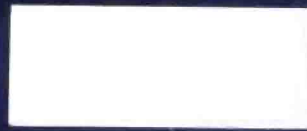
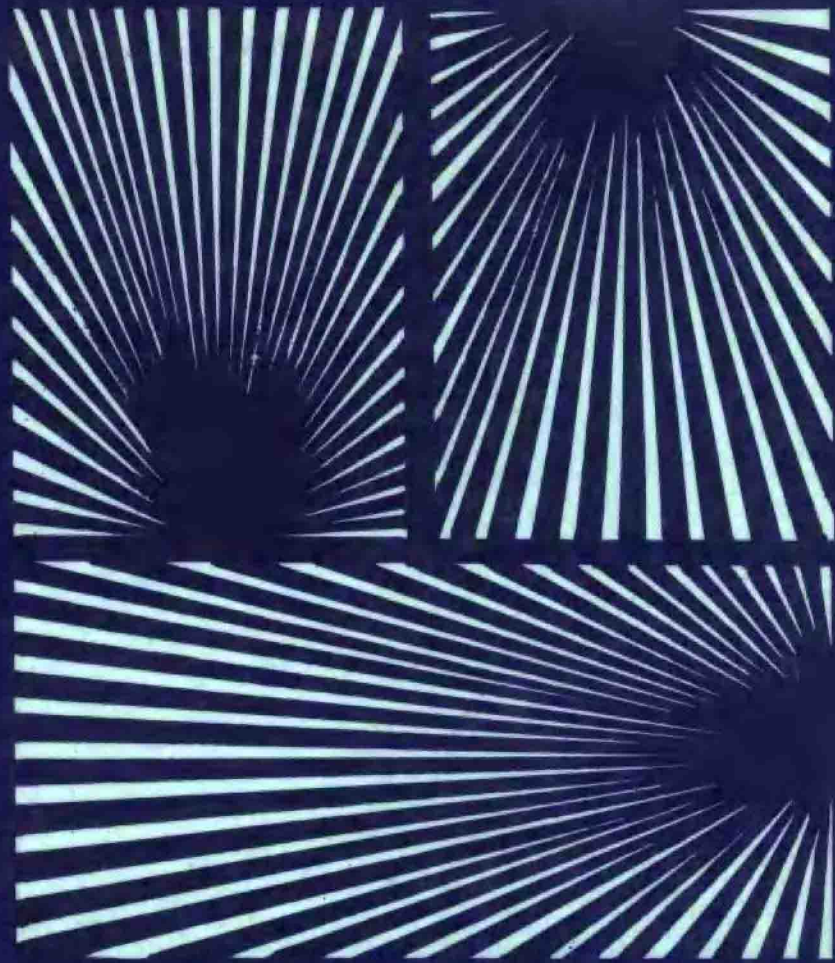


