

# F 609 C – Tópicos de Ensino de Física I

## Relatório Final III



Daniel Salgado Costa (d042779dac.unicamp.br)

Ra: 042779



Tatiana Americo da Silva (t104137dac.unicamp.br)

Ra: 104137



Orientador: Prof. José Joaquim Lunazzi

(portal.ifi.unicamp.br/br/pessoas/128-professores/274-141)

17/07/14

## **Introdução**

Tentamos reproduzir o Espelho de Lloyd, mas não tivemos sucesso em observar as franjas, então fizemos o Interferômetro de Michelson e trabalhamos também com o experimento das franjas de Newton e com bolhas de sabão.

No Interferômetro de Michelson, trocando os espelhos de segunda superfície por espelhos de primeira superfície conferimos que a superfície de vidro de espelhos comuns gera dois sistemas secundários de anéis que sobrepõem-se e interferem com o principal, além de gerar deformações nas franjas quando são bem largas. Trabalhamos usando espelhos de primeira superfície, que o professor tinha junto com outros, e talvez consigamos usar de espelho lateral de carro, que o Prof. Lunazzi encontrou serem de vidro e de primeira superfície. São curvos, mas isso somente daria um campo mais amplo, para uma tela mais próxima, o que é até bom.

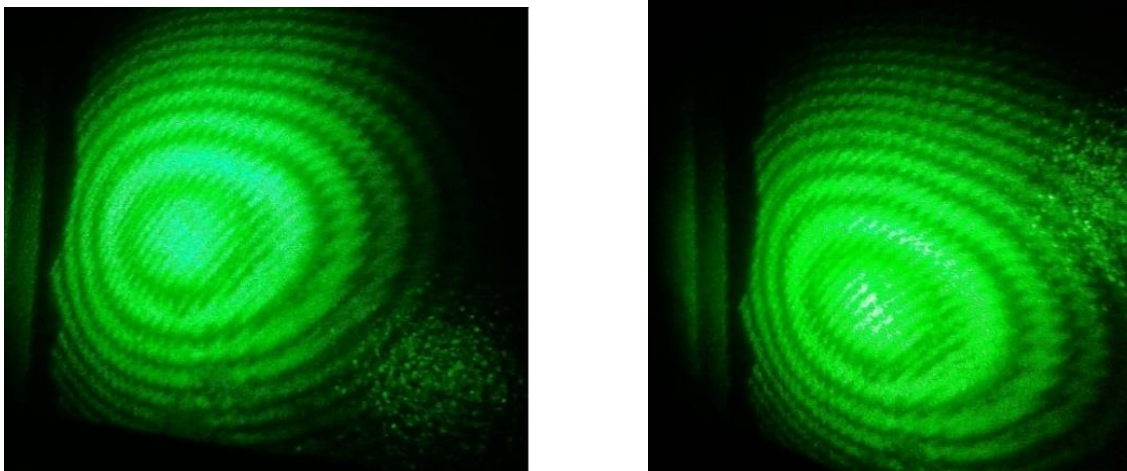
Usando um laser sem a retirada da lente focalizadora não deveria existir o problema com os espelhos comuns, mas a tentativa do Prof. Lunazzi no passado não foi bem sucedida ao trabalhar no verde com 50-100mW, como o é com o de 5mW. Mas não pesquisamos ainda o porquê.

O experimento de franjas de Newton desenvolvido pelo Prof. Lunazzi para o evento Exposição de Holografia Módulo II faz dez anos ficou bem prático para projeção em sala de aula. Projeta com projetor multimídia e não com uma lâmpada halôgenea simples, precisamos ver o porquê. Com um retroprojetor, não tivemos sucesso, foi difícil observar umas poucas franjas e bem claras, mesmo mudando o foco da luz e colocando o vidro tanto antes quanto depois da projeção. Com lanternas grandes, não se observam as franjas e com lanternas pequenas, observam-se poucas franjas claras. A lanterna de marca Securitying (de lente divergente e com distância focal ajustável) teve mais sucesso em mostrar as franjas. Contra a luz de quatro lâmpadas fluorescentes, conseguimos ver as franjas nítidas e ocupando praticamente toda a área do vidro. Percebemos que os ganchos que uniam os dois vidros faziam diferença nas franjas vistas. As lâmpadas estavam a uns 2,5 metros de altura. Nessa primeira tentativa no experimento das Franjas de Newton foi usadas duas lâminas de vidro de formato retangular de 4mm x 15cm x 8cm.

