

★ 经典光学教材 ★

Pearson

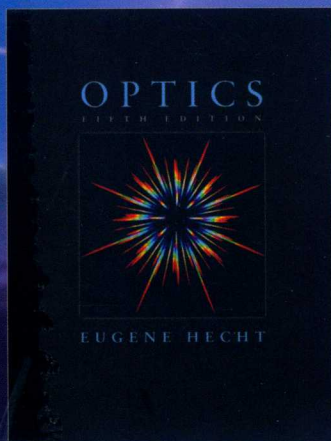
光学

(第五版)

Optics

Fifth Edition

[美] Eugene Hecht 著 / 秦克诚 林福成 译



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

本书是国际经典光学教材，20世纪70年代末期在国内翻译出版，全球被译为6种语言版本，以其精确、权威、全面的叙述和出色的插图而著称。在光学教材中处于领导地位。全书内容在光学领域和光学仪器器件的介绍方面取精舍简，内容基本覆盖我国光学课程的主要教学内容，特别是现代光学内容，与我国光学教学相接近。

本书主要内容分为四部分。第一部分为第1—4章，主要介绍光学基础知识；第1章回顾光学的历史；第2章介绍波动光学；第3章介绍电磁理论、光干涉和光的波动现象；第4章介绍光的传播。第二部分为第5—8章，介绍几何光学的基本原理；第5—8章，介绍几何光学的基本原理。第三部分为第9—12章，介绍光的波动现象；第9—12章，介绍光的波动现象。第四部分为第13章，介绍现代光学的内容。

光学

(第五版)

Optics

Fifth Edition

[美] Eugene Hecht 著

秦克诚 林福成 译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是国际经典光学教材, 20 世纪 70 年代末即在国内翻译出版, 全球被译为 6 种语言的版本, 以其精确、权威、全面的视野和出色的配图而著称, 在光学教材中处于领导地位。全书内容在光学理论和光学仪器与器件的介绍方面取得较好平衡, 内容基本覆盖我国光学课程的主要教学内容, 课程体系也和我国光学教学相接近。

本书主要内容分为四部分。第一部分为第 1~4 章, 主要介绍光学基础知识: 第 1 章回顾光学的历史; 第 2 章介绍波动的知识; 第 3 章介绍电磁理论、光子和光的基础知识; 第 4 章介绍光的传播。第二部分为第 5、6 章, 分别介绍几何光学的基本内容和深入拓展。第三部分为第 7~12 章, 是物理光学的内容, 分别介绍波的叠加规律、偏振、干涉、衍射、傅里叶变换及其在光学中的应用与相干理论。第四部分即第 13 章, 是现代光学的内容。每章最后都有一定量的习题, 全书最后附有部分习题的详细解答。

本书可供普通高等学校物理类专业学生作为光学教材使用, 也可供其他专业和社会读者参考。

Authorized translation from the English language edition, entitled Optics, Fifth Edition by Eugene Hecht, published by Pearson Education, Inc., Copyright © 2017 by Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY. Copyright ©2019.

本书简体中文版专有出版权由 Pearson Education (培生教育出版集团) 授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书简体中文版贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签, 无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2016-9466

图书在版编目 (CIP) 数据

光学: 第五版 / (美) 尤金·赫克特 (Eugene Hecht) 著; 秦克诚, 林福成译. —北京: 电子工业出版社, 2019.6

书名原文: Optics, 5th edition

ISBN 978-7-121-36467-9

I. ①光… II. ①尤… ②秦… ③林… III. ①光学—高等学校—教材 IV. ①O43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 085293 号

策划编辑: 窦 昊

责任编辑: 窦 昊

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱

邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 54.25 字数: 1388.8 千字

版 次: 2019 年 6 月第 1 版 (原书第 5 版)

印 次: 2019 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 128.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010) 88254466, douhao@phei.com.cn。

