

T3 - Interferência óptica

→ Objetivos

- Determinação do índice de refração do ar, através do interferômetro de Michelson, por dois métodos diferentes: i) variando o ângulo θ de um deslocamento Δd e contando o número de passagens de máximas (N)
- ii) variando a pressão na coluna de $p = 0 \text{ atm}$ até $p = 1 \text{ atm}$.
(Ver dependência de N com p)
- Determinação do índice de refração do vidro
- Determinação de parâmetros de干涉encia linear e circular e de uma干涉encia circular, através do deslocamento Δd
- Através do padrão de dispersão de um fio, determinar o seu diâmetro

→ Equações

- Determinação do índice de refração do ar, m_{ar}:

Método 1: $m_{ar} = \frac{N\lambda_0}{2\Delta d_N}$ (1) onde Δd_N corresponde a um deslocamento do espelho

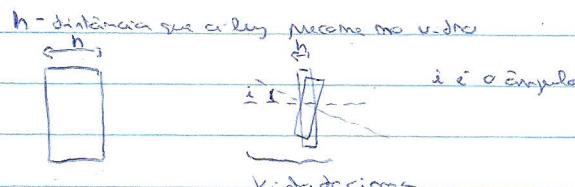
segundo o número de passagens de máximas por N
(NOTA: o padrão de interferência começa sempre máxima na caixa)

Método 2: $m_{ar} = 1 + \frac{\lambda N}{2d_c}$ (2) N é o número de passagens de Onde-linear-claro
 d_c é a separação da caixa

O índice de refração varia com a pressão (p) para pressões pequenas podemos escrever para uma variação linear de N com p

- Determinação do índice de refração do vidro, m_v:

$$m_v = \frac{h \tan \alpha}{h \tan \beta - N \lambda_0} \quad (3)$$



- Determinação da espessura b

$$b = m \frac{\lambda_0}{m \gamma_{\min} / \gamma_m} \quad (4) \quad \text{onde } \gamma_{\min} \text{ é o valor de } \gamma \text{ correspondente ao mínimo de intensidade; } m \text{ é o termo de máximas}$$

- Para determinar o diâmetro do fio aprimorar a máximas

- Diâmetro de uma abertura linear

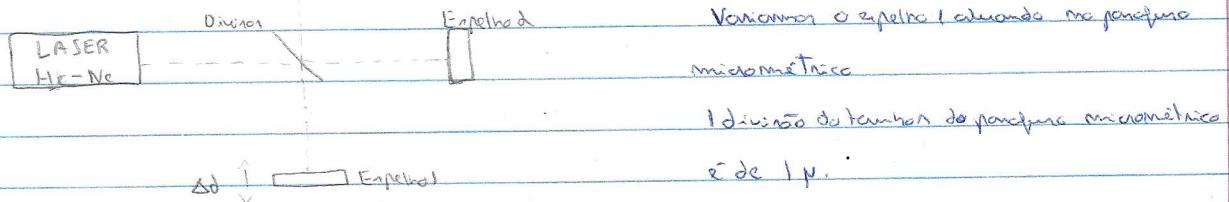
$$D = 1,66 \frac{\lambda_0}{m} \frac{d}{q_{\text{regato}}} \quad (5) \quad d = \text{distância entre os planos de observação}$$

$$D = 2,23 \frac{\lambda_0}{m} \frac{d}{q_{\text{regato}}} \quad (6) \quad m = \text{índice de refração do meio}$$

$$D = 3,24 \frac{\lambda_0}{m} \frac{d}{q_{\text{regato}}} \quad (7) \quad q_{\text{regato}} = \text{distância do centro do fio, ou seja, distância entre o centro e o círculo escuro}$$

→ Esquema de montagem e plano de trabalho

Esquema experimental do interferómetro de Michelson
Plano de observação



Determinação de λ_0 :

- Método 1: • Determinar no plano de observação o ponto central de interferência, a qual se deve mover para
- Deslocar o espelho utilizando o parafuso micrométrico e registar o deslocamento Δd_{1N} → o número N de passagens "luzente-escuro-luzente" do ponto central do padrão de interferência (selecionar N=70)

(Se necessário, alterar nos posicionadores de espelhos da medida a menor que o ponto central do padrão de interferência)

