

Física I 2ºSem 2005/2006 Tagus Park

Guia do 3º Trabalho Laboratorial

Óptica ondulatória

Objectivos

Este trabalho está dividido em duas grandes partes.

Na I parte propomo-nos estudar e medir as figuras de difracção e interferência provenientes de uma fenda simples e de uma fenda dupla. Usamos o mesmo equipamento e estudo para medir uma espessura desconhecida (fio muito fino).

O objectivo da II parte é estudar 2 grandes fenómenos da óptica: difracção e refracção. Mais especificamente:

- Difracção por uma Rede de difracção.
- Refracção por um bloco paralelepipedico de resina.

Equipamento

O equipamento disponível consiste em:

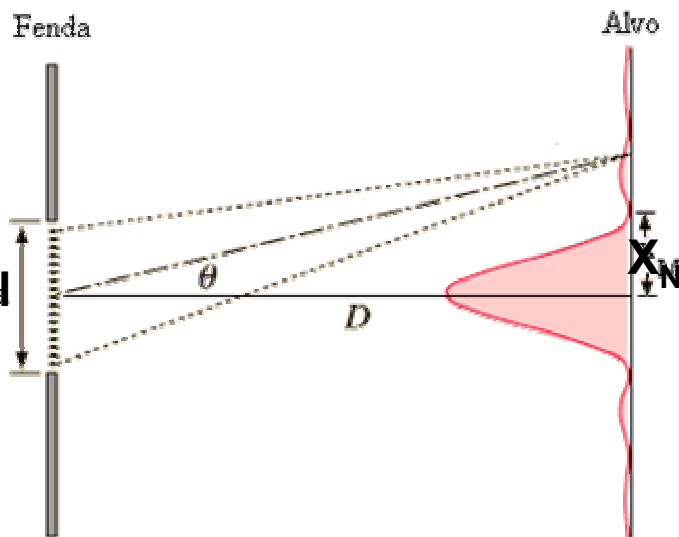
- 1 fonte monocromática (laser de 633nm)
- 1 fonte policromática (lâmpada de mercúrio (Hg); com 5 riscas na região do visível:
- 1 fonte contínua de luz visível (lâmpada de incandescência).
- 1 rede de difracção de 600 linhas/mm.
- 1 fenda simples
- 1 fenda dupla
- 2 blocos de resina de 100 mm de espessura.
- 1 fotómetro.
- Placa de aquisição Ni USB 6008.
- Computador e software apropriado (Labview e Origin).
- Fita métrica graduada em mm.
- Cronómetro.

PARTE I

O objectivo desta parte do Trabalho Laboratorial de Óptica é estudar as figuras de difracção e de interferência que se obtêm quando se interpõe uma fenda ou um obstáculo entre uma fonte de ondas electromagnéticas, no caso um laser de He-Ne, e um alvo.

1. Fundamentos teóricos.

Difracção por uma fenda simples ou um fio



Quando fazemos incidir luz sobre uma fenda de largura l , se o comprimento de onda usado for da mesma ordem de grandeza de l então vamos observar no alvo uma figura idêntica à mostrada ao lado. Tem um máximo central, bem definido, seguido de sucessivos máximos laterais muito menos pronunciados. Entre 2 máximos existe sempre um nulo, isto é, uma zona escura no alvo. A teoria da difracção permite calcular a posição dos máximos e dos nulos.

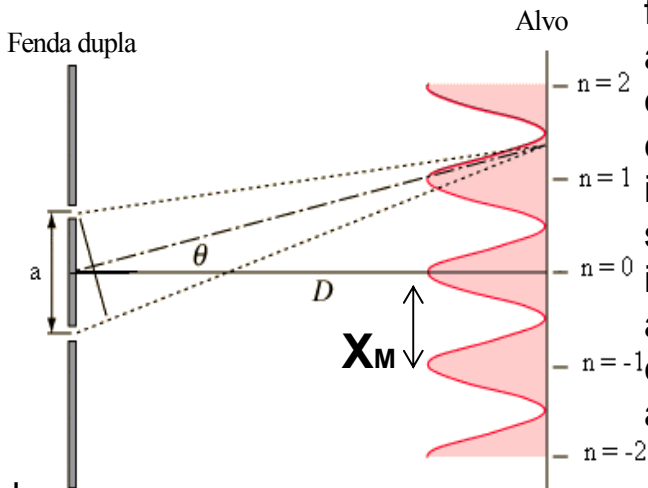
Sendo:

- λ o comprimento de onda da luz.
- D a distância da fenda ao alvo
- l a largura da fenda.
- X_N a distância até ao 1º nulo.

$$l = \frac{\lambda}{\sin \theta} = \frac{\lambda \sqrt{X_N^2 + D^2}}{X_N} \cong \frac{D\lambda}{X_N}$$

A intensidade no alvo é proporcional a: $\frac{\sin^2 u}{u^2}$, onde $u = \frac{\pi l \sin \theta}{\lambda}$

Interferência por uma fenda dupla



Quando em vez de uma fenda temos 2 fendas muito próximas, no alvo vai aparecer uma figura de interferência entre as 2 fendas. Se não tivermos em conta a difração (mas somente a interferência) a figura no alvo agora são sucessivos máximos de igual intensidade, mas mais próximos do que anteriormente. Entre 2 máximos continua a aparecer um nulo, como anteriormente.

Sendo:

- λ o comprimento de onda da luz.
- D a distância da fenda ao alvo
- a a distância entre as 2 fendas.
- X_M a distância até ao 1º máximo.

$$a = \frac{\lambda}{\sin \theta} = \frac{\lambda \sqrt{X_M^2 + D^2}}{X_M} \cong \frac{D\lambda}{X_M}$$

2) Procedimento experimental.

Pattern	No. Slits	Slit Width (mm)	Slit Spacing center-to-center (mm)
A	1	0.04	
B	1	0.08	
C	1	0.16	
D	2	0.04	0.125
E	2	0.04	0.250
F	2	0.08	0.250
G	10	0.06	0.250
H	2 (crossed)	0.04	
I	225 Random Circular Apertures (.06 mm dia.)		
J	15 x 15 Array of Circular Apertures (.06 mm dia.)		

Dispomos no Laboratório de slides contendo 3 tipos diferentes de fendas simples e de 3 tipos diferentes de fendas duplas (A, B e C).

Poderemos escolher qualquer delas para realizarmos as experiências I e II. Recomenda-se, no entanto, que se utilize a mesma largura de fenda nos 2 casos, para efeitos de comparação. Por exemplo os pares (A,D), (B,F) ou (A,E).

Um visor gráfico simula um ecrã de osciloscópio com uma base de tempo horizontal cuja escala é de 100 ms por unidade e uma escala vertical em Volts. Lateralmente vai encontrar 4 botões que pode e deve programar: **sample length**, **threshold**, **width** e **peaks/valleys**.

sample length: define o intervalo de tempo da sua amostra. Por default, assume-se 100,00 o que implica um total de 10 s. Normalmente este tempo deve colocar-se superior para garantir que o motor percorre toda a zona de interesse. Recomenda-se que use o valor de **1200** (o que implica, numa escala de 0.1 s, $1200 \times 0.1 = 120$ s para a amostra).

threshold: define o patamar a partir do qual queremos detectar picos. Por default assume-se 0.0. Tipicamente verificou-se que um bom valor seria **-0,3** Volt. Depois poderemos corrigir esse nível se os resultados obtidos assim o indicarem.

width: igual a **10** por default. Pode manter-se inalterado.

peaks/valleys: deve ter-se **valleys**.

Na parte inferior do painel frontal encontram-se os indicadores numéricos dos resultados obtidos:

found: indica o nº de picos encontrados, assinalados no mostrador escuro com pequenos rectângulos a vermelho

Locations: indica a localização dos picos detectados. Note que apesar de apenas aparecerem 11 localizações de cada vez, todas estão acessíveis. Estas localizações vão ser todas escritas num ficheiro de dados quando correr o programa.

Amplitudes: indica as amplitudes de cada um dos picos detectados.

Na barra superior do programa existem vários botões, mas só lhe interessa o **Run** representado por uma seta ⇒. Ao clicar nele uma vez o programa arranca e colhe uma amostra de sinal com $\text{samplelength} \times 0.1$ segundos. No final vai escrever 2 ficheiros para guardar as informações: **difrac-pontos.lvm** e **difrac-picos.lvm** no seu **Ambiente de Trabalho (Desktop)**. Estes ficheiros vão ficar com a extensão **.lvm** e portanto distinguem-se bem do programa que tem extensão **.vi**. Qualquer editor de texto abre estes ficheiros, nomeadamente o WORDPAD.

