

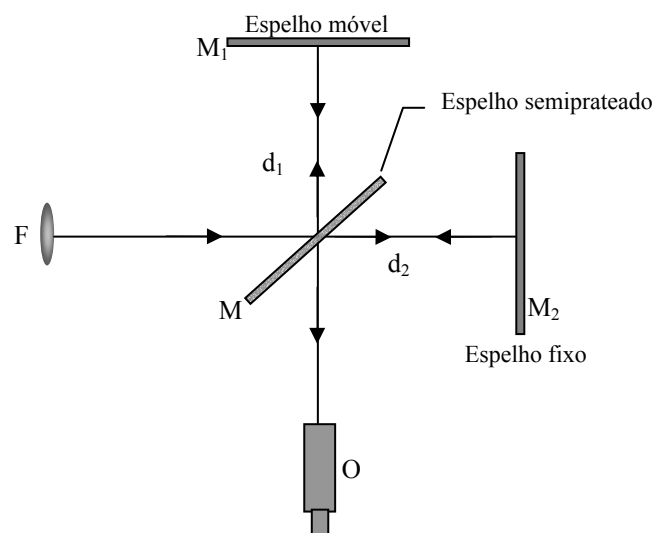
## MEDIDAS COM O INTERFERÔMETRO DE MICHELSON

### 1. Objetivo do Experimento

### 2. Fundamentação Teórica

#### 2.1. O interferômetro de Michelson

O interferômetro de Michelson é o tipo mais fundamental de interferômetro de dois feixes. Ele pode ser utilizado para medir comprimentos de onda com grande precisão. Este aparelho foi originalmente construído por A. Michelson em 1881 e visava comprovar a existência do éter, o meio no qual se supunha na época deveria se propagar a luz. O experimento, como se sabe, não foi bem sucedido e anos mais tarde, em 1905, A. Einstein publicou o seu famoso trabalho intitulado “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento” rejeitando definitivamente a existência do éter. A Fig. 1 a seguir mostra esquematicamente, a montagem do interferômetro.



**Fig. 1**

Considere que a luz parte da fonte extensa  $F$  e incide no espelho semiprateado ( $M$ ), de espessura desprezível. A luz é então dividida em dois feixes que seguem respectivamente para os espelhos  $M_1$  e  $M_2$  onde são refletidos de volta para  $M$  onde eles são respectivamente transmitidos e refletidos indo interferir no ponto de observação  $O$ . Sejam

$$Y_1 = a_1 \text{sen}(\omega t - \alpha_1) \quad (1)$$

e

$$Y_2 = a_2 \text{sen}(\omega t - \alpha_2) \quad (2)$$

as duas ondas que interferem em  $O$  e produzem como resultado uma onda que pode ser descrita como

$$Y = A \text{sen}(\omega t + \delta) \quad (3)$$

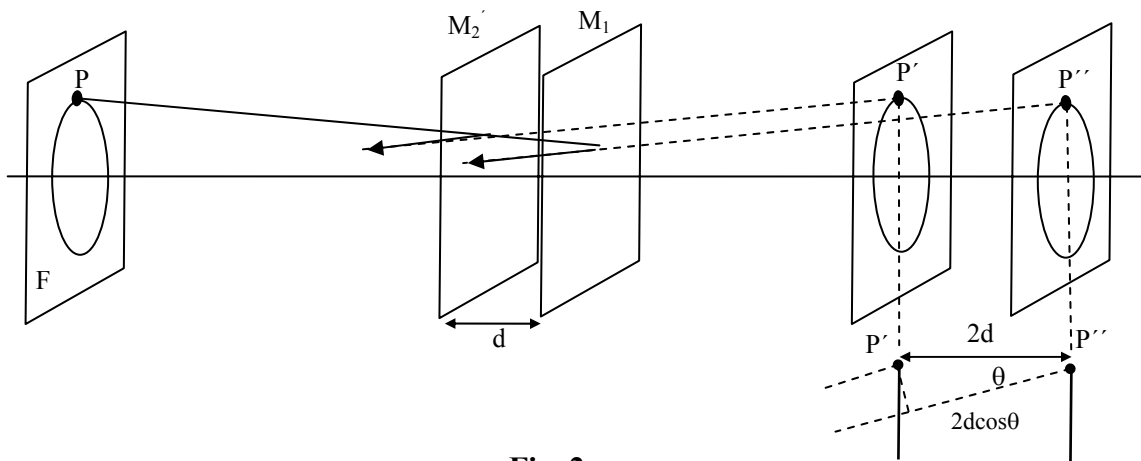
onde

$$A = (a_1 + a_2 + 2a_1a_2 \cos \delta) \quad (4)$$

e

$$\delta = \alpha_1 + \alpha_2 \quad (5)$$

Na pratica para se obter uma fonte extensa uma lente é inserida entre a fonte de luz e o espelho semiprateado. Sendo os espelhos perpendiculares entre si podemos o sistema é equivalente a uma luz proveniente de uma fonte extensa incidindo sobre uma camada de ar, de espessura  $d = d_1 - d_2$ , entre o espelho  $M_1$  e a imagem virtual do espelho  $M_2'$ , como ilustra da figura 2.



