

高等学校试用教材

普通物理实验

(三、光学部分)

江苏师范学院物理系 编

高等教育出版社

高等学校试用教材

普通物理实验

(三、光学部分)

江苏师范学院物理系 编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是根据教育部1980年制定的高等师范院校物理专业普通物理实验教学大纲的 optics 部分编写的,共二十一个实验。可供高等院校物理专业普通物理实验课程作试用教材,也可供其它有关专业普通物理实验课程参考。

本书责任编辑 曹建庭

高等学校试用教材

普通物理实验

(三、光学部分)

江苏师范学院物理系 编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

牡丹江书刊印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 7.25 字数 175,000

1983年6月第1版 1987年2月第5次印刷

印数 53,111—70,130

书号 13010·0872 定价 1.20 元

编者前言

本书是根据全国高等师范院校物理专业普通物理实验教学大纲编写的。于一九七九年七月编出初稿，曾经江苏师范学院、南京师范学院和徐州师范学院三校多次使用。一九八〇年又根据在上海华东师范大学召开的审稿会议上的意见进行修改定稿。本书可作为高等师范院校物理系的试用教材，也可作为综合性大学与工科院校物理实验课的教学参考书。

考虑到大多数院校实验教学设备的现状和一般都采取循环制的教学安排，所以在编写时注意使各个实验尽可能相对独立；同时在选题方面适当放宽一些，有些实验分成几个练习，可用不同的仪器、不同的实验方法去完成，以便各校灵活使用；有的实验份量偏重，我们也把它分成几个练习，各校可根据实际情况规定学生只作其中的一部分内容。带有“*”号的实验(十六—二十一)，难度较大，设备要求也较高，可作为选作内容。

物理实验是一门独立的课程，相对于基础理论课的教学有其独立性；虽然课堂教学和实验教学一般安排在同一学期开设，但考虑到有些实验往往超前于课堂教学，为了缓和实验课和课堂教学脱节的矛盾，并保持实验课的独立性，实验原理部分尽可能写得详细些、完整些，实验步骤亦尽可能具体些，以加强对实验技术、技能的训练和指导。近十几年来，光学有很大的发展。为了反映现代光学的进展，更新实验内容，教材中引入了有关激光、全息、导光纤、空间滤波等新的实验内容。在某些实验中使用了激光作为光源，以改善实验效果。各种常用的光学仪器，例如光具座、分光计、测微目镜、读数显微镜等，安排在几个不同的实验中反复使用，目

的是使学生能正确熟练地掌握这些常用的光学仪器的调节和使用方法。关于基本的光学物理量的测量也都尽量安排实验,以使她能比较系统地掌握各物理量测量的基本方法和实验技术。光学实验中常用的光源在附录中作了一些介绍,至于点光源、线光源、扩展光源的获得,则分散在各实验中介绍。对常用的光学测量仪器和光电探测元件的结构、性能和使用方法等,亦放在附录中介绍。每一实验末都附有预习题和复习思考题,以帮助学生掌握实验要求,巩固和扩大所学知识。

这部分实验在数据处理方面,对于系统误差,如长度、角度测量、电学仪表使用等方面的误差,应严格按力学、热学、电学实验的要求进行误差分析和计算;对于偶然误差则采取多次测量取平均值的方法来尽量减少。对常用的光学仪器应在保证仪器精度的状况下合理使用,并继续注意培养学生分析误差产生的原因,减少实验误差的实际能力。

本书在编写过程中还结合我系光学教研室长期的教学实践,参考并吸收了各兄弟院校的有关资料和经验。韩叶龙同志(主编)、王定兴同志参加了本书的编写、修改定稿工作,李佩赞同志参加了本书的修改定稿工作,王思妨同志参加了部分实验的编写工作;此外,在本书的修改定稿过程中,责任编辑曹建庭同志提出了很多有益的具体意见。安静华、毛伟康两同志绘制书中的插图。

