



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



Roteiro didático de aplicação do interferômetro de Michelson-Morley para medida do índice de refração do ar

Hercilio Pereira Cordova
&
Helio Salim de Amorim ; Carlos Augusto Domingues Zarro

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Hercílio Pereira Cordova, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
Setembro de 2016

Roteiro didático de aplicação do interferômetro de Michelson-Morley para medida do índice de refração do ar

Hercilio Pereira Cordova

&

Hélio Salim de Amorim; Carlos Augusto Domingues Zarro

1 Introdução

Uma das aplicações do interferômetro de Michelson-Morley é a medida do índice de refração do ar atmosférico ou outro gás em função da pressão. Uma Célula selada com janelas ópticas (ver Produto III, Desenho de uma Célula de Ar) é inserida em um dos caminhos ópticos do interferômetro. A mudança da pressão dentro da Célula resulta em deslocamentos das franjas de interferência. Assim a cada franja que “andou” é resultado da mudança do índice de refração do ar dentro da Célula de Ar.

A pressão interna da Célula pode ser medida com uso de uma bomba de vácuo manual usada em oficinas mecânicas ou eletronicamente usando um Arduino (ver produto “Circuito e programa do módulo Arduino de leitura da Célula de Ar”).

Este complemento do interferômetro de Michelson-Morley deve ser usado depois de o interferômetro ser apresentado à sala de aula, com os alunos já familiarizados com o equipamento. O uso da Célula é rápido e preciso, garantindo um deslocamento de até 20 franjas de interferência.

A disposição dos espelhos e calibração do interferômetro deve ser feita pelos alunos para dar uma maior liberdade de aprendizado. A supervisão do professor é fundamental com as devidas instruções quando preciso. Ver figura1.



Figura 1. Alunos do C. E. José de Souza Marques (RJ) calibrando o interferômetro.

2 Roteiro de aplicação em sala de aula

Interferômetro de Michelson-Morley

Roteiro didático para aplicação do equipamento

Medindo o índice de refração do Ar em função da Pressão.

Objetivos: Apresentar os conceitos envolvidos no interferômetro de Michelson-Morley, seu contexto histórico e suas funções como ferramenta de medidas da ordem do nanômetro. Aplicando as propriedades de interferência da luz, reflexão, espelhos e lentes.

Como faremos? Utilizando um equipamento, chamado interferômetro e com uma configuração de espelhos de forma que um feixe de LASER é dividido em dois feixes, para posteriormente serem combinados formando uma figura de interferência construtiva e destrutiva.

Fundamentação teórica: Interferômetro pode ser definido como um equipamento que faz uso das interações de interferências de ondas eletromagnéticas para realizar medidas.

Utilizando uma fonte de luz coerente e monocromática na forma de feixe, o interferômetro faz uso de um divisor de feixe, que consiste em um semi-espelho, que reflete 50% do raio incidente e deixa passar ou transmitir os outros 50%. Cada feixe percorre um trajeto diferente, o qual é chamamos de caminho óptico.

Em cada caminho óptico o feixe é refletido de volta pelo mesmo caminho por um espelho, assim os dois feixes retornarão ao divisor de feixe sendo novamente uma parcela transmitida e outra refletida. A parcela transmitida retorna a fonte, a parcela refletida é direcionada a um anteparo, que pode ser uma tela de projeção, parede ou qualquer superfície que permita visualizar o feixe. Veja a figura 2.

