

光学

赵秀琴 梁贵生 著

山西出版集团
山西科学技术出版社

043
Z335

光 学

赵秀琴 梁贵生 著

山西出版集团
山西科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

光学/赵秀琴,梁贵生 著. —太原:山西科学技术出版社,2007.8

ISBN 978-7-5377-3036-5

I. 光… II. ①赵…②梁… III. 光学 IV. 043

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 120459 号

光 学

赵秀琴 梁贵生 著

出 版 山西出版集团·山西科学技术出版社

(太原建设南路 21 号 邮编:030012)

发 行 山西出版集团·山西科学技术出版社(电话:0351—4922121)

经 销 各地新华书店

印 刷 山西省建筑科学研究所印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 13.375

字 数 299 千字

版 次 2007 年 8 月第 1 版

印 次 2007 年 8 月太原第 1 次印刷

印 数 500 册

书 号 ISBN 978-7-5377-3036-5

定 价 20.00 元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与发行部联系调换。

前 言

光学是我国高等学校物理专业所设置的课程,也是高等学校科学教育专业本科生必修的一门基础课程。

关于这门课程的教材近年来也出版了不少,对许多新的教学模式进行了不断的探索,还涌现出了许多比较成功的教材,这对于光学这门课的改革无疑是非常重要的。但是,目前能够满足高等学校科学教育专业的本科教科书要求的教材还比较少。

教学的主要任务是培养学生的各种能力,而高等教育在培养学生能力时,要更加注重独立性和创新性。因此,大学教育的首要任务是培养学生的自学能力和创造能力。作者从事物理专业的“光学”及相关课程的教学十几年,曾采用和参考过各种风格和体系的教材组织教学,在教学实践中,通过不断的学习和摸索,逐渐形成了导与学相结合的教学思想,并在此思想指导下,以几何光学、波动光学、量子光学为主,同时兼顾现代光学的发展及某些提高性课题编写了《光学》讲义。经过多年的使用,特别是科学教育专业的教学试用,取得了良好的教学效果。在此讲义的基础上,通过在教学实践中反复征求师生意见,不断进行修改、增补,最后定稿。

本书内容在编排上注意了知识本身的规律性、系统性及相关性;注重发挥学生的学习积极性,对重点内容力求讲清楚、讲透彻,使大多数学生能够通过思考加以掌握;对已经学过或较简单的内容,留给学生自己思考,以培养学生的积极思考和自学的能力。

为了帮助学生克服解题的困难,并为某些学生考研做准备,本书密切配合理论讲述,精选了一些有代表性的例题和习题,着重从解题的思路、方法、步骤和技巧等方面进行具体的分析指导。本书既可以满足学生掌握光学知识的要求,又可以满足学生进一步深造的需求。

为了扩大学生的知识面,本书增加了光学知识在生活和科学技术中应用的一些例子,增加了有关现代光学的题材。为了适应科学教育专业的特点,本书还增加了有关光学知识在化学和生物学方面的内容。

在内容的覆盖面上,本书充分考虑了这门课程在我国的教学现状和普遍实施的教学大纲,在每章后均配备了一定数量的习题,以使学生在理论的运用方面得到训练,同时提高其进一步深造的适应能力。

本书的编写属于山西省教育厅“高师院校”科学教育专业课程体系构

建与“5+3”人才培养模式的研究与实践科研课题的子课题，本书的编写过程得到了课题组成人员的大力支持和帮助。

本书内容分为八章，即几何光学，光学仪器的基本原理，光的干涉，光的衍射，光的偏振，光的吸收、散射和色散，光的量子性，激光与全息照相。此外，每章后还附有本章的习题及答案。

