

# 几何光学设计实验

(2018 年秋试用版)

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。在物理实验中经常使用的有读数显微镜、测量望远镜及自准望远镜等。本实验通过实验室给出的各种分立的光学元件，按要求组成望远镜及显微镜，并用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】

- 掌握测量薄透镜焦距的方法。
- 加深理解薄透镜成像规律。
- 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

光路图如下图所示。当物体处在凸透镜的焦距平面时，物体上各点发出的光束，经透镜后成为不同方向的平行光束。若用一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仍会聚焦于透镜的焦平面上，此关系就称为自准直原理。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。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。

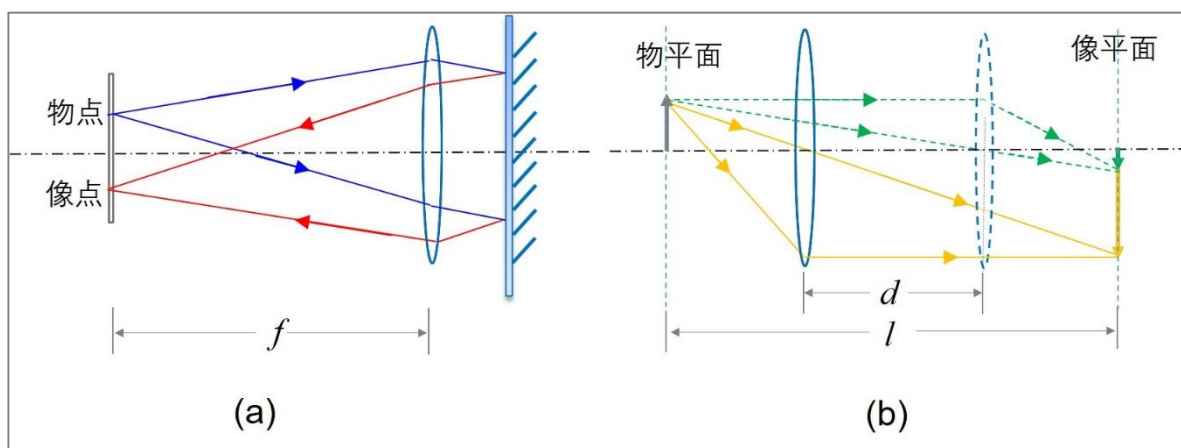


图1 自准直法 (a) 和共轭法 (b) 光路图

## (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透镜焦距  $f$ ，则当凸透镜置于物体与像屏之间时，移动凸透镜可以找到两个位置，使白屏上都能得到清晰的实像，这两个像一个为大像，一个为小像。由高斯公式可以推出凸透镜焦距  $f$  与  $l$  及透镜在两个像之间移动的距离  $d$  有如下关系：

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

## 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

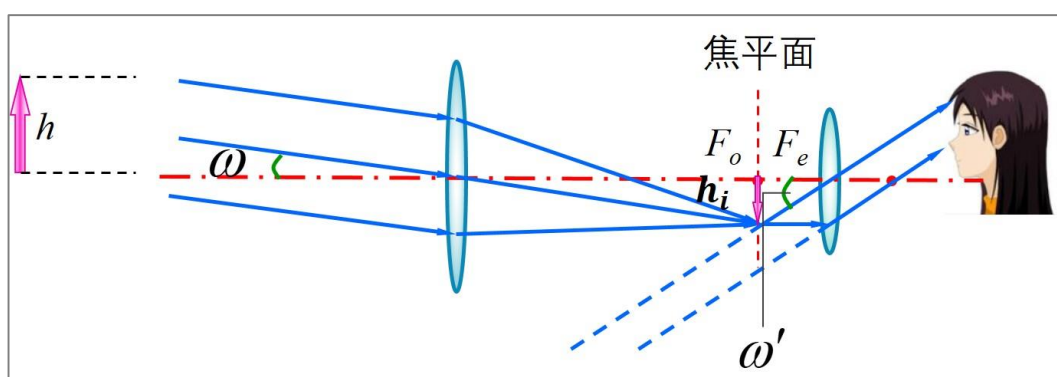


图2 开普勒望远镜光路示意图

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。目镜的前焦点与物镜的焦点是重合的，目镜

以物镜所成实像为物，形成放大的虚像。当观察者进行观看时，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，因而通过望远镜看到的物体的像相比于物本身会更清楚。这种望远镜成像是上下左右颠倒的，但视场可以设计的较大，最早由德国科学家开普勒（Johannes Kepler）于1611年发明。为了成正立的像，多数采用这种设计的折射式望远镜增加了转像棱镜系统。

