

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
LABORATÓRIO DE FÍSICA MODERNA

## Interferômetro

Adão Murillo dos Santos	RA:100126
João Marcos Fávaro Lopes	RA:98327
Lucas Maquedano da Silva	RA:98901
Pedro Haerter Pinto	RA:100852
TURMA:32	Professor: Nelson Guilherme Castelli Astrath

Maringá, 2018

# Sumário

<b>Sumário</b>	<b>1</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>2</b>
<b>2 Fundamentação Teórica</b>	<b>3</b>
2.1 O Interferômetro de Michelson . . . . .	3
2.2 Medição do índice de Refração do Ar . . . . .	4
<b>3 Desenvolvimento Experimental</b>	<b>6</b>
3.1 Materiais e Métodos . . . . .	6
3.2 Dados Obtidos Experimentalmente . . . . .	6
3.3 Interpretação dos Resultados . . . . .	7
<b>4 Conclusão</b>	<b>9</b>
<b>Referências</b>	<b>10</b>

# 1 Introdução

Interferência é um fenômeno que ocorre quando duas ou mais ondas sobrepostas se encontram fora de fase, gerando interferências construtivas e destrutivas conforme a interação entre as ondas, sendo a luz uma onda eletromagnética o fenômeno também se aplica a ela, como foi observado no experimento de fenda dupla de Young, as ondas de luz emitidas a partir das fendas se sobrepõem e criam faixas escuras e claras sendo estas os mínimos e máximos de intensidade luminosa gerados pela interferência. Michelson montou o seu interferômetro, aparato que foi utilizado no experimento contido neste relatório, a fim de mostrar a influência do "éter luminoso" (suposto meio necessário para a propagação da luz) sobre a velocidade da luz, o experimento mostrou a não existência do éter. No presente relatório, o interferômetro de Michelson será utilizado para determinar o comprimento de onda de um laser.

## 2 Fundamentação Teórica

### 2.1 O Interferômetro de Michelson

iiiiii f8d5dbf13b81f1364abbea5dea07f67d646da400

Em 1801, o físico e médico inglês Thomas Young desenvolveu o experimento de fenda dupla que demonstrou o fenômeno de interferência luminosa. Aproximadamente 80 anos depois, o físico Albert Abraham Michelson desenvolveu um interferômetro com mecanismo similar ao de Young. Vale ressaltar que o experimento foi concebido inicialmente com o intuito de comprovar a existência o éter como meio material. O interferômetro de Michelson se tornou mundialmente famoso devido à sua relatividade simplicidade e alta aplicabilidade, tanto no meio didático quanto no experimental. A Figura 1 demonstra o funcionamento do aparato.

