

## 实验 4-1 薄透镜焦距的测定

透镜是光学仪器中最基本的光学元件,而焦距是透镜的重要参量之一,透镜的成像位置及性质(大小、虚实)均与其有关。实际工作中,常常需要测定不同透镜的焦距以供选择。测焦距的方法有多种,应根据不同的透镜、不同的精度要求和具体的实验条件选择合适的方法。本实验仅介绍几种常用方法。

### 【实验目的】

1. 学习光具座上各元件的共轴调节方法。
2. 掌握测定薄透镜焦距的几种基本方法。

### 【仪器用具】

光具座、凸透镜、凹透镜、平面反射镜、望远镜、物(带十字线的毛玻璃)、像屏、光源。

### 【实验原理】

透镜分为两类。一类是凸透镜(或称正透镜或会聚透镜),对光线起会聚作用,焦距越短,会聚本领越大;另一类是凹透镜(或称负透镜或发散透镜),对光线起发散作用,焦距越短,发散本领越大。

在近轴光线的条件下,透镜置于空气中,透镜成像的高斯公式为

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \quad (4-1-1)$$

式中  $s'$  为像距,  $s$  为物距,  $f'$  为第二焦距。对薄透镜,因透镜的厚度比球面半径小得多,因此透镜的两个主平面与透镜的中心面可看做是重合的。  $s$ 、 $s'$ 、 $f'$  皆可视为物、像、焦点与透镜

中心(即光心)的距离,如图 4-1-1 所示。

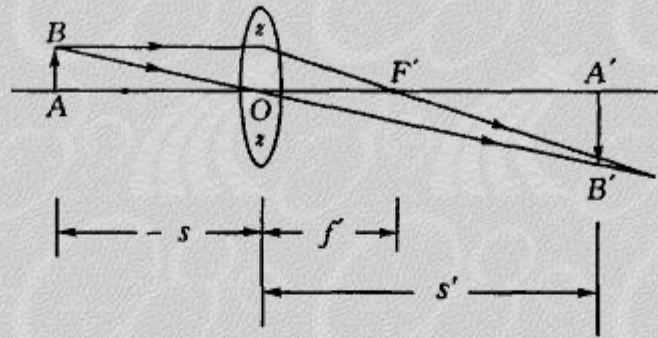


图 4-1-1

对于公式(4-1-1)中的各物理量的符号,我们规定:光线自左向右传播,以薄透镜中心为原点量起,若其方向与光的传播方向一致者为正,反之为负。运算时,已知量需添加符号,未知量则根据求得结果中的符号判断其物理意义。

测定薄透镜焦距的方法有多种,它们均可以由(4-1-1)式导出,至于选用什么方法和仪器,应根据测量所要求的精度来确定。

### 一、测凸透镜的焦距

#### 1. 用物距-像距法求焦距

当实物经凸透镜成实像于白屏上时,通过测定  $s$ 、 $s'$ ,利用(4-1-1)式即可求出透镜的焦距  $f'$ 。若  $s \rightarrow \infty$  无穷大,则  $s' \rightarrow f'$ 。也就是说,可把远处的物体作为物,经透镜成像后,透镜

中心(即光心)的距离,如图 4-1-1 所示。

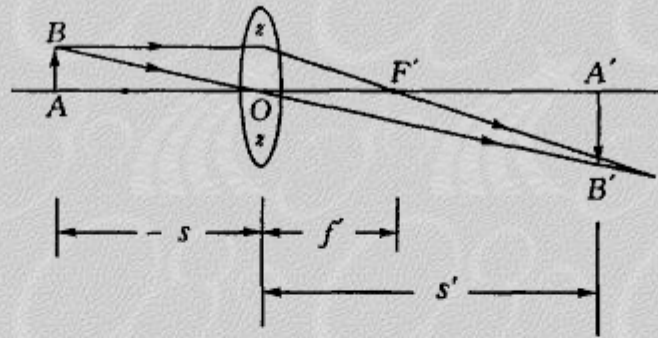


图 4-1-1

对于公式(4-1-1)中的各物理量的符号,我们规定:光线自左向右传播,以薄透镜中心为原点量起,若其方向与光的传播方向一致者为正,反之为负。运算时,已知量需添加符号,未知量则根据求得结果中的符号判断其物理意义。

测定薄透镜焦距的方法有多种,它们均可以由(4-1-1)式导出,至于选用什么方法和仪器,应根据测量所要求的精度来确定。

### 一、测凸透镜的焦距

#### 1. 用物距-像距法求焦距

当实物经凸透镜成实像于白屏上时,通过测定  $s$ 、 $s'$ ,利用(4-1-1)式即可求出透镜的焦距  $f'$ 。若  $s \rightarrow \infty$  无穷大,则  $s' \rightarrow f'$ 。也就是说,可把远处的物体作为物,经透镜成像后,透镜

