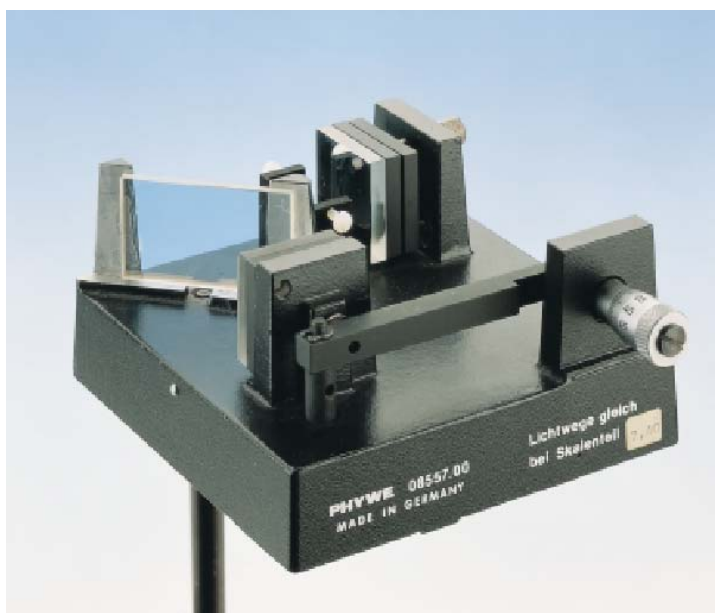


228 – Interferômetro de Michelson



Roteiro elaborado com base na documentação que acompanha o conjunto por:
Oswaldo Guimarães – PUC-SP & Otávio Augusto T. Dias IFT-SP



Tópicos Relacionados

Interferência, comprimento de onda, índice de refração, velocidade da luz, fase, fonte virtual de luz.

Princípios e objetivos

A luz sofre interferência, após passar por espelhos conforme a montagem de Michelson. O comprimento de onda é determinado com o deslocamento de um dos espelhos.

Equipamentos

	127 V	220 V	
Base suporte variável	02001.00	02001.00	2
Haste suporte, aço inoxidável, 600 mm	02037.00	02037.00	2
Interferômetro de Michelson	08557.00	08557.00	1
Filtro polarizador, 50 x 50mm	08613.00	08613.00	1
Célula de vidro para efeito Faraday	08625.00	08625.00	1
Bomba de vácuo manual	08745.00	08745.00	1
Suporte deslizante para banco óptico	09822.00	09822.00	3
Suporte com escala no suporte deslizante	09823.00	09823.00	1
Tela, branca, 150x150mm	09826.00	09826.00	1
Prendedor de diafragma, ajustável	11604.09	11604.09	1
Prendedor de lentes com lentes f=+20mm	41724.9E	41724.9E	1
Laser, HeNe, 0.5 mW polarização aleatória	41725.0E	41725.0E	1
Mangueira de Silicone	41725.1E	41725.1E	1

228 – Interferômetro de Michelson

Problemas

Determinação do comprimento de onda da luz laser utilizada.



Fig.1: Montagem experimental para interferômetro de Michelson

228 – Interferômetro de Michelson

Montagem e procedimentos

A montagem experimental é a mostrada na fig.1. A altura recomendada da montagem (altura da trajetória do feixe) é de 110 mm.

Após o caminho do feixe de laser estar ajustado com o espelho regulável M, os dois espelhos do interferômetro estarão ajustados.

Para iniciar, as lentes fixadas de $f = +20$ mm, devem ser removidas. O feixe de laser encontra com o espelho semitransparente em um ângulo de 45° e é dividido.

Os dois feixes parciais são refletidos pelo espelho correspondente e se encontram na tela SC.

Os dois pontos luminosos são encontrados através do ajuste em um dos dois espelhos.

O ponto luminoso é ofuscado ao se introduzir as lentes fixas $f = +20$ mm no caminho do feixe de laser. Obtém-se um ponto luminoso sem nenhuma figura de difração, ou seja, não há nem anéis de difração nem linhas.

Com um ajuste cuidadoso, podemos obter círculos concêntricos.

Para medir o comprimento de onda, o parafuso do micrômetro é girado para qualquer posição inicial, para qual o centro do anél de interferência é escuro.