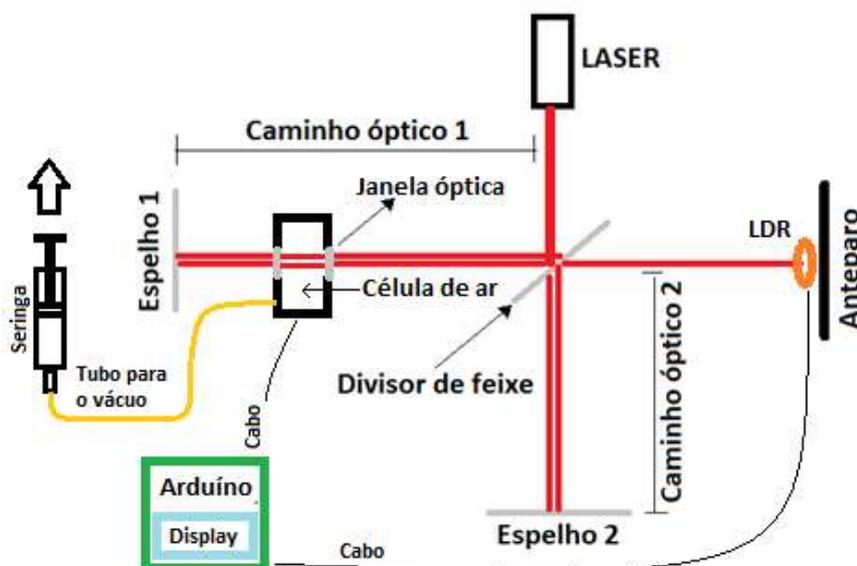


Figura 2. Interferômetro de Michelson-Morley.

Ao se encontrarem no anteparo cada feixe de luz sofre interferência, que pode ser construtiva ou destrutiva.

Interferência construtiva: Considerando a luz uma onda, e estando em fase, a interação de duas ondas resulta em uma soma de amplitudes, que no interferômetro é visualizado como um anel ou barra mais intensa da cor da fonte de luz usada. Ver figura 3.

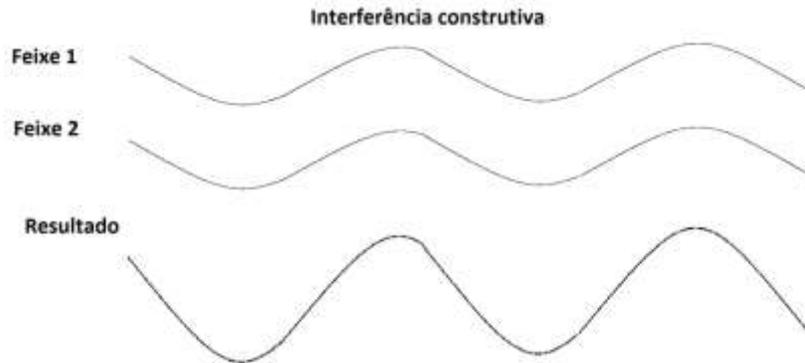


Figura 3. Interferência construtiva entre ondas

Interferência destrutiva: Considerando a mesma situação, mas as ondas estando fora de fase a resultante é nula, ou seja, é visualizada como a ausência de luz, como barras ou anéis escuros. Ver figura 4.

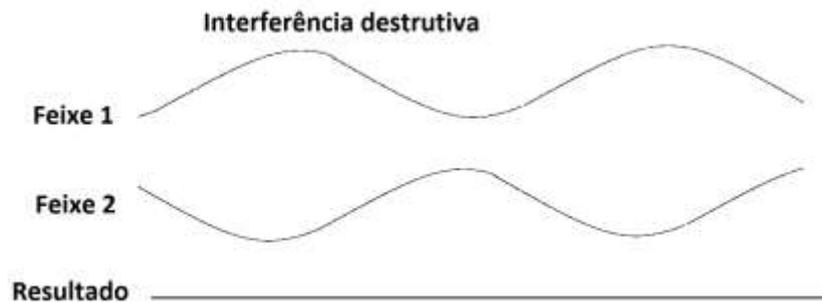


Figura 4. Interferência destrutiva entre ondas

Olhando o anteparo de frente devemos ver uma figura com anéis concêntricos ou barras paralelas. Ver figura 5.



Figura 5. Anéis concêntricos e barras paralelas

A propriedade de medida do interferômetro encontra-se no fato que sempre que um dos caminhos ópticos sofre uma alteração de comprimento igual a meio comprimento de onda da luz usada, os anéis ou barras a qual chamaremos de franjas sofrem um deslocamento (como se andassem). Assim no caso dos anéis concêntricos o ponto escuro no meio se torna claro, caso haja mais uma mudança no caminho igual a meio comprimento de onda ele voltara a ser escuro.

Contando o numero de mudança de claro → escuro → claro, temos uma forma de realizar medidas com uma alta precisão. O exemplo do equipamento usado, temos um LASER de 502nm de comprimento de onda, assim é possível realizar medidas de deslocamento de 251nm. A montagem do equipamento em sala de aula é simples, bastando apenas inserir a Célula de Ar em um dos caminhos ópticos do interferômetro. Ver figura 6.

