

光学原理

上册

M. 玻恩 E. 沃耳夫 著

科学出版社

53.7
9

光 学 原 理

光的传播、干涉和衍射的电磁理论
(上 册)

M 玻恩 E 沃耳夫 著

杨葭荪 等译校

科 学 出 版 社

1 9 7 8

内 容 简 介

本书是光学方面的一部名著。全书在麦克斯韦方程经典电磁理论范围内系统地讨论了光波传播的各个基本规律,包括反射、折射、色散、干涉、衍射以及晶体光学和金属光学等等。几何光学也作为极限情况(波长 $\lambda \rightarrow 0$)而纳入麦克斯韦方程系统,同时讨论了象差的衍射理论。激光方面的内容则涉及甚少。全书共十四章。中译本分上下两册出版。上册包括历史引言和前八章,下册包括后六章及附录。

本书可供光学专业的工作人员和高等院校师生参考。

Max Born and Emil Wolf

PRINCIPLES OF OPTICS

*Electromagnetic Theory of Propagation,
Interference and Diffraction of Light*
(5th ed.)

Pergamon Press, 1975

光 学 原 理

光的传播、干涉和衍射的电磁理论

(上册)

M. 玻恩 E. 沃耳夫 著
杨葭荪 等译校

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1978年12月第一版 开本: 850×1168 1/32
1978年12月第一次印刷 印张: 19 3/8 插页: 2
印数: 0001—28,430 字数: 506,000

统一书号: 13031·745

本社书号: 1071·13—3

定价: 2.90 元

2PS/PS

译 者 的 话

一个世纪以前,麦克斯韦建立了经典电磁理论,证明了光也是一种电磁波,由此产生了光的电磁理论.光和电的统一,加速了光学及整个物理学的发展.本世纪六十年代激光的出现,更标志着光学进入了一个新的发展阶段.虽然现代光学中的许多问题需要应用量子理论来处理,但经典电磁理论并未因此而失去它的价值和光彩,它仍然是我们掌握现代科学技术不可缺少的基础.《光学原理》正是这方面很有参考价值的一本书,它是在玻恩 1933 年出版的《Optik》一书的基础上改编扩充而写成的.《Optik》一书内容由宏观而微观,体系严谨,叙理明要,一直是公认的经典光学著作.《光学原理》1959 年出版,至今已出五版,它主要阐述宏观的电磁理论,详尽讨论光在各种媒质中传播的基本规律,因而对现代光学的发展,特别是激光问世以来一些颇有意义的问题,如纤维光学、傅里叶光学等未能有所反映.虽然如此,它仍然是光学科研和教学中一本基本的参考书.遵照毛主席关于“洋为中用”的教导,我们把它译成中文,以供有关科研和教学人员参考.

原书中的一些明显错误,在中译本中大都作了改正,一般未加注明.原书“历史引言”部分在论述光学的发展时,只谈到少数物理学家的作用,未能全面地介绍光学发展的历史情况.但由于这个“引言”和正文部分有联系,我们在中译本中仍予以保留,希读者阅读时注意.参加本书翻译工作的还有王国文、钱士雄、张合义、吕云仙、黄乐天、陈天杰等同志.由于水平所限,译文中肯定有不少不当甚至错误之处,希读者批评指正.

第五版序言

这一版对本书前几版中新发现的一些错误和排版错误作了改正,对某几节内容进行了修改,并增加了若干近期参考文献.改动较大的地方在 §§ 13.1—13.3(金属的光学性质).当然,如所周知,纯经典理论不适宜描述光学波段中电磁场同金属的相互作用.然而,只要我们适当考虑电导率对频率的依赖关系,并象束缚电子情形那样,弄清楚(至少定性地)自由电子在金属对外电磁场的反应当中所起的作用,那末借助经典模型就可以说明该过程的一些主要特点. §§ 13.1—13.3 中的改动主要在理论的这些方面.我们相信,改写后的这几节已经去掉本书前几版中这方面所存在的使人误解的论述和不确切之处,而这种情况在许多其它光学教本中亦常见不鲜.(下略)

E. 沃耳夫

1974年1月于罗契斯特

第二版序言

乘本书准备新版之际，我们对书中若干错误和排版错误进行了改正，对一些内容作了少量无关重要的增补，并收入了一些新的参考文献。

自初版问世以来，几乎已整整三年了。在这期间出现了第一批激光器。利用这些光学器件，可以产生非常强的和高度相干的光束。虽然，很明显，激光器不仅对于光学，而且对于其他科学和技术，都将证明具有重大的价值，但新版对此未加论述，因为激光作用的基本原理，论其根源，已越出作为本书考虑基础的经典电磁理论的范围。不过，我们收录了这方面新近研究的几篇参考文献，这些研究利用了激光器所产生的光，或者是受到这些新光学器件发展潜力的推动。（下略）