译者序

国际闻名的光学教材, E. Hecht 的 *Optics*, 在 2017 年出了第五版。因为我们曾将它的第一版译为中文, 电子工业出版社邀请我们再作冯妇, 翻译这一版。我们高兴地承担了这项任务。

据南开大学张立彬和张功两位先生对本书第四版的介绍, 第四版于 2002 年出版发行。在 1974—2006 年间, 本书共被译为 6 种语言, 在世界各国共发行 57 种版本, 被全世界 1497 个图书馆收录。这本书基本覆盖了我国光学课程的主要内容, 课程体系也和我国的光学教学相接近。首都师范大学的张存林先生曾按照光学课程的教学要求对本书进行过针对性的改编, 改编版发行于 2005 年。

作者 E. Hecht 是美国纽约 Adelphi 大学物理系教授, 据说他是该校最受欢迎的教授, 主要教大学物理和光学课程。他编写了许多物理教材, 除本书外, 还有著名的 *Schaum's Outline* 丛书中的 *Schaum's Outline of Theory and Problems of College Physics* 和 *Schaum's Outline of Theory and Problems of Optics* 等。他于 1989 年获得美国艺术图书奖。

本书内容可分为四部分。第一部分(第 1~4 章)介绍一些数学准备知识和光学基础知识, 包括光学简史、波动的基本概念、光作为电磁波和量子粒子的二象性等。第二部分(第 5、6 章)是几何光学, 第三部分(第 7~12 章)是物理光学, 最后的第 13 章介绍现代光学。

作者在第五版序言中说, 促使他写第五版的几个迫切原因, 一是不断对内容进行现代化(如更多介绍光子、相矢量和傅里叶光学), 二是跟上技术革命的步伐, 介绍许多光学新技术、新仪器和新材料, 三是尽可能改善教学法。译者觉得, 这几方面他都完成得很好。

本书的优点既在于它对光学现象讨论的详细, 还在于它对这些有趣的新颖内容的介绍和教学法的创新。在对光学新内容以及与光有关的新奇物理现象的介绍方面, 介绍了同步加速器辐射、光的盘旋、负折射率、负相速度、引力透镜效应等。对于与光学现象有关的一些学科, 如量子场论、量子电动力学, 也作了简单介绍。在教学法方面, 例如, 讨论光的传播时以光在均匀介质中的散射为出发点, 将光在均匀介质中的直线传播作为散射在不同方向干涉的结果。虽然一开始有一章讲述光学简史, 作者仍然随时穿插物理学史上的一些小故事, 如施密特发明校正版的经过(5.8 节前)。作者也推出一些随手可做的小实验, 例如用一把不锈钢勺的两面观察简单的凹面镜和凸面镜成像。

本书翻译采用的物理学名词根据赵凯华先生主编的《英汉物理学词汇》(北京大学出版社, 2002 年)。书中的插图有三种编号: 一种是正文中的插图, 编号例如 Fig.5.26, 译为图 5.26。一种是习题的题图, 编号例如 Fig.P.5.47, 译为题图 P.5.47。另外, 正文中一些照片, 没有编号, 译文中也不编号。原书每页分两栏, 插图或在正文前, 或在正文后, 有的离得很远, 不容易找。中译本每页只一栏, 插图与有关正文离得很近。这是对原书版式的一个改进。

序

促使我写第五版的原因是三个迫切要求：只要有可能就改善教学法；不断对讨论的内容进行现代化（例如，更多谈些光子、相矢量和傅里叶光学）；刷新内容，跟上技术进步的步伐（比方说，本书现在也讨论原子干涉仪和超构材料）。光学是一个发展很快的领域，这一版力争为这门学科提供一本现代的入门教材，同时始终集中注意力于教学法。