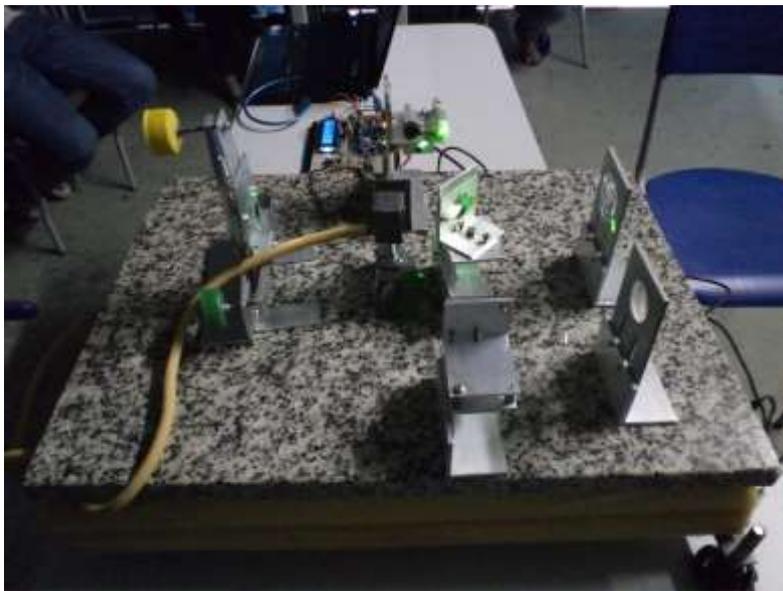


Figura 6. Interferômetro de Michelson com Célula de Ar.

A projeção da imagem de interferência deve ser realizada de 3 a 4 metros do anteparo. No casa de uma sala de aula o anteparo ideal pode ser o quadro, pois sua superfície lisa permite uma boa aderência da ventosa que sustenta o LDR. Ver figura 7.



Figura 7. Imagem de interferência projetada no quadro de uma sala de aula.

Medida do índice de refração do ar

Refração: Mudança da direção (ângulo) de uma onda quando muda de meio material, sendo sempre um valor maior que 1. Sendo representado pela letra n .

O experimento de medida que vamos realizar consiste em medir o índice de refração do ar em função da pressão. Assim em um dos caminhos ópticos iremos colocar uma célula selada com duas janelas para passagem dos feixes de luz. Com uso de uma seringa iremos realizar um vácuo dentro da célula, ou seja, a pressão irá cair de acordo com que puxamos o êmbolo da seringa. Ver a figura 7.

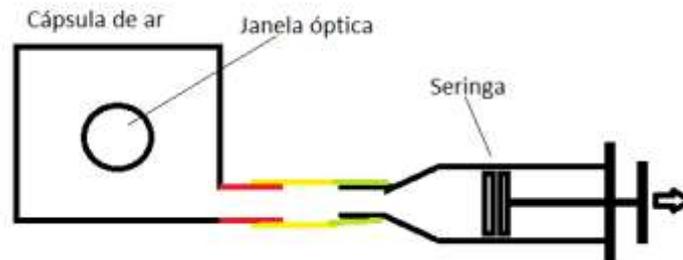


Figura 7. Esquema do sistema Célula de Ar, mangueira de borracha e seringa.

A cada vez que a pressão é reduzida o índice de refração do ar reduz, observando que ao atingir o vácuo completo este índice é igual a 1. A pressão é registrada com uso de um sensor de pressão BMP180 inserido dentro da célula. Os valores são lidos por uma placa microcontrolada Arduino, sendo os valores de pressão apresentados num display de LCD.

Assim sempre que há um deslocamento completo de um anel, que chamaremos de franja, com símbolo de N , significa que o caminho óptico sofreu alteração de meio comprimento de onda e a pressão dentro da capsula foi alterada.