Guangxue Shouce

光学手册

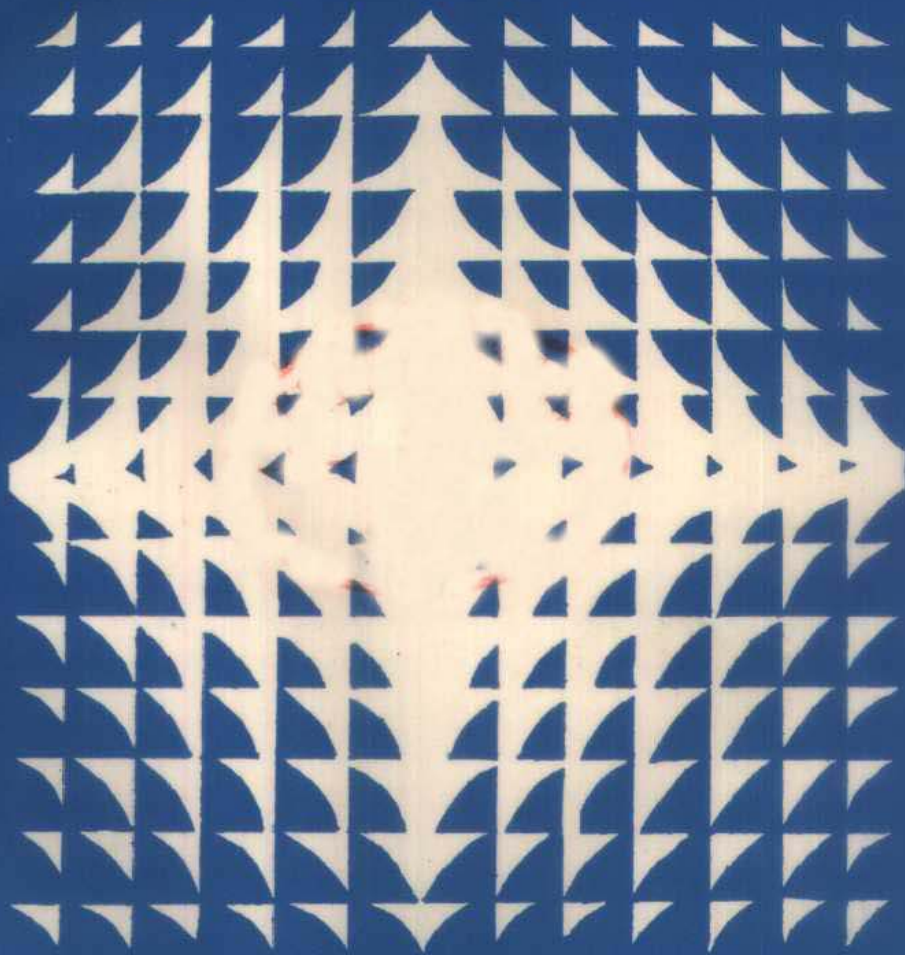


陕西科学技术出版社

光学手册

顾问 龚祖同

主编 李景镇



陕西科学技术出版社

光 学 手 册

龚祖同 顾问

李景镇 主编

陕西科学技术出版社出版

(西安北大街131号)

陕西省新华书店发行

国营五二三厂排版 陕西省印刷厂印刷

开本787×1092 1/16 印张98.5 插页7 字数2,300,000

1986年5月第1版 1986年5月第1次印刷

印数：1—6,000

统一书号：15202·101 定价：25元

前 言

一

为了适应四化建设的迫切需要，我们编写这部基础性的《光学手册》。这部手册包括二十五个光学分科，有二千七百多个公式，一千四百余幅插图和四百多个数据表格，为从事光学教学、科研和工程技术的广大教师和科技人员，高等院校有关专业的学生和研究生，光学行业的工人，以及有关的科技工作者，提供了一本有实用价值的工具书。我们相信，在酝酿着以信息科学为中心的“第四次产业革命”和“第三次浪潮”的今天，《光学手册》的出版将会为我国的四化建设做出积极的贡献。

二

“光学是一门很老的科学，又是一门很新的科学”。在光学发展的漫长岁月里，人们永远不会忘记那些做出杰出贡献的人们：我国先秦时代的墨翟和古希腊的欧几里德，我国北宋时代的沈括和阿拉伯的阿尔哈曾，他们的著作《墨经》、《光学》、《梦溪笔谈》和《光学宝鉴》，都是人类文明的佐证和劳动人民辛勤劳动的结晶；十七世纪以来，还有荷兰的斯涅耳和法国的笛卡尔，英国的牛顿和荷兰的惠更斯，法国的菲涅耳和德国的夫琅和费，苏格兰的麦克斯韦和德国的普朗克，大科学家爱因斯坦和全息术的奠基人伽伯等等。他们的工作大大促进了光学的发展，他们所做出的卓越贡献是今天光学取得如此重大成就的基石。