朝这个方向的努力的具体目标是：（1）使读者能够理解原子散射在光学的几乎每一方面扮演的中心角色；（2）从一开始就建立光（及一切量子粒子）的最基本的量子力学本性；（3）早点介绍傅里叶理论的强大能力，这个理论在现代分析中已如此流行。因此，早在第 2 章中，就伴随着时间频率和周期，介绍并图示了空间频率和空间周期的概念。

在学生用户的要求下，我将超过一百道用每节讨论的原理完全解出的例题，分散在本书从头到尾的各个部分。在各章的末尾，添加了二百多道不带解答的习题，以进一步增加家庭作业用题的选择。完整的教师解题手册承索即寄。因为“一图无声胜千词”，我们用多幅新插图和照片，进一步增强了正文的说明能力。本书在教学上的威力在于它重视对所讨论的东西给出真实实在的解释。这一版进一步加强了这一做法。

自第四版出版以来，作者每年都教光学，深知对书中哪些地方做进一步的阐明，会对今天的学生更有好处。因此，这次修订注意到了几十处讲得不够之处，补上了推导中许多缺失的环节。每一小段都经过仔细审阅以做到准确无误，并且只要合适都做了修改，以提高可读性和教学效率。

书中可以找到许多新增加的材料：在第 2 章（波动）里，有一节讨论盘旋的光；在第 3 章（电磁理论、光子和光）里，有对散度和旋度的初等介绍，对光子的更多的讨论，以及讨论被压缩的光和负折射的小节；在第 4 章（光的传播）里，有对光密度的简短评论，有关于电磁边界条件的一段，有对隐失波的更多讨论，还有讨论点光源发出的光的折射、负折射、惠更斯作图法和古斯-亨辛移位的小节；在第 5 章（几何光学）里，有许多新的图片图示透镜和反射镜的行为，还有关于纤维光学的新增文字，以及讨论虚物、焦面光线追迹和空心/微结构光纤的小节；在第 6 章（几何光学的进一步讨论）里，有处理穿过厚透镜的简单光线追迹的新思路；在第 7 章（波的叠加）里，可以找到关于负相速度的新的一小节，它是对傅里叶分析的扩展讨论，有许多图——而不用微积分——表示这个过程实际上如何进行，并且有关于光频梳（它得到 2005 年诺贝尔奖的承认）的讨论；在第 8 章（偏振）里发展了一个有力的方法，用相矢量分析偏振光；还有对起偏器的透射比的新讨论，和关于单轴晶体中的波阵面与光线的小节；第 9 章（干涉）一开始就联系杨氏实验，对衍射和相干性作了简短的概念性讨论。它有几个新的小节，其中包括近场/远场、用相矢量表示电场振幅、衍射的显示、粒子干涉、建立光的波动说和测量相干长度。第 10 章（衍射）包含一个新小节，标题是相矢量和电场振幅。还有几十幅新绘制的插图和照片，全面显示了形形色色的衍射现象。本版的第 11 章（傅里叶光学）有一小节二维像，其中包含引人注意的一系列图，形象地显示了各个空间

频率分量如何加在一起生成像。第12章(相干性理论初步)含有几个新的介绍性的小节,其中包括条纹和相干性及衍射和消失中的条纹。这一章也新增了一些很说明问题的插图。第13章(现代光学:激光器与其他课题)包含内容更丰富、更现代的对各种激光器的讨论,并伴随有表格、插图和几个新的小节,包括光电子学图像重建。

第五版提供了光学教师会特别感兴趣的大量新材料。例如,现在除了平面波、球面波和柱面波,我们也能生成螺旋波,这种波穿过空间前行时,它的等相面是螺旋前进的(2.11节,第41页)。

除数学困难外,学生们常常还对理解散度和旋度在物理上对应什么有麻烦。因此,本书这一版包含有一小节,用简单的语言探索这两个算符实际上是干什么用的(3.1.5节,第56页)。

