

大学光学

主 编 黄华惠
副主编 塔 拉 方林瑞
刘明海 张文厚

江西科学技术出版社

大学光学

主 编 黄华惠
副主编 塔 拉 方林瑞
刘明海 张文厚

江西科学技术出版社



NGXUE DAXUE GUANGXUE

内 容 简 介

本书系统论述了几何光学、波动光学、量子光学、分子光学等光学全部基本内容,并对现代光学及光学现代进展作了简明介绍,本书力求文字精炼,深入浅出,论述方法力求新颖,全面,完整,简便明了。本书以基础理论与现代科技相结合及引进最新论述方法为特色。

本书可供大学物理系学生阅读;可供光学与其有关专业人员参考,也可作大学光学课程的教材。

大学光学

黄华惠等编写

江西科学技术出版社出版发行

(南昌市新魏路)

江西省邮电印刷厂印刷

开办 787×1092 1/32 印张 10.125 字数 22 万

1996 年 1 月第 1 版 1996 年 1 月第 1 次印刷

印数 1—1000

ISBN7—5390—0989—6/G·129 定价:16.00 元

(江西科技版图书凡属印刷、装订错误,请随时向承印厂调换)

编委(姓氏笔画为序):

方林瑞 刘明海 刘南生 塔拉
张文厚 黄华惠 燕 安

DAXUE GUANGXUE DAXUE

序

光学学科理论的发展,从几何光学到量子光学,从线性光学到非线性光学;而光学学科技术的发展,从天文望远镜、显微镜、各种成像设备到光纤通讯设备;都有着辉煌的成就,因此光学学科在自然科学与技术科学中的地位显得日益重要。

目前专业性光学的教学参考书或专著,与光学学科发展势头相比较,数量显得太少,而将教学与科研相结合系统地介绍光学领域新成果的著作就更少了。因此编著与出版本书,作为高等学校和有关研究机构的用书,就显得非常必要和及时。

本书取材广泛、内容丰富,吸收了编著者和国内外发展的优秀科研成果。诸如光学傅里叶方法及光学中的矩阵法以及光栅谱线缺级现象等等。本书将光学原理与现代科技发展相结合,介绍光学学科领域进展情况与其动向,使读者能开阔视野、活跃思路并提高学习与钻研光学问题的兴趣和满足读者更新知识的要求。这就能对希望在光学领域进一步进行探索的读者,起到启发与引导作用。

本书编著者长期从事光学教学工作,经验丰富。书中的取材、重点与一般内容的有机结合与典型问题的选择及其普适性的铺开等处理方法,都有独到之处。诸如从光学仪器原理论及哈勃太空望远镜、非线性光学原理论及国内外光纤通讯研究与实践的进展、在几何光学高斯公式中从传统的几何推导

到图像法与矩阵法的介绍、光衍射问题中三种方法(积分法、半波带法与矢量法)的指明,以及各种光干涉现象皆归纳为两点光源在空间干涉的某种情况等等。这就使得读者能从中掌握完整的系统知识又弄清了重点所在,且能做到举一反三、触类旁通。因此本书是目前同类教材中甚为难得的好书。

由于江西科技出版社的鼎力扶助,使得本书得以顺利付梓,对于提高大学光学教学水平与促进光学学科的繁荣,无疑会起到积极作用。

侯贻生

1995. 南昌

前 言

本书是对物理系本科生多年光学教学中发现的问题,摸索的一些规律及在教学改革尝试中的做法总结并参阅了国内外多种有关书籍编写而成,书中系统论述了光学全部基本内容,并对现代光学及光学现代进展作了简明介绍。本书按照光学发展顺序安排章节,前面六章系统论述了几何光学,波动光学(干涉,衍射,偏振),分子光学,量子光学等光学的基本内容,是必读内容。第七章对现代光学作了较为通俗简明的介绍,是选读内容。在书后面附有各章主要内容概括,以便帮助读者掌握重点,难点,筛选各章公式与概念及各内容间的联系,便于获得完整的知识。在论述中注意了突出重点,简化难点,并注重了各部分重点知识与其它知识内在联系的规律。以便读者触类旁通,举一反三,书中配有适当例题及一定量习题。在编写过程中力求文字精炼,通俗易懂,深入浅出,论述方法力求全面完整,简便明了,注意了引进最新论证方法,本书以基础理论与现代科学技术相结合及引进最新论述方法为特色。可供大学物理系学生阅读及供光学与其它有关专业人员参考,也可作为大学物理系光学教材。