## （2）伽利略望远镜的工作原理

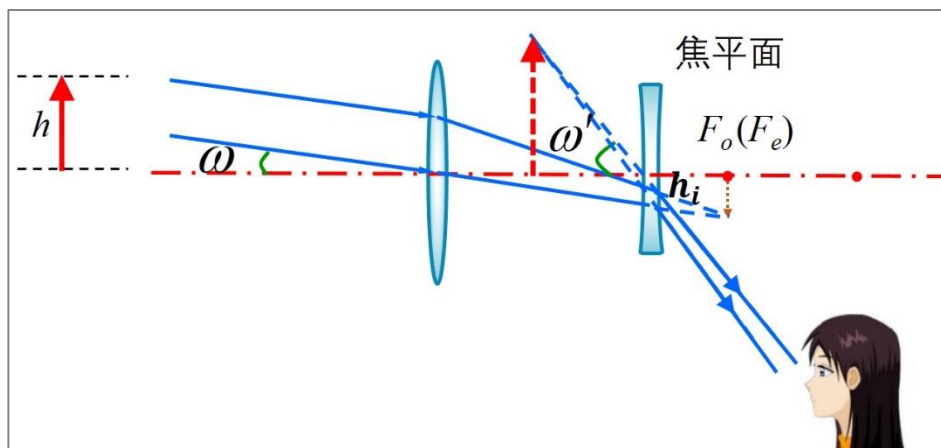


图3 伽利略望远镜光路示意图

伽利略望远镜（Galileo telescope）是指物镜是凸透镜，而目镜是凹透镜的望远镜。如图3所示，光线经过物镜折射所成的实像在目镜的后方（靠近人目的后方）焦点上，这像对目镜是一个虚像。该虚像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而能成正像，但它的视野比较小。

## （3）光学显微镜的工作原理

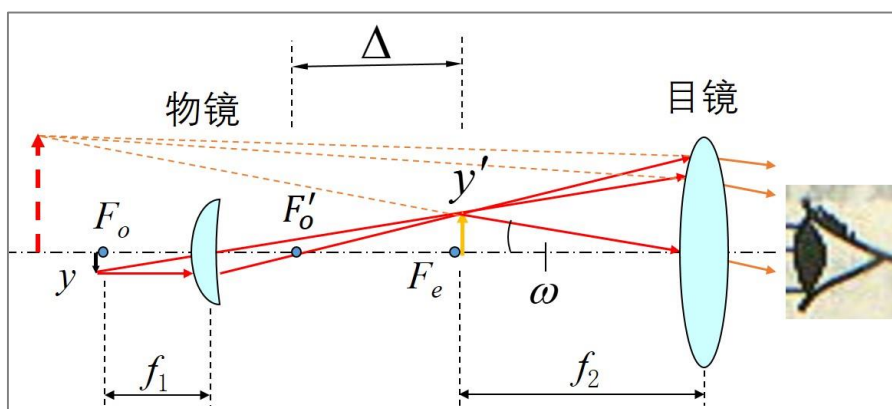


图4 显微镜光路示意图

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。最简单的显微镜是由二块凸透镜组成，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，其作用是对被观察的微小物体进行第一次放大，以便在目镜的焦点  $F_e$  附近（目镜一侧）形成放大实像。目镜的作用同放大镜。通过它观察放大实像时，实像又再一次被放大，使视角增加，结果在目镜前的明视距离处（距离人眼约 25 厘米），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，才能清晰地看到放大的物体像。我们把满足上述条件而进行的调节过程叫调焦。

### 【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、像屏的中央大致在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，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 6 次。

表 2 自准直法测凸透镜焦距数据表

测量次数	1	2	3	...	平均值 $\bar{f}/\text{mm}$
$x_1$ 透镜位置/mm				...	
$x_2$ 物屏位置/mm				...	
透镜焦距 $f/\text{mm}$				...	

##### (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。保持物屏与像屏间的距离不变且大于四倍透镜焦距。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 6 次。

##### (3) 课后需要完成的工作（必做）

- 需要回答的问题：利用测量到的数据分别计算透镜的焦距并估算其 A 类不确定度、B类不确定度以及扩展合成不确定度。结合影响不确定度的因素以及估算结果，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 300mm 的凸透镜作为物镜，并选择两种不同焦距的凸透镜作为目镜，观察不同组合下角放大率、视野等的变化规律。
- 需要记录所选用的所选凸透镜的焦距、孔径、凸透镜间的距离等参数，并画出光路图。自行设计记录表格，需要现场测量的参数请重复测量三次，并于课后运用几何光学的理论知识（请参考《大学物理》教材）定性解释出现不同角放大率的原因。

#### (2) 搭置伽利略望远镜（选做）

#### (3) 搭置显微镜（选做）

#### 【注意事项】

- 不要用手直接接触透镜表面，
- 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，秦颖，夏晓川）