本书可作为高等师范院校物理专业和科学教育专业的教材，也可作为综合性大学、高等工科院校有关专业的教学参考书，并可供中学物理教师及其有关人员参考。

本书第三、四、五章由赵秀琴撰稿；绪论及第一、二、六、七、八章由梁贵生撰稿；赵秀琴承担全书的补充和统稿。

限于作者水平，加之整理时间仓促，书中必有疏漏之处，望使用者不吝指教。

赵秀琴 梁贵生

目 录

绪论	(1)
第一章 几何光学的基本原理	(7)
第一节 几何光学的基本实验定律	(7)
第二节 费马原理	(8)
第三节 成像的基本概念	(11)
第四节 光在平面界面上的反射和折射	(13)
第五节 光在单球面上的反射和折射	(17)
第六节 光连续在几个球面上的折射 虚物的概念	(27)
第七节 薄透镜	(28)
第八节 近轴物点近轴成像的条件	(35)
第九节 理想光具组	(39)
习题	(42)
第二章 光学仪器的基本原理	(45)
第一节 人的眼睛	(45)
第二节 助视仪器的放大本领	(48)
第三节 目 镜	(51)
第四节 显微镜的放大本领	(52)
第五节 望远镜的放大本领	(54)
第六节 光 阑	(58)
第七节 光度学概要——光能量的传播	(61)
习题	(67)
第三章 光的干涉	(69)
第一节 光的电磁理论	(69)
第二节 波动的独立性、叠加性和相干性	(73)
第三节 由单色波叠加所形成的干涉图样	(75)
第四节 分波面双光束干涉	(78)
第五节 干涉条纹的可见度 光源的非单色性对干涉条纹的影响	(85)
第六节 菲涅耳公式	(87)
第七节 分振幅薄膜干涉 (一) ——等倾干涉	(88)
第八节 分振幅薄膜干涉 (二) ——等厚干涉	(92)

第九节 迈克耳孙干涉仪	(94)
第十节 法布里—珀罗干涉仪 多光束的干涉	(97)
第十一节 干涉现象的一些应用 牛顿环	(102)
习题	(106)
第四章 光的衍射	(108)
第一节 光的衍射现象	(108)
第二节 惠更斯—菲涅耳原理	(108)
第三节 菲涅耳半波带	(111)
第四节 菲涅耳衍射 (圆孔和圆屏)	(113)
第五节 单缝的夫琅禾费衍射	(117)
第六节 夫琅禾费圆孔衍射	(122)
第七节 平面衍射光栅	(124)
第八节 晶体对伦琴射线的衍射	(130)
第九节 助视仪器的分辨本领	(132)
第十节 分光仪器的分辨本领	(136)
习题	(139)
第五章 光的偏振	(142)
第一节 自然光与偏振光	(142)
第二节 线偏振光与部分偏振光	(144)
第三节 反射和折射时光的偏振态	(147)
第四节 光通过单轴晶体时的双折射现象	(150)
第五节 光在晶体中的波面	(153)
第六节 光在晶体中的传播	(154)
第七节 偏振器	(156)
第八节 椭圆偏振光和圆偏振光	(160)
第九节 偏振态的实验检验	(163)
第十节 偏振光的干涉	(165)
第十一节 人为双折射	(168)
习题	(172)
第六章 光的吸收、散射和色散	(175)
第一节 光的吸收	(175)
第二节 光的散射	(178)
第三节 光的色散	(182)
习题	(183)

第七章 光的量子性	(184)
第一节 经典辐射定律	(184)
第二节 光电效应及其实验规律	(185)
第三节 康普顿效应	(186)
第四节 波粒二象性	(189)
习题	(192)
第八章 激光与全息照相	(193)
第一节 激光与激光器	(193)
第二节 全息照相的原理与特点	(196)
第三节 现代光学进展简介	(200)
主要参考文献	(205)

绪 论

一、光学的研究内容和方法

光是一种重要的自然现象。我们之所以能够看到客观世界中五彩缤纷的景象，是因为我们的眼睛能够接收物体发射、反射或散射的光。据统计，人类感官收到外部世界的总信息量中，至少有 90% 以上是通过眼睛得到的。由于光与人类生活和社会实践的密切联系，光学也和天文学、几何学、力学一样，是一门最早发展起来的学科。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不可估量的发展前途。

光学是研究光的传播以及它和物质相互作用问题的学科。光学还是一门应用性很强的学科。光学可分为几何光学、波动光学、量子光学和现代光学。

光学的发展为生产技术提供了许多精密、快速、生动的实验手段和重要的理论依据；而生产技术的发展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实践的辩证关系。

光学研究的方法是在观察实验的基础上，对物理现象进行分析、抽象和综合，进而提出假设，形成理论，并不断反复经受实践的检验。

二、光学的发展简史

光学的发展大致可分为五个时期：萌芽时期、几何光学时期、波动光学时期、量子光学时期和现代光学时期。

1. 萌芽时期

光学的起源可追溯到古代。我国春秋战国时期，墨翟（公元前 468—公元前 376 年）及其弟子所著的《墨经》中，就记载着光的直线传播（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，并把物和像的位置及其大小与所用镜面的曲率联系起来。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，公元前 330—公元前 275 年）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的投射学说。

