

实验 A12 自组双透镜光学系统

[实验前思考题]

1. 光学实验中常用的光学元器件有哪些？主要起什么作用？

2. 光学实验中常用的调节装置有哪些？主要起什么作用？

3. 光路调节主要分几个步骤？有什么要求？

1. 光阑：利用光的直线传播和反射原理设计而成，作用是对光波的幅度和相位进行调节。

滤光片与光学窗口：能衰减光强，改变光谱成分，限定振动面，分光等。

反射镜：利用光的折射原理来改变光线传播方向。

透镜：利用光的折射原理来达到汇聚和发散的作用。

偏振元件：使光线发生偏振或改变偏振光的偏振状态。

2. 底座与工作台：安放各种光学元件和调节装置。

调节架：用于固定和调节光学元件位置。

支杆与接杆：连接底座与光学器件，用于调节高度。

3. ① 安装固定底座与光学平台，注意各平台间距离恰当。

② 安装固定光学元件：注意不要固定过紧以防夹坏元器件。

③ 安装点亮光源：光路应在水平直线上。

④ 观察并做记号各元件位置。

⑤ 调节光路进行实验。

(请自行加页)

**1 实验目的**

1. 掌握望远镜和显微镜的光学结构。
2. 掌握显微镜和望远镜放大率的测量方法。

2 仪器用具

(清点设备, 在已有设备对应的备注栏中打“√”)

类别	序号	名称	型号	数量	备注
镜片类	1	物镜 L_{O1}	T-GSZ-A06, $f_o=45\text{ mm}$	1	√
	2	物镜 L_{O2}	T-GSZ-A11, $f_o=225\text{ mm}$	1	√
	3	目镜 L_E	GSZ-2B-02, $f_E=29\text{ mm}$	1	√
	4	1/10mm 微尺 M_1	T-GSZ-A27, $\pm 4\text{ mm}$, 最小刻度 0.1mm	1	√
	5	正像棱镜系统	SZ-30	1	√
调节架	1	三维平移底座	SZ-01	1	√
	2	二维平移底座	SZ-02	3	√
	3	升降调整座	SZ-03	2	√
	4	二维调节架	SZ-07	2	√
	5	双棱镜架	SZ-41	1	√
	6	透镜架	SZ-08	2	√
	7	干板架	SZ-12	1	√
	8	45°玻璃架	SZ-45	1	√
其他	1	钠灯	GY-5B	1	√
	2	毫米尺 M_2	T-GSZ-A22, 30mm, 最小刻度 1mm	1	√
	3	白光源	GY-6, 溴钨灯, 亮度可调	1	√
	4	标尺	SZ-33	1	√

3 原理概述**3.1 显微镜**

物理实验中常用的移测显微镜(读数显微镜)是一个由目镜和物镜组成的共轴光学系统, 它通常由 4 片以上透镜组成, 可以简化为两个凸透镜组成的放大光路。如图 1 所示, 被观察的物体 AB 放在物镜 L_o 的物方焦点 F_o 的外侧附近, 先经过 L_o 成放大实



像 A_1B_1 于目镜物方焦点 F_e 内侧附近, 再经目镜 L_e 成放大虚像 $A'B'$ 于明视距离以外。

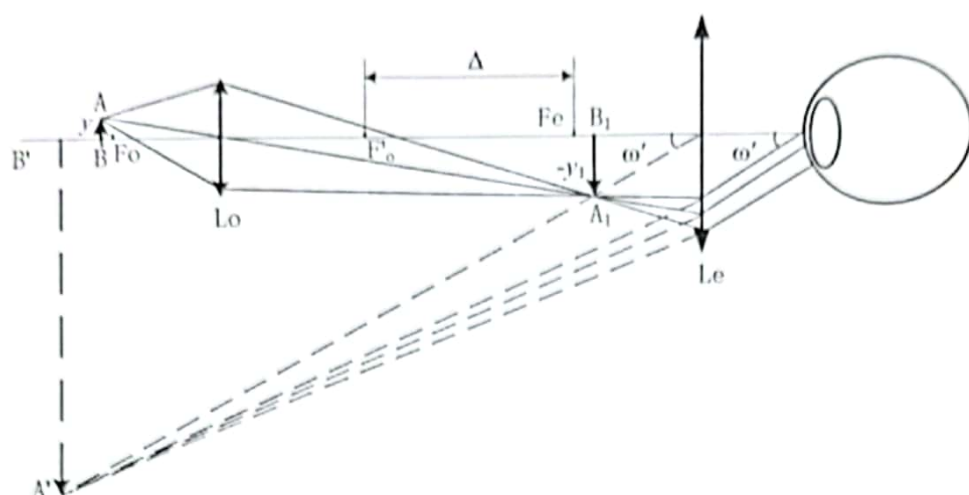


图 1 显微镜光路图

显微镜的角放大率定义为

$$M = \omega' / \omega \quad (1)$$

其中 ω 为物 AB 在明视距离处所张的视角, 即 $\omega = y/s_0$, ω' 为放大的虚像 $A'B'$ 所张视角, 与 A_1B_1 所张视角一样, 故

