

实验十三 薄透镜焦距的测定

透镜是组成各种光学仪器的基本光学元件，焦距则是透镜的一个重要参数。在不同的使用场合往往要选择合适的透镜或透镜组，这就需要测定透镜的焦距。本实验通过不同的实验方法来研究薄透镜的成像规律，并确定其焦距。

一、实验目的要求

1. 学会调节光学系统使之共轴。
2. 掌握测量会聚透镜和发散透镜焦距的方法。
3. 验证薄透镜成像的理论公式。

二、仪器用具

光具座、透镜夹、薄透镜(凸凹各一块)、光源、物屏、象屏，平面反射镜等。

三、实验原理

透镜：是具有两个折射面的简单共轴球面系统。

薄透镜：是指它的厚度远比两个折射面的曲率半径和焦距小得多的透镜。

薄透镜的成像公式：在满足薄透镜和近轴光线的条件下，物距 u ，像距 v 和焦距 f 之间的关系为：

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \quad (5-1)$$

这就是薄透镜成像的公式，又称高斯公式。并规定(5-1)式中，物距 u ，实物为正，虚物为负；像距 v ，实像为正，虚像为负；对凸透镜 f 为正值，对凹透镜 f 为负值。

(一)、凸透镜焦距的测定

1、凸透镜的成像规律为：像的大小和位置是依照物体离透镜的距离而决定的

(1) 当 $u \gg f$ 时，极远处的物体经过透镜在后焦点附近成缩小的倒立实像。

(2) 当 $u > f$ 时，物体越靠近前焦点，像逐渐远离后焦点且逐渐变大。

(3) 当 $u = f$ 时，物体位于前焦点，像存在于无穷远处

(4) 当 $u < f$ 时，物体位于前焦点以内，像为正立放大的虚像，与物体位于同侧，由于虚像点是光线反方向延长的交点，因此不能用像屏接收，只能通过透镜观察。

2、测定方法

(1) 自准直法

光路图如下图所示。当物体A处在凸透镜的焦距平面上时，物A上各点发出的光束，经透镜后成为不同方向的平行光束。若用一与主光轴垂直的平面镜M将平行光反射回去，则反射光再经透镜后仍会聚焦于透镜的焦平面上，此关系就称为自准直原理。所成像是个与原物等大的倒立实像A'。所以自准直法的特点是，物、像在同一焦平面上。自准直法除了用于测量透镜焦距外，还是光学仪器调节中常用的重要方法。

凸透镜焦距:

$$f = |x_1 - x_2| \quad (5-2)$$

x_1 为物屏在光具座上位置读数, x_2 为凸透镜在光具座上位置读数。

(2) 物距像距法

只要 $u > f$, 就可得到一个倒立的实像。

在光具座上分别测出物体、透镜 L 及像的位置, 就可以得到 u , v , 从而根据 (5-1) 式求出 f 。如图 5-2。 $u = |x_1 - x_2|$, $v = |x_2 - x_3|$ 。

(3) 共轭法 (贝塞尔法, 二次成像法)

利用凸透镜物像共轭对称成像的性质测量凸透镜焦距的方法, 叫共轭法。所谓“物像共轭”是指物与像的位置可以互换, 透镜位置与像的大小一一对应。

固定物与像屏间的距离不变, 并使间距 D 大于 $4f$, 则当凸透镜置于物体与像屏之间时, 移动凸透镜可以找到两个位置, 使白屏上都能得到清晰的实像。一个大像, 一个小像。如图 5-3。

透镜移动的距离为 $d = |x_2 - x_3|$, 物屏、像屏之间的距离为 $D = |x_1 - x_4|$, 运用物像共轭的对称性质有:

$$f = \frac{D^2 - d^2}{4D} \quad (5-3)$$

式 (5-3) 由学生自己推导。

只要测出 d 和 D , 即可求出 f 。

以上三种方法, 共轭法测出的焦距一般较为准确, 它避免了物距像距法估计光心位置不准带来的误差, 它毋须考虑透镜本身的厚度。

(二)、凹透镜焦距的测定

凹透镜是发散透镜，无法成实像，因而无法直接测量其焦距，往往采用一凸透镜作辅助透镜来测量。

测量方法：

辅助透镜成像法

设物屏 A 发出的光，经辅助凸透镜 L_1 成实像于 A' 处，放入待测焦距的凹透镜 L_2 成实像于 A'' 处，则 A' 和 A'' 相对于 L_2 来说分别是虚物和实像。分别测出 L_2 到 A' 和 A'' 的距离 u 和 v ，根据(5-1)式，就可以算出焦距 f 。如图 5-4 所示。

