

实验题目: 光学基本测量

薄透镜焦距测量

学号: 164618 姓名: 张化泽 班级: 软件163 成绩: 10
同组人: 邢光荣 实验日期、时段: 3月2日 三时段 教师签名: 曹 3.2.1

一、实验目的与要求

- ① 掌握光路调整的基本方法
- ② 学习几种测量薄透镜焦距的实验方法
- ③ 观察薄凸透镜、凹透镜的成像规律

二、实验仪器

光导轨、光具座、光具夹、光源、物屏、凸透镜、凹透镜、平面镜、像屏

三、实验原理

前提: 光学元件的同轴等高调节:

物、像、透镜的位置以及透镜移动的距离都是沿着主光轴计算长度的, 而长度是由光具座的刻度来读数, 所以为了准确, 应使光学元件的光轴必须同轴且应与导轨平行。

1. 凸透镜焦距

1. 共轭法

当物距在 $f \sim 2f$ 之间成倒立放大实像, 像距大于二倍焦距

当物距大于 $2f$ 时成倒立缩小实像, 像距在 $f \sim 2f$ 之间

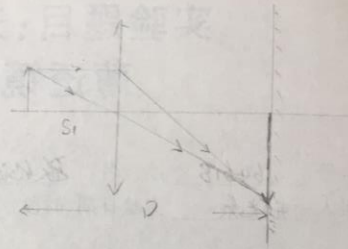
如图所示,使物与屏间的距离 $D > 4f$ 并保持不变,

沿光轴方向移动透镜,能在像屏上看到二次

成像,设物距为 S_1 时,得放大倒立实像,物

距 S_2 时,使得缩小倒立实像,两次位移距离

为 d .
$$f = \frac{D^2 - d^2}{4D}$$



2. 自准法

如图所示,在待测透镜 L 的一侧放置一被

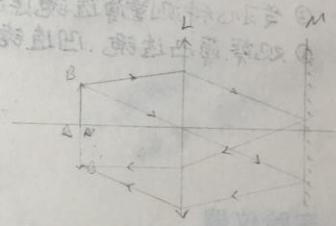
光源照明的物屏 AB ,在另一侧放一平面反射镜

M . 移动物屏,当物屏 AB 正好位于凸透镜之前

的焦平面时,物屏 AB ^{上任一点} 发出的光线经透镜

折射后,仍会聚在它的焦平面上,形成一个与原物大小相等方向相反的倒立实像 $A'B'$

此时物屏到透镜的距离就是待测透镜焦距.



(二) 凹透镜

1. 自准法

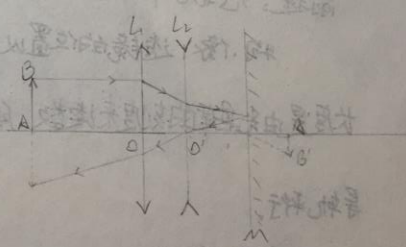
如图所示,在设有凹透镜时,物 AB 经凸透镜 L_1 后

将成实像于 $A'B'$,在 L_1 和 $A'B'$ 间插入凹透镜 L_2 后

$A'B'$ 便成为 L_2 的物,对 L_2 而言,物距 $u = -O'A'$,该

虚物由凹透镜 L_2 再成实像于 $A''B''$

像距为 $-O'A'$



四、实验内容与步骤

1. 光学系统的共轴调节

a. 粗调. 将各置于光具座上的各光学元件靠拢在一起, 用肉眼观察, 并调节它们的中心使它们处在同一高度, 且光轴平行于导轨.

b. 细调. 将光学元件按实验要求移开, 利用透镜成像规律进一步调整, 移动透镜及屏时, 将大小不同的像生成在不同的位置, 若这些大小不同的像的中心在屏上的位置重合, 则说明系统已共轴. 若在移动透镜的过程中, 像的中心不重合, 则仍需调整.

2. 测凸透镜焦距

共轭法: ①保持物屏与像屏距离 $L > 4f$, 读出物屏与像屏的位置并记录. 相减得 L .

