

# 透镜参数测量 实验报告

姓名：涂嫻 学号：PB22020603 班级：22级物理学院4班 日期：2023年4月6日

## 实验背景

透镜是使用最广泛的一种光学元件，通过透镜及各种透镜的组合，我们可以得到放大的或缩小的实像及虚像。

透镜是用透明材料（如光学玻璃、熔石英、水晶、塑料等）制成的一种光学元件。一般它由两个或两个以上共轴的折射表面组成。仅有两个折射面的透镜称单透镜，由两个以上折射面组成的透镜称组合透镜。多数单透镜的两个折射曲面都是球面或一面是球面而另一面是平面，故称其为球面透镜，它可分为凸透镜、凹透镜两大类。其最重要的参数即为焦距。

## 1.实验目的

根据透镜成像原理，利用物像距法，位移法，自准直法测量凸透镜焦距，利用辅助透镜和物像距法，自准直法测量凹透镜焦距，并完成利用视差现象测量透镜焦距的进阶实验。

## 2.实验仪器

凸透镜，凹透镜，平面镜，一字屏，成像屏，白炽灯，钢卷尺，（碳素笔芯）。

## 3.实验原理

本实验原理重点在于以凸透镜和凹透镜对于光线的会聚或发散能力，即清晰成像的物距，像距，透镜位移等，作为确定焦距的定量依据，以此测量给定的凸透镜和凹透镜的焦距。

### 正方向规定

顺光线方向为正，逆光线方向为负。

高斯公式中，以光心O和光轴上的起点为原点向左右，上下取正负。

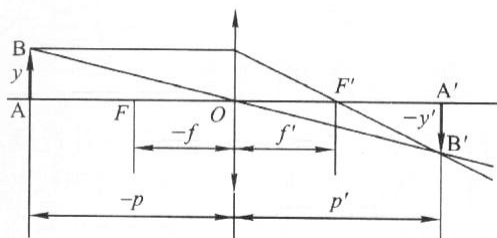


图 1 几何光学的符号规定（全正图形）

### 高斯成像公式

在近轴条件下高斯公式成立，设  $p$  为物距， $p'$  为像距，物方焦距（也称前焦距）为  $f$ ，像方焦距（也称后焦距）为  $f'$  则有：

$$\frac{f'}{p'} + \frac{f}{p} = 1$$

由于在空气中  $f = -f'$ ，高斯公式变成

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

## 测凸透镜焦距

凸透镜为会聚透镜，可直接在像屏上成实像。

### (1) 直接法测焦距（物像距法）

平行光经凸透镜后会聚至一点，如图 2。测得会聚点和透镜中心的间距，即为该透镜的焦距（像方焦距）。

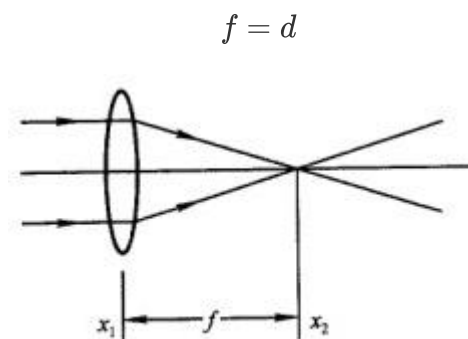


图2 物像距法测焦距

### (2) 位移法测焦距

当物距在一倍焦距和二倍焦距之间时，在像方可以获得一放大的实像，物距大于二倍焦距时，可以得到一缩小的实像。当物和屏之间的距离  $L$  大于  $4f$  时，固定物和屏，移动透镜至  $C$ 、 $D$  处（图 4），在像屏上可分别获得放大和缩小的清晰实像。 $C$ 、 $D$  间距离为  $l$ ，通过物像公式，可得