本书由于编写时间仓促和编写人员水平所限,书中必然存在不少缺点和错误,我们诚恳地希望各校师生提出宝贵意见,以便再版时修改。

江苏师范学院^①物理系

一九八一年十二月

^① 江苏师范学院已于1982年9月改名为苏州大学。

目 录

实验一	薄透镜焦距的测定及象差的观察	1
实验二	透镜组基点的测定	13
实验三	分光计的调节及棱镜玻璃折射率的测定	19
实验四	液体折射率的测定	32
实验五	幻灯片的制备	40
实验六	显微镜、望远镜放大率的测定及用显微镜测量微小长度	52
实验七	平行光管的调节和使用	63
实验八	用小型棱镜摄谱仪测定光波波长	72
实验九	用双棱镜测定光波波长	79
实验十	用牛顿环测定透镜曲率半径	84
实验十一	单缝和双缝衍射的光强分布	92
实验十二	用透射光栅测定光波波长和光栅角色散	100
实验十三	偏振现象的观察与分析	108
实验十四	发光强度和光通量的测量	123
实验十五	利用光电效应测定普朗克常数	135
*实验十六	单色仪的定标和滤光片光谱透射率的测定	142
*实验十七	迈克耳孙干涉仪的调节和使用	151
*实验十八	导光纤衰减系数的测定	158
*实验十九	漫反射全息照片的摄制	163
*实验二十	氦氖激光束发散角的测定	170
*实验二十一	阿贝成象原理和空间滤波	178
附录 I	光源	187
附录 II	测微目镜和读数显微镜	204
附录 III	光电探测器简单介绍	209
附录 IV	基本物理常数表	219

实验一 薄透镜焦距的测定及象差的观察

目的:

1. 掌握薄透镜焦距的测定方法。
2. 掌握单透镜象差的观察和测定的方法。
3. 学会调节光学系统使之共轴, 并了解视差原理的实际应用。

练习一 薄透镜焦距的测定

仪器和用具:

1. 光具座; 2. 发散透镜; 3. 会聚透镜(两块); 4. 狭缝光源; 5. 白屏; 6. 平面反射镜; 7. 读数小灯; 8. 米尺; 9. 指针。

原理:

如图 1-1 所示, 设薄透镜的第二焦距为 f' , 物距为 s , 对应的象距为 s' , 则透镜成象的高斯公式为:

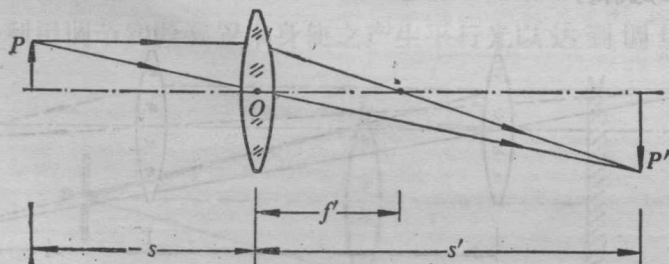


图 1-1

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}, \quad (1-1)$$

故

$$f' = \frac{ss'}{s-s'} \quad (1-2)$$

应用上式时，必须注意各物理量所适用的符号定则，本书规定：光线自左向右进行；距离自参考点（薄透镜光心）量起，向左为负，向右为正，即距离与光线进行方向一致时为正，反之为负，运算时已知量须添加符号，未知量则根据求得结果中的符号判断其物理意义。

测量会聚透镜的焦距，可用以下几种方法：

1. 由物距与象距求焦距：因为实物经会聚透镜后能成实象，故可用白屏接收并加以观察，通过测定物距和象距，利用(1-2)式即可算出 f' 。

2. 由透镜两次成像求焦距：设保持物体与白屏的相对位置不变，并使其间距离 l 大于 $4f'$ ，当会聚透镜置于物体与白屏之间时，可以找到两个位置，白屏上都能得到清晰的象。如图 1-2 所示，在位置 I，物体 P 经透镜后成倒立、放大的实象 P' ；而在位置 II，则成倒立、缩小的实象 P'' 。设物体与白屏的距离为 l ，透镜两个位置(I 与 II)之间的距离的绝对值为 d ，位置 II 与白屏之间的距离为 s'_2 ，则对于位置 I 而言，有 $s = -(l-d-s'_2)$ 及 $s' = d+s'_2$ ，代入(1-2)式得：