从墨翟开始的两千多年的漫长岁月构成了光学发展的萌芽时期，在此期间光学发展比较缓慢。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,逐渐有了一些成果。克莱门德(Cleomedes)和托勒密(C. Ptolemy, 公元90—168年)研究了光的折射现象,最先测定了光通过两种介质分界面时的入射角和折射角。罗马哲学家塞涅卡(Seneca, 公元前3—公元65年)指出充满水的玻璃泡具有放大功能。从阿拉伯的巴斯拉来到埃及的学者阿尔哈曾(Alhazen, 公元965—1038年)反对欧几里得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,并且光是以球面形式从光源发出的;反射线和入射线共面且入射面垂直于界面。他研究了球面镜和抛物面镜,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,而且在凹面镜和凸面镜的成像规律、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, 1214—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,并描述了透镜焦点的位置。阿玛蒂(Armati)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,凹面镜、凸面镜、眼镜、透镜以及暗箱和幻灯等光学元件已相继出现。

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。在这个时期,建立了光的反射定律和折射定律,奠定了几何光学的基础。同时为了提高人眼的观察能力,人们发明了光学仪器,第一架望远镜的诞生促进了天文学和航海事业的发展,显微镜的发明给生物学的研究提供了强有力的工具。

荷兰的李普塞(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(Galileo 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太阳运转的日心说提供了强有力的证据。

开普勒(J. Kepler, 1571—1630)汇集了前人的光学知识,于1611年发表了他的著作《折光学》。无论在形式上还是在内容上,该书都可与现代几何光学教材相媲美。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,特别是由两块凸透镜构成的开普勒天文望远镜。他还发现,当光以小角度入射到界面时,入射角和折射角近似地成正比关系。至于折射定律的精确公式则是由斯涅耳(W. Snell, 1591—1626)和笛卡儿(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。而约在1630年,笛卡儿在《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,费马(P. de Fermat, 1601—1665)在1657年首先指出光在介质中传播时所走的光程取极值的原理,并根据这个原理推出光的反射定律和折射定律。综上所述,到17世纪中叶,几何光学的基础基本上已经奠定了。

早先关于光的本性的概念,是以光的直线传播为基础的。但从17世纪开始,就发

现了与光的直线传播不完全符合的事实。意大利人格里马第 (F. M. Grimaldi, 1618—1663) 首先观察到光的衍射现象。他发现在点光源的情况下, 一根直竿的影子要比假设光沿直线传播所应有的宽度稍大一点, 也就是说光并不严格按直线传播, 而会绕过障碍物前进。接着, 1672 至 1675 年间, 胡克 (R. Hooke, 1635—1703) 也观察到衍射现象, 并且和玻意耳 (R. Boyle, 1627—1697) 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, 1643—1727) 和惠更斯 (C. Huygens, 1629—1695) 等人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。1672 年, 牛顿进行了白光的实验, 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, 各种色光在玻璃中受到不同程度的折射而被分解成许多组成成分。反之, 把各种组成成分复合起来会重新得到原来的白光。进一步的实验还指出, 把从第一个棱镜中分出的某种色光从光谱中分离出来, 便不能被第二个棱镜再分解。这些简单的色光特征, 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, 从而首次认识到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之后所发生的衍射现象。

惠更斯反对光的微粒说, 1678 年他在《论光》一书中从声和光的某些现象的相似性出发, 认为光是在“以太”中传播的波。所谓“以太”, 则是一种假想的弹性介质, 充满整个宇宙空间, 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。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。他提出了次波包络面成为新的波面的理论, 但没有考虑到它们是由波动按一定的相位叠加造成的。归根到底, 他仍旧摆脱不了几何光学的观念, 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, 却从他研究的牛顿环的现象中确信光具有周期性。

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从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。

光学的研究在 18 世纪实际上没有什么进展。多数科学家支持光的微粒说, 不过笛卡尔学派中瑞士的欧拉 (L. Euler, 1707—1783) 和法国的伯努利 (D. Bernoulli, 1700—1782) 却捍卫并发展了波动理论。

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)的著作在这时起着决定性的作用。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做了著名的“杨氏双缝干涉实验”,还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。运用这个原理,不仅能圆满地解释光在均匀的各向同性介质中沿直线传播,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,菲涅耳和阿拉果(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,看来一切似乎十分圆满了,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,尽管人们赋予了它许多附加的性质,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,从而揭示了光学现象和电磁现象的内在联系。1856年,韦伯(W. E. Weber, 1804—1891)和柯尔劳施(R. Kohlrausch, 1809—1858)通过在莱比锡做的电学实验发现了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。从这些发现中,人们得到了启示,即在研究光学现象时,必须把光学现象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。他直接通过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,确立了光的电磁理论基础,尽管关于以太的问题,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物质和光相互作用的各种过程。洛伦兹(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。当光通过介质且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,利用洛伦兹的电子论不仅可以解释物质发射和吸收光的现象,还能解释光在物质中的传播过程以及光的色散现象。