我国近代光学的兴起是半个世纪以前的事情，但是近代光学的飞速发展和进步，近代光学工业的崛起，则是在解放以后。在中国近代光学发展的历史中，我国近代光学的开拓者严济慈教授、龚祖同教授、钱临照教授、王大珩教授等老前辈，为建立有着一大批优秀光学专家为其中坚的光学队伍，为我国近代光学工业的蓬勃发展，倾注了满腔的热忱，付出了辛勤的劳动，建立了卓著的功勋。

三

光学资料浩如烟海，当今光学的发展更是日新月异，如何从中提炼出二百余万字的实用手册，的确是一项艰巨的任务。我们试图在占有较为丰富资料的基础上，经过分析和归纳，尽可能把基本概念、主要定义、有指导意义的理论和实用的技术数据，用简捷的方式表达出来，使各方面的光学工作者和有关技术人员，能方便地从中找到以前需要几部工具书才能找到的答案，能在较短的时间里了解某门光学分科的主要内容、现状和趋势，如想知其来龙去脉和进行更为深入的研究，也能找到进一步攻读的钥匙。

便于查阅、利于理解，是我们处理各类问题的准绳。尽管如此，这本手册也难以做到概括罄尽、阐明臻赅。本书在编写上尚有以下诸点需要说明。

1. 我们参阅了美国德里斯科尔博士 (W. G. Driscoll) 和沃恩博士 (W. Vaughan) 主编的《光学手册》和日本久保田広博士、浮田佑吉博士和會田軍太夫博士主编的《光学技術ハンドブック》，吸取了它们的长处。

2. 手册是按二十五个光学分科来论述的，但是个别的内容有交叉，同一个命题几个光学分科都有叙述。我们仅仅保留了从不同的观点、用不同的方法来论述的同一内容，以利读者理解。

3. 全手册的有关定义和符号尽可能统一。但是不同的光学分科有时对同一概念有不同的定义方法。本手册尊重各个分科的习惯定义法，为了使读者在进一步阅读有关参考文献时不致造成混乱，保留了各个分科的惯用定义和符号。

4. 名词索引仅仅收录主要的、重要的、易混的和新出现的名词术语，同时给出英文译名。名词及其译名力求准确、规范、全书统一，但是对个别名词也尊重各个分科中的习惯叫法。在编写名词索引的过程中，主要参考了《物理学词典》（原子能出版社，1980年）、《英汉物理学词汇》（科学出版社，1975年）和有关著作。名词索引按汉语拼音顺序排列。

5. 姓名索引也按汉语拼音顺序排列，标出西文姓名。汉语译名主要根据《英语国家姓名译名手册》（商务印书馆，辛华编，1973年）、《德语姓名译名手册》（商务印书馆，辛华编，1973年）和《俄语姓名译名手册》（商务印书馆，辛华编，1982年）。但是，对于不甚符合规范却已约定俗成并多见于一些重要著作中的，仍用传统的译名。

四

《光学手册》编写过程中，承蒙中国光学界老前辈严济慈副委员长、中国应用光学的开拓者龚祖同教授和中国著名光学专家王大珩教授的关怀和指导，得到了张本祯、林毓桃、薛鸣球、张季涛、耿明清、侯洵诸同志和中国光学学会、陕西省光学学会、中国科学院西安光学精密机械研究所等十多个单位的支持和帮助，提高了手册的学术水平和实用价值，促进了手册编写工作的顺利进行，在此，表示衷心的感谢。

王应宗、秦秀香等同志分别参与了个别章节部分内容的资料收集和撰写工作，蔡用舒、李寰章、罗毅、张显焱、陈邹生、祝颂来等同志为手册的编写提出了宝贵意见，周泗忠、李邦鑫、王峻岭等同志为手册的编写付出了辛勤的劳动，在此一并表示志谢。