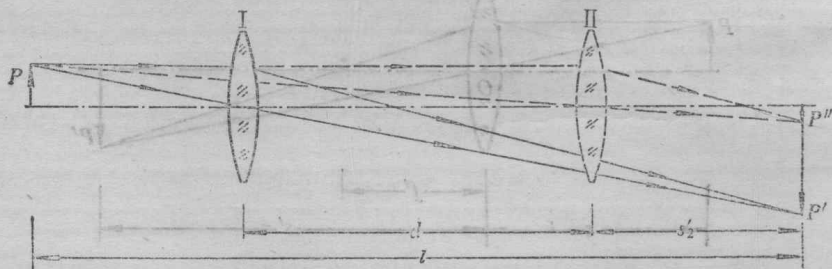


图 1-2

$$f' = \frac{(l-d-s'_2)(d+s'_2)}{d}$$

对于位置 II 而言, 有 $s = -(l - s'_2)$ 及 $s' = s'_2$, 则

$$f' = \frac{(l - s'_2)s'_2}{l};$$

由以上两式可解出:

$$s'_2 = \frac{l - d}{2};$$

因此

$$f' = \frac{l^2 - d^2}{4l}. \quad (1-3)$$

(1-3)式表明, 只要测出 d 和 l , 就可以算出 f' . 由于 f' 是通过透镜两次成象而求得的, 因而这种方法称为二次成象法, 或称为贝塞耳法. 同时可以看出, 利用(1-1), (1-2)式时, 都是把透镜看成无限薄的, 物距和象距都近似地用从透镜光心算起的距离来代替, 而这种方法中则毋须考虑透镜本身的厚度. 因此, 用这种方法测出的焦距一般较为准确.

3. 由光的可逆性原理求焦距: 如图 1-3 所示, 当以狭缝光源 P 作为物放在透镜 L 的第一焦平面上时, 由 P 发出的光经透镜后将成平行光; 如果在透镜后面放一与透镜光轴垂直的平面反射镜 M , 则平行光经 M 反射后将沿原来的路线反方向进行, 并成象于缝平面上. P 与 L 之间的距离, 就是透镜 L 的第二焦距 f' . 这个方法是利用调节实验装置本身使之产生平行光以达到调焦的目的.

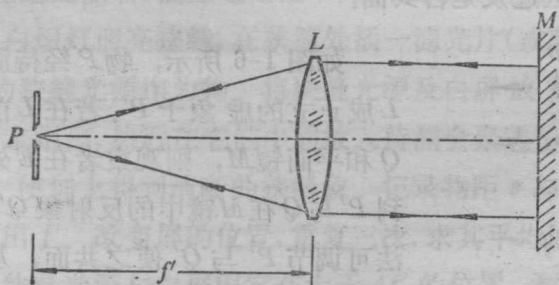


图 1-3

的, 所以又称为自准直法。

对于发散透镜, 因为实物不能得到实象, 所以不能应用白屏接收象的方法求得焦距。下面介绍两种测定发散透镜焦距的方法:

1. 由辅助透镜成像法求焦距: 如图 1-4 所示, 设狭缝光源 P 经辅助会聚透镜 L_1 后成象于 P' , 而加上待测焦距的发散透镜 L 后将成象于 P'' , 则 P' 和 P'' 相对于 L 来说是物象共轭的。分别测出 L 到 P' 和 P'' 的距离, 根据(1-2)式即可算出 L 的第二焦距 f' 。

