

Exp. 10

Instrumentos Óticos

FSC2144 - Laboratório de Física IV
FSC5123 - Física experimental II

lemo.ufsc.br
Versão de 17 de março de 2024

1 Objetivos

Medir:

- a ampliação, para diversas combinações de lentes, em um microscópio composto;
- o tamanho de objetos, com o auxílio de um microscópio composto;
- a ampliação de um telescópio de Kepler e de uma luneta de Galileu.

2 Teoria Básica

Quando um objeto de tamanho o estiver a uma distância p de uma lente convergente de distância focal f , a distância p' da imagem poderá ser calculada pela equação dos pontos conjugados (ver teoria da Experiência 9, *Espelhos e Lentes*):

$$\boxed{\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}} \quad (1)$$

A ampliação ou aumento M desta lente será:

$$\boxed{M = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}}, \quad (2)$$

onde i representa o tamanho da imagem.

2.1 Microscópio Ótico

2.1.1 Microscópio Simples

O microscópio simples (ou **lupa**) nada mais é do que uma lente convergente utilizada para formar uma **imagem virtual e direita** de um objeto. Para que isso seja possível, o objeto deve estar posicionado entre a lente e seu ponto focal (figura 1). De fato, quando $p < f$, a equação (1) fornece $p' < 0$ e, portanto, $M > 0$ (conforme equação 2).

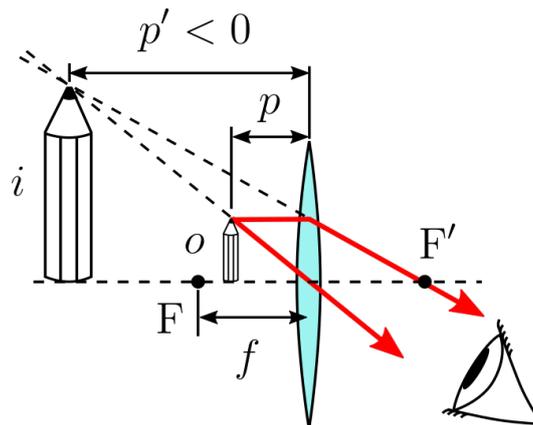


Figura 1 Representação esquemática de um microscópio simples, mais conhecido como lupa.

2.1.2 Microscópio Composto

O que diferencia um microscópio composto de um microscópio simples é essencialmente o número de lentes. Enquanto o simples é formado por uma única lente, o composto necessita de, no mínimo, duas lentes. Ele também fornece geralmente um aumento maior que o obtido com o microscópio simples, sendo adequado para visualizar pequenos objetos e até estruturas celulares.

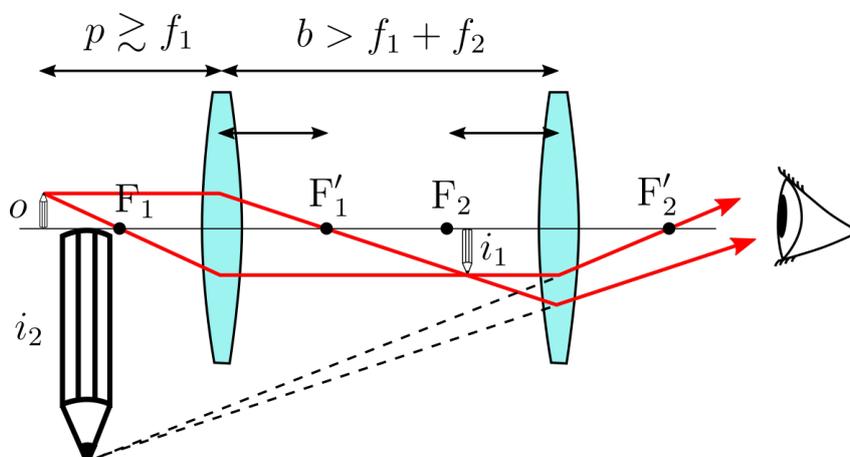


Figura 2 Representação esquemática de um microscópio composto

O microscópio composto mais elementar consiste de um sistema de duas lentes convergentes: a **lente objetiva** (próxima do objeto) e a **lente ocular** (próxima ao olho do observador). Na prática, tanto a objetiva quanto a ocular são sistemas de lentes altamente aperfeiçoadas com a finalidade de corrigir as aberrações. Considere-se, por simplicidade, a objetiva e a ocular como lentes convergentes delgadas.

