

信息学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青

成绩

实验日期: 2014.12.23 学号 2013204264 同组实验者

实验题目: 薄透镜

一、实验目的

学会测量薄透镜焦距的几种方法和有关实验技术知识。

二、实验仪器

光具座, GG050 型仪器高压汞灯, 已知焦距凸透镜, 待测焦距凸凹透镜各一片, 物屏, 像屏, 平面镜, 光栏和滤光片等。

三、实验原理

凸透镜可使光线因折射而会聚, 也称会聚透镜, 凹透镜具有使光线发散作用, 又称发散透镜。

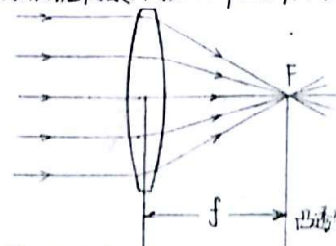
1. 薄透镜成像公式

通过透镜中心并垂直于镜面的任何直线称作透镜的主光轴。平行于主光轴的平行光经凸透镜折射后会聚于主光轴上的一点, 该点就是该透镜的焦点。一束平行于凹透镜主光轴的平行光经凹透镜折射后成为发散光, 将发散光反向延长交于主光轴上的一点, 称为凹透镜的焦点。从焦点到透镜光心的距离就是该透镜的焦距 f 。当透镜的厚度远小于焦距时, 即为薄透镜。在近轴光线的条件下, 它有最简单的成像规律: $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ 。

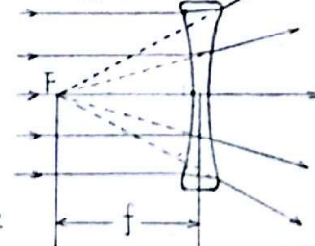
式中, u 表示物距, v 表示像距; f 为透镜的焦距。 u, v, f 均是从透镜的光心点算起沿主光轴的距离。物距 u 恒取正值, 像距 v 的正负由像的虚实来决定, 实像时 v 为正, 虚像时 v 为负。凸透镜的 f 为正值, 凹透镜的 f 为负值。根据上式, 测出了物距 u 和像距 v , 即可用下式计算出透镜的焦距: $f = \frac{uv}{u+v}$ 。

焦距的倒数 $1/f$ 叫做透镜的光度。如果焦距以 m 为单位, 其倒数用 D 表示, 就是通常所

谓的眼镜度数, 例如 200 度的近视镜, 就是焦距为 0.5m 的发散透镜。



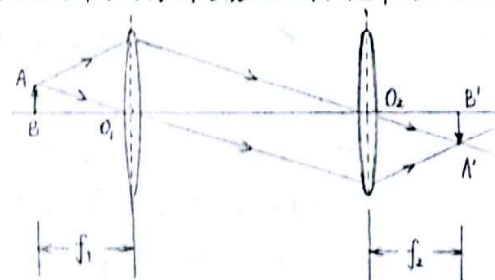
凸透镜的焦点和焦距



凹透镜的焦点和焦距

2. 测量凸透镜焦距的方法

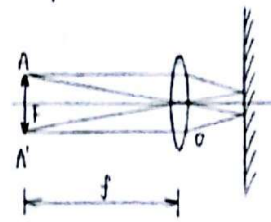
(1) 平行光法。当物平面位于凸透镜的焦平面对焦点且垂直于透镜主光轴时, 来自同物点不同方向入射的光束, 经凸透镜折射后相互平行称为平行光。此平行光再经另一凸透镜折射后便成像于该透镜的焦平面上。像到透镜的距离就是所测透镜的焦距 f 。



用平行光法测凸透镜的焦距

(2) 自准法。物平面位于凸透镜的焦平面上, 通过透镜的物光为平行光。用一平面镜将这束平行光反射至透镜上, 经折射后又成像于焦平面。即, 物及其像都在透镜的焦平面上。

(3) 共轭法。由于 u, v 都是从透镜光心算起, 为了避免因这一点取位置不准确带来的误差, 测凸透镜焦距常用共轭法。这种方法相当于物像互换。设物屏至像屏距离为 l (要求 $l > 4f$)。当透镜在 A 处时, 屏上出现一个清晰的放大像 (设此时物距为 u , 像距为 v)。



