

测量薄透镜的焦距

李嘉轩

1600011628

北京大学物理学院天文学系, 100871

jiaxuan.li@pku.edu.cn

2017年9月30日

1 实验情况与数据处理

本实验要求使用不同的方法测量凸透镜与凹透镜的焦距，进而培养进行光学实验的基本技能和规范。本次实验使用的仪器有：

- 光源（带有毛玻璃片）。
- 有小孔的屏，被光源照亮，作为实验中的物。
- 凸透镜、凹透镜、光屏、反射镜、光学导轨。

1.1 调整共轴

在进行光学实验之前，要调节光学导轨上的元件位置，使光学元件的光轴共轴。倘若不共轴，会影响成像质量，引入误差，甚至会导致光路不通，干扰实验的进行。我在共轴调节时，遵守了“成大像时调透镜、成小像时调光屏”的思路，反复多次调节，完成了共轴的调整。之后，我依次进行了下面四个实验。

1.2 位移法测凸透镜的焦距

根据几何光学原理，设凸透镜的焦距为 f_1 ，物与光屏之间的距离为 $A > 4f_1$ 恒定不变，两次成像之间凸透镜的位移量为 l ，那么我们有公式1：

$$f_1 = \frac{A^2 - l^2}{4A}. \quad (1)$$

调整 A 的值进行实验，得到表1。表1中，1~3组数据与4~5组数据的区别在于凸透镜的方向沿着竖直轴旋转了 180° 。这样相当于测量了凸透镜正反方向的焦距。根据光路可逆原理，对于薄透镜，正反向焦距应该相等。在实验时，必须要保证 $A > 4f_1$ 这一条件成立，否则无法得到一大一小两个像。

根据表1的结果，我们有：

$$\bar{f}_1 = 14.70 \text{ cm.}$$



表 1: 位移法测量凸透镜焦距实验数据, 单位: cm

序号	物 x_1	屏 x_2	$A = x_2 - x_1 $	大像 x_3	小像 x_4	$l = x_4 - x_3 $	f_1
1	29.95	108.08	78.13	49.01	88.62	39.61	14.56
2	29.95	100.40	70.45	50.85	79.38	28.53	14.72
3	29.95	112.05	82.10	49.15	92.75	43.60	14.74
4	29.95	103.98	74.03	50.25	83.55	33.30	14.76
5	29.95	97.50	67.55	51.50	75.59	24.09	14.74

1.3 自准直法测凸透镜的焦距

根据自准直法测凸透镜焦距的原理, 在调整好整个光路后, 当我们能够在物附近看到等大反向的清晰像时(如图1所示), 凸透镜的焦距就等于凸透镜到物的距离。实验数据见表2。其中第一次测量与第二次测量的区别仍然是将凸透镜绕竖直轴旋转了 180° 。

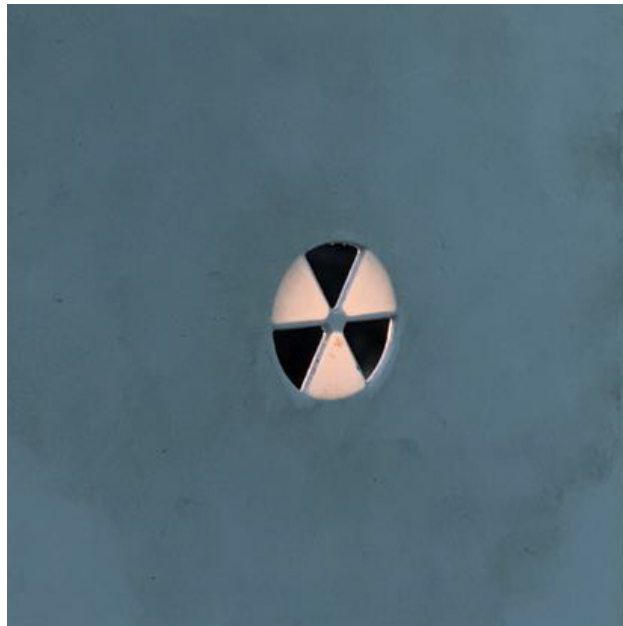


图 1: 自准直法测量凸透镜焦距

表 2: 自准直法测凸透镜的焦距实验数据, 单位: cm

序号	物 x_1	凸透镜 x_2	f_1
1	29.95	44.58	14.63
2	29.95	44.49	14.54

由此, 我们可以得到:

$$\bar{f}_1 = 14.59 \text{ cm.}$$



1.4 物像距法测凹透镜的焦距

根据物像距法测凹透镜焦距的原理(如图2所示),我们先让凸透镜在光屏上成一个清晰的小像,记下光屏的位置 Z_D ,固定凸透镜的位置。然后在凸透镜前方加入凹透镜,让凸透镜成的小实像作为凹透镜的虚物,让凹透镜在光屏上成一个实像,此刻记下凹透镜 Z_o 和光屏的位置 Z'_D 。实验数据见表3。其中编号为1~3的测量与编号为4~5的测量的区别仍然是将凹透镜绕垂直轴旋转了 180° 。根据光学原理,凹透镜成像的物距是 $p = Z_o - Z_D$,像距是 $p' = Z'_D - Z_o$ 。因此我们可以得到

$$f_2 = \frac{pp'}{p+p'} < 0.$$

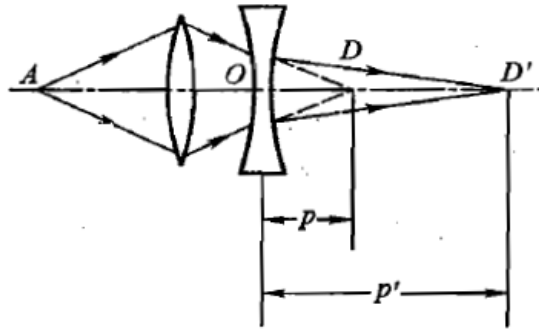


图 2: 物像距法测量凹透镜焦距

表 3: 物像距法测量凹透镜焦距, 单位: cm

序号	虚物 Z_D	凹透镜 Z_o	实像 Z'_D	物距 $p = Z_o - Z_D$	像距 $p' = Z'_D - Z_o$	f_2
1	113.55	105.75	123.25	-7.80	17.50	-14.07
2	103.90	94.55	121.25	-9.35	26.70	-14.39
3	92.00	83.80	103.20	-8.20	19.40	-14.20
4	92.00	83.60	102.20	-8.40	18.60	-15.32
5	112.90	104.90	123.33	-8.00	18.43	-14.14

由此,我们可以得到:

$$\bar{f}_2 = -14.30 \text{ cm}.$$

1.5 自准直法测凹透镜的焦距

根据自准直法测凹透镜焦距的原理,我们先让凸透镜在光屏上成一个清晰的小像,记下光屏的位置,固定凸透镜的位置。然后在凸透镜前方加入凹透镜,让凸透镜成的小实像作为凹透镜的虚物。当虚物位于凹透镜焦点时,该虚物的像就是平行光。平行光被镜面反射之后按原路返回,在物附近成一

