



南昌大学

2023~2024 学年秋季学期 《大学物理实验》

实验报告

得 分	评阅人

题 目： 实验五 透镜焦距测定

学 院： 先进制造学院

专业班级： 智能制造工程 221 班

学生姓名： 朱紫华

学 号： 5908122030

指导老师： 全祖赐老师

二 O 二三年十月制

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。

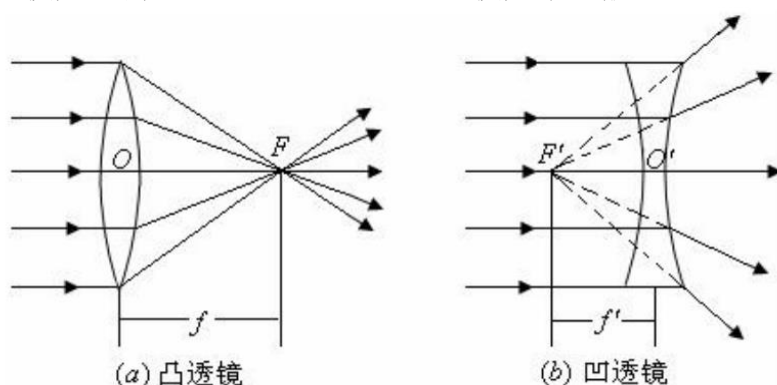


图 1 薄透镜成像规律

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

实验仪器实物图



【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：

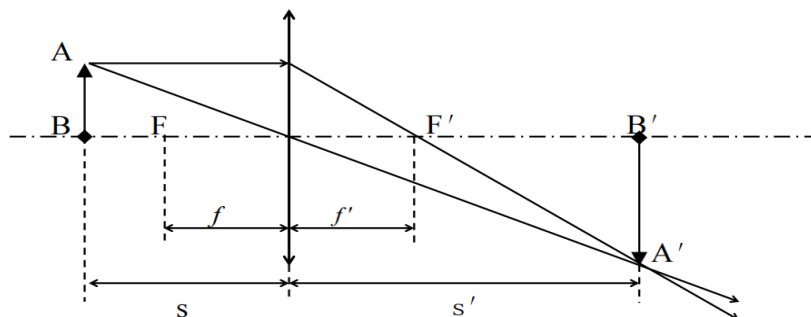


图 2 薄透镜成像规律

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： $f' = -f = \frac{ss'}{s - s'}$ (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。

