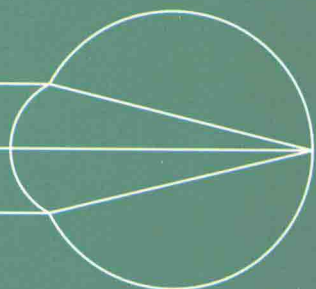




国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材

全国高等学校教材



供眼视光学专业用

# 眼视光应用光学

第2版

主 编 曾骏文



扫描封底圆标二维码  
免费获取42个数字资源

 人民卫生出版社



- 国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材
- 全国高等学校教材

供眼视光学专业用

# 眼视光应用光学

第2版

主 编 曾骏文

副 主 编 李宾中 厉以宇 王云创

编 者 (以姓氏笔画为序)

王云创 (滨州医学院)

厉以宇 (温州医科大学)

李宾中 (川北医学院)

陈梓平 (广东野光源视力保健研究院)

曾骏文 (中山大学)

编写秘书 聂昊辉 (中山大学)

融合教材数字资源负责人

曾骏文 (中山大学)

融合教材数字资源秘书

聂昊辉 (中山大学)

人民卫生出版社

图书在版编目(CIP)数据

眼视光应用光学 / 曾骏文主编. —2 版. —北京: 人民卫生出版社, 2017

ISBN 978-7-117-24500-5

I. ①眼… II. ①曾… III. ①眼科学—应用光学—高等学校—教材 IV. ①R778.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 110066 号

人卫智网	<a href="http://www.ipmph.com">www.ipmph.com</a>	医学教育、学术、考试、健康, 购书智慧智能综合服务平台
人卫官网	<a href="http://www.pmph.com">www.pmph.com</a>	人卫官方资讯发布平台

版权所有, 侵权必究!

眼视光应用光学

第 2 版

主 编: 曾骏文

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: [pmph@pmph.com](mailto:pmph@pmph.com)

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 北京人卫印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 850×1168 1/16 印张: 12

字 数: 363 千字

版 次: 2011 年 8 月第 1 版 2017 年 7 月第 2 版

2017 年 7 月第 2 版第 1 次印刷(总第 6 次印刷)

标准书号: ISBN 978-7-117-24500-5/R·24501

定 价: 46.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: [WQ@pmph.com](mailto:WQ@pmph.com)

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

# 全国高等学校本科眼视光学专业 第三轮国家级规划教材(融合教材)修订说明

全国高等学校本科眼视光学专业国家卫生计生委第三轮规划教材,是在全国高等学校本科眼视光学专业卫生部第二轮规划教材基础上,以纸质为载体,融入富媒体资源、网络素材、数字教材和慕课课程形成的“五位一体”的一套眼视光学专业创新融合教材。

全国普通高等教育“十五”国家级规划教材、全国高等学校眼视光学专业卫生部第一轮规划教材于2003年启动,是我国第一套供眼视光学专业本科使用的国家级规划教材,其出版对于我国眼视光学高等教育以及眼视光学专业的发展具有重要的、里程碑式的意义,为我国眼视光学高级人才培养做出了历史性的巨大贡献。本套教材第二轮修订于2011年完成,其中《眼镜学》为普通高等教育“十二五”国家级规划教材。两轮国家级眼视光专业规划教材建设对推动我国眼视光学专业发展和人才培养、促进人民群众眼保健和健康起到了重要作用。

在本套第三轮教材的修订之时,正逢我国医疗卫生和医学教育面临重大发展的重要时期,我们贯彻落实全国卫生健康大会精神和《健康中国2030规划纲要》,按照全国卫生计生工作方针、医药协同综合改革意见,以及传统媒体和新兴媒体融合发展的要求,推动全国高等学校本科眼视光学专业第三轮国家级规划教材(融合教材)的修订工作。

本轮修订坚持中国特色的教材建设模式,即根据教育部培养目标、国家卫生计生委用人要求,医教协同,由国家卫生计生委领导、指导和支持,教材评审委员会规划、论证和评审,知名院士、专家、教授指导、审定和把关,各大院校积极参与支持,专家教授组织编写,人民卫生出版社出版的全方位教材建设体系,开启融合教材修订工作。