O 1º contém todos os pontos lidos e, obviamente, é com ele que iremos observar o gráfico obtido na experiência. O 2º contém a informação da posição e amplitude de cada pico detectado ao longo da translacção pelo software. Antes de deitar fora a visualização real da experiência que efectuou, deve confirmar a posição e oportunidade dos picos detectados colocando, manualmente, neste ficheiro todos os comentários e extras que achar necessários. Lembre-se que o software pode não ter detectado todos os extremos que lhe interessam ou pode ter detectado a mais.

Agora que tem toda a informação que precisa, guarde os 2 ficheiros com outro nome. Use, por exemplo, **experiencia1-pontos.lvm** e **experiencia1-picos.lvm**. Poderá então apagar os 2 inicialmente criados. Ao correr de novo o exemplo ele criará 2 novos ficheiros. Se não os apagar o exemplo fará o **append** dos novos resultados.

Antes de cada experiência que vai efectuar deve ter ainda uma outra preocupação: saber qual a velocidade do motor. Lembre-se que o software faz a aquisição automática dos dados com um intervalo de 0.1s. Assim, é fundamental saber a velocidade do motor para conhecermos a posição do detector (convertendo tempos em distâncias). Assim sendo, antes de pôr o motor a trabalhar devemos (**NOTA: Atenção o motor move-se nos 2 sentidos**):

- ler a posição inicial do detector (em mm).
- Iniciar e parar o cronómetro em simultâneo com o motor.
- ler a posição final do detector.

Tome nota de: $P_i, P_f, \Delta t$ A velocidade do motor é:

$$v = \frac{|P_f - P_i|}{\Delta t}$$

Tipicamente devemos obter: $v = 0.27 \text{ mm/s}$

a) Experiência I: medição da largura de uma fenda

Intercale uma fenda simples. Tome nota da fenda usada (nome e largura l).

- Leia a posição inicial do motor: $P_i = \dots \text{ (mm)}$
- Inicie o motor e o cronómetro.
- Inicie o software de aquisição.
- Pare o motor e o cronómetro. $\Delta t = \dots \text{ (s)}$
- Leia a posição final do motor: $P_f = \dots \text{ (mm)}$
- Verifique os resultados obtidos, quer visualmente quer através dos ficheiros escritos. Crie os ficheiros: **experiencia1-pontos.lvm** e **experiencia1-picos.lvm** escrevendo no ficheiro **experiencia1-picos.lmv** os valores de $P_i, P_f, \Delta t, D, \lambda$, e do tipo e largura l da fenda usada.
- O ficheiro **experiencia1-picos.lvm** deve ser incluído no Relatório.

b) Experiência II: medição da distância e largura de duas fendas

Repita o ponto a) agora para uma fenda dupla. Tome nota da fenda usada (nome, largura l e distância entre fendas a) e dos valores de $P_i, P_f, \Delta t, D$, e λ .

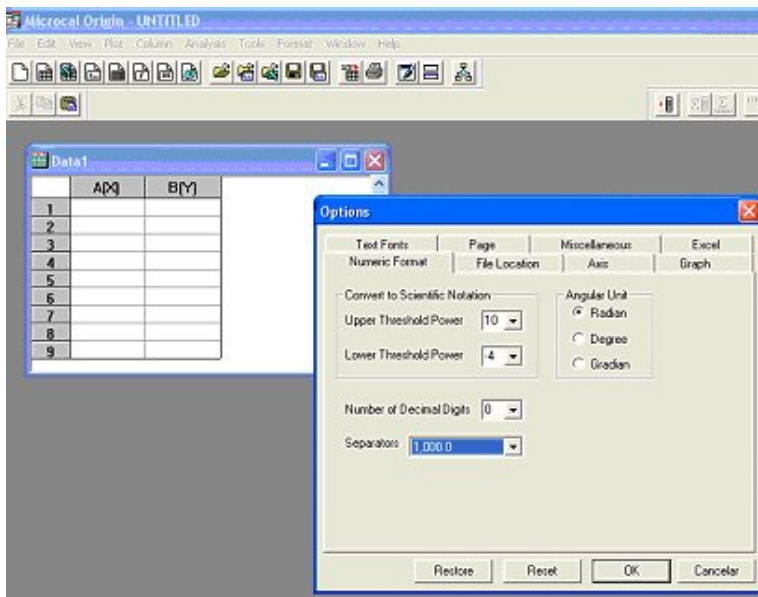
c) Experiência III: medição da espessura de um fio

Repita o ponto a) agora com um fio fino ou um cabelo. Tome nota dos valores de $P_i, P_f, \Delta t, D$, e λ .

