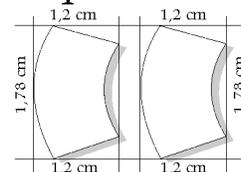
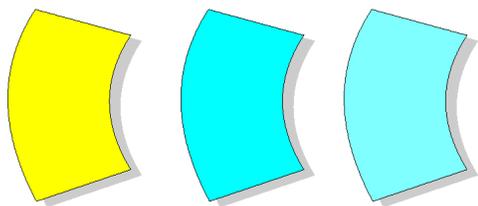


# Criando Ilusões de Óptica

## Usando um Monitor de Computador



Ilusões de óptica geram na maioria das vezes um interesse muito grande nos alunos. De uma maneira geral, há um certo desconforto e ao mesmo tempo um fascínio ao observar algo e não conseguir distinguir claramente o que realmente está acontecendo. Neste artigo, discutimos algumas ilusões de óptica associadas com o efeito da persistência da visão. Com o auxílio de um monitor de computador e um pequeno disco de cartolina é possível observar vários efeitos intrigantes que raramente são discutidos nos livros-texto de Física de graduação (Halliday *et al.*, 1995; Tipler, 2000) ou de Ensino Médio (GREF, 1998; Gerraro e Soares, 1998).

Quando se fala a respeito de ilusões de óptica em cursos introdutórios de Óptica, ocasionalmente algum aluno pergunta por que os raios das rodas dos carros, às vezes

**Há um certo desconforto e ao mesmo tempo um fascínio ao observar algo e não conseguir distinguir claramente o que realmente está acontecendo; algumas ilusões de óptica estão associadas com o efeito da persistência da visão**

giram no mesmo sentido do movimento de rotação da roda e em alguns momentos gira estranhamente no sentido contrário. Quando algum dos alunos comenta esse tipo de observação, em geral grande parte da classe também se recorda de já ter visto o fenômeno pelo menos alguma vez. Diante dessa curiosidade e da falta de um apelo visual que possa ajudar no entendimento dessa ilusão em sala de aula, buscamos, com a ajuda de uma tela de computador, visualizar esse fenômeno de maneira simples e direta.

### Disco com uma Fenda Radial

Primeiramente, cortamos uma fenda no disco de cartolina no sentido radial e fazemos um pequeno furo em seu centro<sup>1</sup>. Uma breve ilustração do fenômeno que iremos discutir pode ser rapidamente realizada prendendo um canudo de plástico ao furo central do disco de cartolina (já com a fenda) e fazendo-o girar rapidamente em frente à tela do computador. Não é difícil perceber que a única fenda se multiplica em várias outras e que essas fendas giram num sentido e depois surpreendentemente em outro. É possível notar que, quando imprimimos uma rotação bem grande ao disco as fendas giram em sentido contrário

a este. Também é intrigante o fato que o número de fendas muda com a diminuição ou aumento de rotação do disco.

A frequência de varredura da tela do computador é igual a 60 Hz, o que signi-

fica que a cada segundo a tela inteira é pintada (“varrida”) 60 vezes. Assim sendo, o período de cada varredura passa a ser igual a  $1/60$  segundos, que passaremos a chamar de  $T_0$ . A persistência visual do olho humano é no máximo em torno de 15 cenas por segundo. Desse modo, colocando uma seqüência de 15 ou mais cenas diferentes em um segundo, o nosso cérebro juntará todas em uma única cena, dando a impressão de movimento.

A Figura 1a mostra como ocorre o surgimento de 6 fendas, a partir de

.....  
Paulo Batista Ramos e  
Rogério Rodrigues de Souza  
pbatista@fev.edu.br  
Centro Universitário de Votuporanga  
.....

Neste artigo propomos, com a ajuda de um monitor de computador e um pequeno disco de cartolina, algumas experiências simples que podem ajudar no entendimento de algumas ilusões de óptica. Em particular, cortando uma fenda no disco de cartolina e fazendo-o girar rapidamente em frente ao monitor de computador é possível observar vários efeitos interessantes.