## 本轮教材修订具有以下特点:

1. 本轮教材经过了全国范围的调研,累计共有全国25个省市自治区,27所院校的90名专家教授进行了申报,最终建立了来自15个省市自治区,25个院校,由52名主编、副主编组成的编写团队,代表了目前我国眼视光专业发展的水平和方向,也代表了我国眼视光教育最先进的教学思想、教学模式和教学理念。

2. 课程设置上,由第二轮教材“13+3”到本轮教材“13+5”的转变,从教师、学生的需要出发,以问题为导向,新增《低视光学实训指导》及《眼视光学习题集》。

3. 对各本教材中交叉重复的内容进行了整体规划,通过调整教材大纲,加强各本教材主编之间的交流,力图从不同角度和侧重点进行诠释,避免知识点的简单重复。

4. 构建纸质+数字生态圈,完成“互联网+”立体化纸数融合教材的编写。除了纸质部分,新增二维码扫码阅读数字资源,数字资源包括:习题、视频、动画、彩图、PPT课件、知识拓展等。

5. 依然严格遵守“三基”、“五性”、“三特定”的教材编写原则。

6. 较上一版教材从习题类型、数量上进行完善,每章增加选择题。选择题和问答题的数量均大幅增加,目的是帮助学生课后及时、有效地巩固课堂知识点。每道习题配有答案和解析,学生可进行自我练习。自我练习由学生借助手机或平板电脑终端完成,操作简便,激发学习兴趣。

本套教材为2017年秋季教材,供眼视光学专业本科院校使用。

## 第三轮教材(融合教材)目录

眼镜学(第3版)	主编 瞿佳 陈浩
眼科学基础(第3版)	主编 刘祖国
眼病学(第3版)	主编 李筱荣
接触镜学(第3版)	主编 吕帆
眼视光学理论和方法(第3版)	主编 瞿佳
眼视光器械学(第3版)	主编 刘党会
视觉神经生理学(第3版)	主编 刘晓玲
眼视光公共卫生学(第3版)	主编 赵家良
低视力学(第3版)	主编 周翔天
屈光手术学(第3版)	主编 王勤美
双眼视觉学(第3版)	主编 王光霁
斜视弱视学(第2版)	主编 赵堪兴
眼视光应用光学(第2版)	主编 曾骏文

# 获取融合教材配套数字资源的步骤说明

1. 扫描封底圆形图标中的二维码，注册并登录激活平台。
2. 刮开并输入激活码，获取数字资源阅读权限。
3. 在激活页面查看使用说明，下载对应客户端或通过 PC 端浏览。
4. 使用客户端“扫码”功能，扫描教材中二维码即可快速查看数字资源。



# 第三届全国高等学校眼视光专业教材(融合教材) 评审委员会名单

## 主任委员

瞿佳 温州医科大学

## 副主任委员

赵堪兴 天津医科大学

赵家良 北京协和医学院

吕帆 温州医科大学

## 委员 (以姓氏笔画为序)

王云创 滨州医学院

王保君 新乡医学院

兰长骏 川北医学院

毕宏生 山东中医药大学

吕帆 温州医科大学

刘陇黔 四川大学

刘祖国 厦门大学

李筱荣 天津医科大学

何伟 辽宁何氏医学院

赵家良 北京协和医学院

赵堪兴 天津医科大学

胡琦 哈尔滨医科大学

袁援生 昆明医科大学

徐国兴 福建医科大学

郭锐 南京中医药大学

蒋沁 南京医科大学

曾骏文 中山大学

廖洪斐 南昌大学

瞿佳 温州医科大学

## 秘书长

刘红霞 人民卫生出版社

## 秘书

姜思宇 温州医科大学

李海凌 人民卫生出版社



# 前 言

“应用光学”是眼视光学专业的一门基础课，与理工科的“应用光学”有所不同，更侧重于人眼作为重要的光学系统，多角度分析物体通过人眼成像的过程、光与视网膜感受器的光电转化过程以及重要的光学仪器原理。本书作为眼视光学专业的教材，力争深入浅出地阐述复杂的光学现象和重要的光学公式，同时注重与《屈光手术学》《眼镜学》《低视光学》和《眼视光器械学》等教材内容上的衔接。

