

实验四 薄透镜焦距的测定

一、实验目的

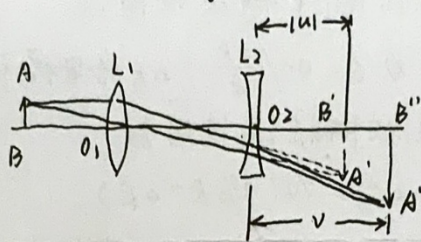
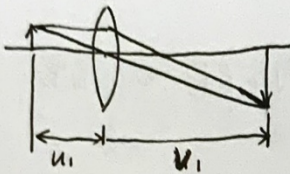
1. 掌握薄透镜光路分析和调整的方法及成像规律
2. 掌握几种测量薄透镜焦距的方法
3. 练习基本的光路调节方法

二、实验原理

1. 薄透镜是指厚度比两个球形表面中任一曲率半径小很多或比其焦距 f 小很多的透镜。在近轴光线条件下，成像公式为 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ ，其中 u 、 v 、 f 分别为物距、像距、焦距，且 $u > 0$ 为实物， $v > 0$ 为实像， $f > 0$ 为凸透镜。

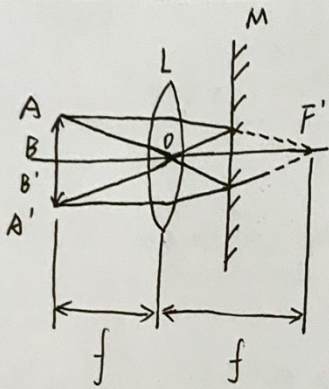
2. 物距-像距法

$$\frac{1}{u_1} + \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f} \text{ 测得 } u_1, v_1 \text{ 即可得焦距 } f.$$

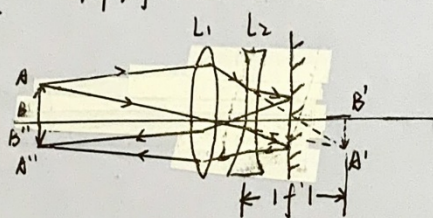


在凹透镜时 u 为负值， v 为虚物。

3. 自准法



$f = |O-B'|$ ，其中 $A'B'$ 为 AB 经凸透镜及平面镜后所得的倒立实像，且在焦平面上。



$f' = -|O'-A'|$ ，使调整 L_2 的位置，使其光心 O' 到 B' 的距离 $O'B'$ 恰为凹透镜焦距 f' 。此时 AB 经某点的光经 L_2 后成为平行光，经反射折射后成像于物平面上。

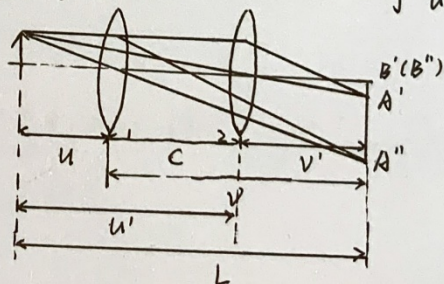
4. 成像法

4. 凸透镜成像规律

- | | | |
|--------------|--------|--------------|
| $u > 2f$ | 倒立缩小实像 | $f < v < 2f$ |
| $u = 2f$ | 倒立等大实像 | $v = 2f$ |
| $f < u < 2f$ | 倒立放大实像 | $v > 2f$ |
| $u = f$ | 不成像 | |
| $0 < u < f$ | 正立放大虚像 | |

5. 位移法

$L > 4f$ ，在 1 位置时成倒立放大的 $A''B''$ ，在 2 时成倒立缩小的 $A'B'$ ，则 $f = \frac{u_1 v_1}{u_1 + v_1} = \frac{L^2 - C^2}{4L}$



三、数据处理

1. 直接法

$$\bar{f} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^5 f_i = \frac{1}{5} (19.07 + 19.10 + 19.15 + 19.27 + 19.17) = 19.15 \text{ cm}$$

$$U_{\bar{x}_L} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (f_i - \bar{f})^2}{5 \times 4}} = \sqrt{\frac{1}{20} [(19.15 - 19.07)^2 + (19.15 - 19.10)^2 + (19.15 - 19.27)^2 + (19.17 - 19.15)^2 + 0^2]}$$
$$= 0.03 \text{ cm}$$

$$U_B = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03 \text{ cm}$$

$$U = \sqrt{U_{\bar{x}_L}^2 + U_B^2} = 0.05 \text{ cm}$$

$$E = \frac{U}{\bar{f}} \times 100\% = 0.3\%$$

$$\therefore f = (19.15 \pm 0.05) \text{ cm} \quad E = 0.3\% \quad \text{置信概率 } P = 0.683$$