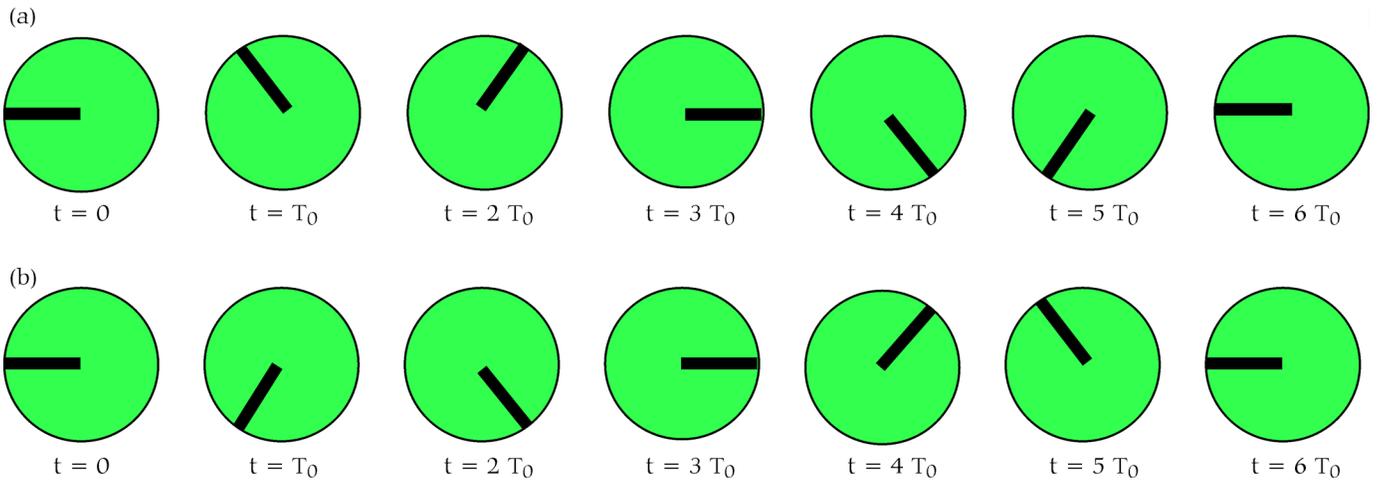


Figura 1. (a) Intervalos de tempos  $T_0, 2 T_0, 3 T_0, \dots$  que correspondem às varreduras sucessivas e às correspondentes posições da fenda do disco de cartolina. Nesse caso, a fenda gira  $60^\circ$  a cada varredura, dando a impressão de movimento composto horário, no mesmo sentido da rotação do disco de cartolina. (b) Intervalos de tempos  $T_0, 2 T_0, 3 T_0, \dots$  que correspondem às varreduras sucessivas e às correspondentes posições da fenda do disco de cartolina. Aqui, a fenda gira  $300^\circ$  a cada varredura, dando então a impressão de que a fenda gira no sentido anti-horário, contrário ao sentido de rotação do disco.

uma única fenda, girando no sentido horário. Acompanhando as posições da fenda, após sucessivas varreduras da tela do computador, é possível notar um movimento contínuo da fenda girando no sentido horário. Nesta situação, notamos que a cada varredura da tela do computador o disco gira sempre  $1/6$  de volta (que corresponde a um ângulo de  $60^\circ$ ). Assim, após uma varredura a fenda estará a  $60^\circ$  de sua posição inicial.

Após duas varreduras a  $120^\circ$  de sua posição inicial e assim por diante. Finalmente após 6 varreduras a fenda volta à sua posição inicial. Uma vez que o disco realiza

**Verificando o número de fendas criadas na cartolina e o sentido do movimento de rotação dessas fendas, podemos inferir qual é a frequência de rotação do disco**

$1/6$  de volta a cada tempo de varredura  $T_0$ , o período de rotação do disco, no qual ele realiza uma volta inteira, será igual a  $6 T_0$ . A frequência correspondente será igual ao inverso desse período, ou seja,  $1/(6 T_0)$ . Levando em conta o valor de  $T_0$ , que é igual a  $1/60$  segundos, obtém-se então uma frequência igual a 10 Hz.

Ilustremos agora a situação na qual as 6 fendas parecem girar em sentido contrário à rotação do disco. Nessa situação, consideremos que a cada varredura da tela do computador o disco gira sempre  $5/6$  de volta (que corresponde a um ângulo de  $300^\circ$ ).