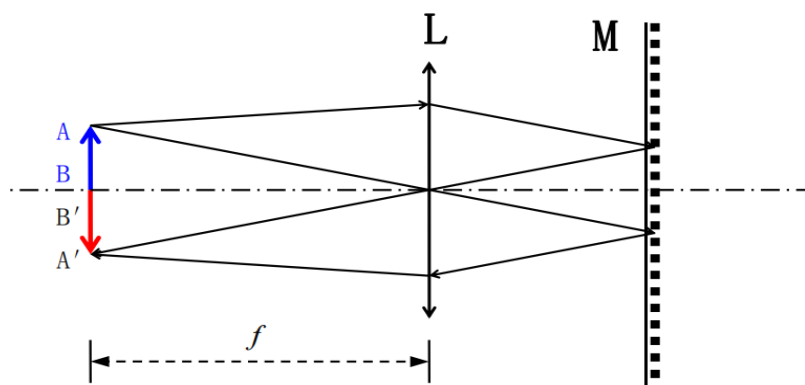


图 3 自准法测焦距

3. 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：

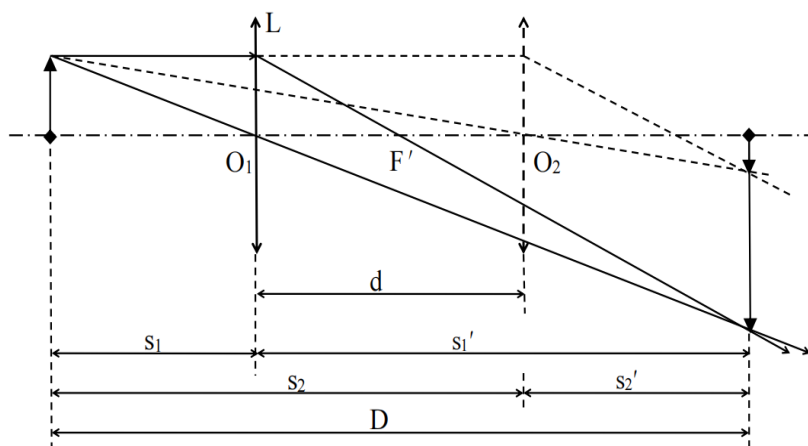


图 4 共轭法测焦距

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

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 $4f'$ 。

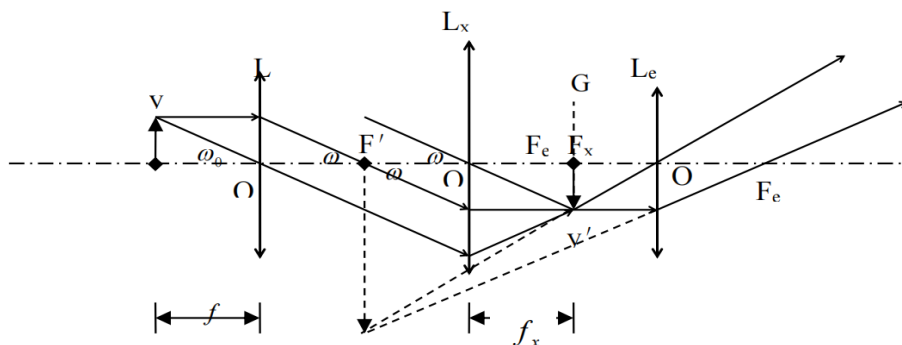
(3) 调节箭头中点与透镜共轴，并且应使透镜光轴尽量与光具座导轨平行。往复移动透镜并仔细观察，成像清晰时读数。

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

$\tan \omega_0 = y/f$ ， $\tan \omega_0 = y'/f_x$ ，且 $\tan \omega_0 = \tan \omega$ ，所以

$$f_x = \frac{y'}{y} f \quad (5)$$

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 为玻罗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—玻罗板；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罗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)：

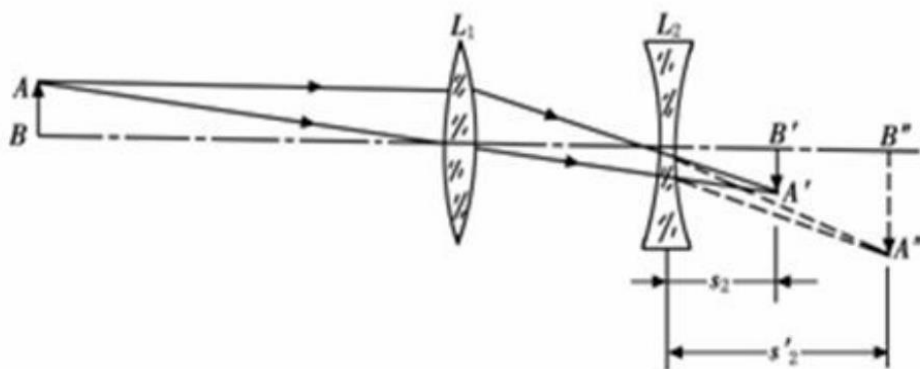


图 6 成像法法测凹透镜焦距

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 。

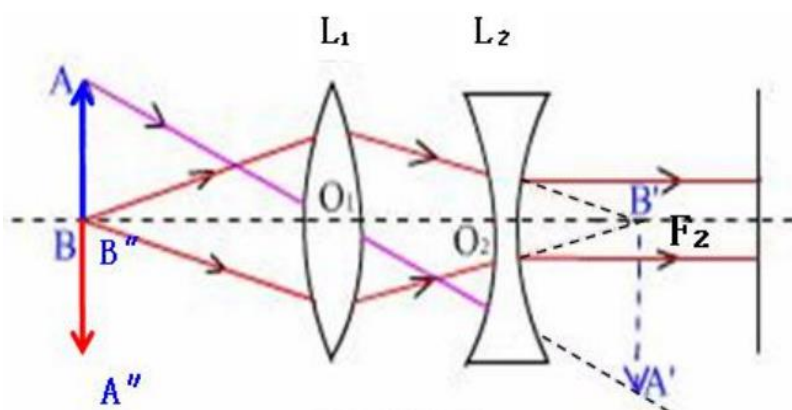


图 7 自准法测凹透镜焦距

【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。

共轭法数据

单位（厘米）

次数	物体位置 B	像屏位置 或 $B' B''$	凸位置 O_1			凸位置 O_2			$d_1 = O_1 - O_2 $	Δd_i
			左	右	平均	左	右	平均		
1	24.0	110.0	55.8	55.6	55.7	77.8	77.8	77.8	22.10	0.14
2			55.6	55.7	55.65	77.6	77.8	77.7	22.05	0.19
3			55.4	55.6	55.5	77.7	78.1	77.9	22.40	0.16
4			55.6	55.5	55.55	78.1	78	78.05	22.50	0.26
5			55.6	55.7	55.65	77.6	78	77.8	22.15	0.09
平均值									22.24	0.168