负折射现象是现代研究中的一个活跃领域,在本书第4章里(第131页)现在可以找到对有关的基本物理学知识的简短介绍。

惠更斯设计了一个画折射光线的方法(第133页),这个方法本身就很有意思,而且它还让我们能够用方便的方式理解各向异性晶体中的折射(第433页)。

在研究电磁波与实物媒质的相互作用时(例如在推导菲涅耳方程时),要用到边界条件。由于一些学生读者可能对电磁学不太熟悉,本书第五版包含有对这些条件的物理起源的简短讨论(4.6.1节,第141~142页)。

本书现在包含有对发生在全内反射中的古斯-亨辛移位的简短讨论。这个题目应当是一篇趣味物理学文章的题目,在入门性质的介绍中是常被忽略的(4.7.1节,第159~160页)。

焦面光线追迹是追踪通过复杂透镜系统的光线的直截了当的方法。这个简单但却功能强大的方法在本书中是新内容,它在课堂上工作得很好,很值得花上几分钟时间介绍(第209页)。

几幅新的插图使虚像和通过透镜系统产生的更微妙的虚物的本性变得清楚了(第208~209页)。

光纤光学的广泛使用,使得有必要对这个题目的某些方面作一个现代说明(第246~251页)。在新增内容中,读者可以找到对微结构光纤及更普遍地对光子晶体的讨论,这二者都需要大量的物理学知识(第251~253页)。

对傅里叶级数除进行通常的有些公式化的枯燥的数学处理外,本书也包含有引人入胜的图解分析,它们从概念上表明,这里遇到的那些积分实际上是干什么用的。这对大学本科生很有用(7.3.1节,第374~379页)。

我们广泛使用相矢量来帮助学生想象谐波的相加。这种技巧在处理构成各种偏振态的正交场分量时非常有用(第448页)。此外,这个方法也提供了一个很好的图解手段,来分析各种波片的行为。

杨氏实验(更一般地说双束干涉),不论是在经典光学还是在量子光学中都处于中心地位。但是通常对这部分内容的介绍都失之于太简单,忽略了衍射现象和相干性对它的限制。现在的分析早早提到了这些担心(9.1.1节,第487页)。

我们使用相矢量来图示电场的振幅,扩展了对干涉现象的传统讨论,让学生可以用另一种方式想象发生的事情(9.3.1节,第496页)。

通过电场相矢量也可以方便地考察衍射(第566~568页)。这种方法学自然导致经典的振动曲线,它使我们想起费曼对量子力学的概率振幅研究方法。无论如何,它给学生们提供了看待衍射的一个互补的手段,它实质上不需要微积分。

对傅里叶光学有兴趣的学生现在可以看到一系列精彩的图，表明各个空间频率的正弦波分量，如何能够相加合在一起生成一幅可以辨认的二维图像——年轻的爱因斯坦的肖像（第 667 页）。即使是在一堂引论性的课上，哪怕第 11 章中别的材料可能超出了课程的水平，也应该讨论这一系列不同寻常的图——它对现代图像理论是基础性的，并且概念上很漂亮。

为了让第 12 章里对相干性的高等讨论能更好地被更广的读者群接受，本书这一版包含有一个实质上非数学的介绍（第 711~712 页）；它搭建了传统表述的平台。

最后，关于激光器的内容，虽然仅是介绍性的，但已加以扩充（第 747 页），使得其更符合今天的情况。

从第四版出版以后的几年里，世界各地的几十位同事曾为这一新版提供过评论、意见、建议、文章和照片；我由衷地感谢他们所有的人。

任何人想要对本版作出评论或提出建议，或为将来的新版添砖加瓦，可以通过以下地址与作者联系：Adelphi University, Physics Department, Garden City, NY 11530，通过电子邮件 genechecht@aol.com 联系更好。

