



高
校
教
材

第二版

光学

高等师范院校教材

GaoDengShiFan
YuanXiaoJiaoCa

著 宣桂鑫



华东师范大学出版社

光 学

宣桂鑫 著



华东师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

光学/宣桂鑫著. —上海:华东师范大学出版社,
2006. 6

ISBN 7-5617-4733-0

I. 光... II. 宣... III. 光学—高等学校—教材
IV. 043

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 063257 号

光 学

撰 著 宣桂鑫
组稿编辑 朱建宝
文字编辑 章琢之
封面设计 卢晓红
版式设计 蒋 克

出版发行 华东师范大学出版社
社 址 上海市中山北路 3663 号 邮编 200062
电 话 021-62450163 转各部 行政传真 021-62572105
网 址 www.ecnupress.com.cn www.hdsbook.com.cn
市 场 部 传真 021-62860410 021-62602316
邮购零售 电话 021-62869887 021-54340188

印 刷 者 华东师范大学印刷厂
开 本 787×1092 16 开
印 张 20.75
字 数 421 千字
版 次 2006 年 7 月第一版
印 次 2006 年 7 月第一次
印 数 5100
书 号 ISBN 7-5617-4733-0 / O·165
定 价 31.00 元

出 版 人 朱杰人

(如发现本版图书有印订质量问题,请寄回本社市场部调换或电话 021-62865537 联系)

光学是普通物理学的一个重要组成部分,是研究光的传播、光的本性和光与物质的相互作用的基础学科,它与原子物理学、电动力学和量子力学等后继课程有密切的关系。

本书大致可分为几何光学、波动光学和光与物质相互作用三大部分。第一、二章为几何光学,第三、四、五章为波动光学,第六、七、八章讨论光与物质的相互作用。

本书按照几何光学、波动光学、光与物质相互作用的次序安排,这是因为:首先,几何光学放在前面更符合学科教学法中的循序渐进的原则;其次,考虑到几何光学的规律毕竟比较简单;第三,它的处理方法也具有重大的实际意义;第四,在阐述、分析各种物理光学仪器装置的光路时,通常很难回避几何光学的概念和规律。

为了提高教材的普适性,适应不同学时数的需要,同时分清主次,突出重点,将教材内容分成 AB 制。A 制包括全部内容,而 B 制不包括标题中以“*”表示的内容。

本书自 1988 年出版以来,被多所高等师范院校用作教材。多年来使用该书的老师和学生提出了许多宝贵的意见。作者参照这些意见,学习和参考了国内外近期出版的光学教材,并汲取近二十年来光学的最新发展和教学研究的新成果,对原书作了较大的增删和修改。

本书具有以下特点:

1. 作者在近半个世纪从事光学教学和科研的基础上,力图加强基础,拓展知识面,增加信息容量,理论与应用并重,又在教材内容的现代化上作了探索,设置了“视窗与链接”栏目,积极引导學生浏览光学的前沿成果,为学生深入了解光学在科学技术、现代生活和生活中的应用作一定的铺垫。诸如光盘、光闸、光通信、光显示、光探测器、扫描隧道显微镜、光的散射与环境污染监测、同步辐射光源等,在合适的教学安排和引导下,可以从一个崭新的视野来认识和掌握基础光学的内容。

2. 对教材内容进行了慎重的选择,注意把握师范院校物理专业要求的深度和广度。

3. 在概念的叙述和定律的推导上,力求符合教学规律和学生的认知规律,尽可能从实验事实和光学现象入手导出概念和理论。

4. 全书各部分所选例题的目的性明确,力求具有典型性和解题的示范性,各章之后均配有难易程度与教材相匹配的习题共约 200 题,并附有答案,习题设计采取了分层原则,分为基础型、拓展型、探究型和开放型等,供教学时选用. 诸如拓展性题目:结合电脑的光驱,绘出光路图、分析其光学元件以及激光应用. 探究型题目:以光碟作为反射光栅,设计一光谱仪,并测量它的光栅常量. 开放型题目:设计程序显示杨氏干涉条纹的强度分布图.

5. 全书配有插图 300 余幅,这些插图经作者精心编选、精心设计,直观形象,与教材内容紧密配合,图与文相得益彰,有助于对教材的理解.

6. 作者近年来从事研究生的高等光学教学,并在开展国际合作研究过程中积累了一些经验,力图以近代光学的高度重新组织经典光学的内容.

7. 几何光学的符号法则与新课程标准中学教材相衔接.

8. 本书概念准确、物理图像清晰、取材新颖、逻辑体系严谨. 适合于高等院校物理类,特别是师范物理专业的光学课程使用.

参加本书编写的还有吕晴、邱敏、范泽军、黄旭东、宣佳慰、吕中千、房士新、张驰铎等.

恳请读者对教材中的疏误之处批评指正.

光

学

宣桂鑫

于华东师范大学

2006 年 3 月 20 日

目 录

绪 论

0.1 光学的研究对象和方法	1
0.2 光学发展概述	2

第1章 几何光学基础

1.1 几何光学基本定律	10
1.2 光程 费马原理	13
1.3 棱镜和最小偏向角 全内反射和光学纤维	16
视窗与链接 被动光源	20
1.4 同心光束和像散光束 物和像	21
1.5 单球面上的傍轴成像	23
1.6 薄透镜的成像规律	32
* 1.7 理想光学系统的基点和基面	39
* 1.8 共轴球面系统组合的理论	48
视窗与链接 现代几何光学	50
1.9 空气中的厚透镜 薄透镜组	51
习题	55

第2章 几何光学仪器

2.1 助视仪器的放大本领 放大镜	60
* 2.2 惠更斯目镜和冉斯登目镜	63
2.3 显微镜的放大本领	65
2.4 望远镜的放大本领	68
视窗与链接 太空实验室——哈勃太空望远镜	72
2.5 光阑和光瞳	73
* 2.6 光度学概述	77
2.7 物镜的聚光本领	85

视窗与链接 数码相机	90
* 2.8 像差概述	91
视窗与链接 菲涅耳螺纹透镜	92
习题	96

第3章 光的干涉

3.1 光的电磁理论概述	99
3.2 波的叠加和相干条件	101
3.3 干涉花样 干涉条纹的可见度	104
3.4 分波面双光束干涉	111
视窗与链接 两个独立光源的干涉	112
3.5 光在两种介质分界面上的反射和折射	118
3.6 分振幅薄膜干涉(一)——等倾干涉条纹	122
3.7 分振幅薄膜干涉(二)——等厚干涉条纹	127
视窗与链接 昆虫翅膀上的彩色	129
3.8 迈克耳孙干涉仪的基本原理	131
3.9 法布里-珀罗干涉仪 多光束干涉	133
3.10 干涉现象的若干应用 牛顿环	139
视窗与链接 增透膜与高反射膜	140
习题	144

第4章 光的衍射

4.1 光的衍射现象	149
4.2 惠更斯-菲涅耳原理	150
4.3 菲涅耳半波带	152
* 4.4 菲涅耳圆孔和圆屏衍射	154
4.5 菲涅耳波带片	157
视窗与链接 透镜与波带片的比较	159
4.6 夫琅禾费单缝衍射	161
视窗与链接 光学变换放大	167
4.7 夫琅禾费双缝衍射	168
4.8 平面衍射光栅	173
视窗与链接 光碟是一种反射光栅	181
* 4.9 X射线衍射概述	182
视窗与链接 与X射线衍射有关的诺贝尔奖	184
4.10 夫琅禾费圆孔衍射	185

4.11 成像仪器的像分辨本领	187
视窗与链接 视力	190
扫描隧道显微镜	192
4.12 分光仪器的色分辨本领	193
习题	197

第5章 光的偏振

5.1 偏振光和自然光 偏振度	201
5.2 由反射和折射获得偏振光 布儒斯特定律	204
5.3 单轴晶体的双折射	206
5.4 用波面的概念解释双折射现象	208
5.5 偏振棱镜和偏振片 马吕斯定律	212
5.6 椭圆偏振光和圆偏振光 波片	217
5.7 补偿器 偏振光的分析和检验	224
5.8 平行的线偏振光的干涉	226
5.9 旋光现象 磁光效应	229
视窗与链接 光闸——激光通信中的光调制器	232
* 5.10 电光效应	232
视窗与链接 液晶的光学特性与液晶显示器	234
习题	236

第6章 光的吸收、散射和色散

* 6.1 电偶极辐射对反射和折射现象的解释	239
6.2 吸收定律	242
视窗与链接 物体的颜色	242
非线性吸收——变色眼镜	244
6.3 瑞利散射	244
视窗与链接 光的散射与环境污染监测	249
6.4 正常色散和反常色散	250
* 6.5 光的相速度和群速度	253
习题	258

第7章 光的量子性

7.1 单色辐出度和吸收比 基尔霍夫定律	260
7.2 维恩公式和瑞利-金斯公式	263

视窗与链接 辐射度量和光度量	266
7.3 普朗克量子理论 能量子假说	267
7.4 光电效应 光子	268
视窗与链接 光探测器	272
7.5 康普顿效应的量子解释	273
7.6 波粒二象性	277
习题	280

第8章 现代光学基础

8.1 光的自发辐射、受激辐射和受激吸收	281
8.2 光放大 粒子数反转	286
8.3 激光的形成	290
8.4 激光的单色性 纵模	292
8.5 氦-氖激光器和红宝石激光器	295
8.6 激光的特性及其应用	298
视窗与链接 同步辐射光源	300
8.7 全息照相	301
* 8.8 非线性光学概述	304
* 8.9 傅里叶光学概述	307
习题	307
光学树形框架二维结构图	309
基本物理常量表	310
习题答案	312
附录 教材中相关的照相图	319

绪 论

Introduction

0.1 光学的研究对象和方法

光学的研究内容非常广泛,它包括光的发射、传播和接收等规律,光和其他物质的相互作用(如光的吸收、散射和色散,光的机械作用和光的热、电、化学和生理效应等),光的本性问题以及光在生产和社会生活中的应用.光学既是物理学中最古老的一门基础学科,又是当前科学领域中最活跃的前沿阵地之一,具有强大的生命力和无可估量的发展前途.

光学是研究光的发射、传播和接收等规律的科学.它研究光怎样从几百万光年以外的河外星系传播到地球;研究从显微镜灯泡辐射的光以光纤传输照亮标本,又经过物镜成像、目镜放大,最后进入人眼的全过程;研究黑夜中地面目标发出的不可见的红外线如何被卫星的接收器接收;研究遥远的山峦和湖泊如何经灼热沙漠上空空气折射,形成海市蜃楼的幻景.

光学又是研究光与物质相互作用的科学.它研究光对照相乳胶的感光效应;研究光照射下半导体材料电阻率的变化;研究光辐照引起等离子体宏观参数的改变;研究太阳光照射下植物绿叶的光合作用;研究光如何影响癌细胞的繁衍;研究光辐射对生物遗传、变异的影响……

关于光的本性,人们一方面从光的干涉、衍射和偏振等光学现象证实了光的波动性;另一方面从黑体辐射、光电效应和康普顿效应等又证实了光的量子性——粒子性.人们进一步进行了大量的探索工作,建立了波动性和微粒性的联系.

光学在生产和社会生活中得到了广泛的应用,在它多年的发展历史中,形成了一系列颇具特色的实验和测试设备——光学仪器.例如,从最简单的放大镜到具有几百个透镜和复杂的电气、机械系统的大型天象仪;从观剧用的双筒望远镜到哈勃太空望远镜;从直筒显微镜到计算机控制的图像分析显微镜;从照相机、放大机到剧场用的聚光镜、资料室用的复印机、生产用的激光切割机、糖厂用的旋光仪、钢厂用的大型光量计、施工用的经纬仪、外科用的激光手术刀、潜艇上的潜望镜和坦克上的激光测距仪等,以及高等院校和研究所使用的成百个品种、上千个型号的光学仪器.光学仪器早已渗透到日常生活的每个方面、科学技术的每个领域和经济建设

的每个部门. 光学的发展为生产技术提供了许多精密、快速的实验手段和重要的理论依据;而生产技术的发展,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. 因此,同其他自然科学一样,光学与生产实践的关系生动地体现了理论和实践的辩证法.

光学的发展过程,是人类认识客观世界的历史长河中一个重要的组成部分,是不断揭示矛盾和克服矛盾、从不完全和不确切的认识逐步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从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. 光学在其发展过程中的每一阶段,都与社会生产力的发展和工业技术的进步息息相关. 生产实践和科学实验是推动光学发展的强大动力,为光学发展提供了丰富的源泉.

从方法论上看,作为物理学的一个重要学科分支,光学研究的发展也完全符合以下的认识规律:在观察和实验的基础上,对物理现象进行比较和分类、类比,归纳和演绎,分析和综合,进而提出假说,形成理论,并不断反复经受实践的检验. 例如围绕“光的本性是什么”的根本问题,古往今来,人们就是遵循着“实验—假说—理论—实验”这条道路迂回前进的. 至此,一方面,正确的理论对实践具有指导作用;另一方面,理论通过实践又获得进一步的发展,我们从下述光学发展概述中可以清楚地看到这些.

综上所述,可见光学研究的内容与人类生活的联系是十分密切的,光学所涉及的领域是十分宽阔的. 它既有严谨的理论体系,又有广泛的实际应用. 在本书中我们把它分成几何光学、波动光学和光与物质相互作用三大部分. 学好光学,既能为物理系学生进一步学习原子物理、相对论、量子力学和激光物理等课程准备必要的前提条件,又有助于我们进一步探讨微观和宏观世界的联系与规律,并把这些规律应用于经济建设.

0.2 光学发展概述

光学的发展大致可划分为下列五个时期:

1. 萌芽光学时期;
2. 几何光学时期;
3. 波动光学时期;
4. 量子光学时期;
5. 现代光学时期.

0.2.1 萌芽光学时期

光学的起源应追溯到远古时代. 我国春秋战国之际,在墨翟(约前 468—前 376)及其弟子所著《墨经》中,就记载着关于光的直线传播(影的形成和针孔成像

等)和光在镜面(凹面和凸面)上的反射等现象,并提出了一系列经验规律,把物和像的位置和大小与所用镜面的曲率联系了起来.无论就时间还是就科学性来讲,《墨经》称得上是有关光学知识的最早记录.比墨经大约迟一百多年,在希腊数学家欧几里得(Euclid,约前330—前275)所著的《光学》一书中,研究了平面镜成像问题,指出反射角等于入射角的反射定律,但他却同时提出了将光当作类似触须投射的错误认识.

从墨翟开始的近两千年的漫长岁月构成了光学发展的萌芽时期,它是光学发展史上一段缓慢前进的年代.除了对光的直线传播、反射和折射等现象的观察和实验外,在生产和生活需要的推动下,在光的反射和透镜的应用方面,逐渐有些成就.克莱门德(Cleomedes)和托勒密(C. Ptolemy,约90—168)研究了光的折射现象.托勒密设计了一个装置,对折射现象进行了详细的定量研究.当光从空气入射到水时,测定了入射角从 10° 至 80° (间隔为 10°)时的折射角.还用类似的方法,研究了水-空气、空气-玻璃以及水-玻璃情况下的折射,并且发现,光线在空气-玻璃界面上要比空气-水界面上曲折得更厉害.罗马哲学家塞涅卡(Seneca,约前4—65)指出充满水的玻璃泡具有放大性能.从阿拉伯的巴斯拉来到埃及的学者阿尔哈曾(Alhazen, 965—1038)反对欧几里德和托勒密关于眼睛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,而光是以球面形式从光源发出的.阿尔哈曾最先明确指出入射线、折射线和界面法线位于同一平面内,这是折射定律的一部分内容.至于折射定律的另一部分更重要的内容,即折射角与入射角之间数量上的关系,他指出,折射角并不是与入射角成正比.阿尔哈曾是托勒密之后第一位充分研究折射现象的人.他也研究过球面镜和抛物面镜,并详细描绘了人眼的构造;他首先发明了凸透镜,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.公元11世纪,我国宋代的沈括(1031—1095)在《梦溪笔谈》中记载了极为丰富的几何光学知识,他不仅总结了前人研究的成果,而且在凹面镜、凸面镜的成像规律、测定凹面镜焦点的原理以及虹的成因等方面都有创造性的阐述.培根(R. Bacon,约1214—约1294)提出用透镜校正视力和采用透镜组构成望远镜的可能性,并描述过透镜焦点的位置.阿玛蒂(Armati)于1299年发明了眼镜.波特(G. B. D. Porta, 1535—1615)研究了成像暗箱,并在1589年的论文《自然的魔法》中讨论了复合面镜以及凸透镜和凸透镜的组合.综上所述,到15世纪末和16世纪初,面镜、眼镜、透镜以及暗箱和幻灯等光学元件已相继出现.因该时期尚未形成系统理论,故称萌芽光学时期.

0.2.2 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.同时为了扩大人眼的观察能力出现了光学仪器,第一架望远镜的诞生促进了天文学和航海事业的发展,显微镜的发明使生物学

的研究有了强有力的工具。

英国科学家哈里奥特(T. Harriot, 约 1560—1621)在 16 世纪末和 17 世纪初进行了许多光学实验,探索折射现象的规律。在实验中哈里奥特发现托勒密得到的折射角数值是不精确的,他使用前所未有的方法精确测量了光线在水、玻璃以及其他物质中的折射。哈里奥特确定了水的折射率为 $\csc 48^\circ 30'$ (1.335),玻璃的折射率为 $\csc 40^\circ$ (1.555)。1606 年哈里奥特曾写信给开普勒(J. Kepler, 1571—1630),告诉他一些实验中的发现。因此,有人认为,在斯涅耳(W. Snell, 1591—1626)之前,哈里奥特就已经通过实验独立地发现了折射定律。

荷兰人李普塞(H. Lippershey, 1587—1619)在 1608 年发明了第一架望远镜。17 世纪初延森(Z. Janssen, 1588—1632)和冯特纳(P. Fontana, 1580—1656)最早制作了复合显微镜。1610 年伽利略(G. Galilei, 1564—1642)用自己制造的望远镜观察星体,发现了绕木星运行的卫星,这给哥白尼关于地球绕日运转的日心说提供了强有力的证据。

开普勒汇集了前人的光学知识,于 1611 年发表了著作《折光学》。该书无论在形式上和内容上都可与现代几何光学教本媲美。他提出了用点光源照明时,照度与受照面到光源距离的平方成反比的照度定律。他还设计了几种新型的望远镜,特别是用两块凸透镜构成的开普勒天文望远镜。他还指出当光以小角度($<30^\circ$)入射到界面时,入射角和折射角近似地成正比关系。他还发现,光从玻璃或水晶(两者的折射率近似相等)内射到空气界面上时,入射角大于某个角度(约 48°)时,光线将不再从其中射出。这就从实验上揭示了全内反射现象。至于折射定律的精确公式则是荷兰人斯涅耳和法国人笛卡儿(R. Descartes, 1596—1650)提出的。1621 年斯涅耳在他的一篇未发表的文章中指出,入射角的余割和折射角的余割之比是常数,而笛卡儿约在 1630 年在《折光学》(1637 年出版)中给出了我们现在熟悉的用正弦函数表述的折射定律。接着法国人费马(P. de Fermat, 1601—1665)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,并把光的反射定律和折射定律概括到同一原理之中。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。

早先关于光的本性的概念,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。大约在 1660 年,意大利的格里马耳第(F. M. Grimaldi, 1618—1663)首先观察到光的衍射现象。在他的著作里,仔细地描述了用一小光源照明小棍时,在棍的阴影中出现光带,同时形成彩色的边沿。格里马耳第称这一现象为衍射。接着,1672—1675 年间胡克(R. Hooke, 1635—1703)也观察到衍射现象。他主张光是一种振动,还提出这种振动必定是短促的。在讨论光的直线传播和光速有限以后,胡克认为在一种均匀媒质中,这一运动在各方面都以相等的速度传播,于是发光体的每一脉动或振动在以后的时刻都必将形成一个球面。由此可知,胡克实际上已涉及到波前和波面的概念。他还和波

义耳(R. Boyle, 1627—1691)独立地研究了薄膜所产生的彩色干涉条纹,所有这些

都是光的波动理论的萌芽。

17世纪下半叶,牛顿(I. Newton, 1642—1727)和惠更斯(C. Huygens, 1629—1695)等把光的研究引向进一步发展的道路。在光学发展的早期,对颜色的解释显得特别困难。牛顿在1672年2月6日提交皇家学会的题为《关于光 and 色的新理论》的论文中,详细地描述了棱镜实验。牛顿发现白光通过棱镜时,会在光屏上形成按一定次序排列的彩色光带——光谱。于是他认为白光由各种色光复合而成,各色光在玻璃中受到不同程度的折射,因而白光被分解成许多组成部分。反之,把各种组成部分复合起来会重新得到原来的白光。进一步的实验还指出,某种色光通过第一棱镜从光谱中分离出来后,它便不会被第二棱镜再分解。这些单色光特征,可用棱镜的形状和折射率来定量地描述。因此牛顿的白光实验,使对颜色的解释摆脱了主观视觉的印象而上升到客观量度的科学高度。此外,牛顿还仔细观察了白光在空气薄层上干涉时所产生的彩色条纹——牛顿环,从而首次认识了颜色和空气层厚度之间的关系,但最早发现牛顿环的却是胡克。在发现这些现象的同时,牛顿于1704年出版的《光学》一书中,根据光的直线传播性质,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。然而在解释牛顿环时,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时所发生的衍射现象。

惠更斯反对光的微粒说,1678年他在向法国科学院提交的《论光》这本著作中从声和光的某些现象的相似性出发,认为光是在“以太”中传播的纵波。所谓“以太”则是一种假想的弹性媒质,充满于整个宇宙空间,光的传播取决于“以太”的弹性和密度。运用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和折射定律,还解释了方解石的双折射现象。《论光》这本著作正文分成五章,分别为“论光线沿直线传播”、“论反射”、“论折射”、“论空气中的折射”、“论冰洲石中的奇异折射”。最后还附有“论用于折射与反射的透明体的图形”一章。但惠更斯没有对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,没有提到波长的概念。他的关于次波包络面成为新的波面的理论,没有考虑到新的波面是由波动按一定的位相叠加所造成的。归根到底,仍旧没有超脱几何光学的观念,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,却从他发现的牛顿环的现象中确信光是周期性的。

综上所述,这一时期中,在以牛顿为代表的微粒说占统治地位的同时,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。

光的理论在18世纪实际上没有什么进展。多数科学家采纳了光的微粒学说,不过瑞士的笛卡儿学派的欧拉(L. Euler, 1707—1783)和伯努利(D. Bernoulli,

1700—1782)却捍卫并发展了“以太”波动理论.

0.2.3 波动光学时期

到了19世纪,初步发展起来的波动光学的体系已经形成,杨氏(T. Young, 1773—1829)和菲涅耳(A. J. Fresnel, 1788—1827)的著作在这里起着决定性的作用. 1801年杨氏最先用干涉原理令人满意地解释了白光照射下薄膜颜色的由来并用双缝显示了光的干涉现象,而且第一次成功地测定了光的波长. 1815年菲涅耳用杨氏干涉原理补充了惠更斯原理,形成了人们所熟知的惠更斯-菲涅耳原理. 这个原理不仅圆满地解释了光在均匀的各向同性介质中的直线传播,而且还能解释光通过障碍物时所发生的衍射现象. 因此,它成为波动光学的一个重要原理.

1808年马吕斯(E. L. Malus, 1775—1812)偶然发现光在两种介质界面上反射时的偏振现象. 随后菲涅耳和阿喇果(D. Arago, 1786—1853)对光的偏振现象和偏振光的干涉进行了研究. 为了解释这些现象,杨氏在1817年提出了光波和弦中传播的波相仿的假设,认为它是一种横波. 菲涅耳进一步完善了这一观点并导出了菲涅耳公式. 至此,光的弹性波动理论既能说明光的直线传播,也能解释光的干涉和衍射现象,并且横波的假设又可解释光的偏振现象. 看来似乎十分圆满了,但这时仍把光的波动看作是“以太”中的机械弹性波动. 至于“以太”究竟是怎样的物质,尽管人们赋予它许多附加的性质,仍难自圆其说. 这样,光的弹性波理论存在的问题也就暴露出来了. 此外,这个理论既没有指出光学现象和其他物理现象间的任何联系,也没有能把表征介质特性的各种光学常数和介质的其他参数联系起来.

1845年法拉第(M. Faraday, 1791—1867)发现了光的振动面在强磁场中的旋转,揭示了光学现象和电磁现象的内在联系. 通过1856年韦伯(W. E. Weber, 1804—1891)和柯尔劳施(R. Kohlrausch, 1809—1858)在莱比锡做的电学实验,发现电荷的电磁单位和静电单位的比值等于光在真空中的传播速度,即 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$. 从这些发现中,人们得到了启示,即在研究光学现象时,必须把它和其他物理现象联系起来考虑.

麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)在1865年的理论研究中指出,电场和磁场的改变不会局限在空间的某一部分,而是以数值等于电荷的电磁单位与静电单位的比值的速度传播的,即电磁波以光速传播,这说明光是一种电磁现象. 这个理论在1888年被赫兹(H. R. Hertz, 1857—1894)的实验所证实. 他直接从频率和波长来测定电磁波的传播速度,发现它恰好等于光速. 至此,就确立了光的电磁理论基础,尽管关于“以太”问题,要在相对论出现以后才得到完全解决. 另一方面,当时已经发现了折射率随光波波长而改变的色散现象. 根据当时物质结构的观念,已可以从电子的运动过程更深入地研究光与物质相互作用的各种过程. 洛仑兹(H. A. Lorentz, 1853—1928)根据他在1896年创立的电子论,认为在外力的作用

下,电子做阻尼振动而产生光的辐射.当光通过介质,介质中电子的固有频率和外场的频率相同时,则束缚电子便成为较显著的光的吸收体.这样,利用洛仑兹的电子论不仅可以解释物质发射和吸收光的现象,还解释了光在物质中的传播过程,同时光的色散现象也得到较好的解释.

光的电磁理论在整个物理学的发展中起着很重要的作用.它指出光和电磁现象的一致性,并且再一次证明了自然现象存在着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出了一大步.

0.2.4 量子光学时期

19世纪末到20世纪初,光学的研究已深入到光的发生、光与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与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.1900年普朗克(M. Planck, 1858—1947)提出了辐射的量子论,认为各种频率的电磁波只能以一定的能量子方式从振子发射,能量子是不连续的,其大小只能是电磁波(或光)的频率与普朗克常数乘积的整数倍,成功地解释了黑体辐射问题.1905年爱因斯坦(A. Einstein, 1879—1955)发展了普朗克的能量子假设,把量子论贯穿到整个辐射和吸收过程中,提出了杰出的光量子(光子)理论,圆满解释了光电效应,并为后来的许多实验例如康普顿效应所证实.但这里所说的光子不同于牛顿微粒说中的粒子,光子的能量是和光的频率(波动特性)联系着的,光同时具有微粒和波动两种特性.

至此,人们一方面从光的干涉、衍射和偏振等光学现象证实了光的波动性;另一方面从黑体辐射、光电效应和康普顿效应等又证实了光的量子性——粒子性.如何将有关光的本性的两个完全不同的概念统一,人们进行了大量的探索工作.1924年德布罗意(L. V. de Broglie, 1892—1987)提出物质波假设.他大胆地设想每一物质的粒子都和一定的波相联系,这一假设在1927年为戴维孙(C. J. Davisson, 1881—1958)和革末(L. H. Germer, 1896—1971)的电子束衍射实验所证实.事实上,不仅光具有波动性和微粒性,也就是所谓波粒二象性,而且一切习惯概念上的实物粒子同样具有这种二重性.也就是说,这是微观物质所共有的属性.1925年玻恩(M. Born, 1882—1970)所提出的波粒二象性的概率解释建立了波动性和微粒性之间的联系.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基本粒子研究的发展,也推动人们去进一步探索光和物质的本质,包括实物和场的本质问题.为了彻底了解光的本性,我们还要不断探索,不断前进.

0.2.5 现代光学时期

在近几十年来,光学作为物理学的一个分支,它的本身发生了极为深刻的演

变.随着物理学中许多其他分支学科——原子物理学、量子电子学和凝聚态物理学的巨大进展,在光学领域中发生了三件大事:(1)1948年出现了全息术.它能记录物体反射光的全部信息(振幅与相位),从而再现物体的三维像,并能显示物体的精细部分.(2)1955年,第一次提出用光学传递函数来评价光学系统成像质量的概念,这些概念后来又发展成为信息光学.(3)1960年诞生了新型光源——激光器.它产生的光单色性好,相干长度长,而且亮度高.激光的发展不仅使光学面貌发生了深刻的变化,而且促进了原子和分子物理学的复兴.

全息术、光学传递函数和激光这三件大事,是促使光学学科迅速进入现代光学阶段的标志.在20世纪70年代末期,由于现代光学和微处理机的结合,又导致光学仪器的一次新的、意义更为深刻的更新换代.新一代的光学仪器可称为信息光学仪器或智能光学仪器,也就是第三代光学仪器.它利用了近代光学的许多成就,并用微处理机进行自动控制和信息处理,其功能的完善程度和应用的广泛程度,以及仪器本身的标准化、系列化和通用化程度,都达到前所未有的水平.

现将上述全息术、光学传递函数和激光的应用分别介绍如下.

全息摄影术自问世以来一直受到人们的高度重视.现在,全息术已在全息检测、全息显微术、信息存贮、像差平衡、信息编码、全息干涉量度、声波全息和红外全息等方面获得了越来越广泛的应用.

1958年肖洛(A. L. Schawlow, 1922—1999)和汤斯(C. H. Townes, 1915—)等提出把微波量子放大器的原理推广到光频段中去.1960年梅曼(T. H. Maiman, 1927—)实现了他们的预言,并首先成功地制成了红宝石激光器.自此以后,激光科学技术的发展突飞猛进,在激光物理、激光技术和激光应用等方面都取得了巨大的进展.激光现已广泛用于打孔、切割、导向、测距、医疗和育种等各方面,在化学催化、同位素分离、通讯以及引发核聚变等方面也有广阔的发展前景.

将数学中的傅里叶变换和通讯中的线性系统理论引入光学,形成了傅里叶光学.它不仅使人们用新的理论来分析和综合光学现象,而且由此引入的空间滤波和频谱的概念已成为光学信息处理、特征识别、模糊图像处理、遥感图像处理和散斑信息处理、像质评价、成像理论以及相干光学计算机的基础.

现代光学以量子光学、非线性光学、激光理论与技术以及现代光学信息处理技术与光电子技术为标志,它们都是综合性很强的交叉学科.在现代光学阶段,人们更深刻地认识光的本性是波粒二象性,量子电动力学则全面地反映了光的波粒二象性,并经历了一系列精确实验的检验,仍是现代光学的理论基础.

现代光学技术与信息科学技术、纳米技术和生命科学技术紧密关联.例如以激光束捕捉与冷却原子,激光冷却技术已实现 $0.18\text{ }\mu\text{K}$ 低温,证实了凝聚物质的存在和宏观量子规律的存在;光场压缩态在量子通信和量子计算等领域有着广泛的应用前景.目前超短脉冲激光的脉冲持续时间已从 $\text{fs}(10^{-15}\text{ s})$ 进入 $\text{as}(10^{-18}\text{ s})$ 的量级,几十或几百 fs 左右的飞秒激光器已见诸于商品,因而可以研究各种超快速演