



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE FÍSICA GLEB WATAGHIN**

THAMIRIS CESCUN DOS SANTOS

RELATÓRIO FINAL
Tópicos de Ensino de Física I

**CAMPINAS
2019**

TÓPICOS DE ENSINO DE FÍSICA I

F 609 - TURMA A

2º SEMESTRE 2019



Thamiris Cescon dos Santos* RA:187505

***t187505 (ARROBA) dac.unicamp.br**

Professor/Coordenador: Dr. José J. Lunazzi

Orientador: Antonio Carlos da Costa

Resumo

O projeto tem como principal objetivo reproduzir o famoso Experimento de Michelson-Morley (ou Interferômetro de Michelson) com materiais de baixo custo, de modo que possa ser acessível e viável sua reprodução por professores do Ensino Médio em sala de aula. Existem diversos estudos na área da educação que discutem diferentes abordagens para ensinar Física Moderna nas escolas e diante deste cenário, a possibilidade dos professores conseguirem construir um Interferômetro com baixo custo pode ser uma grande estratégia pedagógica para introduzir conceitos muito importantes dessa área da Física. Como este experimento teve um grande impacto na História da Ciência, há também oportunidades de se construir discussões e reflexões acerca do funcionamento da ciência e do pensamento científico. Neste experimento, um feixe de luz monocromático atravessa um espelho semitransparente, que chamaremos de divisor de feixe, pois esse espelho irá dividir o feixe em outros dois. Cada um desses feixes irão se propagar perpendiculares entre si, até atingirem outros dois espelhos, localizados nas extremidades do interferômetro, onde serão refletidos para o divisor de feixe novamente. Ao alinharmos os feixes que atravessam o divisor de feixe em direção à um anteparo, localizado diametralmente oposto à um dos espelhos, surgirão figuras de interferência na forma circular.

Palavras-chave: Interferômetro, Michelson-Morley, Interferência, Física Moderna.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
OBJETIVOS.....	1
MATERIAIS E MÉTODOS.....	2
RESULTADOS.....	5
CONCLUSÃO.....	9
REFERÊNCIAS	10
COMENTÁRIOS DO ORIENTADOR.....	11
ANEXOS.....	12

Título: Alternativas para a construção do Experimento de Michelson-Morley com materiais de baixo custo

Introdução:

O Experimento de Michelson-Morley, também conhecido como Interferômetro de Michelson, é um importante aparato que utiliza interferência entre feixes de luz para realizar diferentes tipos de medições, por exemplo, medições precisas de comprimentos de onda.

Nesse interferômetro, um feixe de luz proveniente de uma fonte de luz monocromática e coerente, no caso um laser, incide em um espelho semi-refletor (que chamaremos de divisor de feixe) e, após a passagem por este, as ondas são divididas em duas partes que se propagam em direções perpendiculares entre si até atingirem um espelho posicionado nas duas extremidades do interferômetro, onde serão refletidos de volta ao divisor de feixe. Quando os dois feixes, que chegam no divisor de feixe, são alinhados pode-se observar um padrão de interferência no anteparo.

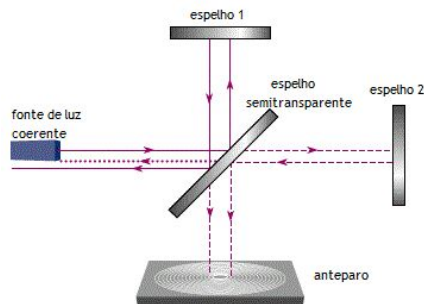
O padrão de interferência observado é devido a recombinação dos feixes, que pode gerar uma interferência construtiva (se os feixes chegam em fase) ou destrutiva (se os feixes chegam fora de fase). A interferência construtiva é evidenciada por franjas claras, enquanto as franjas escuras são referentes à interferência destrutiva. A interferência dos dois feixes deve gerar um padrão de franjas claras e escuras que chamamos de padrão de interferência.

Objetivos:

Diminuir o custo da montagem do Experimento de Michelson-Morley utilizando materiais encontrados como sucata ou materiais de baixo custo e observar, utilizando este novo aparato experimental, padrões de interferência.

