

南昌大学物理实验报告

课程名称： 普通物理实验（2）

实验名称： 薄透镜焦距的测量与典型光学系统设计

学院： 理学院 专业班级： 应用物理学 152 班

学生姓名： 马文青 学号： 5502215035

实验地点： 基础实验大楼 B610 座位号： 21

实验时间： 第 7、8 周 星期五 下午一点五十分开始

一、实验目的：

薄透镜焦距的测定：

- 1、观察薄凸透镜、凹透镜的成像规律；
- 2、学习光路的等高共轴和消视差等分析调节技术；
- 3、学习几种测量焦距的方法：如成像法、自准法、共轭法测凸透镜焦距；成像法、自准法测凹透镜焦距。
- 4、观察透镜的像差。

典型光学系统设计：

- 1、熟悉望远镜和显微镜的基本光学系统，掌握其使用方法，在导轨和光具座上用透镜自组望远镜和显微镜；
- 2、了解视觉放大率等概念并学习其测量方法。

二、实验原理：

薄透镜焦距的测定：

一、凸透镜焦距的测定

1、成像法

在近轴光线的条件下，薄透镜成像的高斯公式为

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$$

当将薄透镜置于空气中时，则焦距为

$$f' = -f = \frac{ss'}{s - s'}$$

其中， 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。若在实验中分别测出物距 s 和像距 s' ，即可求出透镜焦距。

2、自准法

在待测透镜的一侧放置被光源照明的物屏，在另一侧放反射镜，移动透镜（或物屏），当物屏正好位于透镜之前的焦平面时，物屏上会形成一个与原物大小相等方向相反的倒立实像，此时 $f=s$ 。该法测量误差在 1%~5%之间。

3、共轭法

使物与屏之间的距离 $D>4f$ 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，得到放大的倒立实像；物距为 s_2 时，得到缩小的倒立实像，透镜两次成像之间的位移为 d ，则有

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

这种方法无需考虑透镜本身的厚度，测量误差可达到 1%。

二、凹透镜焦距的测定

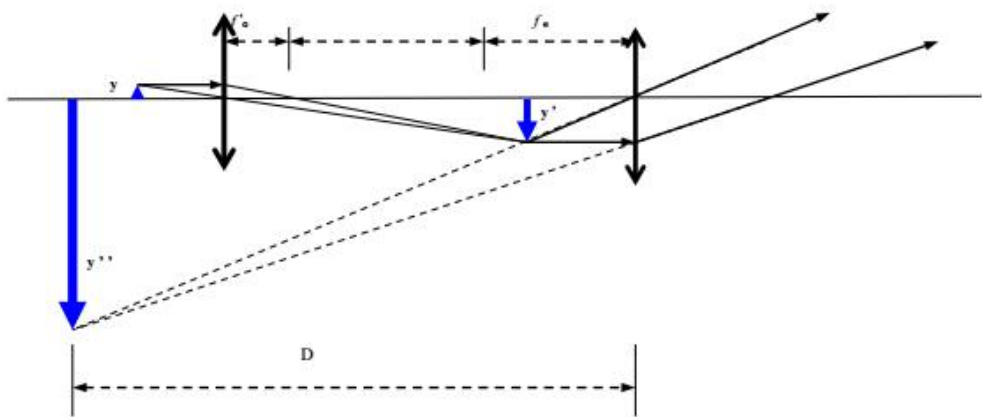
使物发出的光线经过凸透镜后形成一个大小适中的实像，然后再凸透镜和实像间放入待测凹透镜，就能使呈虚物的