本教材第1版由已故姚进教授主编，在2011年出版，深受好评。第2版教材延续了第1版教材的框架，进行了部分增删和修改，如第二章新增了“逐次成像法”、第四章新增了“非球面”、第七章重写了“目视光学仪器的视度调节”；对全书的图和公式进行修订，增加了重要公式的推导思路解释，便于学生理解和接受。配套的数字资源，能让学生们从手机端进行阅读，内容丰富，以章为单位，包括课件、重要知识点的动画、选择题和简答题，并附有参考答案和解题思路。

本书的编写团队汇集了国内高校多名著名的应用光学专家，他们都是一线的教学骨干，并倾尽多年的教学经验和体会编写此书。本书可作为眼视光学专业学生的专业教材，也可作为眼视光学相关从业人员和眼科医师的参考书。感谢人民卫生出版社的统筹和支持，感谢编写秘书聂昊辉老师的整理和协调工作。

为了进一步提高本书的质量，以供再版时修改，因而诚恳地希望各位读者、专家提出宝贵意见。

曾骏文

中山大学中山眼科中心

2017年2月3日

# 目 录

第一章 波动光学基础	1
第一节 光源与光的相干性	2
一、光源	2
二、光的单色性	2
三、光的相干性	3
四、相干光的获得	3
第二节 光的干涉	3
一、波的叠加原理	3
二、光程与光程差	3
三、杨氏双缝实验	4
四、劳埃德镜实验	7
五、薄膜干涉	7
第三节 光的衍射	9
一、单缝衍射	9
二、圆孔衍射	11
三、光学系统的分辨本领	12
四、光栅衍射	13
第四节 光的偏振	15
一、自然光与偏振光	15
二、马吕斯定律	16
三、布儒斯特定律	18
四、光的双折射	18
五、二向色性	21
六、物质的旋光性	21
第五节 光的散射	22
一、瑞利散射定律	23
二、米散射	23
三、喇曼散射	23
四、布里渊散射	24
第六节 傅里叶光学基础	24
一、概述	24
二、傅里叶光学的几个基本概念	25
三、傅里叶变换	26
四、傅里叶变换在光学成像中的应用	26
第二章 几何光学成像	27
第一节 基本概念与基本原理	27

一、光线	27
二、光束	27
三、折射率	29
四、几何光学的基本定律	29
五、光路可逆性原理	30
六、费马原理	31
七、几何光学成像的一些基本概念	31
八、符号规则	33
九、逐次成像法	33
第二节 近轴光学系统成像	33
一、平面光学系统成像	33
二、棱镜片(光楔)	38
三、棱镜片屈光力	38
四、球面光学系统成像	39
五、透镜成像	45
第三节 理想光学系统成像	56
一、理想光学系统的性质	57
二、理想光学系统的基点和基面	57
三、理想光学系统成像	58
四、理想光学系统的组合	60
<b>第三章 光学系统的光束限制</b>	<b>63</b>
第一节 孔径光阑与视场光阑	63
一、孔径光阑与光瞳	64
二、视场光阑与窗	66
三、渐晕	67
第二节 景深与焦深	67
一、光学系统的景深	67
二、光学系统的焦深	68
三、光瞳中心为基准点的成像公式	69
四、景深公式	69
五、焦深公式	71
六、景深和焦深的关系	72
第三节 远心光路	72
一、物方远心光路	72
二、像方远心光路	73
<b>第四章 像差理论与像质评价</b>	<b>74</b>
第一节 像差概述	74
第二节 光线的光路计算	75
一、近轴光线的光路计算	76
二、轴上点远轴光线的光路计算	77
三、轴外点子午面内远轴光线的光路计算	78
四、轴外点沿主光线细光束的光路计算	80
第三节 球差	80
第四节 彗差	84
第五节 像散和场曲	87