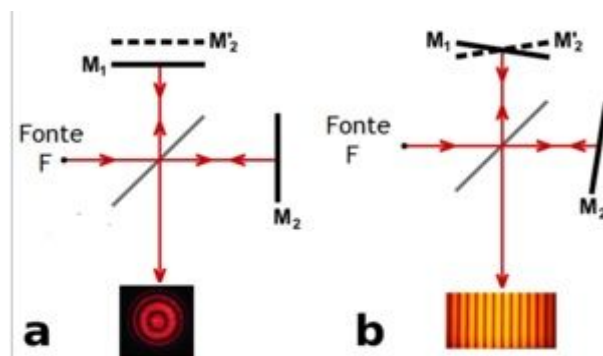
Materiais e Métodos:

Fig. 1: Configuração do Experimento de Michelson-Morley



Utilizando a montagem mostrada na Fig. 1, que foi a que utilizamos, teremos como produto, padrões de interferência em formato circular. Uma outra alternativa seria colocar os espelhos (indicados como espelho 1 e espelho 2 na Fig. 1) inclinados, dessa forma teríamos franjas de interferência na forma paralela, espaçadas igualmente. A Fig. 2 nos mostra essas 2 configurações.

Fig. 2 Formação das Franjas de Interferência



Os materiais utilizados na primeira alternativa proposta foram: 5 tubos de PVC 20mm x 135 mm, 5 tampões 20 mm e 1 tampão 50 mm (todos da marca TIGRE), 1 chapa de MDF (uma de 900 x 900 mm), uma caneta laser de diodo, uma lente de aproximação encontrada em uma papelaria, massa de modelar (da marca Nickelodeon - Kit Bob Esponja), um pedaço retangular de vidro com refletância de aproximadamente 50% e 2 espelhos de aproximadamente 5 cm.

Os tubos e tampões foram comprados em uma casa de materiais de construção e custaram menos de 10 reais todos, a massa de modelar e caneta laser foram doadas, os espelhos foram encontrados em uma loja que vende produtos de até R\$ 1,99. A chapa de MDF foi encontrada no lixo e fazia parte de um conjunto de prateleiras, ela será usada como

base para diminuir o ruído da montagem experimental. Utilizamos a lente de aproximação para observar melhor o padrão de interferência.

Para realizar o alinhamento utilizamos um laser que é alimentado via tomada, pois a recomendação para o laser pointer é de não mantê-lo ligado por mais de 3 minutos seguidos, então para realizar o alinhamento de maneira mais rápida, utilizamos o laser vermelho mostrado na Fig. 3.

Fig. 3: Materiais Utilizados



Legenda: Massa de modelar, Laser Pointer Verde, Laser vermelho, tubos de PVC e tampões, 2 espelhos, 1 divisor de feixe e 1 lente de aproximação.

Para uma segunda proposta que pode dar um pouco mais de trabalho na construção, mas garante como resultado um alinhamento muito mais fácil e preciso, é proposto os seguintes materiais para a construção de um suporte para um dos espelhos: um pedaço quadrado de MDF de 7 x 7 cm (poderia ser menor), um pivô de suspensão de carro (Fig. 4), um esticador de moto (Fig. 5), 1 parafuso de 8 mm (Fig. 6), 4 porcas sextavadas e 1 porca castelo, ambas de 8mm (Fig. 7) e 2 pedaços de uma barra de ferro chata de 7.5 cm cada (Fig. 8), neste caso as barras também poderiam ser menores.