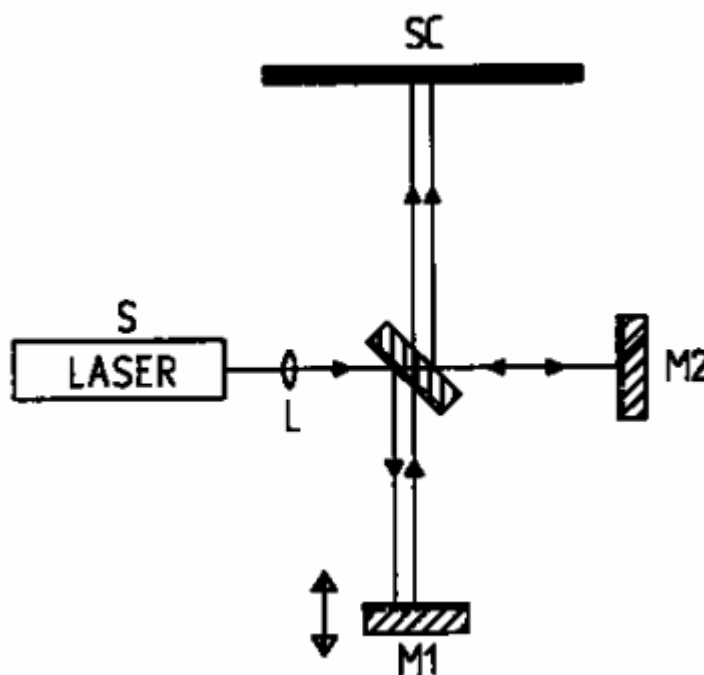


Fig.2: Montagem experimental do interferômetro de Michelson.

228 – Interferômetro de Michelson

Devido ao livre movimento do espelho, o parafuso do micrômetro é girado ainda mais na mesma direção. Ao fazer isto, conta-se os períodos dos máximos e mínimos.

O percurso do espelho pode ser contado através do micrômetro e dividido por 10 (transmissão da alavanca 1:10).

Observação: se o centro do anél sair fora do ponto luminoso, será necessário novo ajuste.

Teoria e Análise

Se duas ondas de mesma frequência ω e diferentes amplitudes e fase, atingem o mesmo ponto, elas irão se superpor na forma:

$$y = a_1 \sin(\omega t - \alpha_1) + a_2 \sin(\omega t - \alpha_2)$$

A onda resultante pode ser descrita por:

$$y = A \sin(\omega t - \alpha)$$

com a amplitude $A^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos \delta$ (1)

e a diferença de fase $\delta = \alpha_1 - \alpha_2$

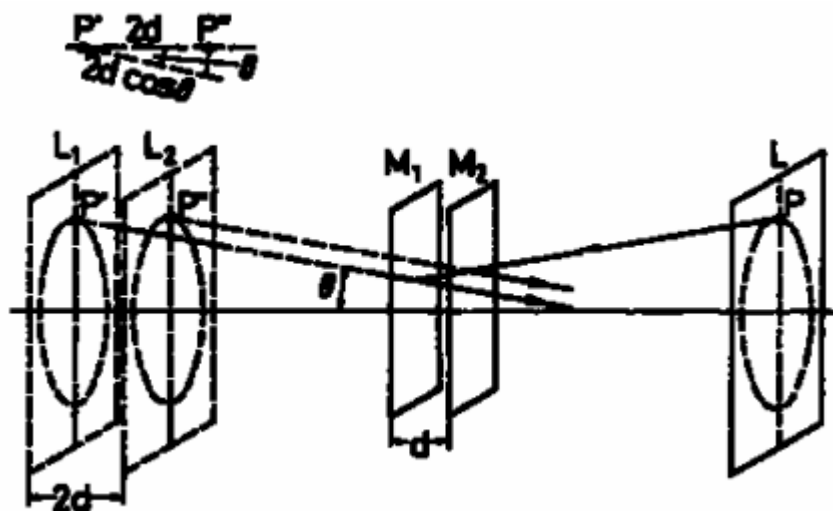


Fig.3: Formação dos anéis de interferência.

No interferômetro de Michelson, O feixe de luz é dividido em dois feixes parciais por um prato de vidro semitransparente (separação da amplitude),

228 – Interferômetro de Michelson

refletido por dois espelhos e trazido novamente para interferir novamente após passar pelo prato de vidro (fig.2). Como apenas pontos de luz estendidos podem mostrar anéis de interferência, o feixe de luz é aberto através de uma lente entre o laser e o prato de vidro.

Se o espelho real M_1 for substituído por uma imagem virtual M_2' obtido através de reflexão no prato de vidro, um ponto P da fonte real de luz aparece como pontos P' e P'' de fontes virtuais L_1 e L_2 .