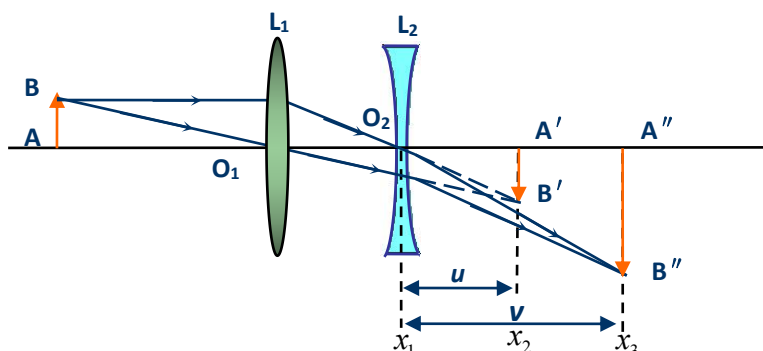


图5-4 测量凹透镜焦距光路图

实物 AB 经凸透镜 L_1 成像于 $A' B'$ 。在 L_1 和 $A' B'$ 之间插入待测凹透镜 L_2 ，就凹透镜 L_2 而言，虚物 $A' B'$ 又成像于 $A'' B''$ 。实验中，调整 L_2 及像屏至合适的位置，就可找到透镜组所成的实像 $A'' B''$ 。因此可把 $O_2 A'$ 看为凹透镜的物距 u ， $O_2 A''$ 看为凹透镜的像距 v ，则由成像公式可得

$$-\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \quad (\text{虚物的物距为负})$$

$$f = \frac{u \cdot v}{u - v} \quad (5-4)$$

由于 $u < v$ ，求出的凹透镜 L_2 的焦距 f 为负值。

四、实验内容

1. 光学元件共轴等高的调节

将透镜等元器件向光源靠拢，调节高低、左右位置，凭目视使光源、物屏上的透光孔中心、透镜光心、像屏的中央大致在一条与光具座导轨平行的直线上，并使物屏、透镜、像屏的平面与导轨垂直。

2. 用自准直法测凸透镜焦距

开启白炽灯光源，照亮物屏，反复移动透镜，反射镜靠近透镜并调整反射镜的俯仰和左右，直到在物屏看到清晰、等大倒立的像，即实现自准直。记下透镜位置 x_1 和物屏位置 x_2 ，重复测三次。由 (5-2) 式计算焦距 f 。

表一 自准直法测凸透镜焦距数据表

测量次数	1	2	3
x_1 物屏位置/cm			
x_2 透镜位置/cm			
焦距 $f = x_1 - x_2 $			
\bar{f}			

3. 用物距像距法测凸透镜焦距

开启白炽灯光源，将物屏、透镜和像屏放到光具座上，调其共轴等高。根据自准直法测得的焦距 f ，使到物屏到透镜的距离 $u > f$ ，移动透镜或像屏位置，在像屏上得到清晰实像，记下各光学元件位置读数，重复测量三次，计算出 u 、 v ，根据公式（5-1）求 f 平均值。

表二 物距-像距法测凸透镜焦距数据表

测量次数	1	2	3
x_1 物屏位置/cm			
x_2 透镜位置/cm			
x_3 像屏位置/cm			
u /cm			
v /cm			
焦距 f			
\bar{f}			

4. 用两次成像法（共轭法）测凸透镜焦距

开启白炽灯光源，将光学元件装置在光具座上，将各光件调至共轴等高。根据自准直法测得的透镜焦距，使物屏与像屏放置在距离大于 $4f$ 处，记下物屏位置 x_1 ，像屏位置 x_4 ，透镜在物屏与像屏间移动，当在光具座的 x_2 处和 x_3 处时，像屏上分别成清晰放大倒立实像和缩小倒立实像，再记下 x_2 和 x_3 位置数值，重复测量三次。由（5-3）式求焦距 f 及其平均值

表三 二次成像法测凸透镜焦距数据表

测量次数	1	2	3
x_1 物屏位置/cm			
x_4 像屏位置/cm			
D 值			

成大像透镜位置 x_2 /cm			
成小像透镜位置 x_3 /cm			
d 值			
焦距 f			
\bar{f}			

5.用辅助透镜成像法测凹透镜的焦距

开启白炽灯光源，先调物屏、凸透镜、凹透镜及像屏共轴等高，根据辅助透镜成像法，分别记录相对凹透镜 L_2 的所成虚像 $A' B'$ 位置读数 x_2 ，实像 $A'' B''$ 位置读数 x_3 及凹透镜的位置读数 x_1 ，重复测量三次，由 (5-4) 计算焦距 f 及其平均值。

表四 物距-像距法测凹透镜焦距数据表

测量次数	1	2	3
物经凸透镜后所成像的位置 x_2 /cm			
凹透镜位置 x_1 /cm			
观察屏的位置 x_3 /cm			
$u = x_2 - x_1 $ /cm			
$v = x_3 - x_1 $ /cm			
焦距 f			
\bar{f}			

五、问题，思考题