Para dar consistência e durabilidade às lâminas de sabão, experimentamos a mistura de sabão, água e glicerina, com o sabão líquido de lavar roupa, glicerina e açúcar que temos. Chegamos à conclusão de que as melhores bolhas são produzidas quando usamos um pouco de água destilada, três medidas de uma tampinha de glicerina e três também de sabão líquido. Talvez seja possível encontrar algum tipo de glicerina mais barata que a de qualidade química que temos, e devemos combiná-la com o uso de xarope de milho, como indicado em várias receitas que aparecem na internet.

Fotos do Interferômetro de Michelson. Percebe-se que os anéis estão perturbados, com bastante interferência de outras ondas. Parece que quanto mais mudamos algo, mas

difícil fica de se ver os anéis. Mudando para espelhos de primeira superfície e mudando o vidro semi-transparente, conseguimos as franjas sem interferência, porém, os anéis ficaram ovalados. Esse é o motivo de na apresentação mostrarmos apenas as franjas. Essas fotos são de antes de trocarmos os espelhos:

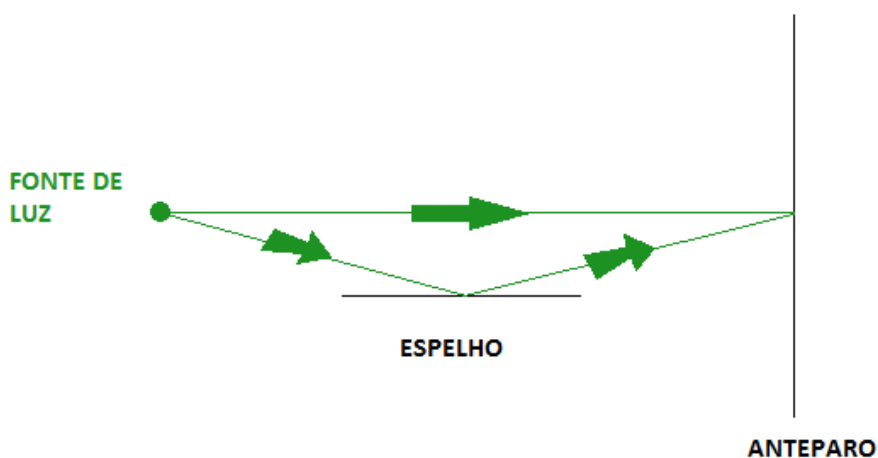


*Figuras 1 e 2: fotos dos anéis do interferômetro caseiro, eles estão com perturbações pelo fato de termos utilizado espelhos de segunda superfície de uso doméstico ao invés de primeira superfície*

### **Espelho de Lloyd**

Não conseguimos fazer o Espelho de Lloyd porque não conseguimos enxergar as franjas. Um dos motivos pode ser o fato de que o ângulo precisava ser muito pequeno para as franjas poderem ser vistas a olho nu. Abaixo temos um esquema de como esse experimento funciona em teoria e como chegamos à conclusão de que só com um microscópio podemos observar as franjas, que não era o nosso objetivo nesse experimento, dado que queríamos um interferômetro que tivesse anéis (ou pelo menos as franjas) que pudessem ser vistos de longe, dentro de uma sala de aula.

### **Espelho de Lloyd**



*Figura 3: Esquema do Espelho de Lloyd*

Equação de onda:  $A\cos(Kx-\omega t)$ , na qual  $A$  é a amplitude,  $K = 2\pi/\lambda$  e  $\omega = 2\pi/T$ . Então:

$$\Psi = A\cos\{2\pi[(x/\lambda)-(t/T)]\}$$

Soma de duas ondas de mesma frequência:

$$A\cos\{2\pi[(x/\lambda)-(t/T)]\} + A\cos\{2\pi[(x+\Delta x/\lambda)-(t/T)]\}$$

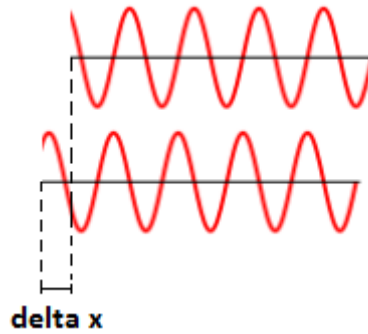


Figura 4: Demonstração das ondas quando chegam ao anteparo e têm frequências muito próximas, porém percorreram caminhos diferentes

Então, tenho:  $A\cos\{2\pi[(x/\lambda)-(t/T)]\} + A\cos\{2\pi[(x/\lambda)-(t/T)+(\Delta x/\lambda)]\}$

Como achar  $\Delta x$ :

