

Noções sobre Instrumentos Ópticos¹ [Adaptado de Moysés]

Questões motivadoras:

- Qual instrumento óptico você acha mais interessante?
- Qual seu é o princípio básico de funcionamento desse instrumento?

O olho humano é uma das construções naturais mais perfeitas e engenhosas que existe. É um instrumento natural fantástico!! Na fig.2.39 há uma representação simplificada de um olho humano. O olho contém, imersas em fluidos transparentes com índice de refração aproximadamente igual ao da água, uma "lente" fixa, a córnea (C), formada de material duro e transparente, e outra flexível, o cristalino (L), que pode ser comprimida ou distendida (mudando seu foco) pelo músculo ciliar (M). (Este processo chama-se acomodação). A íris (I) é um diafragma cuja abertura, a pupila, se contrai ou dilata conforme a intensidade da iluminação. Num olho normal, luz incidente paralela é focalizada num ponto F' da retina (fundo de olho) (R). Nesta estão as células (cones e bastonetes) que transmitem sinais ao nervo ótico (N), o qual está ligado ao cérebro. Para uma pessoa míope (hipermétrope), F' cai antes (depois) da retina, o que se corrige usando óculos com lentes divergentes (convergentes).

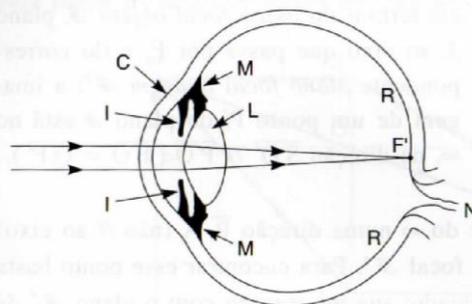


Fig. 2.39 Olho humano

Há uma pequena região da retina, a fóvea, onde a acuidade visual é máxima, e geralmente procuramos girar os globos oculares para que a imagem do objeto que queremos "olhar" caia sobre ela. A acomodação do cristalino, mudando sua distância focal, permite que um olho normal de uma pessoa jovem possa ver com nitidez desde uma distância muito grande até um *ponto próximo*, localizado a cerca de 15 cm do olho. A distância d_o em que a visão é mais nítida é de ~ 25 cm. Ambos variam com a idade. Tomaremos $d_o = 25$ cm.

Para examinar um pequeno objeto, procuramos trazê-lo o mais perto possível dos olhos, afim de que a imagem na retina seja a maior possível, mas, para que ela permaneça nítida, não podemos vir mais perto do que o ponto próximo. O tamanho da imagem na retina é proporcional ao ângulo visual, o ângulo subtendido no olho pelo tamanho y do objeto. Para a visão a "olho nu" esse ângulo (fig. 2.40) é da ordem de

$$\theta_o = \frac{y}{d_o}$$

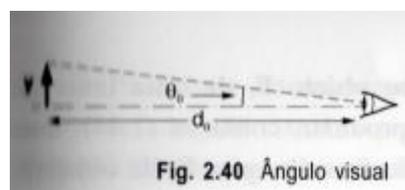


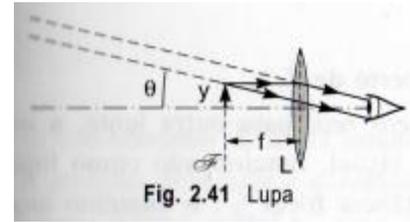
Fig. 2.40 Ângulo visual

¹ Adaptado de Moysés, Vol.4, págs 32-35, para a disciplina Física IV. A abordagem no Moysés é simples e direta e por isso foi escolhida aqui. O propósito do material é organizar a aula a ser dada. Não tive o propósito aqui de montar material para ser entregue aos estudantes.

Onde d_o é a distância de visão mais nítida ($d_o \sim 25$ cm), e por suposição $y \ll d_o$, de forma que $\text{tg}\theta \sim \theta$.

Lupa

Se usarmos (fig.2.41) uma lupa (lente de aumento), a lente convergente L, com o olho próximo de L e o objeto no plano focal \mathcal{F} de L, a "imagem" (virtual) subtenderá um ângulo θ (raios paralelos) dado por



$$\theta = \frac{y}{f}$$

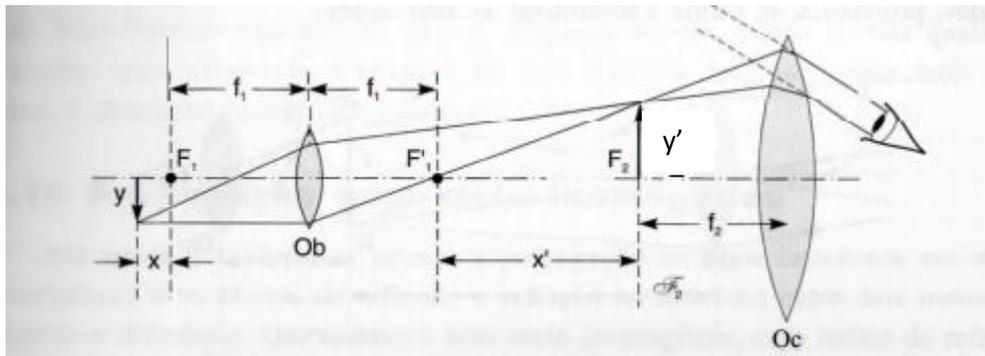
ou seja, o aumento angular produzido (que também é o aumento da imagem na retina) é:

$$m_\theta = \frac{\theta}{\theta_o} = \frac{d_o}{f} \quad (2.48)$$

A vantagem de colocar o objeto no plano focal é que o olho normal, quando relaxado, permanece focalizado no ∞ . Convém, portanto, usar uma lente L de distância focal f a menor possível. Como as aberrações aumentam quando f diminui, isto limita o aumento máximo da lupa a valores menores que 10. Valores típicos são da ordem de 3.

