

INTERFERÔMETRO DE MICHELSON

INTRODUÇÃO

A luz é constituída de ondas em que campos elétrico e magnético oscilantes se propagam no espaço. Quando dois feixes de luz se encontram no espaço, esses campos eletromagnéticos superpõem-se e o campo resultante é determinado pela soma vetorial dos campos de cada onda. Essa superposição de ondas é chamada de interferência.

Quando as duas ondas se originam de uma mesma fonte, há uma correlação entre as fases dos campos oscilantes. Nesse caso, em determinados pontos no espaço, as ondas podem se superpor em fase — crista com crista ou vale com vale —, produzindo uma onda resultante com amplitude máxima, e um ponto brilhante será visto. Em outros pontos, a luz dos dois feixes podem-se encontrar fora de fase — crista com vale — e um mínimo de intensidade — um ponto escuro — será visto.

O fenômeno de interferência é uma evidência importante da natureza ondulatória da luz e os dispositivos que permitem observar esse efeito são chamados de interferômetros. Alguns desses dispositivos são usados para medir o comprimento de onda da luz e, quando este é conhecido, podem, também, ser usados para medir distâncias extremamente pequenas, da ordem de 10^{-6} m. Em 1881, A. A. Michelson construiu um interferômetro para testar a existência do éter — um meio hipotético em que a luz poderia se propagar. Seus trabalhos foram cruciais para demonstrar que essa hipótese não era viável, contribuindo, assim, para consolidar a posição, hoje aceita, de que a luz é uma onda que não necessita de um meio para se propagar.

Neste experimento, o interferômetro de Michelson será utilizado para medir o comprimento de onda da luz de um *laser* e para medir o índice de refração do ar. Na Fig. 1 mostra-se um diagrama desse interferômetro. O feixe de um *laser* incide sobre um divisor de feixe em um ângulo de 45° . Esse divisor consiste em um espelho semitransparente, que reflete 50% da luz incidente e transmite o restante. O feixe incidente, então, divide-se em dois outros feixes: um deles é refletido em direção ao espelho E_1 e o outro é transmitido em direção ao espelho E_2 . Os espelhos E_1 e E_2 refletem o feixe de volta ao divisor de feixe. Metade da luz proveniente do espelho E_1 é transmitida através do divisor em direção à tela e metade da luz proveniente do espelho E_2 é refletida pelo divisor, também em direção à tela. Na tela, esses feixes superpõem-se produzindo um ponto brilhante ou escuro dependendo de se chegam ambos em fase ou fora de fase, respectivamente. Como os dois feixes se originam da mesma fonte, inicialmente, eles estão em fase. Ao se superporem em qualquer ponto da

tela, a diferença de fase entre eles depende da diferença de caminho — caminho ótico — percorrida por eles até a tela.

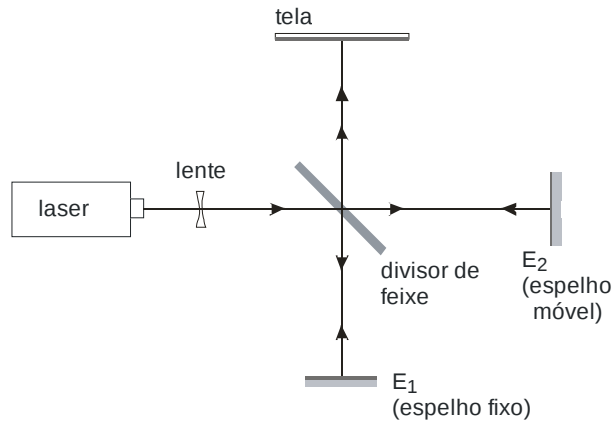


Figura 1 - Diagrama esquemático de um interferômetro de Michelson; o feixe de um *laser* expande-se ao passar através de uma lente e, em seguida, incide sobre um divisor de feixe, onde se divide em dois outros feixes — um deles é refletido em direção ao espelho E_1 e o outro é transmitido em direção ao espelho E_2 ; os espelhos E_1 e E_2 refletem o feixe de volta ao divisor de feixe e eles se superpõem na tela; produzindo franjas circulares de interferência.

Colocando-se uma lente divergente na frente do *laser*, o feixe de luz expande-se e um padrão de anéis claros e escuros é visto na tela, como representado na Fig. 2.

