

班级 \_\_\_\_\_ 学号 \_\_\_\_\_ 姓名 \_\_\_\_\_ 教师签字 Yi

实验日期 2023.12.7 预习成绩 2/2 总成绩 \_\_\_\_\_

date 3/3

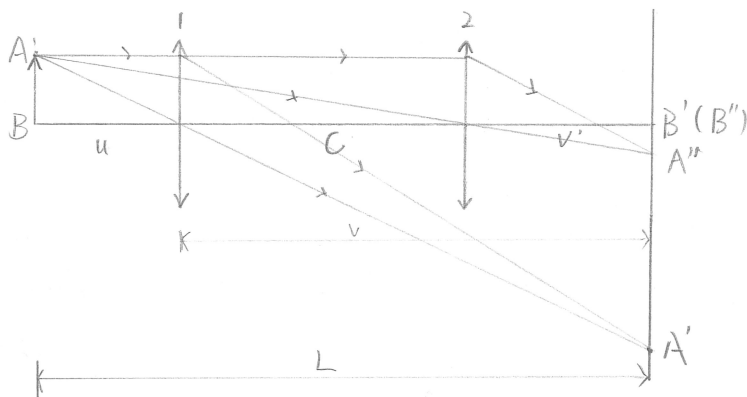
### 实验名称 薄透镜焦距的测定

#### 一. 实验预习

请分别绘制以下薄透镜焦距测量方法的光路图

1. 用位移法（两次成像法、共轭法）测凸透镜的焦距；
2. 用物距-像距法测凹透镜的焦距。

#### 1. 位移法(两次成像法、共轭法)



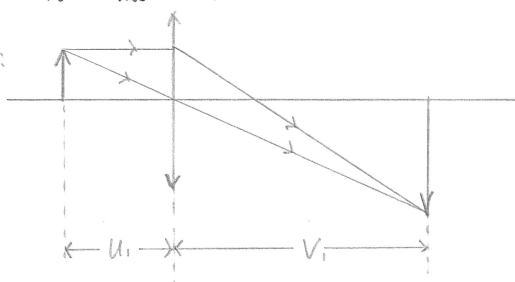
$$u = v'$$

$$\therefore u = \frac{L-C}{2}, v = u' = \frac{L+C}{2}$$

$$\Rightarrow f = \frac{uv}{u+v} = \frac{L^2 - C^2}{4L}$$

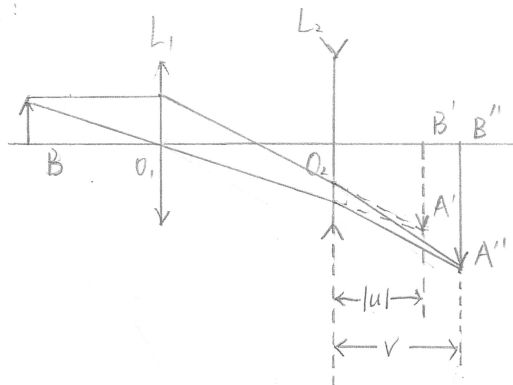
#### 2. 物距-像距法

凸透镜:



$$\frac{1}{u_1} + \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f}$$

凹透镜:



二. 实验现象及原始数据记录

表 2-1 自准法测凸透镜焦距数据记录

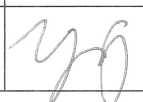
次数	物屏位置读数 $x_p$ (mm)	凸透镜位置读数 $x_L$ (mm)		$\bar{x}_L$	$f =  \bar{x}_L - x_p $
		左 → 右	右 → 左		
第 1 次	400.0	213.0	215.0	214.0	186.0
第 2 次	390.0	204.0	208.0	209.0	181.0
第 3 次	380.0	194.4	196.2	195.3	184.7
第 4 次	370.0	186.2	186.0	186.1	183.9
第 5 次	360.0	173.0	176.0	174.5	185.5

表 2-2 位移法测凸透镜焦距数据记录

次数	物屏位置 $A_1$ (mm)	像屏位置 $A_2$ (mm)	放大像 凸透镜的位置 $l_1$ (mm)	缩小像 凸透镜的位置 $l_2$ (mm)	$L =  A_1 - A_2 $	$C =  l_1 - l_2 $	$f = \frac{L^2 - C^2}{4L}$
1	1000.0	200.0	697.0	510.4	800.0	186.6	189.119
2	1000.0	220.0	680.0	528.6	780.0	151.4	187.653
3	1000.0	180.0	705.0	472.0	820.0	233.0	188.448
4	1000.0	160.0	715.0	441.4	840.0	273.6	187.721
5	1000.0	140.0	721.0	415.4	860.0	305.6	187.851