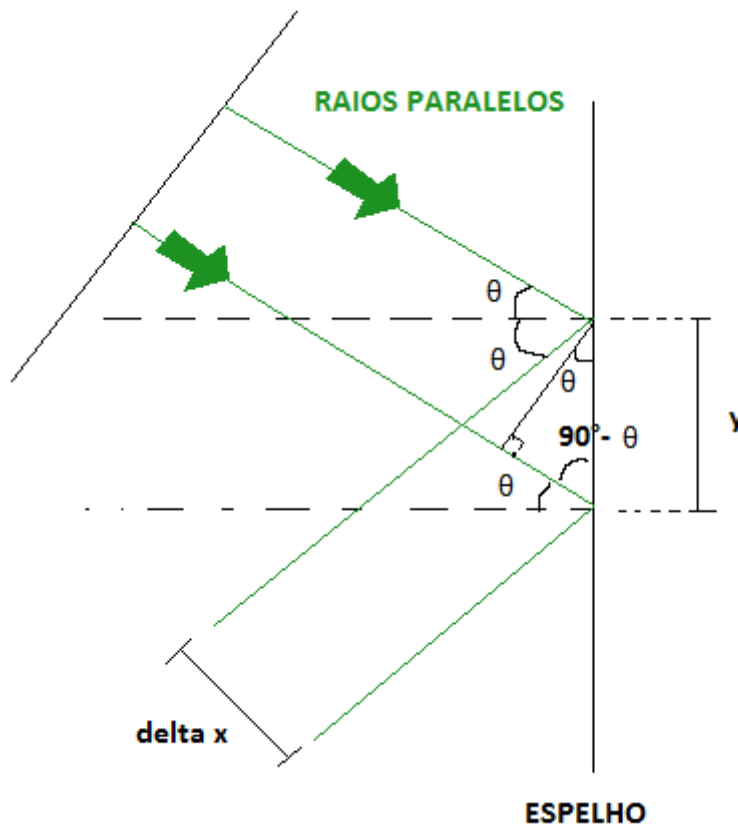


Figura 5: Esquema de como calcular a diferença de caminho percorrido pelas ondas

$\cos(90^\circ - \theta) = \sin\theta = \Delta x/y$ . Portanto,  $\Delta x = y\sin\theta$  e a equação fica:

$$A\cos\{2\pi[(x/\lambda) - (t/T)]\} + A\cos\{2\pi[(x/\lambda) - (t/T) + (y\sin\theta/\lambda)]\}$$

Então, para  $\Delta x = \lambda =$  comprimento de onda, temos:

$$\lambda = y\sin\theta. \text{ Neste caso, } y = D = \text{distância entre as franjas. Portanto: } \lambda = D\sin\theta$$

Para pequenos ângulos,  $\sin\theta \approx \theta$ , então:  $\lambda = D\theta$

$D = \lambda/\theta$ , portanto, quanto maior o D, menor é o  $\theta$ .

Para  $D = 1\text{mm}$  (distância razoável para se enxergar):

$\theta = \lambda/10^3$ . Para  $\lambda = 500\text{nm}$  (aproximadamente o comprimento de onda da cor verde):

$\theta = 500 \times 10^{-9} \times 10^3 = 0,5 \times 10^{-3} \text{ rad} \approx 0,03^\circ$ , que é um ângulo muito pequeno, e se aumentarmos esse ângulo, diminuímos a distância entre as franjas, o que faz com que precisemos usar um microscópio para enxergá-las.

### **Interferômetro de Michelson**

Depois, no Interferômetro de Michelson, estávamos com esse problema dos anéis estarem tremidos e agora com o fato dos anéis não ficarem circulares (talvez seja só questão de ajuste, mas não tivemos mais tempo de melhorar a imagem observada), mas pelo menos conseguimos acabar com as interferências secundárias. Mesmo usando espelhos de primeira superfície, nossos espelhos não têm igualdade de valores de refletividade e as franjas escuras não são completamente.

Nós incluímos uma chave de fenda e um isqueiro, porque aquecendo a chave de fenda com o isqueiro e colocando-a perto dos espelhos, ela aquece o ar, que interfere no caminho da luz do laser e dá para se ver a projeção se mexendo, ainda com as franjas. Também acrescentamos uma caneta a laser para provar para os alunos que podemos apontar a luz para o caminho entre o vidro semi transparente e os espelhos e nada muda nas franjas.

### **Pesquisas**

Pesquisamos sobre: anéis do Interferômetro de Michelson, Espelho de Lloyd e franjas de Newton.