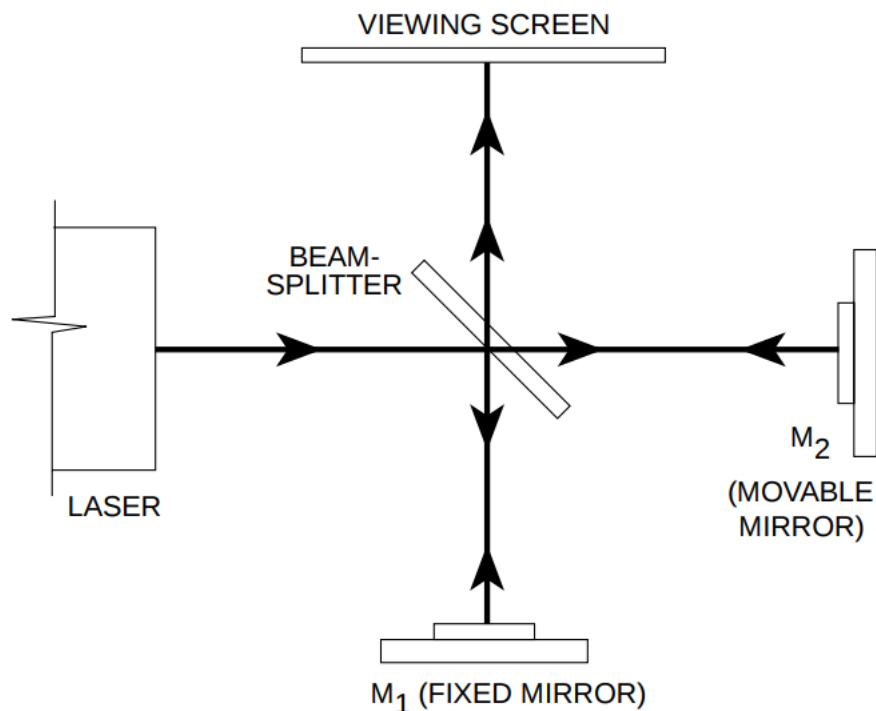


Figura 1: Interferômetro de Michelson

iiiiii HEAD Ao sair do laser a luz atinge o *beam-splitter*, onde *vidida de modo que 50% da mesma atinja o espelho fixo M1 e os outros 50% o espelho M2*. Ao atingir ambos os espelhos, a luz *fletida em dire ao beam-splitter mais uma vez*. No caminho de volta, os dois feixes *srojetados na superfe de visualiza*. A *separa e posteriormente unios feixes gera uma pequena defasagem entre os mesmos, essa defasagem ue causa a interferia*. Como a *diferene fase ordem do comprimento de onda, faz-se necessso o uso de uma lente divergente que amplia a imagem projetada, o que possibilita a visualiza do padre interferia*. ===== Ao sair do laser a luz atinge o *beam-splitter*, onde é dividida de modo que 50% da mesma atinja o espelho físico M1 e os outros 50% o espelho M2. Ao atingir ambos os espelhos, a luz é refletida em direção ao *beam-splitter* mais uma vez. No caminho de volta, os dois feixes são projetados na tela de visualização. A separação e posteriormente união dos feixes gera uma pequena defasagem entre os mesmos, essa defasagem é o que causa a interferência. Como a diferença de fase é da ordem do comprimento de onda, faz-se necessário o uso de uma lente divergente que amplia a imagem projetada, o que possibilita a visualização do padrão de interferência.

A defasagem entre os feixes de luz decorre da alavanca acoplada no espelho M2, ao variar a posição da alavanca é possível gerar uma diferença de fase entre os feixes de luz no momento em que se encontram projetados. Ao realizar sucessivas variações na posição do espelho M2 é possível determinar o comprimento  $\lambda$  a partir da distância  $d_m$  medida ao girar a alavanca de M2 e do número de franjas de interferência usando a equação:

$$\lambda = \frac{d_m}{m}$$

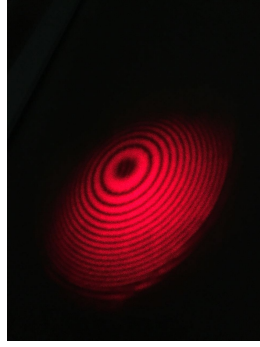


Figura 2: Padrão de interferência

Se  $\lambda$  for conhecido, a mesma equação pode ser utilizada para determinar a distância  $d_m$ .

## 2.2 Medição do índice de Refração do Ar

Por ser um equipamento extremamente sensível, verifica-se que vibrações como andar próximo ao aparato é o suficiente para provocar variações no padrão de interferência observado. Tendo em vista essa sensibilidade, torna-se possível medir o índice de refração do ar usando o mesmo equipamento.

Ao posicionar uma câmara de vácuo em um dos braços do caminho óptico e variar a pressão dentro da mesma, verifica-se uma série de variações no padrão de interferência projetado.

Considerando a pressão inicial da câmara como  $P_i$  e a final como  $P_f$ , tem-se as equações:

$$\lambda_i = \frac{2d_i}{\Delta m_i} \quad (1)$$

$$\lambda_f = \frac{2d_f}{\Delta m_i} \quad (2)$$

Intuitivamente, observa-se que para a diferença de pressão  $P_f - P_i$  surge a relação

$$\Delta m = \Delta m_f - \Delta m_i \quad (3)$$

$$\Delta m = \frac{2d}{\lambda_f} - \frac{2d}{\lambda_i} \quad (4)$$

$$\Delta m = \frac{2d}{\frac{\lambda_0}{n_f}} - \frac{2d}{\frac{\lambda_0}{n_i}} \quad (5)$$

$$\Delta m = \frac{2d}{\lambda_0} (n_f - n_i) (n_f - n_i) = \frac{\Delta m \lambda_0}{2d} \quad (6)$$

Dividindo a equação por  $(P_f - P_i)$ ,

$$\frac{n_f - n_i}{P_f - P_i} = \frac{\Delta m \lambda_0}{2d} \frac{1}{P_f - P_i} \quad (7)$$

De onde é possível escrever, por fim,

$$n_f = n_i + \frac{\Delta m \lambda}{2d \Delta P} (P_{atm} - P_0) \quad (8)$$

Onde

- $n_f$ : índice de refração final;
- $n_i$ : índice de refração inicial (vácuo);
- $\Delta m$ : variação do número de franjas;
- $\lambda$ : comprimento de onda do laser utilizado;

- $d$ : comprimento da câmara de vácuo;
- $\Delta P$ : variação de pressão registrada no manômetro;
- $P_{atm}$ : pressão atmosférica;
- $P_0$ : pressão inicial na câmara ( $P_0 = 0$ ).