一、像散	87
二、场曲	89
第六节 畸变	90
第七节 色差	92
一、位置色差	92
二、倍率色差	94
第八节 像差计算的谱线选择	96
第九节 波像差	97
一、波面倾斜	98
二、离焦	98
三、Zernike 多项式	99
第十节 非球面	102
一、圆锥截面	102
二、非球面表达式	103
第十一节 光学系统像质评价	104
一、斯特列尔判断	104
二、瑞利判断	105
三、分辨率	106
四、点列图	107
五、光学传递函数	109
六、其他像质评价方法	113
<b>第五章 光度学与色度学基础</b>	114
第一节 辐射度学量与光度学量	114
一、立体角	114
二、辐射通量	115
三、辐射强度	115
四、人眼的视见函数	116
五、光通量	117
六、发光强度	117
七、光照度	118
八、光亮度	118
九、光照度公式	119
十、发光强度余弦定律	120
第二节 光传播中的光度学量变化	121
一、均匀透明介质情形	121
二、折射情形	122
三、反射情形	123
第三节 成像系统像面的光照度	124
一、轴上点的光照度公式	124
二、轴外像点的光照度公式	125
第四节 颜色的概念和分类	126
一、颜色的概念	126
二、颜色的分类和特性	127
第五节 颜色混合和匹配	128
一、颜色混合与匹配实验	128
二、格拉斯曼颜色混合定律	129

三、颜色匹配方程	130
四、三刺激值	130
<b>第六章 人眼的光学</b>	131
第一节 人眼结构	131
一、人眼的屈光系统	132
二、人眼的感光系统	139
第二节 模型眼与简化眼	139
一、模型眼	139
二、简化眼	142
第三节 调节与屈光	143
一、调节	143
二、正视眼与非正视眼	143
三、人眼的远点、近点与明视距离	145
四、近视和远视眼的光学透镜矫正	146
第四节 人眼的分辨	147
一、视角	147
二、人眼的分辨极限	148
第五节 人眼的像差	149
一、人眼的几何像差	149
二、人眼的波像差	149
第六节 人工晶状体眼光学	151
一、人工晶状体的材料	151
二、人工晶状体屈光力的计算	152
第七节 双眼视差	157
一、立体视觉	157
二、双眼视差	157
<b>第七章 目视光学仪器</b>	160
第一节 目视光学仪器的视放大率	160
第二节 放大镜	161
第三节 目镜	163
一、惠更斯目镜	163
二、冉斯登目镜	163
三、目视光学仪器的视度调节	164
第四节 显微镜光学系统	165
一、显微镜的视放大率	165
二、显微镜物镜的分辨极限	167
第五节 望远镜光学系统	169
一、望远镜的视放大率	169
二、折射式望远镜的分类	170
三、望远镜物镜的分辨本领	171
四、望远镜在低视力保健和康复中的应用	171
<b>参考文献</b>	172
<b>汉英对照索引</b>	174

## 融合教材数字资源目录

## 第一章

二维码 1-1	PPT 第一章	1
二维码 1-2	动画 薄膜干涉	7
二维码 1-3	动画 o 光和 e 光	19
二维码 1-4	扫一扫, 测一测	26

## 第二章

二维码 2-1	PPT 第二章第一节	27
二维码 2-2	PPT 第二章第二节	33
二维码 2-3	动画 用作图法确定折射光线	34
二维码 2-4	动画 平面玻璃成像	36
二维码 2-5	PPT 第二章第三节	56
二维码 2-6	扫一扫, 测一测	62

## 第三章

二维码 3-1	PPT 第三章	63
二维码 3-2	动画 双透镜系统的入瞳与出瞳	65
二维码 3-3	扫一扫, 测一测	73

## 第四章

二维码 4-1	PPT 第四章第一、二节	74
二维码 4-2	PPT 第四章第三节	80
二维码 4-3	PPT 第四章第四、五、六节	84
二维码 4-4	动画 子午面与弧矢面	85
二维码 4-5	动画 单折射球面的子午彗差	85
二维码 4-6	动画 单个折射球面的匹兹伐像面 $A'B''$	90
二维码 4-7	PPT 第四章第七、八节	92
二维码 4-8	PPT 第四章第九、十节	97
二维码 4-9	PPT 第四章第十一节	104
二维码 4-10	扫一扫, 测一测	113