Encontramos:

[www.sbfisica.org.br/fne/Vol5/Num2/v5n1a05.pdf](http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol5/Num2/v5n1a05.pdf), que explica como funciona o Espelho de Lloyd e mostra como foi feito, porém com as franjas podendo ser vistas apenas com uma ocular;

[www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/344310.pdf](http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/344310.pdf), que mostra o experimento de Lloyd feito com as franjas podendo ser observadas a olho nu. Nós entendemos que o trabalho está errado, que não poderia ter franjas como as mostradas nele por reflexão, pois em nossas tentativas o espaço para obter franjas resulta em muito pequeno como para ver a olho nu, e o espelho deve estar simetricamente colocado entre a fonte e o observador. E

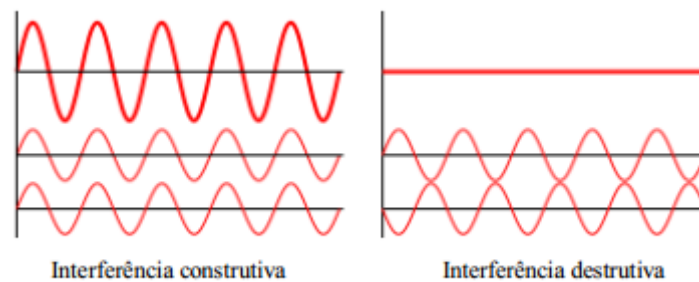
a estimativa deles de posição do laser não poderia ter precisão e seguramente eles acharam franjas por transmissão, do tipo das que nós fizemos com luz branca;

[www.ifi.unicamp.br/vie/F809/F809\\_sem1\\_2005/Breno-Silva-F809-RF1.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/vie/F809/F809_sem1_2005/Breno-Silva-F809-RF1.pdf), que comenta os anéis de transmissão e também, que consegue anéis por reflexão com o retroprojeto.

### Descrição do Interferômetro de Michelson para:

a) Nível mais básico: a luz do laser, depois de bater nos espelhos, se encontram no anteparo, porém, andaram caminhos diferentes e por isso observamos as imagens que se formam.

b) Nível de colégio de segundo grau: como a luz percorre caminhos diferentes e como ela é uma onda, quando chega no anteparo, ocorre a sobreposição das duas ondas, gerando as imagens observadas. As partes claras são as interferências construtivas e as partes escuras são as interferências destrutivas:



*Figuras 6 e 7: Imagens de como são formadas as interferências construtiva e destrutiva*

c) Nível de graduação da física: De acordo com o desenho, podemos observar que parte da luz que sai do laser passa pelo vidro semi transparente, bate no espelho EF e volta para o vidro, dessa vez sendo refletido no anteparo. Outra parte da luz que sai do laser é refletida no vidro semi transparente e bate no espelho EL e volta passando pelo vidro e chegando ao anteparo, como mostra a figura abaixo:

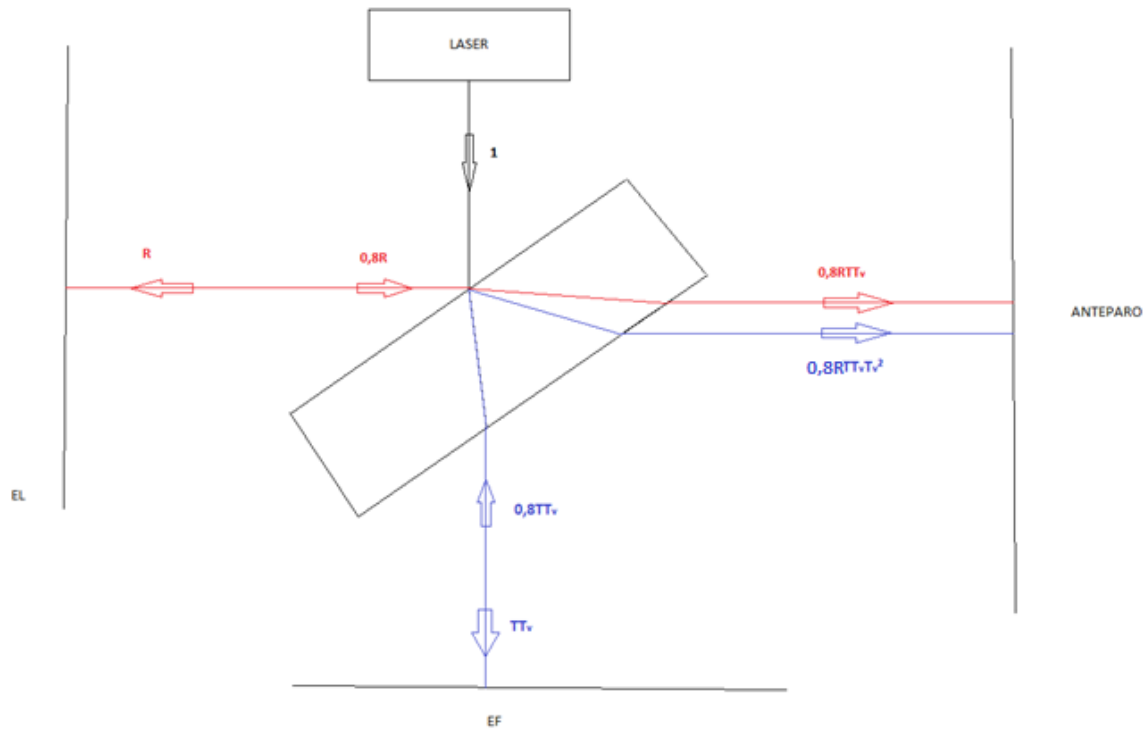


Figura 8 – Esquema do Interferômetro de Michelson

Pela teoria, a equação de uma onda é:

$$A \cos(Kx - \omega t),$$

na qual A é a amplitude,  $K = 2\pi/\lambda$  e  $\omega = 2\pi/T$ .

Então podemos escrevê-la como:

$$\Psi = A \cos \{ 2\pi[(x/\lambda) - (t/T)] \}$$

Ocorre interferência quando sobrepomos duas ondas de mesma frequência (vide Figuras 6 e 7):

$$A \cos \{ 2\pi[(x/\lambda) - (t/T)] \} + A \cos \{ 2\pi[(x + \Delta x/\lambda) - (t/T)] \}$$

Calculando a diferença entre as distâncias, podemos achar a onda resultante.

O número 1 que está na luz que sai do laser indica que 100% da luz está saindo e chegando no vidro semi-transparente. Parte dessa luz (a que está de vermelho apenas para melhor visualização) bate no vidro e é refletida, indo para o espelho EL a quantidade de luz que o vidro pode refletir, colocado como R. Chegando no espelho, 80% é refletido, portanto 0,8R, que volta para o vidro semi-transparente. Agora, essa luz tem que atravessar do ar para o vidro e do vidro para o ar para conseguir atravessar o vidro, portanto há os dois coeficientes de transmissão, T e Tv, chegando ao anteparo

$0,8RTTv$  da luz inicial. A outra parte da luz (a de azul), que não é refletida no vidro quando sai do laser, passa por ele atravessando-o, portanto, passa  $Tv$ . Essa luz chega no espelho EF e é 80% refletida, portanto volta  $0,8TTv$  para o vidro. A luz entra nele, é refletida e sai, portanto temos que acrescentar  $RTvTv$ . Assim, chega no anteparo  $0,8T(Tv)^3$ , ou  $0,8TTv(Tv)^2$ .

Esses seriam só os raios principais, porque, quando entram no vidro semi-transparente, parte pode se refletir dentro dele e sair, bater nos espelhos, voltar e terminar no anteparo, e acontece infinitas vezes, chegando ao anteparo cada vez com menos intensidade.

### Franjas de Newton

Para as franjas de Newton, tentamos ampliar a área do vidro para que as franjas ocupassem toda a área da luz do projetor e assim ficassem mais nítidas e mais largas, para melhor visualização. Pegamos um vidro de espessura 6 mm, cortamos em dois triângulos iguais de base 28,7 cm e lados 20,5 cm e 20,3 cm. Colocamos na frente de um projetor projetando luz branca e observamos na parede as franjas. Elas são circulares, com um centro de curvatura bem grande. Pelo que observamos, a área do vidro não foi grande o bastante para ocupar toda a parte iluminada pelo projetor e ainda é preciso tirar a parte do vidro que não contribui para o experimento (a ponta que fica perto da saída de luz do projetor). A distância da lente à tela foi de 66,5 cm, a largura média da tela foi de 54,5 cm e a altura foi de 30 cm. Fazendo as contas utilizando a distância da lente à tela e a largura média da tela, temos que a luz do projetor diverge  $22,25^\circ$ .