Na figura 2, representamos o arranjo de lentes de um microscópio composto, em que as lentes objetiva e ocular são dispostas paralelamente entre si, a distância b uma da outra, e perpendicularmente ao eixo óptico de propagação representado pela linha horizontal.

Nessa figura, está representada a imagem real (de tamanho) i_1 , produzida pela objetiva de distância focal f_1 , de um objeto de tamanho o . Os raios que formam esta imagem real i_1 continuam seu trajeto até a segunda lente (a ocular, de focal f_2). Desta maneira, a imagem real formada serve de objeto para a ocular (como se esta fosse uma lupa), produzindo então uma imagem virtual de tamanho i_2 , na distância mínima de visão distinta, que é a menor distância entre um objeto e olho de uma pessoa para que ela possa vê-lo com nitidez. Convencionaremos aqui que essa distância vale aproximadamente 25 cm.

A figura 2 não está em escala, mas o objeto é sempre colocado próximo do foco da objetiva, de modo que $p_1 \simeq f_1$. A imagem i_1 se forma muito perto do ponto focal F_2 da ocular e sua distância focal é pequena o suficiente para que possamos fazer a aproximação $p'_1 \simeq b$, ou seja, a imagem i_1 se forma a uma distância da objetiva aproximadamente igual ao comprimento b do tubo do microscópio, que seria um tubo a cujas extremidades as duas lentes são acopladas.

Portanto, usando a equação (2) e as aproximações descritas acima, chegamos à seguinte expressão para o aumento da **lente objetiva**:

$$M_1 = -\frac{p'_1}{p_1} \simeq -\frac{b}{f_1}, \quad (3)$$

que só depende da sua distância focal f_1 e do comprimento do tubo de microscópio.

Tratemos agora de encontrar o aumento M_2 da lente ocular. Considerando a imagem i_1 como objeto para a ocular e sabendo que ela se forma muito próxima do foco F_2 , pode-se dizer que $p_2 \simeq f_2$ (distância objeto \simeq distância focal). O observador vê a imagem i_2 do “objeto” i_1 na distância mínima de visão distinta, $s \simeq 25$ cm. Então $p'_2 \simeq -25$ cm.

Assim, usando a equação (2) e as aproximações descritas acima, chegamos à uma expressão para o aumento da **lente ocular**:

$$M_2 = -\frac{p'_2}{p_2} \simeq \frac{25 \text{ cm}}{f_2}. \quad (4)$$

O aumento total é dado pelo produto dos aumentos da objetiva e da ocular:^{1,2}

$$M = M_1 M_2 \simeq -\frac{b}{f_1 f_2} \times 25 \text{ cm}. \quad (5)$$

O sinal negativo na expressão acima significa que a imagem final é invertida em relação ao objeto o . É comum, dependendo da aplicação, deixar este fato subentendido e escrever a ampliação em seu valor absoluto, $|M|$.

Experimentalmente, o aumento pode ser mensurado através da razão entre os tamanhos da imagem e do objeto:

¹ É comum os fabricantes de microscópios fornecerem os aumentos M_1 e M_2 , ao invés das distâncias focais f_1 e f_2 .

² Ao utilizar as equações (4) e (5), preste atenção às unidades de b , f_1 e f_2 . É mais fácil se todas as grandezas estiverem expressas em centímetros.

$$M = M_1 M_2 = \frac{i_1}{o} \frac{i_2}{i_1} = \frac{i_2}{o} \equiv \frac{i}{o}, \quad (6)$$

onde i_2 foi rebatizado como i para indicar se tratar do tamanho da imagem final.

2.2 Telescópios

Um telescópio é um instrumento que amplia o ângulo visual de um objeto remoto, distante. Assim como o microscópio composto, um telescópio consiste fundamentalmente de duas lentes: uma lente objetiva (que produz uma imagem real e invertida do objeto) e uma lente ocular (que produz uma imagem virtual desta imagem real).

Os telescópios mais poderosos são construídos com espelhos côncavos substituindo as lentes. São os denominados telescópios refletores. Quando o telescópio é composto por lentes, é chamado de telescópio refrator (já que a luz é *refratada* ao atravessar as lentes).