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,并且再一次证明了各种自然现象之间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。在此期间,人们还用多种实验方法

对光速进行了多次测定。1849年,斐索(A. H. L'Fizeau, 1819—1896)运用旋转齿轮法以及1862年傅科(J. L. Foucault, 1819—1868)使用旋转镜法测定了光在各种不同介质中的传播速度。

4. 量子光学时期

19世纪末到20世纪初,光学研究深入到光的发生、光和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和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. K. 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量子方式从振子发射,量子所具有的能量是不连续的,其大小只能是电磁波(或光)的频率与普朗克常量乘积的整数倍,从而成功地解释了黑体辐射问题,开始了量子光学时期。1905年,爱因斯坦(A. Einstein, 1879—1955)发展了普朗克的量子假设,把量子论贯穿到整个辐射和吸收过程中,提出了杰出的光子(光子)理论,圆满地解释了光电效应,并被后来的许多实验(例如康普顿效应)所证实。但这里所说的光子不同于牛顿的微粒说中的粒子,光子是和光的频率(波动特性)联系着的,光同时具有微粒和波动两种属性。至此,人们一方面通过光的干涉、衍射和偏振等光学现象证实了光的波动性;另一方面通过黑体辐射、光电效应和康普顿效应等又证实了光的量子性——粒子性。为了将有关光的本性的两个完全不同的概念统一起来,人们进行了大量的探索工作。1924年,德布罗意(L. V. de Broglie, 1892—1987)创立了物质波学说,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年被戴维孙(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都具有这种二重性。也就是说,这是微观物质所共有的属性。1925年,玻恩(M. Born, 1882—1970)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粒子研究的发展,也推动了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。为了彻底认清光的本性,我们还要不断探索,不断前进。

5. 现代光学时期

从20世纪60年代起,特别是在激光问世以后,由于光学与许多科学技术紧密结合、相互渗透,以空前的规模和速度飞速发展,它已成为现代物理学和现代科学技术中一块重要的前沿阵地。

1958年,肖洛(A. L. Schawlow, 1921—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—),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、医疗和育种等方面,在化学催化、同位素分离、光通讯、光存储、光信息处理以及引发核聚变等方面也有着广阔的发展前景。

同步辐射光源的出现,是继电光源、X射线光源、激光光源之后,光学领域中的又一革命性事件。同步辐射的电磁波谱从红外线到X光。同步辐射不仅强度高,而且指

向性特佳。同步辐射在科学研究和高技术诸如表面物理学、生物学和化学以及半导体制备和集成电路制造等领域都有广泛应用。

同时,全息摄影术已在全息显微术、信息存储、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。

光学纤维已发展成为一种新型的光学元件,为光学窥视(传光、传像)和光通讯的实现创造了条件。它已成为某些新型光学系统和某些特殊激光器的组成部分。由于光纤通讯具有使用范围广、容量大、抗干扰能力强、便于保密和节约钢材等优点,将逐渐成为远距离、大容量通讯的“主角”。

可以预期光计算机将成为新一代的计算机。由于采取了光信息存储,并充分吸收了光并行处理的特点,光计算机的运算速度将会成千倍地增加,信息存储能力可望获得极大的提高,更完善的人工智能便可成为现实。

传统光学观察技术和其他新技术的结合、红外波段的扩展将使红外技术成功地应用于夜视、导弹制导、环境污染监测、地球资源考察及遥感遥测技术等。

随着新技术的出现,新的理论也不断发展,已逐步形成了许多新的分支学科或边缘学科。

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光学形象,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、像质评价、成像理论以及相干光学计算机的基础。

高度时间和空间相干性的高强度激光的出现,为研究强光作用下非线性光学的发展创造了条件。非线性光学效应属于当今的光子学范畴。激光光谱学的实验方法已成为深入研究物质微观结构、分子运动规律等方面的重要手段。