Dessa forma, após uma varredura a fenda estará a  $300^\circ$  de sua posição inicial, após 2 varreduras a fenda estará a  $600^\circ$  de sua posição inicial e assim sucessivamente. A Figura 1b ilustra passo a passo as posições da fenda após sucessivos intervalos de tempo  $T_0$ . Observando as posições sucessivas das fendas podemos notar que o resultado do movimento da fenda aparenta ser um movimento contrário ao movimento de rotação.

Levando em conta que o disco realiza  $5/6$  de volta a cada varredura, o período de rotação do disco será igual a  $(6/5) T_0$ . A frequência de rotação é igual ao inverso desse período, e substituindo o valor de  $T_0$  é possível obter uma frequência igual a 50 Hz. Uma vez que essa frequência corresponde a um número maior que 15 cenas por segundo (no caso, 50 cenas por segundo), maior que a quantidade de cenas por segundo que nosso cérebro consegue distinguir isoladamente, teremos a impressão que existem ao todo 6 fendas no disco de cartolina.

Nas Tabelas 1a e 1b são apresentadas algumas frequências de rotação do disco de cartolina, os períodos e os correspondentes números de fendas surgidos no disco de cartolina. Um ex-

celente exercício que pode ser proposto aos alunos em sala de aula é a construção dessa tabela seguindo o raciocínio apresentado anteriormente.

Uma conclusão interessante que podemos tirar dessas observações é o fato de que, verificando o número de fendas criadas na cartolina e o sentido do movimento de rotação dessas fendas, podemos inferir qual é a frequência de rotação do disco. Por exemplo, se observarmos o disco de cartolina

Tabela 1. (a) Frequência, período de rotação do disco e o correspondente número de fendas, dando a impressão de movimento no mesmo sentido de rotação do disco. (b) Frequência, período de rotação do disco e o correspondente número de fendas, dando a impressão de movimento das fendas no sentido contrário à rotação do disco.

(a)		
Frequência (Hz)	Período	Fendas
5	$12 T_0$	12
6	$10 T_0$	10
7,5	$8 T_0$	8
10	$6 T_0$	6
15	$4 T_0$	4
(b)		
Frequência (Hz)	Período	Fendas
45	$4/3 T_0$	4
50	$6/5 T_0$	6
52,5	$8/7 T_0$	8
54	$10/9 T_0$	10
55	$12/11 T_0$	12

possuindo 4 fendas que giram no sentido contrário à rotação do disco, podemos deduzir que o disco gira a 45 Hz, ou, ainda, que este gira à frequência de 45 Hz mais múltiplos inteiros da frequência de varredura da tela do computador de 60 Hz, ou seja, 105 Hz, 165 Hz,... e assim por diante. De fato, um outro exercício interessante que pode ser proposto aos alunos é observar o número de fendas e o seu sentido de rotação e inferir a frequência de rotação do disco.

Com o auxílio de um pequeno motor acoplado ao furo central do disco de cartolina, é possível controlar a frequência de rotação desse disco e assim observar gradualmente a mudança no número de fendas criadas e a posterior alteração do sentido de rotação dessas fendas. A Figura 2 mostra como a montagem experimental pode ser feita. O potenciômetro permite variar a corrente elétrica que passa no pequeno motor e assim controlar a rotação do disco. Além disso, quando a frequência de rotação do disco é maior que a frequência de varredura da tela do computador, ou seja, para frequências maiores que 60 Hz (3600 rpm), algumas deformações nas fendas do disco podem ser notadas.

## Deformações

Para estudar essas deformações que são extremamente interessantes, realizamos algumas investigações. Antes de qualquer coisa, tomamos dois discos de cartolina. Um deles exatamente igual ao usado anteriormente; no segundo cortamos um pequeno círculo fora de seu centro, com diâ-

metro aproximadamente igual a 4 cm e a 1 cm da borda do disco. Acoplamos cada um desses dois discos ao motor e gradualmente aumentamos a sua rotação até começarmos a perceber as deformações. Para cada situação, ou seja, para o disco com o furo excêntrico e para o disco com a fenda radial, realizamos as observações separadamente. Os resultados obtidos são descritos abaixo.