3) Análise dos resultados.

No ponto anterior obtive 3 ficheiros de pontos contendo a informação necessária para os cálculos que agora nos propomos fazer. O 1º passo consiste em passar as 2 colunas de dados do ficheiro **pontos** para o programa ORIGIN.

Podemos construir uma tabela de dados, usando o programa ORIGIN que tem instalado no seu computador em **All programs** ⇒ **Development** ⇒ **Origin6.1**. Para não haver incompatibilidade na transferência de números decimais tabelados entre o ficheiro **.lvm**, que tem os dados adquiridos, e os ficheiros **.org** que vamos criar, deve seleccionar **Tools** ⇒ **Options** ⇒ **Numeric format** ⇒ **Separators** ⇒ e escolher **1,000.0**



Vá ao seu ficheiro de dados **experiencia-pontos.lvm** e faça **Copy** das 2 colunas de dados que quer usar. Selecciona as colunas A e B do ficheiro ORIGIN e faça **Paste**.

Começamos por trocar o sinal do eixo dos yy. O sinal do fotómetro é uma tensão negativa e nós queremos ver uma intensidade luminosa que é positiva.

Vá à **Column** ⇒ **Set Column Values** ⇒ e altere para **col(B) = -col(B)**. O eixo dos xx tem os tempos absolutos dados pelo software exemplo. A escala é 0.1 s. Vá à **Column** ⇒ **Set Column Values** ⇒ e altere para **col(A) = col(A)*0.1**

Podemos visualizar os dados em bruto.

Vá a **Plot** ⇒ **Scatter**, escolhe **A(X)** ⇔ **X** e **B(Y)** ⇔ **Y**, e vai obter o gráfico na janela **Graph1**.



O passo seguinte será trabalhar a escala dos dados colhidos. Queremos recentrar o gráfico de modo a obter o zero do eixo horizontal no centro do pico central (**Tc**). NOTA: Pode encontrar Tc no ficheiro picos, sendo a abscissa do pico mais alto. Para recentrar fazemos **col(A) → col(A) – Tc**. Para além disso queremos passar a escala de tempo para distâncias, multiplicando pela velocidade **v** do motor (**v=(P_i-P_f)/Δt mm/s**). Desta maneira, a posição virá em milímetros: **(col(A) – Tc) → (col(A) – Tc) * v**.

Vá então ao ficheiro **picos** e descubra a posição do pico central (**Tc**). Crie uma nova coluna **C** com **Column** ⇒ **Add New Columns**. Preencha-a com: **Column** ⇒ **Set Column Values** ⇒ **col(C) = (col(A) – Tc) * v**.

Tome atenção à unidade usada no eixo horizontal, acabada de criar (mm).

Estamos em condições de fazer o gráfico 2. Vá a **Plot** ⇒ **Line**, escolha **C(Y) ⇔ X** e **B(Y) ⇔ Y**, e vai obter o gráfico na janela **Graph2**.

Não se esqueça de escrever no gráfico os nomes e as unidades dos eixos, bem como toda a informação que julgue necessária.

Obtidos os gráficos de cada uma das 3 experiências podemos efectuar os cálculos que conduzem ao objectivo de cada uma delas.

- Experiência I - Fenda Simples

Obtenha a partir do gráfico a largura da fenda usada (**I**). Compare com o valor declarado pelo fabricante. Comente.

- Experiência II - Fenda Dupla.

Obtenha a partir do gráfico a largura da fenda usada (**I**) e a distância entre fendas (**a**). Compare com os valores declarados pelo fabricante. Comente.

- Experiência III - Fio fino ou Cabelo.

Obtenha a espessura do fio utilizado. Dê uma estimativa do erro, absoluto e relativo, do valor da espessura estimada por si.

Síntese final

Faça uma apreciação global dos resultados obtidos e da eficiência do equipamento e do método usados face aos objectivos propostos.