用共轭法测凸透镜焦距

天津大学物理实验报告

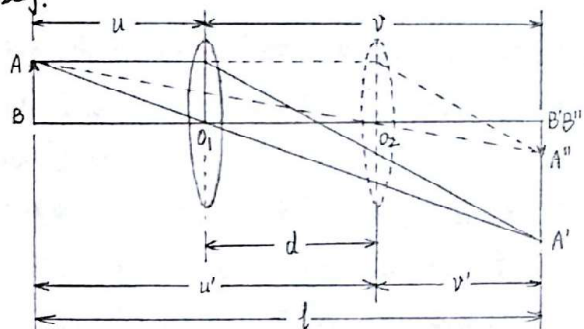
信息学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩

实验日期: 2014.12.23 学号 3013204264 同组实验者

实验题目: 薄透镜

把透镜移至 O_2 处,在屏上又成一个清晰的缩小像(设此时物距为 u' ,像距为 v')。若 O_1 与 O_2 距离为 d ,容易证明凸透镜的焦距 $f = \frac{u^2 - d^2}{4d}$ 。

这样,只要量出物屏和像屏间的距离 l ,以及透镜两次成像移动的距离 d ,代入上式就可算出焦距 f 。



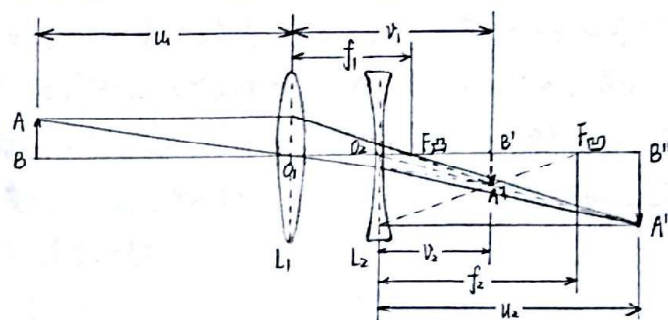
用共轭(物像交换)法测凸透镜焦距

3. 用物距-像距法测凹透镜焦距

凹透镜不能成实像,因而不能直接用屏来找像的位置。为此可以按图所示,使用一个辅助凸透镜。物AB经凸透镜成实像A'B',然后在凸透镜 L_1 和像A'B'之间插入凹透镜 L_2 ,由于凹透镜 L_2 的发散作用,原来会聚于A'B'的光线,会聚点移到A''B''。根据光线传播的可逆性,如果将A''B''视为发光物,则经凹透镜 L_2 折射后形成的虚像就是A'B'。由此,只要测出 $\overline{O_2B''} = u_2$, $\overline{O_2B'} = v_2$,代入式 $f = \frac{u_2 v_2}{u_2 + v_2}$,即可算出凹透镜的焦距 f 。

天津大学物理实验报告

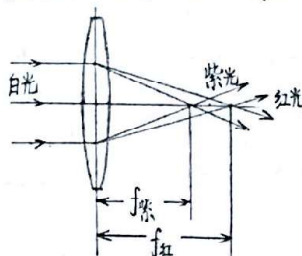
附 页 2



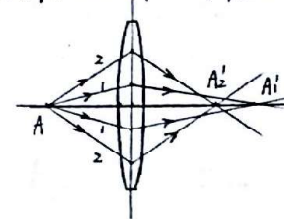
凹透镜焦距的测量光路

4. 透镜的像差

理想的成像应该是,物平面上每一点发出的光,都在像平面上会聚成一个相应的点,并且不改变其相关位置。这样的像是完全清晰,没有像差的。实际上简单的透镜成像会发生多种类型的像差,其中最简单和最显著的两种是色差和球差。色差是由于玻璃折射率是光波长的函数引起的。用不同的波长的光测量透镜的焦距,结果会稍有差异,所以被白光照明的物体不能会聚成单一的像平面。对红光聚焦较准时,像就带蓝紫边,而对蓝紫光聚焦较准时,像又带红橙边。球差的产生是因为简单的球面透镜不能把照射于透镜所有部位的光线都会聚于一点。从同一物点A发出的近轴光线1会聚于A1点,张角较大的光线2会聚于A2,张角连续变化,会聚点也连续改变,因而也就找不到完全清晰的成像平面。



透镜的色差



透镜的球差

马 1223

天津大学物理实验报告

信息学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩

实验日期: 2014.12.23 学号 3013204264 同组实验者

实验题目: 薄透镜

为了提高像的清晰度可以给透镜加光栏, 遮住张角大的光线, 只让近光轴光线通过. 当然, 光栏的孔径愈小效果就愈好, 但是由于光通量减少, 像的亮度降低. 为了校正透镜的色差和球差, 光学仪器常采用复合透镜组.

