

## 实验 5 几何光学设计实验 (2023 年秋试用版, 开发区校区)

透镜是组成各种光学仪器的基本光学元件, 焦距则是透镜的一个重要参数。在不同的使用场合往往要选择合适的透镜或透镜组, 这就需要测定透镜的焦距。望远镜及显微镜是最常用的助视光学仪器, 例如在物理实验中经常使用有读数显微镜、测量望远镜及自准望远镜等。在本实验中, 同学们需要通过实验室给出的各种分立光学元件, 按要求组成望远镜及显微镜。并利用所组成的聚焦于无穷远的望远镜进行透镜焦距的测定。

### 【实验目的】

1. 掌握测量薄透镜焦距的方法。
2. 加深理解薄透镜的成像规律。
3. 了解望远镜和显微镜的基本工作原理。

### 【实验仪器】

已定焦距凸透镜 3 个, 已定焦距凹透镜 2 个, 待定透镜 1 个, 平面镜, 品字形物屏, 一字形物屏, LED 白光光源, 白屏, 光具座导轨, 钢直尺等。

表 1 透镜列表

| 透镜组    | 凸透镜 | 凸透镜 | 凸透镜 | 凸透镜 | 凹透镜 | 凹透镜 |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 焦距(mm) | 100 | 150 | 300 | 待定  | 50  | 150 |

### 【实验原理】

#### 1. 凸透镜焦距的测量

常用的透镜焦距测定方法有物距像距法、共轭法和自准直法。

##### (1) 自准直法

自准直法测凸透镜焦距的光路图如图 1 所示。当物体处在凸透镜的焦平面时, 物体上各点发出的光束, 经凸透镜后成为不同方向的平行光束。若用一个与主光轴垂直的平面镜将平行光反射回去, 则反射光再经透镜后会聚焦于透镜的焦平面上, 所成像是与原物等大的倒立实像。凸透镜的焦距 $f$ 可直接通过测量物屏与凸透镜的距离得出。这就是自准直原理。自准直法的特点是, 物、像在同一焦平面上。

自准直法是光学仪器调节中常用的重要方法。

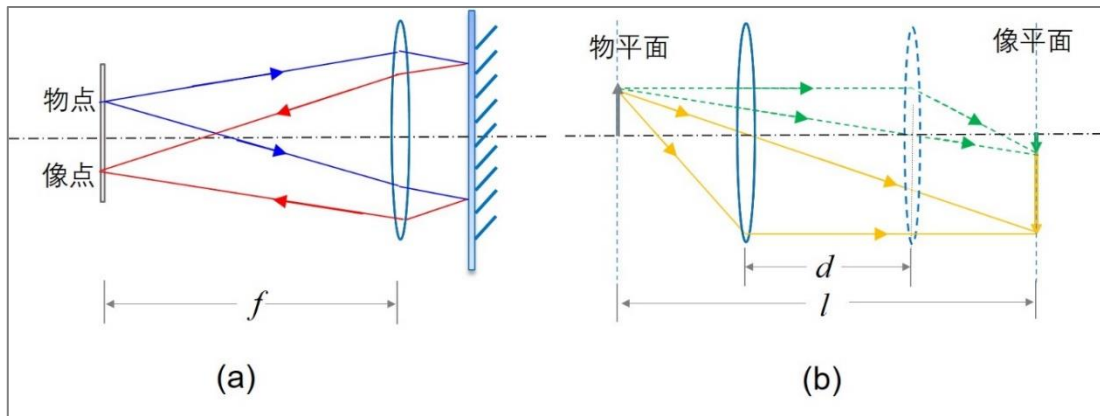


图 1 自准直法 (a) 和共轭法 (b) 光路图

## (2) 共轭法

固定物体与像屏间的距离  $l$  不变，并使间距大于四倍的凸透镜焦距  $f$ 。将凸透镜置于物体与像屏之间，移动凸透镜可以找到两个特定位置，使像屏上能得到清晰的实像，其中一个像为放大的像，另一个像为缩小的像。由高斯公式可以推出凸透镜焦距  $f$ 、物体与像屏间的距离  $l$ ，以及透镜在两个像之间移动的距离  $d$  有如下关系：

$$f = (l^2 - d^2) / 4l \quad (1)$$

通过测量  $l$  和  $d$ ，利用 (1) 式就可计算出凸透镜的焦距  $f$ 。

## 2. 光学望远镜原理

光学望远镜按照工作原理可分为折射（透射）式、反射式和折反射式主三种类型。在日常生活中，应用最多的是折射式望远镜。按照选用的目镜镜片的类型区分，折射式望远镜又分为开普勒式和伽利略式。

