

## 几何光学基础仿真实验

透镜是组成各种光学仪器、系统的基本元件，大到天文望远镜，小到我们日常随手使用的手机摄像头等，都离不开透镜。焦距是透镜的一个重要特性参量，反映其汇聚或发散光的能力。在不同的使用场合要选择焦距合适的透镜或透镜组，为此就需要测定焦距。测量焦距的方法很多，需根据不同的透镜、不同的精度要求和具体的条件等选择合适的方法。另外，掌握透镜的成像规律，学会光路的分析和调节技术，对于了解光学仪器的构造和正确使用是非常有帮助的。本实验的主要目的是让同学们认识简单光路并学习绘制、分析光路，了解影响透镜焦距的因素，学习透镜成像规律并掌握透镜焦距的基本测量方法——物距像距法，同时练习用作图法处理实验数据、估算测量不确定度等。

### 【薄透镜成像规律】

透镜分为两大类。一类是凸透镜（也称为正透镜或会聚透镜），对光线起会聚作用，焦距越短，会聚本领越大；另一类是凹透镜（也称负透镜或发散透镜），对光线起发散作用，焦距越短，发散本领越大。透镜的焦距  $f$  与透镜的曲率半径  $R$  及其制作材料的折射率  $n$  有关。对于两个光学面为等曲率半径的薄透镜（即透镜中央厚度  $d$  比透镜焦距  $f$  小很多的透镜），其焦距可以利用以下所谓的透镜制造商公式来计算

$$f = \frac{R}{2(n-1)} \quad (1)$$

在近轴光线（靠近光轴并且与光轴的夹角很小的光线）条件下，薄透镜的成像规律可用以下公式（常称为透镜成像公式）表示

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{q}{p} \quad (3)$$

以上两式中各量的含义及其符号规则如下： $p$  为物距，实物为正，虚物为负； $q$  为像距，实像为正，虚像为负； $f$  为焦距，凸透镜为正，凹透镜为负； $\beta$  为线放大率； $y$  和  $y'$  分别为物的大小和像的大小，从光轴算起，光轴之上为正，光轴之下为负。

成像公式中各量的正负号由上述统一的符号规则决定。但是不同的教材可能采用不同的符号规则，因而使得成像公式的形式也会有所不同。对于薄透镜，公式中物距  $p$  和像距  $q$  都从透镜的光心算起。对于厚透镜或一般复合光学系统，虽然式(2)和式(3)仍然成立，但对于

$p$ 、 $q$  和  $f$  的起算点则另有规定。

薄透镜的成像可用图 1 所示光路图表示。图中实线箭矢表示实物或实像，虚线箭矢表示虚物或虚像；不带撇的数字表示物的编号，带撇的数字表示像的编号。透镜焦距为  $OF = OF' = f$ 。由图 1 就可看出物距及物的性质(实物或虚物)变化时相应的像距及像的性质的变化规律。所谓像的性质包括：是实像还是虚像，相对于物来说是放大还是缩小了，正立还是倒立的等。具体的成像规律同学们可通过实验仿真来总结。

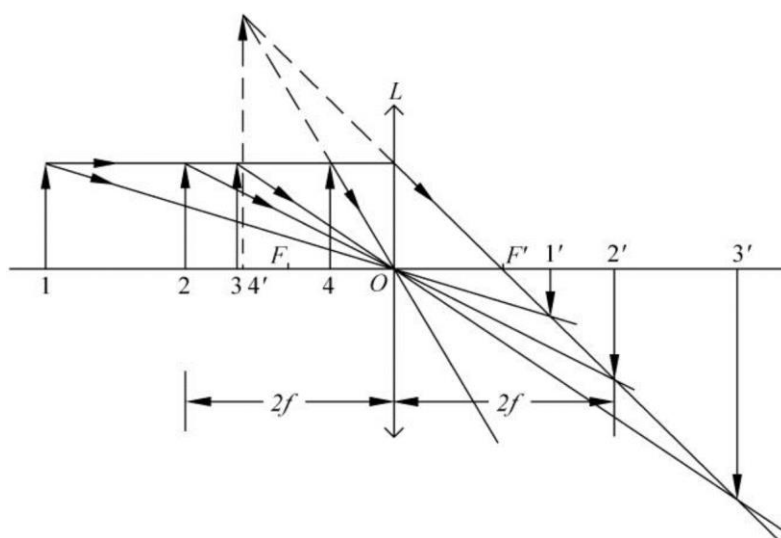


图 1 薄透镜的成像光路示意图

### 【虚拟仿真程序】

本实验所用仿真程序为科罗拉多大学波德分校（University of Colorado Boulder）创建的数学和科学互动程序（PhET）中的“几何光学（geometric-optics）”程序。该程序具有较为丰富的实验内容，本次实验只选做其中的一部分。仿真程序网址：