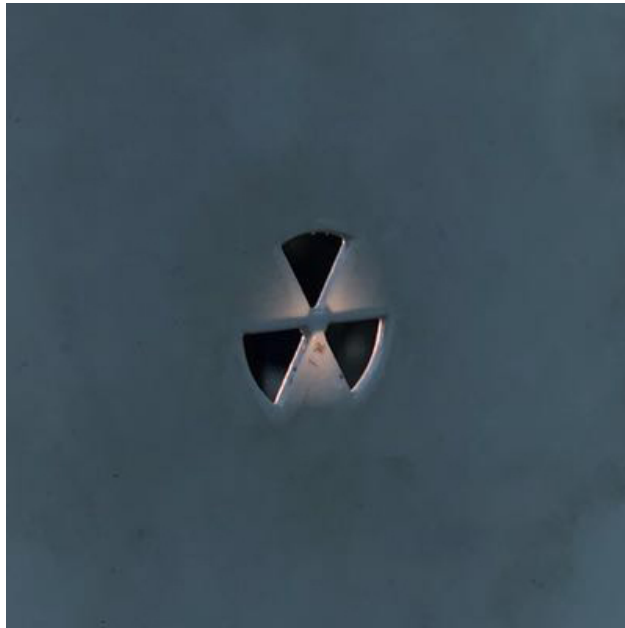


图 3: 自准直法测量凹透镜焦距

表 4: 自准直法测凹透镜的焦距实验数据, 单位: cm

序号	虚物 x_1	凹透镜 x_2	f
1	93.75	78.90	-14.85
2	91.91	77.32	-14.59

个清晰的反向的等大的实像(如图3所示)。此时, 凹透镜的焦距直接等于虚物 x_1 到凹透镜 x_2 的距离的负值。实验数据见表4。其中第一次测量与第二次测量的区别仍然是将凹透镜绕竖直轴旋转了 180° 。

由此, 我们可以得到:

$$\bar{f}_2 = -14.72\text{cm}.$$

综上, 我们得到本次实验的结果:

- 位移法测凸透镜焦距: $\bar{f}_1 = 14.70\text{cm}$.
- 自准直法测凸透镜焦距: $\bar{f}_1 = 14.59\text{cm}$.
- 物像距法测凹透镜焦距: $\bar{f}_2 = -14.30\text{cm}$.
- 自准直法测凹透镜焦距: $\bar{f}_2 = -14.72\text{cm}$.

2 思考题

1. 位移法和自准直法的优缺点?

答: 在一般测量时, 透镜光心与其夹具块上读数标志的位置可能不一致, 而位移法测的 l 是一个



透镜位置的相对位移量，可以避免光心与标志位置不一致性带来的误差；但位移法调节光路较麻烦，不能快速得到焦距的值。自准直法测量焦距十分快捷，不用进行代数运算就能立刻得到焦距的数值，但透镜光心与其夹具块上读数标志的位置可能不一致，给自准直法带来了误差。

2. 实验中测量误差的来源分析。

答：位移法的误差来源于：测量A时透镜光心与其夹具块上读数标志的位置可能不一致；在判断成像最清晰位置时，人眼的判断有主观因素，不同编号的实验之间对于此问题可能存在偏差。

自准直法的误差来源于：测量物到透镜距离时，透镜光心与其夹具块上读数标志的位置可能不一致；在判断成像最清晰位置时，人眼的判断有主观因素，不同编号的实验之间对于此问题可能存在偏差。

物像距法的误差来源于：透镜光心与其夹具块上读数标志的位置可能不一致；在判断成像最清晰位置时，人眼的判断有主观因素，不同编号的实验之间对于此问题可能存在偏差。

3 分析讨论与感想

1. 调整光轴在光学实验中起到了极其重要的作用。如果光轴调不好，整个实验都白做。
2. 熟悉几何光学的原理(如熟悉凸透镜、凹透镜的成像规律)对做光学实验也有很大帮助。凸透镜、凹透镜的成像原理可以帮助我们迅速判断实验遇到的问题，提供解决方案。如果不熟悉定性规律，一边做实验一边推公式，那就很难快速高效完成实验。
3. 本次实验让我熟悉了光学实验的基本规范和要求。感谢杨景老师的对我实验结果的检查和在实验过程中的指导。

参考文献

- [1] 吕斯骅, 段家祗, 张朝晖. 新编基础物理实验. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [2] 吕斯骅. 全国中学生物理竞赛实验指导书. 北京: 北京大学出版社, 2006.