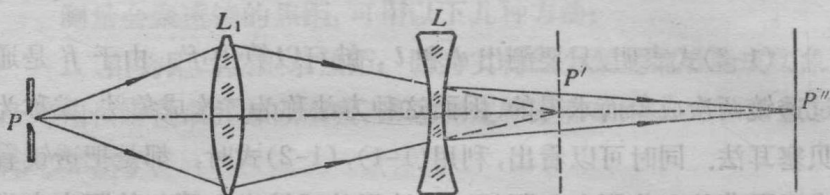


图 1-4

2. 由视差法求焦距: 视差是一种视觉差异的现象, 如图 1-5 所示, 设有远近不同的两个物体 A 和 B , 当观察者的眼睛 E 沿着垂直于 AB 连线的方向左右移动时, 将观察到物体 A 与 B 之间有相对运动。距离近的物体 A 移动的方向与观察者眼睛移动的方向相反, 而距离远的物体 B 移动的方向则与眼睛移动的方向相同。如果 A 和 B 离观察者眼睛的距离相等, 则当观察者眼睛左右移动时, A 和 B 之间不产生相对运动。因此, 根据视差现象可以准确地判断 A 、 B 的远近及是否共面。



图 1-5

如图 1-6 所示, 物 P 经待测发散透镜 L 成正立的虚象于 P' 。若在 L 前放置指针 Q 和平面镜 M , 则观察者在 E 处可同时看到 P' 与 Q 在 M 镜中的反射象 Q' , 利用视差法可调节 P' 与 Q' 使之共面, 从而根据平面镜成像的对称性直接求出虚象的象距

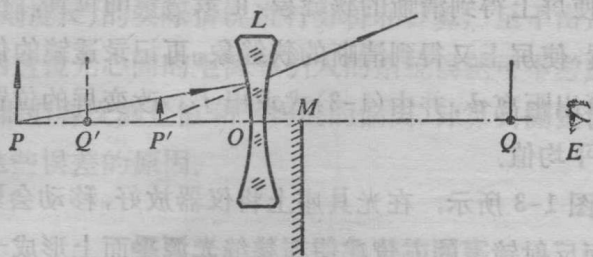


图 1-6

OP' ,再由(1-2)式算出 L 的第二焦距 f' 。

步骤和要求:

1. 调节光学元件使之共轴。使许多光学元件共轴的调节是进行几何光学实验的基本训练之一,必须很好掌握。调节的要求是:(1)所有光学元件的光轴重合;(2)公共的光轴与光具座的导轨严格平行。调节的方法是先把物、透镜、白屏等元件放置于光具座上,并使它们尽量靠拢,用眼睛观察,进行粗调,使各元件的中心大致在与导轨平行的同一条直线上,并使物平面、白屏平面和透镜面相互平行且垂直于光具座导轨。然后用其他仪器或依靠成像规律进行细调。例如在二次成像法测透镜焦距的实验中,如果物的中心偏离透镜的光轴,则移动透镜在两个位置成像时,就会发现两次成像的中心位置不再重合,这时,可根据象的偏移判断物的中心究竟是偏左还是偏右,偏上还是偏下,然后加以调整。

2. 用白炽灯照亮狭缝,在狭缝处插一滤光片(或敷以滤色纸)组成单色的狭缝光源作为物。将狭缝光源及白屏放置在光具座上,相隔一定距离,然后在它们中间放入待测会聚透镜(见图 1-1),移动透镜,使屏上得到清晰的狭缝象。记录物距 s 与象距 s' ,依(1-2)式算出 f' 。改变屏的位置,重复三次,求其平均值。

3. 将狭缝光源与白屏固定在大于 $4f'$ 的位置,测出它们之间的距离 l 。将待测会聚透镜放在光源与白屏之间,如图 1-2 所示。

移动透镜,使屏上得到清晰的狭缝象,记录透镜的位置.移动透镜至另一位置,使屏上又得到清晰的狭缝象,再记录透镜的位置.由两个位置算出距离 d ,并由(1-3)式求出 f' .改变屏的位置,重复三次,求其平均值.

4. 按图 1-3 所示,在光具座上将仪器放好,移动会聚透镜 L 和改变平面反射镜 M 的方位,使在狭缝光源平面上形成一个与狭缝光源大小相同的清晰象,测出狭缝光源平面到透镜的距离,即得透镜的焦距 f' .重复三次,求其平均值.

5. 按图 1-4 所示,先用辅助会聚透镜 L_1 把狭缝光源 P 成象在 P' 处的屏上,记录 P' 的位置,然后将待测发散透镜 L 置于 L_1 与 P' 之间的适当位置,并将屏向外移至 P'' 处,使屏上重新得到清晰的象,分别测出 P' 和 P'' 至发散透镜 L 的距离,这两个距离对 L 来说,分别代表物距 s 和象距 s' ,代入(1-2)式,求出 f' (注意物距 s 应取的符号).改变发散透镜的位置,重复三次,求其平均值.