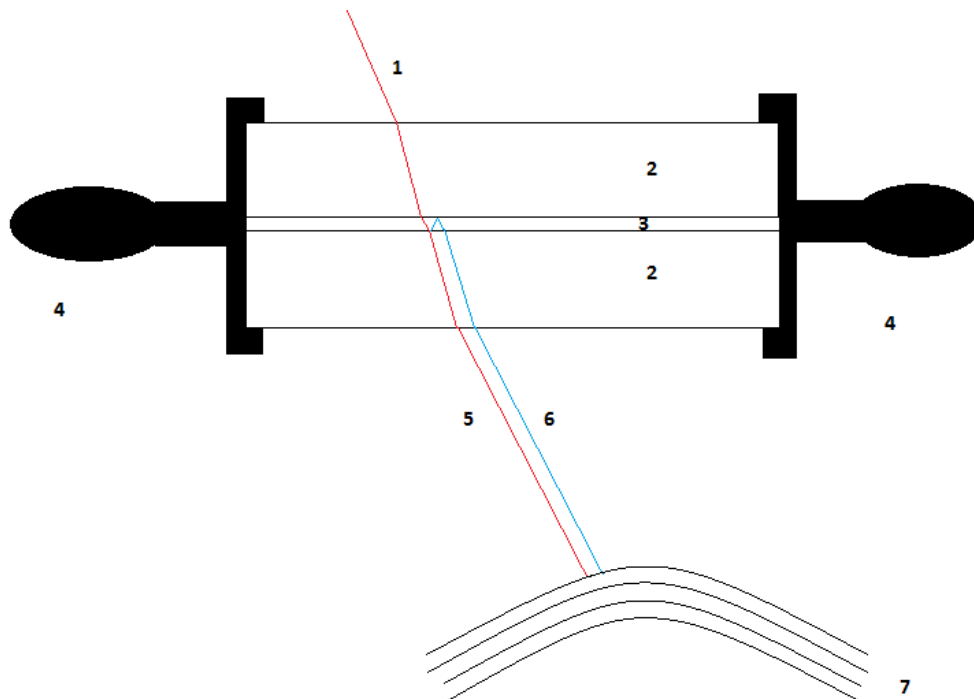
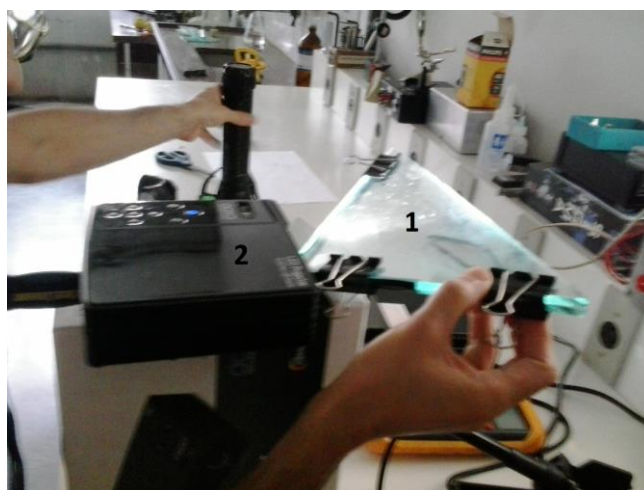


Figura 9 – Esquema do experimento das franjas do tipo de Newton

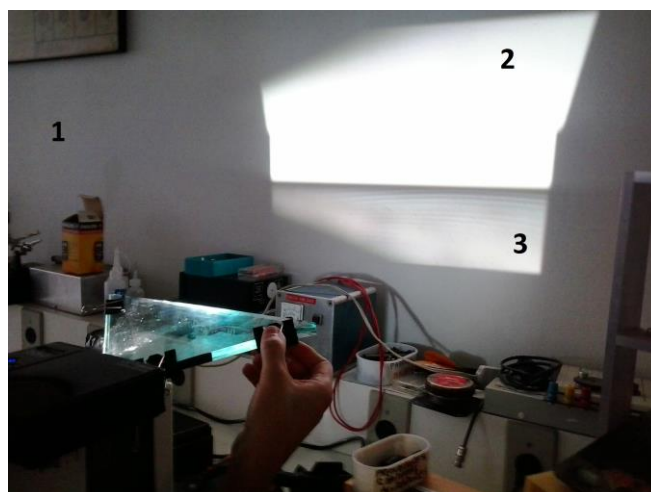


- 1 – Luz branca vindo do projetor (ela chega bem rente ao vidro para se formarem as franjas, o esquema é apenas para a demonstração de como se formam as franjas);
- 2 – Os vidros de espessura 6 mm cada, em formato triangular, vistos apenas pela base (sem profundidade);
- 3 – Pequeno espaço entre os vidros, contém apenas ar;
- 4 – As presilhas que usamos para prender os dois vidros. Usamos três no total;
- 5 – Parte da luz do projetor atravessa os dois vidros indo direto para o anteparo;
- 6 – Outra parte da luz do projetor também atravessa o primeiro vidro, mas quando chega ao segundo vidro, é refletida na sua superfície, voltando para o primeiro vidro, que, por sua vez, reflete-a novamente, e, dessa vez, ela atravessa o segundo vidro, indo para o anteparo;
- 7 – As franjas que vimos no anteparo. Ela é formada pela sobreposição das luzes que numerei de 5 e 6, além de várias outras, que são n vezes refletidas entre os vidros e depois vão para o anteparo. Elas não estão desenhadas para não atrapalhar a visualização do esquema. A sobreposição das luzes nos dá o fenômeno da interferência, também visto e explicado no Interferômetro de Michelson.