Fig. 4: Pivô de Suspensão



Legenda: Imagem ilustrativa retirada do Google Imagens

Fig. 5: Esticador de Corrente de Moto



Legenda: Imagem ilustrativa retirada do Google Imagens

Fig. 6: Parafuso 8mm



Legenda: Imagem ilustrativa retirada do Google Imagens

Fig. 7: Porcas 8mm



Legenda: Imagem ilustrativa retirada do Google Imagens

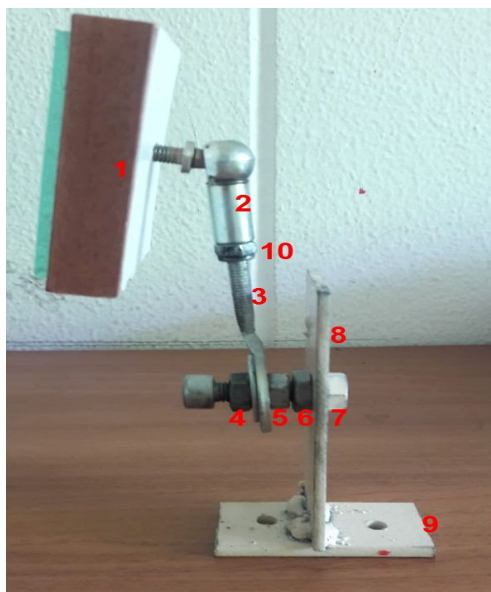
Fig. 8: Barra de Ferro Chata



Legenda: Imagem ilustrativa retirada do Google Imagens

Para a construção do suporte é preciso realizar, utilizando uma furadeira com uma broca de ferro, dois furos à uma distância de aproximadamente 4 cm de distância em um dos pedaços da barra de ferro que serão utilizados para fixar o suporte na base do experimento. No outro pedaço da barra de ferro é preciso realizar um furo no meio, onde entrará o parafuso de 8mm e o esticador de corrente que serão presos utilizando as porcas sextavadas. Na base do esticador de moto devemos encaixar o pivô que ficará preso por uma porca castelo. No meio do quadrado de MDF, onde o espelho deverá ser fixado com Super Cola, deverá ser feito um buraco, também utilizando uma furadeira, para rosquear o pivô. Todas estas etapas podem ser evidenciadas na Fig. 9 a seguir. Para fixar o suporte na base serão utilizados 2 parafusos de rosca soberba.

Fig. 9: Suporte para o Espelho



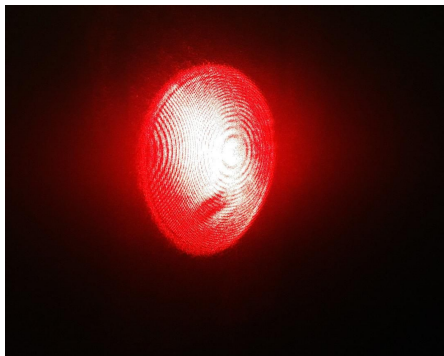
Legenda: 1 Suporte de madeira para o espelho, 2 pivô, 3 esticador de corrente, 4-7 porca sextavada, 8-9 barra de ferro e 10 porca castelo.

Desenvolvimento do Projeto e Resultados:

A primeira etapa do projeto consistiu em procurar os materiais com melhor custo-benefício para a montagem experimental proposta e destes materiais, selecionar quais seriam mais facilmente encontrados como sucata. Depois da primeira etapa de recolher os materiais o orientador aconselhou que eu utilizasse as instalações do Laboratório de Óptica para me familiarizar com o experimento e aprender e treinar a alinhar os feixes e conseguir

obter padrões de interferência. O padrão mostrado na Fig. 10 foi feito utilizando a montagem padrão do Laboratório de Óptica da UNICAMP.

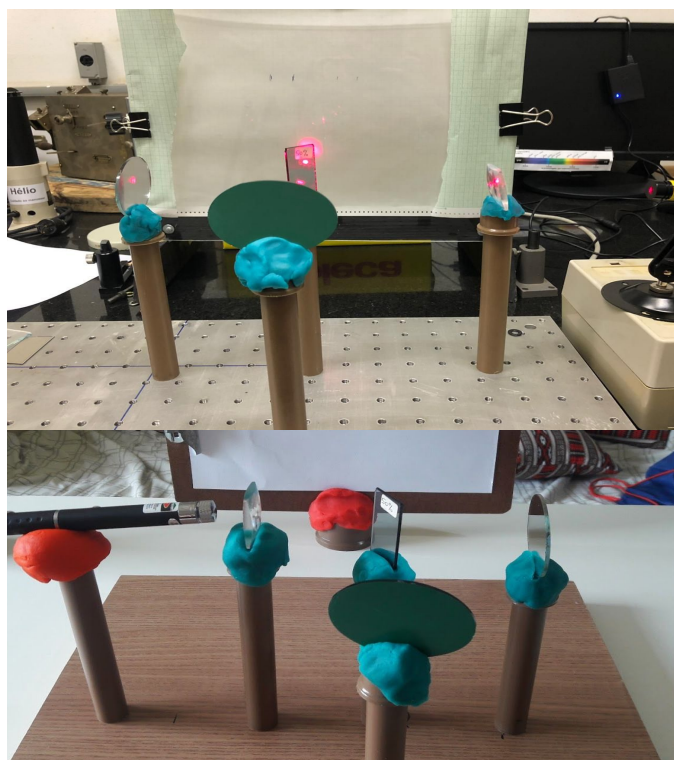
Fig. 10: Franjas de Interferência



Legenda: Franjas obtidas utilizando aparato experimental do Lab. de Óptica na etapa de treino.