对于发散透镜,清晰成象的位置难以精确地判断,因此象距 s' 的测量误差对最后结果影响较大.为此,要求测出被认为清晰成象的一段距离 $\Delta s'$,并估算测量的最大绝对误差.

6. 按图 1-6 所示,狭缝光源 P 经发散透镜 L 后成正立虚象于 P' ,在 L 前另置指针 Q 和平面反射镜 M ,(M 应略低于透镜 L),观察者在 L 前可以同时看到 L 中 P 的虚象 P' 和 M 中 Q 的虚象 Q' .移动指针 Q ,运用视差法调至 P' 与 Q' 之间无视差,即当观察者眼睛左右移动时, P' 与 Q' 无相对运动,这时 P' 与 Q' 共面.若测出距离 QM 和 MO ,则象距 $|s'| = QM - MO$,以物距 $|s| = OP$ 和 s' 代入(1-2)式,求出 L 的第二焦距 f' .改变发散透镜的位置,重复三次,求其平均值.

7. 分析实验误差.对于系统误差,在长度测量方面按仪器

(光具座刻度尺)的实际情况进行分析和计算;至于由透镜的有限厚度、两透镜光心间的距离等引入的系统误差可不考虑。对于偶然误差,根据各次测量值和平均值的偏离,计算其测量误差,并分析产生这些误差的原因。

练习二 单透镜象差的观察

仪器和用具:

1. 光具座; 2. 待测透镜两片(平凸和弯月形各一); 3. 溴钨灯; 4. 光阑两只(边缘透光和中部透光); 5. 滤光片两片(红色,紫色各一); 6. 针孔屏; 7. 白屏; 8. 铜丝网格; 9. 读数小灯; 10. 米尺。

原理:

研究透镜成象时,我们常假设透镜很薄和孔径很小,并认为入射光为单色近轴光线。在此种情形下,一物点能够形成一象点。然而,实际的光学系统并不这样简单,透镜毕竟有一定的厚度,近轴光线的假设限制了成象物体的范围,小孔径限制了象的亮度,而且入射于透镜的光往往不是单色光会引起色散。所以实际光学系统的成象与理想近轴光学系统的成象不同,两者之间存在偏离。通常把这种实际光学系统的成象与理想光学系统的成象的偏离,统称为象差。象差按其产生原因的不同,可分为复色象差和单色象差。单色象差还可分为轴上物点单色象差和轴外物点单色象差。现分述如下:

1. 色差: 色差是复色象差。由于透镜材料的折射率随光波波长而变,因而,一个透镜对不同波长(即不同颜色)的光将有不同的焦点。于是,当透镜对发出复色光的物体成象时,即使在近轴区域,也将不同位置上形成与各色光对应的一系列象,从而使象变得模糊和带有颜色。这种现象称为色差。

如图 1-7 所示, 色差 H 的大小常以红色象 P' 与紫色象 P'' 至透镜距离之差表示, 即

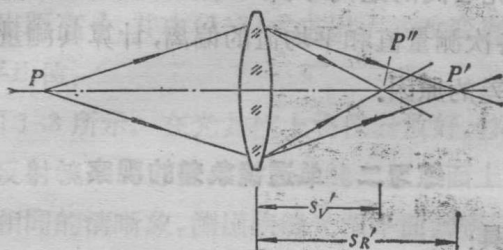


图 1-7

$$H = s'_R - s'_V. \quad (1-4)$$

2. 球差: 球差是轴上物点的单色象差。由光轴上某一物点发出的单色光, 经透镜后, 不同孔径角的光线将交于光轴上不同位置, 从而使光轴上象点成为一弥散光斑。这种现象称为球差。