Para os dois discos notamos que as deformações sempre ocorriam do lado direito da tela do computador. É difícil não deixar de registrar o espanto e a curiosidade dos alunos ao observar tais deformações. Para demonstrar que isso acontecia justamente pelo fato de que o sentido de varredura da tela é da esquerda para a direita e de cima para baixo, invertamos a tela do computador deixando-a literalmente de cabeça para baixo. Nessa nova situação, o sentido da varredura da tela se invertia e passava a ser da direita para a esquerda e de baixo para cima. As deformações nos discos agora sempre aconteciam do lado esquerdo da tela. As fotos a seguir mostram as deformações verificadas nos dois casos para o disco com o círculo fora de seu centro.

O disco de cartolina com a fenda radial produz deformações intrigantes. Nas fotos a seguir são apresentadas tais deformações, onde também é claramente possível observar a varredura.

A explicação para o surgimento dessas deformações se baseia no fato de que o disco de cartolina se encontra girando, nessas situações, com uma frequência maior que a frequência de

varredura do feixe da tela do computador. Assim sendo, por exemplo, no caso do disco de cartolina com o furo excêntrico que gira no sentido horário, como mostra a Foto 1, o furo está girando mais rápido que a varredura do feixe. Dessa forma, quando a varredura se desloca de cima para baixo (e da esquerda para a direita) revelará as várias posições posteriores do furo. O efeito resultante é o verificado na Foto 1, que mostra as sucessivas posições superpostas do furo correspondentes às sucessivas varreduras horizontais. É preciso lembrar que isso ocorre, pois a frequência envolvida é bem maior do que a persistência visual. Para as situações mostradas na Foto 2, o mesmo raciocínio se aplica, mas agora como a tela está invertida, a varredura se desloca de baixo para cima (e da direita para a esquerda) e como o disco gira mais rápido que a varredura (ainda no sentido horário), as próximas varreduras horizontais revelarão as sucessivas posições superpostas do furo. Na Foto 3, que diz respeito à fenda radial, esta também se encontra girando com uma frequência maior que a frequência de

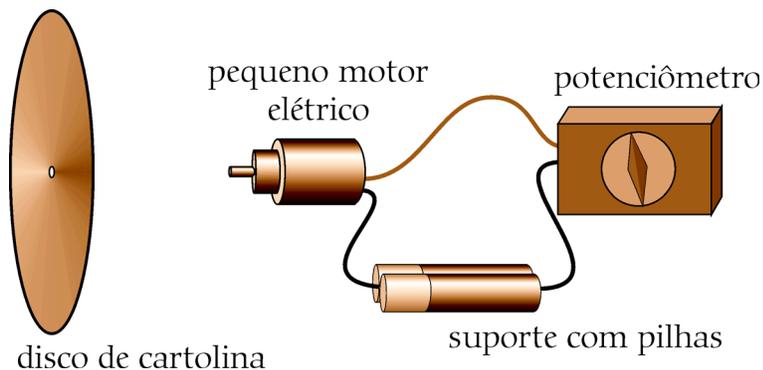


Figura 2. Esquema ilustrando a montagem da experiência.

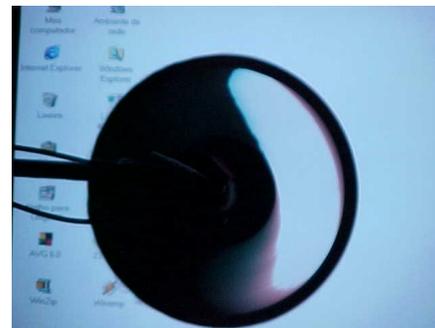


Foto 1. Registro do disco de cartolina com um círculo feito fora do centro do disco. Nesse caso, a tela do computador é mantida em sua posição original, onde os ícones podem ser vistos na parte superior esquerda.

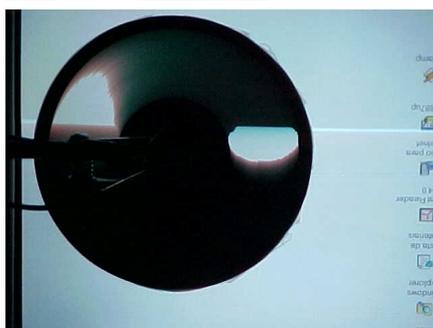
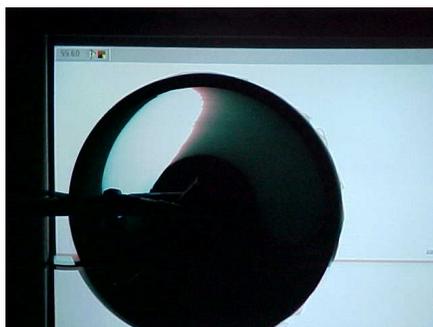