鉴于我们的水平有限，不足和欠妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

《光学手册》编委会

一九八五年九月

目 录

导 论	(1)
第一章 辐射度学和光度学	(5)
第一节 基本概念	(5)
一、辐射度学量的定义和单位	(5)
二、光谱量与非光谱量	(6)
三、光度学量与辐射度学量之间的关系	(6)
第二节 光度学量的计算	(10)
一、光谱亮度	(10)
二、立体角	(11)
三、几个特殊情况	(11)
四、光束在传播、反射和折射时亮度的变化	(12)
(一) 光束在均匀透明介质中传播时亮度不变	(12)
(二) 光束在折射过程中的亮度变化	(12)
(三) 光束经界面反射时的亮度变化	(13)
五、象面的照度	(13)
(一) 轴上象点的照度	(13)
(二) 轴外象点与轴上象点照度之间的关系	(14)
(三) 照相物镜象面的照度和光圈数	(14)
第三节 光度学量的测量	(15)
一、目视光度法	(15)
二、客观光度法	(16)
第四节 黑体辐射	(17)
一、黑体辐射定律	(17)
(一) 黑体的积分辐射——斯忒藩-玻耳兹曼定律	(17)
(二) 黑体辐射的光谱分布——普朗克辐射定律	(17)
(三) 黑体辐射的近似光谱分布——维恩公式和瑞利-金斯公式	(18)
(四) 维恩位移定律	(19)
二、黑体辐射的归一化光谱分布函数与归一化累积光谱分布函数	(19)
三、黑体辐射的光度学	(20)
(一) 黑体的亮度	(20)
(二) 黑体的发光效能	(20)
(三) 温度作为辐射参数	(20)

四、发射率与吸收比	(21)
(一) 发射率	(21)
(二) 吸收比	(21)
(三) 基尔霍夫定律	(22)
五、反射比	(22)
(一) 反射比	(22)
(二) 双向光谱反射分布函数	(23)
(三) 部分反射比	(23)
(四) 反射因数	(24)
(五) 反射互易性	(24)
(六) 漫反射	(25)
(七) 镜面反射	(25)
六、透射比	(25)
七、发光反射比与透射比	(27)
(一) 反射比与透射比	(27)
(二) 发光因数	(27)
八、吸收比、透射比、反射比之间的关系	(27)
第二章 色度学	(29)
第一节 基础色度学概念	(29)
一、心理学概念	(29)
二、心理物理学概念	(30)
第二节 CIE 色度学系统	(31)
一、CIE 1931 标准色度观察者	(31)
二、CIE 1964 补充标准色度观察者	(34)
三、标准施照体	(37)
四、色度学中的自然光源	(45)
五、色度学中的人工光源	(45)
六、选定光源的显色指数	(48)
七、反射率标准	(49)
八、照明条件和观测条件	(49)
九、三刺激值和色度坐标的计算	(49)
十、兴奋纯度和色度纯度	(51)
第三节 均匀颜色标尺	(51)
一、明度标尺	(52)
二、色度标尺	(53)
三、综合的明度和色度标尺以及色差公式	(54)
第四节 色度仪器	(56)
一、目视色度计	(56)
(一) 赖特色度计	(56)

(二) 斯太尔斯三色色度计	(57)
(三) 唐纳森六原色色度计	(58)
(四) 麦克亚当双目色度计	(58)
(五) 伯纳姆色度计	(59)
二、光电色度计	(59)
三、分光辐射计和分光光度计	(60)
第三章 光谱学	(63)
第一节 引言	(63)
第二节 光学中常用的光谱	(64)
一、电磁波谱	(64)
二、波长与波数的换算关系	(65)
三、太阳光谱——夫琅和费谱线	(66)
四、光学设计用谱线	(66)
五、常用激光光谱谱线	(67)
六、常用原子和分子光谱	(67)
七、光谱谱线的波长排列顺序	(73)
第四章 光源	(79)
第一节 热光源	(79)
一、黑体光强标准器	(79)
二、白炽灯	(80)
三、白炽条和白炽网罩	(82)
四、火焰	(82)
第二节 气体放电光源	(83)
一、开放式气体放电光源	(83)
(一) 直流电弧	(83)
(二) 高压电容火花	(84)
(三) 高压交流电弧	(84)
(四) 炭弧	(85)
二、气体灯	(85)
(一) 辉光放电气体发光管	(86)
(二) 汞灯	(86)
(三) 钠灯	(92)
(四) 金属卤化物灯	(94)
(五) 氙灯	(97)
(六) 脉冲灯	(99)
(七) 燃烧式闪光泡	(102)
(八) 原子光谱灯	(102)
第三节 固体发光光源	(109)