如图 1-8 所示的会聚透镜, 由于球差的存在, 轴上物点 P 发出的单色光线, 经透镜上不同环带 1、2、3 折射后分别交于轴上 P''' 、 P'' 、 P' 三点, 离光轴较远处的环带 1 的折射光线的象距最短, 离光轴较近的环带 3 的折射光线的象距最长。若置白屏于 P'' 处, 环带 2 的折射光线将形成一清晰象点于屏上, 但环节 1、3 的折射光线均在象点 P'' 的外围弥散成模糊光斑。

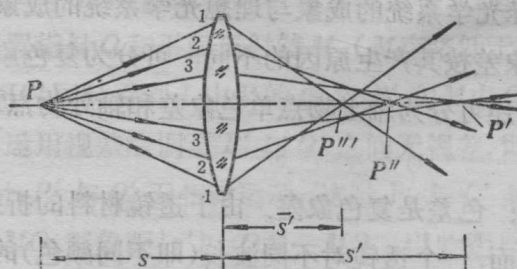


图 1-8

对于给定物点 P 产生的球差的大小 $\delta s'$, 常以近轴光线的象点和边缘光线的象点至透镜距离之差表示, 即

$$\delta s' = s' - \bar{s}' \quad (1-5)$$

3. 彗差: 彗差是轴外物点的单色象差。如果发出大光束的物点不在透镜的光轴上, 则在理想象面上得到的不是象点, 而是彗星状的光斑, 这一现象称为彗差。

如图 1-9(a) 所示, 由 Q 点发出的光线经透镜上不同环带的折射后, 在理想象面 MN 上将形成不同的圆斑, 各圆斑的圆心在子午面内, 但互不重合, 而圆斑的半径与环带的半径有关, 结果在 MN 面上形成的象是照度不均匀的彗星状光斑, 如图 1-9(b) 所示。

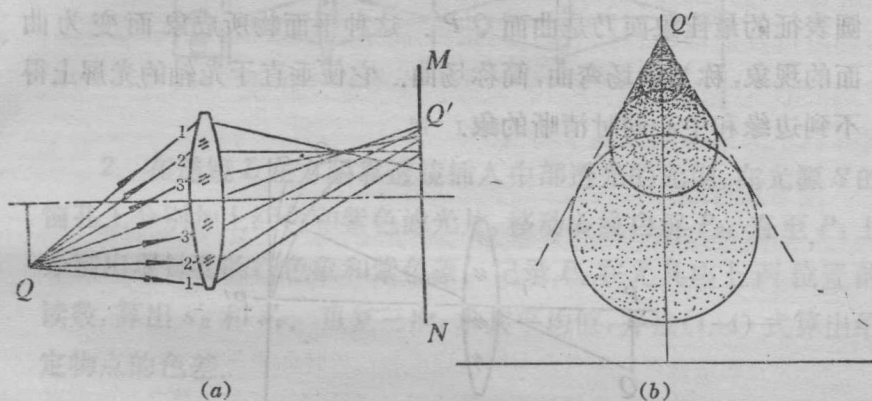


图 1-9

4. 象散. 离轴较远的物点所发出的细光束, 斜射到透镜上经折射后, 光线进行的情况如图 1-10 所示。成象光束的截面一般是椭圆, 但其中有两个位置为直线(子午焦线和弧矢焦线), 另一个位

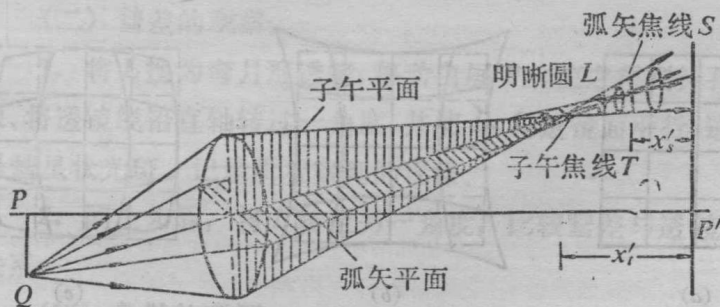


图 1-10

置为最小明晰圆。这种从一物点发出的光束经折射后，交成两条焦线的现象称为象散。

象散的大小常以两焦线之间的距离表示，即

$$ST = x'_i - x'_s. \quad (1-6)$$

5. 象场弯曲：垂直于光轴放置的平面物经透镜成像时，由于象散的存在，轴外不同物点发出光束的子午焦线和弧矢焦线的位置不同。它们分布在与光轴对称的两个曲面 TP' 、 SP' 上，而与理想象面在光轴上的 P' 点相切，如图 1-11 所示。因而，以最小明晰圆表征的最佳象面乃是曲面 $Q'P'$ 。这种平面物所成象面变为曲面的现象，称为象场弯曲，简称场曲。它使垂直于光轴的光屏上得不到边缘和中心同时清晰的象。