$$f = \frac{L^2 - l^2}{4L}$$

即可通过  $L$ ， $l$  得到焦距  $f$ 。

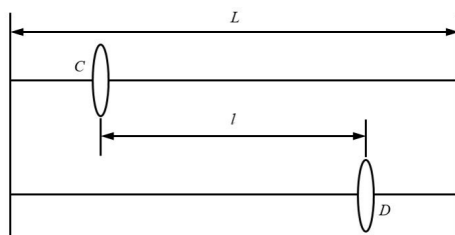


图3 位移法测凸透镜焦距

### (3) 平面镜反射法测焦距（自准直法）

如图 4，位于焦点  $F$  上的物  $A$  所发出的光经过透镜变成平行光。再经平面镜  $M$  反射后可在 1 字屏上得到清晰的倒立像  $A'$ 。

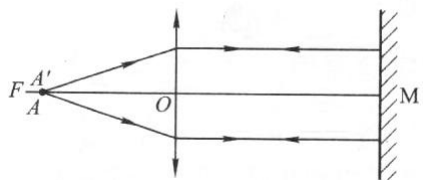


图4 自准直法测凸透镜焦距

## 测凹透镜焦距

### 辅助透镜法

凹透镜为发散透镜，物经其仅能成虚像，不能用像屏接受。但可利用凸透镜成的像作为凹透镜的物，再产生一个实像。利用高斯公式可以计算出凹透镜的焦距。凹透镜的像方焦点在物空间，物方焦点在像空间。实验中应使凹透镜成像的物距、像距均大于 0，才能用屏接收到实像，如图 5。

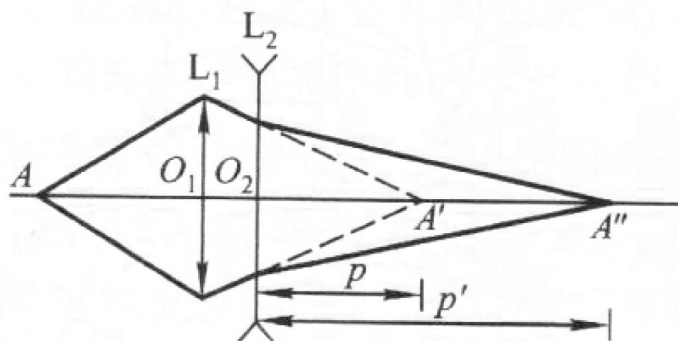


图5 利用辅助透镜测量凹透镜焦距

#### (1) 物像距法

以凸透镜会聚的光线为物光线，再经凹透镜发散，在像屏上成像。

凹透镜与单个凸透镜所成实像间距离为物距，凹透镜与组合透镜实像距离为像距。利用高斯公式求解焦距。

#### (2) 自准直法（平面镜法）

光路设计如图6。

利用辅助透镜凸透镜和平面镜，最终在一字屏上成像。

$$f = x_1 - d = x_1 - (x_2 - x_1)$$

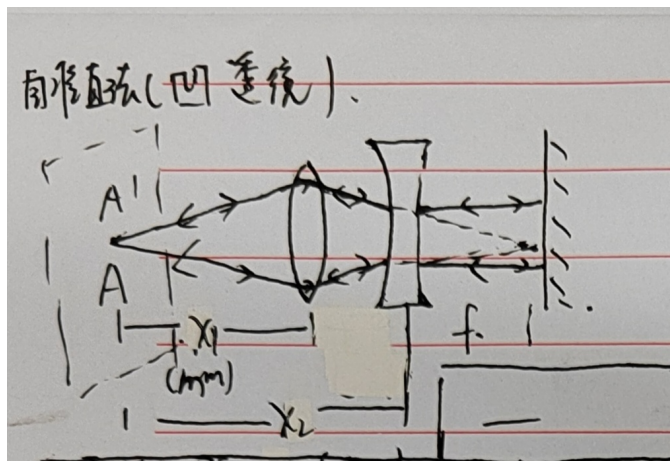


图5 利用自准直法测量凹透镜焦距

### 进阶实验:利用视差现象测量透镜焦距

#### 1、视差

拿两支铅笔，将它们前后排成竖排，用一只眼睛去观察，当眼睛左右微动时，就会发现两支铅笔有相对位移，这种现象称为视差。有这样的规律：离眼近的笔其移动方向与眼睛移动方向相反，而离眼远的其移动方向与眼睛相同。光学实验中常要利用视差来判断像与参考物（针尖、叉丝）或两个像是否在同一平面上，从而进行定位或测量。