## 第五章

二维码 5-1	PPT 第五章第一节	114
二维码 5-2	动画 立体角	115

二维码 5-3	PPT	第五章第二、三节	121
二维码 5-4	动画	轴外像点的光照度公式	125
二维码 5-5	PPT	第五章第四、五节	126
二维码 5-6	扫一扫,测一测		130
<b>第六章</b>			
二维码 6-1	PPT	第六章第一节	131
二维码 6-2	动画	入射光瞳的相关计算	135
二维码 6-3	动画	晶状体的相关计算	136
二维码 6-4	PPT	第六章第二节	139
二维码 6-5	PPT	第六章第三节	143
二维码 6-6	PPT	第六章第四、五节	147
二维码 6-7	PPT	第六章第六节	151
二维码 6-8	动画	人工晶状体屈光力计算	152
二维码 6-9	PPT	第六章第七节	157
二维码 6-10	扫一扫,测一测		159
<b>第七章</b>			
二维码 7-1	PPT	第七章	160
二维码 7-2	动画	开普勒望远镜的视度调节	165
二维码 7-3	扫一扫,测一测		171



二维码 1-1  
PPT 第一章

# 第一章

## 波动光学基础

### 本章学习要点

- 掌握：光的相干性、相干条件；光程和光程差的计算方法；杨氏双缝干涉实验及其干涉条纹的特征；光栅方程及其应用；马吕斯定律、布儒斯特定律。
- 熟悉：单缝衍射、圆孔衍射的基本规律；自然光和偏振光的概念。
- 了解：半波损失；薄膜干涉；惠更斯—菲涅耳原理及其应用；光散射的分类及特点；傅里叶变换的物理意义。

**关键词** 光的波动性 光的干涉、衍射、偏振 光的散射 傅里叶光学

### 光是什么？

光是一种重要的自然现象，人类对光本性的探索经历了一个漫长的过程。笛卡儿最早提出了光的微粒模型，并于1637年从理论上推导出折射定律。1655年，意大利科学家格里马第首先发现了光的衍射现象，他推想光可能是与水波类似的一种流体，光的不同颜色是波动频率不同的结果。他是光的波动学说最早的倡导者。那么，光究竟是波，还是粒子？此后，光的波动说与微粒说展开了长达300多年的争论。牛顿、惠更斯、托马斯·杨、菲涅耳、马吕斯等多位著名科学家成为这一论战双方的主辩手，经过他们的不懈努力，揭开了遮盖在“光的本质”外面那层扑朔迷离的面纱。

1894年，麦克斯韦提出“光是一种电磁波”，即光的电磁波动学说，它以大量无可辩驳的事实赢得了普遍公认。可以说，19世纪波动学说达到尽善尽美的境界。

但是，在研究光与物质相互作用的过程中，发现有许多现象用光的电磁波动理论也难以解释。特别是黑体辐射和光电效应实验，发现光是不连续地被发射和被吸收的，光流具有不连续性的结构。

于是，普朗克在1900年提出了量子说，解释了黑体辐射。

1905年，爱因斯坦又发展了普朗克的量子理论，提出了光量子的假设，成功地解释了光电效应。爱因斯坦认为，光是由一粒一粒的光量子（光子）组成的，即光具有粒子的特性。

1924年，德布罗意大胆地创立了物质波动学说，指出波粒二象性是微观粒子的普遍属性，光也是如此，从而在量子力学和量子电动力学中，使光的波动性和微粒性辩证地统一起来。也就是说，光既具有粒子性，又具有波动性，光在传播时表现为波动性，而与物质作用时又表现为粒子性。