[https://phet.colorado.edu/zh\\_CN/simulations/geometric-optics](https://phet.colorado.edu/zh_CN/simulations/geometric-optics)

在浏览器中直接输入以上网址（也可以在网络学堂课程文件夹中下载离线程序文件“geometric-optics\_zh\_CN”，选择用浏览器打开），打开如图 2 所示主界面。点击播放按钮，打开的界面上选择“透镜”进入仿真界面（见图 3）。进入仿真界面后先熟悉界面的设置和操作等，界面说明见图 3。

**提醒：**进入主界面后，注意左下方仿真程序运行所需的计算机系统要求！

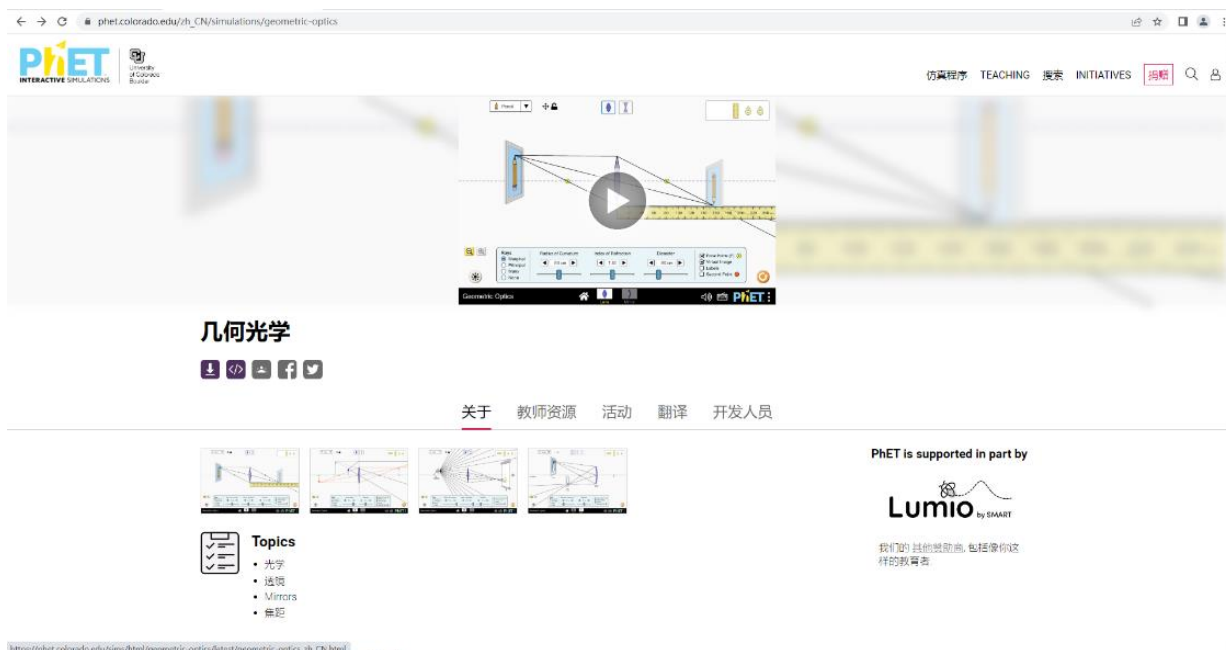


图 2 仿真程序主界面

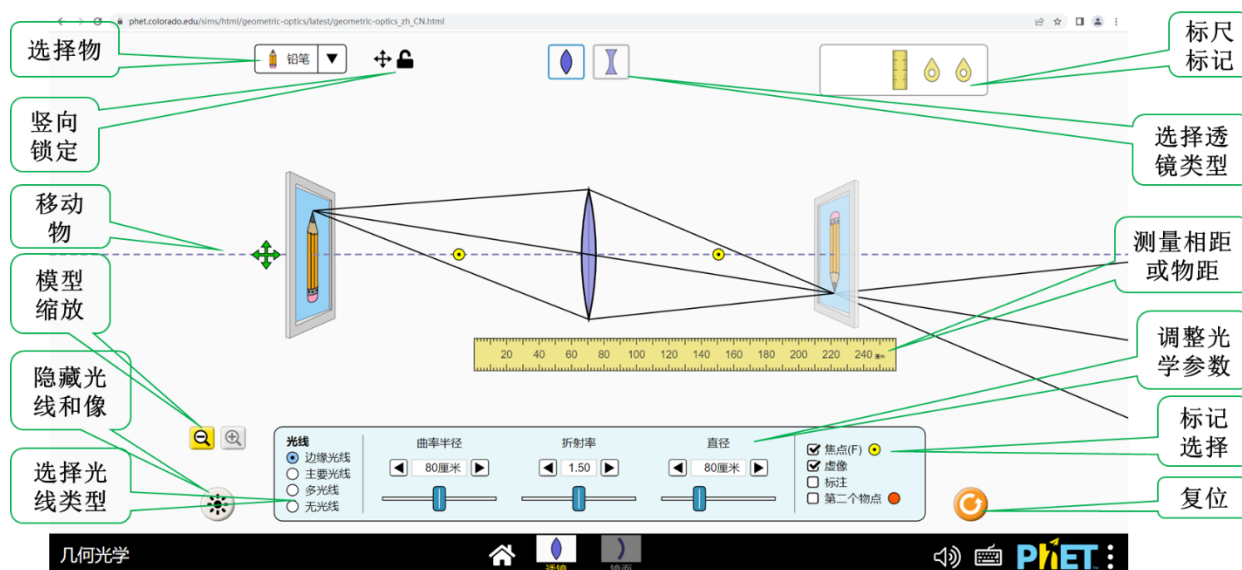


图 3 仿真界面操作说明

## 【实验内容及步骤】

注意：透镜直径设为 100cm，整个实验中保持不变。点击仿真界面右下角的“复位”按钮，可恢复所有参数、选项的默认设置。

### 1. 研究透镜焦距决定因素

本部分内容研究决定透镜焦距的因素，直观认识、理解透镜曲率半径及其材料折射率对透镜焦距的影响作用。

### (1)研究透镜焦距与其曲率半径的关系

选择凸透镜，标记选中“焦点”、“标注”，设置透镜折射率  $n=1.6$ 。改变透镜的曲率半径  $R$ ，用标尺测量透镜前后焦点  $F$  之间的间距（数据记录参考模板表 1）。

**注意：读取标尺读数时要在标尺最小分度格内进行估读！**

计算透镜焦距，用直角坐标纸或计算机软件绘制出  $f \sim R$  关系曲线。

**提醒：注意作图规范！**

### (2)研究透镜焦距与其制作材料的折射率之间的关系

选择凸透镜，设置透镜曲率半径  $R=90\text{cm}$  并保持不变。改变透镜材料的折射率  $n$ ，用标尺测量透镜前后焦点  $F$  之间的间距（数据记录参考模板表 2）。