PARTE II

1. Medição do comprimento de onda usando uma rede de difracção.

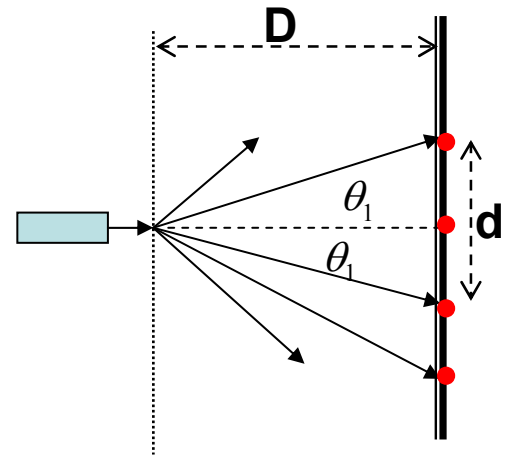
Começamos por observar e medir a difracção da luz por uma Rede de Difracção.

Fazemos incidir o laser sobre a rede de difracção e observamos os pontos luminosos no ecrã, para a esquerda e direita do feixe central.

Pela teoria da difracção sabemos que os máximos, neste caso pontuais, se obtêm pela

equação : $\delta \sin \theta_i = i \lambda$

onde “i” representa a ordem (i=1 significa 1º ponto luminoso quer à esquerda quer à direita) e “ δ ” a distância entre 2 linhas consecutivas da rede.



NOTA para alunos mais lentos: Se usar uma rede de 400linhas /mm obviamente tenho: $\delta = \frac{1}{400} mm = 25 * 10^{-7} m$

Medimos experimentalmente **D** e **d**.

D representa a distância entre a rede e o alvo.

d representa a distância entre os 2 pontos luminosos à esquerda e direita do centro.

Deve verificar-se a relação:

$$\text{tg } \theta = \frac{d/2}{D} = \frac{d}{2D}$$

Conhecida a tangente podemos calcular o seno e relacioná-lo com δ e λ .

$$\delta = \frac{\text{tg } \theta}{\sqrt{1+\text{tg}^2 \theta}} \lambda \Leftrightarrow \delta = \frac{d}{\sqrt{4D^2+d^2}} \lambda$$

a) Fonte monocromática e pontual (laser).

Conhecidos **D**, **d**, e δ podemos estimar o comprimento de onda do laser e compará-lo com o fornecido pelo fabricante (chinês!!...).

No relatório, os alunos devem preencher a **Tabela 1** do Relatório e fazerem os comentários apropriados.

b) Fonte policromática de riscas (lâmpada de mercúrio).

Observação das 5 riscas do mercúrio (Hg) no ecrã:

- Risca amarela --- 5780 A
- Risca Verde ----- 5460 A
- Risca Azul ----- 4360 A
- Risca Violeta 1 -- 4050 A
- Risca Violeta 2 -- 3650 A

NOTA: Mantém-se a relação anterior mas agora devemos juntar a **d** e a λ o índice "j" representando cada uma das "cores" (riscas):

$$\lambda \rightarrow \lambda_j; d \rightarrow d_j$$

Conhecidos **D**, **X**, e δ podemos estimar o comprimento de onda das riscas e compará-lo com o teórico.

No relatório, os alunos devem preencher a **Tabela 2** do Relatório e fazerem os comentários apropriados.

2. Medição do índice de refração de uma resina.

Para observarmos a refração vamos intercalar, entre a fonte (rede) e o ecrã uma substância transparente à luz da fonte (luz visível); neste caso será um paralelepípedo de uma resina acrílica.

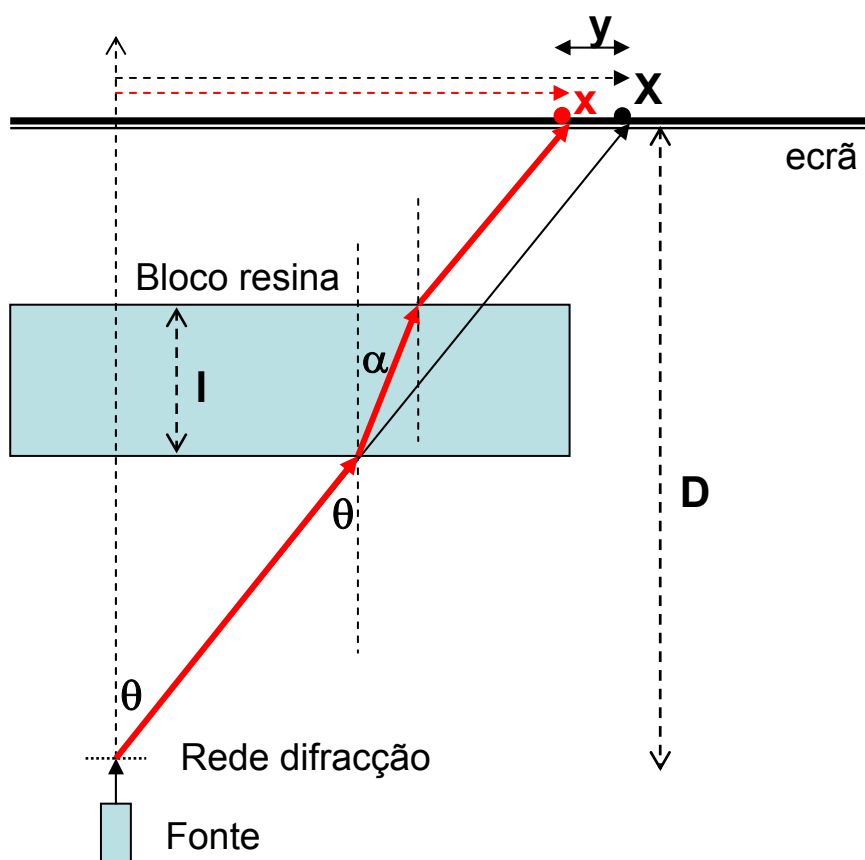
Tome nota da espessura do bloco usado: **l** = mm.