一、场致发光屏	(109)
二、发光二极管	(110)
第四节 天然光源	(110)
一、太阳	(110)
二、月亮和行星	(110)
三、恒星	(111)
四、大气辉光和极光	(112)
五、其他大气辐射	(113)
六、大地辐射	(113)
第五节 激光器	(114)
一、激光器的基本原理	(114)
(一) 爱因斯坦系数	(114)
(二) 饱和吸收	(115)
(三) 粒子数反转	(116)
二、红宝石激光器	(117)
三、钕玻璃激光器	(118)
四、掺钕钇铝石榴石激光器	(118)
五、氦氖激光器	(119)
六、氩离子激光器	(120)
七、二氧化碳激光器	(121)
八、若丹明 6G 染料激光器	(121)
九、半导体 GaAs 激光器	(122)
第五章 成像光学	(125)
第一节 符号和定义	(125)
一、标准符号	(125)
二、符号规则	(127)
三、基本定义	(127)
第二节 近轴光学	(128)
一、系统成象	(128)
二、近轴公式	(129)
三、基点	(131)
四、多元件系统	(131)
第三节 光线追迹	(132)
一、空间光线追迹	(132)
二、微分光线追迹	(134)
三、子午光线追迹——科丁顿公式	(135)
四、图解光线追迹	(135)
五、光程差	(135)

第四节 几何象差理论	(136)
一、象差描述	(136)
二、波象差多项式	(137)
三、光线象差多项式	(138)
四、三级象差	(139)
五、光栏移动公式	(140)
六、薄透镜象差	(140)
七、三级象差贡献的说明	(141)
八、象差表示法	(142)
九、等光程面	(143)
十、对称系统	(143)
第五节 衍射成象	(144)
一、点扩散函数, 衍射积分	(144)
二、衍射象	(144)
三、点分辨率: 瑞利判据和斯帕罗判据	(146)
四、切趾法和变迹法	(146)
第六节 象质评价	(147)
一、弥散斑大小	(147)
二、瑞利 1/4 波长极限	(148)
三、斯特列尔判据	(149)
四、光学传递函数	(150)
五、光学传递函数的计算	(151)
六、特殊调制传递函数	(152)
七、非正弦目标的响应	(153)
第七节 棱镜、平板玻璃和反射镜	(155)
一、分色棱镜	(155)
二、薄分色棱镜	(156)
三、平行平板玻璃	(156)
四、反射棱镜和反射镜系统	(158)
第八节 基本光学系统	(165)
一、光栏和孔径	(165)
二、望远镜	(165)
三、显微镜	(166)
四、投影镜和聚光镜	(167)
五、光管	(168)
六、探测器光学系统	(168)
七、水下光学系统	(169)
第九节 光学系统的成象特性	(169)
一、弥散斑	(169)