Utilizando os materiais discutidos anteriormente fizemos alguns testes utilizando o laser do laboratório, que tem uma qualidade melhor, para tentar observar as franjas de interferência mesmo utilizando um aparato bem instável. Na Fig. 11 mostramos a montagem experimental utilizada, com os espelhos fixos pela massa de modelar.

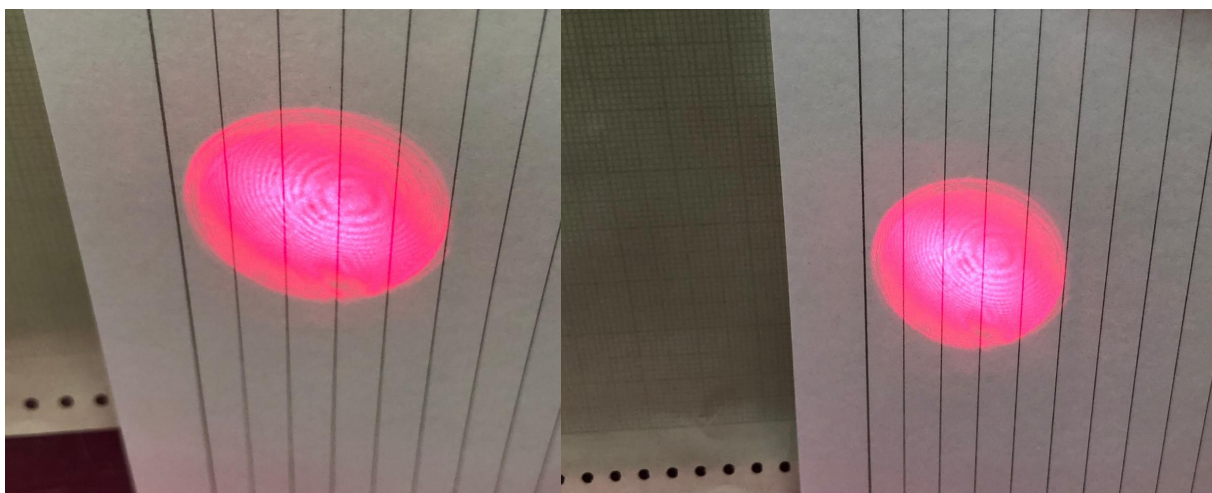
Fig. 11: Primeira Alternativa de Montagem



Legenda: Montagem para o experimento de Michelson-Morley utilizando materiais de baixo custo.

Como já havíamos previsto o alinhamento dos espelhos ficou muito comprometido, pois a massa de modelar fornece os graus de liberdade para alinhar, mas não fornece uma boa precisão ou ajuste fino. Foram necessários algumas horas tentando realizar o alinhamento utilizando estes materiais, mas conseguimos projetar figuras de interferência, como pode ser visto na Fig. 12 mostrada a seguir.

