

# Interferência da Luz:

## Uma Versão Simplificada do Espelho de Lloyd

.....

### Francisco Catelli

Universidade de Caxias do Sul,  
Pontifícia Universidade Católica do RS  
fcatelli@ucs.br

.....

### Fernanda Lazzari

Universidade de Caxias do Sul,  
Instituto de Educação Cenicista Angelo  
Antonello, RS  
flazzar3@ucs.br

.....

### Descrição da Montagem

A simplicidade e eficiência desta montagem estão relacionadas à fonte de luz: um laser de diodo, destes usados como apontadores de transparências em sala de aula. Seu custo é muito baixo (da ordem de 5 reais) e suas características ópticas são perfeitas para esta aplicação. Quando a lente de colimação é retirada, sua luz intensa e monocromática apresenta-se fortemente divergente. O primeiro passo da montagem consiste então em retirar a ponteira do laser e, com a ajuda de um alicate, remover

O "espelho de Lloyd" é uma das formas possíveis para demonstrar a interferência da luz. Os resultados obtidos são empolgantes e é muito fácil verificar que as franjas observadas são devidas à interferência da luz oriunda dos dois feixes. Os alunos normalmente manifestam grande interesse e motivação pelo assunto

Quando à alimentação, se desejado, substitua as pilhas originais (pequenas e de durabilidade exígua) por uma alimentação externa. Sugerimos um soquete para três pilhas comuns, pequenas (1,5 V), com os terminais munidos de garras jacaré pequenas. Coloque as pilhas no soquete e conecte a garra jacaré correspondente ao pólo negativo

na pequena mola que está localizada no interior do laser. O pólo positivo é ligado em qualquer ponto da carcaça. Com esta alimentação, o laser poderá ser usado continuamente por um tempo muito longo.

A montagem proposta aqui é conhecida na literatura

como "espelho de Lloyd" (Hecht, 1987, p. 343-344), e propicia uma ocasião rara de ver em ação (simultaneamente!) a Óptica Geométrica e a Óptica Física. Com ela é possível visualizar franjas de interferência obtidas através de uma sobreposição de duas fontes: uma, real e a outra, sua

Uma das várias formas possíveis para demonstrar a interferência da luz é o conhecido "espelho de Lloyd", o qual pode ser usado para ilustrar uma curiosa transição da óptica geométrica para a Óptica Física. Neste trabalho é descrita uma versão deste dispositivo de simples execução e de muito baixo custo. A fonte de luz é um laser de diodo sem a lente colimadora, e o espelho, uma lâmina de vidro comum. Os resultados obtidos são empolgantes: o contraste das franjas claras e escuras é surpreendente e, adicionalmente, é muito fácil verificar que as franjas observadas são devidas à interferência da luz oriunda dos dois feixes. Provavelmente, trata-se de uma das demonstrações diretas mais simples de interferência da luz. Adicionalmente, esta montagem oferece a vantagem de uma transição bastante natural da Óptica Geométrica para a Óptica Física: os alunos descobrem que as franjas de interferência resultam da sobreposição de duas fontes: uma real e a outra virtual. Nos testes feitos até o momento em sala de aula, os alunos manifestaram grande interesse e motivação pelo assunto.

com cuidado o plástico que retém a lente. Tente não danificá-la: ela poderá ser útil depois. Uma vez retirada a lente, a luz do laser será fortemente divergente, o que é adequado para as nossas necessidades. Para manter o laser ligado, use uma fita adesiva colada sobre a chave, ou um prendedor de roupa.



Figura 1. A ocular recebe parte da luz diretamente do laser (linhas cheias), e o restante é o reflexo na lâmina de vidro (linhas pontilhadas). O prolongamento dos raios refletidos no espelho forma a imagem virtual da fonte pontual do laser;  $d$  é a distância entre a imagem (virtual) e a fonte (real).

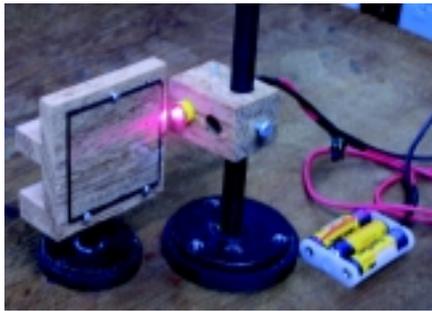


Figura 2. O laser, sem a lente colimadora, foi provido de uma alimentação externa (três pilhas AA). O “espelho” é uma lâmina de vidro, cuja borda foi revestida com uma tira estreita de fita isolante. Uma lente (ocular de 15 X ou a própria lente colimadora do laser) é colocada a 80 cm de distância, apontando para o laser.

imagem especular. Uma parcela da luz da fonte (o laser diodo adaptado como descrito acima) ilumina diretamente uma lente (falaremos dela mais adiante). A outra parcela também ilumina a lente, mas só após ter sido refletida por um espelho. Neste momento ocorre o que mais intriga os estudantes: a luz “interfere com seu reflexo” e as franjas aparecem, ampliadas pela lente (veja o esquema da montagem na figura e a foto de uma das montagens realizadas pelos autores na Fig. 2).