这种方法可以不考虑透镜本身的厚度。

### 3. 由自准直法求焦距

如图 4-1-3 所示,  $L$  为待测凸透镜, 平面反射镜  $M$  置于透镜后方的一适当距离处。若物体  $AB$  正好位于透镜的前焦面处, 那么物体上各点发出的光束经透镜折射后成为不同方向的平行光, 然后被反射镜反射回来, 再经透镜折射后, 成一与原物大小相同的、倒立的实像  $A'B'$ , 且与原物在同一平面, 即成像于该透镜的前焦面上, 此时物与透镜间的距离就是透镜的焦距, 其数值可直接由光具座导轨标尺读出, 故此法迅速。这种方法利用调节实验装置本身使之产生平行光以达到调焦的目的, 故称为自准直法。它不仅用于测透镜焦距, 还常常用于光学仪器的调节, 如平行光管的调节和分光计中望远镜的调节等。

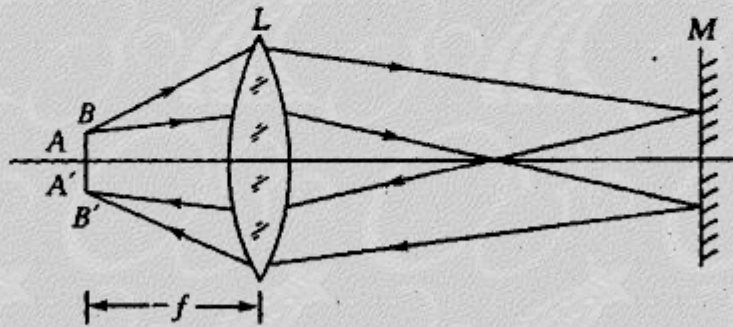


图 4-1-3

## 二、测凹透镜的焦距

### 1. 用物距-像距法测凹透镜焦距

如图 4-1-4 所示, 凸透镜  $L_1$  将实物  $A$  成像于  $B$ , 把被测凹透镜  $L_2$  插入  $L_1$  与像  $B$  之间, 然后调整  $L_2$  与  $B$  的距离, 使光线的会聚点向右移至  $B'$ , 即虚物  $B$  (对  $L_2$  而言) 经  $L_2$  成一实像于  $B'$ , 测定物距  $s$ 、像距  $s'$ , 代入公式(4-1-1)即可求出凹透镜的焦距  $f'$ 。

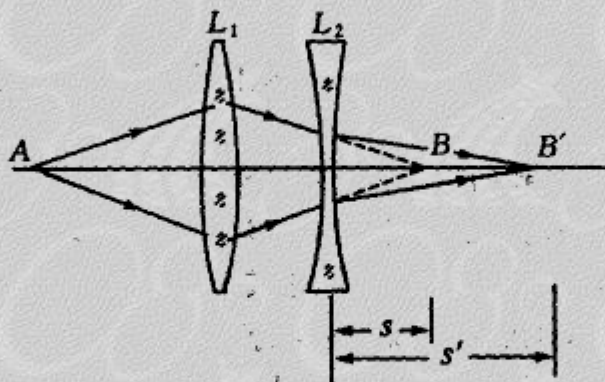


图 4-1-4

### 2. 用望远镜法测定凹透镜焦距

如果图 4-1-4 中的  $B$  点刚好处于凹透镜  $L_2$  的主焦点上, 则  $B'$  点将移到无穷远处, 即光线经  $L_2$  折射后, 将变成平行光射出。此时, 用望远镜(望远镜已预先聚焦无穷远)观察, 可清楚地看到  $B$  点的像, 那么  $B$  点至  $L_2$  的距离即为凹透镜焦距  $f'$ 。

### 三、光学元件的共轴调节

为了避免不必要的像差和读数准确,需要对光学系统进行共轴调节,使各透镜的光轴重合且与光具座的导轨严格平行,物面中心处在光轴上,且物面、屏面垂直于光轴。此外,照明光束也应大体沿光轴方向。共轴调节的具体方法是:

#### 1. 粗调

把光源、物、透镜、白屏等元件放置于光具座上,并使它们尽量靠拢,用眼睛观察、调节各元件的上下、左右位置,使各元件的中心大致在与导轨平行的同一条直线上,并使物平面、透镜面和屏平面三者相互平行且垂直于光具座的导轨。

#### 2. 细调

点亮光源,利用透镜二次成像法(见图 4-1-2)来判断是否共轴,并进一步调至共轴。

若物的中心偏离透镜的光轴,则移动透镜两次成像所得的大像和小像的中心将不重合,如图 4-1-5 所示。就垂直方向而言,如果大像的中心  $P'$  高于小像的中心  $P''$ ,说明此时透镜位置偏高(或物偏低),这时应将透镜降低(或将物升高)。反之,如果  $P'$  低于  $P''$ ,便应将透镜升高(或将物降低)。

调节时,以小像中心为目标,调节透镜(或物)的上下位置,逐渐使大像中心  $P'$  靠近小像中心  $P''$ ,直至  $P'$  与  $P''$  完全重合。同理,调节透镜的左右(即横向)位置,使  $P'$  与  $P''$  两者中心重合。