$$\bar{d} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 d_i \quad \Delta_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \quad \Delta_B = \Delta_{\text{仪}} = 0.05 \text{cm}$$

$$\frac{\partial f}{\partial D} = \frac{1}{4} + \frac{\bar{d}^2}{4D} \quad \frac{\partial f}{\partial \bar{d}} = -\frac{\bar{d}}{2D}$$

$$u_f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial D} u_D\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \bar{d}} u_{\bar{d}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{D + \bar{d}^2}{4D} u_D\right)^2 + \left(\frac{\bar{d}}{2D} u_{\bar{d}}\right)^2}$$

通过共轭法测量所得数据计算可得 $f = \frac{D^2 - d^2}{4D} = 20.06 \text{cm}$

合成不确定度 $U_d = \sqrt{(\Delta_A)^2 + (\Delta_B)^2} \quad U_{rd} = \frac{U_d}{d} \times 100\%$

$$U_{rd} = \frac{U_d}{d} \times 100\% = 0.86\% \quad U_d = \sqrt{(\Delta_A)^2 + (\Delta_B)^2} = 0.192$$

$$U_{rf} = \frac{U_f}{f} \times 100\% = 0.44\% \quad f = \bar{f} \pm U_f = 20.06 \pm 0.192 \text{cm}$$

组合法数据

单位（厘米）

次数	物体位置 B	凸透镜位置 L_1	凹像位置 B''	凸像位置 B'			凹透镜位置 L_2			物距 $-u'$	像距 v'	Δu_i	Δv_i
				左	右	平均	左	右	平均	$B' - L_2$	$B'' - L_2$		
1	24	78	128	110.0	110.1	110.05	99.8	100	99.9	-10.15	28.1	0.21	0.16
2				109.9	110.0	109.95	100	100.1	100.05	-9.90	27.95	0.04	0.01
3				110.1	110	110.05	100.2	99.9	100.05	-10.0	27.95	0.06	0.01
4				110	109.9	109.95	100.1	100.2	100.15	-9.80	27.85	0.14	0.09
5				110	110	110	100.1	100.2	100.15	-9.85	27.85	0.09	0.09
平均值										-9.94	27.94	0.10 8	0.07 2

$$\bar{u} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 u_i \quad \bar{v} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 v_i \quad \bar{f} = \frac{\overline{uv}}{u+v} \quad \Delta_{Au} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (u_i - \bar{u})^2}{n-1}}$$

$$\Delta_{Av} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (v_i - \bar{v})^2}{n-1}} \quad \Delta_{Bu} = \Delta_{\text{仪}} = 0.05\text{cm} \quad \Delta_{Bv} = \Delta_{\text{仪}} = 0.05\text{cm}$$

$$U_u = \sqrt{(\Delta_{Au})^2 + (\Delta_{Bu})^2} \quad U_v = \sqrt{(\Delta_{Av})^2 + (\Delta_{Bv})^2} \quad \frac{\partial \bar{f}}{\partial \bar{u}} = \frac{\bar{v}^{-2}}{(\bar{u} + \bar{v})^2} \quad \frac{\partial \bar{f}}{\partial \bar{v}} = \frac{\bar{u}^{-2}}{(\bar{u} + \bar{v})^2}$$

$$u_f = \sqrt{\left(\frac{\partial \bar{f}}{\partial \bar{u}} u_u\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{f}}{\partial \bar{v}} u_v\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\bar{v}^{-2}}{(\bar{u} + \bar{v})^2} u_u\right)^2 + \left(\frac{\bar{u}^{-2}}{(\bar{u} + \bar{v})^2} u_v\right)^2}$$

通过组合法测量所得数据计算得 $\bar{f} = \frac{\overline{uv}}{u+v} = -15.43\text{cm}$ $U_f = 1.7\%$ $f = -15.43 \pm 0.36\text{cm}$