Fig. 12: Figuras de Interferência Obtidas com a Primeira Montagem

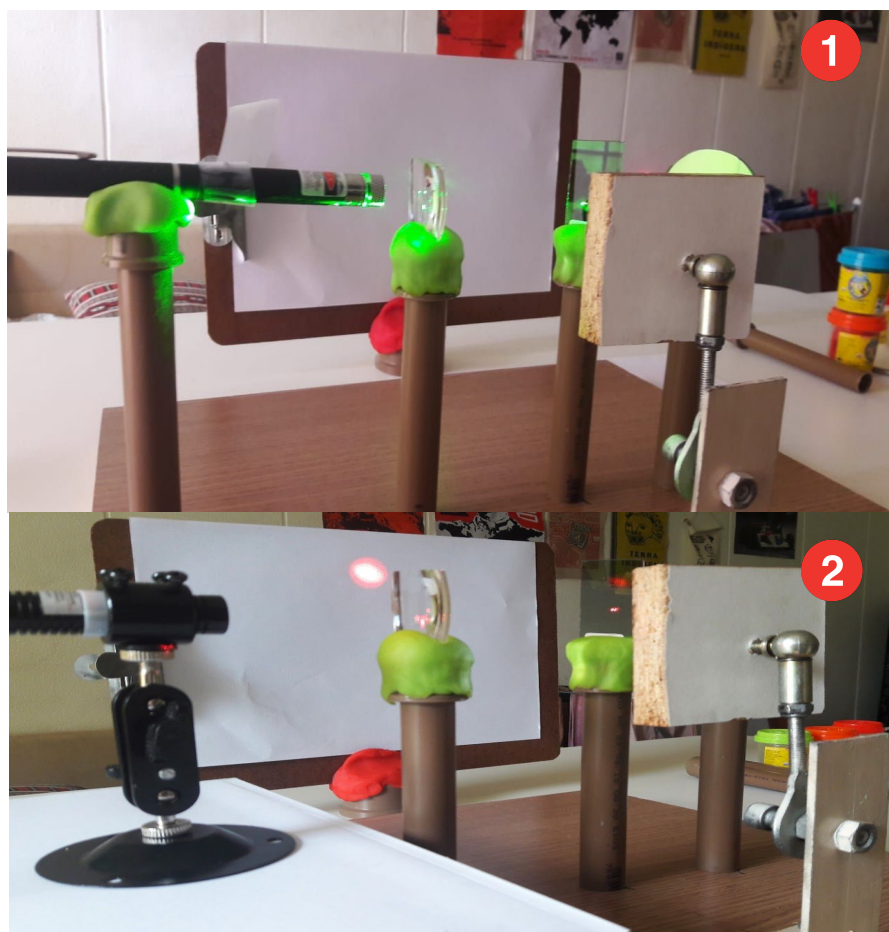


Legenda: Figuras de interferência observadas utilizando a montagem onde os espelhos ficam fixos com massa de modelar

Como consequência da instabilidade da montagem, as figuras de interferência oscilaram bastante e não se mostraram tão nítidas como na montagem com os materiais mais adequados. Essa primeira alternativa de montagem funciona, como pode ser observado, mas é inviável com relação ao tempo de alinhamento que ela requer e uma habilidade com o ajuste fino que não são características de todas as pessoas.

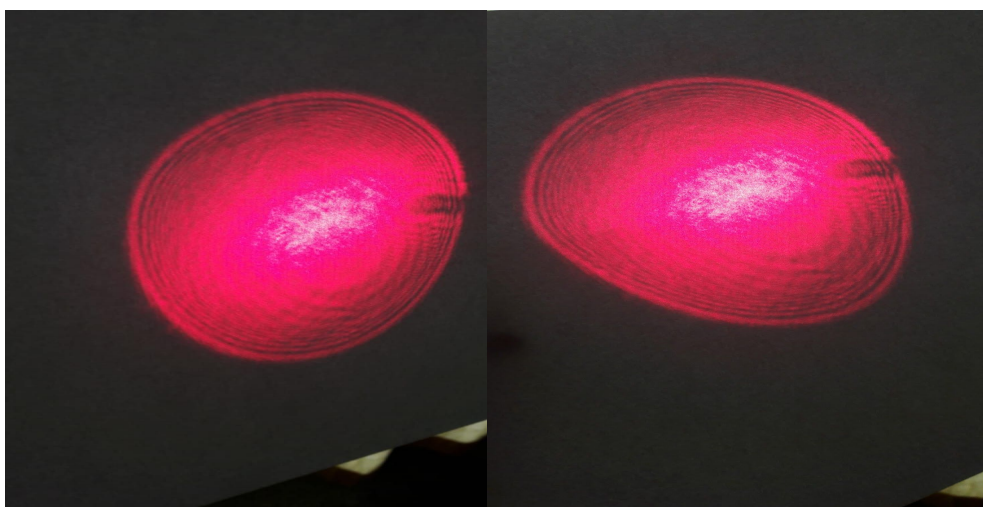
A fim de propor uma outra alternativa, construímos, utilizando materiais encontrados como sucata em uma Oficina Mecânica, um suporte para um dos espelhos, que nos permite um ajuste fino com uma facilidade muito maior, de modo que o experimento se mantém baixo custo e ainda, viável e reproduzível. A segunda proposta de montagem experimental pode ser vista na Fig. 13.

Fig. 13: Segunda Alternativa de Montagem



Legenda: Em 1 temos a montagem com utilizando o suporte para o espelho e o laser pointer, em 2 temos a mesma montagem mas utilizando o laser de tomada para realizar o alinhamento sem o risco de queimar o pointer.

Fig. 14: Figuras de Interferência Obtidas com a Segunda Montagem



Legenda: As imagens não são tão nítidas como gostaríamos, pois precisaríamos de aparelhos com melhor qualidade para fotografar as figuras já que o brilho estoura na imagem e com isso perde-se o foco.

