

光 学

雁华 张家琨 主编

GUANG XUE
GUANG XUE

杭州大学出版社

光 学

孙雁华 张家琨 主编



杭州大学出版社

光 学

孙雁华 张家琨 主编

*

杭州大学出版社出版发行

(杭州天目山路34号)

*

浙江上虞科技外文印刷厂印刷

850×1168毫米 1/32 12.375印张 303千字

1991年8月第1版 1991年3月第1次印刷

印数: 0001—5000

书号: ISBN 7-81035-069-2/O·003

定 价: 5.40元

前 言

本书是在浙江省高等师范院校自编《光学》讲义的基础上修改完善而成的。自1984年起,《光学》自编讲义在各校试用两届,经修改又以铅印本形式试用三届,然后经过进一步的讨论,修改成书。

本书是由浙江省各高等师范院校物理系长期担任《光学》课教学并有丰富实践经验的教师集体讨论、编写的,并经孙雁华、张家琨两位教授统稿。本书汇集了各校历年来累积的《光学》课教学经验,吸取了该学科的研究成果。

在编写过程中,我们力求做到概念阐述准确,物理图象清晰,叙述深入浅出,内容符合教学大纲的要求。

光学是一门概念较抽象而实验现象又很丰富的学科。根据这一特点,我们在讲授完主要的章节后,增加了一个学生能独立操作与观察的实习课。多年的实践证明,这样的安排效果良好,深受学生欢迎,也获得同行的好评。这是本书不同于其他光学书的一大特色。鉴于实习课内容具有相对独立性,对于尚不具备安排实习课条件的学校,不讲授这部分内容,也不会影响课程的完整性。

本书可作为高等师范院校物理专业的教材,也可作为电大、夜大、教师进修学院物理专业的教材。

参加本书编写的有:杭州大学宋时瑞,浙江师范大学陆金生、陈祥清,宁波师院刘德民,温州师院朱小伟,丽水师专梁瑞茂,湖州师专陈朴深,舟山师专徐信洪,绍兴师专张家琨,杭州师院孙

雁华。

宋时瑞、俞晓鸿、杨厥正、王政等同志还为本书绘制图稿，做了不少工作，在此一并致谢。

由于水平所限，书中难免会有不少缺点与错误，恳请读者批评指正。

编 者

1991 年 2 月

目 录

前 言

实 习 课.....(1)

引 言(1)

实习 1 平面镜与透镜的成象规律(3)

* 实习 2 基本光学仪器的组合与光路分析(5)

实习 3 菲涅耳双面镜(或双棱镜)干涉现象及规律的研究(8)

* 实习 4 圆孔衍射与圆屏衍射及分辨本领的观察与研究(10)

实习 5 阿贝成象原理和空间滤波.....(11)

实习 6 椭圆偏振光的产生和检验.....(12)

(标有*的为选作题)

第一章 几何光学.....(14)

§ 1.1 几何光学的基本原理.....(14)

§ 1.2 费马原理(25)

§ 1.3 象点与平面反射镜.....(28)

§ 1.4 光在单球面上的折射和反射.....(30)

§ 1.5 近轴条件下的单球面折射成象.....(39)

§ 1.6 薄透镜.....(47)

§ 1.7 共轴球面系统及其基点、基面.....(53)

§ 1.8 理想光具组(共轴系统)的作图求象法和计算法.....(56)

§ 1.9 共轴球面系统的组合.....(61)

第二章 光学仪器.....(73)

§ 2.1 孔径光阑、入射光瞳与出射光瞳.....(74)

§ 2.2 视场光阑、入射窗与出射窗.....(78)

§ 2.3 象差.....(80)

§ 2.4	眼睛的构造和作用及非正常眼的校正	(88)
§ 2.5	放大镜、显微镜	(92)
§ 2.6	望远镜	(98)
§ 2.7	投影仪器	(102)
§ 2.8	照相机	(104)
§ 2.9	光度学简介	(108)
第三章	光的干涉	(119)
§ 3.1	光波的叠加	(120)
§ 3.2	分波阵面法产生的双光束干涉	(127)
§ 3.3	干涉条纹的可见度、空间相干性和时间相干性	(134)
§ 3.4	菲涅耳公式	(141)
§ 3.5	薄膜干涉	(144)
§ 3.6	迈克耳逊干涉仪	(153)
§ 3.7	多光束干涉和法布里-珀罗(Fabry-perot)干涉仪	(155)
§ 3.8	薄膜干涉的应用	(160)
第四章	光的衍射	(173)
§ 4.1	光的衍射现象、惠更斯-菲涅耳原理	(173)
§ 4.2	菲涅耳衍射	(179)
§ 4.3	夫琅和费单缝衍射	(190)
§ 4.4	夫琅和费双缝衍射	(197)
§ 4.5	平面衍射光栅、闪耀光栅、空间光栅	(200)
§ 4.6	夫琅和费圆孔衍射	(212)
§ 4.7	助视仪器的分辨本领	(216)
§ 4.8	分光仪器的分辨本领	(222)
第五章	光的偏振	(233)
§ 5.1	自然光和偏振光	(233)
§ 5.2	反射和折射引起的偏振	(239)
§ 5.3	双折射	(243)
§ 5.4	偏振棱镜和波晶片	(252)
§ 5.5	椭圆及圆偏振光的获得和检验	(264)

§ 5.6	偏振光的干涉	(274)
§ 5.7	应力双折射和电光效应	(283)
§ 5.8	旋光现象	(283)
第六章	光的吸收、散射和色散	(302)
§ 6.1	光的吸收	(302)
§ 6.2	光的散射	(304)
§ 6.3	光的色散	(308)
§ 6.4	相速和群速	(311)
第七章	光的量子性	(316)
§ 7.1	热辐射、普朗克(Planck)量子假设	(316)
§ 7.2	光电效应、光子、爱因斯坦方程	(321)
§ 7.3	康普顿效应	(327)
§ 7.4	波粒二象性	(332)
第八章	现代光学	(337)
§ 8.1	光的自发辐射、受激辐射和受激吸收	(337)
§ 8.2	粒子数反转	(342)
§ 8.3	谐振腔	(345)
§ 8.4	激光的单色性	(349)
§ 8.5	激光器	(352)
§ 8.6	激光的特性与应用	(354)
§ 8.7	全息照相	(357)
§ 8.8	傅里叶光学的几个基本概念	(363)
§ 8.9	阿贝成像理论与光学信息处理	(371)
§ 8.10	非线性光学简介	(377)
习题答案		(383)

实 习 课

引 言

光学课是一门概念比较抽象,内容比较庞杂,而物理现象又很丰富的课程。经验告诉我们,理论课学得较好的学生,往往在碰到实际的光学问题时,不会分析光路,对一些光学现象,也不知从何处下手去解释与解决。究其原因,我们认为:(1)学生在高中学习物理时,对光学接触很少,不象力学和电学那样,在中学时学得较多,大学时又有两次循环。所以,相对而言学生对光学要陌生得多。(2)在讲授光学现象时,一般都先在黑板上画一个光路图,然后在图上论来论去,说应该看到什么现象,实际上学生什么也没有看见,加上学生平时缺乏这方面的感性知识,因此接受时就感到比较困难。(3)在课堂上,虽然也尽可能地安排了一些表演实验,但由于教室大,人多,时间又受限制,学生不可能仔细观察,更不可能认真地去分析与寻找基本规律。所以,理解不深,学得也不活。

实验课的目的主要在使用仪器、测量数据及处理数据上,对光学中的一些重要现象与基本规律不可能有时间去仔细观察与思考。然而这些内容恰恰是学好光学不可忽视的一环,从某种程度上讲,它比目前的某些实验更重要。

针对上述问题,必须让学生多实践,多接触光学现象,尤其要将理论与现象沟通起来。为此,把《实习课》作为讲授课的一个重要辅助环节。所谓《实习课》就是在每讲完一大单元后,组织学生到实验室,按照实习课教学的要求,围绕学过的基本概念和规

律,由学生自己设计光路,自己动手调出实习课所要求的各种光学现象,并加以分析研究。实践结果证明,这样做效果很好。

根据光学课程中最基本的、必须彻底掌握的内容,参照历年来学生学习的难点,本书安排了四到六次实习课。题目如下:

实习1 平面镜与透镜的成象规律;

*实习2 基本光学仪器的组合与光路分析;

实习3 菲涅耳双面镜(或双棱镜)的干涉现象及规律的研究;

*实习4 圆孔衍射与圆屏衍射及分辨本领的观察与研究;

实习5 阿贝成象原理和空间滤波;

实习6 椭圆偏振光的产生和检验。

实习课不同于实验课。因为实验课为了培养学生的动手能力,往往安排一个人做一个实验。由于仪器套数少,而且做实验时间也较长(一般一个单元做一个实验),因此一个实验在全年级循环一次,所需的时间很长,不像实习课那样灵活。其次,实验主要侧重于仪器的使用及数据的测量与处理,而实习课则侧重于观察现象,分析和解释已经出现或者可能出现的现象。

实习课是配合理论课与实验课的一种较好的教学形式。它有助于提高光学课的教学质量,发挥学生的学习积极性与主动性,使学生较好地掌握光学课的基本内容。实践证明,它有以下几个好处:

第一,深化课堂所学的知识。学生通过课堂讲授与课后复习,对知识的了解还仅停留在书本上,由于没有亲自观察和研究现象,对所学的知识理解得不深,掌握得不牢,但在实习课上,学生要调出现象,然后再观察并分析研究各种实验现象。这样可加深对理论课的一些重要概念与基本规律的理解。

*为选作题,可根据各届学生的实际情况选定。

第二，实习课丰富和充实了所学的理论，使知识学得更活。在课堂上讲授时，为了突出所讲的内容，常把条件单一化和理想化。然而，实习时往往条件比较复杂，因此就会出现一些令人深思的现象，而且很多现象往往交织在一起出现，这在客观上给学生提供了很多分析问题的机会，解决问题的条件。很多现象经过学生认真思考，结合已学过的知识，是能解决的，而有些问题经过教师的启发或提示，他们也能得到满意的解答，这样学生学得生动活泼，而且印象也非常深。

第三，通过对一些光学现象的观察和分析，丰富了物理概念与感性知识，反过来又促进了对理论课的理解，增强了学习兴趣。

所以，实习课在光学课中占有一定的比例和地位，这完全是从几十年的教学实践中总结出来的。我们认为，实习课是老师讲好光学课，学生学好光学课的重要环节。它得到了国内外同行专家的肯定和好评，实习课的安排正是本书与其他光学书的一个主要区别。

实习1 平面镜与透镜的成像规律

目的

- (1) 掌握象的概念(包括虚象与实象)。
- (2) 巩固符号规则及作图法。
- (3) 掌握透镜与平面镜的成像规律。

仪器

光具座，光源，物体(在一薄金属片中刻出高为1厘米的箭头透

光孔作为物体，并用毛玻璃或描图纸贴近金属片，使物体发射漫散均匀光），平面镜，凸透镜（ $f' = 15$ 厘米左右），圆孔光阑（外圆与凸透镜镜框一样，能与凸透镜固定在一起，也可拿下，内圆通光直径 1 厘米左右），观察屏一块（一面贴方格纸，便于直接读出象高及放大倍数，另一面为白屏）。

步骤

(1) 整个实验在光具座上进行，先调节光源，均匀照明物体，并与透镜共轴，使象面照度也均匀。值得提出的是在整个光学实验过程中，人眼经常作为一个光学零件出现（它相当于一个正透镜与屏即眼球与网膜的作用）。

(2) 调节透镜与物之间的距离，使在观察屏上得到一个实象，并使其最清楚，然后再在透镜上放上一圆孔光阑，看其象有何变化？（象面照度是亮还是暗，象最清楚的位置是原来位置还是改变了）为什么？请说明之。

(3) 测透镜焦距。(a) 可按高斯公式 $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$ ，测出物距 s 及象距 s' ，利用符号规则求出焦距 f' 值。(b) 如图 0-1 所示，将平面镜垂直于光轴，放在透镜后面，将薄透镜沿着光轴方向与物体作相对移动，直到象与物在同一平面，而且 $\beta = -1$ ，这时的物平面即为该透镜的焦平面，透镜到物（即象）平面的距离即为该透镜的焦距，由此测出 f' 值，这叫用自准直法测透镜焦距。细心观察，当透镜再向物体方向移时，又会出现物、象重合。能否说这透镜焦距有两个值？为什么？这时去掉平面镜看象还有没有？再仔细观察，当物距 $s > f'$ ，透镜不动，而移动反射镜，在某一个位置又会出现物象重合，且物象同方向，请解释之。这个现象要很仔细做才能观察到。

(4) 分别使物距 $s > 2f'$ ， $2f' > s > f'$ 及 $s < f'$ ，观察象平面上象的大小、正倒与虚实，并用作图法与计算法熟练地进行分析与

验证(用方格纸做象平面,可直接求出 β 值)。应该注意,当 $s < f'$ 时,其虚象不能被屏所接收,借助人眼可观察到。

(5) 当物与观察屏间距离小于 $4f'$ 时,不论透镜移到何处,均得不到实象,对此进行观察,并加以说明。

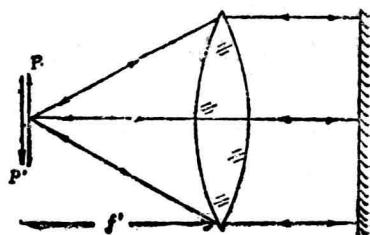


图 0-1

(6) 观察会聚透镜和平面镜组合的成像规律,如图 0-2 所示。物 P 通过透镜成一实象 P' 。使平面镜和光轴成 $i = 45^\circ$ 角,分别处在 A 处和 B 处,分析象的虚、实,并分别用屏来观察。仔细观察,象有几个?它们与入射角 i 有关。这几个象的亮度又如何?请记下其现象,试说明这现象(严格地说要借助于菲涅耳公式来说明)。

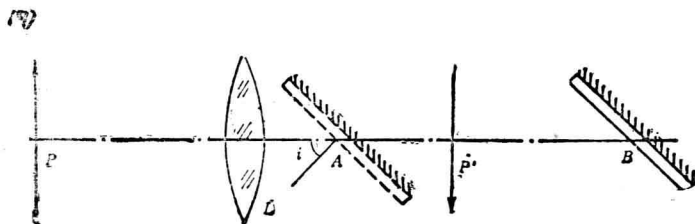


图 0-2

• 实习 2 基本光学仪器的组合与光路分析

目的

利用一些基本光学元件,在光具座上自行组合一些基本光学

仪器(显微镜、望远镜及投影仪),熟悉各元件的作用,进行光路分析。对实际光学仪器能正确调节并使用它们。

仪器

光源,毛玻璃(或描图纸)。

显微镜:小物体(在薄金属片上刻有相距为1毫米的两狭缝),两个短焦距正透镜($f'_{\text{目}} \approx 4.5 \text{ cm}$, $f'_{\text{物}} \approx 3.0 \text{ cm}$),圆孔光阑(放在物镜上, $\phi = 0.5 \text{ cm}$),厘米刻尺(或用方格纸贴在长条木块上)

望远镜:长焦距正透镜一个($f'_{\text{物}} = 0.5 \text{ m}$ 以上),短焦距正负透镜各一块($f'_{\text{目}} = \pm 10 \text{ cm}$)

投影仪:凸透镜两块($f' \approx 10 \sim 15 \text{ cm}$),彩色电影胶片一张(夹在两玻璃片之间),白屏一个($10 \times 15 \text{ cm}^2$)。

步骤

首先应指出,在做两块以上的透镜实验时,必须先调共轴,如不共轴会使成象质量变坏,严重时会使光射不到透镜上,如图 0-3 中 A 与 B, C 与 D 均不共轴,而 E 与 F 则为共轴。

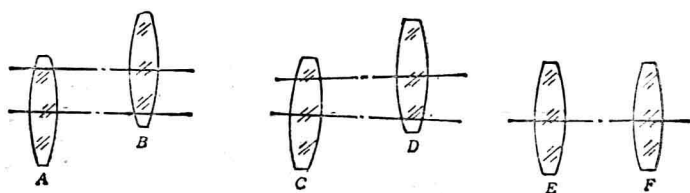


图 0-3

1. 显微镜系统

用两块正薄透镜($f'_{\text{目}} = 4.5 \text{ cm}$, $f'_{\text{物}} = 3 \text{ cm}$)放在光具座上,使 $\Delta = F'_1 F_2 = 170 \text{ mm}$,并保持不变,组成一个显微系统(由于没有焦距很小的透镜,测量误差略大,因此本系统仅作原理性验证),如下图 0-4(a) 所示,改变物 AB 和物镜间距离,使 AB 的象 A'B' 成在距目镜明视距离(250 mm)处,为了确定象高 A'B' 的大小,将

厘米尺(在此将方格纸贴在小窄条木块上)也放在距目镜明视距离处,这样两眼可分别同时观看标尺和虚象 $A''B''$ 如图 0-4(b)所示,这时 $A''B''$ 高度 h' 可从标尺中读出(如图中 $h' = 26\text{mm}$)。因此放大倍数 $M_{\text{实}} = h'/h = 26/1 = 26$ 。这个数值可与理论值

$$M_{\text{理}} = \frac{170}{f'_{\text{物}}} \cdot \frac{250}{f'_{\text{目}}} \text{ 去比较,允许的相对误差为 } 10\%.$$

$$\Delta M = \frac{M_{\text{理}} - M_{\text{实}}}{M_{\text{理}}}$$

应该指出,为了得到较清楚的象,必须在物镜上加上一个光阑,以减少象差的影响。

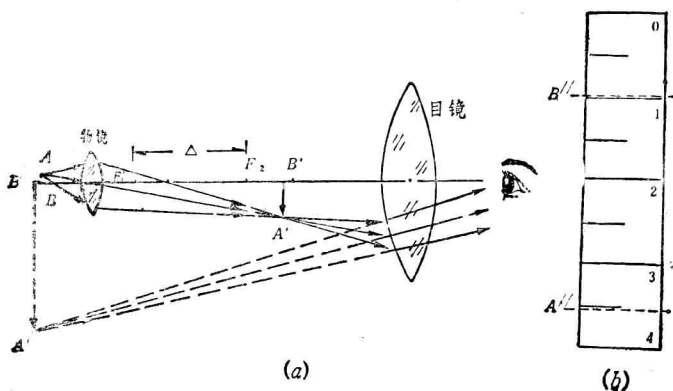


图 0-4

2. 望远镜系统

用一长焦距透镜作物镜,分别用较短的正负透镜作目镜,使 $\Delta = F'_1 F_2 = 0$,组成开普勒与伽利略望远镜系统,观察远方物体所成的象有何异同,并求出它们的放大率 M 各为多少? 对照具体望远镜,求它们的入射、出射光瞳,有效光阑及视场光阑,入射窗与出射窗。

(3) 投影仪系统(即电影放映机与放大机系统)

如图 0-5 所示. L_1, L_2 为两块正透镜, S 为光源, 使物成象在屏幕上, 观察当使用 L_2 和不使用 L_2 时象面有何变化, 当改变 L_1 的位置时象面又有何变化?

对照具体光学仪器, 试分析 L_1 与 L_2 透镜的作用以及具体的光路图.

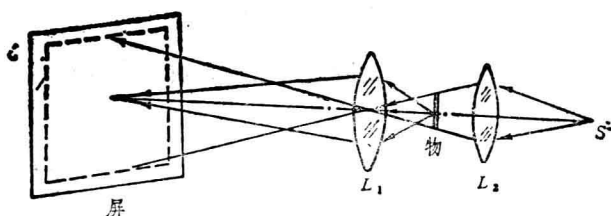


图 0-5

实习 3 菲涅耳双面镜(或双棱镜)的干涉现象及规律的研究

目的

(1) 利用已学过的理论去具体分析双棱镜干涉中的基本问题。(a) 如何实现双棱镜的相干条件。(b) 观察时间相干性与空间相干性对条纹对比度(可见度)的影响。(c) 在调好最佳可见度的干涉条纹时, 观察各有关物理量对条纹宽度的变化。

(2) 测红滤光片透射光的波长。

仪器

白炽光源一个, 可变单狭缝一个, 双棱镜一块, 红、绿滤光片各一片, 凸透镜(约 $f' \approx 15 \text{ cm}$) 一块(附有小圆孔光阑一片), 白屏一块, 测微目镜一个。

步骤

(1) 整个实验在光具座上进行,如图 0-3 所示。

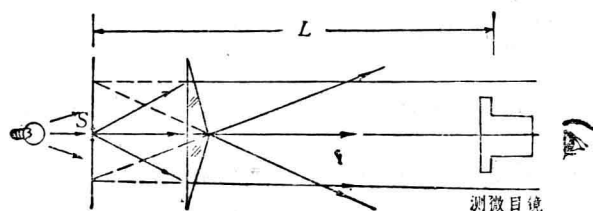


图 0-3

光源是一个被照亮的可变狭缝 S , 使通过狭缝的光大致对称地射在双棱镜上, 用人眼向双棱镜看去, 可以看见两条非常靠近的亮线(即两个虚象)。旋转狭缝或调节双棱镜使两个象与棱镜的棱平行而且垂直于水平面。

(2) 这时借助测微目镜可观察到干涉条纹。

(3) 改变缝的宽度或旋转狭缝看干涉花样有何变化? 为什么? 找出它的最佳条件。

(4) 观察白光干涉, 分别放上红、绿滤光片后干涉花样随之变化, 说明为什么?

(5) 分别移动双棱镜与观察屏(在此移动测微目镜), 观察干涉条纹有何变化, 为什么?

(6) 找出上述各最佳条件时, 放上待测红色滤光片, 可由条纹宽度公式 $\Delta y = \frac{L\lambda_{\text{红}}}{d}$ 测出

$$\lambda_{\text{红}} = \frac{d \cdot \Delta y}{L}$$

L 为两相干光源与观察屏之间的距离, 可直接测量。 Δy 为条纹宽度, 可在测微目镜中直接测量(尽可能测量多条纹数,