

实验五 薄透镜焦距的测量

透镜是最基本的光学元件，根据光学仪器的使用要求，常需选择不同的透镜或透镜组。透镜的焦距是反映透镜特性的基本参数之一，它决定了透镜成像的规律。为了正确地使用光学仪器，必须熟练掌握透镜成像的一般规律，学会光路的调节技术和测量焦距的方法。

【实验目的】

1. 掌握光路调整的基本方法，研究透镜成像的基本规律；
2. 学习几种测量薄透镜焦距的实验方法；

【实验原理】

透镜的厚度相对透镜表面的曲率半径可以忽略时，称为薄透镜。薄透镜的近轴光线成像公式为

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

s 为物距， s' 为像距， f' 为像方焦距。

1. 凸透镜焦距的测量原理

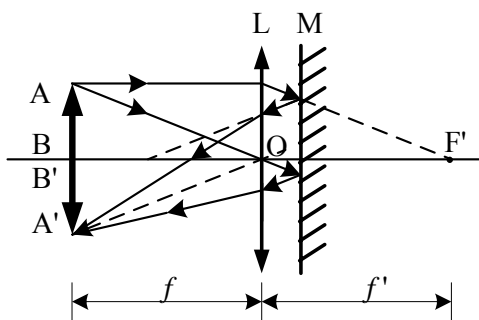


图1 凸透镜自准法光路

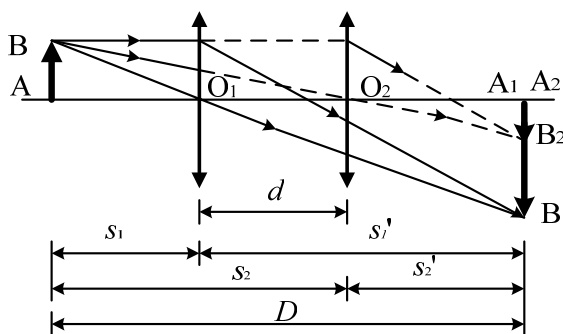


图2 凸透镜共轭法光路

(1) 自准法

光源置于凸透镜焦点处，发出的光线经过凸透镜后成为平行光，若在透镜后放一块于主光轴垂直的平面镜，将此光线反射回去，反射光再经过凸透镜后仍会聚于焦点上，此关系称为自准原理。如果在凸透镜的焦平面上放一物体，如图1所示，其像仍会聚于焦平面上，是一个与原物大小相等的倒立实象，此时物屏至凸透镜光心的距离便是焦距。

(2) 共轭法

如果物屏与像屏的距离 D 保持不变,且 $D > 4f$,在物屏与像屏间移动凸透镜,可两次成像。当凸透镜移至 O_1 处时,屏上得到一个倒立放大实象 A_1B_1 ,当凸透镜移至 O_2 处时,屏上得到一个倒立缩小实象 A_2B_2 ,如图 2 可知,透镜在 O_1 处时:

$$\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_1} = \frac{1}{f'} \quad \frac{1}{s_1} + \frac{1}{D - s_1} = \frac{1}{f'} \quad (2)$$

透镜移至 O_2 处时:

$$\frac{1}{s_2} + \frac{1}{s'_2} = \frac{1}{f'} \quad \frac{1}{s_1 + d} + \frac{1}{D - s_1 - d} = \frac{1}{f'} \quad (3)$$

由此可得:

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

测出 D 和 d ,即可求得焦距。

2. 凹透镜焦距的测量原理

(1) 自准法

凹透镜是发散透镜,实物发出的光经过凹透镜后无法形成实象,为了使用自准法测量它的焦距,必须借助凸透镜来获得平行光,然后用平面镜反射回去成像。如图 3 所示,先由凸透镜 L_1 将物屏上 A 点成像于 A_1 处,然后将凹透镜 L_2 和平面镜 M 放于 L_1 和 A_1 之间,如果 L_1 的光心 O_1 与 A_1 的距离 $O_1A_1 > |f_2|$,移动 L_2 ,当 $O_2A_1 = |f_2|$ 时,由 A 处发出的光线经过 L_1 , L_2 后,变为平行光,经 M 反射返回,又在物屏 A 处形成实象。测出 O_2 和 A_1 的位置,可得凹透镜焦距。