目 录

第 1 章 光学简史	1
1.1 开场白	1
1.2 初始时期	1
1.3 十七世纪以来	3
1.4 十九世纪	5
1.5 二十世纪的光学	8
第 2 章 波动	12
2.1 一维波	12
2.1.1 微分波动方程	15
2.2 谐波	18
2.2.1 空间频率	22
2.3 相位和相速度	22
2.4 叠加原理	25
2.5 复数表示	27
2.6 相矢量和波的相加	29
2.7 平面波	31
2.8 三维波动微分方程	36
2.9 球面波	37
2.10 柱面波	40
2.11 盘旋的光	41
习题	42
第 3 章 电磁理论、光子和光	48
3.1 电磁理论的基本定律	49
3.1.1 法拉第感应定律	49
3.1.2 电场的高斯定律	51
3.1.3 磁场的高斯定律	53
3.1.4 安培环路定律	54
3.1.5 麦克斯韦方程组	56
3.2 电磁波	59
3.2.1 横波	61
3.3 能量和动量	63
3.3.1 坡印廷矢量	63

3.3.2	辐照度	67
3.3.3	光子	69
3.3.4	辐射压强和动量	76
3.4	辐射	79
3.4.1	直线加速运动的电荷	79
3.4.2	同步加速器辐射	81
3.4.3	电偶极辐射	83
3.4.4	原子发的光	85
3.5	大块物质中的光	87
3.5.1	色散	90
3.6	电磁波-光子谱	97
3.6.1	射频波	97
3.6.2	微波	98
3.6.3	红外线	99
3.6.4	可见光	101
3.6.5	紫外线	102
3.6.6	X射线	103
3.6.7	γ 射线	104
3.7	量子场论	104
	习题	106
第4章	光的传播	111
4.1	引言	111
4.2	瑞利散射	111
4.2.1	散射和干涉	113
4.2.2	光透射穿过稠密介质	115
4.2.3	透射和折射率	117
4.3	反射	120
4.3.1	反射定律	121
4.4	折射	124
4.4.1	折射定律	125
4.4.2	惠更斯原理	132
4.4.3	光线和法线线汇	133
4.5	费马原理	134
4.6	电磁学研究方法	140
4.6.1	界面上的波	140
4.6.2	菲涅耳方程	142
4.6.3	菲涅耳方程的解释	146
4.7	全内反射	155

4.7.1 隐失波	157
4.8 金属的光学性质	162
4.9 光和物质相互作用的一些熟知的方面	166
4.10 斯托克斯对反射和折射的处理	171
4.11 光子、波和概率	173
4.11.1 量子电动力学 (QED)	174
4.11.2 光子与反射定律和折射定律	176
习题	177
第5章 几何光学	187
5.1 引言	187
5.2 透镜	188
5.2.1 非球面	188
5.2.2 球面上的折射	191
5.2.3 薄透镜	194
5.3 光阑	216
5.3.1 孔径光阑和视场光阑	216
5.3.2 入射光瞳和出射光瞳	217
5.3.3 相对孔径和 f 数	221
5.4 反射镜	222
5.4.1 平面镜	222
5.4.2 非球面镜	226
5.4.3 球面镜	228
5.5 棱镜	235
5.5.1 色散棱镜	236
5.5.2 反射棱镜	238
5.6 光纤光学	242
5.6.1 光纤通信技术	246
5.7 光学系统	255
5.7.1 眼	255
5.7.2 眼镜	259
5.7.3 放大镜	265
5.7.4 目镜	267
5.7.5 复显微镜	269
5.7.6 照相机	272
5.7.7 望远镜	275
5.8 波阵面整形	284
5.8.1 自适应光学	285
5.8.2 相位共轭	288

