
透镜参数测量实验报告

PB22000197 李心玥

2023 年 5 月 9 日

1 实验目的

1. 理解凸透镜、凹透镜的成像规律。
2. 学习简单光路的分析和调节技术。
3. 掌握使用物像距法、位移法和自准直法测量透镜焦距的方法。
4. 了解视差法测量透镜焦距的原理和方法。

2 实验原理

2.1 测量凸透镜焦距

1. 物像距法

固定透镜，将物体放在距透镜一倍以上焦距处，在像屏上会获得一清晰的像，分别测量出物距 p 和像距 p' ，利用高斯成像公式 $\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$ 即可求得焦距 f 。

2. 位移法

当物体和像屏之间的距离 L 大于 $4f$ 时，固定物体和像屏，移动透镜至 C、D 处，在像屏上会分别获得放大和缩小的实像。分别测量出物体和像屏之间的距离 L 以及 C、D 之间的距离 l ，利用公式 $f = \frac{L^2 - l^2}{4L}$ 即可求得焦距 f 。

3. 自准直法

将物体放在透镜的焦点处，则物体发出的光经过透镜会变成平行光，再经平面镜反射后可在物屏上得到一个清晰的倒立像，此时直接测量物距，即为焦距。

2.2 测量凹透镜焦距

利用凸透镜成的像作为凹透镜的物，再通过凹透镜成一个实像，这样可以在像屏上观察到此实像。通过测量出此时的物距、像距，利用高斯成像公式可求得凹透镜焦距。

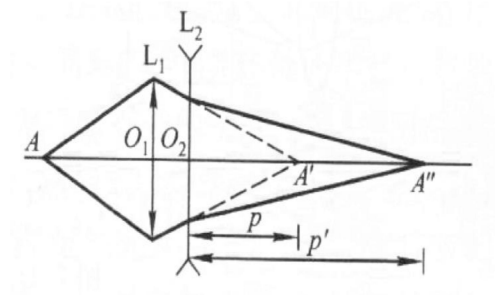


图 1: 利用辅助透镜测量凹透镜焦距

2.3 视差现象

拿两支笔，将它们前后排成竖排，用一只眼睛去观察，当眼睛左右微动时，就会发现两只笔之间有相对位移。离眼近的笔的移动方向与眼睛移动方向相反，而离眼远的笔的移动方向与眼睛相同。光学实验中常利用此现象来判断两个像是否在同一平面上。

3 实验仪器

光具座、白炽灯光源、透镜架、“1”字屏、毛玻璃、像屏、凸透镜、凹透镜、平面镜、钢卷尺、笔

4 实验步骤

1. 光路调整

- 目测粗调：把光源、“1”字屏、透镜和像屏依次装好，先将它们靠拢，使各元件中心大致在同一等高线上，并使“1”字屏、透镜和像屏的平面相互平行。
- 细调：使物、屏距离略大于 $4f$ （利用凸透镜对远处光源的会聚粗略估计凸透镜的焦距），观察小像，调整像屏，使得屏中心十字标记与小像中心重合；观察大像，调节透镜，使得大像中心与屏中心十字标记重合。如此反复几次，达到大、小像中心重合，即实现了各元件的共轴。

2. 测量凸透镜的焦距

- 物像距法：固定物距不变，从左至右移动像屏直至成清晰的像，测量并记录此时的物距和像距，重复上述操作 6 次。

(b) 位移法：使物像距离略大于 $4f$ ，固定物像距离不变，分别移动凸透镜至 C、D 两点（像屏上应分别成清晰的放大的像和缩小的像），测量并记录此时的物象距和 C、D 两点距离，重复上述操作 6 次。