O aumento proporcionado por um telescópio é, por definição, um aumento angular:

$$M = \frac{\text{tg } \beta}{\text{tg } \alpha} = \frac{i/s}{o/d}, \quad (7)$$

onde α é o ângulo subtendido pelo objeto de tamanho o , visto pelo observador a olho nu, e β é o ângulo subtendido pela imagem de tamanho i , vista pelo observador através da ocular. A figura 3 ilustra estes ângulos e as distâncias s (do observador à imagem) e d (do observador ao objeto).

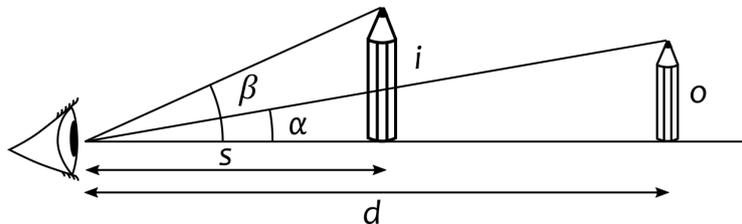


Figura 3 Ampliação do ângulo visual obtida através de um telescópio

Na figura 4, representa-se o arranjo típico de um telescópio refrator. Ele é construído para que os pontos focais F'_1 e F_2 das lentes coincidam. Logo, a distância entre as lentes fica sendo a soma das suas distâncias focais: $b = f_1 + f_2$. Na prática, f_2 costuma ser bem pequeno se comparado a f_1 e b é praticamente igual a f_1 . Esta característica não está explícita na figura, que foi feita fora de escala com o propósito de facilitar a leitura do desenho.

A imagem real i_1 de um objeto muito distante o é produzida pela objetiva, cuja distância focal é f_1 . Esta imagem real i_1 serve de objeto para a lente ocular, de distância focal f_2 , produzindo então uma imagem virtual i_2 a uma distância do observador que equivale à distância mínima de visão distinta, $s \simeq 25$ cm, similarmente ao que ocorre no microscópio composto.

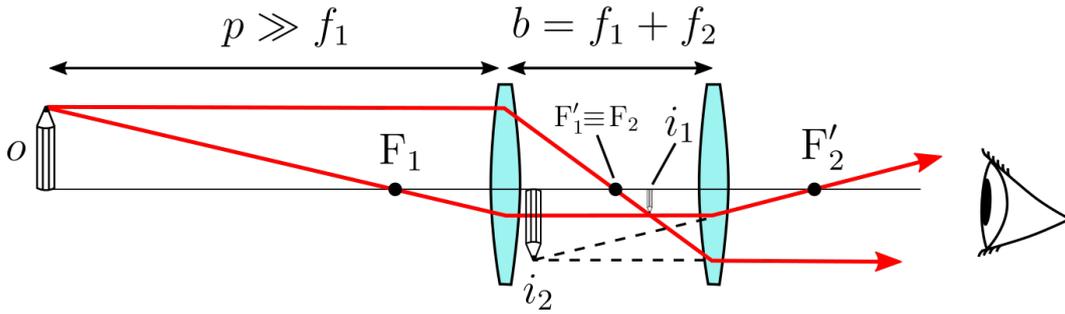


Figura 4 Representação esquemática de um telescópio

Como o objeto está muito distante, a imagem real i_1 se forma logo depois do foco da objetiva, bem perto dele, ou seja, podemos dizer que $p'_1 \simeq f_1$ (distância imagem 1 \simeq distância focal 1). E, como a localização dos pontos focais é a mesma, podemos dizer também que $p_2 \simeq f_2$ (distância objeto 2 \simeq distância focal 2).

Vamos ver agora que é possível escrever o aumento de um telescópio em termos apenas das distâncias focais f_1 e f_2 . Para isso, além das aproximações mencionadas no parágrafo anterior, vamos usar o fato de que o objeto está muito distante do telescópio, de maneira que podemos fazer a aproximação $d \simeq p_1$. Isto equivale a dizer que o tamanho do telescópio é desprezível no cômputo da distância do observador ao objeto. Assim:

$$\text{tg } \alpha = \frac{o}{d} \simeq \frac{o}{p_1} \stackrel{(eq.2)}{=} -\frac{i_1}{p'_1} \simeq -\frac{i_1}{f_1}. \quad (8)$$

E, para o ângulo β , temos:

$$\text{tg } \beta = \frac{i_2}{s} \simeq \frac{i_2}{-p'_2} \stackrel{(eq.2)}{=} \frac{i_1}{p_2} \simeq \frac{i_1}{f_2}. \quad (9)$$

Portanto,

$$M = \frac{\text{tg } \beta}{\text{tg } \alpha} \simeq -\frac{f_1}{f_2}. \quad (10)$$

Conclusão: o aumento do telescópio é dado pela razão da distância focal da objetiva pela distância focal da ocular. O sinal negativo indica que a imagem final é invertida em relação ao objeto se ambas as focais forem positivas; e direita se as focais tiverem sinais invertidos.