Devido aos diferentes trajetos da luz, obtem-se a seguinte diferença de fase com as designações da Fig.3:

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

onde λ é o comprimento de onda do laser utilizado. De acordo com (1), a distribuição de intensidade para $a_1 = a_2 = a$ é:

$$I \approx A^2 = 4 \cdot a^2 \cdot \cos^2 \frac{\delta}{2} \quad (3)$$

Assim os picos ocorrem quando δ for múltiplo de 2π , ou seja, com (2):

$$2 \cdot d \cdot \cos \theta = m \cdot \lambda \quad \lambda=1, 2, \dots \quad (4)$$

Isto significa que anéis circulares são obtidos para valores fixos selecionados de m e d , como θ permanece constante (c.f. Fig.3).

Se mudarmos a posição do espelho móvel M_1 , de forma que d diminua, de acordo com (4), o diâmetro dos anéis também diminuem, conforme m for fixado para este anel. Assim o anel irá desaparecer cada vez que d for diminuído de um valor de $\lambda/2$. O padrão do anel desaparece quando $d=0$. Se M_1 e M_2 não forem paralelos, obtem-se faixas tortas, que começam a se endireitar por $d=0$.

Para medir o comprimento de onda da luz, 500 mudanças de anéis foram contadas, com um desvio medido do espelho de $158 \mu\text{m}$. Através disto o comprimento de onda que é obtido tem o valor :

$$\lambda = 632 \text{ nm}$$

228 – Interferômetro de Michelson

Determinação do índice de refração do ar com o interferômetro de Michelson

Conceitos utilizados

Interferência, comprimento de onda, índice de refração, velocidade da luz, fontes de luz virtuais.

Princípios

A luz sofre interferência, após passar por espelhos conforme a montagem de Michelson. Mudando-se a pressão no interior de um recipiente localizado no trajeto do laser, nos permite determinar o índice de refração do ar.

Equipamentos para este experimento

Laser HeNe

Suporte ajustável 35 x 35 mm

Superfície espelhada 30 x 30 mm

Interferômetro de Michelson

Suportes de componentes

Lentes fixadas, $f = +20$ mm

Recipiente para efeito Faraday

Bomba de vácuo manual c/ manômetro

Prendedor universal com articulação

Conector T, $d=8$ mm

Peça de redução 8/4 mm 3 peças

Mangueira de vácuo, $d=6$ mm 6 x 5,1 m

mangueira de silicone $d=3$ mm, 1m

Tela, branca 150 x 150 mm

228 – Interferômetro de Michelson

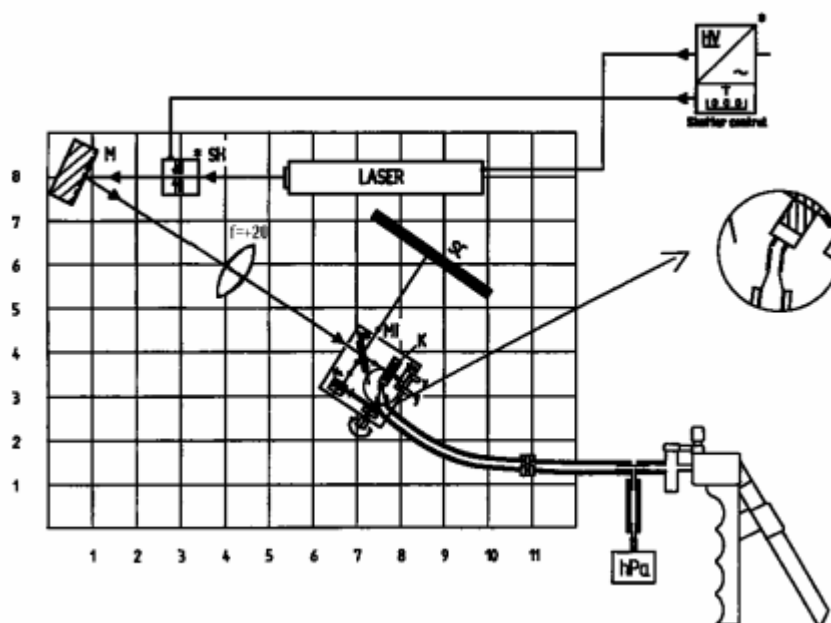


Fig.1: Montagem experimental para determinação do índice de refração do ar com o interferômetro de Michelson.