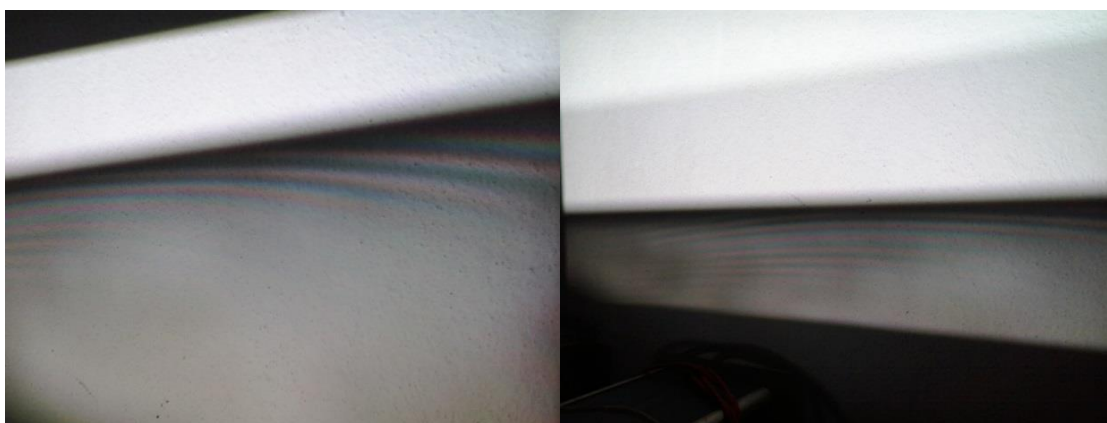
Fotos do experimento:



*Figura 10 - Nº 1: Duas placas de vidro de 6mm de espessura com lados de 28,7cm x 20,5cm x 20,3cm, uma em cima da outra, com três prendedores de papel para uni-las; Nº 2: O projetor de marca AAXA com iluminação por diodos (“LEDs”) de 450 lumens*



*Figura 11 - Nº 1: Nosso anteparo, a parede; Nº 2: Luz refletida pelo vidro; Nº 3: As franjas obtidas pela transmissão da luz pelo par de vidros*