**Fig. 2**

Da figura 2 acima pode-se verificar que a diferença de fase entre os dois feixes é

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} 2d \cos \theta \quad (6)$$

onde  $\lambda$  é o comprimento de onda da luz utilizada. A distribuição de intensidade no caso em que  $a_1 = a_2 = a$  pode ser dada por

$$I \simeq A^2 = 4a^2 \cos^2 \frac{\delta}{2} \quad (7)$$

Portanto máximos ocorrerão cada vez que  $\delta$  for um múltiplo de  $2\pi$ , o que na equação (6) significa que

$$2d \cos \theta = m\lambda, \quad m = 1, 2, \dots \quad (8)$$

e círculos concêntricos são produzidos para cada valor de  $m$ ,  $d$  e  $\theta$ .

Se a posição do espelho móvel ( $M_1$ ) é variada de modo que  $d$  por exemplo diminua então, de acordo com a equação (8), o diâmetro do círculo também diminuirá. Portanto um círculo desaparecerá cada vez que  $d$  seja diminuída (ou aumentada) de  $\frac{\lambda}{2}$ .

## 2.2. Determinação do índice de refração do ar

Para determinar o índice de refração do ar um recipiente de comprimento  $s$  (cubeta) é inserido no caminho do feixe, em frente ao espelho fixo. Uma bomba de vácuo permite variar a pressão no recipiente.

O índice de refração de um gás é linearmente dependente da pressão  $p$ , tal que

$$n(p) = n(0) + \frac{\Delta n}{\Delta p} p \quad (9)$$

sendo que  $n(0) = 1$  e

$$\frac{\Delta n}{\Delta p} = \frac{n(p + \Delta p) - n(p)}{\Delta p}. \quad (10)$$

O caminho ótico para o feixe luminoso percorrendo o recipiente de comprimento  $s$  é

$$x = n(p).s \quad (11)$$

Se a pressão no recipiente for variada de  $\Delta p$ , este caminho ótico sofrerá uma variação de

$$\Delta x = n(p + \Delta p).s - n(p).s \quad (12)$$

Iniciando-se com a pressão ambiente ( $p_0$ ) e diminuindo-se até um valor  $p$ , observaremos que a configuração inicial do padrão de interferência (caracterizada por exemplo por um mínimo no centro do padrão) se repetirá  $N$  vezes. Cada mudança de mínimo para mínimo corresponde a uma variação de  $\lambda$  no caminho ótico. Assim entre as pressões  $p$  e  $p + \Delta p$  o caminho ótico será alterado por

$$\Delta x = \{N(p) - N(p + \Delta p)\} \lambda. \quad (13)$$

Considerando-se agora que o feixe de luz atravessa duas vezes o recipiente, pelas equações (12) e (13) temos

$$n(p + \Delta p) - n(p) = \{N(p) - N(p + \Delta p)\} \frac{\lambda}{2s} \quad (14)$$

e em vista da equação (10) podemos escrever:

$$\frac{\Delta n}{\Delta p} = - \frac{\Delta N}{\Delta p} \cdot \frac{\lambda}{2s} \quad (15)$$

A quantidade  $\frac{\Delta N}{\Delta p}$  pode ser determinada a partir do gráfico do número de variações do padrão de interferência versus a pressão. O índice de refração  $n$  é então determinado com o uso das equações (15) e (9).

### **3. Medidas**

O aparato experimental necessário está mostrado na Fig.03. Ele consiste dos seguinte itens:

1. Interferômetro de Michelson
2. Laser, He-Ne 1.0 mW
3. Lente f+20mm
4. Suporte para a lente
5. Banco ótico
6. Anteparo
7. Cubeta de vidro (comprimento s=10mm)
8. Bomba de vácuo manual com manômetro

#### **3.1. Ajustes iniciais**

A fim de obter o maior número possível de círculos de interferência, os espelhos do interferômetro precisam, antes de tudo, serem ajustados. Para fazer este ajuste remova a lente (L) que está entre o laser e o interferômetro. O feixe de laser incide sobre o espelho semi refletor sob um ângulo de 45°, dividindo-se em dois que são refletidos pelos espelhos móvel (M<sub>1</sub>) e fixo (M<sub>2</sub>) e finalmente atingem o anteparo (A). Ajuste os parafusos fixados à base do espelho fixo (M<sub>2</sub>) até que os pontos de luz proveniente dos dois espelhos coincidam. Coloque a seguir a lente (L) entre o laser e o interferômetro (exatamente no meio) e ajuste cuidadosamente até obter uma imagem de círculos concêntricos.