(c) 自准直法：如实验原理中所述，直接测得焦距，重复 6 次。

3. 测量凹透镜的焦距

(a) 物像距法：利用实验原理中所述的辅助透镜法，固定物距不变，测量并记录物距和像距，重复上述操作 3 次。

(b) 自准直法：利用辅助透镜法，测出 x_1 和 x_2 （见图 2），则 $f = x_1 - x_2$ 。重复 3 次。

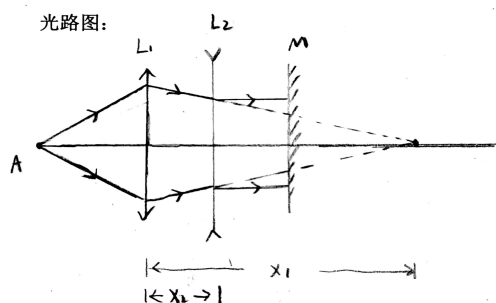


图 2: 自准直法测量凹透镜焦距的光路图

4. 视差法测量凸透镜焦距

(a) 用笔 1 作为“物”，放置凸透镜，用眼睛观察凸透镜对笔 1 所称的倒立的实像，当笔 1、透镜、眼睛 3 者共轴时，可以看到笔 1 所成倒立实像的尖端与透镜中心对齐。

(b) 将笔 2 放置在像屏的位置，调节笔 1、透镜、笔 2、眼睛 4 者共轴，观察到实像和笔 2 尖端相对于透镜中心对齐。

(c) 眼睛左右微动，移动笔 2 的位置直至无视差，分别测量出此时笔 1 和笔 2 到透镜的距离，即为物距和像距。

5 测量记录

见附件

6 数据处理与误差分析

6.1 测量凸透镜的焦距

6.1.1 物像距法

物距 (mm)	293.0					
像距 (mm)	151.0	151.3	151.0	151.5	151.2	151.0

表 1: 物像距法测量记录

像距的平均值:

$$\bar{p}' = \frac{151.0 + 151.3 + 151.0 + 151.5 + 151.2 + 151.0}{6} = 151.1mm$$

由高斯成像公式求得焦距为:

$$f = \frac{pp'}{p + p'} = \frac{293.0 \times 151.1}{293.0 + 151.1} = 99.7mm$$

像距测量的 A 类不确定度为:

$$u_A = \sqrt{\frac{(151.0 - 151.1)^2 + (151.3 - 151.1)^2 + \dots + (151.0 - 151.1)^2}{6 \times 5}} = 0.09mm$$

取置信概率 $p = 0.95$, 测量次数为 6, 则自由度为 5, 查表得相应的包含因子 $t_p = 2.571$, 则 A 类扩展不确定度为:

$$U_A = t_p u_A = 2.571 \times 0.09 = 0.23mm$$

钢卷尺的允差 $\Delta_{app} = 0.8mm$, 取人为读数误差 $\Delta_{est} = 0.1mm$, 则 B 类极限不确定度为:

$$\Delta_B = \sqrt{\Delta_{app}^2 + \Delta_{est}^2} = \sqrt{0.8^2 + 0.1^2} = 0.8mm$$

B 类标准不确定度为:

$$u_B = \frac{\Delta_B}{C} = \frac{0.8}{3} = 0.26mm$$

查表得包含因子 $k_p = 1.960$, 则 B 类扩展不确定度为:

$$U_B = k_p u_B = 1.960 \times 0.26 = 0.51mm$$

于是, 像距测量的合成不确定度为:

$$U_{p_{\text{像}}} = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = \sqrt{0.23^2 + 0.51^2} = 0.56mm$$

物距测量的合成不确定度为:

$$U_{p_{\text{物}}} = U_B = 0.51mm$$

设 $x = \frac{1}{f}$ ，则 $x = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$ ，由不确定度合成公式得：

$$\frac{U_x}{x} = \frac{U_{p_{\text{物}}}}{p} + \frac{U_{p_{\text{像}}}}{p'} = \frac{0.51}{293.0} + \frac{0.56}{151.1} = 0.005mm$$