计算透镜焦距，用直角坐标纸或计算机软件绘制出  $f \sim n$  关系曲线。

## 2. 透镜成像及其焦距测量

本部分内容观察透镜成像的基本规律特点，并采用物距像距法测量透镜的焦距。

(1)分别选择凸透镜和凹透镜，光线类型选中“主光线”，标记选中“焦点”、“虚像”。

选择任意一种的物体（最好不要选择箭头），沿主光轴左右移动物体到透镜中心的距离即物距  $p$ ，观察像的大小、正立或倒立、虚像或实像等情况。总结透镜成像的规律特点，并选择相应成像特征的界面截屏图片插入报告辅助说明。截屏方法：点击仿真界面右下角的图标“PhET：”，在弹出的菜单选择“屏幕截图”。

(2)选择凸透镜，物体选择箭头“↑”，分别在 81~100cm 和 1.5~1.7 范围内任意设置透镜曲率半径  $R$  和透镜折射率  $n$  并保持不变。沿主光轴移动箭头，在不同位置处利用标尺测量物距  $p$  及其像距  $q$ 。特别在物体位于透镜左焦点的右侧时，至少测量 2 处不同位置的数据。另外测量 1 次透镜前后焦点间距离  $2f$ 。数据记录参考模板表 3。

**提醒：注意物距、像距、物高、像高的正负号及其单位；**

数据处理要求：

(a)利用公式(1)计算透镜的焦距  $f$ ，并作为理论值。

(b)由透镜前后焦点间的距离计算焦距  $f$ 。

(c)利用公式(2)计算不同物距  $p$  时的焦距  $f$ ，取平均作为透镜焦距的测量值。不考虑测量中的系统误差，估算焦距测量的 A 类不确定度，给出焦距的测量结果表达式。

(d)以理论值做参考，计算以上两种方法测量得到的焦距的相对偏差。

(e)根据以上焦距的测量结果，移动箭头位于  $p=2f$  位置处，测量箭头高度  $y$  及其像的高度  $y'$ ，利用式(3)计算对应的线放大率  $\beta$ 。讨论  $\beta$  的测量结果与理论预测结果是否一致。

(3)选择凹透镜，重复上述(2)的过程，测量其焦距 $f$ 。数据记录参考模板表 4。实验数据处理要求同(2)（第(e)项除外）。