### 3 Desenvolvimento Experimental

#### 3.1 Materiais e Métodos

iiiiii HEAD Foi utilizado para o experimento o equipamento PASCO Modelo OS-9171 cosntituido por: ===== Foi utilizado para o experimento o equipamento PASCO Modelo OS-8501 cosntituido por: f8d5dbf13b81f1364abbea5dea07f67d646da400

- Espelho fixo (M1);
- Espelho móvel (M2);
- Separador de feixes (beam-splitter);
- Micrômetro;
- Câmara de vácuo.

Sendo utilizado também:

- Lasers (um com comprimento de onda conhecido e outro a determinar);
- Lente divergente.

iiiiii HEAD O primeiro passo é alinhar o laser de comprimento de onda conhecido com o espelho móvel da base do interferômetro - é importante que o raio refletido seja desviado poucos milímetros do orifício do laser, evitando reflexões em seu interior. Após, insere-se a lente divergente entre o laser e o beam-splitter, posicionado a 45° de forma que o feixe seja parcialmente refletido para o espelho fixo, como consequência deve-se ver um padrão de franjas claras/escuras na superfície de projeção. Caso sejam formados dois padrões de franjas, deve-se ajustar o espelho fixo para que ambas se sobreponham. Recomenda-se demarcar na superfície de projeção os limites de uma das franjas para facilitar a contagem durante o experimento, outra sugestão é a de se usar uma câmera fotográfica com filmagem em câmera lenta durante a contagem.

#### 3.2 Dados Obtidos Experimentalmente

Após a realização do experimento duas vezes, foram obtidos diversos tempos de subida e descida, utilizando os mesmos, foram calculadas as velocidades de subida e descida e também o raio de cada gota, como é possível ver na tabela 1

Gota	$Vel_f \times 10^{-5}(m/s)$	$\Delta Vel_f$	$Vel_r \times 10^{-5}(m/s)$	$\Delta Vel_r$	$a \times 10^{-7}(m)$	$\Delta a$
1	4,31	0,3	2,03	0,05	4,69	0,03
2	5,58	0,64	1,9	0,01	5,21	0,16
3	3,11	0,02	1,64	0,06	4,46	0,04
4	0,85	0,63	0,6	0,33	3,68	0,24
5	1,11	0,56	0,91	0,25	3,09	0,4
6	2,22	0,26	1,5	0,09	3,82	0,21
7	0,83	0,63	0,53	0,35	3,98	0,17
8	1,68	0,4	0,87	0,26	4,5	0,03
9	3,5	0,08	1,89	0,01	4,41	0,05
10	4,53	0,36	1,93	0,02	4,87	0,07

Tabela 1: Valores calculados para as velocidades de descida( $V_f$ ), velocidade de subida( $V_r$ ) e o raio de cada gota( $a$ ), assim como o desvio padrão associado a cada medida.

Com os valores obtidos e utilizando a equação ?? é possível encontrar o valor de carga que cada gota possui, explicito na tabela 2.

===== O primeiro passo é alinhar o laser de comprimento de onda conhecido com o espelho móvel da base do interferômetro - é importante que o raio refletido seja desviado poucos milímetros do orifício do laser, evitando reflexões em seu interior. Após, insere-se a lente divergente entre o laser e o beam-splitter, posicionado a 45° de forma que o feixe seja parcialmente refletido para o espelho fixo, como consequência deve-se ver um padrão de franjas claras/escuras na superfície de projeção. Caso sejam formados dois padrões de franjas, deve-se ajustar o espelho fixo para que ambas se sobreponham. f8d5dbf13b81f1364abbea5dea07f67d646da400

Gota	$Carga \times 10^{-19}(C)$	$\Delta Carga$
1	2,22	0,17
2	2,99	0,38
3	1,41	0,05
4	0,22	0,37
5	0,35	0,33
6	0,93	0,18
7	0,2	0,37
8	0,55	0,28
9	1,7	0,03
10	2,32	0,2

Tabela 2: Valores da carga associada a cada gota, assim como o seu respectivo desvio padrão.