四. 实验步骤

首先认识仪器, 在光具座上安置好物屏、像屏和已知焦距的凸透镜, 然后点亮高压汞灯, 用共轭成像法调节系统的“等高同轴” (即大、小像箭尾重合, 若更透镜须重复这一步).

1. 测量凸透镜焦距

(1) 平行光法. 使物屏至已知焦距的凸透镜的距离等于该透镜的焦距, 于是通过凸透镜的光为平行光. 再互起待测凸透镜, 调节两个透镜同轴, 在像屏上找到最清晰的箭头像, 记录待测凸透镜和像屏的位置读数, 两数相减就是这个透镜的焦距.

(2) 自准法. 不用已知焦距的凸透镜, 只在待测凸透镜之后加一个平面镜, 使物光经透镜折射后被平面镜反射回来, 再通过透镜会聚到物屏上, 当透镜与物屏间的距离恰好等于透镜焦距时, 在物屏的箭头旁可得一个清晰的倒立箭头像. 记录物屏和透镜位置读数, 算出焦距.

(3) 共轭法. 使像屏与物屏的距离大于 4 倍焦距, 利用两次成像法检查“等高同轴”. 取 5 个不同的 l 值, 按式 $f = \frac{l^2 - d^2}{4l}$ 测焦距. 由于各测量的随机性, 焦距值均可视为随机的量, 求出不确定度 u_f .

2. 测凹透镜的焦距

天津大学物理实验报告

附页 3

先用凸透镜成像 (像比物屏箭头小一些为宜), 记录像屏位置 B . 保持凸透镜位置不动, 把凹透镜放在凸透镜和像屏之间, 使两透镜同轴 (凭眼睛察看), 然后把像屏适当推远, 移动凹透镜, 在像屏上再次获得清晰的像. 记录凹透镜位置 O_2 和像屏位置 B' , 求出 u_2 和 v_2 和焦距 f_2 . 改变凸透镜成像的位置取不同的 u_1 和 v_1 值, 按上述方法重复测量 5 次.

五. 数据处理

1. 平行光法

透镜位置: 94.38 cm; 像屏位置: 80.00 cm; 焦距 $f = 14.38$ cm.

2. 自准法

物屏位置: 130.00 cm; 透镜位置: 119.55 cm; 焦距 $f = 10.45$ cm.

3. 用共轭法求焦距

透镜成大像和小像的位置分别为 d_1 和 d_2 , 物屏和像屏的位置分别为 L_1 和 L_2 .

(1) 原始数据记录:

单位: cm							
测量次数	L_1	L_2	$l = L_1 - L_2 $	d_1	d_2	$d = d_1 - d_2 $	f
1	130.00	80.00	50.00	104.43	95.56	8.87	12.11
2	130.00	79.00	51.00	105.02	94.27	10.75	12.18
3	130.00	78.00	52.00	105.22	93.20	12.02	12.31
4	130.00	77.00	53.00	105.33	92.12	13.18	12.43
5	130.00	76.00	54.00	105.38	90.50	14.88	12.49

(2) 分析焦距 f 的不确定度.

5 次测量的算术平均值 $\bar{f} = \frac{1}{5}(12.11 + 12.18 + 12.31 + 12.43 + 12.49) = 12.30$ cm

天津大学物理实验报告

天津大学物理实验报告

附 页 4

信息 学院 2013 年级 通信 专业 四 班 姓名 何青 成绩

实验日期: 2014.12.23 学号 3013204264 同组实验者

实验题目: 薄透镜

$$\sum (f_i - \bar{f})^2 = (12.11 - 12.30)^2 + (12.18 - 12.30)^2 + (12.31 - 12.30)^2 + (12.43 - 12.30)^2 + (12.49 - 12.30)^2 = 0.1036 (\text{cm}^2)$$

$$u_A = t_{0.68} S_f = 1.14 \sqrt{\frac{\sum (f_i - \bar{f})^2}{n(n-1)}} = 1.14 \times \sqrt{\frac{0.1036}{5 \times 4}} = 0.0820 \text{ cm.}$$

$$u_B = \frac{\Delta}{\bar{f}} = \frac{0.1}{12.3} = 0.0081 \text{ cm.}$$

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0.082^2 + 0.0081^2} = 0.1003 \text{ cm.}$$

$$U_f = \frac{u}{\bar{f}} \times 100\% = \frac{0.1003}{12.3} \times 100\% = 0.82\%$$

∴ 测量结果: 凸透镜焦距为 $f = 12.30 \pm 0.10 \text{ (cm)}$

$$U_f = 0.82\% \quad (P \approx 68\%)$$

4. 测凹透镜的焦距

以 B' 表示凸透镜成像的像屏位置, 以 O_2 表示凹透镜位置, B'' 表示加凹透镜后再成像的像屏位置.