二、衍射极限	(170)
三、折射系统	(170)
四、反射系统	(172)
五、折反射系统	(174)
第十节 光学设计	(175)
一、设计步骤	(175)
二、确定元件的光焦度和间隔	(175)
三、元件的形状	(176)
四、残余象差	(176)
五、自动设计	(177)
第十一节 计算实例	(178)
一、概述	(178)
二、组元焦距和基点的计算	(178)
三、两组元基点的计算	(179)
四、系统成象	(180)
五、按单元进行光线追迹	(180)
六、逐面进行近轴光线追迹	(181)
七、三级象差、面贡献	(181)
八、光线追迹	(184)
九、薄透镜三级象差	(188)
第十二节 偏心系统象差计算	(190)
一、概念	(190)
二、空间光线追迹	(191)
三、象差计算	(196)
四、波象差近似计算	(199)
第六章 信息光学	(209)
第一节 数学预备知识	(209)
一、均方逼近与正交展开	(209)
二、傅里叶级数与傅里叶积分	(210)
(一) 傅里叶级数	(210)
(二) 傅里叶积分	(211)
(三) 广义傅里叶变换与广义函数	(211)
(四) 二维傅里叶变换	(214)
(五) 汉克尔变换	(214)
(六) 剪切傅里叶变换	(215)
(七) 希尔伯特变换	(215)
三、卷积	(215)
(一) 一维卷积	(215)
(二) 多维卷积	(217)

(三) 广义函数的卷积	(219)
四、相关	(219)
五、傅里叶变换的性质	(221)
六、希尔伯特变换的性质	(223)
七、若干常用函数	(223)
(一) 若干常用一维函数	(223)
(二) 若干常用二维函数	(227)
第二节 线性系统	(231)
一、物理系统的一般描述	(231)
(一) 线性系统	(231)
(二) 平移不变系统	(232)
(三) 表因系统	(232)
(四) 有记忆系统	(232)
二、脉冲响应与迭加积分	(233)
三、线性平移不变系统的本征函数与传递函数	(233)
四、二维线性平移不变系统的传递函数	(234)
五、线响应和阶跃响应	(236)
(一) 线响应法	(236)
(二) 阶跃响应法	(237)
六、线性系统与滤波器	(237)
第三节 抽样定理	(238)
一、抽样定理	(238)
二、抽样定理与傅里叶级数间的关系	(239)
三、抽样与模数转换	(240)
四、二维抽样定理	(240)
五、抽样定理的其他形式	(241)
(一) 坐标与导数抽样	(241)
(二) 交错抽样	(241)
(三) 抽样函数的变形	(242)
(四) 有限抽样阵的影响	(242)
第四节 光波的传播和衍射	(242)
一、单色光衍射的基尔霍夫积分	(242)
二、多色光衍射的基尔霍夫积分	(243)
三、平面孔径衍射的基尔霍夫理论	(244)
四、平面孔径衍射的瑞利-索末菲理论	(245)
五、瑞利-索末菲衍射理论向多色光的推广	(245)
六、部分相干光的传播和衍射	(246)
(一) 实多色光的复表示	(246)
(二) 互相干函数	(247)
(三) 解析信号与互相干函数的性质	(247)

(四) 互相干函数的传播方程	(248)
(五) 互相干函数的近似传播规律	(249)
(六) 互相干函数的基尔霍夫积分	(250)
(七) 条纹可见度与互相干函数的物理意义	(252)
第五节 互强度与强度矩阵	(253)
一、互强度	(253)
二、强度矩阵	(254)
(一) 复波幅的抽样展开	(254)
(二) 强度矩阵	(255)
三、强度矩阵的对角化	(257)
四、强度矩阵本征值和本征向量的物理意义	(258)
五、用强度矩阵表示相干性	(259)
六、传输矩阵	(260)
七、二维光场的抽样展开与强度矩阵	(262)
(一) 二维光场的抽样展开	(262)
(二) 二维光场的强度矩阵 光场的信息自由度	(263)
第六节 光学成象系统的频谱分析	(264)
一、光衍射的线性系统描述	(264)
(一) 傅里叶变换与平面波谱, 自由空间传播的传递函数	(264)
(二) 衍射问题的线性系统描述	(265)
(三) 菲涅耳衍射	(266)
(四) 夫琅和费衍射	(267)
二、薄透镜的位相变换作用	(269)
三、衍射成象及其频域描述	(271)
(一) 单色光照明下的单透镜成象	(271)
(二) 一般成象系统分析	(273)
四、用光线矩阵元表示的衍射积分和传递函数	(277)
(一) 衍射积分	(277)
(二) 系统内无限制孔径时的相干传递函数	(278)
(三) 系统内有限制孔径时的相干传递函数	(278)
第七节 光学全息术	(279)
一、概述	(279)
二、全息术的基本原理	(279)
三、平面全息图的分析	(280)
四、体积全息图	(283)
五、全息干涉量度学	(284)
六、全息照相实验条件	(286)
第八节 散斑	(287)
一、概述	(287)
二、激光散斑的产生和统计性质	(287)

