

## ECF5726 – Óptica Física: Teoria, Experimentos e Aplicações

Atividade A10 opcional – Entrega: 02/11/2016

Aluno: José Guilherme Licio

Número USP: 7144017

### Moscas Volantes

Nesta atividade, vamos explorar um fenômeno visual que é fruto da curiosidade de muitas pessoas, que num curso de óptica é raramente explorado e que pode servir como base para a discussão de fenômenos físicos de grande relevância, como a difração da luz. Este fenômeno é o aparecimento das chamadas “moscas volantes”, ou “flutuadores”: pequenas manchas que vemos se movimentarem quando olhamos para um fundo claro e sem distrações, como o céu limpo.



*Figura 1: Representação artística das moscas volantes.*

Estas estruturas nada mais são do que partículas em suspensão no **humor vítreo** do olho. Algumas células do olho se desprendem das paredes e ficam flutuando no humor vítreo (que ocupa maior parte do olho), e, como essas partículas são muito pequenas, da ordem do tamanho do comprimento de onda da

luz visível, ocorre o fenômeno de difração da luz, e nossa retina capta a luz difratada, causando-nos a percepção dessas imagens.

O fato dessas estruturas estarem *soltas* no humor vítreo é importante para que possamos enxergá-las. Existem outros artefatos dentro dos olhos que, a princípio, obstruem a passagem de luz até a retina, por exemplo os vasos sanguíneos. No entanto, como os vasos sanguíneos estão em posições fixas, nosso cérebro “filtra” a imagem por meio de adaptação neural, então não podemos enxergá-los dessa maneira (incidentalmente, é possível ver os vasos sanguíneos por meio de um fenômeno chamado “Árvores de Purkinje”... Mas isto é assunto para outro trabalho!).

Se, ao vermos uma dessas moscas volantes, observamos a fonte de luz (o céu limpo, por exemplo) por meio de um buraco feito por um alfinete (*pinhole*), o efeito da difração é aumentado, pois, dessa forma, a luz que entra no olho é uma onda plana. Podemos fazer a relação entre este fenômeno e a facilidade aumentada de se observar as moscas volantes num ambiente claro, pois, dessa forma, a pupila se contrai devido à luminosidade, e então a difração da partícula é salientada.

Em geral, a visualização das moscas volantes não é algo para se preocupar, pois em geral as partículas sólidas presentes no humor vítreo do olho se tratam somente de colágeno (que se quebra em pequenas fibras) e ácido hialurônico, que formam o gel do humor vítreo. Em idades mais avançadas, no entanto, é possível que mais partículas sólidas se formem devido ao encolhimento do humor vítreo.

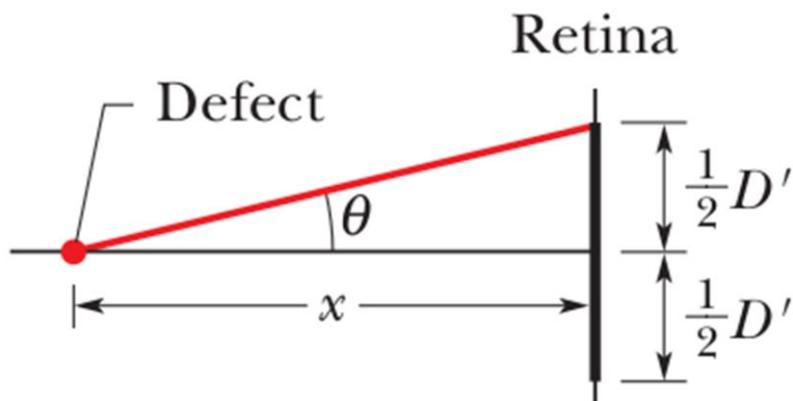
Algumas enfermidades podem causar a presença de mais moscas volantes. Por exemplo, traumas oculares, e defeitos na retina podem fazer com que mais partículas, como glóbulos vermelhos, fiquem em suspensão. Quando uma pessoa tem toxoplasmose, ocorre acúmulo de glóbulos brancos no globo ocular, que também aumenta a visualização das moscas volantes.

Agora, faremos um tratamento físico desse fenômeno.

Podemos fazer algumas aproximações para deduzir o tamanho típico dessas partículas em suspensão:

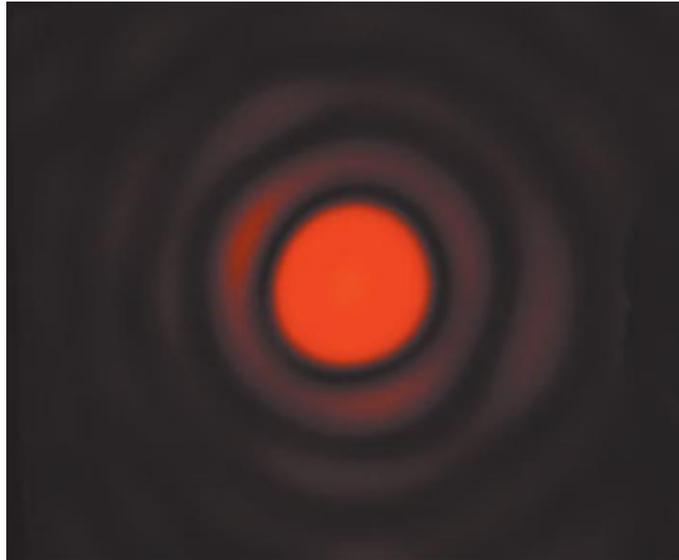
Vamos assumir uma mosca volante circular, causada por uma partícula em suspensão que está, digamos, a 6.0mm da retina. O padrão de difração será

circular, e o primeiro mínimo terá um diâmetro  $D'$ . O que queremos descobrir é o diâmetro da partícula, que chamaremos  $d$ . Adotaremos a seguinte geometria:



*Figura 2: Geometria do cálculo do raio da partícula (defeito) que causa mosca volante.*

A análise matemática para as condições de máxima e mínima interferências causadas numa difração por abertura circular é bastante complicada, e envolve integrais residuais de funções complexas. No entanto, podemos destacar que o máximo central de interferência deste caso corresponde a uma mancha clara chamada de **Disco de Airy**. Esse máximo central é envolto por um mínimo de primeira ordem (uma circunferência escura), o primeiro mínimo de interferência, que, tecnicamente, corresponde ao primeiro zero de uma certa função (a saber, Função de Bessel de primeira ordem) que aparece no cálculo da irradiância da luz difratada por obstáculos circulares.



*Figura 3: Padrão de difração de abertura circular. O máximo central é o disco de Airy. O disco escuro ao redor é o primeiro mínimo.*

Sem entrar em detalhes, esse primeiro zero implica que o raio do disco escuro do primeiro mínimo é dado pela aproximação

$$\text{sen}(\theta) = 1.22 \frac{\lambda}{d}$$

onde  $\theta$  é o ângulo entre a fonte da difração e o mínimo observado,  $\lambda$  é o comprimento de onda da luz incidente e  $d$  é o diâmetro da fonte difratora circular. Note que essa expressão é diferente do caso que analisamos durante a aula, quando tratávamos a fenda retangular.

Para calcular  $\text{sen}(\theta)$ , e, assim, proceder para o cálculo do diâmetro real da partícula, é necessário saber o diâmetro do mínimo de difração na retina. Isso pode ser feito da seguinte maneira: se observarmos um ponto circular de tamanho conhecido (por exemplo, 2 mm), e ajustarmos a distância de observação do ponto ao nosso olho até que o ponto e o primeiro mínimo de difração coincidam, e sabendo que a distância entre as lentes dos nossos olhos e a retina é de aproximadamente 2.0cm, temos o seguinte caso:

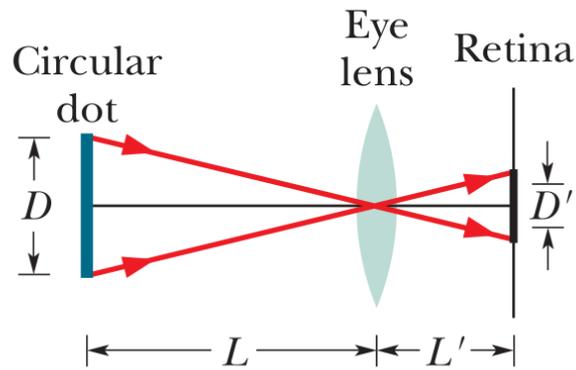


Figura 4: Geometria da observação do ponto circular.

Tipicamente, a distância  $L$  (grandeza que podemos controlar, neste caso) é cerca de 25cm. Como o ângulo  $\theta$  é igual à direita e à esquerda da lente, temos:

$$\begin{aligned} \tan(\theta_{\text{esquerda}}) &= \tan(\theta_{\text{direita}}) \\ \frac{D}{2L} &= \frac{D'}{2L'} \\ D' &= D \frac{L'}{L} \end{aligned}$$

Substituindo os valores numéricos,

$$D' = 2.00\text{mm} * \frac{2.00\text{cm}}{45.0\text{cm}} = 0.16\text{mm}$$

Agora, voltando para a condição de primeiro mínimo de interferência na difração de abertura circular, e tomando os valores extremos de comprimento de onda da luz visível (400nm, para o azul, e 700nm para o vermelho), podemos calcular os diâmetros máximos e mínimos das partículas que difratam a luz:

$$\begin{aligned} \tan(\theta) &= \frac{D'}{2x} = \frac{0.16\text{mm}}{2 * 6.00\text{mm}} \\ \theta &= 0.764^\circ \end{aligned}$$

Assim,

$$d = \frac{1.22\lambda}{\text{sen}(\theta)} = \frac{1.22\lambda}{\text{sen}(0.764^\circ)}$$

Para o valor mínimo:

$$d_{min} = \frac{1.22 * 400nm}{sen(0.764^\circ)} \approx 37\mu m$$

Para o máximo,

$$d_{max} = \frac{1.22 * 700nm}{sen(0.424^\circ)} \approx 64\mu m$$

## Conclusões

Nesta atividade, exploramos um pouco do fenômeno de difração por abertura circular para uma estimativa dos tamanhos das partículas que, em suspensão no humor vítreo do olho humano, causam a *myopiaeopsia*, ou percepção das moscas volantes, ou flutuadores, que é um fenômeno muito comum de ser observado, e que, em geral, não significa riscos ou doenças. Este fenômeno tampouco se trata de uma ilusão de óptica, uma vez que as partículas realmente estão dentro do olho causando o fenômeno de difração.

## Referências Bibliográficas

Eugene Hecht - Optics, 4<sup>th</sup> ed. Addison Wesley, 2002.

Halliday, Resnick & Walker – Fundamentals of Physics Extended, 10<sup>th</sup> ed, cap. 36. Wiley, 2014.

Alan G. Kabat, Joseph W. Sowka - A clinician's guide to flashes and floaters. optometry.co.uk, 2009.

Artigo da Wikipedia, em ingles: <https://en.wikipedia.org/wiki/Floater>