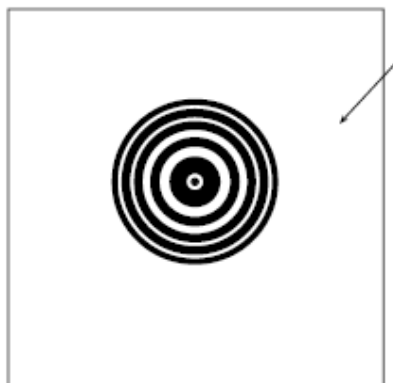


Figura 2 - Padrão de franjas de interferência que são observadas na tela do interferômetro.

Movendo-se o espelho E_2 , por meio de um micrômetro, é possível alterar-se a distância percorrida por um dos feixes. Como esse feixe passa duas vezes pelo caminho entre o espelho E_2 e o divisor de feixe, movendo-se E_2 a distância de $\lambda/4$ na direção do divisor, altera-se o caminho ótico

de $\lambda/2$. Nesse caso, no padrão de interferência, as regiões antes ocupadas por um máximo de intensidade passam a ser escuras e vice-versa. Movendo-se E_2 novamente a distância de $\lambda/4$, obtém-se um padrão de franjas idêntico ao original. Assim, movendo-se E_2 , lentamente, uma distância d , obtém-se o mesmo padrão de franjas original sempre que

$$2d = m\lambda,$$

em que λ é o comprimento de onda da luz no ar e $m = 1, 2, 3, \dots$ é determinado contando-se o número de vezes que o padrão de franjas original é restaurado.

Dessa forma, medindo-se d , pode-se determinar o comprimento de onda da luz ou, se este for conhecido, o interferômetro pode ser utilizado para se medir o deslocamento do espelho.

O interferômetro de Michelson também pode ser usado para se determinar o índice de refração em função da pressão de um gás. Isso pode ser feito fazendo um dos feixes de luz atravessar uma câmara transparente preenchida com o gás, como mostrado na Fig. 3.

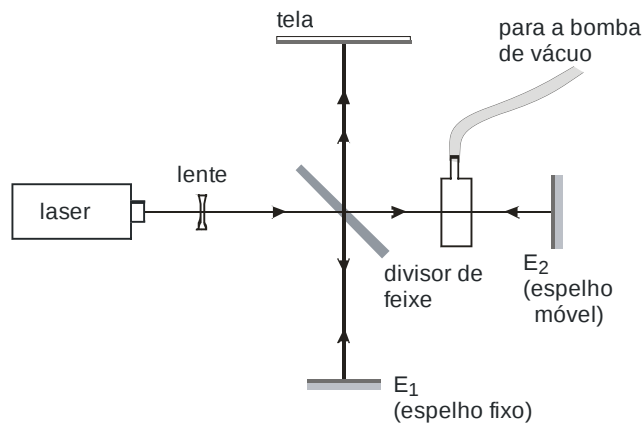


Figura 3 - Diagrama do interferômetro de Michelson utilizado para se determinar o índice de refração de um gás; o gás está no interior de uma câmara transparente, colocada no caminho de um dos feixes do interferômetro; alterando-se a pressão do gás na câmara, modifica-se o padrão de franjas de interferência.

Fora dessa câmara, os caminhos óticos dos dois feixes de luz do interferômetro não se alteram. Entretanto, no interior da câmara, o comprimento de onda da luz modifica-se à medida que a pressão do gás é alterada. Toda vez que o caminho ótico de um dos feixes for alterado de um comprimento de onda, cada franja clara torna-se escura e, novamente, clara e vice-versa.

Considere uma câmara de espessura d que contém um gás à pressão inicial p_i e que, nessa situação, o comprimento de onda da luz no gás é λ_i . Como o feixe passa duas vezes através da câmara, o número m_i de comprimentos de onda no interior dela é dado por

$$m_i = \frac{2d}{\lambda_i}.$$

Alterando-se a pressão do gás para p_f , o número m_f de comprimentos de onda λ_f na câmara passa a ser dado por

$$m_f = \frac{2d}{\lambda_f}.$$

Sejam n_i e n_f os índices de refração do gás nas pressões p_i e p_f , respectivamente, e λ_0 o comprimento de onda da luz no vácuo. Então, com $\lambda_i = \frac{\lambda_0}{n_i}$ e $\lambda_f = \frac{\lambda_0}{n_f}$, obtém-se

$$n_i - n_f = \frac{\lambda_0 \Delta m}{2d},$$

em que $\Delta m = m_i - m_f$ é o número de franjas de interferência contadas quando a pressão do gás passa de p_i para p_f .