②凸透镜由物屏移向像屏, 成放大倒立实像, 记录位置 O_1 , 成缩小倒立实像, 记录位置 O_2 , 求出 $e = |O_2 - O_1|$, 连续测 5 次, 计算求平均值并代入公式.

自准法: 使物屏与平面镜之间距离比所测凸透镜焦距要大, 记下物屏位置, 移动透镜, 使物屏成倒立等大实像, 记下透镜位置, 用纸片遮平面镜, 若像消失, 则成功. 若不消失, 则继续调节, 重复 4 次, 并计算平均值.

3. 测凹透镜焦距

自准法: ①用凸透镜 L_1 将物成一个缩小的像于 B 点, 记下 B 点位置.

②将凹透镜 L_2 与平面镜 M 依次放在凸透镜之后, 使 L_2 位于 L_1 与 B 之间, 调整 L_2 的位置, 使物屏上成一个倒立的等大清晰像, 记下 L_2 的位置 O' , 凹透镜的焦距 $f' = O'B$ 测量 3 次求平均值.

五、数据记录

(一) 自准法测凸透镜焦距数据表格

单位: cm

测量次数	1	2	3	4	5	平均值
物屏位置	135.7	135.7	135.7	135.7	135.7	135.7
透镜位置	116.2	116.3	116.2	116.3	116.4	116.3
焦距	19.5	19.4	19.5	19.4	19.3	19.4

(二) 共轭法测凸透镜焦距数据表格

单位: cm

测量次数	物屏位置	像屏位置	Q_1	Q_2	e	\bar{e}	L	f
1	135.70	45.00	107.10	73.70	33.40	33.37	80.70	19.60
2			107.45	74.10	33.35			
3			107.08	73.60	33.48			
4			107.15	73.90	33.25			

(三) 自准法测凹透镜焦距数据表格

单位: cm

测量次数	像 1 的位置(小像)	凹透镜的位置	焦距
1	38.3	53.3	-15.0
2	38.4	53.5	-15.1
3	38.4	53.4	-15.0

六、数据处理(要有详细过程)

1. 自准法(四)

$$\textcircled{1} \bar{f} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n} = \frac{19.5 + 19.4 + 19.5 + 19.4 + 19.3}{5} = 19.4 \text{ cm}$$

$$\textcircled{2} \sigma_{fA} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2}{n(n-1)}} = 1.14 \times \sqrt{\frac{(19.5-19.4)^2 + (19.4-19.4)^2 + (19.5-19.4)^2 + (19.4-19.4)^2 + (19.3-19.4)^2}{5 \times 4}} = 0.04 \text{ cm}$$

$$\sigma_{fB} = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.12 \text{ cm}$$

$$\sigma_f = \sqrt{\sigma_{fA}^2 + \sigma_{fB}^2} = \sqrt{0.04^2 + 0.12^2} = 0.13 \text{ cm}$$

$$\textcircled{3} E_f = \frac{\sigma_f}{\bar{f}} \times 100\% = \frac{0.13}{19.4} \times 100\% = 0.7\%$$

$$\therefore \begin{cases} f = \bar{f} \pm \sigma_f = (19.4 \pm 0.13) \text{ cm} \\ E_f = 0.7\% \end{cases}$$

2. 共轭法(四)

(1) 先处理 L, e.

$$L: \sigma_L = \sigma_{LB} = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.12 \text{ cm}$$

$$\{ L = (L \pm \sigma_L) = (135.70 \pm 0.12) \text{ cm} \}$$

$$E_L = \frac{\sigma_L}{L} \times 100\% = \frac{0.12}{135.70} \times 100\% = 0.09\%$$

$$e: \bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} = \frac{33.40 + 33.35 + 33.48 + 33.25}{4} = 33.37 \text{ cm}$$

$$\sigma_{eA} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}{n(n-1)}} = 1.20 \times \sqrt{\frac{(33.40-33.37)^2 + (33.35-33.37)^2 + (33.48-33.37)^2 + (33.25-33.37)^2}{4 \times 3}} = 0.06 \text{ cm}$$

$$\sigma_{eB} = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.12 \text{ cm}$$

