

摘要

透镜是使用最广泛的一种光学元件。描述透镜的参数有许多，其中最重要、最常用的参数是透镜的焦距。利用不同焦距的透镜可以组合成望远镜、显微镜等。透镜将物成像，决定像的质量的一个重要参数就是像差，像差有多种，如果测得透镜的像差，就可以以一定的方法来消除像差提高成像质量。

第一部分 实验目的

通过本实验，同学们可以了解光源、物、像间的关系以及球差、色差产生的原因；熟练掌握光具座上各种光学元件的调节并且测量薄透镜的焦距和透镜的球差和色差。

掌握如下光学实验方法：

- 掌握物象距法测量凸透镜焦距；
- 掌握位移法测量凸透镜焦距；
- 掌握自准直（平面镜）法测量凸透镜焦距；
- 掌握辅助透镜法测量凹透镜焦距；
- 掌握自准直（平面镜）法测量凹透镜焦距；

第二部分 实验方法

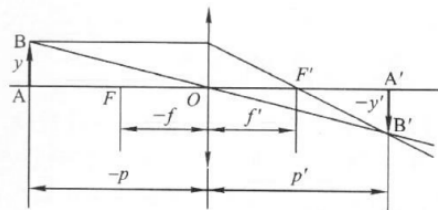
物象距法测凸透镜焦距

固定透镜，将物放在距透镜一倍以上焦距处，在透镜的像方某处会获得一清晰的像，如图（1）所示，图中 p ， p' 分别对应物距、像距。 p ， p' 不仅有大小，还有正负。正负遵守符号法则，物距、像距分别为自透镜中心处至物、像间的距离。

在近轴条件下，根据物像公式

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f'}$$

可以测得透镜的焦距。



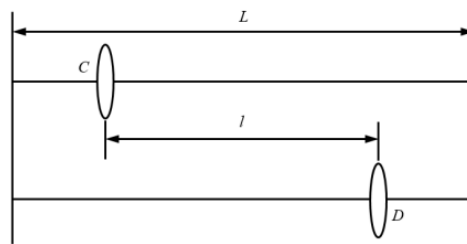
图（1）

位移法测凸透镜焦距

当物距在一倍焦距和二倍焦距之间时，在像方可以获得一放大的实像，物距大于二倍焦距时，可以得到一缩小的实像。当物和屏之间的距离 L 大于 $4f$ 时，固定物和屏，移动透镜至 C 、 D 处（如图（2），在像屏上可分别获得放大和缩小的实像。 C 、 D 间距离为 l ，通过物像公式，可得：

$$f = \frac{L^2 - l^2}{4L}$$

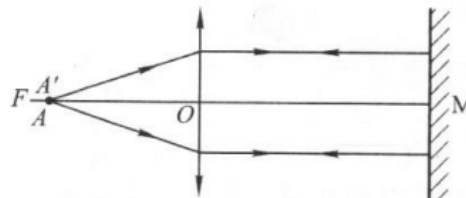
由此式可算得焦距。



图（2）

自准直（平面镜）法测凸透镜焦距

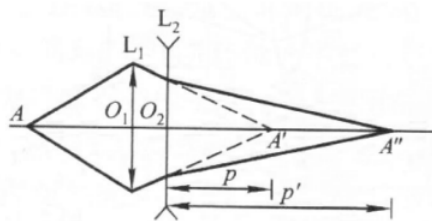
如图（3）位于焦点 F 上的物 A 所发出的光经过透镜变成平行光。再经平面镜 M 反射后可在物屏上得到清晰的倒立像 A' 。



图（3）

辅助透镜法测量凹透镜焦距

如图（4）所示，利用凸透镜成的像作为凹透镜的物，再产生一个实像。利用物像公式可以计算出凹透镜的焦距。



图（4）

自准直（平面镜）法测量凹透镜焦距

利用凸透镜辅助成像，测出凹透镜焦距，如图（5），其中 $l_1 - l_2$ 即为所测凹透镜焦距。

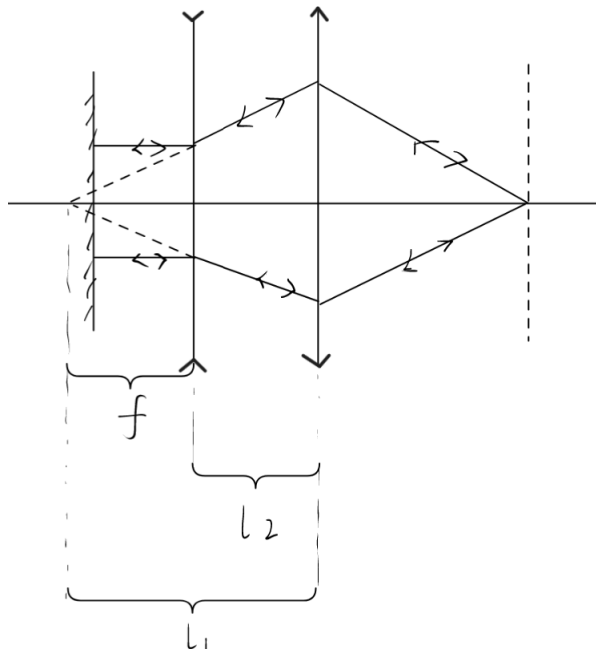


图 (5)