Recomenda-se demarcar na superfície de projeção os limites de uma das franjas para facilitar a contagem durante o experimento, outra sugestão é a de se usar uma câmera fotográfica com filmagem em câmera lenta durante a contagem.

Então é realizado a calibração do interferômetro utilizando o laser conhecido, inicialmente é posto a contagem do micrômetro no zero e então feito um deslocamento no espelho móvel utilizando a haste do micrômetro em 20 unidades, e contando quantas franjas são deslocadas é possível calibrar o interferômetro para que o comprimento de onda de qualquer laser possa ser encontrado.

O próximo estágio realizado é para se aferir o índice de refração do ar, é montado o equipamento com o laser de HeNe e antes do espelho fixo é posto uma câmara onde será feito vácuo, então o equipamento é alinhado novamente e variando a pressão na câmara de 10 em 10 mmHg é contado a variação das franjas.

### 3.3 Interpretação dos Resultados

Após a realização da primeira parte do experimento, é encontrado que cada variação do micrômetro equivale na verdade a  $20,2 \times 10^{-6}m$ . Substituindo o laser conhecido por um qualquer e utilizando a equação (1), é possível encontrar o comprimento de onda do laser.

Para a segunda parte do experimento, foram repetidas as aferições para que o erro fosse reduzido, então com os dados de  $\Delta P$  e  $\Delta M$  e utilizando a equação (8) são obtidos valores para a confecção do gráfico de  $\eta \times \Delta P$  encontrado na figura (3).

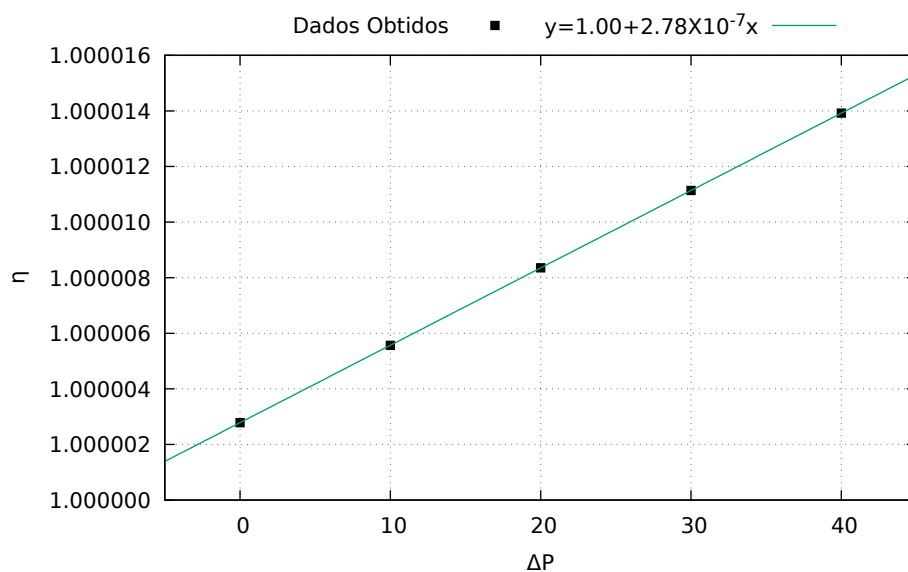


Figura 3: Interferômetro de Michelson

Assim

$$\alpha = \frac{\Delta m \lambda}{2d \Delta P}$$



$$\alpha = 2.78 \times 10^{-7}$$

*Calculando o valor do coeficiente angular da reta é possível encontrar o valor do índice de refração do ar,  $\eta_{ar}$ , aplicando o valor encontrado na equação (8) e para este experimento foi encontrado  $\eta_{exp} = 1.00002052$ .*

*Comparando o valor obtido com o teórico que vale  $\eta_{ar} = 1.000293$  é encontrado um desvio percentual de  $D\% = 0,0272\%$ .*

## 4 Conclusão

*Podemos dizer, com base no desvio obtido, que o experimento realizado foi bem sucedido. Mesmo com um erro pequeno, pode-se salientar alguns motivos pelo mesmo, como o movimento de pessoas no laboratório e a vibração do ar condicionado, visto que o aparelho é muito sensível, também, possíveis erros humanos na hora da contagem de franjas. Por fim, com o êxito do experimento, conseguimos determinar o índice de refração do ar satisfatoriamente.*

## Referências

- [1] *PASCO, Interferometer, Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model 0S-8501.*