$$M = \frac{y_1/f_e}{y/s_0} = \frac{y_1}{y} \cdot \frac{s_0}{f_e} \quad (2)$$

式中 $y_1/y = V_0$ 为物镜的横向放大率; $s_0/f_e = M_e$ 。经过变换, 当光学间距远大于物镜焦距时, 可得显微镜视角放大率为

$$M = -\frac{s_0 \Delta}{f_o f_e} \quad (3)$$

负号表示显微镜所成的像是倒立的。

2. 望远镜

望远镜也是一个由物镜和目镜组成的共轴光学系统, 物镜的焦距大于目镜的焦距, 其特点是两个透镜的光学间隔几乎为零, 即两个透镜的焦点位置重叠。透射式望远镜有两种典型的光路, 如图 2 所示的开普勒望远镜, 其目镜为凸透镜; 如图 3 所示的伽利略望远镜, 其目镜为凹透镜。在角放大率相同的情况下, 伽利略望远镜的体积更小, 但开普勒望远镜可以在两透镜的焦点重叠处设置分划板, 便于进行测量。

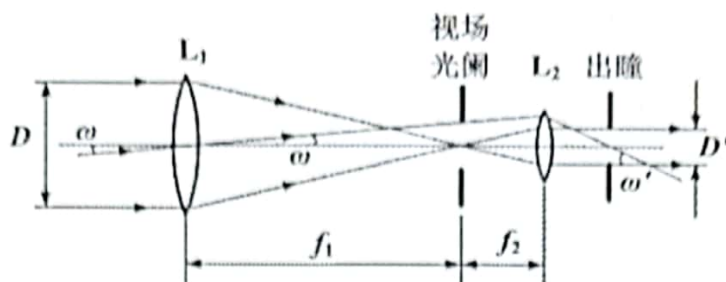


图 2 开普勒望远镜

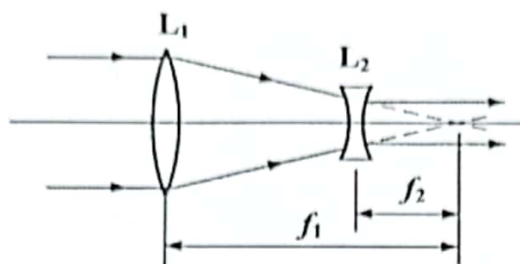


图 3 伽利略望远镜

以图 2 所示的开普勒望远镜为例，望远镜的角放大率定义为

$$M = \omega' / \omega = -f_o / f_e \quad (4)$$

测量望远镜的放大倍数时，可以将被测标尺放在无穷远处，本实验中需大于 3m，先测出标尺中未经望远镜放大的两标志线之间的距离 d_1 (5cm)，调节光路后再测量经放大后的标志线间距 d_2 ，则望远镜的放大率为

$$M = -d_2 / d_1 \quad (5)$$

式 (4) 和 (5) 中的负号表示开普勒望远镜所成的像是倒立的。

【安全注意事项】

1. 显微镜的放大率测量实验中，读数刻度要成像清晰，但由于光学反射面的缘故，刻度有重影现象，实验中要注意辨别。
2. 在用一只眼观察望远镜镜筒调节视野清晰的同时，需要另一只眼在实物空间配合。