2. 间接法

$$\bar{l} = \bar{x}_2 - \bar{x}_1 = 31.46 \text{ cm}$$

$$\bar{L} = \bar{x}_B - \bar{x}_B = 87.60 \text{ cm}$$

$$\bar{f} = \frac{\bar{L}^2 - \bar{l}^2}{4L} = \frac{87.60^2 - 31.46^2}{4 \times 87.60} = 19.08 \text{ cm}$$

$$U_{\bar{x}_1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 \Delta x_{1i}^2}{20}} = \sqrt{\frac{1}{20} [(0.42 - 0.32)^2 + (0.32 - 0.16)^2 + (0.32 - (-0.22))^2 + (0.32 - 0.44)^2 + (0.32 - 0.34)^2]}$$
$$= 0.2 \text{ cm}$$

$$U_{\bar{x}_2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 \Delta x_{2i}^2}{20}} = \sqrt{\frac{1}{20} [(28.86 - 28.78)^2 + (28.86 - 28.67)^2 + (28.86 - 28.82)^2 + (28.86 - 28.99)^2 + (28.86 - 29.02)^2]}$$
$$= 0.07 \text{ cm}$$

$$U_L = U_B = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03 \text{ cm}$$

$$U_l = \sqrt{U_{\bar{x}_1}^2 + U_{\bar{x}_2}^2 + U_B^2} = 0.3 \text{ cm}$$

$$U_f = \sqrt{\left[\frac{1}{4} \left(1 + \frac{l^2}{L^2}\right)\right]^2 U_L^2 + \left(-\frac{l}{2L}\right)^2 U_l^2} = 0.04 \text{ cm}$$

$$\therefore f = \bar{f} \pm U = (19.08 \pm 0.04) \text{ cm} \quad E = \frac{U}{\bar{f}} = 0.2\% \quad \text{置信概率 } P = 0.683$$

3. 物距-像距法

$$u_{p2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (x_{p2} - \bar{x}_{p2})^2}{20}} = \sqrt{\frac{1}{20} [(28.11-28.47)^2 + (28.72-28.47)^2 + (28.05-28.47)^2 + (28.65-28.47)^2 + (28.83-28.47)^2]} = 0.2 \text{ cm}$$

$$u_{x2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (x_{l2} - \bar{x}_{l2})^2}{20}} = \sqrt{\frac{1}{20} [(32.91-32.93)^2 + (32.85-32.93)^2 + (32.95-32.93)^2 + (32.90-32.93)^2 + (32.05-32.93)^2]} = 0.04 \text{ cm}$$

$$u_{p2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (x_{p2} - \bar{x}_{p2})^2}{20}} = \sqrt{\frac{1}{20} [(23.95-23.85)^2 + (23.95-23.85)^2 + (23.95-24.21)^2 + (23.95-24.05)^2 + (23.95-24.00)^2]} = 0.10 \text{ cm}$$

$$u_u = \sqrt{u_{p2}^2 + u_{x2}^2 + u_B^2} = 0.2 \text{ cm}$$

$$u_B = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03 \text{ cm}$$

$$u_v = \sqrt{u_{p2}^2 + u_{x2}^2 + u_B^2} = 0.1 \text{ cm}$$

$$u = \sqrt{\frac{\bar{v}^2}{(\bar{u} + \bar{v})^2} u_u^2 + \frac{\bar{v}^2}{(\bar{u} + \bar{v})^2} u_v^2} = \sqrt{\frac{(-8.98)^2}{(4.46 - 8.98)^2} \cdot 0.2^2 + \frac{4.46^2}{(4.46 - 8.98)^2} \cdot 0.1^2} = 0.4 \text{ cm}$$

$$\bar{f} = \frac{\bar{u} \bar{v}}{\bar{u} + \bar{v}} = \frac{4.46 \times (-8.98)}{4.46 + (-8.98)} = -8.9 \text{ cm}$$

$$\therefore f = (-8.9 \pm 0.4) \text{ cm} \quad E = \frac{u}{f} \times 100\% = 4\% \quad \text{置信概率 } P = 0.683$$