1) 原始数据记录

	单位: cm				
数据	1	2	3	4	5
B'	46.32	44.00	42.00	40.00	38.00
O_2	52.00	50.50	48.00	45.91	45.68
B''	40.33	36.98	34.72	33.22	23.60
$v_2 = -O_2 B'$	-5.68	-6.50	-6.00	-5.91	-7.68
$u_2 = O_2 B''$	11.67	13.52	13.28	12.69	22.08
$f_2 = \frac{u_2 v_2}{v_2 + u_2}$	-11.07	-12.52	-10.95	-11.06	-11.78
\bar{f}_2	-11.48				

12) 分析焦距的不确定度

$$\sum (f_2 - \bar{f}_2)^2 = (11.48 - 11.07)^2 + (11.48 - 12.52)^2 + (11.48 - 10.95)^2 + (11.48 - 11.06)^2 + (11.48 - 11.78)^2 = 1.777 (\text{cm}^2)$$

$$u_A = t_{0.68} S_{f_2} = 1.14 \times \sqrt{\frac{1.777}{5 \times 4}} = 0.3417 \text{ cm.}$$

$$u_B = \frac{\Delta}{\bar{f}_2} = \frac{0.1}{11.48} = 0.0087 \text{ cm.}$$

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0.3417^2 + 0.0087^2} = 0.3465 \text{ cm}$$

$$U_f = \frac{u}{\bar{f}_2} = \frac{0.3465}{11.48} \times 100\% = 3.02\%$$

∴ 测量结果: 凹透镜的焦距 $f = -11.48 \pm 0.35 \text{ (cm)}$

$$U_f = 3.02\% \quad (P \approx 68\%)$$

六. 误差分析

实验误差主要来源于以下方面:

1. 判断像在何处最清晰, 存在误差.
2. 调节光轴时, 不可能将光源、物屏、透镜、像屏调到绝对“同轴等高”.
3. 光学元件底座在光具座上的位置读数存在误差.
4. 从理论上分析, 都是把透镜看作无限薄的, 而实际操作中, 透镜有一定厚度.
5. 已知焦距的凸透镜存在一定误差.

作业纸

实验原始数据

30132014264

院系信息

班级 通四

姓名 何青

第 5 页

1. 平行光法

透镜位置: 94.38 cm. 像屏位置: 80.00 cm. 焦距: $f =$ cm.

2. 自准法

物屏位置: 130.00 cm. 透镜位置: 119.55 cm. 焦距 $f =$ cm. 104.00

3. 共轭法

大像 d_1 , 小像 d_2 , 物屏 L_1 , 像屏 L_2 .

单位 cm.

测量次数	L_1	L_2	$l = L_1 - L_2 $	d_1	d_2	$d = d_1 - d_2 $	f
1	130.00	80.00	50.00	104.43	90.56	8.87	12.11
2	130.00	79.00	51.00	105.02	94.27	10.75	12.18
3	130.00	78.00	52.00	105.22	93.20		
4	130.00	77.00	53.00	105.33	92.12		
5	130.00	76.00	54.00	105.38	90.50	14.88	

4. 测凹透镜的焦距

d_1 77.98 cm

数据组	1	2	3	4	5
B'	46.00				
O_2	52.45	53.98	53.32	53.25	52.72
B''	37.35	27.07	32.47	34.65	36.20
$u_2 = -OB'$	46.00	77.98	77.98	7.25	-6.72
$u_2 = -OB''$	46.00	77.98	77.98		16.52
$f_2 = \frac{u_1 u_2}{u_1 + u_2}$					11.328
\bar{f}_2					

马(13)

1203

①

	1	2	3	4	5
B'	46.32	44.00	42.00	40.00	38.00 38.00
O_2	52.00	50.50	48.00	45.91	44.15 45.68
B''	40.33	36.98	34.72	33.22	32.28 23.60
$U_2 = -O_2B'$	-5.68	-6.50	-6.00	-5.91	-4.15 -7.68
$U_2 = O_2B''$	11.67	13.52	13.28	12.69	9.93 22.08
$f_2 = \frac{U_2 V_2}{U_2 + V_2}$	-11.07	-12.52	-10.95	-11.06	-11.78
f					

1mm

② 3 (13)
12.23