



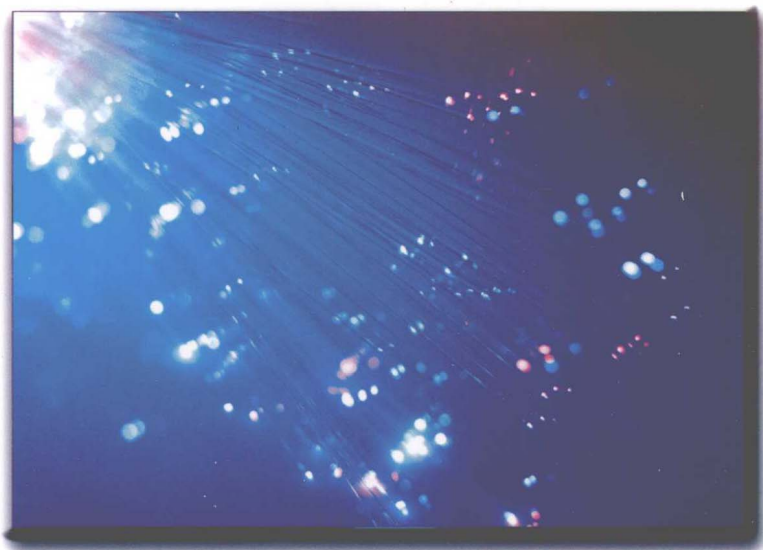
职业技术教育“十二五”课程改革规划教材
光电技术（信息）类

光学基础教程

GUANGXUE

JICHU JIAOCHENG

主 编 吴晓红 郑 丹
副主编 施亚齐 张雅娟



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

技术教育“十二五”课程改革规划教材
技术（信息）类

光学基础教程

GUANGXUE

JICHU JIAOCHENG

主 编 吴晓红 郑 丹
副主编 施亚齐 张雅娟
参 编 陈书剑 陈文涛 丁驰竹
林火养 牟淑娟 陈一峰



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书系统介绍了几何光学和波动光学的基础理论和技术应用。全书分为11章,第1章至第6章以几何光学为基础,介绍了几何光学的基本定律和基本概念,共轴球面光学系统,理想光学系统的基本规律和应用,平面折射和反射系统的光路传输,光学系统中的光束限制、像差理论,典型的光学系统,光度学和色度学。第7章至第10章以波动光学为基础,分别介绍了波动光学的基本理论、光的干涉基本规律及实践应用,光的衍射基本规律及实践应用,光的偏振和晶体光学,现代光学基础。另外,本书部分知识利用视窗与链接进行扩展,大多章节后面安排有代表性的习题。

本书可以作为高职高专光电技术(信息)类专业的教材及有关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

光学基础教程/吴晓红 郑丹 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2012.2
ISBN 978-7-5609-7617-4

I. 光… II. ①吴… ②郑… III. 工程光学-职业教育-教材 IV. TB133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 270718 号

光学基础教程

吴晓红 郑丹 主编

策划编辑:王红梅 刘万飞

责任编辑:朱建丽

封面设计:秦茹

责任校对:马燕红

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉兴明图文信息技术有限公司

印 刷:武汉科利德印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:17.75

字 数:453千字

版 次:2012年2月第1版第1次印刷

定 价:33.80元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换

全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务

版权所有 侵权必究



作为新兴的行业、产业,我国光电技术的发展一日千里,光电产业对我国经济社会的巨大作用日益凸显。我国光电与激光市场十几年来始终保持两位数的高速增长,2010年我国光电与激光产业的市场规模已经突破千亿。随着信息技术、激光加工技术、激光医疗与光子生物学、激光全息、光电传感、显示技术及太阳能利用等技术的快速发展,我国光电与激光产业市场规模将进一步加大。

随着光电产业的不断发展,对光电技术人才的需求越来越大,高等职业院校光电技术方面的专业建设也会越来越受到重视。作为其中的重要部分,光电专业教材建设目前虽然取得了一定的成果,但还无法满足产业发展对人才培养的需求,尤其是面向职业教育的专业教材更是屈指可数,很多学校都只能使用自编的校本教材。值此国家“十二五”规划实行之际,编写和出版职业院校使用的光电专业教材既迫在眉睫,又意义重大。

华中科技大学出版社充分依托“武汉·中国光谷”的区域优势,在相继开发分别面向全国211重点大学和普通本科大学光电专业教材的基础上,又倾力打造了这套面向全国职业院校的光电技术专业系列教材。在组织过程中,华科大社邀请了全国所有开设有光电专业的职业院校的专家、学者,同时与国内知名的光电企业合作,在国家光电专业教指委专家的指导下,齐心协力、求同存异、取长补短,共同编写了这套应用范围最广的光电专业系列教材。参与本套教材建设的院校大多是国家示范院校或国家骨干院校,他们在光电专业建设上取得了良好的成绩。参与本套教材编写的教师,基本上是相关国家示范院校或国家骨干院校光电专业的带头人和长期在一线教学的教师,非常了解光电专业职业教育的发展现状,具有丰富的教学经验,在全国光电专业职业教育领域中也有着广泛的影响力。此外,本套教材编写还吸收了大量有丰富实践经验的企业高级工程师技术人员,参考了企业技术创新资料,把教学和生产实际有效地结合在一起。

本套教材的编写基本符合当前教育部对职业教育改革规划的精神和要求,在坚持工作过程系统化的基础上,重点突出职业院校学生职业竞争力的培养和锻炼,以光电行业对人才需求的标准为原则,密切联系企业生产实际需求,对当前的光电专业职业教育应该具有很好的指导作用。

本套教材具有以下鲜明的特点。

课程齐全。本套教材基本上包括了光电专业职业教育的专业基础课和光电子、光器件、

光学加工、激光加工、光纤制造与通信等各个领域的主要专业课,门类齐全,是对光电专业职业教育一次有效、有益的整理总结。

内容新颖。本套教材密切联系当前光电技术的最新发展,在介绍基本原理、知识的基础上,注重吸收光电专业的新技术、新理念、新知识,并重点介绍了它们在生产实践中的应用,如《平板显示器的制造与测试》、《LED封装与测试》。

针对性强。本套教材结合职业教育和职业院校的实际教学现状,非常注重知识的“可用、够用、实用”,如《光学基础教程》、《激光原理与技术》。

原创性强。本套教材是在相关国家示范院校或国家骨干院校长期使用的自编校本教材的基础上形成的,既经过了教学实践的检验,又进行了总结、提高和创新,如《光纤光学基础》、《光电检测技术》。其中的一些教材,在光电专业职业教育中更是首创,如《光电子技术英语》、《光学加工工艺》。

实践性强。本套教材非常注重实验、实践、实训的“易实施、可操作、能拓展”。不少书中的实验、实训基本上都是企业实践中的生产任务,有的甚至是整套生产线上的任务实施,如《激光加工设备与工艺》、《光有源无源器件制造》。

我十分高兴能为本套教材写序,并乐意向各位读者推荐,相信读者在阅读这套教材后会和我一样获得深刻印象。同时,我十分有幸认识本套教材的很多主编,如武汉职业技术学院的吴晓红、武汉软件工程职业学院的王中林、南京信息职业技术学院的金鸿、苏州工业园区职业技术学院的吴文明、福建信息职业技术学院的林火养等老师,知道他们在光电专业职业教育中的造诣、成绩及影响;也和华中科技大学出版社有过合作,了解他们在工科教材出版尤其是在光电技术(信息)方面教材出版上的成绩和成效。我相信由他们一起编写、出版本套教材,一定会相得益彰。

本套教材不仅能用于指导当前光电专业职业教育的教学,也可以用于指导光电行业企业员工培训或社会职业教育的培训。



中国光学学会激光加工专业委员会主任

2011年8月24日



前言

19世纪,麦克斯韦建立了经典电磁理论,证明光是一种电磁波,由此产生了光的电磁理论。光和电的统一加速了光学的发展。20世纪60年代以来,激光的出现和发展使光学进入一个新的发展时期,光学已经成为一些新兴高新技术产业的基础。

“光学基础”课程作为光电技术专业的专业基础课,地位十分重要,它能够帮助学生掌握基本的光学理论及常见光学仪器的调试、使用技能,培养学生的光学设计制造思想。

本书坚持高职教育理论,以够用、注重实践为特点,强调理论的实践应用性。同时,为满足学生深入学习和拓宽视野的需要,许多重点章节后面还编写了链接与视窗。本书每一节给出了学生应掌握的知识点,提出了明确的任务目标,脉络比较清晰。

本书共分11章。绪论、第6章由武汉职业技术学院张雅娟编写,第1章由武汉交通职业技术学院施亚齐编写,第2章、第3章由武汉软件职业学院丁驰竹编写,第4章由福建职业技术学院林火养编写,第5章由广东省中山火炬职业技术学院陈文涛编写,第7章由武汉职业技术学院陈书剑编写,第8章由武汉软件职业学院郑丹编写,第9章由武汉职业技术学院吴晓红编写,第10章由苏州工业园区职业技术学院牟淑娟、武汉船舶职业技术学院陈一峰编写。全书由吴晓红、郑丹统稿;江汉大学的周幼华副教授审阅了本书,并提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。

本书可以作为高职光电技术(信息)类专业及其相近专业教材,也可作为光电技术(信息)行业工作者的参考书。

作者水平有限,欢迎专家学者和广大师生对书中的不足之处给予批评指正。

编者

2011年7月

目 录

绪论	1
第 1 章 几何光学基本原理和成像概念	8
1.1 几何光学基本定律	8
1.2 成像的基本概念、符号规则	13
1.3 球面光学成像系统	16
第 2 章 理想光学系统	29
2.1 理想光学系统的基点与基面	29
2.2 图解法求理想光学系统的物像关系	32
2.3 解析法求理想光学系统的物像关系	34
2.4 双光组的基点与基面	38
2.5 单个折射球面、透镜和薄透镜组的基点与基面	40
第 3 章 平面系统	49
3.1 平面反射镜	49
3.2 平行平板	52
3.3 反射棱镜	53
3.4 折射棱镜	56
第 4 章 光学系统中的光束限制与像差概论	61
4.1 光阑	61
4.2 景深、焦深、远心光路	66
4.3 轴上点球差、彗差	68
4.4 其他像差	71
第 5 章 光度学与色度学基础	79
5.1 光度学基础	79
5.2 色度学基础	88
第 6 章 典型光学仪器	99
6.1 人眼	99

6.2	放大镜	105
6.3	望远系统	109
6.4	显微系统	115
6.5	照相机	124
第 7 章	光的干涉	132
7.1	光的电磁性	132
7.2	光在两种电介质分界面上的反射和折射	138
7.3	光的干涉概述	146
7.4	分波面干涉	150
7.5	分振幅干涉(一)——等倾干涉	155
7.6	分振幅干涉(二)——等厚干涉	158
7.7	典型干涉仪	165
第 8 章	光的衍射	175
8.1	光的衍射概述	175
8.2	菲涅耳衍射	179
8.3	夫琅禾费矩孔衍射	184
8.4	夫琅禾费单缝衍射	187
8.5	夫琅禾费圆孔衍射	190
8.6	夫琅禾费多缝衍射	195
8.7	衍射光栅及其应用	199
第 9 章	光的偏振与晶体光学基础	212
9.1	光波的横波特性、偏振态	212
9.2	晶体的双折射	221
9.3	偏振器	225
* 9.4	偏振光的干涉	235
第 10 章	现代光学基础	260
10.1	光的量子性	260
10.2	激光的基本原理	265
10.3	非线性光学概述	272
10.4	傅里叶光学概述	275
参考文献	276

绪论

光学是一门古老而又年轻的物理学科,具有强大的生命力和不可估量的发展前途。它的历史几乎与人类文明同步。光学的发展过程是人类认识客观世界进程中的一个重要组成部分,是不断揭示矛盾运动和克服困难、从不完全和不确切的认识走向较完善和较确切认识的过程。它的不少规律和理论是直接来自生产实践中总结出来的,也有相当多的发现来自长期的、系统的科学实验。光学的发展为生产技术进步提供了许多精密、快速、有效的实验手段和重要的理论依据;现代科学技术的发展,又反过来不断向光学提出许多要求解决的新课题,并为进一步深入研究光学准备了物质条件。

光学的发展大致可分为五个时期:萌芽时期、几何光学时期、波动光学时期、量子光学时期、现代光学时期。

1. 萌芽时期

中国古代对光的认识是和生产、生活实践紧密相连的。中国古代光学起源于火的获得和对光源的利用,以光学器具的发明、制造及应用为前提条件。根据古籍记载,中国古代对光的认识大多集中在光的直线传播、光的反射、大气光学、成像理论等方面。

1) 对光的直线传播的认识

在春秋战国时期,《墨经》已记载了小孔成像的实验。景,光之人,煦若射,下者之人也高;高者之人也下,足蔽下光,故成景于上,首蔽上光,故成景于下……这个实验指出小孔成倒像的根本原因是光的“煦若射”,以“射”来比喻光线径直向、疾速似箭的特征,生动而准确。

宋代,沈括在《梦溪笔谈》中描写了他做过的一个实验。在纸窗上开一个小孔,使窗外的飞鸢和塔的影子成像于室内的纸屏上,他发现,若鸢飞空中,其影随鸢而移,或中间为窗所束,则影与鸢遂相违,鸢东则影西,鸢西则影东。又如窗隙中楼塔之影,中间为窗所束,亦皆倒垂。进一步用物动影移说明因光线的直进“为窗所束”而形成倒像。

2) 对视觉和颜色的认识

对视觉,在《墨经》中已有“目以火见”的记载,已明确表示人眼依赖光照才能看见东西。《吕氏春秋·任数篇》明确地指出:“目之见也借于昭”。《礼记·仲尼燕居》中也记载:“譬如终夜有求于幽室之中,非烛何见?”东汉《潜夫论》中更进一步明确指出:“夫目之视,非能有光也,必因乎日月火炎而后光存焉”。以上记载均明确指出人眼能看到东西的条件必须是光照。尤其值得注意的是,光不是从眼睛里发出来的,而是从日、月、火焰等光源产生的。这种对视觉

的认识是朴素、明确而深刻的。

对颜色,中国古代很少从科学角度加以探索,而着重于文化礼节和应用。在石器时代,彩陶就已有多种颜色工艺。《诗经》里就出现了数十种不同颜色的记载。周代把颜色分为“正色”和“间色”两类,其中“正色”是指青色、赤色、黄色、白色、黑色五色。“间色”则由不同的“正色”以不同的比例混合而成。战国时期《孙子兵法·势篇》指出,色不过五,五色之变不可胜观也。可见“正色”和“间色”的说法,与现代光学中的“三原色”理论很类似,但缺乏实验基础。清初博明对颜色提出五色相宣之理,以相反而相成。如白之与黑,朱之与绿,黄之与蓝,乃天地间自然之对,待深则俱深,浅则俱浅。相杂而间,色生矣(《西斋偶得三种》)。这里孕育了互补色的初步概念,虽未形成一定的颜色理论,但从半经验、半思辨的角度看也实在是难能可贵的。

3) 光的反射和对镜的利用

中国古代由于金属冶炼技术的发展,铜镜在公元前 2000 年夏初的齐家文化时期就已经出现。后来随着技术的发展,古镜制作技术逐渐提高,应用范围逐渐扩大,种类也逐渐增多,出现了各种平面镜、凹面镜和凸面镜,甚至还制造出被国外称为魔镜的“透光镜”。1956—1957 年,河南陕县上村岭 1052 号虢国墓出土的春秋早期的一面阳燧(凹面镜),它直径 7.5 cm,凹面呈银白色,打磨十分光洁,背面中心还有一高鼻纽以便携带,周围是虎、鸟花纹,图 0-1 所示是它的镜背。镜的利用为光的反射研究



图 0-1 中国古代铜镜

创造了良好的条件,使中国古代对光的反射现象和成像规律有较早的认识,这方面的记载也较多。

关于平面镜反射成像,《墨经》中记载:“景迎日,说在转。”说明人像投在迎向太阳的一边,是因为日光经过镜子的反射而转变了方向。这是对光的反射现象的一种客观描写。关于平面镜组合成像,《庄子·天下篇》中记载:“鉴以鉴影,而鉴以有影,两鉴相鉴重影无穷。”生动地描写了光线在两镜之间彼此往复反射,形成许许多多像的情景。《淮南万毕术》记载:“取大镜高悬,置水盆于其下,则见四邻矣。”其原理和现代的潜望镜很类似。对凸面镜成像的规律,在《墨经》中有所叙述:“鉴团,景一,说在刑之大。”《墨经》中进一步解释说:“鉴,鉴者近,则所鉴大,景亦大,其远,所鉴小,景亦小,而必正。”这说明凸面镜只成一种像,物体总成一种缩小而正立的像,对凸面镜成像规律做了细致描写。关于凹面镜,《墨经》记载:“鉴洼,景一小而易,一大而正,说在中之外、内。”说明当时已认识到凹面镜有一个“中”(指焦点和球心之间)。物体在“中”之外,得到比物体小而倒立的像,物体在“中”之内,得到的是比物体大而正立的像,这种观察是细致而周密的。

4) 对大气光学现象的探讨

大气光学现象是中国古代光学最有成效的领域之一,早在周代由于占卜的需要,已建立了官方的观测机构,虽然他们的工作蒙上了一层神秘的色彩,但是对晕、虹、海市蜃楼、极光等大气光学现象的观测与记载是长期、系统而又深入细致的。《周礼》中记载有“十辉”,指的是包括“霾”和“虹”等在内的十种大气光学现象。到唐代,对它的认识已经更加细致、深入了。《晋书·天文志》中明确指出:“日旁有气,圆而周布,内赤外青,名曰晕。”此处不仅为晕下了定义,而且把晕按其形态冠以各种形象的名称,如将太阳上的一小段晕弧称为“冠”;太阳左右侧内向的晕弧称为“抱”等。另外,在《魏书·天象志》中对晕也有记载。除此以外,在宋朝以后的许多地方志中也记载有大气光学现象,还出现了关于大气光学现象的专著及图谱,其中《天象灾瑞图解》一直流传至今。殷商时期,就出现了有关虹的象形文字,对虹的形状和出现的季节、方位在不少书中都有所记载,如《礼记·月令》指出:“季春之月……虹始见”,“孟冬之月……虹藏不见”。魏、晋以后,对虹的本质和它的成因逐渐有所探讨,南朝江淹说自己对虹“迫而察之”,断定是因为“雨日阴阳之气”而成。后来,张志和在《玄真子·涛之灵》中明确指出:“背日喷乎水,成虹霓之状”。第一次用实验方法得出人工造虹。国外对虹的成因做出解释的时间为13世纪,因此我们对虹成因的正确描述比西方早约600年。

关于海市蜃楼,如图0-2所示。中国古代对海市蜃楼早有记载,如《史记·天官书》记载:“蜃气象楼台。”《汉书·天文志》记载,海旁蜃气楼台,《晋书·天文志》记载:“凡海旁蜃气象楼台,广野气成宫阙,北夷之气如牛羊群畜穹庐,南夷之气类舟船幡旗。”这些都是对海市蜃楼的如实描写,但当时并不了解其成因。到宋朝苏轼对它才有较正确的认识,苏轼在《登州海市》中说:“东方云海空复空,群仙出没空明中,荡摇浮世生万象,岂有贝阙藏珠宫。”此处明确地表示海市蜃楼都是幻景,蜃气并不能



图0-2 山城海市蜃气楼台图

形成宫殿。到明、清之际,陈霆、方以智等人对海市蜃楼做了进一步探讨,陈霆认为海市蜃楼的成因是为阳焰和地气蒸郁,偶尔变幻。方以智认为,海市或以为蜃气,非也。张瑶星认为蓬莱岛上的蜃景是附近庙岛群岛所成的幻景,后来揭暄和游艺画了一幅如图0-2所示的山城海市蜃气楼台图,图0-2的右方是左方楼台的倒影。文中记载了登州(蓬莱)海市,并说:“昔曾见海市中城楼,外植一管,乃本府东关所植者。因语以湿气为阳蒸出水上,竖则对映,横则反映,气盛则明,气微则隐,气移则物形渐改耳,在山为山城,在海为海市,言蜃气,非也。”这一“气映”说是对当时海市蜃楼知识的珍贵总结。

极光是一种瞬息变幻、绚丽多彩的大气光学现象,中国处在北半球,故观察到的只能是北极光。早在两千年前,中国就对北极光加以观察,并有所记载,《竹书纪年》中记载:“周昭王末年,夜清,五色光贯紫微。其年,王南巡不返。”此文虽如实地记录了北极光出现的时间、方位和颜色,但与王南巡不返(卒于江上)联系起来,说明当时对北极光还没有正确的认识。在不

少书中对北极光的形状、颜色都有详细的描述,并绘有彩色极光图,这些都是研究北极光的极好史料。

5) 关于成影现象的认识

立竿见影是中国古代最早被注意的问题,后来用此方法测影定向,并应用于确定墓穴和建筑物的方位上。这套方法在周代已发展得很成熟,据《考工记》记载,当时有“土方氏”使用圭表,“典瑞氏”管理土圭,“匠人”则使用土圭判定方位进行建筑,并指出在测表影之前,要使地面保持水平,使表竿保持垂直。这说明当时已认识到投影的长度与光源位置有关,而且也与物体的倾斜度有关。

中国古代对光的认识除以上所述外,还有其他一些方面,如天然晶体的色散。明清时期,光学从西方传入后,才有了光学仪器的制作等,但这些认识是零散的、定性的,绝大多数都只停留在对光学现象的描写和记载上。值得提出的是,宋末元初的赵友钦(13世纪中叶至14世纪初叶)在《革象新书》的“小罅光景”中描写了一个大型光学实验:在地面下挖了两个圆阱,圆阱上可加放中心开有大小、形状不同孔的圆板盖,通过它可进行只有一个条件不同的对比实验,对小孔(大小和形状)、光源(形状和强度)、像(形状和亮度)、物距、像距之间的关系进行研究。将两块圆板上各插1000多支蜡烛,放在圆阱底或桌面上作为该实验的光源。通过实验确认了光直线传播的性质,定性地显示了像的明亮程度与光源强度之间的关系,并涉及光的照度和成像理论。他所采用的大型实验方法很有特色,是中国历史上记载的规模最大的实验。还值得提出的是,元代郭守敬(1231—1316年)曾巧妙地利用针孔取像器(“景(影)符”)解决了历来圭表读数不准的问题。一般圭表因太阳上、下边沿投影在影端生成半影,因此读数比较模糊。

在西方,罗马帝国的灭亡(475年)大体上标志着黑暗时代的开始,在此之后,在很长一段时间里欧洲的科学发展缓慢,光学也是如此。除了对光的直线传播、反射和折射等现象的观察和实验外,在生产和社会需要的推动下,在光的反射和透镜的应用方面,逐渐有了一些成果。克莱门德(Clemomedes)和托勒密(C. Ptolemy, 90—168年)研究了光的折射现象,最先测定了光通过两种介质界面时入射角和折射角。罗马哲学家塞涅卡(Seneca, 公元前3—65年)指出充满水的玻璃泡具有强大功能。从阿拉伯的巴斯拉来到埃及的学者阿尔哈雷(Al-hazen)反对欧几里得和托勒密关于人眼发出光线才能看到物体的学说,认为光线来自所观察的物体,并且光是以球面形式从光源发出的;反射光线和入射光线共面且入射面垂直于界面,阿尔哈雷研究了球面镜与抛物面镜,并详细描述了人眼的构造;阿尔哈雷首先发明了凸透镜,并对凸透镜进行了实验研究,所得的结果接近于近代关于凸透镜的理论。培根(R. Bacon, 1214—1294年)提出透镜矫正视力和采用透镜组构成望远镜的可能性,并描述了透镜焦点的位置。阿玛蒂(Armati)发明了眼镜。波特(G. B. D. Porta, 1535—1615年)研究了成像暗箱,并在1589年发表的论文《自然的魔法》中讨论了复合面镜、凸透镜及凸透镜组合。综上所述,到15世纪末和16世纪初,凹面镜、凸面镜、眼镜、透镜及暗箱和幻灯等光学器件已相继出现。

2. 几何光学时期

这一时期可以称为光学发展史上的转折点。在这个时期建立了光的反射定律和折射定律,奠定了几何光学的基础。同时为了提高人眼的观察能力,人们发明了光学仪器——第一架望远镜,它的诞生促进了天文学和航海事业的发展;显微镜的发明给生物学的研究提供了

强有力的工具。

荷兰的李普塞在1608年发明了第一架望远镜。开普勒于1611年发表了著作《折光学》，提出照度定律，还设计了几种新型望远镜，他还发现当光以小角度入射到界面时，入射角和折射角近似地成正比关系。折射定律的精确公式则是斯涅耳和笛卡儿提出的。1621年，斯涅耳在他的一篇文章中指出，入射角的余割和折射角的余割之比是常数。而笛卡儿于1637年在《折光学》中给出了用正弦函数表述的折射定律。接着费马在1657年首先指出光在介质中传播时所走路程取极值的原理，并根据这个原理推出光的反射定律和折射定律。综上所述，到17世纪中叶，基本上已经奠定了几何光学的基础。

关于光的本性概念，是以光的直线传播观念为基础的，但从17世纪开始，就发现有与光的直线传播不完全符合的事实。意大利人格里马第首先观察到光的衍射现象，接着，胡克也观察到衍射现象，并且和波意耳独立地研究了薄膜所产生的彩色干涉条纹，这些都是光的波动理论的萌芽。

17世纪下半叶，牛顿和惠更斯等把光的研究引向进一步发展的道路。1672年，牛顿完成了著名的三棱镜色散实验，并发现了牛顿圈（但最早发现牛顿圈的却是胡克）。在发现这些现象的同时，牛顿在公元1704年出版的《光学》中提出了光是微粒流的理论，他认为这些微粒从光源飞出来，在真空或均匀物质内由于惯性而做匀速直线运动，并以此观点解释光的反射和折射定律。然而在解释牛顿圈时，却遇到了困难。同时，这种微粒流的假设也难以说明光在绕过障碍物之后所发生的衍射现象。

惠更斯反对光的微粒说，他于1678年在《论光》一书中从声和光的某些现象的相似性出发，认为光是在“以太”中传播的波。所谓“以太”是一种假想的弹性介质，充满于整个宇宙空间，光的传播取决于“以太”的弹性和密度，这运用了他的波动理论中的次波原理。惠更斯不仅成功地解释了反射定律和折射定律，还解释了方解石的双折射现象。但惠更斯没有把波动过程的特性给予足够的说明，他没有指出光现象的周期性，也没有提到波长的概念。他的次波包络面成为新的波面理论，但没有考虑到它们是由波动按一定的位相叠加而成的。归根到底，仍旧摆脱不了几何光学的观念，因此不能由此说明光的干涉和衍射等有关光的波动本性的现象。与此相反，坚持微粒说的牛顿却从他发现的牛顿圈的现象中确定光是周期性的。

综上所述，这一时期，以牛顿为代表的微粒说占统治地位，由于相继发现了干涉、衍射和偏振等光的波动现象，以惠更斯为代表的波动说也初步提出来了，因而这个时期也可以说是几何光学向波动光学过渡的时期，是人们对光的认识逐步深化的时期。

3. 波动光学时期

19世纪初，波动光学初步形成，其中托马斯·杨圆满地解释了“薄膜颜色”和双缝干涉现象。菲涅耳于1818年以杨氏干涉原理补充了惠更斯原理，由此形成了今天为人们所熟知的惠更斯-菲涅耳原理，可圆满地解释光的干涉和衍射现象，也能解释光的直线传播。在进一步的研究中，菲涅耳观察到了光的偏振和偏振光的干涉。为了解释这些现象，菲涅耳假定光是一种在连续介质（以太）中传播的横波。为说明光在各种不同介质中的不同速度，又必须假定以太的特性在不同的物质中是不同的；在各向异性介质中还需要有更复杂的假设。此外，还必须给以太以更特殊的性质才能解释光不是纵波。如此性质的以太是难以想象的。

1846年，法拉第发现了光的振动面在磁场中发生旋转；1856年，韦伯发现光在真空中的

速度等于电流强度的电磁单位与静电单位的比值。他们的发现表明光学现象与磁学、电学现象间有一定的内在关系。

1860年前后,麦克斯韦指出,电场和磁场的改变,不能局限于空间的某一部分,而是以等于电流的电磁单位与静电单位的比值的速度传播着,光就是这样一种电磁现象。这个结论在1888年为赫兹的实验所证实。然而,这样的理论还不能说明能产生像光这样高的频率的电振子的性质,也不能解释光的色散现象。到了1896年洛伦兹创立电子论,才解释了发光和物质吸收光的现象,也解释了光在物质中传播的各种特点,包括对色散现象的解释。在洛伦兹的理论中,以太乃是广袤无垠的不动的介质,其唯一特点是,在这种介质中光振动具有一定的传播速度。

在如炽热黑体辐射中,能量按波长分布这样重要的问题,洛伦兹理论还不能给出令人满意的解释。并且,如果认为洛伦兹关于以太的概念是正确的话,则可将不动的以太选为参照系,使人们能区别绝对运动和相对运动。而事实上,1887年迈克尔逊用干涉仪测定“以太风”,得到否定的结果,这表明到了洛伦兹电子论时期,人们对光的本性的认识仍然有不少片面性。

光的电磁论在整个物理学的发展中起着很重要的作用,它指出光与电磁现象的一致性,并且证明了各种自然现象之间存在相互联系这一辩证唯物论的基本原理,使人们在认识光的本性方面向前迈进了一大步。

在此期间,人们还用多种实验方法对光速进行了多次测定。1849年,斐索(A. H. L. Fizeau, 1819—1896年)运用了旋转齿轮的方法及1862年傅科(J. L. Foucault, 1819—1868年)使用旋转镜法测定了光在各种不同介质中的传播速度。

4. 量子光学时期

19世纪末到20世纪初,光学的研究深入到光的发生、光和物质相互作用的微观机制中。光的电磁理论的主要困难是不能解释光和物质相互作用的某些现象。例如,炽热黑体辐射中能量按波长分布的问题,特别是1887年赫兹发现的光电效应,如图0-3所示。

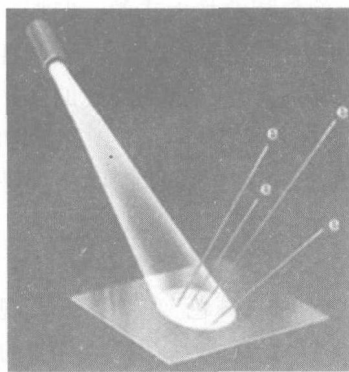


图 0-3 光电效应

1900年,普朗克从物质的分子结构理论中借用不连续性的概念,提出了辐射的量子论。他认为各种频率的电磁波(包括光)只能以各自确定分量的能量从振子射出,这种能量微粒称为量子,光的量子称为光子。量子论不仅很自然地解释了炽热黑体辐射能量按波长分布的规律,而且以全新的方式提出了光与物质相互作用的整个问题。量子论不但给光学,也给整个物理学提供了新的概念,所以通常把它的诞生视为近代物理学的起点。

1905年,爱因斯坦运用量子论解释了光电效应。他给光子做了十分明确的表示,特别指出光与物质相互作用时,光也是以光子为最小单位进行的。

1905年9月,德国《物理学年鉴》发表了爱因斯坦的《关于运动媒质的电动力学》一文。第一次提出了狭义相对论基本原理。文中指出,从伽利略和牛顿时代以来占统治地位的古典物理学,其应用范围只限于速度远远小于光速的情况,而他的新理论可解释与高速运动物体速度有关的过程的特征,从根本上放弃了以太的概念,圆满地解释了运动物体的光学现象。

20世纪初,一方面从光的干涉、衍射、偏振及运动物体的光学现象确证了光是电磁波,另一方面又从热辐射、光电效应及光的化学作用等证明了光的量子性——微粒性。光和一切微观粒子都具有波粒二象性,这个认识促进了原子核和粒子研究的发展,也推动人们进一步探索光和物质的本质,包括实物和场的本质问题。为了彻底认清光的本性,还要不断探索,不断前进。

5. 现代光学时期

20世纪中叶,特别是激光问世以后,光学开始进入了一个新的时期,成为现代物理学和现代科学技术前沿的重要组成部分。最重要的成就就是人们发现了爱因斯坦于1916年预言的原子和分子的受激辐射,并且创造了许多具体的产生受激辐射的技术。爱因斯坦研究辐射时指出,在一定条件下,如果能使受激辐射继续去激发其他粒子,造成连锁反应,雪崩似地获得放大效果,最后就可得到单色性极强的辐射,即激光。1960年,梅曼用红宝石制成第一台可见光的激光器,同年制成氦氛激光器;1962年产生了半导体激光器;1966年产生了可调谐染料激光器。激光具有强度大、单色性好、方向性强等一系列独特的性能,自从它问世以来,很快被运用到材料加工、精密测量、通信、测距、全息检测、医疗、农业等极为广泛的技术领域。此外,激光还在同位素分离,信息处理、引发核聚变及军事上的应用等方面,展现了光辉的前景。

随着新技术的出现,新的理论也不断发展,已逐步形成了许多新的分支学科或边缘学科,光学的应用十分广泛。几何光学本来就是为设计各种光学仪器而发展起来的专门学科。随着科学技术的进步,物理光学也越来越显示出它的威力,例如,光的干涉目前仍是精密测量中无可替代的手段,衍射光栅则是重要的分光仪器,光谱在人类认识物质的微观结构(如原子结构、分子结构等)方面曾起了关键性的作用。

同时,人们把数学、电子技术和通信理论与光学结合起来,给光学引入了频谱、空间滤波、载波、线性变换及相关运算等概念,更新了经典成像光学,形成了所谓“傅里叶光学”。再加上由于激光所提供的相干光和尤利思及阿帕特内克斯改进了的全息术,形成了一个新的学科领域——光学信息处理。光学信息处理为信息传输和处理提供了崭新的技术,光纤通信就是依据这方面理论而获得的重要成就。

激光光谱学(激光喇曼光谱学、高分辨率光谱和皮秒超短脉冲)及可调谐激光技术的出现,使传统的光谱学发生了很大的变化,成为深入研究物质微观结构、运动规律及能量转换机制的重要手段,为凝聚态物理学、分子生物学和化学的动态过程的研究提供了前所未有的技术。

总之,现代光学和其他学科的结合,在人们的生产和生活中发挥着日益重大的作用和影响,正在成为人们认识自然、改造自然及提高劳动生产率的越来越强有力的武器。

1

几何光学基本原理和成像概念

几何光学是研究光的反射、折射及其有关的光学系统的成像规律的学科。几何光学撇开了光的波动本性,而以光线和波面等概念为基础,再根据一些基本实验定律,借助几何学方法来研究光在透明介质中的传播规律。以后我们将看到,几何光学仅仅在一定的条件下才适用,因而具有近似性,但这种近似性具有很重要的使用价值,光学仪器正是根据几何光学原理设计制作的。

1.1 几何光学基本定律

◆ 知识点

- ☐ 几何光学的基本概念
- ☐ 几何光学的基本定律
- ☐ 几何光学的基本原理

1.1.1 任务目标

知道几何光学的研究对象与方法,掌握几何光学的基本定律和光路可逆原理,了解费马原理。

1.1.2 知识平台

1.1.2.1 几何光学的基本概念

人类对光的研究,可以分为两个方面:一方面是研究光的本性,并根据光的本性来研究各种光学现象,称为物理光学;另一方面是研究光的传播规律和传播现象,称为几何光学。

对于光的本性的研究;虽然很早就已开始,但进展缓慢。对于光的本性的科学假说,最初

是牛顿在1666年提出的,他认为光是一种弹性粒子,称为微粒说。1678年,惠更斯认为光是在“以太”中传播的弹性波,提出“波动说”。1873年,麦克斯韦根据电磁波的性质证明,光实际上是电磁波。1905年,爱因斯坦为了解释光电效应,提出“光子”假说。现代物理学认为,光是一种具有波粒二象性的物质,即光既有波动性又有粒子性,只是在一定的条件下,某种性质显得更为突出。一般说来,除了研究光与物质的相互作用必须考虑光的粒子性外,还可以把光作为电磁波看待,称为“光波”。

波长为380~760 nm的电磁波能够为人眼所感觉,称为可见光。不同波长的光产生不同颜色。同一波长的光,具有相同的颜色,称为单色光。不同波长的光混合而成的光称为复色光。白光是由各种波长的光混合而成的一种复色光。

不同波长的电磁波,在真空中具有完全相同的传播速度: $c \approx 3 \times 10^8$ m/s。光的频率、光速和波长之间存在以下关系:

$$v = \frac{c}{\lambda} \quad (1-1)$$

因此不同波长的电磁波,其频率是不同的。在不同的介质中,如水、玻璃等,光的波速和波长同时改变,但频率不变。

1. 光源

从物理的观点看,辐射光能的物体称为发光体,或称为光源。当光源的大小与其辐射光能的作用距离相比可以忽略不计时,此发光体称为发光点,或称为点光源。例如,对于地球上的观察者来说,体积超过太阳系的恒星被认为是发光点。但是在几何光学中,发光体和发光点的概念与物理中有所不同。无论是本身发光的物体或被照明的物体,在研究光的传播时统称为发光体。在几何光学中,发光点被抽象为一个既无体积又无大小的几何点,任何被成像的物体都是由无数个这样的发光点所组成的。几何光学中的发光点只是一个种假设,在自然界中是不存在的。

2. 波面、光线和光束

1) 波面

光是一种电磁波,任何一个发光体都是一个波源。光的传播过程也正是电磁波的传播过程。光波是横波,在各向同性介质中,其电场的振动方向与传播方向垂直,振动相位相同的各点在某时刻所形成的曲面称为波面。波面可以是平面、球面或其他曲面。

2) 光线

几何光学中研究光的传播,并不是把光看成电磁波,而是把光看成能够传输能量的几何线,这样的几何线称为光线。其方向代表光线的传播方向,即光能的传播方向。光线实际上是不存在的,但是,利用它可以把光学中复杂的能量传输和光学成像问题归结为简单的几何运算问题,从而使所要处理的问题大为简化。

3) 光束

在各向同性介质中,光线沿着波面的法线方向传播,可以认为光波波面法线就是几何光学中的光线,与波面对应的法线束称为光束。相交于同一点或由同一点发出的一束光线称为同心光束,对应的波面形状为球面,称为球面波,如图1-1(a)所示。不会聚于一点的光束称