Dois tipos de telescópios refratores serão considerados nesta experiência: o telescópio de Kepler e a luneta de Galileu.

2.2.1 Telescópio de Kepler

Este telescópio também é conhecido como telescópio astronômico. Possui uma **ocular convergente**, portanto com distância focal positiva. A objetiva forma a imagem real e invertida do objeto dentro da distância focal da ocular. Esta imagem real funciona como objeto para a ocular, produzindo uma segunda imagem que é direita e virtual. A imagem final é virtual e invertida em relação ao objeto inicial. O esquema deste telescópio está representado na figura 4.

2.2.2 Luneta de Galileu

Esta possui uma **ocular divergente**, isto é, distância focal f_2 negativa. A imagem da objetiva se forma atrás da ocular. A lente divergente inverte a imagem real da objetiva de tal forma que o observador vê uma imagem final direita. A Luneta de Galileu é mais conhecida, ou utilizada, na forma de binóculos de teatro, tendo aumento pequeno. O diagrama esquemático da luneta está na figura 5.

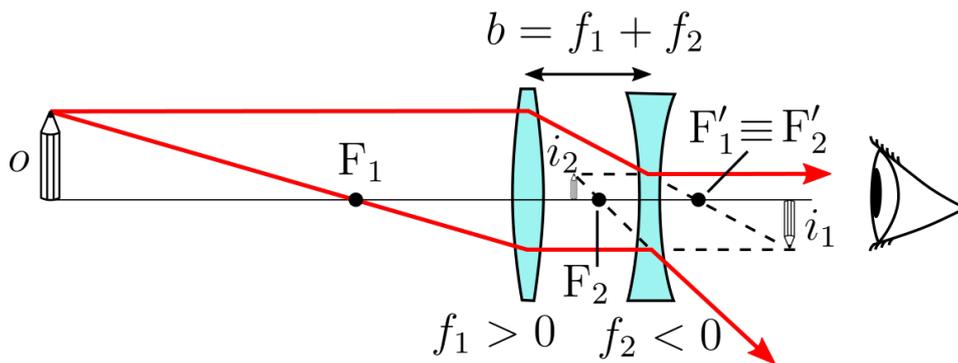


Figura 5 Representação esquemática da luneta de Galileu

3 Relação do material

Microscópio

- 01 microscópio Zeiss.
- 01 monitor.
- 01 paquímetro.
- 01 micrômetro.
- 01 escala padrão de 10 mm com 200 divisões (E).
- 01 rede de 80 fendas / cm (A).
- 01 rede de 40 fendas / cm (B).
- 01 rede (malha) metálica de 2,4 fendas / mm (C).

Telescópio

- 01 trilho de ferro fundido de 50 cm.
- 01 trena.
- 01 suporte metálico para trilho tipo V.
- 01 lente convergente de 250 mm.
- 01 lente divergente de - 40 mm.
- 01 ocular de 15×.
- 02 suportes de lentes quadrados 3 × 3 cm.
- 01 suporte com cursor deslizante p/ telescópio.
- 01 escala em papel para servir de objeto.