1927年，杰默尔和后来的乔治·汤姆森在试验中证明了电子束具有波的性质。

在新的事实与理论面前，光的波动说与微粒说之争以“光具有波粒二象性”而落下了帷幕。

波动光学理论认为，光是某一波段的电磁波。可见光的波长范围约为380~760nm，不

笔记





同波长的光给人以不同颜色的感觉。光的波动性寓于光的干涉、衍射、偏振等现象之中,以光的波动性为基础,研究光的传播规律的学科,称为波动光学。

本章主要讨论光的干涉、衍射、偏振等现象,阐明其波动性质和基本规律,这些性质和规律不仅在理论上具有重要意义,而且在现代科学技术中有着广泛应用。随后,介绍了光的散射。最后一节介绍傅里叶光学的基础知识。

## 第一节 光源与光的相干性

### 一、光源

能够辐射光能的物体称为光源。光源可分为普通光源和激光光源。从发光机制来看,普通光源的发光属于自发辐射,而激光光源的发光属于受激辐射。

普通光源按光的激发方式不同又可分为:热光源,利用热能激发的光源,例如白炽灯;冷光源,利用化学能、电能或光能激发的光源,例如磷的发光为化学发光,稀薄气体在通电时发出的辉光是一种电致发光,某些物质在可见光或紫外线照射下被激发光称光致发光。光致发光物质又分为荧光物质和磷光物质两种,区别在于前者当外界光源撤去后立刻停止发光,而后者在外界光源移去后仍能持续发光。

下面以热光源为例,简单说明自发辐射产生的普通光源发光的原理。光源是由大量分子和原子构成的。在热光源中,由于受热能激发大量分子和原子从基态跃迁到激发态,但处于激发态的原子是不稳定的,它们在激发态的停留时间一般都非常短暂(大约在 $10^{-8}$ 秒的数量级)。在不受外界的影响时,它们会自发地从激发态跃迁到基态,并释放出光子。这一过程叫做自发辐射(spontaneous emission)。这种辐射有两个特点:其一是随机性,各个原子的辐射都是自发地、独立地、随机地进行的,因而各个原子发射出的光波在频率、初相位、偏振态和传播方向上都彼此无关。其二是间歇性,每个分子或原子的发光是非连续的,每次发光持续时间很短(约 $10^{-8}$ 秒),发出一列频率一定、振动方向一定、振幅恒定或振幅作缓慢变化的光波列。普通光源发出的光都属于自发辐射,我们感受到的光源所发出的光就是这些大量的、断续的、无规则光波列作用的总效果。

### 二、光的单色性

具有单一频率的光称为单色光。但是光源中一个分子某瞬时所发的光并不是严格单色的,总有一定的频率宽度,如 $\nu \sim \nu + \Delta\nu$ 。频率宽度 $\Delta\nu$ 越小,其单色性越好。实际光源发光包括了由大量分子或原子所发的各种频率的光,这种由各种频率复合的光称为复色光,如太阳光、白炽灯光等。当复色光通过三棱镜时,由于不同频率的光在玻璃中的传播速度不同,折射率也不同,因此,各种不同频率的光将按不同的折射角分开,形成光谱,这种现象称为色散。实验室可以利用三棱镜获得单色光,或者利用某些具有选择吸收性的物质制成滤光片,复色光通过滤光片后,透射光就是所需的单色光。但这种单色光的单色性不够理想,较为理想的单色光由钠光光源获得。钠光谱中包含两条波长为589.00nm和589.59nm的黄色谱线(D线),它们靠得很近,其频率可认为近似相同。因此,钠光可看做单色光。

不同光源有不同的光谱。光强在很大的波长范围内连续分布的光谱称为连续光谱,如热辐射光源光谱。光强集中在一些分立的波长值附近形成的光谱叫线光谱,如钠灯光谱D双线。不同化学成分各自有不同的特征谱线。每条谱线只是近似的单色光。每条谱线光强分布有一定的波长范围 $\Delta\lambda$ , $\Delta\lambda$ 称为谱线宽度, $\Delta\lambda$ 越小,光的单色性越好。太阳光谱除了一些暗线外,基本上是连续光谱。太阳发出的各种波长的可见光混合起来给人的感觉是白



笔记