### (1) 开普勒式望远镜的工作原理

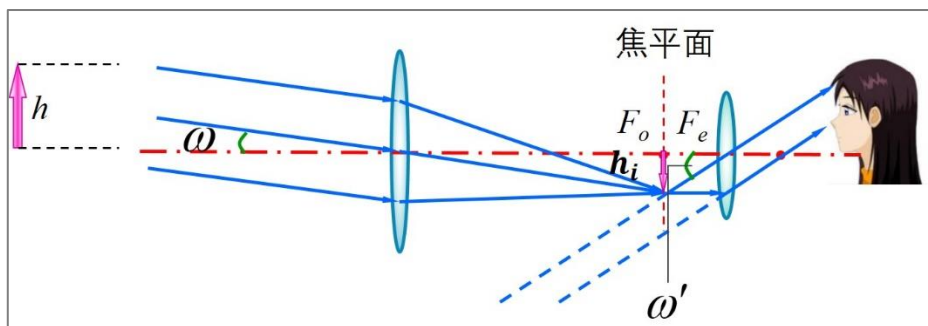


图 2 开普勒望远镜光路示意图

开普勒式望远镜是折射式望远镜的一种，光路如图 2 所示。物镜和目镜皆为凸透镜。物镜的焦距较长，目镜的焦距较短。远处物体发出的光经过物镜在物镜焦点附近成缩小的倒立实像。当目镜的前焦点与物镜的后焦点重合时，目镜将以物镜所成的实像为物，形成放大的虚像。此时，当观察者对远处的物体

进行观察时，其通过目镜看到的虚像的视角远大于直接观看远处物体的视角。为此其通过望远镜看到的物体的像相比于直接观察物本身会更清楚。这种望远镜所成的像与原物体相比是上下左右颠倒的，最早是由德国科学家开普勒（Johannes Kepler）于 1611 年发明。后来人们为了能够成正立的像，在采用这种设计的折射式望远镜（特别是多数双筒望远镜）的光路中增加了转像稜镜系统。

## (2) 伽利略望远镜的工作原理

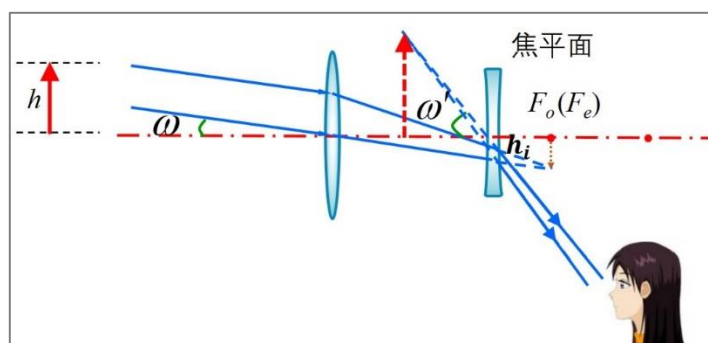


图 3 伽利略望远镜光路示意图

伽利略望远镜（Galileo telescope）是一种物镜为凸透镜，目镜为凹透镜的望远镜。光路如图 3 所示，光线经过物镜折射所成的实像在目镜的后方（靠近人眼）焦点上。这个实像对目镜来说是一个虚物。该虚物经目镜折射后成一放大的正立虚像。伽利略望远镜优点是镜筒短，能成正立像，但它的视野相对比较小。