4. 自准法

$$u_{p2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (x_{p2} - \bar{x}_{p2})^2}{20}} = \sqrt{\frac{1}{20} [(28.23-28.20)^2 + (28.23-28.37)^2 + (28.23-28.40)^2 + (28.23-28.02)^2 + (28.23-28.15)^2]} = 0.07 \text{ cm}$$

$$u_{l2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (x_{l2} - \bar{x}_{l2})^2}{20}} = \sqrt{\frac{1}{20} [(37.79-37.65)^2 + (37.79-37.85)^2 + (37.79-37.55)^2 + (37.79-37.73)^2 + (37.79-37.85)^2]} = 0.1 \text{ cm}$$

$$u_B = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.03 \text{ cm}$$

$$\therefore u_f = \sqrt{u_{p2}^2 + u_{l2}^2 + u_B^2} = 0.2 \text{ cm}$$

$$\bar{f} = \bar{u} = -9.56 \text{ cm}$$

$$\therefore f = (-9.56 \pm 0.2) \text{ cm} \quad E = \frac{u}{f} = 2\% \quad \text{置信概率 } P = 0.683$$

四. 实验结论及现象分析

用自准法所测凸透镜焦距为: $f = (19.15 \pm 0.05) \text{cm}$ $E = 0.3\%$ 置信概率 $P = 0.683$

用共轭法所测凸透镜焦距为: $f = (19.08 \pm 0.04) \text{cm}$ $E = 0.2\%$ 置信概率 $P = 0.683$

用物距-像距法所测凸透镜焦距为 $f = (18.9 \pm 0.4) \text{cm}$ $E = 4\%$ 置信概率 $P = 0.683$

用自准法所测凹透镜焦距为 $f = (-9.56 \pm 0.2) \text{cm}$ $E = 2\%$ 置信概率 $P = 0.683$

五. 问题讨论

1. 用位移法测凸透镜焦距时, 为什么物屏像屏间距须大于4倍焦距?

答: 由凸透镜成像公式 $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \Rightarrow f = \frac{uv}{u+v}$

$$\because u+v \geq 2\sqrt{uv} \quad \therefore 2f \leq \sqrt{uv} \quad \therefore L = u+v \geq 4f$$

2. 从自准法测凸透镜的光路图可知物距、像距和焦距三者相等, 但这一量显然不满足透镜成像公式, 请解释原因.

答: 自准法中所得的像为凸透镜二次成像所得. 第一次成像的物距、像距、焦距满足成像公式. 第二次成像的物距、像距、焦距也满足, 但第一次成像的物距和第二次成像的像距和焦距不满足透镜成像公式.

实验原始数据

1. 自准法

次数	物体位置 x_p	凹透镜位置		\bar{x}_L	$f = \bar{x}_L - x_p $
		左 \rightarrow 右	右 \rightarrow 左		
1	右 28.05cm	右 8.95	左 29.10 左 29.72 右 9.02	88.98	19.07
2		右 8.75	左 28.60 左 28.75 右 9.15	88.95	19.10
3		右 8.86	左 28.70 左 28.72 右 8.95	88.90	19.15
4		右 8.61	左 28.20 左 28.27 右 8.96	88.78	19.27
5		右 8.72	左 28.51 左 28.72 右 9.05	88.88	19.17

2. 共轭法

序号	物位置 x_B	像屏 x_B'	成大像		平均 \bar{x}_1	成小像		平均 \bar{x}_2
			左	右		左	右	
	右 28.05	左 0.45	右 0.30	左 0.55	右 0.42	左 28.70	左 28.85	28.78
			左 59.35	右 0.21	左 59.78	左 28.43	左 28.91	28.67
			左 60.00	右 0.32	右 0.16	左 28.71	左 28.92	28.82
			右 0.52	右 0.37	右 0.44	左 29.08	左 28.94	28.99
			右 0.24	右 0.45	右 0.34	左 29.05	左 29.00	29.02

10.32

3. 物距-像距法

序号	凹透镜位置		凹透镜小像位置		凹透镜成大像位置		物距 \bar{u}	像距 \bar{v}
	x_{L1}	\bar{x}_0	\bar{x}_0	\bar{x}_0	x_{L2}	\bar{x}_0		
		左 28.11			左 32.29 32.91	左 23.85		
	左 28.85	左 28.72			左 32.85	左 23.65		
	左 28.55	左 28.05	左 28.47		左 32.95	32.93	左 24.21	左 23.95
	左 56.43	左 28.05			左 32.90	左 24.05	24.46	-8.98
		左 28.83			左 33.05	左 24.00		

4. 自准法

序号	凹透镜位置 x_1	凹透镜小像位置 x_p	凹透镜位置 x_{L2}	\bar{x}_{L2}	物距 \bar{u}
	左 28.20		左 37.65		
	左 56.25	左 28.37	左 37.85		
		左 28.40	左 37.55	37.79	-9.56
		左 28.02	左 37.73		
		左 28.15	左 38.15		

李倩函