O índice de refração n de um gás é igual a 1 no vácuo ($p=0$) e, para baixas pressões, é razoável supor que esse índice aumenta linearmente com a pressão p do gás, sendo dado por

$$n(p) = 1 + \frac{\Delta n}{\Delta p} p.$$

Assim, o gráfico de n versus p é uma reta com inclinação

$$\frac{\Delta n}{\Delta p} = \frac{n_i - n_f}{p_i - p_f} = \frac{\lambda_0 \Delta m}{2d \Delta p}$$

PARTE EXPERIMENTAL

Objetivos

- Determinar o comprimento de onda da luz de um *laser*.
- Determinar o índice de refração do ar em função da pressão.

Material utilizado

- *Laser* de He-Ne, interferômetro de Michelson, câmara transparente e bomba de vácuo.

Procedimentos

Atenção: Não toque na superfície dos componentes óticos utilizados neste experimento. Os espelhos são aluminizados na superfície frontal e podem ser facilmente danificados. Se tiver de limpá-los, use somente e um tecido macio embebido em álcool.

Medição do comprimento de onda da luz de um *laser*

- O interferômetro deve estar montado como mostrado na Fig. 4. Identifique, na montagem, todos os componentes mostrados na figura. Nesta primeira parte do experimento, a câmara não é necessária, podendo, pois, ser removida. Em seguida, ligue o *laser* e verifique se, na tela, aparecem anéis circulares concêntricos de interferência. Se não aparecerem, deverá ser feito o alinhamento do interferômetro. As instruções para isso devem estar junto ao equipamento.

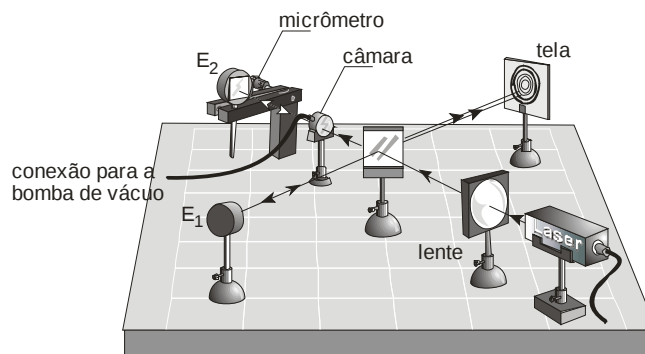


Figura 4. Interferômetro de Michelson utilizado neste experimento

- Procure familiarizar-se com o micrômetro utilizado para movimentar o espelho E_2 — veja instruções junto à montagem — e observe as alterações produzidas nas franjas de interferência ao se mover esse espelho.

- Gire o tambor do micrômetro lentamente e conte as franjas à medida que elas passam pela marca de referência. Meça o deslocamento do espelho E_2 que é necessário para se observar a passagem de pelo menos 100 franjas. Com esse resultado, determine o comprimento de onda da luz do *laser* e sua respectiva incerteza. Compare o valor obtido com o que é especificado pelo fabricante do *laser*.

Medição do índice de refração do ar em função da pressão

- Coloque a câmara transparente no percurso do feixe do *laser*, entre o divisor de feixe e um dos espelhos, como mostrado na Fig. 4; a espessura dessa câmara deve estar especificada junto à montagem.
- Utilizando a bomba de vácuo, retire, lentamente, o ar do interior da câmara, enquanto observa as mudanças no padrão de interferência. Explique o que você observa.

Atenção: A maior parte dos medidores de pressão fornece essa medida em relação à pressão atmosférica local. Nesse caso, o valor da pressão absoluta é determinado subtraindo-se da pressão atmosférica local – que deve ser fornecido - a medida obtida.

- Preencha a câmara novamente com ar. Lentamente, bombeie o ar para fora, enquanto conta o número Δm de franjas que passam pela marca de referência em função da pressão p do gás na câmara. Faça o gráfico de Δm em função de p e determine a inclinação deste. Escreva, então, a equação de $n(p)$. Determine, em seguida, o índice de refração do ar à pressão atmosférica, com sua respectiva incerteza.