Foto 2. Registro no mesmo disco de cartolina, mas agora com a tela de computador invertida. Na segunda foto, alguns ícones na parte superior direita sugerem que a tela está de cabeça para baixo.

varredura, logo, as sucessivas varreduras horizontais que ocorrem de cima para baixo do feixe indicarão as sucessivas posições superpostas correspondentes dessa fenda. Finalmente, uma atividade interessante que pode ser proposta aos alunos é a análise e a discussão dessas deformações em várias fotos tiradas do disco com a fenda

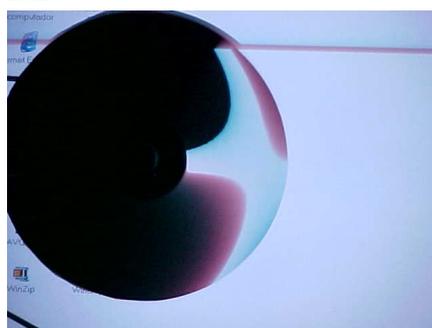
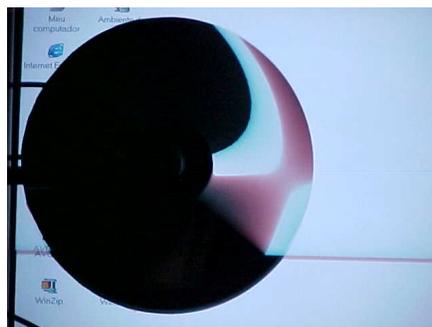


Foto 3. Registro o disco de cartolina com uma fenda radial. Aqui, a tela de computador é mantida em sua posição original.

ou ainda com outras formas geométricas cortadas sobre este.

### Conclusão

Algumas experiências realizadas em sala de aula podem enriquecer o tema discutido e torná-lo mais atrativo. Aqui, mostramos que com a ajuda de um monitor de computador e

um pequeno disco de cartolina vários efeitos interessantes e curiosos podem ser observados. É importante dizer que os mesmos efeitos apresentados também podem ser visualizados com a ajuda de uma televisão no lugar do monitor de computador. Devido ao seu aspecto elementar, os conceitos discutidos aqui podem tanto ser apresentados no ensino médio como em cursos introdutórios de graduação.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a M.A.C. Gonçalves e P. Delatorre pelas discussões durante o desenvolvimento do trabalho.

### Nota

<sup>1</sup>Tomamos um disco de cartolina com 8 cm de raio e fenda de largura de 1 cm e comprimento igual a 6 cm.

### Referências

- Halliday, D.; Resnick, R. e Walker, J. *Fundamentos de Física 4: Ótica e Física Moderna*. LTC, Rio de Janeiro (1995).
- Tipler, P.A. *Física: Eletricidade, Magnetismo e Ótica*. LTC, Rio de Janeiro (2000).
- Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. *Física 2: Física Térmica e Ótica*. Edusp, São Paulo (1998).
- Ferraro, N.G. e Soares, P.A.T. *Física Básica*. Volume único, Atual, São Paulo (1998).

---

### Assine A Física na Escola

Para receber *A Física na Escola* faça sua assinatura anual enviando cheque no valor de R\$ 15,00 (se professor do Ensino Médio) ou R\$ 20,00 se assinante comum. Assinantes da *Revista Brasileira de Física* recebe *FnE* gratuitamente. Se preferir, pague pelo cartão Visa.

Valor da assinatura R\$ \_\_\_\_\_ N.º do Cartão: \_\_\_\_\_ Validade (mês/ano): \_\_\_\_ / \_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_ Cidade: \_\_\_\_\_

CEP: \_\_\_\_\_ UF: \_\_\_\_\_ E-mail: \_\_\_\_\_

DDD: \_\_\_\_\_ Telefone: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_

Escola (nome/endereço): \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Assinatura

Remeta seu comprovante de pagamento para a Sociedade Brasileira de Física - C.P. 66328 - 05315-970, São Paulo - SP ou envie cópia digital por e-mail para [jean@sbf.if.usp.br](mailto:jean@sbf.if.usp.br), aos cuidados de Jean Buzoli. Obs.: Guarde consigo o recibo referente ao pagamento efetuado.