实像再产生一个实像。分别测出凹透镜到两个实像之间的距离，根据 $f' = -f = \frac{ss'}{s - s'}$ ，即可求出凹透镜的像方焦距。

典型光学系统设计：

1、显微镜原理

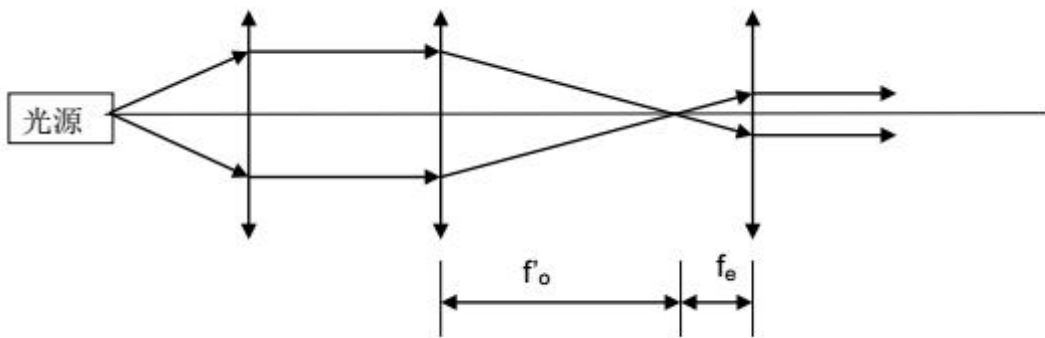
显微镜会对被观察物进行两次放大：第一次是通过物镜将被观察物成像放大于目镜的分划板上，在很靠近物镜焦点的位置上成倒立放大的实像；第二次是经过目镜将第一次所成的像再次放大成虚像供眼睛观察，原理如图。