江西师范大学物理系侯贛生教授为本书撰写了序;江西医院唐为亚先生为本书制图工作付出了辛勤的劳动;本书在出版过程中得到江西师范大学物理系杨千里教授,罗开基副教授,徐木林书记,江西科技出版社张旭初先生的指导及大力协助,在此一并致以敬意和谢意。

引 言

光学是研究光的本性,光的传播,光与物质的相互作用,各种光学现象及其应用的一门重要学科。光学具有悠久的历史,人们对光的本性的认识经历了一个漫长的过程。早在十七世纪以牛顿为代表的学派认为光是由弹性微粒组成,光是直线传播,建立了几何光学。解决了光的反射与折射等问题。后来以惠更斯,菲涅耳为代表的学者认为光是一种波动,解释了光的干涉与衍射等现象,随着电磁理论的发展,证实了光速与电磁波的速度相等,认识到光波是电磁波,光的偏振现象也得到解释,建立了波动光学。十九世纪末随着赫芝对光电效应的发现,普朗克提出辐射量子理论,爱因斯坦提出了光量子理论,成功地解释了光波动理论所不能解释的光电效,建立了量子光学。量子光学认为,光是由具有一定波长(频率)的光量子(粒子)组成;并指出光具有波,粒二重性。从此人们对光本性的认识较为全面。本世纪六十年代激光问世,光学这门古老的学科获得了新生,以迅猛的速度发展为现代光学。傅里叶光学,全息照象,信息处理,光学纤维,光波导的研究,激光应用等现代光学已成为现代科学技术的前沿阵地之一。光学研究及技术应用,正在日新月异的发展,且前程似锦。

目 录

引言.....	(0)
第一章 几何光学.....	(1)
§ 1.1 费马原理	(1)
§ 1.2 棱镜对光的折射,全反射与光纤.....	(5)
§ 1.3 单球面成象	(9)
§ 1.4 高斯公式,牛顿公式,傍轴物成象.....	(16)
§ 1.5 共轴多球面成象,透镜	(20)
§ 1.6 共轴光具组的基点,基面	(29)
§ 1.7 共轴光具组成象公式及作图法.....	(33)
§ 1.8 光学仪器.....	(39)
§ 1.9 * 象差概述.....	(47)
§ 1.10 光度学概述	(50)
习题	(59)
第二章 光的干涉	(64)
§ 2.1 光的相干条件.....	(64)
§ 2.2 两点光源的干涉.....	(71)
§ 2.3 杨氏干涉.....	(75)
§ 2.4 均厚薄膜干涉(等倾干涉).....	(81)
§ 2.5 非均厚薄膜干涉(等厚干涉).....	(88)
§ 2.6 * 论“半波损失”.....	(96)
§ 2.7 干涉仪	(100)
习题.....	(105)
第三章 光的衍射.....	(114)
§ 3.1 惠更斯—菲涅耳原理,光的衍射现象.....	(114)

§ 3.2	菲涅耳圆孔衍射和圆盘衍射及波带片	(119)
§ 3.3	夫琅和费单缝衍射	(130)
§ 3.4	夫琅和费圆孔衍射, 光学仪器的分辨本领	(139)
§ 3.5	光栅	(146)
§ 3.6	* 三维光栅	(162)
	习题	(165)
第四章	光的偏振	(169)
§ 4.1	光的偏振现象概述	(169)
§ 4.2	偏振片 · 三种光的检验	(173)
§ 4.3	反射光与折射光的偏振现象	(177)
§ 4.4	双折射现象 · 尼科耳镜	(181)
§ 4.5	双折射的解释 · 惠更斯作图法	(186)
§ 4.6	椭圆偏振光, 圆偏振光	(191)
§ 4.7	偏振光的干涉	(199)
§ 4.8	* 旋光	(205)
	习题	(209)
第五章	光的吸收, 色散, 散射	(213)
§ 5.1	光的吸收	(213)
§ 5.2	光的色散	(216)
§ 5.3	光谱	(218)
§ 5.4	光的散射	(221)
§ 5.5	光的群速及相速	(223)
	习题	(228)
第六章	光的量子性	(230)
§ 6.1	普朗克量子假设	(230)