- Realizar este processo aproximadamente 10 vezes, mantendo o N
- Obter $\bar{\Delta}d_{1N}$ (valor médio de Δd_{1N}) e medir a temperatura ambiente

$$m_{\lambda_0} = \frac{N \lambda_0}{2 \bar{\Delta}d_{1N}} \quad \text{onde } \lambda_0 = 632,8 \text{ nm}$$

Fazer medição de m_λ e comparar com valor verdadeiro $m_{\lambda_0} = 1000,29 (20^\circ)$

→ Método 2

- Colocar cilindros de ar no topo 2 do interferômetro

Parte A - confirmar dependência linear da variação do índice de refração do ar com a pressão

- Alinear o interferômetro

Fazer variação na coluna

- Alterar o parafuso micrométrico de modo a ter o centro do padrão de interferência ligeiramente

- Aumentar a pressão e contar o nº de vezas de parafuso ligeiramente - escuro - ligeiramente (N) registrando os pares (p, N)

Parte B

- Fazer movimento procedimento de alinhamento

Fazer Vídeo

Aumentar gradualmente o ângulo da coleda até $P=10\text{cm}$ e contar o n.º de imagens N.

Repetir o processo experimentalmente 10 vezes e fazer \bar{N}

$$m_N \approx 1 + \frac{\lambda_0}{2dc} \quad \lambda_0 = 674,8 \text{ nm} \quad dc = 3 \pm 0,1 \text{ cm}$$

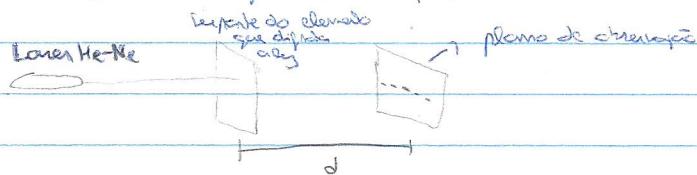
Determinação m_V

- colocar a lâmina de vidro na base do interferômetro, ficando paralela ao espelho desse bloco
- Atuar no princípio moissaniano de modo a ter o centro do padrão de interferência na lente
- Colocar com $i=0^\circ$ e incrementando e registrando os números N de imagens ($N > 2d$)
- Realizar o mesmo procedimento para outras velocidades de i e obter correspondentes $N(i)$
- Para cada par $[i, N(i)]$ obter m_V

$$m_V = \frac{h m_A^2 \sin i}{h m_A m_V^2 - N(i) \lambda_0} \quad h = 5,5 \pm 0,5 \text{ mm}$$

Determinar m_V e as incertezas associadas

Ensaio experimental para a difração



Vt. ligante, no canto do elemento que difere a largura, num ângulo obtuso, uma pista linear e uma pista circular

NOTA: Fotografar o padrão de difração

Determinação da abertura de uma fenda linear

- Colocar no espelho a fenda (colocar uma que já se tenha a abertura)
- Fazer a luz do laser He-Ne incidir na fenda (garantir que $d \geq 2\text{m}$ para se operar confortavelmente no regime de Fraunhofer)
- Medir d e Y_{\min}/l_m (Y_{\min} deve ser a medida da distância entre mínimos.)

$$\text{Obter } b = \frac{d}{m} \frac{\lambda_0}{Y_{\min}/l_m} \quad \text{para variar } m: m = 3, 5, 7$$

calcular b e as incertezas associadas

- Colocar uma pista de abertura variável e drawar a mudança de padrão de difração quando se varia a abertura.

- Para o diâmetro do fio o parâmetro é o mesmo
- Determinação de um espírito circular
 - Colocam no topo de uma placa com orifício circular
 - Identificam nesse plano o ponto central do padrão
 - Determinar as distâncias até os P, 1º e 2º círculos de interferência, manda aplicar as equações (5), (6) e (7).

29/10/2021

0,4mm diâmetro

Para medição, figura em escala no papel e aplica o LED



Dados experimentais e análise

Comparamos para determinar o índice de refração do ar através do método 1.

Podemos o parafuso micrométrico de modo a o padrão de interferência tenha o mesmo centro e contenham círculos de "brilhante - escuro - brilhante" registrando o número de círculos, N , e o deslocamento, Δd , que poi necessário aplicar no parafuso.