再由不确定度合成公式得：

$$\frac{U_f}{f} = \frac{U_x}{x} = 0.005mm$$

则

$$U_f = 0.005 \times 97.2 = 0.5mm$$

故最终结果为：

$$f = 97.2 \pm 0.5mm$$

6.1.2 位移法

物像距 (mm)	445.0					
透镜位移 (mm)	154.0	163.0	160.8	158.5	155.0	156.5

表 2: 位移法测量记录

透镜位移的平均值：

$$\bar{l} = \frac{154.0 + 163.0 + 160.8 + 158.5 + 155.0 + 156.5}{6} = 158.0mm$$

由公式 $f = \frac{L^2 - l^2}{4L}$ 求得焦距为：

$$f = \frac{445.0^2 - 158.0^2}{4 \times 445.0} = 97.2mm$$

6.1.3 自准直法

透镜焦距 (mm)	97.5	97.3	100.5	98.0	97.8	98.5
-----------	------	------	-------	------	------	------

表 3: 自准直法测量记录

透镜焦距的平均值：

$$\bar{f} = \frac{97.5 + 97.3 + 100.5 + 98.0 + 97.8 + 98.5}{6} = 98.3mm$$

6.1.4 视差法

笔 1 到透镜的距离 (mm)	310.0	307.0	308.5
笔 2 到透镜的距离 (mm)	145.0	154.0	150.0

表 4: 视差法测量记录

物距（即笔 1 到透镜的距离）测量平均值为：

$$\bar{p} = \frac{310.0 + 307.0 + 308.5}{3} = 308.5mm$$

像距（即笔 2 到透镜的距离）测量平均值为：

$$\bar{p}' = \frac{145.0 + 154.0 + 150.0}{3} = 150.0mm$$

由高斯成像公式求得焦距为：

$$f = \frac{pp'}{p + p'} = \frac{308.5 \times 150.0}{308.5 + 150.0} = 100.9mm$$

6.2 测量凹透镜的焦距

6.2.1 物像距法

物距 (mm)	91.0		
像距 (mm)	173.0	167.0	172.5

表 5: 物像距法测量记录

像距测量的平均值：

$$\bar{p}' = \frac{173.0 + 167.0 + 172.5}{3} = 170.8mm$$

由高斯成像公式求得焦距为：

$$f = \frac{pp'}{p' - p} = \frac{91.0 \times 170.8}{170.8 - 91.0} = 194.8mm$$

6.2.2 自准直法

x_1 (mm)	272.0	271.0	271.5
x_2 (mm)	75.0	72.0	72.5
透镜焦距 (mm)	197.0	199.0	199.0

表 6: 自准直法测量记录

焦距平均值为：

$$\bar{f} = \frac{197.0 + 199.0 + 199.0}{3} = 198.3mm$$

7 实验讨论

通过本次实验，我加深了对透镜成像规律的理解，掌握了多种测量焦距的方法，进一步了解了光学实验的基本思想。

8 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？

毛玻璃可以将光线散射，使其扩散均匀，从而透镜的像清晰可见。如果在“1”字屏后不加毛玻璃，可能会出现光斑扩散的现象，光线透过透镜后变成了一定大小的圆形光斑，导致成像质量下降，影响测量结果的准确性。

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（偏心），而我们测量距离时测量的是光具座之间的距离（默认为光学元件位于光具座中心位置），这对测量有什么影响？如何消除这一影响？

(a) 这会导致所测距离与实际上透镜光心到“1”字屏的距离之间存在偏差，可能偏大也可能偏小。

(b) 为了消除这一影响，可采取如下措施：

- i. 安装透镜时，尽量使透镜的光轴与光具座的中心重合，以减小偏心误差的影响。
- ii. 第一次测量后将透镜反转 180° ，再测量一次，取两次测量的平均值。

3. 在利用公式法和位移法测量凸透镜焦距时，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？

(a) 对公式法有影响，因为公式法测量中需要测量物距和像距，如果透镜偏心，这两个距离的测量都将与实际距离产生偏差。

(b) 对位移法无影响，因为位移法测量中需要测量的两个距离 l 和 L 不涉及透镜位置。