三、相关条件.....	(289)
四、散斑照相原理.....	(290)
五、散斑术在光学图象处理中的应用.....	(292)
六、散斑术用于测量微小位移和形变.....	(292)
七、漫射体振动的研究.....	(293)
八、表面粗糙度的检测.....	(295)
九、散斑与天文学.....	(296)
十、人工散斑.....	(298)
第九节 光学信息处理.....	(298)
一、阿贝成象理论和阿贝-波特实验.....	(298)
二、相干光学处理系统.....	(300)
三、空间滤波器的分类.....	(301)
四、相衬显微术.....	(302)
五、线性空间不变处理.....	(303)
六、非线性处理.....	(307)
七、非相干处理.....	(310)
八、白光处理系统.....	(311)
第十节 高斯光束的传播.....	(312)
一、高斯光束的基本性质.....	(312)
二、高斯光束通过薄透镜的传输.....	(316)
三、利用参数 q 讨论高斯光束的传播问题.....	(318)
第七章 量子光学	(323)
第一节 引言.....	(323)
第二节 光子学说概论.....	(324)
一、光子的基本性质.....	(324)
二、光子的状态.....	(325)
三、光子的相干性.....	(326)
四、光子的简并度.....	(326)
五、光子起伏.....	(328)
第三节 电磁场的量子化描述.....	(329)
第四节 密度矩阵.....	(333)
第五节 光与物质的相互作用.....	(336)
一、体系的总哈密顿.....	(336)
二、体系密度算符的运动方程.....	(338)
第六节 激光光子统计.....	(341)
一、光的相干态.....	(341)
二、热平衡下的光子统计.....	(342)
三、激光光子统计.....	(343)

第八章 统计光学	(347)
第一节 光的相干性	(347)
一、解析信号和互相干函数.....	(347)
二、准单色光的相干性	(349)
三、互相干的谱表示	(350)
四、交叉谱纯度	(352)
五、范西特-泽尼克定理	(352)
六、相干性的传播	(354)
(一) 互强度传播定律	(354)
(二) 互相干传播定律	(355)
(三) 互相干波动方程	(355)
七、部分偏振光	(356)
第二节 成象与相干性	(357)
一、光源象的相干性	(357)
二、部分相干光成象	(359)
三、相干与非相干极限	(360)
(一) 相干的情况	(360)
(二) 非相干的情况	(361)
四、透照物成象	(361)
五、近似处理——在光学仪器方面的应用	(363)
(一) 反差小的物体的成象	(363)
(二) 光学仪器中的部分相干成象.....	(366)
第三节 随机不均匀媒质对成象的影响	(367)
一、薄随机屏的影响	(367)
二、广延随机非均匀媒质的影响.....	(369)
(一) 折射率涨落的功率谱密度	(369)
(二) 对数正态模型	(370)
三、长时间曝光的光学传递函数	(371)
四、短时间曝光的光学传递函数	(373)
第四节 光电计数统计	(373)
一、概率分布函数	(373)
二、四阶相关.....	(376)
三、部分偏振光与强度相关.....	(377)
四、光电子计数的概率分布.....	(377)
五、热光和激光的光电计数分布	(378)
(一) 热光	(373)
(二) 激光	(379)
六、光强度涨落和光电子计数的关系	(379)
七、光电子计数的相关	(381)
第五节 统计散斑	(381)