Montagem e procedimento

A montagem experimental é a mostrada na fig.1. A altura recomendada para a montagem (altura do trajeto do feixe) deve ser de aproximadamente 110 mm. O recipiente é fixado ao interferômetro e conectado à bomba de vácuo e ao manômetro. Após ajustar o trajeto do feixe pelo espelho regulável M_1 , o espelho e o interferômetro estarão ajustados.

Para iniciar, as lentes fixadas de $f = +20$ mm, devem ser removidas. O feixe de laser encontra com o espelho semitransparente em um ângulo de 45° e é dividido.

Os dois feixes parciais são refletidos pelo espelho correspondente e se encontram na tela S.

Os dois pontos luminosos são encontrados através do ajuste em um dos dois espelhos.

O ajuste se mantém até que os anéis de interferência concêntricos fiquem bem visíveis no centro.

Para determinar o índice de refração, o parafuso do micrômetro é girado para a sua posição inicial, na qual o centro do anel de interferência fique escuro. A pressão no recipiente é diminuída através da bomba manual. Conforme o centro dos anéis de interferência apresenta um mínimo de intensidade, a pressão e o correspondente número de mínimos percorridos são registrados. É diminuída a pressão no sistema através da alavanca da bomba manual.

228 – Interferômetro de Michelson

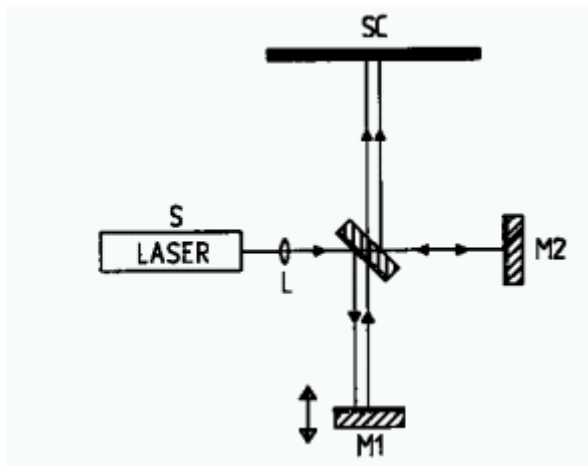


Fig.2: Montagem de Michelson para Interferômetro.

Teoria e Análise

Referente ao interferômetro de Michelson:

Se duas ondas de mesma frequência ω e diferentes amplitudes e fases incidem sobre o mesmo local, elas se superpõem para formar

$$y = a_1 \sin(\omega t - \alpha_1) + a_2 \sin(\omega t - \alpha_2).$$

A onda resultante pode ser descrita por $y = A \sin(\omega t - \alpha)$, com a amplitude

$$A^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos \delta \quad (1)$$

e a diferença de fase

$$\delta = \alpha_1 - \alpha_2.$$

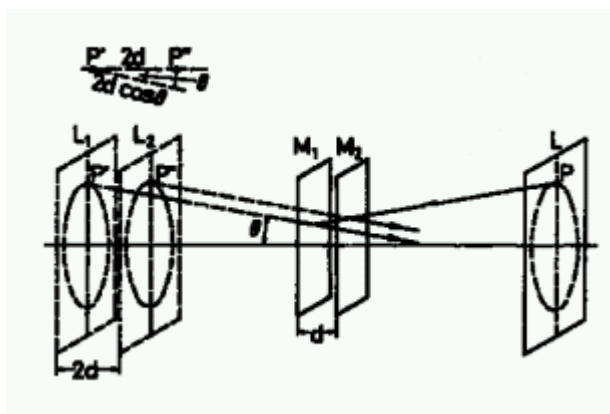


Fig.3: Formação de anéis de interferência.

228 – Interferômetro de Michelson

No interferômetro de Michelson, a luz é dividida em dois feixes parciais por um prato de vidro semitransparente (dividindo a amplitude), refletida por dois espelhos e levadas a interferir após o prato de vidro. Como apenas pontos de luz estendidos podem mostrar anéis de interferência, o feixe de luz é alargado por um sistema correspondente entre o laser e o prato de vidro.

Se um espelho real \mathbf{M}_2 for trocado por sua imagem virtual \mathbf{M}_2' obtida através da reflexão do prato de vidro, um ponto P da fonte de luz real aparece como pontos P' e P'' das fontes de luz virtuais \mathbf{L}_1 e \mathbf{L}_2 .

Devido à interferência dos caminhos dos feixes, e com as designações usadas na fig. 3, a diferença de fase é

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} 2d \cos \Theta, \quad (2)$$

onde λ é o comprimento de onda do laser utilizado.