由于电磁理论、材料科学、集成技术和电子技术的飞速发展,在集成电路的启示下,形成了集成光学这一门新兴的边缘学科。集成光学是研究集成光路理论及其制造的科学,涉及介质光波导理论、集成光路材料体系、薄膜波导形式的各种分立元件、测试技术、光集成回路和集成技术等许多领域。目前由集成光路和光导纤维组成的光缆正在用于光通讯、显示系统、信息处理和文字图像扫描等。

总之,现代光学与其他科学和技术的结合,在人们的生产和生活中发挥着日益重大的作用和影响,正在成为人们认识自然、改造自然以及提高劳动生产率的越来越强有力的武器。

第一章 几何光学的基本原理

几何光学是光学中发展最早的一部分，它所研究的中心问题是物体经过光学系统成像的问题。在几何光学中撇开光的本性，不考虑光和物质的相互作用，只是以光线和波面的概念为基础，根据实验观测总结所得到的几个基本定律，通过三角计算、矩阵运算或几何作图法来讨论物体经过光学系统的成像规律。

本章首先介绍几何光学的基本定律及描述光线传播行为的基本原理——费马原理。然后讨论有关成像的基本概念，平面、球面、薄透镜以及共轴球面系统的近轴成像理论。

第一节 几何光学的基本实验定律

一、光源、光线、光束和波面

光源：从物理学的角度看，任何发光的物体都可以叫做光源，太阳、烛焰、钨丝白炽灯、日光灯、高压水银荧光灯等。光源不仅用来照明，为了科学研究的需要，人们常使用各种类型的特殊光源，例如各种电弧和放电管。1960年问世的激光器，则是一种与过去所有的光源性质不同的新型光源。

在几何光学中，把凡是发出光线的物体，不论它本身是发光体或是因为被照明而漫反射光的物体，都称为光源。

当发光体（光源）的大小和其辐射能的作用距离相比可忽略不计时，该发光体称为发光点或称为点光源。例如离我们很远的恒星，它到地球的距离比它自身的线度大得多时，地球上的观察者可把恒星看作是点光源。

发光点被抽象为一个既无体积又无大小的几何点，任何被成像的物体都是由无数个这样的发光点所组成。几何光学中的发光点只是一个假设，在自然界中是不存在的。

光线：在几何光学中，光线被抽象为既无直径又无体积的几何线。它的方向代表光线的传播方向。同样，光线实际是不存在的，光线是一个抽象的概念。利用它可以把光学中复杂的能量传输和光学成像问题归结为简单的几何运算问题，从而使所要处理的问题大为简化。

光束和波面：在各向同性的介质中，光沿着波面的法线方向传播，可以认为光波波面法线就是几何光学中的光线，与波面对应的法线束称为光束。

光是一种电磁波，任何一个发光体都是一个波源。光的传播过程正是电磁波传播的过程。光波是横波，在各向同性介质中，其电场的振动方向与传播方向垂直，振动相位相同的各点在某时刻所形成的曲面称为波面。波面可以是平面、球面或其他曲面。平面波对应于平行光束；球面波对应于会聚或发散光束；其光线既不相交于一点，又不平行所对应的光束称为像散光束。

如图 1-1-1 所示。几何光学中的传播规律和成像原理，是用光线的途径加以直观表示的，光线的这种传播途径称为光路。实际上，一个点光源发出的光线为无数条，不可能对每一条光线都求出其光路图。几何光学的做法是从光束中取出一个适当的截面，求出其上的几条光线的光路，这种截面通常称为光束截面。

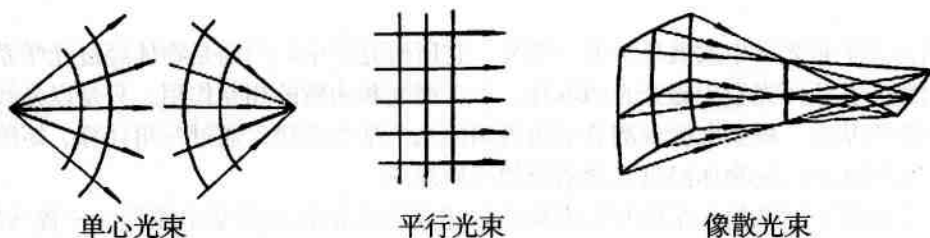


图 1-1-1 各种光束

二、几何光学的基本实验定律

- (1) 光的直线传播定律：光在真空或均匀介质中沿直线传播。
- (2) 光通过两种介质分界面时的反射定律和折射定律。
- (3) 光的独立传播定律和光路可逆原理。

