



大学物理-基础实验 | 实验报告

姓名 王元叙
学号 PB22000195
班级 22 级少年班学院 5 班
日期 2023 年 5 月 22 日

透镜参数的测量

1 实验目的

1. 掌握光源、物、像间的关系以及球差、色差产生的原因；
2. 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。

2 实验装置

光具座、白炽灯光源、透镜架、“1”字屏、毛玻璃、像屏、一个未知焦距凸透镜、一个焦距大致为 15mm 凸透镜、一个未知焦距凹透镜、钢卷尺、铅笔、平面镜

3 实验原理

3.1 高斯成像公式

在近轴条件下高斯公式成立，设 p 为物距， p' 为像距，物方焦距（也称前焦距）为 f ，像方焦距（也称后焦距）为 f' 则有：

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

由于在空气中 $f = -f'$ ，高斯公式变成

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'} \quad (2)$$

3.2 自准直法

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' 。如图 1：

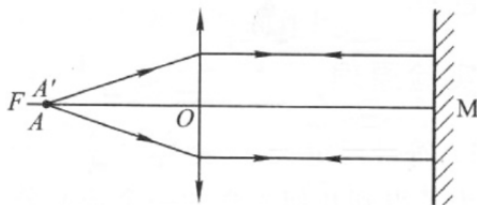


图 1: 自准直法测量焦距原理图

3.3 物像距法（公式法）

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，物距、像距分别为自透镜中心处至物、像间的距离。

也可以采用如下公式计算焦距

$$\frac{1}{p'} + \frac{1}{p} = \frac{1}{f'} \quad (3)$$

式中不再区分前后焦距，采用以下原则来确定符号：对物距和像距，实物与实像时取正号，虚物和虚像时取负号；对透镜焦距 f ，凸透镜取正号，凹透镜取负号。

3.4 位移法

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，移动透镜至两特定位置 C、D 处，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

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

3.5 辅助透镜法测凹透镜焦距

凹透镜是一发散透镜，物经其仅能成虚像，虚像不能用像屏接受，这样无法直接用物成像的方法来计算焦距，但可利用凸透镜成的像作为凹透镜的物，再产生一个实像。注意凹透镜的像方焦点在物空间，物方焦点在像空间。实验中应使凹透镜成像的物距、像距均大于 0，才能用屏接收到实像，如图 2 所示。

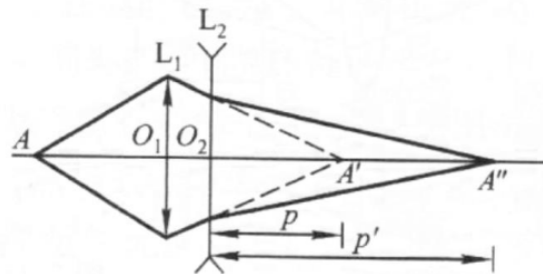


图 2: 辅助透镜法测凹透镜焦距原理图

3.6 自准直法测凹透镜焦距

无法直接使用自准直法测量凸透镜焦距，因此可以使用辅助透镜方法，实验设计图参见附录中原始数据。

4 实验步骤

1. 目测调节。即将所用的元件靠拢，使其光心等高，光轴平行于光学平台。
2. 利用成像原理细调元件共轴。
3. 物像距法测量凸透镜焦距：物距固定不变单次测量，像距 6 次测量取平均。
4. 位移法测量凸透镜焦距数据：物像距离固定不变单次测量，透镜位移量 6 次测量取平均。
5. 自准直法测量凸透镜焦距：直接测得焦距 6 次，测量前三次后翻转透镜测量后三次。
6. 物像距法测量凹透镜焦距：物距固定不变单次测量，像距 3 次测量取平均。
7. 自准直法测量凹透镜焦距：直接测得焦距 3 次。
8. 整理仪器，结束实验。

5 实验数据与分析

5.1 物像距法测量凸透镜焦距

表 1 物像距法测量凸透镜焦距数据

物距/mm	144.3					
像距/mm	326.7	324.3	325.1	327.2	324.9	321.1
平均物距/mm	324.9					
焦距/mm	99.9					

不确定度分析过程:

像距 p' 平均值

$$\bar{p}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p'_i = \frac{326.7 + 324.3 + 325.1 + 327.2 + 324.9 + 321.1}{6} \text{ mm} = 324.9 \text{ mm}$$

由高斯公式 (2) 求得焦距

$$f = \frac{pp'}{p+p'} = \frac{324.9 \times 144.3}{324.9 + 144.3} \text{ mm} = 99.9 \text{ mm}$$

