

薄透镜焦距的测定

透镜是组成各种光学仪器的最基本的光学元件，标志透镜性质的一个重要参数是焦距，它决定了透镜成像的规律(如像大小、虚实、倒立等)。透镜分为两种即凸透镜和凹透镜。凸透镜具有使光线会聚的作用，凹透镜具有使光束发散的作用。如图 1。

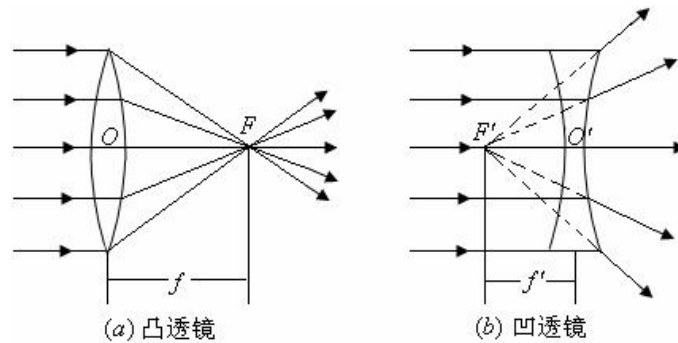


图 1 薄透镜成像规律

测量焦距的方法很多，根据不同的透镜、不同的精度要求和具体条件选择合适的测量方法。

我们常用的透镜是薄透镜，是指透镜中心厚度比透镜的焦距或曲率半径小很多的透镜。本实验用几种不同方法分别测定凸、凹两种薄透镜的焦距，了解透镜成像的规律，掌握光路调节技术，比较各种测量方法的优缺点。

实验提供光具座，凸、凹薄透镜，光源，物屏，平面反射镜，水平尺等

【实验原理】

一、凸透镜焦距的测定

1. 粗测法：

以太阳光或较远的灯光为光源，用凸透镜将其发出的光线聚成一光点(或像)，此时，物距 $s \rightarrow \infty$ ，像距 $s' \approx$ 焦距 f' ，即该光点(或像)可认为是焦点 F，而光点到透镜中心(光心)的距离，即为凸透镜的焦距，此法测量的误差约在 10% 左右。由于这种方法误差较大，大都用在实验前作粗略估计，如挑选透镜等。

2. 成像法：

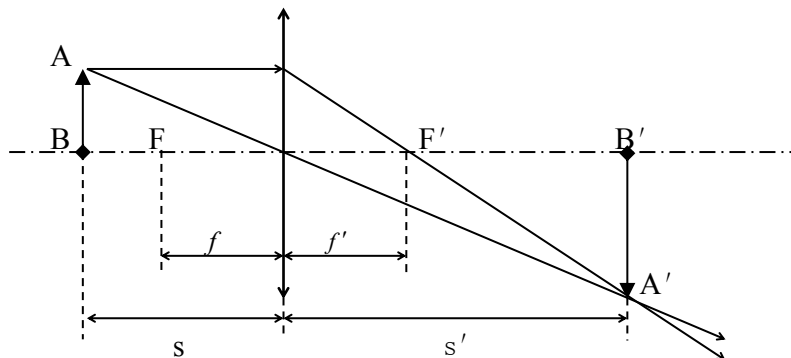


图 2 薄透镜成像规律

在近轴光线的条件下，薄透镜成像的高斯公式为

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

当将薄透镜置于空气中时，则焦距为：
$$f' = -f = \frac{ss'}{s-s'} \quad (2)$$

(2)式中， f' 为像方焦距； f 为物方焦距； s' 为像距； s 为物距。

式中的各线距均从透镜中心(光心)量起，与光线行进方向一致为正，反之为负，如图 1 所示。若在实验中分别测出物距 s 和像距 s' ，即可用式(2)求出该透镜的焦距 f' 。但应注意：测得量须添加符号，求得量则根据求得结果中的符号判断其物理意义。

3. 自准法：

如图 3 所示，在待测透镜 L 的一侧放置一被光源照明的物屏 AB，在另一侧放一平面反射镜 M，移动透镜(或物屏)，当物屏 AB 正好位于凸透镜之前的焦平面时，物屏 AB 上任意一点发出的光线经透镜折射后，将变为平行光线，然后被平面反射镜反射回来。再经透镜折射后，仍会聚在它的焦平面上，即原物屏平面上，形成一个与原物大小相等方向相反的倒立实像 $A'B'$ 。此时物屏到透镜之间的距离，就是待测透镜的焦距，即