Realizamos este procedimento 10 vezes para valores de N entre 30 e 40 (não utilizamos N contabilizado como medimos em vez com valores de N diferentes, não tem sentido calcular \bar{N}). Tendo em vista, podemos calcular o Δd para cada par $(N, \Delta d)$ e, em seguida, calcular entre os Δd .

Os dados experimentais são os seguintes

$$\Delta d_{\text{av}} = \frac{N \Delta d}{2 \Delta d/N} \quad (1)$$

Experimento	d (μm)	N	Δd (μm)	Δd_{av} (μm)
1	9,2	94	1,17	0,03
2	9,2	30	1,03	0,03
3	12,5	40	1,01	0,02
4	11,0	30	0,86	0,02
5	11,2	36	0,82	0,02
6	10,1	72	1,00	0,02
7	10,1	31	0,97	0,02
8	11,4	40	1,11	0,02
9	10,1	33	1,03	0,03
10	10,6	33	1,02	0,03

$$\Delta d_{\text{av}} = \frac{N \Delta d}{2 \Delta d/N}$$

$$u(d) = 0,5 \mu\text{m}$$

$$\bar{m}_n = \frac{m_1 + m_2 + \dots}{N} \quad u_{\bar{m}_n}^2 = \frac{1}{N^2} \sum u_{m_i}^2 \quad \text{pela expressão de propagação de incerteza}$$

$$\bar{m}_n = 1,020 \quad u_{\bar{m}_n}^2 = 0,0008 \text{ ou } 2$$

$$\bar{m}_n = (1,020 \pm 0,002) \text{ adimensional}$$

A temperatura da calda foi $T = (20^\circ \pm 1)^\circ\text{C}$ pelo que corresponde à temperatura padrão que se obtém $m = 1,00029$. Só a massa da calda não se notou qualquer valor.

Deve assim, podemos calcular o erro experimental e a percentagem de incerteza:

$$\% \text{ erro} = \frac{|1,020 - 1,00029|}{1,00029} \times 100 = 2\%$$

$$\% \text{ inc} = \frac{0,002}{1,020} \times 100 = 2\%$$

O valor considerado verdadeiro está no intervalo $[\bar{m}_n - u_{\bar{m}_n}, \bar{m}_n + u_{\bar{m}_n}]$ pelo que a discrepância ao valor verdadeiro não é muito elevada. Além disso, o erro percentual e a percentagem de incerteza não são muito elevados pelo que obtemos um bom valor experimental.

A determinação da razão através da variação da pressão não foi possível devido ao equipamento não estar funcional.

Na determinação do índice de reflexão do vidro correspondente ao refletor de vidro no topo dois e confirmar a posição de interseção através do parafuso milimétrico devendo ter um máximo no centro da placa.

Comparamos com um ângulo $i = 30^\circ$ e, à medida que aumentámos o i , iam contando o número N de paragens "brilhante = escuro-brilhante".

O M_V foi calculado através da expressão (3)

$$M_V = \frac{h \sin i}{h \sin i - N \lambda}$$

Os dados experimentais obtidos foram os seguintes

Experimento $i ({}^\circ)$ N M_V $u(M_V)$

$$1 \quad 5,1 \quad 26 \quad 1,61 \quad 0,01 \quad \bar{M}_V = 1,607 \pm 0,01$$

$$2 \quad 4,9 \quad 20 \quad 1,597 \quad 0,009 \quad u_{\bar{M}_V} = 0,004 \pm 0,005$$

$$3 \quad 4,3 \quad 20 \quad 1,61 \quad 0,01$$

$$4 \quad 4,9 \quad 11 \quad 1,495 \quad 0,008 \quad \bar{M}_V = (1,607 \pm 0,008)$$

$$5 \quad 5,0 \quad 25 \quad 1,61 \quad 0,01 \quad \bar{M}_V = (1,61 \pm 0,01)$$

$$6 \quad 5,0 \quad 24 \quad 1,57 \quad 0,01$$

$$7 \quad 5,0 \quad 25 \quad 1,61 \quad 0,01$$

$$8 \quad 4,7 \quad 22 \quad 1,61 \quad 0,01$$

$$9 \quad 6,0 \quad 25 \quad 1,58 \quad 0,01$$

$$10 \quad 5,0 \quad 29 \quad 1,61 \quad 0,01$$

$$u(i) = 0,5^\circ$$

A amostra de vidro auxiliava muito

No metacolo foram apresentados 4 índices de refração correspondentes a 4 vidros diferentes.