Há alguns detalhes da montagem que merecem uma explanação mais detalhada. Prepare o laser como sugerido acima. Providencie três pedaços de madeira (ou improvise com outros materiais) e prenda num deles o laser com fita adesiva. Prenda no outro pedaço de madeira o “espelho”: uma lâmina de vidro comum com dimensões aproximadas de 5 cm por 5 cm. Para uma melhor proteção na hora de manipular a lamina de vidro, envolva-a com fita isolante cobrindo as bordas, e recorte o excesso de fita com uma lâmina afiada, por exemplo, um estilete. O resultado pode ser visto na foto da Fig. 2. Se você estranhar o uso de um vidro transparente como espelho, lembre que, em incidências rasantes, praticamente toda a luz é refletida (Hecht, 1987, p. 103).

O terceiro pedaço de madeira servirá para fixar uma ocular de microscópio de 15 X, caso você tenha acesso a uma. Com ela, as franjas de interferência são vistas com extrema

facilidade e apresentam alto contraste, como na foto da Fig. 4. Caso a ocular não esteja disponível, é possível improvisar com a própria lente colimadora retirada do laser: as franjas podem ser distinguidas perfeitamente; porém, devido ao reduzido diâmetro da lente, a visualização não é tão confortável. Um suporte adequado para esta lente pode ser feito seguindo o desenho da Fig. 3.

A montagem é bastante simples e rápida: em primeiro lugar, ajuste o laser de modo que a mancha de luz, que lembra a forma de uma elipse bastante achatada, fique com seu eixo maior paralelo à superfície da mesa de apoio. Com isto, são evitados problemas de baixa visibilidade das franjas, devido à polarização do feixe de laser. Aponte em seguida o feixe divergente do laser da direção da lente ocular e, por fim, use a lâmina de vidro para direcionar a luz refletida também sobre a ocular. A lâmina de vidro deve ter seu plano colocado paralelamente ao laser, e bem próximo ao eixo deste. Veja novamente a Fig. 1 e a foto da Fig. 2 para maior clareza. Procure executar a montagem sobre uma mesa firme; apesar deste dispositivo ser pouco sensível às vibrações mecânicas, estas podem atrapalhar bastante no ambiente de sala de aula, onde há em geral bastante “tráfego” de pessoas.

## Resultados

O maior proveito a ser retirado desta montagem é sem dúvida a



Figura 3. Caso uma lente ocular de 15 X não esteja disponível, a própria lente colimadora do laser de diodo pode ser usada. Um suporte como o da figura pode ser confeccionado em madeira. O orifício com a lente e o laser devem ser montados na mesma altura.

interferência da luz. Em sala de aula, exploramos a montagem da seguinte maneira: cada um dos alunos observou as franjas na ocular; imediatamente após vê-las, o feixe direto de luz foi obstruído (com um pedaço de papel), restando apenas o feixe refletido. O observador continua a ver luz, mas as franjas desaparecem. Uma vez retirado o papel, elas reaparecem. Obstruindo desta vez o feixe refletido (coloque o papel diretamente sobre a face do vidro), o observador vê a luz direta do laser, mas novamente as franjas desaparecem. A partir destas observações, o professor pode explorar as idéias de interferência de dois feixes de luz e o experimento de fenda dupla de Young, a partir de um modelo ondulatório da luz, o qual é de compreensão mais simples.

Uma vez explorado o conceito que leva à fenda dupla de Young (Hewitt, 2002, p. 498 e seguintes), é interessante variar a distância do espelho ao laser: quanto menor for esta distância, maior será o espaçamento entre as franjas. Isto se deve ao fato de que a distância ( $d$  na Fig. 1) entre a fonte real e sua imagem especular ter um comportamento em muitos aspectos semelhante ao das duas fendas do experimento de Young<sup>1</sup>.

## Conclusão

Esta montagem alternativa para o experimento do espelho de Lloyd,

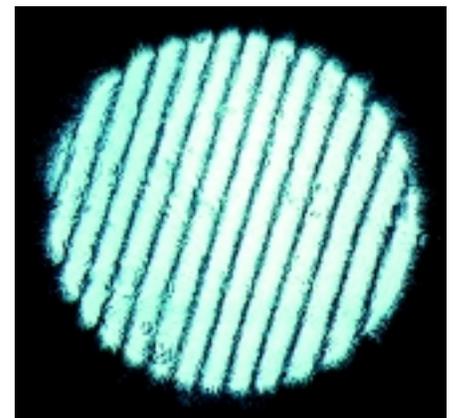


Figura 4. As franjas de interferência, observadas com uma ocular de 15 X. Uma câmara de microscópio foi acoplada à ocular, e a imagem (vista acima) foi fotografada diretamente do monitor (uma TV) com uma câmera digital.

além de ser de muito baixo custo – com aproximadamente R\$ 10,00, é possível adquirir todo o material necessário – pode ser facilmente executada. Há outras demonstrações de execução ainda mais simples (Mahoney, 2003, p. 250, ou Sawicki, 2001, p. 16), porém elas não possibilitam a obstrução alternada dos feixes que produzem a interferência da luz, o que as torna (do ponto de vista dos estudantes) menos convincentes.