应当指出，光的直线传播定律中所谓的“均匀”介质指的是折射率处处相同的介质，这种介质可称为是光学均匀的。两种不同的介质（如溶液），如果它们的折射率相同，则它们也是光学均匀的。光从一种介质进入另一种介质时将直线传播，不发生反射和折射；相反，即使同一介质（如空气），若各处折射率不同，光线传播时也会发生弯曲。

作为实验定律，几何光学三定律是近似的，它们只在空间障碍物以及反射和折射界面的尺寸远大于光波时才成立。尽管如此，在很多情况下用它们来设计光学仪器还是足够精确的。在应用光学中的一些细致的问题（例如光学仪器的分辨本领等），仍需应用衍射理论才能解决。

第二节 费马原理

折射定律的发现标志着光线传播定律的最终确立。此后，许多科学家纷纷从不同的角度，采用了不同的形式来解释、证明和概括光线的传播定律。费马原理即是途径之一。费马原理的优越性还在于，用它不但可描述光在均匀介质中的传播情况，还可以描述光在不均匀介质中的传播情况。可以证明，几何光学中有关光线的实验事实也可归结为光程问题。即不考虑光的波动性，而只从光线的观点出发。

一、光程

真空中 A 、 B 两点相距 s ，光线从 A 传到 B 所需的时间 t 为 $t = \frac{s}{v}$ 。

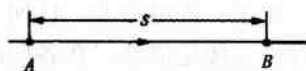


图 1-2-1 光程

当 A 、 B 之间充满折射率为 n 的均匀介质时，光线由 A 到 B 所用的时间 $t' = \frac{s}{v} =$

$\frac{ns}{c}$ ，其中 v 是光在介质中的传播速度， $n = \frac{c}{v}$ 。若求光线通过介质中两点 A 、 B 所用的时间，只需将两点之间的距离 s 乘以介质的折射率 n 去代替真空中的 s 即可。

为了方便，我们把 ns 称为光线在 A 、 B 之间的光程。

在均匀介质中，光经过 A 、 B 两点的几何路程为 s 与该介质折射率 n 的乘积称为光在该介质中所走的光程 $\Delta = ns$ 。

光程概念推广到分区均匀介质中，如图 1-2-2 所示。

$$\Delta = \sum_{i=1}^k n_i s_i$$

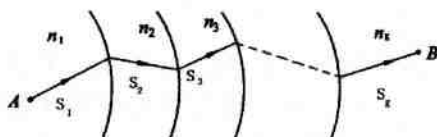


图 1-2-2 分区均匀介质中的光程

更普遍的情况是，在由 A 点到 B 点的空间中充满着折射率连续变化的介质即 $n = n(x, y, z)$ ，则介质中经过 A 、 B 两点之间的光程应用积分计算，如图 1-2-3 所示。

$$\Delta = \int_A^B n ds$$



图 1-2-3 介质连续变化时的光程

这个积分是沿着光线所经的路径进行的。其意义：不管介质的情况如何，光经过相同的光程就需要相同的时间。因此，光程有“折合路程”的含义，即光程是光在介质中通过某一路程所需的时间内，光在真空中所通过的路程。也就是说，介质中某一几何路程的“光程”可理解为在相同时间内光线在真空中传播的距离。

二、费马原理及应用

费马 (Pierre de Fermat, 1601—1665)，法国数学家、物理学家。他生于博蒙德罗曼，其父曾任法国卢兹地方法院的法律顾问。他本人身为律师，曾任图卢兹议会的顾问 30 多年。他的一系列重要科学研究成果，都是利用业余时间完成的。

费马在数学方面做出了卓越的贡献，早年主要研究概率论，对于数论和解析几何都有深入的研究。费马是用数学方法证明了折射定律的主要学者之一。

费马指出，光在指定的两点间传播，实际的光程总是一个极值。也就是说，光沿着光程为极小值、极大值或恒定值的路径传播，这是几何光学中一个最普遍的基本原理，称为费马原理，其数学表达式为

$$\int_A^B n ds = \text{极值 (极小值、极大值或恒定值)}$$

在一般情况下，实际光程大多是取极小值，费马最初提出的也是最短光程。

光的直线传播定律、可逆性原理、反射折射定律均可归纳于费马原理之中。

(1) 光在均匀介质中传播，光是沿两点之间的最短距离——直线传播的，即在给定两点间，光沿着费时最少的路径传播。

(2) 用费马原理可证明反射定律和折射定律。在介质分界面上的反射和折射都是最短光程的例子。

证明遵从折射定律也是费马原理的必然结果。如图 1-2-4 所示，设两种均匀介质