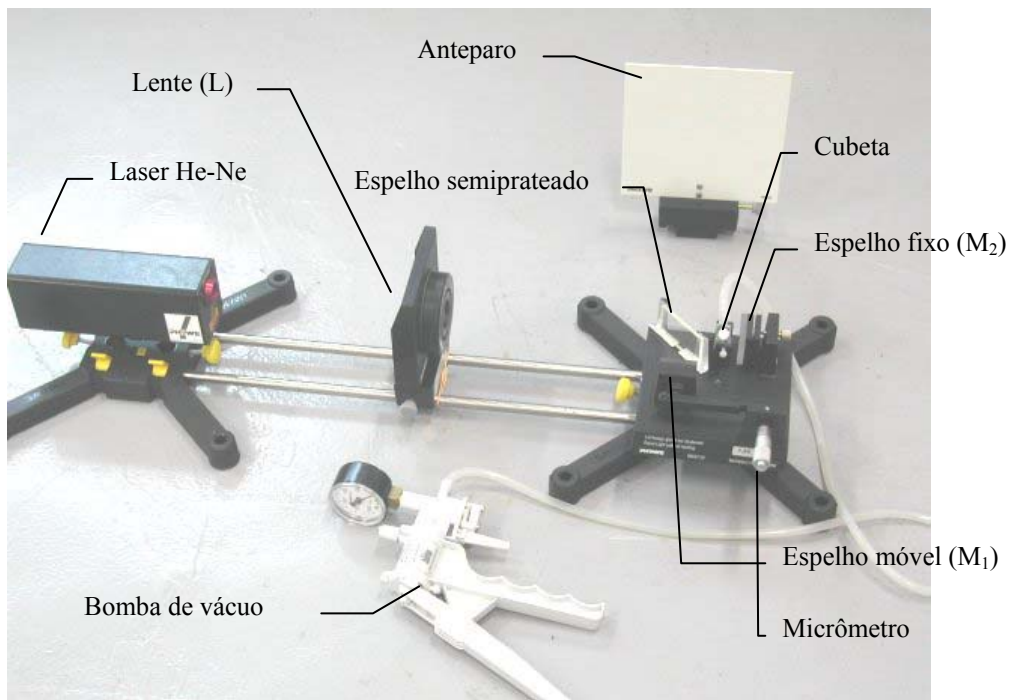


Fig. 03

### 3.2. Medida do comprimento de onda da luz do laser

Para medir o comprimento de onda da luz do laser ajuste o parafuso micrométrico em alguma posição inicial para a qual haja um mínimo de intensidade no centro do padrão de interferência.

- Anote a posição inicial do micrometro.
- Gire o parafuso micrométrico e conte o número de mínimos que chegam ao centro do padrão de interferência. Conte 100 períodos e anote a posição final do micrometro.
- Repita a medida contando 200 períodos.
- Lembre-se de avaliar os erros cometidos nas medidas

A distância que se deslocou o espelho móvel é obtida pela diferença entre as duas posições do micrometro dividida por 10 (fator de redução 1:10 – DISCUTA A RAZÃO DESTE FATOR). A partir destas medidas determine o comprimento de onda da luz do laser utilizado.

### 3.3. Medida do índice de refração do ar

Fixe a cubeta de vidro no suporte em frente ao espelho fixo (M<sub>2</sub>) e ajuste o interferômetro e a lente (L) para obter um padrão de círculos concêntricos..

Iniciando da pressão ambiente ( $p_0=1004$  mbar) diminua a pressão usando a bomba de vácuo anotando o número de mínimos que chegam ao centro do padrão de interferência (número de períodos). Anote em uma tabela o número de períodos ( $N$ ) em função da pressão ( $p$ ). Note que o valor  $p$  que você está medindo é na verdade o decréscimo sofrido pela pressão ambiente

dentro da cubeta. Faça medidas para  $N$  variando de 1 até 7. Avalie os erros cometidos nas medidas.

#### **4. Sugestões para o relatório**

As sugestões apresentadas abaixo não são limitativas. Visam apenas ressaltar alguns aspectos do experimento e da confecção do relatório que julgamos imprescindíveis.

- Determine o comprimento de onda do laser a partir das medidas efetuadas na seção 3.2. Qual o significado do fator de redução utilizado nestas medidas?
- Procure na literatura qual o comprimento de onda típico de um laser He-Ne e compare com o valor por você determinado.
- A partir das medidas efetuadas na seção 3.3, corrija o valor de  $p$  medido e trace o gráfico de  $N \times p$ . A partir do gráfico e tendo em vista o discutido na seção 22 determine o índice de refração do ar. Utilize o comprimento de onda medido na seção 3.2 e  $p_0=1004$  mbar.
- Procure na literatura o índice de refração do ar na CNTP e compare com o seu resultado.
- Não esqueça de sempre avaliar e apresentar os erros para cada resultado apresentado.

#### **5. Bibliografia e sugestões de leitura**

[1] PHYWE series of publications-Laboratory Experimentos-Physics-37070 Göttinger, Germany

[2] Artigo de Einstein, de 1920, sobre o éter e a teoria da relatividade:

[http://www.mountainman.com.au/aether\\_0.html](http://www.mountainman.com.au/aether_0.html)

[3] John P. McKelvey and Howard Grotch, "*Física 4*", Harbra - Harper & Row do Brasil, São Paulo (1981).

[4] R. M. Eisberg, "Fundamentos da Física Moderna", Guanabara Dois, Rio de Janeiro-RJ (1979)