5.9 引力透镜效应	290
习题	291
第6章 几何光学的进一步讨论	303
6.1 厚透镜和透镜组	303
6.2 解析法光线追迹	308
6.2.1 矩阵方法	310
6.3 像差	321
6.3.1 单色像差	321
6.3.2 色像差	338
6.4 GRIN (梯度折射率) 系统	344
6.5 结束语	347
习题	348
第7章 波的叠加	352
7.1 同频率波的相加	352
7.1.1 代数方法	353
7.1.2 复数方法	357
7.1.3 相矢量相加	358
7.1.4 驻波	360
7.2 不同频率波的相加	365
7.2.1 拍	365
7.2.2 群速度	368
7.3 非简谐周期波	374
7.3.1 傅里叶级数	374
7.4 非周期波	384
7.4.1 傅里叶积分	387
7.4.2 脉冲和波包	389
7.4.3 相干长度	392
7.4.4 分立傅里叶变换	395
习题	402
第8章 偏振	409
8.1 偏振光的性质	409
8.1.1 线偏振	409
8.1.2 圆偏振	412
8.1.3 椭圆偏振	414
8.1.4 自然光	417
8.1.5 角动量和光子图像	417
8.2 偏振器	418

8.2.1	马吕斯定律	419
8.3	二向色性	421
8.3.1	线栅起偏器	421
8.3.2	二向色性晶体	421
8.3.3	偏振片	422
8.4	双折射	425
8.4.1	方解石	426
8.4.2	双折射晶体	431
8.4.3	双折射偏振器	434
8.5	散射和偏振	436
8.5.1	散射引起的偏振	436
8.6	反射引起偏振	438
8.6.1	菲涅耳方程的一个应用	440
8.7	推迟器	442
8.7.1	波片和斜方体	443
8.7.2	补偿器和可变推迟器	449
8.8	圆偏振器	450
8.9	多色光的偏振	451
8.9.1	多色波的带宽和相干时间	451
8.9.2	干涉色	452
8.10	旋光性	453
8.10.1	一个有用的模型	456
8.10.2	旋光性的生物物质	458
8.11	感生光学效应——光调制器	458
8.11.1	光测弹性学	458
8.11.2	法拉第效应	460
8.11.3	克尔效应和泡克耳斯效应	461
8.12	液晶	464
8.13	偏振的数学描述	467
8.13.1	斯托克斯参量	468
8.13.2	琼斯矢量	470
8.13.3	琼斯矩阵和密勒矩阵	471
	习题	474
第9章	干涉	482
9.1	一般考虑	483
9.1.1	近场/远场	487
9.2	发生干涉的条件	488
9.2.1	时间相干和空间相干	488

9.2.2	菲涅耳-阿拉果定律	490
9.3	分波阵面干涉仪	491
9.3.1	杨氏实验	491
9.4	分振幅干涉仪	504
9.4.1	介电膜——双束干涉	504
9.4.2	装有反射镜的干涉仪	515
9.5	干涉条纹的类型和位置	523
9.6	多光束干涉	524
9.6.1	法布里-珀罗干涉仪	529
9.7	单层膜和多层膜的应用	534
9.7.1	数学处理方法	535
9.7.2	抗反射敷层(增透膜)	537
9.7.3	多层周期系统	539
9.8	干涉量度学的应用	540
9.8.1	散射光干涉	541
9.8.2	特外曼-格林干涉仪	543
9.8.3	转动萨尼亚克干涉仪	543
9.8.4	雷达干涉测量术	545
	习题	547
第 10 章	衍射	553
10.1	引言	553
10.1.1	不透明障碍物	556
10.1.2	夫琅禾费衍射和菲涅耳衍射	557
10.1.3	几个相干振子	559
10.2	夫琅禾费衍射	562
10.2.1	单缝	562
10.2.2	双缝	571
10.2.3	多缝衍射	575
10.2.4	矩形孔	583
10.2.5	圆孔	588
10.2.6	成像系统的分辨率	593
10.2.7	零阶贝塞尔光束	596
10.2.8	衍射光栅	597
10.3	菲涅耳衍射	607
10.3.1	球面波的自由传播	607
10.3.2	振动曲线	612
10.3.3	圆孔	613
10.3.4	圆形障碍物	619