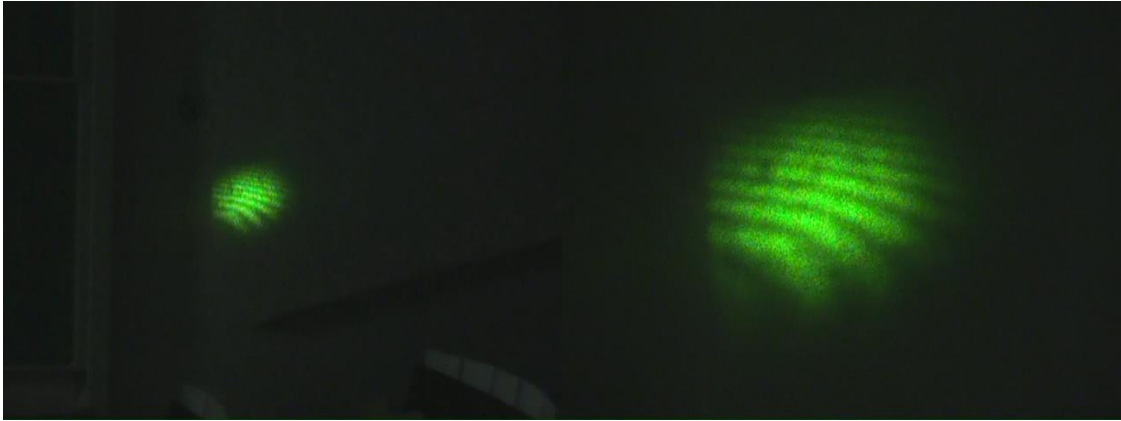


*Figuras 12 e 13 - Fotos mais próximas das franjas*

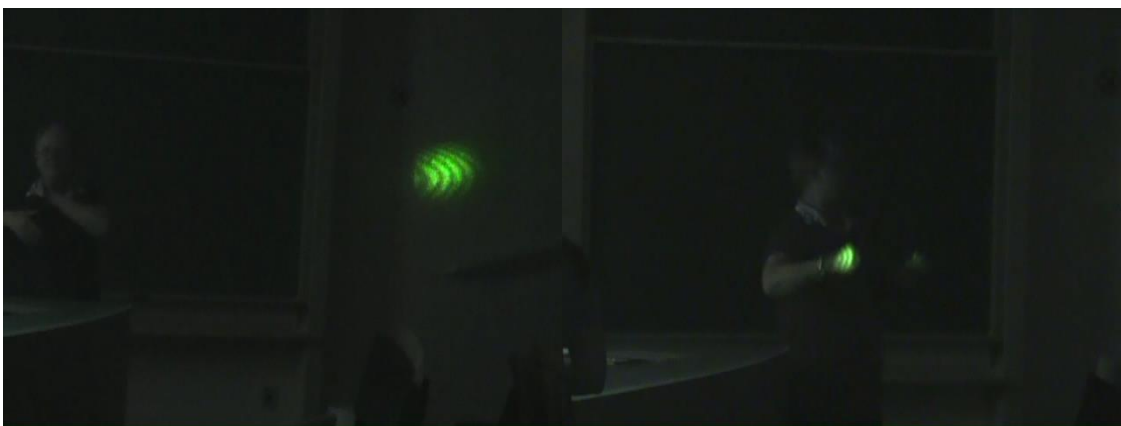
Falta agora, e ficará para quem continuar com os experimentos, arranjar um jeito de poder mostrar essas franjas no projetor da sala de aula, que fica no teto.

### **Apresentações**

Foram feitas duas apresentações (uma de manhã e a outra à noite) para as turmas de F 428 com a Prof. Carola com os experimentos no dia 02/07/14. Abaixo temos algumas fotos das apresentações:



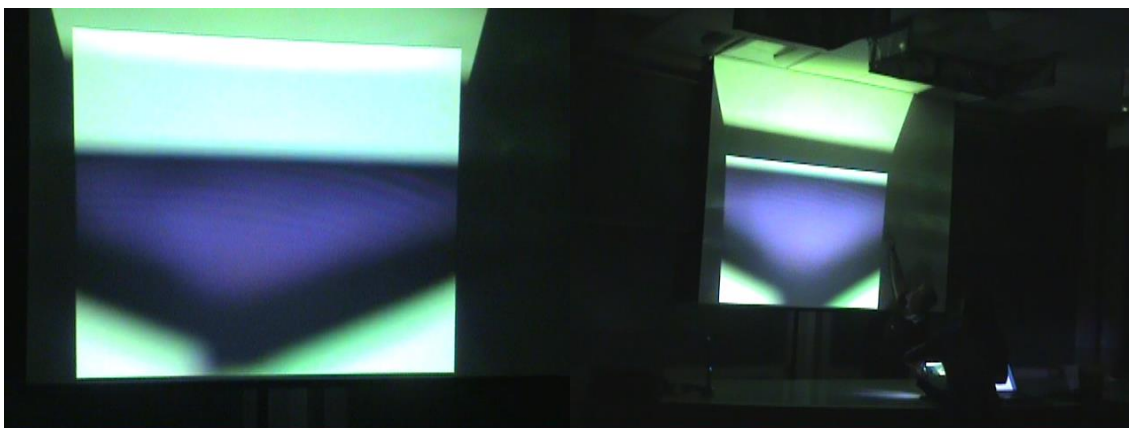
*Figuras 14 e 15 - Franjas obtidas utilizando o interferômetro caseiro durante a apresentação em sala de aula*



*Figuras 16 e 17 - Observa-se o tamanho das franjas obtidas*



*Figuras 18 e 19 - Preparação e visualização das Franjas de Newton, utilizando duas placas de vidro de 6mm de espessura com lados de 28,7cm x 20,5cm x 20,3cm, a fonte luminosa sendo um projetor multimídia convencional de sala de aula, de uns 2000 lumens aproximadamente*



*Figuras 20 e 21 - À direita, a professora Carola explicando as franjas*



*Figura 22 - Aluno observando o interferômetro depois da apresentação: Prof. Mário Noboru Tamashiro*

### **Opinião do orientador:**

O trabalho atingiu o resultado, foi apresentado em sala de aula de F 428, e levanta questões teóricas interessantes. A projeção de franjas de Newton por transmissão é novidade. Será retomado no semestre que vem por um novo aluno de F 609 para deixar um manual de uso pronto.

### **Apêndice:**

Página das disciplinas do professor e orientador:

[www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F895/index.htm](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F895/index.htm)

Endereço do professor e orientador:

<http://portal.ifi.unicamp.br/component/contact/contact/211-pessoas/212-professores/274-141>

Materiais utilizados:

- 1) Para o Espelho de Lloyd: espelho de primeira superfície, vidro, laser e anteparo.
- 2) Para o Interferômetro de Michelson: suporte, laser, dois espelhos de segunda superfície, dois espelhos de primeira superfície, dois vidros semi transparentes, parafusos, anteparo e fita adesiva de dupla face.

- 3) Para as bolhas de sabão: água destilada, glicerina, sabão líquido, pote preto e aro para soprar.
- 4) Para as franjas de Newton: dois pedaços de vidro cortados em forma de triângulo, um projetor e grampos de papel.