Tabela 1: Preço dos Materiais utilizados

Material	Quantidade	Custo
Espelhos	2	3,98
Massa de Modelar	1	5,00
Tubos de PVC	5	7,00
Tampões	5	3,00
Laser Pointer	1	22,00
Lente de Aproximação	1	3,00
	TOTAL	43,98

Todos os materiais que não aparecem na tabela foram encontrados como sucata e/ou doados por pessoas próximas. Acreditamos que muitas outras coisas poderiam ter sido conseguidas de forma gratuita, como por exemplo pedindo um laser pointer emprestado, reutilizando um espelho, utilizando um óculos com um grau alto como lente de aproximação, entre outras formas.

É importante notar que todo o processo de alinhamento foi feito utilizando um laser que é alimentado por uma tomada, para realizar o alinhamento já utilizando o laser pointer, é recomendado não mantê-lo ligado por mais de 3 minutos seguidos para não queimá-lo. Também existe a possibilidade de adaptar o laser pointer para funcionar via tomada e para este processo existem diversos vídeos que ensinam o passo-a-passo na plataforma digital Youtube.

Depois do evento “Consulta à Comunidade” organizado pelo Prof^o José J. Lunazzi para que os alunos apresentem seus trabalhos à comunidade do Instituto de Física Gleb Wataghin, da UNICAMP, e à quem se interessar, realizamos alguns outros testes e adaptações no Interferômetro. O professor propôs que construíssemos uma lente expansora utilizando uma lâmpada preenchida com glicerina e vedada com uma rolha, durepox e um pouco de fita veda rosca, como pode ser vista na Fig. 15.

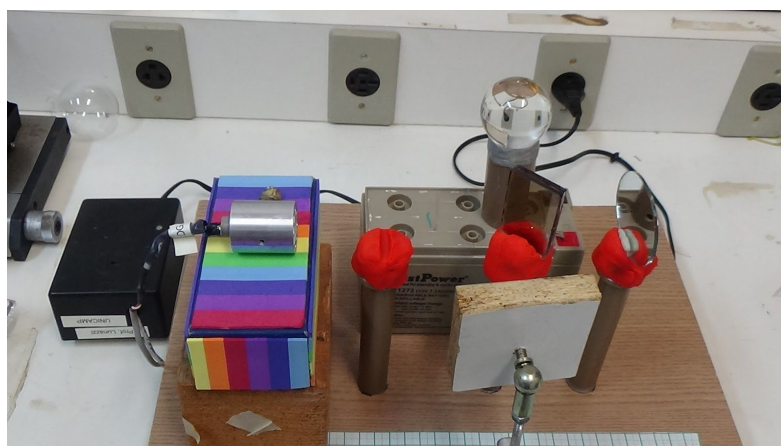
Fig. 15: Lente Expansora de Glicerina



Legenda: A lente expansora feita com glicerina pode ser utilizada como Lupa, como pode ser visto na imagem acima.

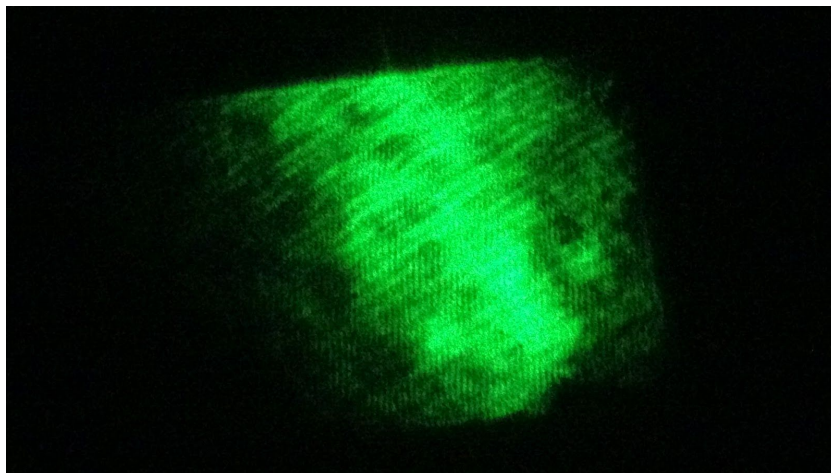
Além da adaptação para uma lente caseira, trocamos o divisor de feixe comercial de 50% de reflectância por um vidro duplo (dois vidros colados) com um insulfilm entre eles, que foi encontrado pelo Prof^o Lunazzi. Também utilizamos um laser pointer verde que foi adaptado pelo professor para ser alimentado pela tomada. Na Fig. 16 mostramos a montagem que foi utilizada após as adaptações, nessa montagem a lente expansora foi colocada na “saída” do interferômetro, de modo que o feixe só é expandido depois de atravessar os espelhos e o divisor.