4 Esquemas Experimentais

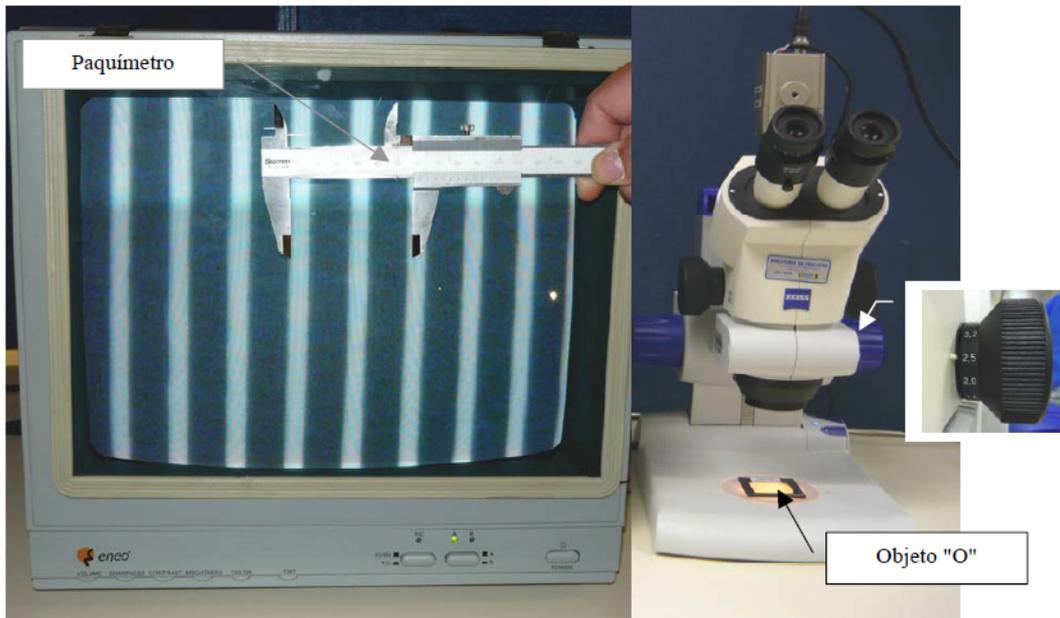


Figura 6 Esquema do microscópio

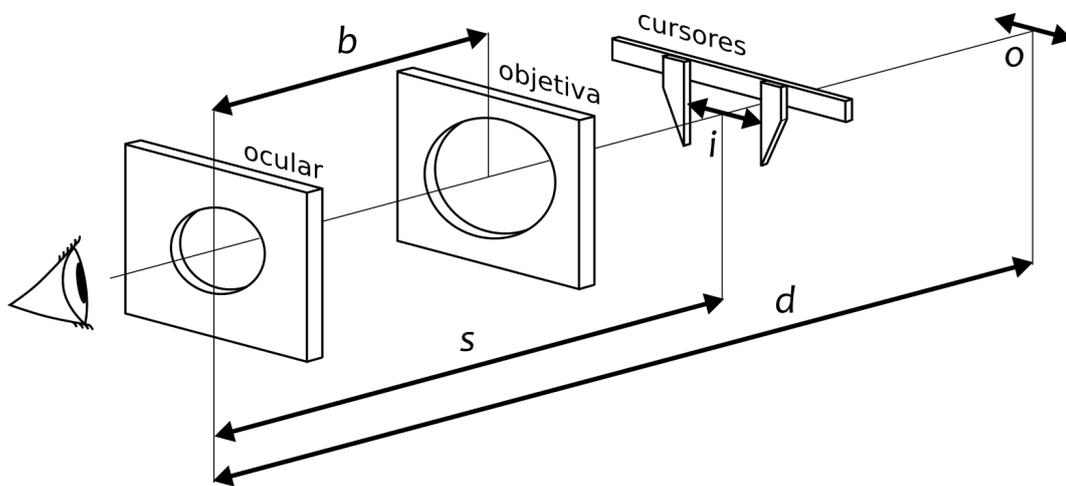


Figura 7 Esquema de montagem do telescópio

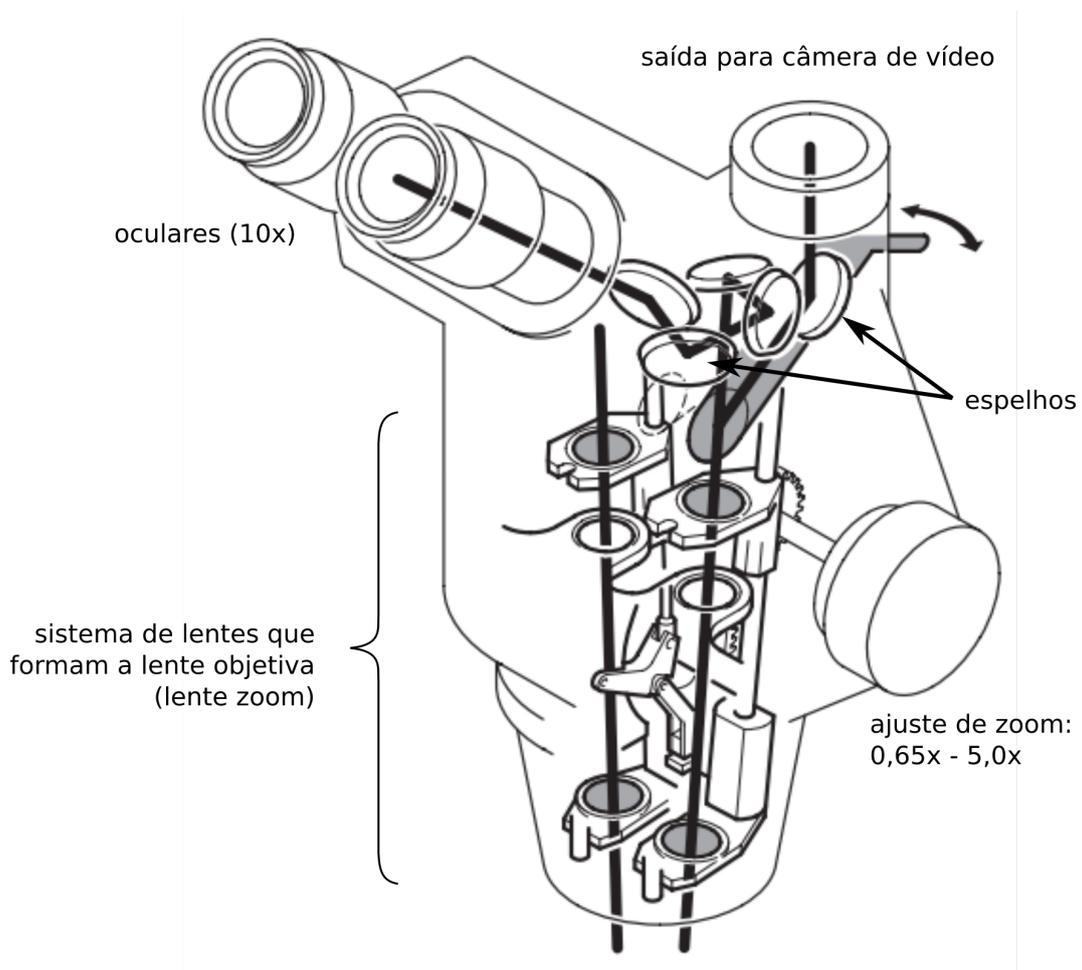


Figura 8 Diagrama esquemático da ótica do microscópio Zeiss Stemi 2000-C.

- Magnificação da ocular: $M_{oc} = 10\times$
- Magnificação da objetiva: $M_{ob} = 0,65 \times - 5,0\times$

⇒ Magnificação do microscópio:

$$M = M_{oc}M_{ob} = 6,5 \times - 50\times$$

(11)

5 Procedimento Experimental

PRIMEIRA PARTE - Microscópio composto

1. Ligue o microscópio, a câmera e o monitor.
2. Sobre a base do microscópio, posicione a escala padrão, que servirá como padrão de comprimento para medir o aumento do microscópio (ver figura 9 abaixo). Ela se encontra gravada em vidro, na caixa com os demais elementos óticos.
3. O botão multiposição serve para modificar o aumento da objetiva (M_1 , que é o número que aparece em cada posição). Meça o aumento total do microscópio para cada aumento de objetiva (M_1). O aumento é definido como o tamanho i da imagem vista no monitor (medido com o paquímetro) dividido pelo tamanho real o do objeto escolhido sobre a escala padrão: $M = i/o$. Preencha a Tabela I com os dados obtidos, concluindo a etapa de calibração do microscópio.
4. Na Tabela II, o objetivo principal é medir o número de fendas/cm (N_E) de lâminas fornecidas utilizando os aumentos obtidos na calibração. O zoom deve ser escolhido a critério do grupo. Coloque a lâmina A. Meça, no monitor, a espessura de um conjunto com certo número de linhas claras e escuras da rede, como indicado na figura 6. Esta será a medida i .
5. A partir de M e i , calcule o . Com isso, e dado o número de fendas escolhido, calcule a quantidade de fendas/cm na lâmina.
6. Faça as medidas para as demais lâminas fornecidas.
7. Meça o diâmetro de um fio de cabelo de um membro do seu grupo, tanto com o microscópio quanto com o micrômetro.
8. Meça o tamanho de um pixel de um telefone celular qualquer disponível e compare com o diâmetro do fio de cabelo. Anote os resultados deste item e do anterior na Tabela II com valores em micrômetros (μm), não em milímetros!