表 2-3 物距-像距法测凹透镜焦距数据记录

次数	凸透镜单独成 像时像屏位置 $x_{P2}$ (mm)	凹透镜的位置 $x_{L2}$ (mm)	加入凹透镜 成清晰像时 像屏位置 $x_{P2'}$ (mm)	$u = - x_{P2} - x_{L2} $	$v =  x_{P2'} - x_{L2} $	$f = \frac{uv}{u+v}$
1	220.0	280.0	142.2	-60.0	137.8	-106.27
2	240.0	305.0	126.8	-65.0	178.2	-102.32
3	260.0	320.0	163.0	-60.0	157.0	-97.11
4	280.0	350.0	102.0	-70.0	216.6	103.42
5	300.0	350.0	240.2	-50.0	109.8	-91.81

教师	姓名
签字	

### 三. 数据处理

#### 1. 自准法测凸透镜焦距

根据数据记录, 焦距的平均测量值为

$$\bar{f} = \frac{\sum_{i=1}^5 f_i}{5} = 184.22 \text{ mm}$$

凸透镜给出的焦距为 190 mm, 故相对误差为

$$\delta = \frac{|184.22 - 190.00|}{190.00} \times 100\% = 3.042\%$$

$f$  的不确定度计算既要考虑 A 类不确定度, 也要考虑 B 类不确定度。其中 A 类不确定度表达式为

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (f_i - \bar{f})^2}{5 \times 4}} = 0.88 \text{ mm}$$

B 类不确定度为  $u_B = \frac{0.5 \text{ mm}}{\sqrt{3}}$ , 将数据代入, 得

$$\Delta f = \sqrt{S^2 + u_B^2} = 0.92 \text{ mm}$$

所以最终的测量结果为  $f = f \pm \Delta f = (184.22 \pm 0.92) \text{ mm}$ , 置信概率 68.3%。

#### 2. 位移法测凸透镜焦距

根据数据记录, 焦距的平均测量值为

$$\bar{f} = \frac{\sum_{i=1}^5 f_i}{5} = 188.158 \text{ mm}$$

凸透镜给出的焦距为 190 mm, 故相对误差为

$$\delta = \frac{|188.158 - 190.000|}{190.000} \times 100\% = 0.969\%$$

#### 3. 物距-像距法测凹透镜焦距

根据数据记录, 焦距的平均测量值为

$$\bar{f} = \frac{\sum_{i=1}^5 f_i}{5} = -100.186 \text{ mm}$$

凹透镜给出的焦距为 -100 mm, 故相对误差为

$$\delta = \frac{|-100.186 + 100.000|}{100.000} \times 100\% = 0.186\%$$

### 四. 实验结论及现象分析

(讨论焦距测量方法中误差的来源, 如何提高焦距的测量精度?)

1. 对于自准法, 误差主要来自于对成像清晰度的判断和透镜位置的读数。因此为了减小误

差，实验中采用了左右逼近法和多次测量求平均值的方法。

2. 对于位移法，误差主要来自于物屏和像屏之间的距离测量和透镜移动的距离测量。因此为了减小误差，实验中要求选择合适的物屏和像屏之间的距离，使其大于 4 倍焦距，同时保证两次成像都能清晰。

3. 对于物距-像距法，误差主要来自于物距和像距的测量，以及透镜光心的确定。为了减小误差，可以选择合适的物距，使其大于焦距，同时使物距和像距相等或接近，这样可以使透镜公式的误差最小。

## 五. 讨论题

1. 用位移法（两次成像）测薄凸透镜焦距，为什么必须使物屏与像屏距离大于 4 倍透镜焦距长度？

位移法的原理是固定物屏和像屏的位置，移动透镜，使其在两个位置分别形成放大和缩小的清晰像，从而测出透镜的焦距。为了使这种方法有效，必须保证两次成像的物距和像距都大于透镜的焦距，否则无法形成倒立的实像。

根据透镜的高斯公式，当物距和像距之和确定时，要求关于物距的二次方程有两个大于焦距的解，这就要求物距和像距之和大于等于 4 倍焦距。

2. 从自准法测凸透镜的光路图可知物距、像距和焦距三者是相等的，但这三个量显然不满足透镜成像公式，请解释原因。

自准法测凸透镜焦距的原理是利用光的可逆性，当物体放在透镜的前焦平面上时，经过透镜和平面镜的反射后，会在原物体的位置形成一个大小相同的倒立实像。这时，物距、像距和焦距三者都等于透镜的焦距  $f$ 。

但是，这种情况下的物距和像距并不是指物体和像到透镜中心的垂直距离，而是指物体和像到透镜的光心的距离。光心是指透镜的主光轴与透镜表面的交点，它并不一定与透镜的中心重合，特别是当物体和像不在主光轴上时，光心的位置会随着光线的方向而变化。

因此，如果要准确计算物距和像距，就必须考虑光心的位置，而不能简单地用透镜的中心作为参考点。而实际实验中，我们并没有这么做，因此物距、像距和焦距三者并没有满足透镜成像公式。