qual é impossível determinar o ângulo exacto em que ocorre qualquer um dos dois. Para além disso, a própria presença dos operadores na proximidade do aparato, influencia a obtenção de medições mais precisas, uma vez que são causadas interferências que podem alterar significativamente os valores medidos.

No caso da determinação do comprimento de onda, viu-se que a barra de erro cobriu perfeitamente o valor exacto enquanto que na determinação da largura da fenda o mesmo não aconteceu. Tal deve-se ao facto de só se ter feito duas medições (o mínimo de ordem 1 para cada um dos lados) e também de o próprio valor da abertura ter sido medido com uma imprecisão que não tomada em conta. Para ambas as determinações, obtiveram-se valores com desvios à precisão relativamente baixos.

### Laser – Rede de Difracção

A medição de cada um dos 3 primeiros máximos gerados pela rede de difracção, permitiu calcular o comprimento de onda da luz emitida pelo laser, obtendo-se os valores 532,1

nm, 533,3 nm e 533,4 nm correspondentes aos máximos de ordem 1 até 3, respectivamente. O erro à exactidão de cada uma das medições foi 2,10 %, 1,88 % e 1,86 %. Quanto ao erro à precisão sagrou-se para cada um dos máximos, respectivamente, em 2,70 %, 1,56 % e 1,06 %. O facto de tanto o erro à precisão como o à exactidão diminuírem com o aumento da ordem, fica a dever-se a cometermos o mesmo erros na medição mas agora para distâncias superiores. Na imagem obtida no alvo não se observaram máximos secundários dado o número de fendas pela qual o laser passa ser muito elevado (cerca de 600).

### **Fontes de erros**

Mais uma vez, a dificuldade de obtenção de valores mais precisos e exactos nesta parte do procedimento prende-se com o difícil alinhamento do aparato. No entanto, neste caso a presença dos operadores não influencia as medições, sendo o facto dos máximos não serem pontuais um contributo bastante importante para o erro. É ainda importante referir que a rede de difracção utilizada se encontrava partida, o que só por si impedia o alinhamento mais perfeito do aparato.

### **Laser – Fenda Única, Dupla, Tripla e Quádrupla**

No caso da fenda simples, calculou-se a abertura da mesma através da medição dos mínimos. O valor médio obtido foi 49,5  $\mu\text{m}$ , o que representa um erro à exactidão de 1 % (o valor tabelado é de 50  $\mu\text{m}$ ). O erro à precisão foi de 1,91 %. Deste modo, o erro à precisão cobre o da exactidão.

Para a fenda dupla, calculou-se a distância entre as mesmas, utilizando a posição dos máximos principais. O valor médio obtido foi de 98,03  $\mu\text{m}$ , o que representa um erro à exactidão de 1,96 %, enquanto o de precisão foi de 1,04 %. Observou-se ainda, por sobreposição desta figura com a de difracção por fenda simples que os mínimos da fenda simples também apareciam na figura da fenda dupla (os máximos de segunda ordem apareciam cortados). Tal facto vem a provar que a espessura das fendas são iguais.

Na fenda tripla, viu-se a existência de um máximo secundário entre os máximos principais. Também se observou que os máximos de ordem par apareciam cortados tal como anteriormente.

Na fenda quádrupla, observaram-se dois máximos secundários entre máximos principais, bem como o facto de os máximos de ordem par aparecerem cortados, tal como anteriormente.

Através da sobreposição de todas as figuras foi visível o facto de existirem mínimos comuns a todas elas. Estes são os mínimos da figura 1 e são responsáveis pelo facto de os máximos de ordem par das figuras 2, 3 e 4 aparecerem cortados. Tal fenómeno deve-se ao facto de a imagem observada ser o produto da difracção através das fendas e da interferência das ondas após passarem pelas várias fendas.

## Fontes de erros

As dificuldades encontradas nesta parte do procedimento são muito semelhantes com as do ponto anterior, acrescidas do facto de neste caso ser ainda mais difícil determinar as distâncias entre máximos, ou mínimos dado que estes apareciam desfocados no alvo.

## Difracção de Raios Catódicos

Nesta parte da experiência foi possível comprovar o carácter ondulatório das partículas através da difracção de raios catódicos. Como os raios catódicos são constituídos por electrões a deslocarem-se a grandes velocidades a eles está associado um comprimento de onda, determinado pela Lei de Broglie. Na experiência foram observados os círculos correspondentes aos máximos de primeira ordem da difracção dos raios por dois planos da estrutura da grafite. Através da medição dos raios dos círculos calculou-se um comprimento de onda experimental que se comparou com o teórico. Os resultados obtidos foram longe dos esperados, o que evidencia a existência de um erro sistemático ao longo das medições. O círculo exterior apresentou um menor desvio ao valor esperado do que o círculo interior. Isto deve-se provavelmente ao facto de as medições para o círculo exterior serem maiores que as do interior enquanto que o erro nas leituras é o mesmo.

## Fontes de erros

Este aparato experimental é, provavelmente, aquele que é mais susceptível a erros de medição, dado que o próprio referencial milimétrico usado é segurado pelo operador o que aumenta consideravelmente o erro obtido. Existe também uma dificuldade de visibilidade dado que o perímetro da circunferência como o seu centro não estão perfeitamente definidos, sendo ambos rodeados por uma mancha indefinida e também porque as condições de iluminação não eram ideais. Manter o referencial na posição correcta mostrou ser uma tarefa de especial dificuldade o que provavelmente afectou os resultados.