如果系统中有两个以上的透镜,则应先调节只含一个透镜在内的系统共轴,然后再加入另一个透镜,调节该透镜与原系统共轴(此时,是否还需要调节大、小像的中心重合?)。

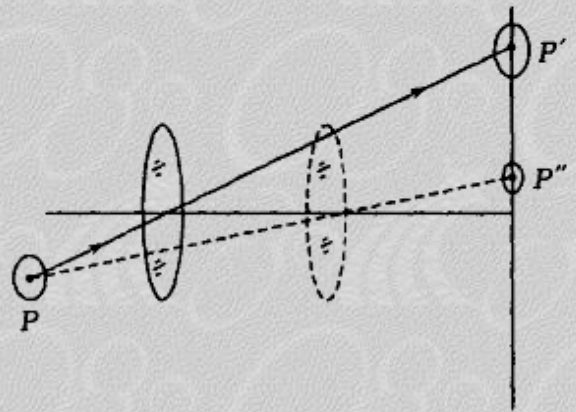


图 4-1-5

## 【实验内容】

1. 将光源、物、待测透镜、屏等放置于光具座上,调节各元件使之共轴。为了使物照明均匀,光源前应加毛玻璃。

2. 用物距-像距法测凸透镜的焦距。改变屏的位置,重复测量5次,求其平均值。

3. 用贝塞尔法测凸透镜的焦距。固定物与屏之间的距离(略大于 $4f$ ),往复移动透镜并仔细观察,至像清晰时读数,重复测量5次,求其平均值。

4. 用自准直法测凸透镜的焦距。取下光屏,换上平面反射镜,并使平面镜与系统共轴,移动透镜,改变物与透镜之间的距离,直至物屏上出现清晰的且与物等大的像为止,记下此时物距,即为透镜的焦距。重复测量5次,求其平均值。

5. 用物距-像距法求凹透镜的焦距:

(1) 按图4-1-4所示,使物经凸透镜 $L_1$ 成一清晰像于 $B$ 处的屏上,记录此时屏的位置 $X_1$ 。

(2) 保持物与 $L_1$ 之间的距离不变,在 $L_1$ 与屏之间插入凹透镜 $L_2$ ,调节 $L_2$ 与系统共轴。然后移动 $L_2$ 至靠近屏的位置,再右移屏至 $B'$ 处找到清晰像。记录此时 $L_2$ 的位置 $X_0$ 及屏的位置 $X_2$ ,由 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_0$ 的值计算 $s$ 、 $s'$ ,代入公式(4-1-1)求出凹透镜的焦距 $f'$ 。保持 $L_1$ 不动,移动 $L_2$ 至不同的位置,重复测量5次,求其平均值。

(3) 取下光屏,换上望远镜,用望远镜法测凹透镜的焦距,重复测量5次,求其平均值。

## 【数据表格】

表 4-1-1

物距-像距法测凸透镜焦距数据表

测量序号 $N$	1	2	3	4	5	平均
物屏位置 $x_A$ (cm)						X
透镜位置 $x_0$ (cm)						
像屏位置 $x_{A'}$ (cm)						
$s$ (cm)						
$s'$ (cm)						

表 4-1-2

贝塞尔法测凸透镜焦距数据表

物屏位置  $x_A =$  \_\_\_\_\_ cm    像屏位置  $x_{A'} =$  \_\_\_\_\_ cm     $D =$  \_\_\_\_\_ cm

测量序号 $N$	1	2	3	4	5	平均
透镜成大像位置 $x_1$ (cm)						X
透镜成小像位置 $x_2$ (cm)						
$\Delta =  x_2 - x_1 $ (cm)						

表 4-1-3

物距-像距法测凹透镜焦距数据表

 $x_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  cm

测量序号 N	1	2	3	4	5	平均
$x_0$ (cm)						X
$x_2$ (cm)						
$s =  x_1 - x_0 $ (cm)						
$s' =  x_2 - x_0 $ (cm)						

**【思考题】**

1. 已知一凸透镜的焦距为  $f$ , 要用此透镜成一物体放大的像, 物体应放在离透镜中心多远的地方? 成缩小的像时, 物体又应放在多远的地方?
2. 为什么实验中要用白屏作像屏? 可否用黑屏、透明平玻璃、毛玻璃屏? 为什么?
3. 为什么在光源前加毛玻璃? 为什么用单色光更好些?
4. 用贝塞尔法测凸透镜焦距时, 为什么  $D$  应略大于  $4f$ ?

**【习题】**

1. 为什么要调节光学系统共轴? 调节共轴有哪些要求? 怎样调节?
2. 用自准法能测量凹透镜的焦距吗? 若能, 请画出原理光路图。
3. 如果凸透镜的焦距大于光具座的长度, 试设计一个实验, 在光具座上能测定它的焦距。