10.3.5	菲涅耳波带片	621
10.3.6	菲涅耳积分和矩形孔	624
10.3.7	考纽螺线	628
10.3.8	单狭缝的菲涅耳衍射	631
10.3.9	半无穷不透明屏	634
10.3.10	狭长障碍物的衍射	635
10.3.11	巴俾涅原理	637
10.4	基尔霍夫标量衍射理论	639
10.5	边界衍射波	642
	习题	643
第 11 章	傅里叶光学	650
11.1	引言	650
11.2	傅里叶变换	650
11.2.1	一维变换	650
11.2.2	二维变换	654
11.2.3	狄拉克 δ 函数	657
11.3	光学应用	663
11.3.1	二维像	663
11.3.2	线性系统	668
11.3.3	卷积积分	671
11.3.4	衍射理论中的傅里叶方法	682
11.3.5	频谱和相关	687
11.3.6	传递函数	697
	习题	703
第 12 章	相干性理论初步	709
12.1	引言	709
12.2	条纹和相干性	711
12.2.1	衍射和消失的条纹	715
12.3	可见度	716
12.4	互相干函数和相干度	723
12.4.1	时间相干性和空间相干性	725
12.5	相干性和测星干涉测量术	728
12.5.1	迈克耳孙测星干涉仪	728
12.5.2	关联干涉测量术	730
	习题	734
第 13 章	现代光学：激光器和相关课题	738
13.1	激光器和激光	738

13.1.1	辐射能与物质的平衡	738
13.1.2	受激发射	743
13.1.3	激光器	747
13.1.4	神奇的光	764
13.2	成像——光学信息的空间分布	769
13.2.1	空间频率	769
13.2.2	阿贝成像理论	772
13.2.3	空间滤波	773
13.2.4	相衬法	779
13.2.5	暗场法和纹影法	783
13.3	全息术	785
13.3.1	各种方法	785
13.3.2	进展和应用	795
13.4	非线性光学	800
13.4.1	光学整流	801
13.4.2	二次谐波产生	802
13.4.3	混频	804
13.4.4	光的自聚焦	805
	习题	805
附录 A	电磁学理论	811
附录 B	基尔霍夫衍射理论	815
	部分习题的解答	817

第1章 光学简史

1.1 开场白

在下面各章里，我们将正式学习光学这门科学的许多内容，特别着重现代感兴趣的那些方面。这个题目包括了人类大约三千年历史中积累的大量知识。在开始钻研关于光学的近代观点之前，让我们简短回顾人类获得今天的知识走过的路程，即使不为别的，只为对它的全貌有一概括了解。

1.2 初始时期

光学工艺的起源可以追溯到远古。旧约《出埃及记》(约公元前 1200 年)第 38 节第 8 段记述了比撒列(Bezaleel)在准备法柜和会幕时，如何把“妇人照的镜子”重新铸成铜洗礼盆(宗教仪式用的水盆)。早期的镜子用铜和青铜磨光做成，后来用镜合金做成，这是一种富含锡的铜合金。古埃及残存下来一些标本——在尼罗河谷瑟索斯特里斯二世(Sesostris II)金字塔(约公元前 1900 年)附近的工匠区，出土了一面保存完好的镜子连同一些工具。希腊哲学家毕达哥拉斯、德谟克利特、恩培多克勒、柏拉图、亚里士多德和别的人，发展了关于光的本性的几种理论。欧几里得(公元前 300 年)在他的书《反射光学》里已经知道了光的直线传播(本书第 114 页)，并宣布了反射定律(第 121 页)。亚历山大里亚的希洛(Hero of Alexandria)试图通过断言光在两点之间走的路程是允许的最短路程，来解释这两种现象。阿里斯托芬在他的喜剧《云》(公元前 424 年)里，曾提到过点火镜(用来点火的正透镜)。在柏拉图的《共和国》一书里讲到过部分浸在水里的物体看起来是弯折的(第 129~130 页)。克里奥默德(Cleomedes, 公元 50 年)和后来的亚历山大里亚的托勒密(Ptolemy, 公元 130 年)曾研究过折射，后者列举了对几种媒质的入射角和折射角的精确测量结果(第 125 页)。从历史学家普林尼(Pliny, 公元 23—79 年)的记述中清楚知道，罗马人也有点火镜。在罗马废墟中曾找到几个玻璃球和水晶球；在庞贝^①发现了一面平凸透镜。罗马哲学家塞内卡(Seneca, 公元前 3 年—公元 65 年)曾指出，一个盛满水的玻璃泡可以用来当放大镜。完全可能，某些罗马工匠也许已经用放大镜来进行非常精巧的工作。