## (3) 光学显微镜的工作原理

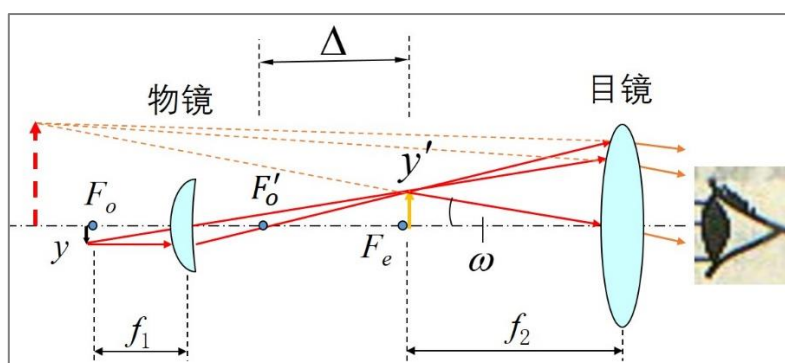


图 4 显微镜光路示意图

显微镜是一种常用的助视光学仪器。在计量测试、科学研究、教学实验、医疗卫生等方面常用来进行微小长度测量和显微放大观察。显微镜的类型有很多，但基本原理和主要构造是相同的。最简单的显微镜可由二块凸透镜组成，它们分别称为物镜和目镜。物镜是显微镜的主要元件，它的焦距很短，其作用是对被观察微小物体进行第一次放大，以便在目镜的前焦点  $F_e$  附近形成放大的

实像。此时，目镜等同与放大镜的作用，通过它观察放大实像时，实像将再一次被放大，使视角增加。最终在目镜前的明视距离(约 25 cm)处，形成放大的虚像。因此只有当物体、物镜、目镜满足上述成像条件时，才能够清晰地看到放大的物体像。我们把为满足上述条件而进行的调节过程称为调焦。

### 【设计要求与提示】

#### 1. 光学元件共轴等高的调节

将透镜等元器件向光源靠拢，调节高低、左右位置，凭目视使光源、物屏上的透光孔中心、透镜光心、像屏的中央大致处在同一条与光具座导轨平行的直线上，并使物屏、透镜、像屏的平面与导轨垂直。

#### 2. 利用不同方法测量未知凸透镜焦距

##### (1) 自准直法（必做）

将远处的物体（如窗户）清晰地成像在像屏，前后移动透镜，用钢尺测出凸透镜到像屏的距离，由此估计透镜的焦距。

开启光源，照亮品字形物屏，反复移动透镜，同时将反射镜靠近透镜并调整反射镜的俯仰和左右，直到在物屏看到清晰、等大倒立的像，即实现自准直。用钢直尺测量和记录透镜和物屏的位置  $x_1$ ， $x_2$ ，重复测三次。

表 2 自准直法测凸透镜焦距数据表

| 测量次数                | 1 | 2 | 3 |
|---------------------|---|---|---|
| $x_1$ 透镜位置/cm       |   |   |   |
| $x_2$ 物屏位置/cm       |   |   |   |
| 透镜焦距 $f$ /cm        |   |   |   |
| 焦距平均值 $\bar{f}$ /cm |   |   |   |

##### (2) 共轭法（二次成像法）（必做）

开启光源，照亮一字形物屏作为物体。参考自准直测量结果，保持物屏与像屏间的距离不变且大于四倍透镜焦距。注意移动透镜时两次所成倒立的像都应足够大，以利于正确确定清晰程度。移动凸透镜观察所成像的变化，并记录必要的参数。根据式（1）计算凸透镜的焦距。自行设计记录表格并重复测量 3 次。

##### (3) 课后需要完成的工作（必做）

结合课上的测量过程和结果，分别计算出未知透镜的焦距，并利用不确定度概念详细分析两种焦距测量方法的优势和缺陷。

### 3. 自行搭置两种类型的望远镜

#### (1) 搭置开普勒望远镜 (必做)

选定焦距为 300 mm 的凸透镜作为物镜。分别选用 150 mm 焦距和焦距待定的两个凸透镜为目镜。观察不同组合下角放大率、视野等变化规律并定性记录。课后结合几何光学的理论知识进行解释和分析。

#### (2) 搭置伽利略望远镜 (选做)

#### (3) 搭置显微镜 (选做)

#### 【注意事项】

1. 不要用手直接接触透镜表面。
2. 不用的透镜请放在实验台上的透镜架座上面，不要直接放在实验台上。

#### 【参考文献】

1. 孙晶华主编. 物理实验教程. 北京: 国防工业出版社, 2009.
2. 孙维民主编. 物理实验教程. 北京: 科学出版社, 2011.
3. 张志东主编. 大学物理实验. 北京: 科学出版社, 2007.
4. 李平舟主编. 大学物理实验. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.

(白洪亮, 夏晓川, 秦颖)