第三部分 实验结果与数据分析

测量记录

1. 测量凸透镜的焦距

1) 物象距法

物距 (mm)	220.0							
像距 (mm)	183.0	184.1	182.5	183.5	182.5	182.0	平均值	182.93

2) 位移法

物象距 (mm)	476.8							
透镜位移 (mm)	193.0	191.9	192.5	192.0	193.0	192.6	平均值	192.50

3) 自准直 (平面镜) 法

透镜焦距 (mm)	100.3	100.2	100.0	100.2	100.0	99.8	平均值	100.08
-----------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-----	--------

2. 测量凹透镜的焦距

1) 物象距法

物距 (mm)	114.5				
像距 (mm)	274.5	268.5	270.5	平均值	271.17

2) 自准直 (平面镜) 法

l_1 (mm)	279.1				
l_2 (mm)	62.5	65.0	65.2	平均值	64.23

分析与讨论

I. 测量凸透镜的焦距

1) 物像距法

像距 p' 的平均值:

$$\bar{p}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p'_i = \frac{1}{6} (183.0 + \dots + 182.0) = 182.93 \text{ mm}$$

像距 p' 的标准差:

$$\begin{aligned} \sigma_{p'} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p'_i - \bar{p}')^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(183.0 - 182.93)^2 + \dots + (182.0 - 182.93)^2}{5}} \\ &= 0.58668 \end{aligned}$$

像距的 B 类不确定度:

$$\Delta_{B,p'} = \sqrt{\Delta_{\text{仪}}^2 + \Delta_{\text{估}}^2} = \sqrt{0.8^2 + 0.05^2} = 0.80156$$

像距 p' 的扩展不确定度:

$$\begin{aligned} U_{p',P} &= \sqrt{\left(t_P \frac{\sigma_{p'}}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(k_P \frac{\Delta_{B,p'}}{C}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(2.57 \times \frac{0.58668}{\sqrt{6}}\right)^2 + \left(1.96 \times \frac{0.80156}{3}\right)^2} \\ &= 0.80817, P = 0.95 \end{aligned}$$

焦距 f :

$$f = \frac{1}{\frac{1}{p} - \frac{1}{p'}} = \frac{1}{\frac{1}{220.0} + \frac{1}{182.93}} = 99.8799 \text{ mm}$$

焦距 f 的延伸不确定度:

$$\begin{aligned} U_{f,p} &= \sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial p} U_{p,P}\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial p'} U_{p',P}\right)^2} \\ &= \frac{1}{\left(\frac{p'}{p} - 1\right)^2} U_{p',p} \\ &= 0.23849, P = 0.95 \end{aligned}$$

凸透镜焦距 f :

$$f = (99.87 \pm 0.24) \text{ mm}$$

2) 位移法

透镜位移 l 的平均值:

$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i = \frac{193.0 + \dots + 192.6}{6} = 192.5 \text{ mm}$$

焦距 f :

$$f = \frac{L^2 - l^2}{4L} = \frac{476.8^2 - 192.5^2}{4 \times 476.8} = 99.77 \text{ mm}$$

3) 自准直 (平面镜) 法

透镜焦距 f :

$$f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ti} = \frac{100.3 + \dots + 99.8}{6} = 100.08 \text{ mm}$$

II. 测量凹透镜的焦距

1) 凸透镜辅助成像法

像距 p' 的平均值:

$$\bar{p}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p'_i = \frac{274.5 + 268.5 + 270.5}{3} = 271.17 \text{ mm}$$

焦距 f :

$$f = \frac{1}{\frac{1}{p} - \frac{1}{p'}} = \frac{1}{\frac{1}{114.5} - \frac{1}{271.17}} = 198.18 \text{ mm}$$

2) 自准直（平面镜法）

凸透镜与凹透镜间距 l_2 的平均值：

$$\bar{l}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_{2i} = \frac{62.5 + 65.0 + 65.2}{3} = 64.23 \text{ mm}$$

凹透镜焦距 f ：

$$f = l_1 - l_2 = 279.1 - 62.23 = 216.87 \text{ mm}$$

III. 误差分析

实验误差主要来源可能是：

1. 共轴调节没有做到位，导致光路与理想偏差较大；
2. 像屏上成像清晰的区间较大，导致各组数据之间误差空间较大；
3. 光源亮度较小，不能准确捕捉到像屏上成像的变化；
4. 测量透镜之间距离时，由于底座的影响测量误差较大。

IV. 实验讨论

本实验锻炼了细致思考、认真动手、分析数据、撰写报告等实验能力；掌握了光学实验仪器的使用方式；了解了透镜参数的重要性即物理意义。

思考题

1. 如果在“1”字屏后不加毛玻璃，对实验会有什么影响？

答：如果不加毛玻璃，平行光透过“1”字孔后不会发生漫反射，仍是平行光，经过透镜后无法在像屏上成像。

2. 自准直法测凸透镜焦距时，如果透镜安装在光具座上时沿光轴方向与光具座中心不重合，而我们测量距离时测量的是光具座之间的距离，这对测量有什么影响？如何消除这一影响？

答：会导致得到的焦距出现偏差；消除误差的方法是将透镜翻转180°再测量同样组数的组数数据取平均。

3. 在利用公式法和位移法测凸透镜焦距时，如果透镜安装时也存在上述偏心，对实验测量结果是否有影响？

答：有影响。

致谢

感谢大物实验中心以及韦先涛、李恒一、刘嘉宁老师