A investigação deste “cruzamento” entre a Óptica Geométrica e a Óptica Física é um momento precioso para explorar a curiosidade e a motivação

dos alunos. Além disso, é um ótimo recurso para ser explorado em disciplinas introdutórias de cursos superiores de graduação de Física e de Engenharia.

### Nota

<sup>1</sup>O ângulo  $\theta$  de afastamento entre dois máximos de interferência adjacentes é dado pela expressão

$$\theta = \text{arc sen } \lambda/d.$$

Para obter franjas de interferência mais afastadas umas das outras, deve-se reduzir a distância  $d$  entre as fontes (conforme Fig. 1). O comprimento

de onda  $\lambda$  dos lasers de diodo fica em torno de  $0,64 \mu\text{m}$ , mas pode variar de alguns poucos por cento de um laser para outro.

### Bibliografia

- Eugene Hecht, *Optics* (Addison Wesley, Reading, Massachusetts, 1987), 2ª ed.  
 Paul Hewitt, *Física Conceitual* (Bookman, Porto Alegre, 2002), 9ª ed.  
 James Mahoney. The Physics Teacher (seção “From Our Files”, editada por Thomas B. Greenslade) **41**, 250 (2003).  
 Charles A. Sawicki, The Physics Teacher **16**, 16 (2001).

### Desafios



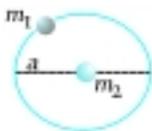
# Problemas Olímpicos

## Novos Problemas

**1** O período  $T$  de uma lua de massa  $m_1$  que descreve uma órbita elíptica cujo eixo maior vale  $a$ , ao redor de um planeta de massa  $m_2$ , depende de  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $a$  e  $G$ .

a) Determine a relação mais geral possível entre estas quantidades.

b) Como esse período se compara com o período  $T$  de um outro sistema cujas massas são  $2m_1$ ,  $2m_2$  mas de mesmo eixo maior?



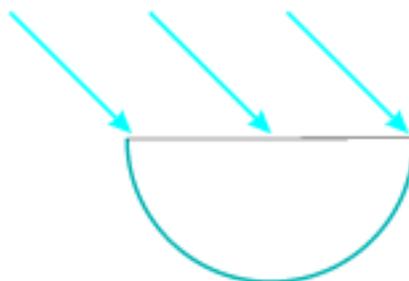
**2** Um volume de  $300 \text{ cm}^3$  de tolueno líquido a  $0^\circ\text{C}$  está em um béquer, enquanto uma outra quantidade de  $110 \text{ cm}^3$  de tolueno a  $100^\circ\text{C}$  está em um outro béquer (o volume combinado é de  $410 \text{ cm}^3$ ). Determine o volume total da mistura dos dois líquidos após serem misturados. Considere o coeficiente de expansão volumétrico  $\beta = 0.001 \text{ C}^{-1}$ , e

despreze qualquer outra forma de perda de calor.

II Olimpíada Internacional de Física  
Budapeste, Hungria, 1968

**3** Um raio de luz paralelo incide sobre a superfície plana de um prisma semi-circular com ângulo de incidência de  $45^\circ$ . O raio sofre refração na superfície plana e atinge a superfície curva do prisma (veja figura). Se o índice de refração do prisma é  $\sqrt{2}$ , analise todos os raios que emergem da superfície curva.

II Olimpíada Internacional de Física  
Budapeste, Hungria, 1968



**4** Um calorímetro de cobre de massa  $m_1$  contém uma massa  $m_2$  de água. A temperatura do conjunto água e calorímetro é  $T_{12}$ . Um pedaço de gelo de massa  $m_3$  e temperatura  $T_3$  é colocado gentilmente dentro do calorímetro. Sabendo que as temperaturas são dadas em graus centígrados, que o calor latente do gelo vale  $L \text{ kcal/kg}$  e que os calores específicos do calorímetro, da água e do gelo são respectivamente  $c_1$ ,  $c_2$  e  $c_3 \text{ kcal/kg}\cdot\text{C}$ , determine todas as temperaturas da mistura se  $T_3$  for negativo.

III Olimpíada Internacional de Física  
Brno, Czechoslovakia, 1969

