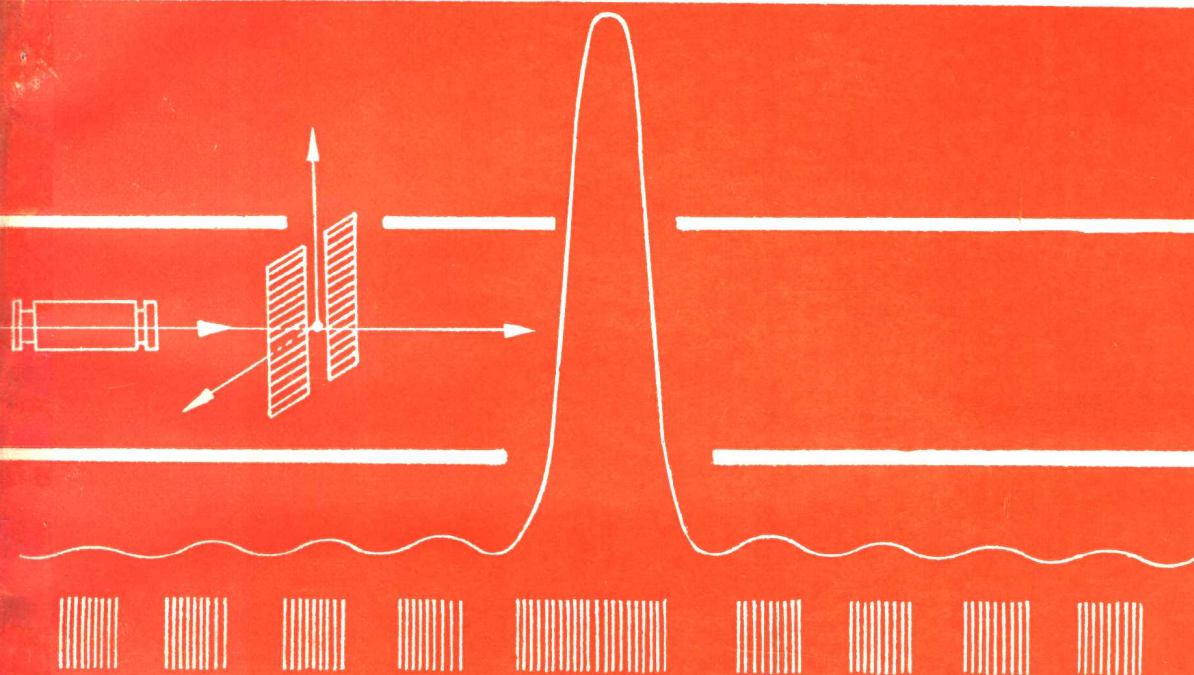


# 大学物理实验

## 光学部分



西南七所高等院校合编

西南师范大学出版社

# 大学物理实验

---

## 光学部分

云南师范大学 重庆师范学院

四川师范大学 四川师范学院

西南民族学院 云南民族学院

西南师范大学

合 编

西南师范大学出版社

## 内 容 简 介

本书系参照国家教委最近制定的综合大学及高等师范院校物理专业四年制《普通物理实验教学大纲》光学部分,在西南几所高等师范院校自编教材的基础上,扬长避短,统编而成。

本书可作各高等院校物理专业本科、函授、夜大、电大物理实验课教材,也可作其它专业有关课程的参考用书。

### 大学物理实验(光学部分)

张和民 主编

---

西南师范大学出版社出版

(重庆 北碚)

新华书店重庆发行所发行

重庆新华印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 1/16 印张: 9.25 字数: 231 千

1990年12月第一版

1990年12月第一次印刷

印数: 1—4,000

\*

ISBN 7-5621-0458-0/O·34

---

定价: 2.95元

## 前 言

《大学物理实验》光学部分，是西南地区七所高等师范院校函授教育协作会，组织编写的一本普通物理光学实验教材。它的主要对象是高等师范院校物理系本科生和函授生。也可作为综合大学、工科院校有关专业教师、学生的实验、教学参考书。

本教材是参照国家教委最近制定的综合大学及高等师范院校物理专业四年制《普通物理实验教学大纲》光学部分的要求编写的。其内容和题目都超过一学期的课时计划，各校可根据实际情况选用，其它内容可供读者参考。考虑到师范院校的培养目标、学生来源及函授生的特点，本书在编写过程中，注意到了各个实验的相对独立性。增加了一些装置简易的实验，如用读数显微镜测量固体、液体的折射率；简易法测光栅常数等。为了加强对学生动手能力的训练，把《分光计调节》编为一个独立的实验。本书也注意到了基本实验、提高性实验和选做实验在编写上的层次。每个基本实验的内容都写得较为详细，并编有[预习题]，帮助学生预习实验。提高性实验和选做实验则有意识地编写得简练些，以便培养学生独立思考和动手实验的能力。

本书的大部分内容都是各位教师，在长期从事实验教学的基础上，参考兄弟院校的教材，结合本地区的情况，取长补短，编写出来的。云南师范大学王瑞丽编写《分光计调节》、《三棱镜色散曲线测绘》、《透明介质折射率测定》、《光栅衍射》；张雄编写《旋光现象和量糖计》、《光电效应》、《菲涅耳反射公式》。云南民族学院刘函哲编写《阿贝成象原理和空间滤波》；高飞编写《小型棱镜摄谱仪》。四川师范大学李旭编写《发光强度测定》；蹇继勋编写《牛顿环》；肖建华编写《单缝和双缝衍射的光强分布》；潘学军编写《单色仪》；陈钢编写《氦氖激光束发散角测定》。西南民族学院张广祥编写《全息照相》。四川师范学院李涤恶编写《照相技术》；刘兴连编写《暗室技术》。重庆师范学院冉竹玉编写《薄透镜焦距测定及象差观测》、《平行光管的调节和使用》、《感光乳胶特性曲线测绘》；顾长鑫编写《望远镜、显微镜放大率测定》；熊开壁编写《双棱镜》；谢伦编写《迈克尔逊干涉仪》；西南师范大学张和民编写《前言》、《绪论》、《透镜组基点测定》、《偏振光分析研究》、《附录》，并主编全书。

由于编者水平有限，错误之处在所难免。恳请同行和读者批评、指教，表示谢意。

编 者

一九八九年十月

# 目 录

绪 论	(1)
一、光学实验课的作用	(1)
二、光学实验的特点	(1)
三、做光学实验应注意的事项	(2)
四、学习光学实验的基本方法和要领	(2)
1. 光路调整方法	(3)
2. 视差判别法	(3)
3. 左右摆动定位法	(3)
4. 半近调节法	(4)
5. 光学助视、测量仪器一般使用方法	(4)
6. 光源的选择	(5)
7. 象的亮度和对比度要求	(5)
8. 如何去伪存真	(6)
实验一 薄透镜焦距测定及象差观测	(7)
1-1 薄透镜焦距测定	(7)
1-2 单透镜象差观测	(9)
实验二 平行光管的调节和使用	(13)
2-1 平行光管的调节	(14)
2-2 测定薄透镜焦距	(14)
2-3 测定平板玻璃的平行度	(15)
2-4 测透镜分辨率	(15)
实验三 分光计调节	(18)
实验四 三棱镜色散曲线绘制	(25)
4-1 测量三棱镜的棱镜角	(25)
4-2 三棱镜的色散曲线	(26)
实验五 透明介质折射率测定	(31)
5-1 用读数显微镜测量	(31)
5-2 用分光计测量	(33)
5-3 用阿贝折射仪测量	(35)
实验六 透镜组基点测定	(38)
实验七 望远镜、显微镜放大率测定	(41)
实验八 发光强度测定	(45)

实验九 照相技术	(48)
实验十 暗室技术	(53)
10-1 照相底片冲洗, 用反转法制幻灯片	(53)
10-2 放大照片和用翻印法制幻灯片	(58)
实验十一 感光乳胶特性曲线测绘	(61)
实验十二 牛顿环	(64)
实验十三 双棱镜	(68)
附录: 测微目镜简介	(70)
实验十四 迈克尔逊干涉仪	(72)
14-1 用迈克尔逊干涉仪测波长	(72)
14-2 测钠光 $D$ 双线波长差及白光相干长度	(75)
实验十五 单缝和双缝衍射的光强分布	(78)
实验十六 光栅衍射	(82)
16-1 在分光计上进行衍射光栅实验	(83)
16-2 简易法测量光栅常数	(84)
实验十七 偏振光分析研究	(86)
实验十八 旋光现象和量糖计	(93)
实验十九 全息照相	(96)
19-1 透射式全息照相	(97)
19-2 反射式全息照相	(99)
19-3 彩虹全息照相	(101)
附录一 全息照相的基本条件	(102)
附录二 感光片的处理程序及药液配方	(103)
实验二十 小型棱镜摄谱仪	(105)
实验二十一 单色仪	(108)
21-1 单色仪定标	(108)
21-2 测滤光片的光谱透射率	(110)
实验二十二 光电效应	(112)
附录一 用示波器和微电流计测普朗克常数	(114)
附录二 ZC36型微电流测试仪使用说明	(115)
实验二十三 菲涅耳反射公式	(117)
实验二十四 阿贝成象原理和空间滤波	(120)
实验二十五 氦氖激光束发散角测定	(123)
附录1 实验常用光源	(127)
一、白炽灯	(127)
二、气体放电灯	(127)
三、闪光灯	(130)
四、激光	(131)
附录2 实验常用数表	(132)

表1	国际制词头.....	(132)
表2	国产标准光强灯.....	(132)
表3	国产光通量标准灯.....	(133)
表4	可见区定标用已知波长.....	(133)
表5	一些常用元素谱线波长.....	(134)
表6	几种常用元素的灵敏线.....	(136)
表7	几种常用激光器的主要谱线波长.....	(137)
表8	常用物质的折射率值.....	(138)
附录3	汞灯的可见光谱图.....	(140)

# 绪 论

## 一、光学实验课的作用

在当代科学技术中，光学知识的应用无处不有。光学仪器的设计制造离不开几何光学。精密光学计量仪器把长度量的测量提高到 $0.1\mu\text{m}$ 的数量级。利用光的干涉原理可以测出钠黄光双线的波长差为 $6\text{\AA}$ 。摄谱仪能分析物质的组成和含量，乃至原子光谱的精细结构，其分辨率可达 $0.01\text{\AA}$ ，激光、全息、薄膜、光纤等新技术的出现，更把古老的光学推到了五光十色的境界。同时，它也带动了其它学科和技术的进步。大到天体，小到分子、原子的内部结构，无不用上光学的理论和技术。今天的学习就是为进一步发展光学和更好的应用光学技术，打下良好的基础。

光学实验是《普通物理实验》课的一个组成部分，是一门基础课程。其目的是：

1. 学好并掌握光学的一些基本规律、实验技术和光学量的测量方法。如长度、角度的精密测量；媒质的折射率，透镜、面镜、光组焦距的测量；仪器的放大率、分辨率、光波波长的测量技术和方法；学会摄影、暗室冲洗制作照片和幻灯片的技术等。

2. 了解一些基本的光学实验仪器和测量仪器的结构原理，学习调整、使用方法。如光具座、测节仪、测微目镜、显微镜、望远镜、照相机、幻灯机、放大机、平行光管、折射计分光仪、光度计、迈克尔逊干涉仪、偏光实验仪、摄谱仪、单色仪等，并了解光学仪器在精密测量方面的应用。

3. 加深对成像、象差、基点、干涉、衍射、偏振、光谱、色散、全息、空间滤波等概念的认识和理解，进一步认识光的本质。

4. 熟悉白炽灯、卤钨灯、日光灯、钠光灯、水银灯、氢光管、He-Ne激光器等光源的发光机理、光谱图象、使用条件等，能正确、合理的选用光源。

鉴于光学实验一般是在力、热、电磁学实验之后，学生已掌握了一些基本的实验知识、技能和方法。如实验数据的处理、误差分析等。光学实验应着重于对一些实验仪器的组装、调试，实验现象的观察、分析、总结，培养探索、求新、开拓的精神和实践技能。使学生能达到具有初步的设计光学实验，验证某一定律，测定某一物理量的能力。

## 二、光学实验的特点

各学科的实验，由于原理、内容、对象的不同，因此研究的方法和需用的器材也就不同。光学实验较之力、热、电磁学实验之最显著的差别是，几乎全部实验所观测的都是光源或被照明的狭缝(或孔)，通过光学器件后所成的象(虚象或实象)，或光强度的再分布。于是它的特点是：

1. 需消除干扰光。因此，实验多在暗室或半暗的室内进行。

2. 所用器件如透镜、面镜、棱镜、光栅、灯泡，及光学仪器中的关键部件，皆用玻璃



制成。性脆，且十分精密。应注意环境的洁净。

3. 较多的实验都需用助视光学仪器，如测干涉条纹的宽度要用测微目镜；干涉法测牛顿环的半径或直径要用测量显微镜；光栅衍射角，棱镜顶角、偏向角的测量要用分光计（带望远镜）等。这些仪器多为单筒结构，使用单眼视力。因此易使眼睛疲劳。

4. 一些实验现象是“光源”通过一些光学器件后形成的，它有一定的“光路”。当条件不满足时，现象不明显或根本看不到。光路是看不见摸不着的。这就需要学生认真搞清楚各个实验的原理，各器件的作用，并掌握一定的调节方法和技术。应要求学生在实验中多动脑、勤动手，找出调节的最佳方法。克服以往做实验只满足于测一些数据，写一份实验报告完成任务的思想。

### 三、做光学实验应注意的事项

1. 光学实验所用的器件多用脆性的玻璃制成。光学仪器中的透镜、分划板等也由玻璃制成。使用时应防止碰撞、跌落，避免灰尘、潮湿、腐蚀性气体的侵蚀。应轻拿轻放，注意室内清洁卫生。有防尘盖者，用后应盖好防尘盖。

2. 不可用手指触摸器件和光学仪器的光学面，取用时只能触摸非光学面。若有尘埃，指纹污染，应报告指导教师处理。不允许用手帕、纸张自行处理。全息光栅膜层薄、粘着不牢，严禁自行处理其上的污渍。

注：光学表面污渍处理方法：

先用洗耳球吹掉上面的灰尘，再用软木杆裹的脱脂棉球轻拭一次后，换用新棉球蘸50%的酒精和50%的乙醚混合液轻擦污渍。待表面的清洗液干后，再换用干脱脂棉球轻擦。一次不行可多次清洗。不允许擦出划道和损伤镀的膜层。

3. 因室内较黑暗，光学器件应放在不碍手的前方。不可放在书、本上，以免不小心使器件跌落破损。

4. 光学仪器较精密，不可随便调动。必须在弄清楚每个部件和旋钮、螺钉的作用之后，才能转动。如测微目镜的读数鼓轮，是移动叉丝分划板的，必须在用眼睛观察时才可旋转鼓轮。否则，叉丝移出分划板刻度尺之外后，会使分划板卡死，不能使用。

仪器上的调整螺钉，不可调得太紧、太松，如迈克尔逊干涉仪二平面反射镜上的调节螺钉，旋得太松，条纹会跑动；旋得过紧，久而久之，螺纹磨损大，造成打滑现象，使调节失灵。

5. 使用光源时要特别注意工作电压，是否带有镇流器，绝不可盲目接用。不可随便提升工作电压。钠光灯、水银灯带有镇流器，不可将插头插错。水银灯有较强的紫外辐射，不可直视太久，以免灼伤眼睛。He-Ne激光器亮度很高，不可直接用眼正视光束。需通过扩束，降低光能密度后才能观看，以免刺伤视网膜，造成失明。

### 四、学习光学实验的基本方法和要领

光学实验的内容主要包括几何光学和物理光学两大部分。几何光学的内容主要是通过确定透镜成像的位置、大小、清晰程度等来研究其规律的。如透镜或光组的物、象关系式  $\frac{1}{S} -$

$\frac{1}{S} = \frac{1}{f}$ , 放大率公式  $\beta = y'/y$  等, 测量的线度较大。而物理光学主要是测量干涉或衍射条纹之间的宽度或角度, 测量条纹的移动量或衍射花样光强的分布等。测量线度很小, 与光波波长同数量级。因此, 要求测量的精度很高。如测钠光的波长为  $0.5893\mu\text{m}$ , 其黄双线的波长差为  $6 \times 10^{-4}\mu\text{m}$ 。应掌握不同的对象采用不同的方法来研究和解决。学习光学实验的基本方法有:

### 1. 光路调整方法

在光学实验中, 有些测试仪器的刻度尺与被测对象不在同一平面。如光具座、分光计、测量显微镜等。这就要求在进行测量前, 进行必要的调整, 使被测对象决定的光路与刻尺平行。否则, 会引入测量误差。光路是不可见的。在分光计上进行的实验, 可用自准直望远镜, 采用半近调节法调节; 在光具座上进行的观测的实验, 一般先用目视法估调器件的等高、共轴。也可用一白屏(或白纸), 在光路中的各段承接光斑, 看光束是否通过各器件中央部位。薄透镜焦距测定实验的进一步调节, 是在镜后置平面反射镜, 用自准直原理使反射象与物重合。观察象屏上大象、小象(共轭法时)中心是否重合, 也是调节、检验的一种方法。

双棱镜干涉测波长实验、欲测二虚光源间距  $d$  时, 多采用加一凸透镜在干涉场中, 利用虚物可以成实象的方法, 只要用测微目镜测出二虚光源的象的间隔  $d'$ , 记录物距  $S$ , 象距  $S'$ , 就可算得  $d$  之数值。也可用共轭法测出大象间距  $d_1'$  和小象间距  $d_2'$ , 用相应的公式计算出  $d$  值。不管用何种方法, 都应按要求调好光路。否则, 在目镜中看不到缝象。或只看到小象看不到大象, 或者相反。可用一白纸片在透镜和目镜间遮挡光束承接缝象。再一面移动透镜, 一面移动白纸到目镜框前, 看二缝象是否能正中地进入目镜筒内。若有偏离, 应适当调节有关器件的高度和水平面内的侧向位置。用共轭法时, 对共轴调节要求更高。只要掌握了上述方法, 不难很快调好。

### 2. 视差判别法

光学实验中的助视仪器, 几乎全是单目观测, 被测对象(条纹或谱线)是否与标尺或准线共面, 容易被忽视。这也会引入测量误差。

如用分光计测光源通过光栅后的衍射角, 应使谱线象面与望远镜目镜中的十字(或叉丝)分划板共面、谱线与叉丝交点重合后读数才正确。若谱线与分划板准线(正中竖线或叉丝交点)都在视轴上, 很难判断二者是否共面。但只要头部左右或上下稍加晃动, 就可发现二者之间有相对位移(错开)。这说明二者不共面, 有视差存在。偏移量愈大则视差愈大。这就需要调节仪器, 使二者在头部晃动时, 无相对位移(不错开)为止。

凡使用助视仪器进行测量前, 都要考虑、检验、并消除这种视差。

#### 视差原理:

它是一种视觉差异现象。如图 1 示, 被测物  $y$  与刻尺不共面。当眼在  $A$  点观测时, 物高为  $A'O$  ( $\neq y$ ); 在  $B$  点观测时, 物高为  $B'O$  ( $\neq y$ ), 皆不正确。只有当物  $y$  与刻尺重合(共面)时, 不管眼的位置如何改变,  $C$  点始终与  $C'$  点重合, 即无视差。 $C'O$  ( $= y$ ) 才是物体  $y$  的真实高度。

### 3. 左右摆动定位法

某些光学实验, 如薄透镜焦距测定, 需要确定象的准确位置。由于理想点象的前后都有同样大小的弥散圆。当弥散圆小到某一数值时, 肉眼就不可分辨, 认为是清晰的点象了。即

在理想点象前后存在一个 $\Delta l$ 区间。在 $\pm \Delta l$ 区间内的象，都可认为是清晰的。如果多次测量，象屏皆从前推后来定象位时，很可能象屏皆落在 $-\Delta l$ 区间内，这样的测量值皆偏小。反之，则偏大。若采取前、后逼近的方法。即向前，向后移屏相同次数，再取平均值。就可能达到取长补短的效果，更接近真值。

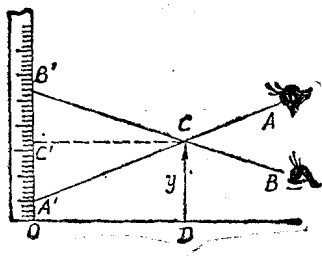


图 1

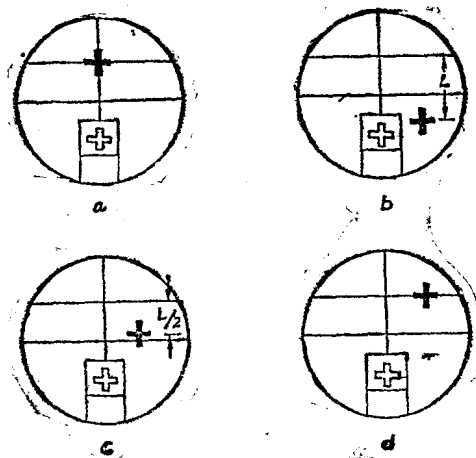


图 2

#### 4. 半近调节法

当用分光计进行角度测量时，需调整光路，使光轴与机座中的刻度盘平行。即需调节望远镜的光轴与仪器的转轴正交；放置光学元件的小平台的平面法线与转轴重合（或小平台上器件表面法线与转轴正交）；平行光管与望远镜合轴等。常采用自准直法调节。其方法是：小平台上放置标准平面反射镜，由自准直望远镜物（目）镜焦面上的十字透光窗口发出平行光射至平台上的反射镜上。当望远镜的光轴与平面镜正交时，应看到反射回望远镜的光，在目（目）镜焦面上成一倒立实象（十字）。这十字象的位置与十字窗对称，如图a示。将小平台连同平面镜转过 $180^\circ$ 后，物象可能不对称了，如图b示（偏离严重者，在目镜中看不到十字象）。说明小平合法线与转轴不重合，或望远镜光轴与转轴不正交。此时应调节望远镜的俯仰角（因竖直面内不正交）及小平台的水平调节螺钉。调节方法是：调节望远镜的俯仰角，使象移到离正确位置距离的 $l/2$ 处，如图c图示。再调节小平台的水平调节螺钉（影响平面镜法线倾斜度最大的那一颗），使象移到正确高度，如图d示。此时再微动望远镜或小平台，就会达到如图a示状态。

因使象移动 $l/2$ 的距离是估计值，将平台再转过 $180^\circ$ 后，象的位置不一定正确，但偏移量较第一次小得多，已接近正确位置。重复上述调节方法，直到平面镜在平台的任意位置上，从镜面反射回望远镜所成的象，都在正确位置处止。这种调节方法叫“半近”调节法。不用此法是调不好分光计的。

平行光管实验中，平行光管十字分划线共轴的调整，必须使用此种调节方法才能达到目的。

#### 5. 光学助视、测量仪器一般使用方法

很多光学实验都要使用光学助视仪器，如测微目镜、显微镜、望远镜等。使用这类仪器，首先应进行视度调节，以适应观测者的视力。即首先调节接目镜环套或推拉目镜组，看清焦

面上的刻度尺或分划线。

对仪器的所谓调焦，就是通过调节调焦旋钮或环套，改变物镜和目镜的位置关系，使物体的象成在明视距离之外，能看到最舒适、最清晰的象。对于显微镜，是移动整个镜筒，即调工作距离；对于照相机，则是改变镜头与物体和象面间的距离，使物体的象清晰地落在对焦板(象面)上。调焦清晰与否的判断：主要是观察象的明、暗分界线或轮廓线。清晰时，分界、轮廓线细锐，不发虚，线上的缺陷都可见到。

因多数测量或助视仪器，皆为单筒式，需用单眼视力。由于习惯，部分学生常是一只眼紧闭，用另一只眼观测、调试。时间稍长，两眼都很疲劳。应练习并养成两眼同时睁开、放松，只用一只眼观测的本领，象战士双眼睁开瞄准打靶一样。只要平时多练习几次就能掌握、习惯了。

若测试时间较长，眼感不适时，可暂停片刻，眺望远方，调节一下视力，这样可保护视力。

## 6. 光源的选择

光学实验离不开光源，选择什么光源照明最好，各实验有不同的要求，应首先搞清楚。

测光波波长和与它有关的物理量，应选用单色光。如用牛顿环测透镜的曲率半径  $R(= (r_{i+m}^2 - r_i^2)/m\lambda)$ 、用双棱镜干涉测波长  $\lambda(= d \cdot \Delta x/D)$ 、用迈克尔逊干涉仪测波长  $\lambda(= 2\Delta d/N)$  等，宜选用钠光灯( $\lambda=0.5893\mu\text{m}$ )或He—Ne激光器( $\lambda=0.6328\mu\text{m}$ )等单色光源。

偏振光分析实验，因  $\lambda/2$ 、 $\lambda/4$  波长片是用钠光标定的，也应该用钠光源照明效果才好。

三棱镜色散曲线测绘，作小型棱镜摄谱仪和单色仪的定标曲线实验，宜选用谱线较多、有足够亮度的水银灯作光源。单缝、双缝、圆孔等衍射的光强分布曲线测绘，杨氏双缝干涉，阿贝波特实验与空间滤波，全息照相实验，该用He—Ne光源。

对实验数据要求不高的实验，如薄透镜焦距测定和光组基点实验等，是用光源照明箭孔，通过确定箭象的清晰位置来测定的，宜用价格低廉的柱面波光源，如日光台灯，而不宜用点光源(球面波)。做象差观测实验，则用亮度稍大的白炽卤钨灯(复色光)为好。

## 7. 象的亮度和对比度要求

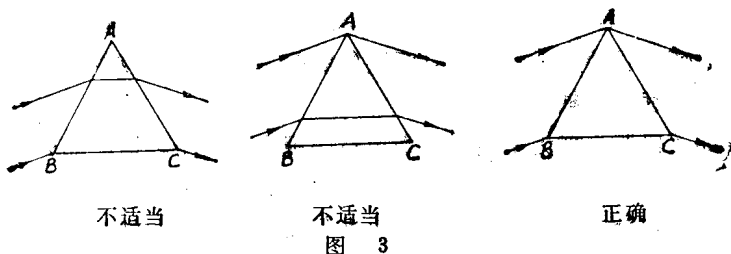
多数光学实验要观测的是光源通过光学器件后的象。这就要求象的亮度或对比度高为好。而象的亮度或对比度是受选用光源的光强、背景光和光学器件本身的光学特性(如全息光栅的衍射效率)的限制的。下面只讨论照明条件的影响。

若视场中象的亮度不大，首先应检查照明方式和条件，是否充分利用了光源发出的光能。一些学生经常忽视这种检查、调整工作。往往是照实验装置图摆好各器件后，就忙于测数据。观察到的象亮度和对比度小，以为本该如此，从不怀疑、检查照明条件是否恰当。如测薄透镜焦距实验，一些学生常是将日光台灯放在箭屏后就测数据。象的亮度很低，一则灯离箭屏较远(照度有距离平方反比定律限制)，二则灯管偏离光轴。只要稍加动手，移动灯管，象的亮度就会改善。若象的对比度小，也有如下原因。一则室内其它光源干扰，使象屏的本底亮度增大，二则用象屏的黑面来承接象，黑面对光能有吸收作用。

用分光计测光栅衍射角和三棱镜的色散曲线实验，也有类似问题。没有把灯的最亮部位放在通光狭缝的正中是一个原因。另一个原因是光栅或三棱镜在小平台上的位置或高矮不恰当造成的，没能完全利用从平行光管射出的光能，如图3示。对于光栅，若栅面未完全照明，

还会降低它的分辨本领。因光栅的分辨本领与所利用的缝数 $N$ 成正比。

对于双棱镜的实验，要求通过狭缝的光被棱镜平分。即棱镜两半部分应得到同等的照明。还要求狭缝与棱平行、缝宽适当诸条件，才能得到清晰的干涉条纹。



用摄谱仪观察光谱管的谱线时，也有类似问题。光谱管接近线状光源，且亮度有限，只有当光柱靠近狭缝并平行于狭缝时，才能取得较好照明，否则谱线很暗，一些谱线无法见到。首先应调整光源位置，可一面观察谱线，一面在狭缝前横向缓缓移动灯管，即可找到最佳照明位置。切不可盲目采用提升电压的办法，来达到提高谱线亮度的目的。这会严重缩短灯管使用寿命，甚至立即烧毁灯管。

#### 8. 如何去伪存真

在实验中，有时可能观察到某些其它的现象。这很需要我们用学过的理论、知识来分析、研究，不要轻易放过它。现象的产生必有条件和原因，要多观察、思索，分析出可能的条件或原因。然后通过实践的办法来检验你的想法。这是应用知识，获取知识的重要途径。

如用自准法测凸透镜焦距时，移动透镜，物屏上可能两次出现倒立、等大而清晰的实象。再仔细观察、试验，可发现两次象的亮度不同。当出现清晰象时再转动平面反射镜，有一次的象要随着运动(因改变了射向平面镜光线的入射角)。另一次的象则与平面镜毫无关系。于是可断定，与平面镜有关者是正确象(由实验原理决定)。另一个只能是凸透镜后表面(凹面)反射造成的，因此与平面镜无关。如果学生感兴趣，还可深究一步，测出焦距、象距，物距等实验数据，算出透镜的曲率半径或折射率值。

又如用最小偏向角法测等腰直角三棱镜的折射率时，转动望远镜观察，可看到多个平行光管的狭缝象。经分析，有两个象是两棱面反射形成的，一个是折射象。通过分析，可判定谁是折射象。再采用分面遮挡使象消逝，或转动平台，望远镜跟踪观察，看缝象有无最小偏向就可检验判断是否正确。

以上只介绍了几种基本的实验方法和要领，还有很多方法需要学生通过实践去发现、去总结。“实践出真知”，只要学生认真对待每一个实验，不是为了测几个数据、凑一份实验报告完成任务了事。而是从实验原理到方法，从仪器结构到操作使用，从现象观测到数据记录、处理，都搞得很清楚、踏实，实验中又多思索、勤动手，不放过任何一个现象，求个水落石出，并注意培养自己做实验的兴趣和爱好，一定会学到许多在书本上没有的东西，使自己在理论和实践两个方面都有长足的进展，达到实验课教学应有的目标。

## 实验一 薄透镜焦距测定及象差观测

【实验目的】 ●学会测量透镜焦距的几种方法 ●了解单透镜的象差现象及其测定方法  
●熟悉薄透镜物、象公式及其成像规律

### 1-1 薄透镜焦距测定

【实验原理】 光学仪器种类繁多，透镜是光学仪器中最基本的元件。反映透镜特性的一个重要参量就是焦距。测定凸透镜焦距常用的方法有平面镜法(自准直法)、位移法(两次成像法或大象、小象法或贝塞尔法)；凹透镜焦距的测定用物距—象距法。

为了能正确地使用光学仪器，必须掌握透镜成像的规律。

透镜在近轴条件下的物象公式有：

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

或

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

式中 $s'$ 为象距， $s$ 为物距， $f'$ 为第二焦距。

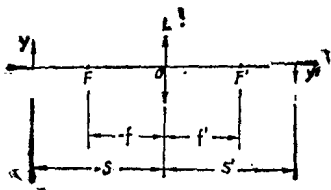


图 1-1

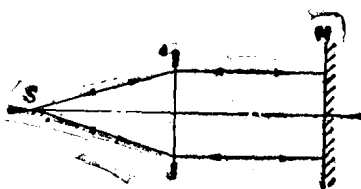


图 1-2

上述各量的原点为透镜的光心如图1-1示。若已知 $s$ 、 $s'$ ，则可用(1-2)式求得该透镜的焦距 $f'$ 。

#### ●1. 凸透镜焦距的测定

##### ●(1) 自准直法(平面镜法)

如图1-2所示，在待测透镜 $L$ 的一侧放置被光源照明的有孔物屏，在另一侧适当距离处放一块平面镜 $M$ 。移动透镜的位置可改变物距的大小，当物距正好是透镜的焦距时，物上任一点发出的光，经透镜折射后为一束平行光，然后被平面镜反射回来，再经透镜折射后必然会聚在它的焦平面上。即在原物屏上经反射回来的象是一个与原物大小相等的倒立实象。在光具座上读出物屏与透镜间的距离，即为该透镜的焦距。

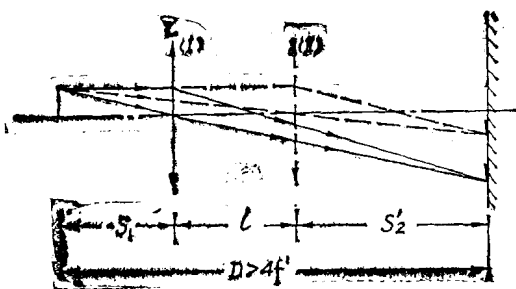


图 1-3

##### ●(2) 位移法

如图1-3所示，物与屏之间的距离为 $D$ ，大于 $4f'$ ( $f'$ 为待测透镜的焦距)。保持物屏与象

屏位置不变，移动透镜 $L$ ，必在象屏上两次成像。透镜在位置(I)时，屏上将出现一个放大、倒立而清晰的实象；当透镜移到位置(II)时，屏上又得到一倒立、缩小的清晰实象。设两次成像时透镜移动的距离为 $l$ (绝对值)，位置(II)与象屏间的距离为 $S_2'$ ，则：

对位置(I)而言， $S = -(D-l-S_2')$ 及 $S' = l+S_2'$ 代入(1-2)式得：

$$f' = \frac{(D-l-S_2')(l+S_2')}{D}$$

对位置(II)而言，有 $S = -(D-S_2')$ 及 $S' = S_2'$ ，

则

$$f' = \frac{(D-S_2') \cdot S_2'}{D}$$

由以上两式可解得：

$$S_2' = \frac{D-l}{2}$$

从而可得：

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

由(1-3)式可知，只要测出 $D$ 、 $l$ ，就可算出 $f'$ 之值。

### ●2. 凹透镜焦距的测定

以上测量凸透镜焦距的方法不适用于凹透镜，因为它是一种发散透镜，不能对实物成实象。现介绍虚物成实象的方法，从而测得凹透镜焦距。如图1-4所示，先使物 $AB$ 发出的光经凸透镜 $L_1$ 后形成实象 $A'B'$ ，然后在 $A'B'$ 和 $L_1$ 之间放入待测凹透镜 $L_2$ 。 $A'B'$ 对凹透镜而言为虚物，凹透镜对虚物 $A'B'$ 成一实象 $A''B''$ ，移动白屏可以接收其象。由公式：

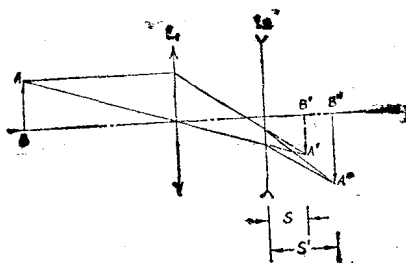


图 1-4

$$f' = -\frac{SS'}{S-S'}$$

便可计算出凹透镜的焦距。

【实验仪器】 光具座 发散透镜 会聚透镜(两块) 狭缝光源 白屏 平面反射镜

【实验步骤】 ●1. 光具座上各元件共轴的调节，即把透镜及其它元件调节到有共同的光轴，并且光轴与光具座平行，调节如下：●(1)粗调：把物屏(亮缝)、透镜、白屏等用夹具夹好后，先将它们靠拢，再调节高低、左右，使光源、物屏、透镜等元件的中心及屏幕中央大致在一条直线上，并和光具座平行。●(2)细调：靠仪器或成像规律来判断。例如图1-3的实验，如果物的中心偏离透镜的光轴，那么成的大象和小象的中心不重合，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. 自准直法测凸透镜的焦距(平面镜法)

在凸透镜前放一带箭孔(或网格)的物屏，用光源将物屏照亮。在凸透镜后放一平面反射镜，仔细调节物与透镜的距离，使经过透镜折射的光反射回物屏成一清晰、与物等大、倒立的实象。读取物屏与透镜间的距离即为该透镜的焦距。测三次取其平均值，并作出光路图。

●3. 用位移法(共轭法)测凸透镜的焦距

●(1) 把物屏与象屏放在光具座上,使其间距 $D > 4f'$ 。

●(2) 把待测透镜放在物屏与象屏之间,移动透镜,在象屏上应看到两次成象。记录透镜二次成象清晰时的位置和物屏、象屏间距 $D$ 。由这两个位置算出距离 $l$ ,并由(1-3)式求 $f'$ 。改变象屏的位置重复三次,求平均值。

●4. 测量凹透镜的焦距

●(1) 将物屏 $AB$ 放在凸透镜 $L_1$ 二倍焦距以外处,经凸透镜后在屏上得到一缩小倒立的实象 $A'B'$ 。记下此象在光具座上的位置坐标为 $x_1$ 。●(2) 将待测凹透镜 $L_2$ 放在凸透镜 $L_1$ 与 $A'B'$ 之间适当坐标 $x_0$ 位置。调节象屏的位置,重新得到清晰而放大的实象 $A''B''$ ,记为 $x_2$ 。将数据 $S = (x_1 - x_0)$ 、 $S' = (x_2 - x_0)$ 代入(1-2)式计算出 $f'$ 。测三次求平均值。

## 1-2 单透镜象差观测

【实验原理】 在研究透镜成像时,通常把它作为理想的光学元件来对待。如假定透镜没有厚度;介质的折射率不随光的波长而变;光线在球面上折射时的入射角和折射角都很小,一切角的正弦或正切都用角本身的弧度数值代替等,因而物和象完全相似。实际上光束不是单色和完全近轴的,而透镜又具有一定的厚度,则得不到完全相似的象,两者之间存在偏差。通常把这种实际光学系统的成象与理想光学系统成象的偏差,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)的光将有不同的焦距值。如果光源不是单色光,则一束平行光线经过透镜折射后就不会交于一点,形成与各色光对应的一系列象点,从而使象变得模糊和带有颜色,这就是色差。如图1-5所示,在凸透镜成像的情况下,波长较长的色光(如红光)比波长较短的色光(如紫光)的折射率小,所以焦距较长。色差:

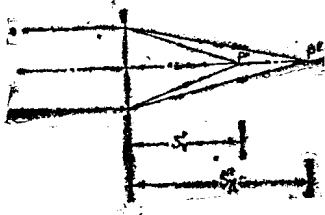


图 1-5

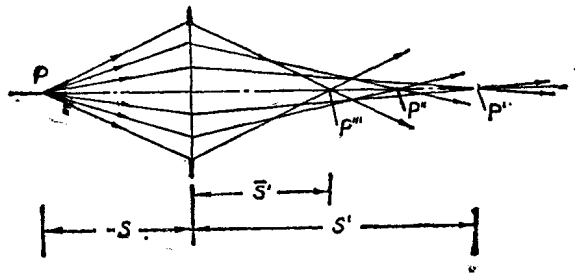


图 1-6

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

●2. 球差:光轴上某一物点发出的单色光束,若不同孔径角的光束经透镜折射后交于光轴不同位置,从而使轴上象点成一弥散光斑,这种现象称为球面象差。

如图1-6所示,会聚透镜主轴上一点 $P$ 发出单色光。近轴光束通过透镜中心部分后,交于 $P'$ 点。最边缘的光束经透镜折射后交于轴上 $P'''$ 点。从透镜的中心到最边缘,各孔径在轴上的象点从 $P'$ 到 $P'''$ ,从而在象屏上形成弥散模糊的光斑。对于给定物点 $P$ 产生的球差大小为



$\delta_s$ ，以近轴光线象点和最边缘光线的象点到透镜距离之差表示，即为：

$$\delta_s = S' - S'' \quad (1-5)$$

●3. 彗差：彗差是轴外物点的单色象差。对于一个已消除球面象差的透镜，在近轴处一点Q发出的单色光束，经透镜折射后在理想的象面上得到的不是象点，而是生成一个彗星形状的象，如图1-7称为“彗形象差”。

如图1-7(a)所示，由Q点发出的光线经过透镜不同环带折射后，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，但不重合。圆斑的半径与环带的半径有关，结果，在MN面上形成象照度不均匀的彗星状光斑如图1-7(b)所示。

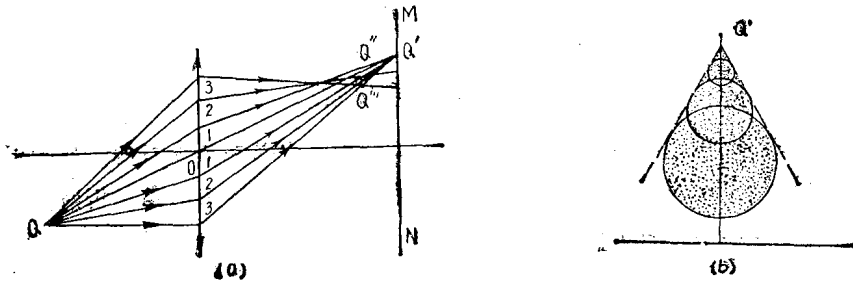
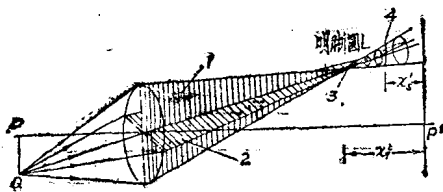


图 1-7

●4. 象散：象散是轴外单色物点的象差。当在透镜前加一孔径很小的光阑时，球面象差和彗差可基本消除。但对于离主轴很远的点光源来讲，即使入射光束的角度可能很小，然而由于光束与主轴夹角很大，出射光束也并不交于一点。把象屏放在与出射光束中心线垂直的方位来观察时，其象点将是一系列椭圆形的弥散斑。其中有两个特殊的位置，在此位置椭圆蜕化为两个线段 $aa'$ 及 $bb'$ 。这两个线段分别叫“子午焦线”和“弧矢焦线”，如图1-8所示。

此二线段互相垂直。两焦线间有一个最小圆斑称为“模糊圆”。两焦线间的距离称为“象散差”：

$$ST = x'_T - x'_S \quad (1-6)$$



1. 子午平面 2. 弧矢平面 3. 子午焦线T 4. 弧矢焦线S

图 1-8

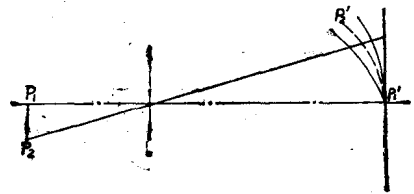


图 1-9

●5. 象场弯曲：以上讨论的四种象差都是由物面上一点经透镜折射后引起的。如果考虑整个物面的成像问题，将会发现平面物体经透镜所成的象不再是一个平面，而是一个曲面。这种现象叫“象场弯曲”。如图1-9所示，直线物 $P_1P_2$ 的象为一曲线 $P_1'P_2'$ ，当 $P_1P_2$ 绕主轴旋转一周时， $P_1P_2$ 形成一平面，而 $P_1'P_2'$ 形成一曲面。象场弯曲主要是在物体较大时发生的。因为由物体上远离主轴的点发出的光束与主轴夹角很大，所以必有象散产生，故生成的象如