2、望远镜原理

（1）开普勒望远镜

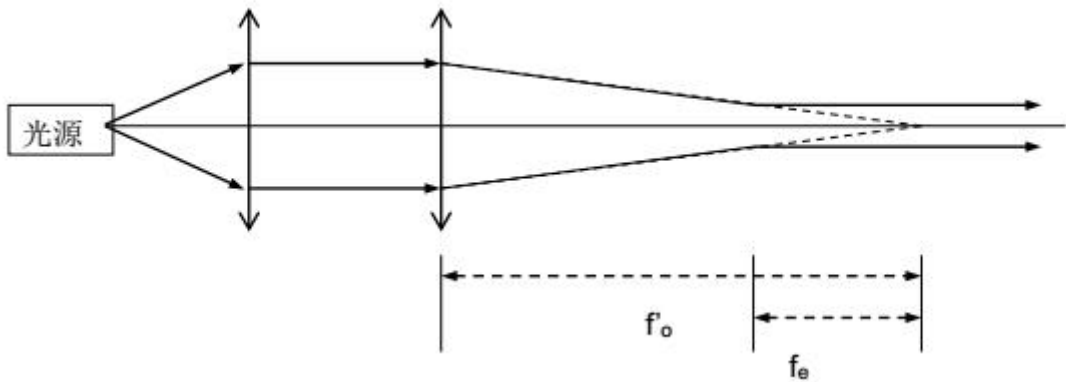
由两个凸透镜组成，物镜的像方焦点与目镜的物方焦点重合，如图所示：



望远系统的垂轴放大率仅仅取决于望远系统的结构参量，与物距无关。

（2）伽利略望远镜

伽利略望远镜是由一个长焦距凸透镜和一个短焦距的凹透镜组成，物镜的像方焦点与目镜的物方焦点重合，其工作原理如图



三、实验仪器：

光具座、凸透镜、凹透镜、光源、物屏、平面反射镜、水平尺

四、实验内容和步骤：

薄透镜焦距的测定：

- 1、调节光具座上各元件同轴等高。
- 2、用自准法、 成像法、共轭法等方法测量实验室所提供的凸透镜的焦距。
- 3、用成像法测出实验室所提供的凹透镜的焦距。

典型光学系统设计：

根据薄透镜焦距的测定实验所得结果以及光学系统设计参数、光学系统的光路图，在光具座上搭出相应的光学系统。

1、显微镜设计：

显微镜设计光路图见原理，
参数如下：
视放大率为 10，目镜焦距 200mm，物镜焦距为 50mm。

2、望远镜设计：

（1）开普勒望远镜
开普勒望远镜设计光路图见原理，
参数如下：
放大率为 4，目镜焦距 50mm。

（2）伽利略望远镜
伽利略设计光路图见原理，
参数如下：
放大率为 4，目镜焦距-50mm。

五、实验数据与处理：

薄透镜焦距的测定：

1、凸透镜 1

自准法：

| | |
|------|------|
| 物 | 透镜 |
| 31.9 | 51.9 |

计算：f=51.9-31.9=20cm

物像法：

| | | |
|------|------|-------|
| 物 B | 透镜 O | 像 B’ |
| 30.0 | 77.2 | 113.2 |

计算：s=47.2cm，s’=-36cm， $f' = -f = \frac{ss'}{s - s'}$ ， \approx -20.4cm，即 f \approx 20.4cm

共轭法：

| 物 B | 透镜 O' | 透镜 O'' | 屏 B' |
|------|-------|--------|-------|
| 20.0 | 47.3 | 106.1 | 133.1 |

计算：D=113.1cm，d=58.8cm， $f' = \frac{D^2 - d^2}{4D} \approx 20.6\text{cm}$

2、凸透镜 2

自准法：

| 物 | 透镜 |
|------|------|
| 29.0 | 34.3 |

计算：f=34.3-29.0=5.3cm

物像法：

| 物 B | 透镜 O | 像 B' |
|------|------|------|
| 19.0 | 33.6 | 41.7 |

计算：s=14.6cm，s'=-8.1cm， $f' = -f = \frac{ss'}{s-s'} \approx -5.2\text{cm}$ ，即 f≈5.2cm

共轭法：

| 物 B | 透镜 O' | 透镜 O'' | 屏 B' |
|------|-------|--------|------|
| 20.1 | 26.8 | 48.0 | 54.5 |

计算：D=34.4cm，d=21.2cm， $f' = \frac{D^2 - d^2}{4D} \approx 5.3\text{cm}$

3、凹透镜 1

| 物 A | 凸透镜 O ₁ | 凹透镜 O ₂ | 像 A' | 像 A'' |
|------|--------------------|--------------------|------|-------|
| 20.1 | 36.6 | 40.8 | 44.3 | 58.0 |

计算：s=-3.5cm，s'=-17.2cm， $f' = -f = \frac{ss'}{s-s'} \approx -4.4\text{cm}$ ，即 f≈4.4cm

4、凹透镜 2

| 物 A | 凸透镜 O ₁ | 凹透镜 O ₂ | 像 A' | 像 A'' |
|-----|--------------------|--------------------|------|-------|
| | | | | |

| | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 20.2 | 36.7 | 40.9 | 44.4 | 46.7 |
|------|------|------|------|------|

计算：s=-3.5cm，s'=-5.8cm， $f' = -f = \frac{ss'}{s - s'} \approx -8.8\text{cm}$ ，即 f≈8.8cm

典型光学系统设计：

1、显微镜

| | | | |
|------|-------------------|------|-------------------|
| 物 A | 物镜 O ₁ | 像 A' | 目镜 O ₂ |
| 30.0 | 39.0 | 51.3 | 62.4 |

放大率 $\Gamma = \beta_1\beta_2 = \frac{O_1A'}{O_1A} \cdot \frac{D}{O_2A'} = \frac{12.3}{9.0} \cdot \frac{25}{11.1} \approx 3.1$

实验出现明显错误。

错误分析：由公式 $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$ 得，若 s'=-D，则 s≈11.1cm，要使 $\Gamma \approx 10$ ，计算得 $\beta_1 \approx 4.44$ ，解得 O₁A≈6.1cm，

而实验时所摆放的 O₁A=9.0cm，因此导致放大率小于目标值。

2、望远镜

（1）开普勒望远镜

| | | |
|------|-------------------|-------------------|
| 物 A | 物镜 O ₁ | 目镜 O ₂ |
| 30.0 | 99.6 | 124.0 |