Tendo em conta que o nosso valor experimental foi $n_{air} = 1,007$, o índice de refração mais próximo é o do vidro zinc-crown pelo que creio que tenha sido este vidro utilizada.

$$n = \frac{1,16}{1,1575} = 1,575$$

$$\text{O erro percentual é } \%_{air} = \frac{|1,16 - 1,575|}{1,575} \times 100 = 2\% \quad \%_{air} = 3\%$$

Nota: no cálculo estilizou-se $h = 5,5 \pm 0,5 \text{ mm}$, $\lambda_0 = 632,8 \text{ nm}$ e $n_{air} = 1,00029$.

No cálculo do índice de refração do ar, um possível fator de erro pode ter sido a remisibilidade do equipamento; teríava simplesmente haver um toque na menor parte de interferência visível (uma vez que podia verificá-la parcialmente dos espelhos); o parafuso micrométrico estava ligeiramente preso e, apesar de terem ficado de volta ao centro. N'oculos, o padrão de interferência retrocedia em si deitado tendo, desse modo, os contagens dos ciclos \rightarrow outro fator de erro possível (ambora tenha tido atenção).

No caso do índice de refração do vidro, pena除了 da remisibilidade da interferometro como referido anteriormente, se variou o ângulo θ para evitar deslocamentos verticais, talvez por não estar perfeitamente retilíneo, alterando o padrão de interferência, embora creio que não seja um fator relevante pois haveriam em alterações esse critério.

Em seguida fizemos a atividade de calcular o diâmetro de um fio de catete.

Colocamos no espelho um fio de catete, medimos a distância entre o suporte do fio e o plano que contém o plano de dispersão, $d = (220,3 \pm 0,05) \text{ cm}$ → fizemos incidir o feixe de laser no fio.

O padrão observado foi:

Embora se tenha tirado foto a este padrão, não utilizamos este para efetuar medidas



O Láser de He-Ne

Calculando a distância das minínimas do centro da pásada para o 1º e 3º miníma.

(NOTA: $d > 2m$ para se trabalhar corretamente no regime de Fraunhofer)

miníma $y_{\text{min}} (\text{cm})$ rel y_{min}

$m=1$	1,81	0,05 cm
	1,75	"
$m=2$	3,65	"
	3,75	"
$m=3$	5,55	"
	5,45	"

$$\text{Utilizando a expressão (4): } b = m \frac{\lambda}{y_{\text{min}}} \text{ cm}$$

$$b^2 = (m^2) \left(\frac{\lambda}{y_{\text{min}}} \right)^2 \text{ cm}^2 + \left(\frac{m^2 \lambda^2}{y_{\text{min}}^2} \right) \text{ cm}^2$$

$$\bar{b} = (7,9 \pm 0,4) \times 10^{-5} \text{ m} = (79 \pm 4) \mu\text{m}$$

b) comprimento medido pelo fito de caleão

$$\% \text{ inc} = \frac{0,4}{7,9} \times 100 = 5\%$$

NOTA: Para obter o valor de y_{min} marcamos os pontos correspondentes às minínimas e o máximo central no papel e tiramos as medidas.

Para a ganda linear o procedimento foi o mesmo, substituindo o fito de caleão pela régua e apontando com a régua. Como mediamos o suporte, o $d = (139,00 \pm 0,05) \text{ cm}$

Utilizei expressão (4)