【实验内容及步骤】

1. 自组显微镜

(1) 实验装置：光路如图 4 所示，实验装置如图 5 所示。。

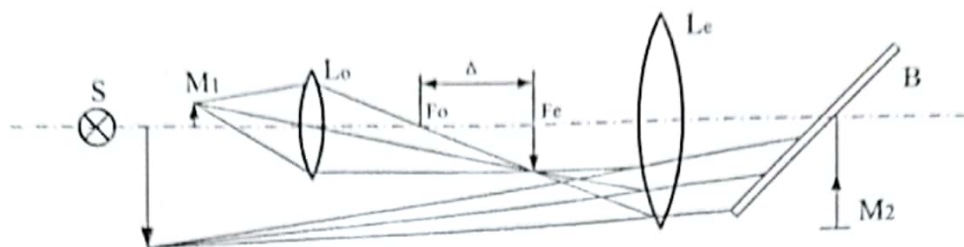


图 4 自组显微镜光路图

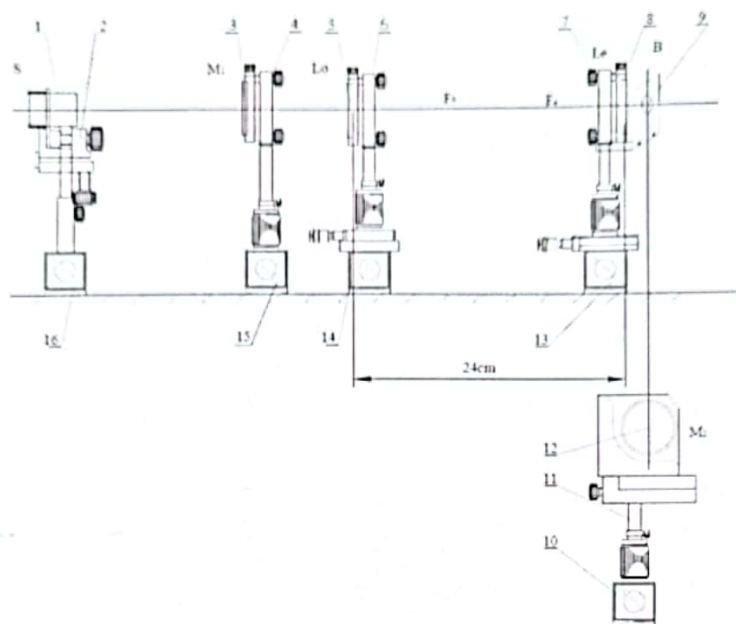


图 5 自组显微镜装置图

(请写出自组显微镜实验装置各部分的名称)

1. 低压钠灯 S	2. 干版架	3. 微尺 M1 (10mm)	4. 三维架
5. 物镜 L0 (f0 = 45mm)	6. 三维调节架	7. 三维调节架	8. 目镜 Le (fe = 29mm)
9. 45° 玻璃架	10. 升降调节座	11. 双棱镜架	12. 毫米尺 M2 (L = 30mm)
13. 三维平移底座	14. 三维平移底座	15. 升降调节座	16. 通用底座

(2) 调节与观察

- ① 参照图 5 和图 4 布置各器件，调等高同轴。
- ② 将透镜 L_0 与 L_e 的距离 d_1 定为约 24 cm；该距离决定了光学间隔 Δ 的大小，进而决定了显微镜的放大倍数。
- ③ 在 L_e 之后安装一块与光轴成 45° 角的玻璃平板，距此玻璃板 d_2 处放一毫米尺 M_2 ，并用白光源从毫米尺背部进行照明， d_2 约为 25cm。
- ④ 沿光路移动微尺 M_1 ，从显微镜系统中观察到微尺的放大像。

⑤ 微移微尺 M_1 ，使得 M_1 尺的像和 M_2 尺重叠且无视差。用 M_2 毫米尺测出 M_1 尺的像 a 个格子对应的长度 l 。则显微镜的实测放大率为 $M = 10l/a$ 。