自准法数据

次数	物体位置 x_0	凸透镜位置 x_1			$f_i = x_1 - x_0 $	Δf_i
		左	右	平均		
1	24.0	43.7	43.8	43.75	19.75	0.02
2		43.8	43.8	43.8	19.8	0.07
3		43.6	43.7	43.65	19.65	0.08
4		43.8	43.6	43.7	19.7	0.03
5		43.7	43.8	43.75	19.75	0.02
平均值					19.73	0.044

$$\bar{f} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i \quad \Delta_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2}{n-1}} \quad \Delta_B = \Delta_{\text{仪}} = 0.05 \text{ cm}$$

$$\text{合成不确定度 } U_f = \sqrt{(\Delta_A)^2 + (\Delta_B)^2}$$

$$\text{相对不确定度 } U_{rf} = \frac{U_f}{\bar{f}} \times 100\%$$

$$\text{可得 } f = \bar{f} \pm U_f \quad U_{rf} = \frac{U_f}{\bar{f}} \times 100\%$$

通过自准法测得数据计算可得 $U_{rf} = 0.38\%$ $U_f = 0.075$ $f = 19.732 \pm 0.075 \text{ cm}$

【误差分析】

- 1、仪器没有完全等高，成像会产生误差。
- 2、进行实验操作的人，可能会因惯有思维，而将产生最清晰像的位置锁定在一点，导致哪怕多次测量，也都会是那个结果。
- 3、人很难分清到底什么时候像最清晰，这个误差不可避免。

【实验小结与思考】

这次实验并不困难，只需要清楚实验操作，半个小时足以完成三项实验，然后就是要对公式中对应是哪个值需要清楚，实验前的初始调平是十分重要的。通过本学期的一系列光学实验，我发现光学实验得到数据并不困难，但要是想得到好的数据，最重要的就是初始的操作，如果一开始就错了，后面得到的数据也将失去意义。其次在组合法时，正常操作时，我找不到清晰的虚像，当时就没按 PPT 上给的操作顺序，我选择倒着做，先调整像屏，再调整透镜，这样做后，很容易地就确定了虚像的位置。

【原始数据】



南昌大学实验报告

学生姓名: _____ 学号: _____ 专业班级: _____
实验类型: ☐验证 ☐综合 ☐设计 ☐创新 实验日期: _____ 实验成绩: _____

单位 (cm)

次数	物位置 B	像位置 B'	凸位置 O_1			凸位置 O_2			$d = O_1 - O_2 $	Δd_i
			左	右	平均	左	右	平均		
1	24.0	110.0	55.6	55.7	55.7	77.8	77.8	77.8	22.10	0.14
2			55.6	55.1	55.65	77.4	77.8	77.7	22.05	0.19
3			55.4	55.6	55.5	77.1	77.1	77.4	22.40	0.16
4			55.4	55.5	55.55	77.1	77.8	77.05	22.50	0.26
5			55.6	55.1	55.65	77.4	77.8	77.8	22.15	0.09
平均值									22.24	0.168

自准法 单位 (cm)

次数	物位置 X_0	凸透镜位置 X_1			$f_i = X_1 - X_0 $	Δf_i
		左	右	平均		
1	24.0	43.7	43.8	43.75	19.75	0.02
2		43.8	43.8	43.8	19.8	0.07
3		43.6	43.1	43.65	19.65	0.08
4		43.8	43.6	43.7	19.7	0.03
5		43.7	43.8	43.75	19.75	0.02
平均值					19.73	0.044

朱崇华 5908122030
刘小头 5908122029
吴锦瑞 5908122011
彭锋 5908122013
仝祖赐
2023-10-30



南昌大学实验报告

学生姓名: _____ 学号: _____ 专业班级: _____
实验类型: ☐验证 ☐综合 ☐设计 ☐创新 实验日期: _____ 实验成绩: _____
组合法 单位 (cm)

次数	物位置 B	凸透镜位置 B'	凸位置 B'			凹透镜位置 L			物距 $-L_1$	像距 $B' - L_2$	ΔU_i	ΔU_i
			左	右	平均	左	右	平均				
1	24	78	110.0	110.1	110.05	99.8	100	99.9	-10.15	28.1	0.21	0.16
2			109.9	110.0	109.95	100	100.1	100.05	-9.90	27.95	0.04	0.07
3			110.1	110	110.05	100.2	99.9	100.05	-10.0	27.95	0.06	0.07
4			110	109.9	109.95	100	100.2	100.15	-9.80	27.85	0.14	0.09
5			110	110	110	100	100.2	100.15	-9.85	27.85	0.09	0.09
平均值									-9.94	22.94	0.108	0.072

朱崇华 5908122030
刘小头 5908122029
吴锦瑞 5908122011
彭锋 5908122013
仝祖赐
2023-10-30