Fig. 16: Montagem com as Adaptações



Legenda: Montagem utilizando a adaptação do laser, a lente expansora e o divisor de feixe caseiros.

Fig. 17: Franjas de Interferência



Legenda: Franjas de interferência obtidas com a Montagem mostrada na Fig. 16.

Fizemos alguns testes utilizando essa nova montagem como colocar lâminas de vidro de diferentes espessuras em frente aos espelhos, para tentar observar mudanças nas franjas de interferência, de modo que ficassem mais/ou menos nítidas por conta do diferente caminho percorrido pela luz. Para observá-las melhor, na saída do interferômetro utilizamos uma cartolina inclinada (como anteparo) de modo que as franjas pareciam “alongadas” e assim foi mais fácil de visualizá-las. Também colocamos um papel milimetrado em embaixo do espelho móvel para investigar a melhora da nitidez das franjas com relação a distância vertical do espelho.

Além de todas essas adaptações, utilizamos ainda, uma câmera de ar utilizada em pneu de bicicleta, um pouco murcha, e colocamos embaixo da montagem com a intenção de diminuir os ruídos, mas só essa adaptação não foi suficiente. Para garantir uma estabilidade melhor da montagem propomos uma configuração onde os espelhos e o divisor de feixes ficam fixos diretamente na base da montagem. O suporte para espelho feito anteriormente foi fixo com um parafuso na configuração mostrada na Fig. 18, também fixamos o laser e o divisor com uma massa de modelar, fornecida pelo coordenador, da marca mostrada no anexo II.

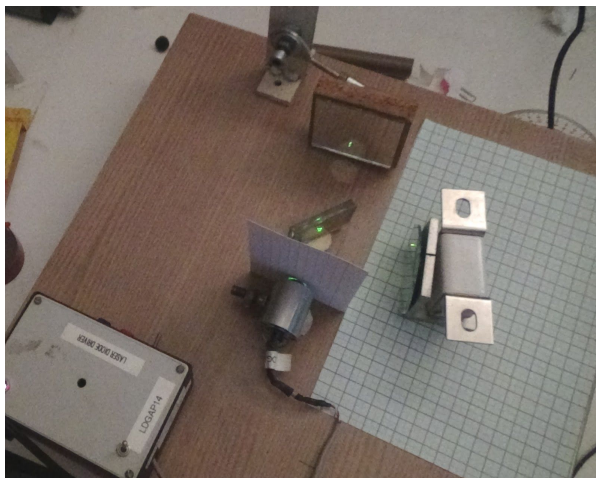
Para que também ficasse mais próximo da base da montagem o outro espelho foi fixo em um suporte de alumínio em formato de L, com o chiclete do anexo I colado atrás do

espelho, o que nos forneceu um segundo ajuste fino. Depois dessas alterações tínhamos figuras de interferência claramente mais estáveis, de modo que não oscilavam mais.

Uma última adaptação que foi realizada para que fosse possível observar franjas mais largas e mais nítidas, foi alinhar os feixes de modo que o feixe que inicialmente sai de um ponto do laser, quando refletido, chegue exatamente no mesmo ponto. Para realizar esse alinhamento utilizamos uma cartolina branca (também mostrada na Fig. 18) com um furo na altura do feixe que sai do laser, com isso conseguimos observar o feixe inicial, saindo pelo furo da cartolina e o feixe refletido que estava transladado, após mexer nos espelhos para levar o feixe refletido até o buraco na cartolina, instantaneamente as franjas ficaram mais largas e nítidas.

É importante notar que nessa montagem não utilizamos uma lente expansora, nesse caso colocamos um espelho maior paralelamente e a uma certa distância da montagem, e observamos as figuras de interferência da imagem refletida por esse espelho, naturalmente expandida.

Fig. 18: Montagem mais estável



Legenda: Essa montagem com os componentes mais próximos à base nos forneceu franjas de interferência estáveis, de modo que eles não mais oscilam.