放大率 $\Gamma = \frac{f_0}{f_e} = \frac{20.6}{5.3} \approx 3.9$

（2）伽利略望远镜

| | | |
|------|-------------------|-------------------|
| 物 A | 物镜 O ₁ | 目镜 O ₂ |
| 30.0 | 99.8 | 116.1 |

放大率 $\Gamma = \frac{f_0}{f_e} = \frac{20.6}{4.4} \approx 4.7$

六、误差分析：

- 1、观察成像清晰度时，主观性太强，会导致误差较大。
- 2、在读取刻度数的时候会有偶然误差。
- 3、光具座不能严格保持水平。
- 4、光源不是严格意义上的平行光。
- 5、透镜表面模糊。

七、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。

答：用平行光射入透镜，在光具座面上放一镜子，反射透镜过来的光，然后用一小屏幕去看光汇聚的最小光点，然后测出座面距小屏幕的距离，加上光具座的距离便是焦距。

2、用共轭法测凸透镜焦距有什么优点？

答：共轭法要求物与屏的距离保持一固定值，用这种方法测焦距时在理论上的误差最小，同时避免了测量物距、像距时估计光心位置不准所带来的误差。

3、试证明，共轭法中，物与屏间的距离 $D > 4f$ 。

答：当物距为 $2f$ 时，像距为 $2f$ ；当物距变小时，变小的范围是从 $2f$ 到 f ，但像距的变化是从 $2f$ 到无限远，所以物像之间距离变大，大于 $4f$ 。

4、为什么用视放大率表示望远镜等目视光学仪器的放大作用？用同一台望远镜观测不同距离的物体时，其放大率是否会变化？

答：望远镜的作用是通过望远镜所看到的物体对眼睛的张角大于用眼睛直接观察物体的张角，从而产生放大感觉，用视放大率表示更加直接形象。不会变化。

5、如何用实验方法使望远镜的物镜的像方焦点与目镜的物方焦点重合？

答：用物像法测定焦距，根据所测数据找到合适的位置摆放物镜与目镜。

八、附上原始数据：

| | | | | | |
|------|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 凸透镜1 | | | | | |
| 自准法 | 物 | 透镜 | | | |
| | 31.9 | 51.9 | | | |
| 物像法 | 物B | 透镜O | 像B' | | |
| | 30.0 | 77.2 | 113.2 | | |
| 共轭法 | B | O ₁ | O ₂ | B' | |
| | 20.0 | 47.3 | 106.1 | 133.1 | |
| 凸透镜2 | | | | | |
| 自准法 | 物 | 透镜 | | | |
| | 29.0 | 34.3 | | | |
| 物像法 | 物B | 透镜O | 像B' | | |
| | 19.0 | 33.6 | 41.7 | | |
| 共轭法 | B | O ₁ | O ₂ | B' | |
| | 20.1 | 26.8 | 48.0 | 54.5 | |
| 凹透镜1 | 物A | 凸O ₁ | 凹O ₂ | 像A ₁ | 像A ₂ |
| | 20.1 | 36.6 | 40.8 | 44.3 | 58.0 |
| 凹透镜2 | 物A | 凸O ₁ | 凹O ₂ | 像A ₁ | 像A ₂ |
| | 20.2 | 36.7 | 40.9 | 44.4 | 46.7 |

1. 开普勒

| 物A | 物镜 O_1 | 目镜 O_2 |
|------|----------|----------|
| 30.0 | 99.6 | 124.0 |

2. 伽利略

| 物A | 物镜 O_1 | 目镜 O_2 |
|------|----------|----------|
| 30.0 | 99.8 | 116.1 |

✓
1017
11.4

3. 显微镜

| 物A | 镜 O_1 | 像 A' | 镜 O_2 |
|------|---------|--------|---------|
| 30.0 | 39.0 | 51.3 | 62.4 |