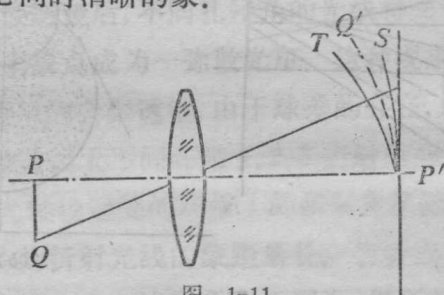


图 1-11

6. 畸变：物体经透镜成像时，若透镜对离光轴距离不同的物体上各部分的横向放大率不同，则所成象与原物不相似，如图 1-12(a) 所示，一方形网格经透镜后所成的象成为图中(b)和(c)的形

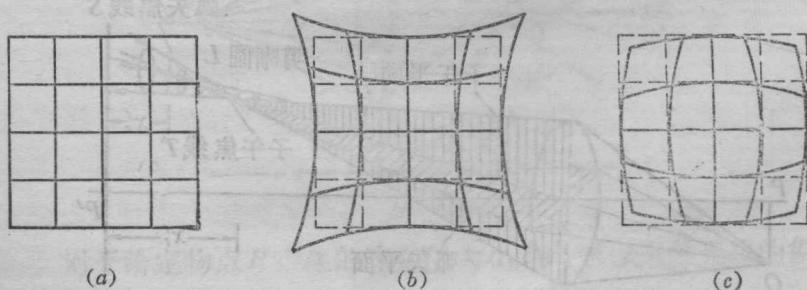


图 1-12

状。这种现象称为畸变。

步骤和要求:

(一) 色差和球差的观测:

1. 如图 1-13 所示, 将光源 S , 聚光透镜 L_1 , 针孔屏 P_1 、待测平凸透镜 L 及白屏 P_2 置于光具座上并使之共轴。调节 L_1 , 使 S 发出的光聚焦于针孔上。

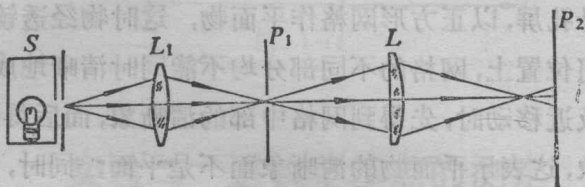


图 1-13

2. 在透镜 L 左方紧靠透镜插入中部透光的光阑, 在光源 S 的窗孔上分别加上红色和紫色滤光片, 移动 L 或白屏 P_2 , 直至 P_2 上分别出现针孔的红色象和紫色象。记录 P_2 在光具座上两位置的读数, 算出 s'_R 和 s'_V 。重复三次, 求其平均值, 并按(1-4)式算出给定物点的色差。

3. 取下滤光片, 移动白屏 P_2 , 使 P_2 上得到针孔的清晰象, 记录 P_2 的位置, 算出 s' , 重复三次, 求其平均值。将中部透光的光阑换以边缘透光的光阑, (不能变动透镜 L 的位置), 依同样的方法测出 s' , 求其平均值, 并按(1-5)式算出给定物点的球差。

(二) 彗差的观察:

1. 将 L 换为弯月形透镜, 移动白屏 P_2 , 使之得到针孔的清晰象、将透镜绕铅直轴转过一角度, 并使 P_2 与透镜面平行, 这时象将呈彗星状光斑。记录所观察到的现象。

2. 同上步骤, 将 L 转至另一角度, 比较彗差与透镜转角的关系。

(三) 象散的观测: