



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

普通物理学教程
光 学

易 明



高 等 教 育 出 版 社
HIGHER EDUCATION PRESS

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

普通物理学教程

光 学

易 明



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

(京)112 号

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学教程:光学/易明编. - 北京:高等教育出版社,1999.9

ISBN 7 - 04 - 007460 - 5

I. 普… II. 易… III. ① 普通物理学 - 高等学校 - 教材② 光学 - 高等学校 - 教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 24122 号

普通物理学教程 光学

易明

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010 - 64054588

传 真 010 - 64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 北京外文印刷厂

纸张供应 山东高唐纸业集团总公司

开 本 787 × 960 1/16

版 次 1999 年 10 月第 1 版

印 张 25.25

印 次 1999 年 10 月第 1 次印刷

字 数 460 000

定 价 26.40 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换.

版权所有 侵权必究

内 容 提 要

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材和教育部理科物理学“九五”规划教材,是普通高等教育“九五”国家级重点教材.本书为适应 20 世纪 60 年代激光问世以来光学学科的迅猛发展,在阐述经典光学的基础上,适当介绍现代光学最新课题的基本物理内容.

全书分为两编,共 10 章.第一编以经典光学为主线,内容包括:电磁波和光速,几何光学,光波的叠加 I、II,光的相干性,光的横波性及晶体光学基础等 6 章.本编深入浅出地讨论光的传播,并引入时间变量,把时间域和空间域光学融为一体,从而有利于与现代光学的相关新课题和新概念结合起来阐述.第二编讨论光与物质的相互作用,并简介今日光子学基础,内容包括:光的色散,吸收和散射,电光效应和磁光效应,激光,今日光子学浅说等 4 章.本编主要涉及现代光学几个较热门课题的基本物理原理,例如,激光原理,光二次谐波产生,光混频和光学相位共轭,光学双稳态和光计算机等.

书中穿插若干思考题和课外小实验,以启发读者主动思考,自己动手去实践、去探索.

本书可作为高等院校物理类专业的教材或教学参考书,亦可供有关的科技人员参考.

序

作为大学的基础物理的组成部分,光学课程过去常常是一门比较难教的课.这是因为它不像力学、热学、电磁学那样以少数的基本理论为框架建立起本学科的理论体系,从而显得逻辑性很强,顺着既有的框架比较容易掌握整门课程的思想体系,而光学学科却有着许多不同,主要的原因是光学的各个部分都已经各自形成了现代的体系,各自有着丰富的内容,而且都和当代许多高科技相联系.如果只讲光学的最基本的理论,就会显得比较枯燥,而且如果处理不当,或者只重描述而导致流于肤浅,或者只重理论推导而失去基础物理应有的特征.这是多年来困扰着光学课教师的问题.因此,探索建立一个既有一定的理论体系又能密切联系实际,特别是近代光学技术实际的教学体系,就成为一些教师全力以赴的目标了.易明教授在南京大学物理系长期主要从事光学教学和光学科学研究,本书可以说是她多年工作的一个结晶.

传统的光学教材包括几何光学与物理光学两大部分.同样是前述的原因,几何光学如果不讲到光学设计(过去称之为“应用光学”,这一词现在看似已未必准确),则显得没有多少实际意义,也缺乏理论深度.如果仅是为了使用光学仪器准备基本知识,则又会感到份量太轻,没有“讲头”.两难之下,在这本书中,基本上抛去了“几何光学”的内容(著者为了保证本书的全面性,只作了少量的吸纳).著者已编写出版了《现代几何光学》一书(曾获国家级优秀教材奖),也正是这两难处理的一种产物.而这本《光学》书就基本上是“物理光学”的内容了(现代意义上的物理光学).

物理光学,大体上由三部分组成,即光的传播(空间与介质中)、光与物质相互作用和光子学.这本书也是按这样的结构来编写的.我感觉这本书的特点是

1. 注重物理思想的阐述,从问题的提出到问题的归纳,都有较多的表现.同时,还将“光的相干性”(第四章)和“光波的叠加Ⅱ”(第五章)分别按章来编写,这就比只写本书的第三章“光波的叠加Ⅰ”显得既深入地讨论了基本问题,又比较自然地将一些光学前沿问题作了引入.这不失为一种新的构想.
2. 注意反映现代成就.全书大量地引用了近代光学前沿课题内容,而且引入都比较自然,在这个方面著者是费了一番苦心,也是成功的.反映现代成就,本来就是当前教材编写中被普遍关心的问题,而对于光学教材的编写来说就显得特别突出.这本书基本上解决了这一问题.
3. 关于将现代科学成就引入教科书的处理方法,一般有两种,

一是专辟章节介绍,二是揉进基本理论的章节之中.二者各有其长处,前者可以比较系统地介绍和论述,使读者得到一个全面的了解,如本书的第九章关于激光,第十章关于非线性光学;后者则主要是从现代成就的角度(或者联系现代成就的角度)去说明一些基本的物理概念,如本书中有关光纤通信和统计光学中一些重要问题.虽然像光纤通信、统计光学在现代光学中各已形成一支重要的研究领域,同时还有着重要的实际应用,但如果也专列章节来讲,则全书将不可避免地要扩大篇幅,作为基础物理课程,似可不必.当然,这样的处理是否成功的判断依据,主要是,它是否达到了使读者看到了一条从基本理论通向近代发展的途径.作为一种尝试,我认为著者是作了有益的探索的.

内容全面,反映近代,穿插得当,论述正确,自成体系,这些都是本书的优点.书中一些问题的提出,以及散见各处的一些启发式的问题,则是著者多年教学经验的运用,我想是为了引导读者进入本书,进行思考的一种教学举措,这是本书的一个特点.行文简练,不时会出现一些思维的跳跃,对此,见仁见智留给读者去评价,这也是本书的另一特点.

写好一本教科书,本非易事,“十年磨一剑”,希望海内读者惠予评说.

冯致光识于南京大学

1994年5月

前 言

背景——时机成熟：

光学是一门历史悠久的学科,经典光学经千锤百炼,内容已经十分丰富、精彩;自1960年激光问世以来,光学又以前所未有的规模和速度发展成为当今的前沿学科.新的概念,新的课题,如雨后春笋,层出不穷,使光学世界更加绚丽夺目,更富生命力,具有不可估量的前途.本书作者在保留经典光学的精华的基础上,有机地结合阐述了现代光学课题的基本物理内容,力求深入浅出,向读者展示美好的光学世界.本书是作者在多年讲授光学课和从事光学科学研究工作的基础上写成讲义,又不断修改和补充而成的.

内容——保留经典之精华,结合阐述现代光学课题：

本书分为两大编,第一编以经典光学内容为主线,讨论光的传播;并引入了时间变量,把时间域和空间域相对应考虑,从而更加有机地与现代光学的相关新课题和新概念结合起来阐述.例如,杨氏实验和全息照相术、光栅和超短光脉冲、光拍和激光超外差技术、干涉条纹的调制度和光场涨落的统计相关性或光场的相干度、空域和时域的相幅转换、光孤子与掺铒光纤放大器和光纤通信等.既保留了经典光学的精华,又引入了现代光学的有关新概念和前沿课题,十分自然.本书对晶体光学的奇妙特性,是从麦克斯韦方程组出发来描述的,这比传统光学教材限于现象描述要彻底而有趣,从而可以更加深入地讨论光在各向异性晶体中的传播特性,例如,由方程组自然得出,光在晶体中产生双折射的两束光为线偏光,且它们的电矢量相互垂直的结论,以及当今用以作为光纤耦合及集成光学光波导耦合的消逝波或光子隧穿效应的产生等.

本书的第二编讨论光与物质相互作用,并简介今日光子学,包括弱光与物质相互作用的色散、吸收和散射,电光效应,磁光效应以及强光与物质相互作用,主要涉及现代光学的几个较热门的基本课题的基本物理原理:激光原理简述、光二次谐波的产生、光混频和光学相位共轭、光学双稳态和光计算机等.

书末附有电脑辅助教学题目16个,有条件的读者可自行在MATHCAD软

件下编写相应程序,以加深对书中内容的理解.

书内附有一些实拍的光学演示实验结果的照片,有助于读者直观理解.

感谢:

本书承蒙南京大学冯致光教授的关心并提供许多指导性的设想和建议,并为本书写序;承蒙潘维济教授和吴美娟教授仔细地审阅全书,并提出许多重要的修正意见;承蒙杨选民教授的支持和建议,并仔细地审阅全书,提出了很多宝贵的意见,有的章节就是引用了他开创性的工作,如第四章中不同频率光波的叠加,光拍法测光速,还有形象直观的旋转矢量法,将时间变量引入光学课,把空间域和时间域光学有机地融为一体,更全面地描绘光学世界,等等.此外,何永蓉教授还特地为本书拍摄了许多实验照片.在多年教学实践中,我的爱提问的学生们,以及同事们提出了许多耐人寻味的问题,也不断丰富了本书的内容,特别是思考题和完全靠学生自己在课外动手完成的课外小实验等.书中大部分插图是何懋姣同学采用电脑绘制的.本书写作过程中采用的电脑硬件和软件都是尹雷雷同学配置和管理的.作者在此一并表示感谢.

作 者

1998年5月

责任编辑	张立
封面设计	张楠
责任绘图	李维平
版式设计	史新薇
责任校对	许月萍
责任印制	陈伟光

目 录

绪论	1
----------	---

第一编 光的传播与叠加

第一章 电磁波和光速	9
* § 1-1 电磁波	9
§ 1-2 光拍法测光速	15
习题	17
第二章 几何光学(射线光学)	19
§ 2-1 实验定律	19
§ 2-2 费马原理	21
§ 2-3 单一球面	23
§ 2-4 薄透镜	26
* § 2-5 组合透镜	29
* § 2-6 光阑	34
习题	39
第三章 光波的叠加] ——相同频率光波的叠加——干涉和衍射	
——空间域里的叠加	41
* § 3-1 波的叠加原理和线性系统	42
§ 3-2 干涉、衍射与惠更斯-菲涅耳原理	45
§ 3-3 双光束干涉	56
§ 3-4 多光束干涉	82
§ 3-5 广延光源(连续分布光源)干涉——衍射	99
§ 3-6 衍射光栅和阵论	108
§ 3-7 菲涅耳衍射,全息照相术和相位共轭光学	124
习题	136
第四章 光的相干性	140
§ 4-1 问题	140
§ 4-2 干涉条纹的调制度和光源的相干性	143
§ 4-3 杨氏实验的光源狭缝 S 真是无限狭窄的吗? 空间相干性	144
§ 4-4 光源的非单色性对干涉条纹的影响——时间相干性	150
§ 4-5 光源的相干条件	156

§ 4-6 光源相干性特征的应用——迈克耳孙星体干涉仪和傅里叶光谱仪	156
§ 4-7 光源空间相干性和时间相干性的定量分析	162
习题	167
第五章 光波的叠加 II ——不同频率光波的叠加——光拍、波包	
——时间域里的叠加	168
§ 5-1 光拍与激光外差技术	168
§ 5-2 脉冲、波包	173
§ 5-3 色散波、群速度、光孤子	180
§ 5-4 调制波	186
§ 5-5 调幅波和调相波之间的转换及旋转矢量表示	192
习题	199
第六章 光的横波性及晶体光学基础	201
§ 6-1 反射和折射	201
§ 6-2 光的偏振特性	209
§ 6-3 界面反射或折射产生偏振光、偏振器、马吕斯定律	212
§ 6-4 晶体光学基础	215
§ 6-5 偏振光的干涉和美丽的干涉色	228
§ 6-6 旋光性	235
§ 6-7 偏振态和偏振器的矩阵表示——琼斯表示	238
习题	247
第二编 光和物质的相互作用以及今日光子学浅说	
第七章 光的色散、吸收和散射	253
§ 7-1 光在介质中的色散和吸收	254
§ 7-2 光的散射	258
第八章 电光效应和磁光效应	264
§ 8-1 电光效应和电光调制	264
§ 8-2 磁光效应和磁光盘	268
第九章 激光	274
§ 9-1 激光原理及其特性	274
§ 9-2 各种激光器及其应用	279
第十章 今日光子学浅说	284
§ 10-1 光二次谐波的产生	284
§ 10-2 光混频、相位共轭光与适应光学	287
§ 10-3 光学双稳态和光计算机	292
参考文献	298
附录一 光学树结构	302

附录二	常用物理量的符号和名称	304
附录三	常用物理常量表	306
附录四	SI 词头	307
附录五	矢量分析常用公式	308
附录六	张量	310
附录七	电磁波的能量定理	313
附录八	电脑教学辅助题目	314
习题参考答案		343
汉英名词索引		347
英汉名词索引		361
人名索引		375
照片目录		378

绪 论

一. 本书安排

光学,是一门历史悠久的学科,光学教科书中的传统内容已十分丰富.然而,1960年激光问世,推动了光学领域的迅猛发展,光学渗透到各个领域,并出现许多交叉分支.一般某一个分支所涉及的文献内容,不易被大学生所读懂,而且文献所涉及的数学公式亦较难理解,常常掩盖了内容的物理实质;至于传统的光学教材却又很少涉及这些前沿课题,或者将其放在附录中,篇幅也较大.这种脱节现象势必挫伤大学生的好奇心和求知欲.

其实,新科技的发展,总是建立在原有基础上的.也就是说,新科技与传统内容之间必定有不可分割的内在的联系.现代光学发展如此迅速,也是建立在传统光学基础上的.作者力图用易懂的传统光学概念来解释一些现代光学的内容和概念,使大学生在基础光学课程中就能接触到光学的前沿课题,以保护并更进一步激励他们的好奇心和培养他们的探索能力.

由于光学的广阔应用领域,其千变万化的现象也常使人目不暇接,读者在学习中,如何抓住其物理本质,以收提纲挈领之效,十分重要.有鉴于此,本书紧紧围绕光的本质,即光的二重性:光的波动性和光的粒子性(量子性)这个纲,从光的电磁波波动性概念衍生和解释各分支内容,并以四个物理常量来区分和联系各相关领域.希望使读者在通读本书后能豁然开朗,明确光学树的根、主干、枝和叶的关系.

本书向读者展示了“光学树”结构.

1) 光是什么

本书从课程一开始就提出了“光是什么”这一老问题.这是光学发展至今几千年,人们一直在努力地探索的问题.迄今认为光具有波粒二象性.光的传播过程中,表现光的波动性;光与物质相互作用过程中表现光的量子性.

2) 光学树的树干之间的联系——四个物理常量

本书以下面四个物理常量作为树干之间的联系:用普朗克常量(Plank constant) h 联系光的波动性和量子性;用光速 c 联系麦克斯韦方程组,以说明光的电磁波性;用光波长 λ 是否趋于零以区分几何光学(geometric optics)和波动光学(wave optics);用电极化率 χ 是标量还是张量(tensor)以区分光在各向同性介

质中和各向异性介质中的传播;用电极化率 χ 对光场的响应是线性还是非线性以区分线性光学和非线性光学(nonlinear optics). 本书以线性光学为主,对非线性光学只作简单介绍.

3) 经典光学之主干——麦克斯韦方程组

本书的第一编讨论光在各向同性和各向异性介质中的传播,即光的电磁波性.这是本书的主要内容,即树结构中枝叶最茂盛的部分.

光的电磁波性来自麦克斯韦方程组,它是树结构中树之主干.本书作为普通物理教程,一开始就不回避列出麦克斯韦方程组,并列出由其推出的电磁波波动方程,以使读者了解,光作为电磁波,光的干涉、衍射、光拍、光的调制、偏振光的干涉等空域和时域的线性叠加,均出自麦克斯韦方程组的线性性质(线性介质中);光的偏振性亦出自电磁波的横波性.尽管由于课程的安排,麦克斯韦方程组起码要学完电磁学,甚至电动力学才出现,作者尝试在这之前,先摆出这个麦克斯韦由一系列电磁实验总结得出的方程,暂时不去追究其细节,这样学生不仅能够接受,而且更能理解形形色色光学现象的实质和根本规律,也不至于感到光学现象乱而杂.第六章描述光作为电磁波的横波性,以及光在各向异性介质中的传播,作者尝试用张量和特征方程这些过去普通物理光学不涉及的数学,来较彻底地说明光在各向异性介质中的传播,特别是双折射现象,而不再仅仅是对现象的描述.其实,学生对上述两个数学概念并不陌生:张量在力学中讲转动惯量时就遇到过;特征方程在线性代数中学过,这里正好是一个应用例子.

本书从易到难多次涉及麦克斯韦方程组和电磁波波动方程:讨论真空中、各向同性介质中、各向异性介质中(第一部分)以及非线性介质中(第二部分)电磁波的传播.

本书的主要内容是经典光学,主要描述光的电磁波性,而电磁波服从麦克斯韦方程组的规律,所以我们说“麦克斯韦方程组是主干”是就经典光学范畴而言的.当涉及光与物质相互作用时,光表现的量子性服从量子力学规律,即薛定谔方程.光的统计性服从统计力学规律,即服从各种不同条件下的统计分布.本书对这些丰富的现代光学内容仅作概念性的介绍.

4) 支干——线性叠加

从树结构可看出,第一部分以线性叠加为支干,分支是相干叠加(复振幅叠加)和非相干叠加(强度叠加).前者包括光的干涉、衍射、偏振光的干涉、光拍、光调制等光波的空域和时域的线性叠加;后者包括光的空间相干和时间相干等内容.上述线性叠加均以简谐函数作为基本函数,都遵从共同的数学规律,即傅里叶变换(Fourier transformation).

本书的第二编讨论光和物质的相互作用与今日光子学浅说,较多涉及现代光学的前沿课题,我们着重阐述其简单物理原理.

书中穿插的思考题和课外小实验有助于启发读者主动思考,自己动手去作、去探索。

本书末有电脑辅助教学题目,有条件的同学可借助于电脑以便更形象,更深入地理解和掌握课程内容。

书末附有一些实拍的光学演示实验结果的照片,有助于读者作直观理解。

本书反映了不同教学层次的需求,可供不同深度的教学进行选择,未标星号*的部分是基本要求,标有星号*的部分是较高要求,也可只作为选读内容。

二. 简单历史回顾及今日光子学

光是什么?这是自古以来人们一直在探索的问题.我们这里只简单叙述一些关键性的历史。

微粒说:

1666年,英国物理、数学、天文学家牛顿(Newton)在暗房的窗口开了一个小孔,让太阳光透过小孔,照射在一块三棱镜上.光透过三棱镜,在墙壁上产生七彩的光谱.牛顿把光描绘成为从发光物体发射出来的,作高速运动的一种非常细小的粒子,这就是牛顿的**微粒说**(corpuscular theory).光的微粒说能很好地解释光在均匀介质中的直线传播,光在界面上的反射.不过,用微粒说来解释光在两种介质界面引起的折射现象时,理论与实验结果是相反的.而且,光的微粒说无法解释光的绕射、干涉和偏振现象。

1679年,荷兰物理学家**惠更斯**(Huygens)提出光的**波动说**(wave theory),他认为:光是在充满整个空间的特殊介质“以太”(ether)中传播的某种弹性波.用波动说解释光在介质中,如玻璃中或水中传播速度比在空气中或真空中要慢,与实验事实相符合.用波动说还能推出反射定律和折射定律,并能解释方解石的双折射现象.惠更斯在研究方解石时发现了光的偏振现象.当时,微粒说和波动说各有长短,争论不休.在18世纪以前,一方面由于实验条件和方法所限,无法判断和证实两种学说的正误或优劣;另一方面,微粒说较直观,易为人们所接受;再则,因为牛顿当时是权威科学家.因此,18世纪以前,微粒说一直占上风。

波动说:

1801年,英国物理学家**托马斯·杨**(Young)做了著名的“杨氏双孔干涉实验”.1802年,他向皇家学会宣读了关于“光的波动说”的论文,开始打破了“光的微粒说”的优势.杨氏让一束狭窄的光束穿过两个十分相近的小孔,然后投射到一张白屏幕上,通过两个小孔的两束光在屏上重叠处出现一组明暗相间的条纹.光的微粒说无法解释这样的问题:暗条纹处的光微粒跑到哪里去了?但是,用光的波动说观点却可以圆满地解释上述现象:两列同频率的波相遇,产生干涉现象,两列波的波峰相遇,产生亮条纹(相位相同),一列波的波峰与另一列波的波

谷相遇,产生暗条纹(相位相反)。

1819年,法国物理学家**菲涅耳**(Fresnel)做了著名的“光的绕射实验”。他的实验证明,若障碍物足够小,以至可以与光波长相比拟时,则光波在传播中可以绕过障碍物并在其后面的屏上形成明暗相间的图形,叫做绕射花样或衍射花样。他综合了惠更斯的球面次级子波以及干涉原理:把波传播看成是波面上各点相继激发出的一系列球面次级子波互相叠加和干涉的结果。他计算了由各种障碍物与小孔产生的衍射图样,并能圆满地解释均匀各向同性介质中光的直线传播现象。尽管杨氏的波动理论曾受到严厉的攻击,但由于杨氏和菲涅耳孜孜不倦地从事实验和理论工作,在19世纪,光的波动说终于占了上风。

1861年~1862年,英国物理学家**麦克斯韦**(Maxwell)总结了一系列电学和磁学实验,推出了著名的麦克斯韦方程组。由他的方程组预言了电磁波,而且推出电磁波在真空中的传播速度与当时测得的光速数据极相近。于是,他又大胆地预言:光是一种以波的形式通过以太传播的电磁扰动。

麦克斯韦的关于存在电磁波的预言,直到他去世后8年才由**赫兹**(Hertz)实验所证实。

至此,波动说面临的问题是,能否证实光波传播介质“以太”的存在?这个问题使人们困惑了许久,直到1887年美国**迈克耳孙**(Michelson)与**莫雷**(Moley)合作,试图用精密的迈克耳孙干涉仪(Michelson interferometer)观察地球相对于以太的运动,结果是否定的。他们证明通过实验不可能观察到相对于以太的运动的任何效应。于是,人们开始意识到,以太根本不存在。

1905年,**爱因斯坦**(Einstein)提出了狭义相对论,否定了以太的存在。他认为光在真空中传播并不需要什么媒体。而且还假设,光在真空中永远以确定的速度 c 传播, $c \approx 3 \times 10^8$ m/s,与光源或观察者的运动状态无关。并确立了质能关系:能量 $E = mc^2$ 。因此,人们必须接受这样的新观点:光波(电磁波)能够通过自由空间传播,光波(电磁波)本身是一种实体。

这时,光是什么的问题,似乎已有了明确的答案:光是电磁波,而且其传播不需什么媒体,能在真空中传播。但是,19世纪末和20世纪初发现的光电效应(photoelectric effect),**康普顿效应**(Compton effect),却无法用光的电磁波理论来解释,光又表现出粒子性质,光是什么的问题又重新提出。下面简单回顾一下这两个效应的发现。

波粒二重性:

1887年,赫兹用实验证明了麦克斯韦预言——电磁波的存在,以及光传播的电磁波理论。然而,他在气体放电实验中发现,如果用紫外光照射在相对放置的两电极的一个电极上,将加速两电极之间的放电。**雷纳德**(Lenard)用紫外光照射阴极表面,引起了电子辐射。这就是光电效应。现在的光电器件,如太阳电池、

光电管等就是利用光电效应原理制成的。

1922年,康普顿(Compton)用一束单色X射线(X-ray)照射在石墨样品上,研究被石墨散射的X射线。他发现,虽然入射的X射线是单一波长,但是被散射的X射线包含两种波长,其中之一与原来的入射波波长 λ 相同,另一波长 λ' 比入射波波长 λ 要长,两波长差 $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ 随散射角而变。这就是康普顿效应。

1922年普朗克(Planck)提出了一种新的理论——量子理论,他认为辐射不是连续的,而是量子化的。1905年,爱因斯坦提出了“光子”的概念,能很好地解释光电效应。他认为每个光子的能量 E 与光子频率成正比,亦即 $E = h\nu$,其中 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$,被称之为普朗克常量。

另一方面,电子衍射实验表明,电子具有波动性。不仅是电子表现出波动性,其他微观粒子,如中子、质子等都具有波动性。于是,在宏观上看来不相容的粒子性和波动性的概念,在微观上可以统一起来。到20世纪20年代,通过许多科学家的努力,发展了量子力学。他们是玻尔(Bohr)、玻恩(Born)、海森堡(Heisenberg)、德布罗意(de Broglie)、薛定谔(Schrodinger)、狄拉克(Dirac)、泡利(Pauli)等。微观“粒子”,包括“光子”具有波粒二象性。光在传播过程中表现波动性,例如,光在传播中表现的干涉、衍射现象,在介质交界面和各向异性介质中传播时表现的偏振现象,都是光的波动性的表现。光在与物质相互作用时表现粒子性,例如,前面提到的光电效应,康普顿效应,又如光被原子吸收或发射等。所以量子力学把包括光子在内的微观“粒子”之粒子性和波动性结合起来了。近代物理表明,微观粒子都具有波动和粒子二重性。动量为 p 的粒子,具有波长为 λ ,其关系为 $p = h/\lambda$ 。

光子学时代:

光学领域的一个重要里程碑是1960年美国科学家梅曼(Maiman)在汤斯(Townes)工作的基础上制成了第一台激光器,一种新型的光源。随之,各种各样的激光器如雨后春笋相继出现。激光以它的高功率,单色性好,方向性好的特点很快被广泛地应用于各领域,促进了各领域的飞速发展,并随之出现了许多新的概念,新的分支,如:二次谐波、参量放大、Q开关、锁模、时间相干、空间相干、光学压缩态、光学相位共轭、光学双稳态、皮秒级、飞秒级的超快速光学、光纤通讯、光计算机、全息术、声光调制、电光调制等,不胜枚举。值得特别提到的是,由于高功率激光的出现,强激光与晶体作用产生了非线性光学现象,使光学世界变得更加绚丽多彩。上面列举的许多新的现象都属于这一范畴。可以说,在激光出现以前,在光学领域研究的现象是属于线性光学范畴。在激光问世以后,许多非线性光学现象才变得明显起来。本书的第二部分将讨论非线性光学有关的问题。

光子学(photonics)这一名词的来历类似电子学,它的范围包括应用光子作