(2) 物距像距法

如图 4 所示,先用凸透镜 L_1 使 A 成实象 A_1 ,像 A_1 便可视为凹透镜 L_2 的物体所在位置,然后将凹透镜 L_2 放于 L_1 和 A_1 之间,如果 $O_1A_1 < |f_2|$,则通过 L_1 的光束经 L_2 折射后,仍能形成一实象 A_2 。物距 $s = O_2A_1$,像距 $s' = O_2A_2$,代入公式(1),可得凹透镜焦距。

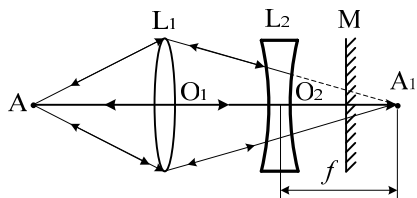


图3 凹透镜自准法光路

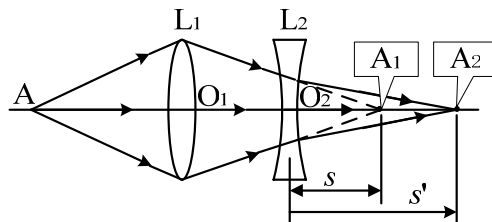


图4 凹透镜物距像距法光路

【实验仪器】

光源（高亮度发光二极管）、光具座、镜架、箭孔物屏、像屏、透镜（凸、凹各一块）

【实验内容】

1. 光路调整

由于应用薄透镜成像公式时，需要满足近轴光线条件，因此必须使各光学元件调节到同轴，并使该轴与光具座的导轨平行，“共轴等高”调节分两步完成：

（1）目测粗调：把光源、物屏、透镜和像屏依次装好，先将它们靠拢，使各元件中心大致等高在一条直线上，并使物屏、透镜、像屏的平面互相平行。

（2）细调：利用共轭法调整，参看图2，固定物屏和像屏的位置，使 $D > 4f$ ，在物屏与像屏间移动凸透镜，可得一大一小两次成像。若两个像的中心重合，即表示已经共轴；若不重合，可先在小像中心作一记号，调节透镜的高度使大像的中心与小像的中心重合。如此反复调节透镜高度，使大像的中心趋向小像中心（大像追小像），直至完全重合。

2. 凸透镜焦距的测量

（1）自准法：

参看图1，平面镜紧靠在凸透镜后，考虑到人眼判断成像清晰的误差较大，采用左右逼近测读法测定物屏位置，即从左至右移动物屏，直至在物屏上看到与物大小相同的清晰倒像，记录此时物屏的位置；再从右至左移动物屏，直至在物屏上看到与物大小相同的清晰倒像，记录此时物屏的位置。重复3次。在附表1中记录透镜的位置，计算焦距。

（2）共轭法：

参看图2，固定物屏和像屏的位置，使 $D > 4f$ （可利用自准法数据），采用左右逼近测读法分别测定凸透镜在像屏上成一大一小两次像的位置，重复3次，数据记录在附表2中。利用公式（4）计算焦距。

3. 凹透镜焦距的测量

（1）物距像距法：

1) 参看图3安置好光源、物屏、凸透镜和像屏，使像屏上形成缩小清晰的像，用左右

逼近测读法测定像屏的位置，同时固定物屏和凸透镜。

2) 在凸透镜和像屏之间放入凹透镜，移动像屏，直至像屏上出现清晰的像，用左右逼近测读法测定像屏的位置，并在附表 3 中记录凹透镜的位置，利用公式 (1) 计算凹透镜的焦距。

(2) 自准法 (选做):

1) 参看图 4 安置好光源、物屏、凸透镜和像屏，使像屏上形成缩小清晰的像 (可略比光源小)，用左右逼近测读法测定像屏的位置，同时固定物屏和凸透镜。

2) 在凸透镜和像屏之间放入凹透镜和平面镜，移动凹透镜，同时观察物屏至出现一清晰倒立像。此时需用左右逼近测读法测定凹透镜的位置。

【思考题】

1. 复习凸透镜成像规律，填写下表。

物 距	成 像 情 况			
	位 置	大 小	正 倒	虚 实
$S < f$				
$S = f$				
$f < S < 2f$				
$S = 2f$				
$S > 2f$				

2. 为什么可以用“大像追小像”的方法，调节透镜系统达到共轴等高的要求？

3. 用“共轭法”测凹透镜的焦距时，为什么要让物屏与像屏的距离大于 4 倍焦距？