#### 2、利用视差确定实像位置，测量透镜焦距

## 4.实验步骤与注意事项

### 实验步骤

#### 1.各分实验共有步骤：共轴调节

##### (1) 粗调

目测调节。将所用的元件靠拢，使其光心等高，光轴平行于光学平台。

##### (2) 细调

以位移法测凸透镜焦距光路为方法，先利用凸透镜对远处光源的会聚粗略估计凸透镜的焦距，再使物、屏距离略大于  $4f$ ，观察小像，调像屏，使屏中十字标记与小像中心重合；观察大像，调透镜，使大像中心与屏中十字标记重合。如此反复几次，达到大、小像中心重合即实现了各元件的共轴。

共轴的调节要在竖、横两方向上进行，调节的方法一样。

如果光学系统由多个透镜组成，则应先调好一个透镜的共轴并保持不动，逐个加入其余透镜逐一调节它们的光轴与原系统的光轴一致。

#### 2. 测量凸透镜的焦距

##### 1) 物像距法：

1.将物与凸透镜固定于桌面，用钢卷尺单次测量距离

2.将物屏从远处移近，调整至物象边界清晰无色散，测量像距。将凸透镜前后旋转，各6次测量物屏与凸透镜取平均。

##### 2) 位移法：

- 1.将物与像屏固定于桌面（距离大于 $4f$ ），用钢卷尺单次测量距离
- 2.将凸透镜在物与像屏间移动，调整至大像与小像边界清晰无色散，6次测量凸透镜在小像和大像位置间的距离，取平均。

3) 自准直法（平面镜法）：

- 1.将凸透镜与平面镜紧贴放置，调整至1字屏上的像边界清晰无色散，直接测得1字屏与凸透镜距离6次。

3.测量凹透镜的焦距

1) 物像距法：

- 1.固定凸透镜，测量凸透镜与1字屏距离
- 2.将凹透镜与凸透镜紧贴，测量距离
- 3.引入物屏，调整到物像边界清晰无色散，测量像屏与凹透镜间距离，测量3次取平均

2) 自准直法（平面镜法）：

- 1.将凸透镜，凹透镜和平面镜三者按顺序紧贴放置
- 2.调整透镜距离，直至1字屏上的像边界清晰无色散，测量凸透镜与凹透镜距离，凸透镜与物屏距离，重复3次取平均。
- 4.利用视差现象测量凸透镜焦距
- 1.用针尖1做“物”，放置凸透镜，用眼睛观察凸透镜对针尖1所成的倒立的实像，当针尖1、透镜、眼睛3者共轴时，可以看到针尖1倒立的实像的尖端与透镜中心是对齐的。
- 2.再用一个针尖2放置在像屏的位置，调节针尖1、透镜、针尖2、眼睛4者共轴，观察到实像和针尖2尖端相对与透镜中心是对齐的，眼睛左右微动，观察视差，判断针尖2在实像前还是在实像后，移动针尖2的位置，直到无视差
- 3.此时针尖2的位置即针尖1所成实像的位置。针尖1到透镜即物距；针尖2到透镜即像距。

**注意事项**

- 1.因透镜表面经抛光处理，故使用时应避免触碰光学表面，只能触摸磨砂面。
- 2.白炽灯具有一定安全和能耗风险，使用后应及时关闭。

## 5.思考题：

- 1.如果在“1”字屏后不加毛玻璃，对实验会有什么影响？
  - (1) 毛玻璃作用：表面粗糙,光在毛玻璃上发生“漫反射”。所以光能均匀的照亮“1”字屏，并使实像成在粗糙面上。
  - (2) 若不加毛玻璃，光无法均匀散射在1字屏上，将导致无法成清晰的1字像，而得到“灯管”的轮廓像
  - (3) 若不加毛玻璃,因1字屏无法均匀透光，其位置实际上也不再能够作为物的位置使用，将会给光源位置的测量带来较大误差。
  - (4) 因白炽灯光线较强，若不利用毛玻璃进行适当散射，将导致像屏接受光纤过多，成像模糊难辨。

2.自准直法测凸透镜焦距时，如果透镜安装在光具座上时沿光轴方向与光具座中心不重合（偏心），而我们测量距离时测量的是光具座之间的距离（默认为光学元件位于光具座中心位置），这对测量有什么影响？如何消除这一影响？