西罗马帝国的灭亡(公元 475 年)大体上标志着黑暗时代的开始，在此之后，欧洲在很长一段时期里很少有或者完全没有科学进步。在地中海周围，希腊-罗马-基督教文化的支配地位由于被征服很快让位于阿拉伯文化，学术中心移到了阿拉伯世界。

在巴格达的 Abasid 法院工作的伊本·萨尔(Abu Sa'd al-'Ala'Ibn Sahl, 公元 940—1000 年)研究过折射，他于公元 984 年写了《论点火器具》一书。在这本书里破天荒第一次出现

^① 庞贝(Pompeii)是意大利的一座古城，位于维苏威火山脚下，公元 79 年因维苏威火山爆发被火山灰掩埋，1763 年开始发掘。
——译者注

了他画的精确的折射图。伊本·萨尔描述了抛物面的和椭球面的点火镜，并且分析了双曲面平凸透镜，以及双曲面双凸透镜。学者伊本·阿尔海桑（Abu Ali al-Hasan ibn al-Haytham，公元 965—1039 年），西方世界称他为阿尔哈增（Alhazen），是一位就多个论题写作的高产作家，仅在光学领域内就写了 14 本书。他精密表述了反射定律，将入射角和反射角放在垂直于界面的同一平面内（第 123 页）；他研究过球面镜和抛物面镜，并对人眼作了详细的描述（第 255 页）。他在费马之前，提出光穿过介质时走的是最快捷的路径。

到十三世纪后半叶，欧洲才从理智的麻木中苏醒过来。阿尔哈增的著作被译成拉丁文，它对林肯郡主教格罗塞斯特（R. Grosseteste，1175—1253）和波兰数学家维特洛（Vitello 或 Witelo）的著作有很大的影响，这两人对重新点燃光学研究都起过作用。他们的工作被圣

方济会修士罗杰尔·培根（Roger Bacon，1215—1294）得知，许多人都认为他是第一个近代意义的科学家。他似乎开创了用透镜来校正视觉的想法，甚至还暗示过把透镜组合成望远镜的可能性。罗杰尔·培根对光线穿过透镜的方式也有一些了解。在他死后，光学又衰落了。尽管如此，到十四世纪中叶，欧洲的绘画中已经出现了戴眼镜的僧侣。炼金术士也找到一种液体的锡-汞合金，把它涂到玻璃板背面制造镜子。达·芬奇（Leonardo da Vinci，1452—1519）描述过成像暗箱（第 272 页），后来由于波尔塔（G. B. D. Porta，1535—1615）的工作，成像暗箱得到普及。波尔塔还在其《自然的魔法》（1589 年）一书里讨论过多重反射镜以及正透镜和负透镜的组合。

以上所说的大都是各种事件的朴实列举，它们可以称为光学的第一阶段。它无疑是一个初创阶段——但整个说来也是一个低调的阶段。成就和令人振奋的旋风，是后来在十七世纪才来到的。



波尔塔（1535—1615）



一幅很古老的画，画的是欧洲村舍民居的户外景致。左边的男人正在卖眼镜