像距的 A 类不确定度

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (p'_i - \bar{p}')^2} \text{ mm} = 2.54 \text{ mm}$$

像距的 B 类不确定度

$$\Delta_{B,p'} = \sqrt{\Delta_{\text{仪}}^2 + \Delta_{\text{估}}^2} = \sqrt{2^2 + 0.5^2} \text{ mm} = 2.06 \text{ mm}$$

像距的展伸不确定度

$$\begin{aligned} U_{p',P} &= \sqrt{\left(t_P \frac{u_A}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(k_P \frac{\Delta_{B,p'}}{C}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(2.57 \times \frac{2.54}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(1.96 \times \frac{2.06}{3}\right)^2} \text{ mm} \\ &= 3.94 \text{ mm}, P = 0.95 \end{aligned}$$

物距 p 展伸不确定度

$$U_{p,P} = k_P \frac{\Delta_{B,p'}}{C} = 1.35 \text{ mm}$$

焦距 f 的展伸不确定度

$$\begin{aligned} U_{f,P} &= \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial p} U_{p,P}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial p'} U_{p',P}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{p^2}{(p+p')^2} U_{p,P}\right)^2 + \left(\frac{p'^2}{(p+p')^2} U_{p',P}\right)^2} \\ &= 1.9 \text{ mm}, P = 0.95 \end{aligned}$$

焦距 f 最终结果

$$g = (99.9 \pm 1.9) \text{ mm} \quad (P = 0.95)$$

5.2 位移法测量凸透镜焦距

表 2 位移法测量凸透镜焦距数据

物像距/mm	540.3					
位移/mm	284.2	281.9	283.0	283.2	282.7	282.1
平均位移/mm	282.9					
焦距/mm	98.64					

5.3 自准直法测量凸透镜焦距

表 3 自准直法测量凸透镜焦距数据

焦距/mm	100.9	101.5	101.1	103.5	102.1	101.9
平均焦距/mm	101.8					

5.4 物像距法测量凹透镜焦距

表 4 物像距法测量凹透镜焦距数据

物距/mm	100.9		
像距/mm	203.2	203.9	203.1
平均物距/mm	203.4		
焦距/mm	200.4		

5.5 自准直距法测量凹透镜焦距

表 5 自准直法测量凹透镜焦距数据

焦距/mm	204.4	206.0	206.0
平均焦距/mm	205.3		

5.6 利用视差测量透镜焦距

使用视差法测量了凸透镜的焦距。测量得到物距为 215.5 mm，像距为 207.5 mm 计算得到焦距为 105.7 mm

6 误差分析

本实验中实验误差主要来自于几个方面

1. 钢卷尺测量误差
2. 透镜安装时偏心导致的对位移法、自准直法测量凸透镜焦距的误差。
3. 使用肉眼判断成像最清晰位置不准确导致的误差
4. 凹透镜焦距的测量显著更大，这是由于实验使用了辅助透镜法，而增加透镜后上述误差被显著放大。

7 思考题

问题 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，使得光纤扩散均匀，形成大小一定的光斑。否则由于透镜本身存在的光学缺陷，例如球差、色差、散光等因素导致的光斑扩散情况，导致图像质量下降图像不清晰，影响对像距的测量。毛玻璃可以使得测量更加精确。

问题 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？

在使用自准直方法进行测量时，直接测量的是光具座之间的距离而不是光学元件之间的距离。因此如果透镜本身存在偏心，那么测量的结果就会有显著的偏差。假设这个偏心的位移量为 x 那么实际上直接测量的值为 $l + x$ ，为了消除这个误差，可以在测量完前三次结果后将透镜反转，是的后三次被测量值为 $l - x$ 通过多次测量取平均值可以较好地偏心导致的误差降低。

问题 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？

使用公式法测量焦距时，同样假设透镜的偏心位移量为 x ，那么实际测量的物距和像距分别为 $p - x$ 和 $p' + x$ ，那么计算得到的焦距为 $f^* = \frac{pp' + (p - p')x - x^2}{p + p'}$ ，差值为 $\Delta f = \frac{(p - p' - x)x}{p + p'}$ 。因此此事透镜安装的偏心对实验测量结果有影响，但是影响较小，尤其当物距像距接近时这个影响量可以忽略不计。

使用位移法对焦距进行测量时则没有如上问题，因为两次测量都受到透镜安装偏心的影响且影响量相同，因此对实验测量结果并没有影响。