一、散斑的一级统计特性.....	(381)
二、散斑的二级统计特性.....	(383)
三、积分散斑.....	(385)
四、象面散斑.....	(387)
五、散斑场的干涉.....	(387)
第九章 分子光学	(391)
第一节 引言.....	(391)
第二节 光的色散.....	(391)
第三节 罗伦兹-罗伦茨公式.....	(393)
第四节 金属中的折射率.....	(393)
第五节 伦琴射线的色散.....	(393)
第六节 光的吸收.....	(394)
第七节 光的散射.....	(394)
第八节 旋光性.....	(397)
第九节 磁光.....	(398)
第十章 非线性光学	(401)
第一节 媒质的非线性电极化率张量及其性质.....	(404)
一、因果性原理.....	(401)
二、一维振子响应的经典理论.....	(404)
三、三维空间的非线性电极化强度.....	(408)
四、密度算符的运动方程及密度算符的微扰级数.....	(410)
五、电极化率张量的表示式.....	(415)
六、独立分子体系的电极化率张量.....	(419)
七、电极化率张量的性质.....	(424)
八、分子间弱相互作用的效应.....	(431)
九、共振电极化率.....	(433)
第二节 平面波在非线性媒质内的传播.....	(437)
一、菲涅耳方程和传播模的本征值与本征矢.....	(437)
二、折射率椭球.....	(443)
三、媒质有耗对波的传播的影响.....	(444)
四、非线性相互作用的电磁公式.....	(445)
五、相位匹配.....	(447)
第三节 二次非线性效应所引起的现象.....	(450)
一、旋光性理论.....	(450)
二、法拉第效应.....	(452)
三、线性电光效应.....	(453)
四、光整流效应.....	(457)
五、三波耦合,和频与差频的产生.....	(458)

六、二次谐波产生及二次谐波的有效非线性光学系数	(461)
七、参量效应, 参量放大与振荡	(464)
第四节 三次非线性效应所引起的现象	(466)
一、克尔效应	(466)
二、三次谐波产生	(468)
三、双光子吸收	(471)
四、受激喇曼散射	(473)
五、受激布里渊散射	(475)
六、相位共轭	(478)
第十一章 光的偏振	(483)
第一节 理论、术语和偏振的应用	(483)
一、基本概念和光学参数的规定	(485)
二、菲涅耳方程组	(491)
三、起偏器的基本关系	(491)
四、计算偏振的矩阵法	(492)
五、非正入射光度术	(494)
六、椭圆偏测量术	(496)
第二节 棱镜起偏器	(497)
一、方解石中的双折射	(497)
二、起偏棱镜的类型及其定义	(503)
三、格兰型棱镜	(506)
(一) 格兰型棱镜的优点	(506)
(二) 格兰-汤普森型棱镜	(506)
1. 格兰-汤普森型棱镜的结构和消光比	(506)
2. 格兰-汤普森型棱镜的透射	(507)
3. 格兰-汤普森型棱镜的共同缺点	(508)
4. 格兰-汤普森型棱镜的视场角	(509)
5. 玻璃-方解石结构——阿曼-马塞棱镜	(513)
6. 双格兰-汤普森棱镜——阿伦斯棱镜	(513)
7. 空气间隔格兰-汤普森棱镜——格兰-傅科棱镜	(514)
8. 空气间隔阿伦斯棱镜——格罗斯棱镜	(515)
(三) 利皮什型棱镜	(515)
1. 利皮什型棱镜	(515)
2. 空气间隔利皮什棱镜——格兰-泰勒棱镜	(516)
3. 马普尔-赫斯棱镜	(517)
(四) 夫兰克-里特型棱镜	(518)
(五) 格兰型棱镜在光学系统中的应用	(518)
(六) 格兰型棱镜的检验	(520)
四、尼科耳型棱镜	(521)
(一) 常规尼科耳棱镜	(521)