若透镜中心靠近物屏，将导致物距增大，像距减小，即测得的物距偏小，像距偏大。反之亦然

解决方法：在进行实验时，将透镜翻转后分别测量一次焦距，最后取平均值。

3. 在利用公式法和位移法测凸透镜焦距时，如果透镜安装时也存在上述偏心，对实验测量结果是否有影响

公式法：对实验结果有影响。因如题2所答，若透镜中心靠近物屏，将导致物距增大，像距减小，即测得的物距偏小，像距偏大。反之亦然。而公式法测焦距使用的即为高斯成像公式

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

必然对结果有影响。

位移法：对实验结果无影响。因位移法中的焦距结果只与凸透镜成大像和小像的相对位置有关，偏心情况可以被抵消。

7.数据记录（原始数据）

凸透镜焦距

1.物像距法

物距：421.0mm

数据类型/实验次数	一	二	三	四	五	六	均值
像距f/mm（正面）	114.3	115.2	114.3	110.3	108.3	109.0	111.9
像距f/mm（反面）	115.2	116.0	115.0	112.4	112.5	111.0	113.7

表1：物像距法 像距（钢卷尺）原始数据表

初步算得焦距： $f = \frac{111.9+113.7}{2}$ =112.8mm

2.位移法

物像距L：500.5mm

数据类型/实验次数	一	二	三	四	五	六	均值
透镜位移l/mm	211.6	212.0	207.0	209.6	209.2	209.5	209.8

表2：位移法 位移（钢卷尺）原始数据表

初步算得焦距  $f = \frac{L^2-l^2}{4L}$  =103.1mm

3.自准直法

数据类型/实验次数	一	二	三	四	五	六	均值
透镜焦距f/mm	106.0	105.0	105.3	104.8	104.5	105.0	105.1

表3：自准直法 焦距（钢卷尺）原始数据表

初步算得焦距：105.1mm

凹透镜焦距

1.物像距法

物距p：110.0mm

数据类型/实验次数	一	二	三	均值
像距p'/mm	255.0	257.5	259.8	257.4

表4：物像距法 像距（钢卷尺）原始数据表

初步算得焦距：  $f$  =192.1mm（利用高斯公式）

2.自准直法

凸透镜与凹透镜间距 $x_1$ ：67.0mm

数据类型/实验次数	一	二	三	四	五	六	均值
凸透镜像距 $x_2$ /mm	265.0	267.0	264.3	266.7	265.0	268.0	266.0

表5：自准直法 凸透镜像距（钢卷尺）原始数据表

初步算得焦距：  $x_2 - x_1$  =199.0mm

利用视差现象测量凸透镜焦距

物距p：245.0mm

像距p'：152.0mm

焦距  $f = \frac{pp'}{p-p'}$  =93.8mm

分析与讨论

# 1.数据处理与误差分析

## 物像距法测凸透镜焦距

平均值:  $\bar{f} = \frac{114.3+115.2+114.3+110.3+108.3+109.0+115.2+116.0+115.0+112.4+112.5+111.0}{12} = 112.79mm$   
(中间结果多保留一位)

$$\text{标准差: } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2.62mm$$

A类不确定度:  $u_A = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{2.62}{\sqrt{12}} = 0.76mm$  (P=95%)

t分布下的A类标准不确定度: (为获得与无穷次测量相同的置信概率, 扩大置信区间。)  $u_A = t_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2.26 \times \frac{2.62}{\sqrt{12}} = 1.7mm$  (P=95%) (不确定度保留两位有效数字)

B类标准不确定度: 钢卷尺:  $\Delta_B = 0.2cm$

$$u_B = \frac{\Delta_B}{C} = \frac{0.2}{3} = 0.067cm = 0.67mm$$

合成标准不确定度:  $U_p = \sqrt{(u_A)^2 + (u_B)^2} = 1.0mm$

( (t因子对 $u_A$ 修正后) :  $U_p = \sqrt{(u_t)^2 + (u_B)^2} = 1.8mm$ )

$P=0.950, k_p = 1.96$

展伸不确定度:  $U_p = \sqrt{(t_{0.95} u_A)^2 + (\frac{k_{0.95} \Delta_B}{C})^2} = 2.1mm$

综上,  $2 \times 6$ 次等精度测量测得的焦距为  $f = (112.8 \pm 2.1)mm$  (P=0.950)