Em posse da pressão e do número de franjas deslocadas, podemos medir o índice de refração do ar em função da pressão com o uso da expressão:

$$\frac{\Delta n}{\Delta P} = - \frac{\Delta N}{\Delta P} \frac{\lambda}{2s}$$

Sendo:

Δn = Variação do índice de refração do meio e $\Delta n = |n_f - n_i|$

n_i = Índice de refração do ar a 1atm. (1,000283)

n_f = Índice de refração do ar a pressão P .

ΔP = Variação da pressão em hecto Pascal.

ΔN = Variação de franja.

s = Comprimento da célula de ar (0,02250m)

λ = comprimento de onda do LASER (532nm)

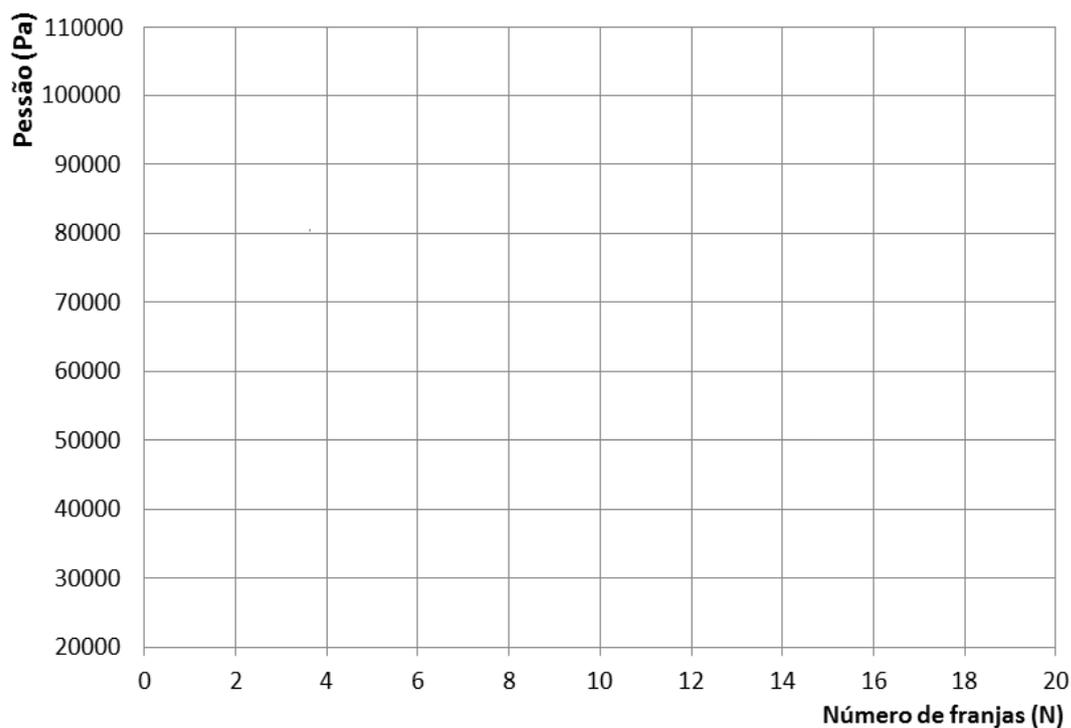
Podemos reagrupas as variáveis de forma a isolar o índice de refração do ar dentro da célula.

Após a leitura de dados do experimento deve ser preenchida a tabela abaixo e realizando a construção do gráfico de *Pressão x Numero de franjas*. O gráfico pode ser construído no quadro com a participação de toda a sala, ou em grupos, porem usando os dados das leituras de cada grupo.

Tabela de dados do experimento

ΔN	Pressão	$\Delta P (P_f - P_i)$	n_f
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Gráfico de Pressão x Número de franjas



4 Conclusão

A medida do índice de refração do ar é um dos experimentos que mais chama a atenção em uma sala de aula, pois não há partes móveis agindo sobre o espelho para mudar o caminho óptico, como ocorre nas medias de comprimento de onda, mas somente a mudança de pressão, tornando o experimento didaticamente rico. Pois temos uma fina interação da luz com a matéria de forma sutil e controlável, bastando apenas mover o êmbolo da seringa que faz o vácuo.

Este experimento deve ser apresentado por último, não para encerrar as possibilidades de aplicação do interferômetro de Michelson-Morley, mas devido a grande abrangência de conceitos que ele aborda.