$$f = s \quad (3)$$

由于这个方法是利用调节实验装置本身使之产生平行光以达到聚焦的目的，所以称之为自准法。

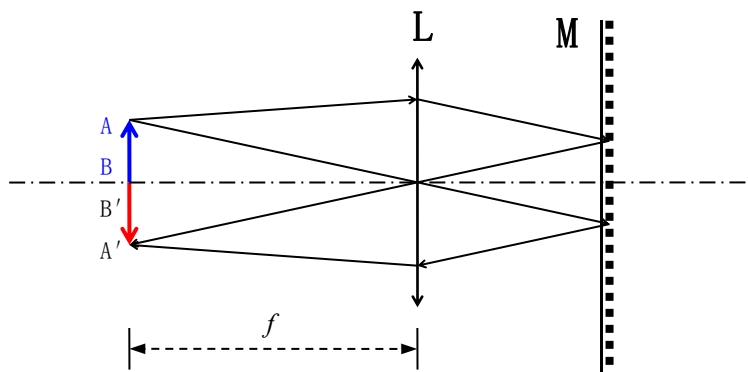


图 3 自准法测焦距

4. 共轭法：

共轭法又称为位移法、二次成像法或贝塞尔法。如图 4 所示，使物与屏间的距离 $D > 4f$ 并保持不变，沿光轴方向移动透镜，则必能在像屏上观察到二次成像。设物距为 s_1 时，得放大的倒立实像；物距为 s_2 时，得缩小的倒立实像，透镜两次成像之间的位移为 d ，根据透镜成像公式，可推得：

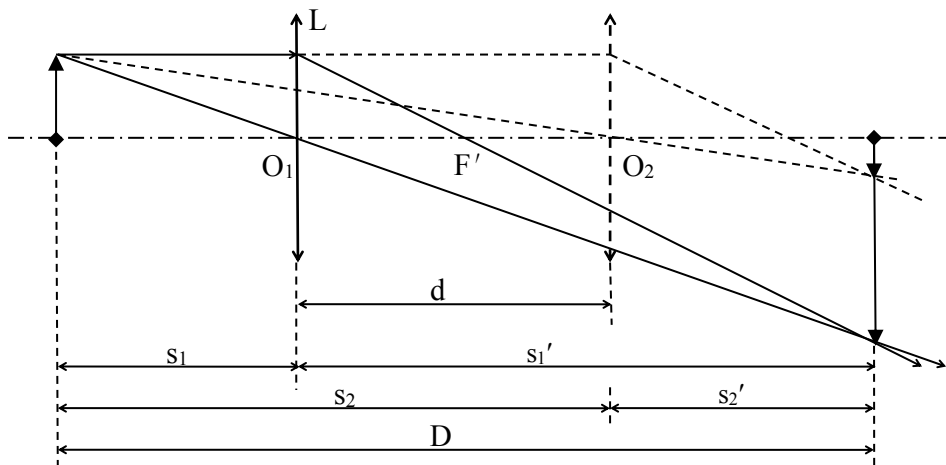


图 4 共轭法测焦距

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

物像公式法、粗略估测法和自准法都因透镜的中心位置不易确定而在测量中引进误差。而共轭法只要在光具座上确定物屏、像屏以及透镜二次成像时其滑块移动的距离，就可较准确地求出焦距 f' 。这种方法毋须考虑透镜本身的厚度。

操作要领：

- 1) 粗测凸透镜焦距，方法自拟。
- 2) 取 D 大于 $4f'$ 。
- 3) 调节箭矢中点与透镜共轴，并且应使透镜光轴尽量与光具座导轨平行。往复移动透镜并仔细观察，成像清晰时读数。

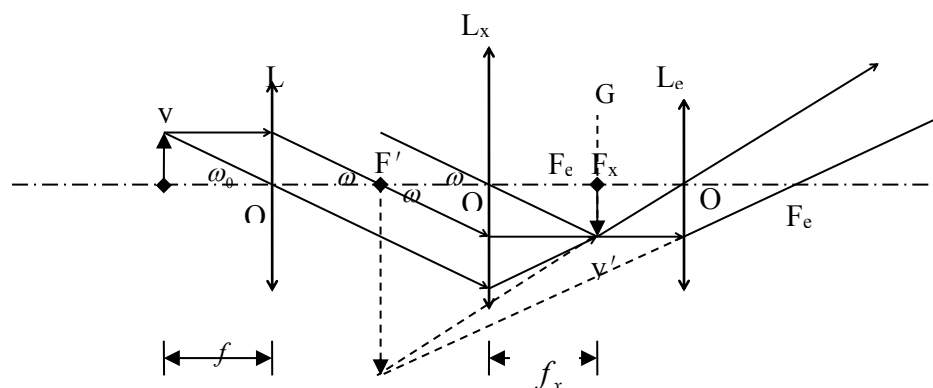
5. 焦距仪法

焦距仪的光路如图 5 所示，由物（物高为 y ）发出的光经平行光管物镜 L 后成为平行光，再经待测透镜 L_x 后成像在焦平面上，像高为 y' ，由图可知 $\tan \omega_0 = y / f$ ， $\tan \omega = y' / f_x$ ，