⑥ 注意：上式的系数 10 是因为 1/10 分划板最小刻度为 0.1mm，而毫米尺的最小刻度为 1mm。

⑦ 显微镜的理论放大率为 $M' = d_2 \Delta / (f_o f_e)$ 。

⑧ 要求测量多次以降低 A 类不确定度。计算实测放大率 M 的平均值及不确定度，并与理论放大率 M' 值对比。

2 自组望远镜

(1) 实验装置：如图 6

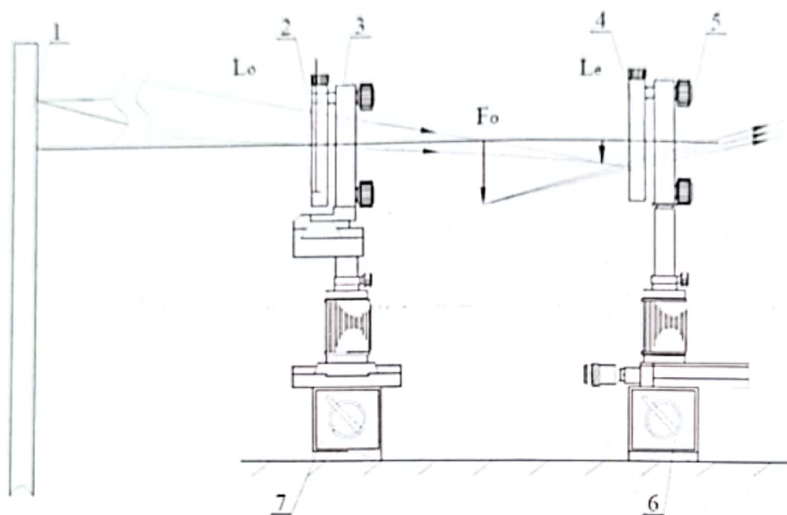


图 6 自组望远镜装置图

(请出自组望远镜实验装置各部分的名称)

1. 标尺	2. 物镜 $L_o (f_o = 200\text{mm})$ = 维固底座	4. 目镜 $L_e (f_e = 45\text{mm})$
5. 三维底座	6. 三维平移底座	7. 三维平移底座

(2) 实验步骤

① 按图 6 组成开普勒望远镜，微移两透镜之间的距离，向放置在约 3m 远处的标尺聚焦，使标尺像清晰。移动标尺上的两个红色指针对准一个“E”字的上下两边，红色指针间的距离 $d_1 = 50.0\text{mm}$ 。

② 一只眼从望远镜观察标尺的放大像，用另一只眼睛直接注视标尺，经适应性练习，可观察到被望远镜放大的标尺像和未放大标尺相叠加的现象。

③ 由站在标尺旁边的同学协助，移动红色指针的位置，使得两红色指针与放大像



中的“E”字上下两边对齐,读出标尺上两指针之间的距离 d_2 ,则望远镜的实测放大率的绝对值为 $M = d_2/d_1$ 。

④ 由于两眼同一时间分别观察不同物体,使指针与放大像中“E”两边对齐存在较大的人为误差,需要进行多次测量以降低A类不确定度。

⑤ 用激光测距仪测量望远镜物镜与标尺之间的距离 s 。

⑥ 计算实测放大率 M 的平均值和不确定度,并与式(4)和式(5)计算得到的理论放大率对比。

注:当标尺放在有限远距离 s 处(即距离望远镜的距离不足3m时,望远镜放大率 M' 可做如下修正: $M' = Ms/(s + f_o)$ 。当 $s > 100 f_o$ 时,修正量 $s/(s + f_o) \approx 1$ 。

I 数据记录及处理

(请自拟数据记录表格并处理实验数据)。

实验一. 自组显微镜数据记录

次数	1	2	3	4	5
d_1/cm	20 22	22	24 22	24 22	28 22
a	2	2	3	1	2
l	12	11	10.5	5.5	11.6
M'	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
M	30.0	27.5	27.5	27.5	29.0

$$d_2 = 25 \text{ cm}$$

$$f_o = 45 \text{ mm}$$

$$f_e = 29 \text{ mm}$$

$$\Delta = d_1 - f_o - f_e = \frac{14.6}{\text{cm}}$$

$$M = \frac{-d_2 \Delta}{f_o f_e}$$

$$M' = \frac{s \Delta}{a}$$

$$= 4.15$$

实验二. 自组望远镜数据记录

次数	1	2	3	4	5	6	7
d_1/cm	5	5	5	5	5	5	5
s/m	3.034	3.034	3.034	3.034	3.034	3.0	3
d_2/mm	237.5	248	267	255	244		
M	4.75	4.96	5.34	5.10	4.88		



$$\text{实验 - : } \bar{M} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 M_i = 28.3$$

$$\text{理论值: } M' = 28.0$$

$$\text{A类不确定度 } S_A = \sqrt{\frac{1}{5 \times 4} \sum_{i=1}^5 (M_i - \bar{M})^2} = 0.515$$

$$V_A = 5 - 1 = 4$$

$$\text{B类不确定度 } M = - \frac{d_2(d_1 - f_o - f_e)}{f_o f_e}$$

$$S_B = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial d_1} \cdot \frac{0.01}{13}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial d_2} \cdot \frac{0.01}{13}\right)^2}$$
$$= 1.29$$

$$V_B = 1$$

$$\text{合成不确定度 } S = \sqrt{S_A^2 + S_B^2} = 1.38$$

$$V = \frac{S^2}{\frac{S_A^2}{V_A} + \frac{S_B^2}{V_B}} = 1.34$$

$$\text{取 } V=2, \text{ 当 } p=0.95 \text{ 时 } t_p = 4.303$$

$$\Delta N = t_p S = 6.0$$

$$\therefore M = 28.3 \pm 6.0$$



$$\text{实验二: } \bar{M} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 M_i = 5.006$$