De acordo com (1), a distribuição de intensidade para $a_1=a_2=a$ é

$$I - A^2 = 4a^2 \cos^2 \frac{\delta}{2}. \quad (3)$$

Máximos ocorrem, então, quando δ é um múltiplo de 2π , ou seja, quando em (2)

$$2d \cos \Theta = m\lambda; \quad m = 1, 2, \dots \quad (4)$$

que é o mesmo que dizer que encontram-se anéis para valores fixos de m e d , já que Θ permanece constante (ver fig. 3).

Se for modificada a posição do espelho móvel \mathbf{M}_1 , de modo que ocorra, por exemplo, decréscimo em d , o diâmetro do anel também diminui de acordo com (4), já que m é fixo para este anel.

Logo um anel desaparece toda vez que d for decrescido de $\lambda/2$. Para $d=0$, o padrão de anel desaparece. Se \mathbf{M}_1 e \mathbf{M}_2 não forem paralelos, obtêm-se faixas encurvadas que se tornam retas para $d=0$.

A fim de medir o *índice de refração n do ar*, um recipiente cheio de ar e com paredes planas, paralelas, é usada.

O índice de refração n de um gás depende linearmente da pressão P . Para uma pressão $P=0$, tem-se o vácuo absoluto, de modo que $n=1$.

O quociente da diferença $\Delta n/\Delta P$ é determinado como

$$\frac{\Delta n}{\Delta P} = \frac{n(P + \Delta P) - n(P)}{\Delta P} \quad (6)$$

onde $n(P)$ é o índice de refração do gás na câmara. Os caminhos da onda óptica d é

228 – Interferômetro de Michelson

$$d = n(P)s \quad (7)$$

onde s é o comprimento geométrico do recipiente vazio. Deve-se levar em conta que a luz passa duas vezes pelo caminho, por causa da reflexão do espelho. Então, variando a pressão dentro do recipiente por ΔP , o caminho óptico é variado por Δd ,

$$\Delta d = n(P + \Delta P)s - n(P)s. \quad (8)$$

Observa-se uma modificação no padrão do anel com mudanças na pressão (o centro do padrão de interferência do anel alternadamente mostra máximos e mínimos). Começando com uma pressão ambiente P_0 , observa-se, quando a pressão é reduzida, N vezes a restauração da posição inicial dos padrões de interferência (ou seja, um mínimo de intensidade no centro do anel) até uma certa pressão P . Uma mudança de mínimo à mínimo corresponde à uma modificação do caminho óptico por um comprimento de onda λ . Logo, entre a pressão P e $P + \Delta P$, o caminho óptico muda de

$$\Delta d = (N(P) - N(P + \Delta P))\lambda. \quad (9)$$

De (8) e (9), e levando em consideração que o recipiente é atravessado duas vezes pela luz, obtém-se

$$n(P + \Delta P) - n(P) = -(N(P + \Delta P) - N(P)) \frac{\lambda}{2s} \quad (10)$$

e, com (8),

$$\frac{\Delta n}{\Delta P} = -\frac{\Delta N}{\Delta P} \frac{\lambda}{2s}. \text{ Tabela 1:}$$

Número de N de mínimos encontrados com a pressão P correspondente.

Pressão normal P_0 era de 968 hPa.

ΔN	P(hPa)	ΔP (hPa)	$\Delta N/\Delta P$
1	878	110	$9,091 \times 10^{-3}$
2	768	220	$9,091 \times 10^{-3}$
3	858	332	$9,036 \times 10^{-3}$
4	540	448	$8,928 \times 10^{-3}$
5	438	550	$9,091 \times 10^{-3}$

A tabela 1 e a fig. 4 mostram um exemplo de medidas. A partir dos valores medidos com $s=10$ mm, é obtido como uma média para a modificação do índice de refração com mudança de pressão ($\Delta n/\Delta P$),

228 – Interferômetro de Michelson

$$\frac{\Delta n}{\Delta P} = -\frac{\Delta N}{\Delta P} \frac{\lambda}{2s} = 2,862 \cdot 10^{-7}.$$

Quando introduzido em (5), é obtido o índice de refração $n=1,00282$.
O valor dado pela literatura para pressão normal ($P=1013 \text{ hPa}$), temperatura de 22°C e comprimento de onda $\lambda=632,8 \text{ nm}$, é $n = 1,000269$.

Dica: Em condições adequadas, até 8 mudanças ΔN podem ser medidas de mínimo a mínimo.

Fig.4