Microscópio

Para obter aumentos maiores, podemos usar um microscópio composto, cuja forma esquemática mais simples está ilustrada na fig.2.42.



O objeto, de tamanho y , é colocado perto do foco objeto F_1 de uma lente de pequena distância focal f_1 , a objetiva, de forma a produzir, como na (2.44), uma imagem real invertida de tamanho y' à distância x' do foco imagem F_1' da objetiva. O aumento linear, dado pela (2.44),

$$m = \frac{y'}{y} = -\frac{f_1}{x} = -\frac{x'}{f_1}$$

é grande, porque $x \ll f_1$ (o objeto é colocado perto de F_1).

A imagem y' passa a funcionar como objeto real para outra lente, a ocular (fig.2.42), cuja função é aumentar seu ângulo visual, funcionando como lupa. Se y' é projetado no plano focal da ocular, de distância focal f_2 , o aumento angular produzido pela ocular é dado pela (2.48):

$$m_\theta = \frac{d_o}{f_2}$$

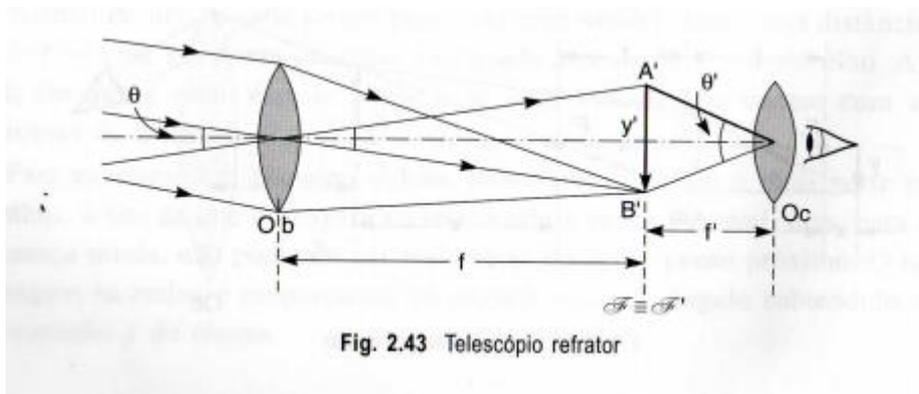
e o aumento total do microscópio composto é o produto dos dois, ou seja, é dado por

$$mm_{\theta} = -\frac{x'}{f_1} \cdot \frac{d_o}{f_2} \quad \left[\begin{array}{l} d_o = 25 \text{ cm} \\ x' = \text{comprimento do tubo} \\ \text{do microscópio} \end{array} \right]$$

Nos microscópios comerciais e demais instrumentos ópticos (câmeras, binóculos, telescópios) a objetiva e a ocular são lentes compostas, projetadas de forma a minimizar as aberrações cromáticas.

Telescópio Refrator

A finalidade do telescópio refrator mais simples, ilustrado na fig.2.43, é aumentar o ângulo visual, e por conseguinte a imagem observada, de objetos muito distantes (distâncias astronômicas).



A objetiva do telescópio recebe raios praticamente paralelos do objeto, focalizando-os em seu plano focal imagem \mathcal{F} . Raios vindos do objeto dentro de um cone de direções de abertura θ produzem a imagem real $A'B'$ no plano focal \mathcal{F} , que também subtende um ângulo θ visto da objetiva; pela aproximação paraxial,

$$\theta = \frac{y'}{f} \quad (2.52)$$

onde y' é o tamanho $A'B'$ da imagem e f a distância focal da objetiva.

A posição da ocular é escolhida de tal forma que \mathcal{F} também coincide com seu plano focal objeto, como no caso da lupa, de forma que o ângulo subtendido pela Imagem final de $A'B'$ é dado pela (2.47):

$$\theta' = \frac{y'}{f'} \quad (2.53)$$

onde f' é a distância focal da ocular.

Decorre das (2.52) e (2.53) que o aumento angular do telescópio é

$$M_{\theta} = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{f}{f'} \quad (2.54)$$

a razão da distância focal da objetiva para a distância focal da ocular (geralmente $f \gg f'$). A imagem, nesse caso, é invertida, mas podem-se empregar diversos dispositivos para obter uma imagem direta.

Os telescópios de observatórios astronômicos são usualmente refletores, pois é mais fácil fabricar espelhos de grande diâmetro do que lentes de boa qualidade (veremos mais adiante as vantagens de uma objetiva de grande diâmetro); além disso, a aberração cromática é eliminada.

Atividade prática:

- (a) Localizar o ponto próximo e a distância de visão mais nítida para seu caso. Sugestão: use uma caneta. Coloque-a em uma posição vertical distante e depois aproxime-a lentamente ao longo do verificando o que acontece com a nitidez de um ponto em sua extremidade.
- (b) Localizar o ponto onde se encontra a entrada do nervo óptico na retina achando o “ponto cego” de cada olho. Coloque uma caneta na posição vertical a cerca de 25 cm do olho, na qual você veja nitidamente a ponta. Com o olho fixo nesse ponto do espaço, sem mexer a cabeça ou o olho, mexa a caneta lateralmente e veja o que acontece com a visão da ponta da caneta.

Obs: Faltou ilustrar a aberração cromática.