$$\text{A类不确定度 } \bar{d}_2 = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 d_{2i} = 25.03 \text{ cm}$$

$$v_{d_2} = 5 - 1 = 4$$

$$\therefore S_{d_2} = \sqrt{\frac{1}{5 \times 4} \sum_{i=1}^5 (d_{2i} - \bar{d}_2)^2} = 0.505$$

$$S_A = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial d_2} S_{d_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial d_1} S_{d_1}\right)^2} = \frac{\partial f}{\partial d_2} S_{d_2} = \frac{1}{d_1} S_{d_2} = 0.101$$

$$v_A = v_{d_2} = 5 - 1 = 4$$

B类不确定度.

$$S_B = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058$$

$$v_B = 5 - 1 = 4$$

$$\text{合成不确定度 } S = \sqrt{S_A^2 + S_B^2} = 0.116$$

$$\text{有效自由度 } v = \frac{S^4}{\frac{S_A^4}{v_A} + \frac{S_B^4}{v_B}} = 1.337$$

$$\text{取 } v = 2, p = 0.95 \text{ 查得 } t_p = 4.303$$

$$\Delta M = t_p \cdot S = 0.501$$

$$\therefore M = 5.006 \pm 0.501$$



[实验后思考题]

1. 通过数值计算, 探讨显微镜两透镜的焦距和两透镜之间的距离对显微镜放大率的影响, 并作理论曲线加以说明。

2. 通过数值计算, 探讨望远镜两透镜的焦距对望远镜放大率的影响, 并作理论曲线加以说明。

$$1/1). M = \frac{d_2(d_1 - f_o - f_e)}{f_o f_e}$$

$f_o = 4.5 \text{ cm}$, $f_e = 2.9 \text{ cm}$. M 与 d_1 正相关。

12). $f_o = 4.5 \text{ cm}$, $d_1 = 24 \text{ cm}$. M 与 f_e 近似反比。

13). $f_e = 2.9 \text{ cm}$, $d_1 = 24 \text{ cm}$. M 与 f_o 近似反比。

$$2/1). M = \frac{f_o}{f_e}$$

$f_e = 2.9 \text{ cm}$. M 与 f_e 正相关。

12) $f_o = 4.5 \text{ cm}$. M 与 f_e 成反比。

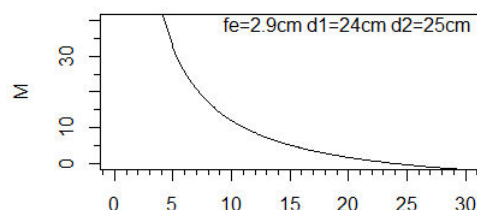


图1.3

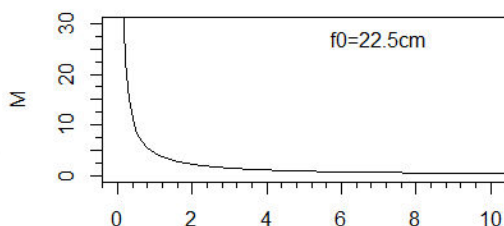
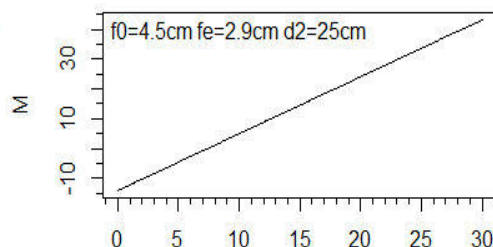


图2.1

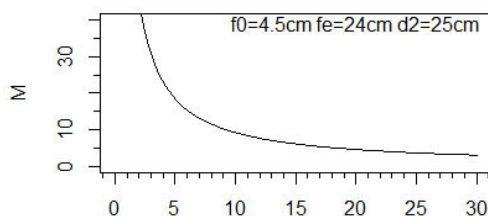


图1.2

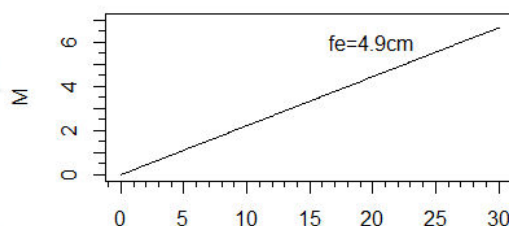


图2.2