§ 6.2	光电效应	(233)
§ 6.3	爱因斯坦光量子说	(236)
§ 6.4	* 康普顿—吴有训效应	(240)
§ 6.5	光的波粒二相性·物质波	(243)
	习题	(245)
第七章	* 现代光学简介	(247)
§ 7.1	傅里叶级数与傅里叶变换	(247)
§ 7.2	图象的二维傅里叶分析·透镜实现傅里叶变换	(253)
§ 7.3	阿贝成象与空间滤波	(258)
§ 7.4	全息照象概述	(262)
§ 7.5	非线性光学简介	(266)
§ 7.6	激光介绍	(268)
§ 7.7	高斯成象公式的两种新法推导	(275)
§ 7.8	光波反射起偏的 Jones 矩阵方法	(279)
	各章主要内容概括	(283)
	第一章 几何光学主要内容	(283)
	第二章 光的干涉主要内容	(289)
	第三章 光的衍射主要内容	(294)
	第四章 光的偏振主要内容	(298)
	第五章 光的吸收,色散,散射主要内容	(304)
	第六章 光的量子性主要内容	(307)
	习题答案	(310)
	附录	(313)
	附录 I 光波时间相干性关系式的推导	(313)
	附录 II 光波的相速与群速公式的较准确的推导	(315)

第一章 几何光学

几何光学是忽略光的波动效应,认为光是直线传播,研究光在不同媒质中传播规律的光学。本章在介绍几何光学的基本定律,基本原理基础上,着重介绍光线通过介质介面反射成象及折射成象规律,并进一步讨论光具组的基点基面及其成象作图方法。

§ 1.1 费马原理

光的直线传播定律,光的反射,折射定律,光路可逆性定律是三个实验定律,是几何光学中基本定律,而费马原理概括了这三个基本定律,成为几何光学的基本原理和理论依据。三个基本定律可以由费马原理推导得出。

费马原理指出:光由一点传播到另一点,其光程总是取极值(最大,最小或光程为常量)。

在第二章将讲到,光在折射率为 n 的媒质中光程为 ndl , dl 是光在此媒质中走过的距离,如果光在折射率连续变化的媒质中传播,由 M 点传播到 N 点,则费马原理表示为:

$$\int_{MN} n dl = \text{极值或恒量} \quad \dots\dots(1-1-1)$$

费马原理在实际中大多数情况都是取光程最小值,只有少数情况是取最大值或恒量。

下面我们由费马原理推导出基本定律

(1) 直线传播定律

这个定律告诉我们光在均匀媒质中是沿着直线传播的。由费马原理光在传播过程中光程取极值，两点之间最小的路程是直线，由此可得出光线在均匀媒质中沿直线传播。

(2) 反射定律

反射定律包括两点内容

(a) 入射光线与反射光线与介面法线共面。

(b) 入射角(i)等于反射角(i')即

$$i = i'$$

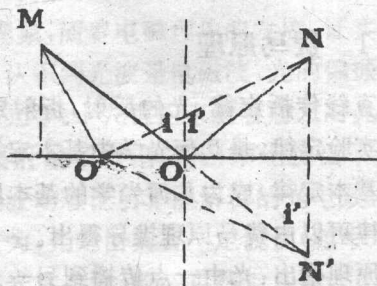


图 (1-1-1)

在图(1-1-1)中，光由 M 点出发经媒质介面 Σ 反射到达 N 点，首先在过 MN 两点向介面 Σ 所作的垂面中考虑问题。 O 是在 MN' 直线上的入射点， N' 是 N 关于 Σ 的对称点， O' 是任取的入射点，光可能由 MON 的路径到达 N 点，也可能沿 $MO'N$ 的路径到达 N 点，由图中几何关系

$$\overline{ON} = \overline{ON'}, \quad \overline{O'N} = \overline{O'N'}$$

在 $\triangle MO'N'$ 中 $MO' + O'N' > MO + ON'$

即 $MO' + O'N > MO + ON$

因 O' 点是任取的, 可见 MON 路径是最小的路径, 据费马原理, 光的传播光程是取极值的, 因此光由 M 点传播到 N 点只可能取最小路径 MON 。显然在上述垂面以外取入射点的路径都是大于 MON 的, 这就证明了入射光线与反射光线与法线共面; 由图中几何关系可得入射角等于反射角即

$$i = i'$$

反射定律得已证明。

(3) 折射定律

折射定律内容是

(a) 入射线与折射线和介面的法线共面;

(b) 设光由折射率 n_1 的媒质向折射率为 n_2 的媒质传播, 在两媒质界面上发生折射, i 是入射角, γ 是折射角。光线在介面折射时遵守下式:

$$n_1 \sin i = n_2 \sin \gamma \quad \dots\dots (1-1-2)$$

如图(1—1—2)所示, 光由 M 点从第一种媒质(折射率 n_1)向第二种媒质(折射率为 n_2)入射, 经两媒质介面 Σ 折射到达 N 点, 过 M, N 点作介面 Σ 的垂面与 Σ 面交线 $\overline{QP}$ 。在 Σ 面上任取一入射点 O' , 由 O' 向交线 $\overline{QP}$ 作垂线, 垂足为 O , 如以 O' 为入射点, 光经 $MO'N$ 到达 N , 如以 O 为入射点, 则光经过 MON 的路径到达 N , 由图中的几何关系可知:

在 $\triangle MO'O$ 中 $O'O \perp MO$ 所以 $MO' > MO$

在 $\triangle NOO'$ 中 $O'O \perp NO$ 所以 $NO' > NO$

可见 $MO'N$ 的路径比 MON 大, 因 O' 点是任取的, 根据

费马原理光程取极值,入射点只有在交线 QP 上才有可能使路径最小,这就意味着入射线与折射线同在 Σ 的垂面上,这就是折射定律的第一点内容。

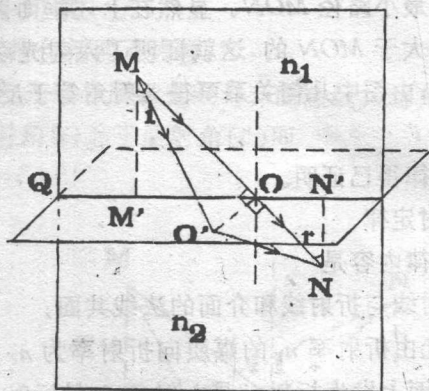


图 (1-1-2)

M', N' 分别为过 M, N 点向 QP 所作垂线的垂足,光由 M 点到 N 点的光程为

$$\Delta = n_1 MO + n_2 NO$$

设 $M'O = x$, 则

$$\Delta = n_1 \sqrt{x^2 + MM'^2} + n_2 \sqrt{(M'N' - x)^2 + NN'^2}$$

由费马原理光程取极值,因此对光程取一阶导数等于 0。

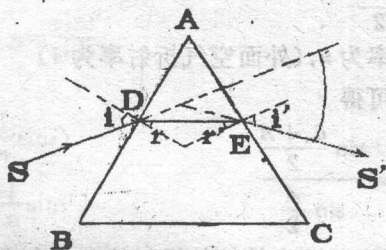
$$\begin{aligned} \frac{d\Delta}{dx} &= \frac{n_1 x}{\sqrt{MM'^2 + x^2}} - \frac{n_2 \overline{ON'}}{\sqrt{NN'^2 + \overline{ON'}^2}} \\ &= n_1 \sin i - n_2 \sin r = 0 \end{aligned}$$

即: $n_1 \sin i = n_2 \sin \gamma$

这就是折射定律的第二点内容。这个等式也称为斯涅耳定律。

§ 1.2 棱镜对光的折射,全反射与光纤

光的反射,折射有着越来越广泛的应用,下面就三棱镜及光学纤维为实例说明之。



图(1—2—1)三棱镜

如图(1—2—1)所示, $\triangle ABC$ 是三棱镜的截面, BC 为棱镜底面, 角 A 是棱镜顶角, 也可称为折射棱角, SD 是入射棱镜的入射光线, 经过棱镜两次折射的出射线为 ES' , 由折射定律可知, 两次折射光线都是折向底边的, 因此通过棱镜后的出射光线都是折向底边的, 入射在棱镜上光线与出射光线的夹角称为偏向角 δ , 由图(1—2—1)中几何关系可得:

$$\delta = (i - \gamma) + (i' - \gamma')$$

又因 $A = \gamma + \gamma'$

$$\text{故: } \delta = i + i' - A$$

.....(1—2—1)

上式表明,对一定顶角的三棱镜,光线的偏向角 δ 是入射角 i 的函数。由实验可知,用微分法也可证明,当 $i=i'$ 时,偏向角有最小值 δ_m ,称为最小偏向角。在最小偏向角条件下,

$$i=i', \gamma=\gamma'$$

于是可得

$$A=\gamma+\gamma=2\gamma$$

或

$$\gamma=\frac{A}{2} \quad \delta_m=2i-A$$

即

$$i=\frac{\delta_m+A}{2}$$

设棱镜折射率为 n , (外面空气折射率为 1)

由折射定律可得

$$n=\frac{\sin i}{\sin \gamma}=\frac{\sin \frac{\delta_m+A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \quad \dots\dots(1-2-2)$$

因此,只须从实验测定棱镜的折射棱角 A 和最小偏向角 δ_m 的值,即可根据式(1-2-2)推算出棱镜的折射率。这就是测定固体、液体透明物质的折射率的一种较好的方法。三棱镜更重要的用途是用来分光产生光谱,因棱镜对不同波长的光折射率不同,一束白光通过棱镜折射后透射光不同波长的光偏折角不同,形成彩色光谱,这叫光的色散(见第五章)见图(1-2-2)。