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_{eA}^2 + \sigma_{eB}^2} = 0.13 \text{ cm}$$

$$\{ e = (\bar{e} \pm \sigma_e) = (33.37 \pm 0.13) \text{ cm} \}$$

$$E_e = \frac{\sigma_e}{\bar{e}} \times 100\% = \frac{0.13}{33.37} \times 100\% = 0.4\%$$

(2) 处理 f.

$$\sigma_f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial L}\right)^2 \sigma_L^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial e}\right)^2 \sigma_e^2}$$

$$\frac{\partial f}{\partial L} = \frac{1}{4} + \frac{\bar{e}^2}{4L^2} \quad \frac{\partial f}{\partial e} = -\frac{\bar{e}}{2L}$$

$$\therefore \sigma_f = \sqrt{\left(\frac{1}{4} + \frac{33.37^2}{4 \times 135.70^2}\right)^2 \cdot (0.12)^2 + \left(-\frac{33.37}{2 \times 135.70}\right)^2 \cdot (0.13)^2}$$

$$= 0.04$$

$$\{ f = (f \pm \sigma_f) = (19.60 \pm 0.04) \text{ cm} \}$$

$$E_f = \frac{\sigma_f}{f} \times 100\% = \frac{0.04}{19.60} \times 100\% = 0.2\%$$

七、实验分析

- ① 因为使用过于频繁而保存不当，光具座上或多或少出现锈迹影
响读数
- ② 实验重复次数过少，实验的偶然性较大，应再多做几组
- ③ 由于场地及实验仪器的限制，使得实验中某些移动略微不便，导
致不能得到更多更完备的实验数据，间接影响最终结果。

八、思考题与思维拓展

1. 为什么要调节光学系统共轴？调节共轴有哪些要求？怎样调节？
2. 为什么实验中常用白屏作为成像的光屏？可否用黑屏、透明平玻璃、毛玻璃，为什么？
3. 为什么用共轭法测量凸透镜焦距时要保证物屏与像屏之间的距离 $L > 4f$ ？

1. ① 物、像、透镜的位置以及透镜移动的距离是沿主光轴计算长度的，而长度
② 各光轴元4光轴与导轨平行且等高
是由光具座的刻度来读的，共轴后，测量更准确 ③ 先粗调后细调，粗调

使其大致在同一高度，细调使小像与大象的中心相同确保共轴 ④

2. ① 白屏作为底色，容易在实验中观察到成像，白屏可以反射任何光，使成像完整清晰
- ② 黑屏会吸收所有的光，不能看清；透明玻璃会发生镜面反射，反射光不一定进入你
的眼睛，因此能透过平玻璃和毛玻璃，不能看清。

3. 由 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ 得 $f = u + \frac{fu}{u-f}$ $L = u + v = \frac{u^2}{u-f}$ $L' = \frac{u^2 - 2uf}{(u-f)^2}$

令 $L' = 0$ $u = 2f$ $\therefore L_{\min} = L(2f) = 4f$

\therefore 要取大和缩小的像 $\therefore L > 4f$



河北工业大学

HEBEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

(一) 自准法测凸透镜焦距

单位 cm

测量次数	1	2	3	4	5	平均值
物屏位置	135.7	135.7	135.7	135.7	135.7	135.7
透镜位置	116.2	116.3	116.2	116.3	116.4	116.3
焦距	19.5	19.4	19.5	19.4	19.3	19.4

(二) 共轭法测凸透镜焦距

单位 cm

测量次数	物屏位置	像屏位置	Q_1	Q_2	e	\bar{e}	L	f
1	135.70	45.00	107.10	73.70	33.40	33.37	92.70	19.60
2			107.45	74.10	33.35			
3			107.08	73.60	33.48			
4			107.15	73.90	33.25			

(三) 自准法测凹透镜焦距

单位 cm

测量次数	像1的位置 (小像)	凹透镜位置	焦距
1	38.3	53.3	-15.0
2	38.4	53.5	-15.1
3	38.4	53.4	-15.0