A medida foi calculada

através da projeção de régua

miníma y_{min}

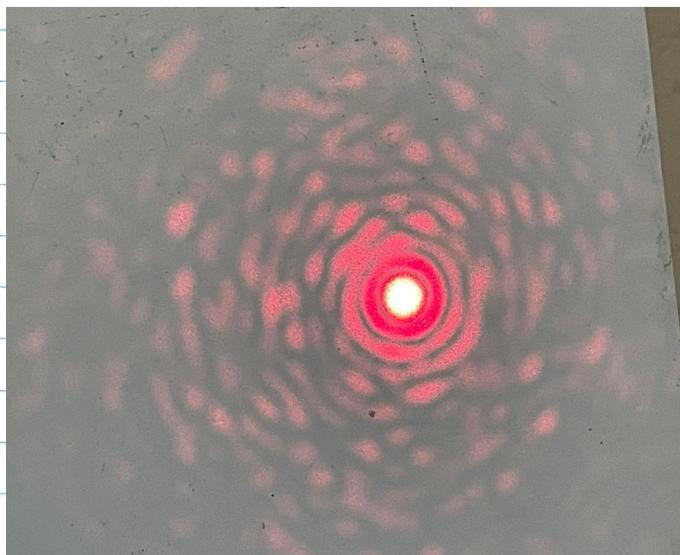
$m = \pm 1$	1,9	$\bar{b} = (79,5 \pm 3) \times 10^{-7} \text{ m}$
$m = \pm 2$	3,7	
$m = \pm 3$	5,45	

A distância da régua é $b = 8 \times 10^{-5} \text{ m}$ pelo que o erro percentual é

$$\text{Erro \%} = \left(\frac{8 - 7,95}{8} \right) \times 100 = 0,6\%$$

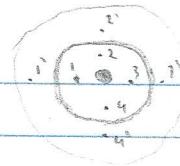
$$\% \text{ inc} = \frac{3}{79,5} \times 100 = 0,4\%$$

Finalmente, para a ganda circular obtivemos o seguinte padrão:



Neste caso, para cada minímo retomamos 4 valores de y_{min}

Novamente $\bar{d} = (234,00 \pm 0,05) \text{ cm}$



$q_0 \text{ (cm)}$	0,46 0,45 0,47 0,46
--------------------	------------------------------

$q_1 \text{ (cm)}$	0,89 0,8 0,7 0,85
$q_2 \text{ (cm)}$	1,19 1,18 1,17 1,12

Utilizou essação (51,16 e 57) para o caso de q_0, q_1 e q_2 respectivamente

$$\bar{D} = (4,00 \pm 0,08) \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$\% \text{ inc} = \frac{0,08}{4,00} \times 100 = 2\%$$

$$\text{erro \%} = \frac{|4,00 - 4|}{4} \times 100 = 0\%$$

O valor do diâmetro é $0,4 \text{ mm}$ rejeitando o valor junto à pente.

Na parte da atividade de obteram pente de refracção, os pedais estavam amaciados e a marca no papel dos mínimos das padras, não feito a dim.

Por outro lado, obtemos ter utilizado um papel milimétrico como vez que nos permitia reduplicar as distâncias com menor incerteza e maior precisão.

Em geral os resultados ficam muito bons tanto para o comprimento das grandezas lineares como para o diâmetro da pente circular com percentagem de erro muito reduzida.

Era interessante averiguar como o índice de refracção varia com a pressão; se de fato verifica-se ou não um regime linear para pressões entre 0 e 100 mm.

Percussão finca e condensor

Esta atividade permite entender o funcionamento do interferômetro de Michelson.

Através dele, determinaramos o índice de refracção do ar $n_{air} = (1,02 \pm 0,02)$ a menor de 2% de erro e 2% de incerteza e o índice de refracção da vidra $n_g = (1,61 \pm 0,05)$ a menor de 2% de erro e 7% de incerteza, podendo concluir que obtiveram valores experimentais adequados.

O diâmetro do fio de cobre foi $\bar{d} = (79 \pm 4) \mu\text{m}$ com uma percentagem de incerteza de 5% que deve parecer ser um ^{diametro} resultado aceitável para um fio de cobre.

Para o fio, a certeza da grandeza linear foi $\bar{L} = (795 \pm 3) \times 10^{-7} \text{ m}$ com uma percentagem de incerteza de 0,4% e com erro de 0,6%. O diâmetro das aberturas circulares foi $\bar{D} = (4,00 \pm 0,08) \times 10^{-4} \text{ m}$ com um erro de 0% e uma % de incerteza de 2%, o que também ficou resultado aceitável.