且 $\tan \omega = \tan \omega_0$ ，所以

$$f_x = \frac{y'}{y} f$$

式中 f 为平行光管物镜的焦距，其数值已标在平行光管上； y 为玻璃板上所选的某一对平行线的线距，其数值也标在平行光管上，单位为 mm； y' 为用测微目镜测得的同一对平行线的像的距离； f_x 为待测凸透镜的焦距。



Y—玻璃板；L—平行光管物镜； L_x —待测透镜；G—固定分划板； L_e —测微目镜中的目镜

图 5 焦距仪法测焦距

操作要领：

- 1) 凭眼睛观察粗调平行光管、待测透镜和测微目镜，使三者共轴，并使光轴平行于光具座导轨。
- 2) 调节测微目镜的视度，使其同时看清十字叉丝和读距分划板；
- 3) 松开透镜夹持器的固定螺旋，前后移动透镜使分划板的像位于显微镜的工作距离上，使读数显微镜能看到平行光管玻璃板成像在读距分划板上，然后根据以上公式算出被测透镜的焦距。

二、凹透镜焦距的测定

1. 成像法(又称为辅助透镜法)：

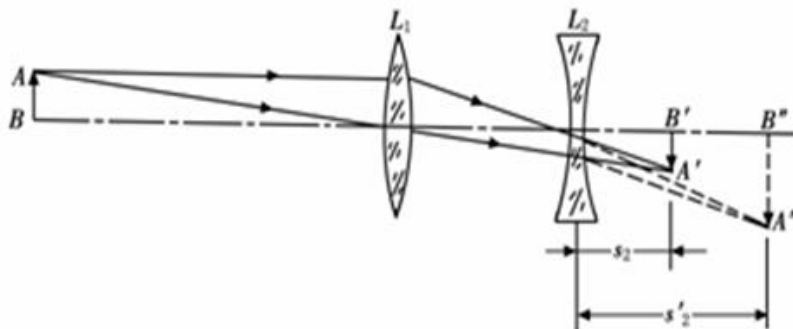


图6 成像法测凹透镜焦距

如图6所示,先使物AB发出的光线经凸透镜 L_1 后形成一大小适中的实像 $A'B'$,然后在 L_1 和 $A'B'$ 之间放入待测凹透镜 L_2 ,就能使虚物 $A'B'$ 产生一实像 $A''B''$ 。分别测出 L_2 到 $A'B'$ 和 $A''B''$ 之间距离 s_2 、 s_2' ,根据式(2)即可求出 L_2 的像方焦距 f_2' 。

2. 凹透镜自准法:

如图7所示,在光路共轴的条件下,使物屏上物AB发出的光经凸透镜 L_1 后成实像 $A'B'$ 。现将待测凹透镜 L_2 置于 L_1 与 $A'B'$ 之间,若在 L_2 后面垂直于光轴放置一个平面反射镜M,并移动凹透镜 L_2 使在物屏上得到一个与物AB大小相等的倒立实像。此时, $A'B'$ 成为 L_2 的虚物,若虚物 $A'B'$ 正好在 L_2 的焦平面上,则从 L_2 出射的光是平行光,该平行光经反射镜反射并再依次通过 L_2 和 L_1 ,最后必然在物屏上成等大的倒立实像 $A''B''$ 。这样,分别记录 L_2 的位置 O_2 及实像 $A'B'$ 的位置,则 O_2 到实像 $A'B'$ 间的距离即为 f_2 。

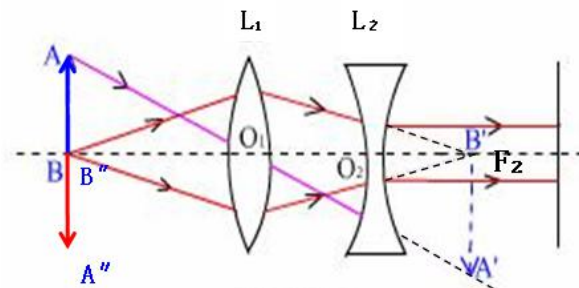


图7 自准法测凹透镜焦距

【实验内容】

1. 光具座上各光学元件同轴等高的调节:

先利用水平仪将光具座的导轨在实验桌上调水平,然后进行各光学元件共轴等高的粗调和细调(用位移法的两像中心重合或不同大小的实像中心重合的方法),直到各光学元件的光轴共轴,并与光具座导轨平行为止。

2. 利用粗测法之外的五种方法测量透镜的焦距。参考原理,自拟测量步骤。

【数据处理】

计算出标准不确定度的A类评定、标准不确定度的B类评定及合成不确定度;给出正确的结果表示。

【误差分析】

分析比较各种测透镜焦距方法的误差来源,提出对各种方法优缺点的看法。

【注意事项】

由于人眼对成像的清晰度分辨能力有限,所以观察到的像在一定范围内都清晰,加之球差的影响,清晰成像位置会偏离高斯像。为使两者接近,减小误差。记录数值时应使用左右逼近的方法。

【思考题】

1. 如会聚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。
2. 准直管测焦距的方法有哪些优点?还存在哪些系统误差?