## 位移法测凸透镜焦距

### 位移

平均值:  $\bar{f} = \frac{211.6+212.0+207.0+209.6+209.2+209.5}{6} = 209.82mm$  (中间结果多保留一位)

$$\text{标准差: } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 1.81mm$$

A类不确定度:  $u_A = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{1.81}{\sqrt{6}} = 0.74mm$  (P=95%)

t分布下的A类标准不确定度: (为获得与无穷次测量相同的置信概率, 扩大置信区间。)  $u_A = t_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2.57 \times \frac{1.81}{\sqrt{6}} = 1.9mm$  (P=95%) (不确定度保留两位有效数字)

B类标准不确定度: 钢卷尺:  $\Delta_B = 0.2cm$

$$u_B = \frac{\Delta_B}{C} = \frac{0.2}{3} = 0.067cm = 0.67mm$$

合成标准不确定度:  $U_p = \sqrt{(u_A)^2 + (u_B)^2} = 1.0mm$

( (t因子对 $u_A$ 修正后) :  $U_p = \sqrt{(u_t)^2 + (u_B)^2} = 2.0mm$ )

$P=0.950, k_p = 1.96$

展伸不确定度:  $U_p = \sqrt{(t_{0.95} u_A)^2 + (\frac{k_{0.95} \Delta_B}{C})^2} = 2.3mm$

六次等精度测量测得的位移为  $f = (209.8 \pm 2.3)mm$  (P=0.950)



## 焦距

$$f = \frac{L^2 - l^2}{4L} = 103.1mm$$

f的展伸不确定度:

$$\frac{u_f}{f} = \sqrt{2^2 \left(\frac{u_l}{l}\right)^2} = 0.022$$

$$u_f = 0.022 \times 103.1 = 2.3mm$$

综上, 位移法测得的焦距为  $f=(103.1 \pm 2.3)mm$  (P=0.950)

## 3.结论

本实验测得给定的凸透镜和凹透镜的焦距为:

凸透镜:

物像距法  $(112.8 \pm 2.1)mm$  (P=0.950) 位移法  $(103.1 \pm 2.3)mm$  (P=0.950)

自准直法 105.1mm 视差法: 93.8mm 四者平均值为103.7mm

凹透镜:

物像距法: 192.1mm 自准直法: 199.0mm 二者平均为195.6mm

# 透镜参数的测量 实验数据记录

姓名: 陈旭 学号: PB21020603 评分: \_\_\_\_\_

实验仪器: 钢尺、白炽灯

实验数据:

## 1. 测量凸透镜的焦距

1) 物像距法: 物距单次测量, 像距 6 次测量取平均。

物距(mm)	421.0					
像距(mm)	114.3	115.2	114.3	110.3	108.3	108.0
	115.2	116.0	115.0	112.4	112.5	111.0
平均值						111.7
焦距(mm)	112.7					

2) 位移法: 物像距离单次测量, 透镜位移量 6 次测量取平均。

物像距(mm)	500.5					
透镜位移(mm)	358.1	361.0	358.0	361.1	362.2	363.0
	147.5	149.0	147.0	148.5	153.0	153.5
平均值						209.82
焦距(mm)	103.13					

3) 自准直法 (平面镜法): 直接测得焦距 6 次。

透镜焦距(mm)	106.0	105.0	105.3	104.8	104.5	105.0
平均值						105.1

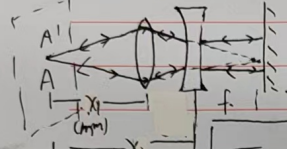
## 2. 测量凹透镜的焦距 (以下各法均测量 3 次)

1) 物像距法: 需利用凸透镜辅助成像。

物距(mm)	110.0 mm		
像距(mm)	255.0	257.5	258.8
平均值			257.4
焦距(mm)	192.1		

$\frac{PP'}{P-P'}$

自准直法(凹透镜)



(移动凸透镜位置, 测量6次)

	一	二	三	四	五	六	平均
凸透镜距 $x_1$ (mm)							
凹透镜距 $x_2$ (mm)							
焦距 $f$ (mm)							

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

凸透镜焦距

凹、凸距: (mm) 67.0

凸透镜焦距 (mm): 265.0 267.0 264.3 266.7 265.0 268.0 平均: 266

凹透镜焦距: 199 mm

焦距: 物距 = 245.0 mm  
像距 = 152.0 mm

$$f = \frac{pp'}{p+p'} = \frac{245 \times 152}{245 + 152} = 93.2 \text{ mm}$$

于厚  
4.6