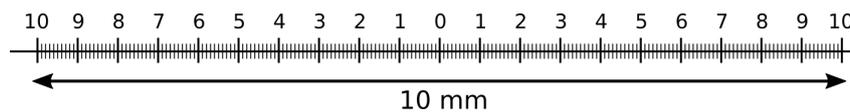


Figura 9 Esquema da escala padrão utilizada no experimento.

SEGUNDA PARTE - Telescópios de Kepler e de Galileu

1. Coloque a objetiva ($f_1 = 250$ mm) e a ocular ($15\times$) sobre o banco ótico. Focalize o objeto, que é uma régua disposta na posição horizontal na parede oposta da sala.
2. Posicione os cursores a pelo menos o equivalente à distância mínima de visão distinta (~ 25 cm) do observador. Com um olho praticamente encostado à ocular, enxergue a imagem formada pelo telescópio. Simultaneamente, com o outro olho, enxergue o par de cursores, tentando ajustar o afastamento entre eles para que caiba exatamente no tamanho da imagem. Meça i (afastamento entre os cursores) com paquímetro ou régua.
3. Meça s , d e o . Anote todos os resultados na Tabela III e obtenha o aumento medido experimentalmente, M , de acordo a equação (7) e a figura 3.

4. Para montar a luneta de Galileu, **substitua a ocular** de $15\times$ pela lente divergente ($f_2 = -40$ mm) e focalize a imagem da régua trazendo a objetiva para mais perto da ocular. Meça i , s , d e o . Obtenha M .

6 Questionário

1. (a) Com os dados da Tabela I, faça um gráfico de M versus M_1 e determine os coeficientes linear e angular da reta ajustada por regressão linear.
(b) O número inscrito no botão de zoom do microscópio é o aumento M_1 da objetiva. Espera-se que $M = M_1 M_2$, onde M_2 é o aumento proporcionado pela câmera CCD e pelo monitor (a ocular não é utilizada neste experimento). Usando o gráfico, obtenha M_2 .
2. Tabela II: calcule o erro percentual entre o N_E e o N nominal fornecido para cada lâmina, onde $N =$ número de fendas/cm.
3. (a) Calcule a diferença percentual entre os diâmetros do fio de cabelo obtidos com o microscópio e o micrômetro.
(b) No caso do seu grupo, o tamanho do pixel do celular é maior do que o diâmetro do fio de cabelo?
(c) Faça uma estimativa do tamanho do menor objeto que você conseguiria visualizar com o microscópio utilizado.
4. Calcule a distância focal da ocular do telescópio de Kepler dado que seu fator de ampliação é $15\times$. Dica: busque a equação correta na Seção 2.1 do roteiro.
5. (a) Calcule os aumentos M_E dos dois telescópios, dizendo se a imagem formada em cada caso é direita ou invertida.
(b) Calcule o erro percentual entre o aumento medido M_E e o aumento previsto pela equação (10) para cada um dos telescópios.
6. Sabemos que o período da órbita da Lua em torno da Terra é de aproximadamente 28 dias. Com essa informação e os seus conhecimentos de Gravitação e Mecânica adquiridos no Ensino Médio, é possível mostrar (tente!) que a distância da Terra até a Lua é de aproximadamente 390 mil km. Sabendo disso, explique como você usaria o telescópio de Kepler desta experiência para medir o diâmetro da Lua.

Exp. 10 - Instrumentos Óticos

GRUPO: _____

ALUNOS: _____

TURMA: _____

DATA: _____

➤ Primeira Parte - Microscópio

TABELA I

Aumento da objetiva, M_1	i (mm)	o (mm)	Aumento total medido, $M = i / o$
0,8			
1,6			
2,5			
3,2			
5,0			

TABELA II

Lâmina	M_1	M	i (mm)	o (mm)	número de fendas	fendas/cm (exp.)	fendas/cm (nominal)
A							
B							
C							
Objeto	M_1	M	i (mm)	o (μm)	Medida c/ micrômetro (μm)		
Fio de cabelo							
Pixel celular							

➤ Segunda Parte - Telescópios

TABELA III

	Telescópio de Kepler $f_1 = 250$ mm, ocular de 15 x	Telescópio de Galileu $f_1 = 250$ mm, $f_2 = -40$ mm
d (cm)		
s (cm)		
i (cm)		
o (cm)		
$M = i.d / o.s$		