Conclusão:

O Experimento de Michelson-Morley causou grande impacto na História da Ciência, mais especificamente na Física Moderna, e diante disso, acredito na relevância do experimento no processo de aprendizagem e compreensão dos alunos. Mostramos neste trabalho que com pouco gasto e bastante motivação se torna possível reproduzir o

Interferômetro de Michelson em sala de aula, utilizando para sua construção materiais encontrados no dia-a-dia e de baixo custo.

A Interferometria é a técnica de sobrepor duas ou mais ondas que se propagaram por caminhos diferentes, de modo a se tornar possível a análise individual de cada onda somente analisando o padrão de interferência da sobreposição das duas. Essa técnica é muito sofisticada e é aplicada em diversos campos da Física, como astronomia, oceanografia, mecânica quântica e mais recentemente na detecção de ondas gravitacionais.

No experimento utilizamos como divisor de feixe um semi-espelho com deposição de alumínio de modo que sua reflectância é de aproximadamente 50%, mas é importante discutir que poderíamos ter utilizado qualquer outro pedaço de vidro espesso, somente teríamos o trabalho de cobrir, utilizando por exemplo, uma cartolina preta, os feixes parasitas. Também testamos, como sugestão do coordenador da disciplina, o Prof^o José J. Lunazzi (anexo I), uma alternativa que se mostrou mais efetiva que a massa de modelar, que é um tipo de chiclete vendido em lojas de conveniência e que possui uma textura plástica e se mostrou mais firme que a massa de modelar utilizada.

Referências:

1. HALLACK, Maira. LUNAZZI, José. **“Interferômetro de Michelson e anéis por reflexão em placas com laser de diodo de aproximadamente 100 mW para sala de aula”**.
https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F609_2014_sem2/MairaL-Lunazzi_RF3.pdf, acessado em 28/08/19.
2. SILVA, Gabriel. LUNAZZI, José. **“Lentes demonstradas em sala de aula por meio de um laser de 100 mW”**.
https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F609_2014_sem2/Gabriel-Lunazzi_F609_RF2.pdf, acessado em 28/08/19.
3. **Artigo: “Construção de um interferômetro de Michelson-Morley com materiais de baixo custo”**. Rev. Bras. Ens. Ci. Tecnol., Ponta Grossa, v. 10, n. 1, p. 1-15, jan./abr. 2017.
4. **Artigo: “Interferômetro de Michelson construído com material de fácil acesso”**. Rev. Bras. Ensino Fís. São Paulo, v.41, n. 4, 13 junho, 2019.
5. **The Michelson-Morley Experiment**. Disponível em:
<http://galileoandstein.physics.virginia.edu/lectures/michelson.html>.
6. **Extended Michelson-Morley Interferometer Experiment**. Disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=7T0d7o8X2-E&t=65s>.

Comentários do Orientador:

1. A montagem não é trivial, no entanto um bom desafio para o professor/aluno com muita paciência. Penso que os alunos gostariam de uma montagem que tivesse o alinhamento bem mais rápido, mas para isso um ajuste de espelho mais delicado se faz necessário. A aluna está se empenhando em encontrar uma solução eficiente no posicionamento dos espelhos.
2. A montagem está funcionando apesar, de ser muito instável e requerer bastante habilidade do operador. O maior ou menor espaçamento entre as franjas de interferência será dado pela simetria dos braços dos feixes. 1 ou 2 mm a mais em um dos braços dos feixes muda totalmente o padrão.
3. O suporte móvel do espelho ficou longo, mas a engenhosidade e criatividade nas soluções empregadas ali foram notáveis.

ANEXO I:

Uma alternativa de substituição da massa de modelar proposta pelo coordenador Prof^o José J. Lunazzi é o chiclete da Fig. 1a, pois ele tem uma textura plástica, porém firme, o que facilitaria o alinhamento dos espelhos. Esse chiclete é de uma marca bastante conhecida e pode ser facilmente encontrado em lojas de conveniência.

Fig. 1a: Chiclete Fini



Legenda: Imagem ilustrativa retirada do Google Imagens

ANEXO II:

Uma outra alternativa utilizada para fixar os espelhos foi a massa de modelar da marca Acrilex, mostrada abaixo, ela possui uma textura mais firme e menos plástica que a utilizada na primeira proposta.

Fig. 1b: Massa de Modelar Acrilex



Legenda: Imagem ilustrativa retirada do Google Imagens