Observe a figura descritiva seguinte:

X –Trajecto do raio luminoso na ausência do bloco de resina.

$$\frac{X}{D} = \operatorname{tg} \theta$$

x –Trajecto do raio luminoso depois de atravessar o bloco de resina.



A lei da refração diz-nos que:

Porque n é maior do que 1 o ângulo alfa é menor do que theta e o raio luminoso vai aparecer na outra face do bloco mais perto do centro, desviando-se portanto. A partir daqui, e porque o trajecto se faz novamente no ar, o raio emergente passa a ser paralelo ao incidente.

No alvo é atingido o ponto x , ou seja, houve um desvio de $X-x=y$ para a esquerda. Repare que este desvio é o mesmo quer seja medido no alvo quer seja medido no bloco.

O cálculo teórico deste desvio dá-nos: $y = X - x = l \operatorname{tg} \theta - l \operatorname{tg} \alpha \Rightarrow y = l(\operatorname{tg} \theta - \operatorname{tg} \alpha)$

Usando a lei da refração otém-se:

$$y = l \sin \theta \left(\frac{1}{\cos \theta} - \frac{1}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \right)$$

Esta expressão relaciona o desvio no alvo y com o ângulo de difracção θ (que, como já sabemos, depende do comprimento de onda da luz incidente proveniente da rede de difracção), com a espessura do bloco l (um dado fixo) e com o índice de refração do bloco.

NOTA: É esta fórmula que, mais à frente, vai ser usada para gerar os valores de y usando um modelo para $n(\lambda)$. É claro que vai ser introduzido um ruído controlado para simular uma experiência real.

Invertendo a expressão anterior podemos obter o índice de refração n em função de θ e de y :

$$n^2 - 1 = \frac{y}{l} \cos^2 \theta \frac{2 \operatorname{tg} \theta - \frac{y}{l}}{(\operatorname{tg} \theta - \frac{y}{l})^2} = \Delta$$

Onde se introduziu a variável Δ

Obtendo-se, finalmente:

$$n = \sqrt{1 + \Delta}$$

a) Fonte monocromática e pontual (laser).

Coloquemos então o bloco de resina entre a rede e o ecrã. Meça o desvio y sofrido pelo raio luminoso. Relembrando as expressões utilizadas no ponto 1 podemos calcular Δ e n . Preencha a Tabela 3 do Relatório e faça os comentários que ache necessários.

b) Fonte policromática.

À semelhança das medições efectuadas com o laser vamos realizar um procedimento idêntico utilizando agora as riscas do mercúrio.

Cada uma das riscas corresponde, como já sabemos, a um comprimento de onda diferente e bem definido. Como tal vai ser difractado de um ângulo diferente e refractado sofrendo um desvio no alvo, como o laser.

Admitindo que o meio não é dispersivo, isto é, que trata todas as riscas de igual forma (o que sabemos não ser exactamente verdade), o desvio observado no alvo não deve depender do comprimento de onda. Assim sendo, podemos medir experimentalmente o desvio de cada uma das riscas, calcular o respectivo índice de refacção n e fazer uma média simples dos valores obtidos.

Utilize as mesmas expressões do ponto anterior e preencha a tabela 4 do Relatório. Faça os comentários que achar necessários.