M. 玻恩

E. 沃耳夫

1962 年 11 月于巴达底蒙特和罗契斯特

初 版 序 言

经常有读者询问本书作者之一在二十五年多以前写的那本光学书¹⁾,是否能出英文版,这使我们产生了重写这本书的想法.初步查阅一下文献,看到从那时到现在,几乎光学的每一方面都作出了大量研究,以致《Optik》这本书已不再能全面而均衡地反映这个领域的面貌.因而我们觉得,再把它翻译过来殆不适宜.为此,我们另写了一本新书,这就是读者见到的这本书.在拟定本书大纲的过程中,我们很快就发现,即使只是把《Optik》出版以后最重要的发展编写进来,书的篇幅也会大得不切实际.因此,我们认为,必须把它的内容限制在一个比较狭窄的范围.《Optik》这本书也并没有涉及光学的全部内容.运动媒质光学、X射线和 γ 射线光学、光谱理论以及光学同原子物理的全部联系,它都没有讨论;此外,这本旧著也没有考虑光对我们视觉器官——眼睛的作用.这些问题和其它学科,例如相对论、量子力学、原子和原子核物理、生理学等结合起来讨论,可能更加得当.因此,本书不仅没有包括这些问题,而且还去掉了几乎占原德文本一半篇幅的经典分子光学.这样,我们的讨论就只限于可以用麦克斯韦唯象理论来处理的那些光学现象.这包括了所有那些物质微观结构不起决定作用的情况.关于同原子物理、量子力学以及生理学的联系,凡必要指出的,无论在什么地方,都只用几句话一带而过.即使作了这些限制,本书篇幅还是比《Optik》大了很多.这个事实也多少表明了经典光学领域近年来的研究所达到的规模.

我们的目的是力求在上面所划定的范围,对我们当今的知识

1) Max Born, *Optik* (Berlin, Springer, 1933) [马克斯·玻恩《光学》1933年柏林德文版].

给出一幅相当完整的图画。我们试图以这样一种方式来表述理论,使得一切结果,追本溯源,实际上都可归到麦克斯韦电磁理论的基本方程,而这组方程就是我们整个考虑的出发点。

第一章讨论电磁场的主要性质,并且利用通常的物质常数,从形式上描述了物质对电磁扰动传播的作用。对于物质影响问题进一步的物理探讨,则在第二章中展开。这里可以看到,当存在外入射场时,物质媒质的每一体积元可假定各产生一个次级(散射)子波;这些子波合在一起就形成可观测的宏观场。这一探讨具有重要的物理意义,它的作用将在后面关于光被超声波衍射这一章(第十二章)中说明。首先用这种方法处理这一问题的是巴蒂亚(A. B. Bhatia)和诺布耳(W. J. Noble)。第十二章即由巴蒂亚教授本人撰写。

第三章用了很大篇幅来证明,几何光学如何作为一个短波极限情况而得自麦克斯韦波动理论系统。这一章除了讨论光线和波阵面的主要性质外,还考虑了问题的矢量性方面(场矢量方向的传播)。依我们看来,详细讨论几何光学的基础是可取的,因为近几年来在有关的微波光学(短无线电波光学)领域内取得了重要发展。几何光学与微波光学两个领域的密切相似性经常推动这些进展,而这些进展又提供了新的实验技术来检验理论的预期结果。我们觉得,把几何光学的数学工具——变分学——从正文分出去是合宜的;关于变分学的附录(附录一),其主要部分是根据希耳伯(D. Hilbert)于本世纪初在哥丁根大学所开的讲座(未出版)。下一个附录(附录二)是由加伯(D. Gabor)教授撰写的。它证明,当用变分学的术语来表述几何光学、经典力学和电子光学时,这些问题之间在形式上存在密切的相似。

我们对几何成象理论(第四章)的处理是以哈密顿特征函数的经典方法为基础的,这当不致见怪。虽然这些方法在光学仪器设计方面一向很少有人采用,但它们仍然代表一个基本工具,把问题的许多不同方面用统一的样式表示出来。当然,从一些有关假设出发可能更简单地推导其中某些结果;但是,无论这种途径对于解

决个别问题多么有价值，它在了一本从几个简单假设出发系统地发展一个理论的书中，用处顶多是作为例证。

光学象的缺陷(象差的影响)既可以用几何光学来研究(适用于象差大的情况)，也可以用衍射理论来研究(适用于象差足够小的情况)。因为这两种处理方法的出发点通常完全不同，所以它们的结果过去一向不易比较。我们试图发展一个较统一的处理方法，它是以波阵面形变概念为基础的。在象差的几何分析(第五章)中，我们觉得，采用老的施瓦茨蔡耳德(K. Schwarzschild)方法，把他的程函略加修改，不但可行而且有益。象差的衍射理论这一章(第九章)主要讲述奈波-泽尼克(Nijboer-Zernike)理论，还有一节介绍了关于广延物体在相干照明下和非相干照明下的成象问题，它是以傅里叶变换为基础的。

第六章由韦曼(P. A. Wayman)撰写。这一章对一些主要的成象光学系统作了简短说明。其目的是为了给书中讨论成象理论的这些部分搭好一个骨架。

第七章讨论干涉理论基础和各种干涉仪。一些理论段落是从《Optik》的相应段落脱胎而来的，但是整章由威耳科克(W. L. Wilcock)完全重新写过，他还把它的范围扩大了很多。

第八章主要讨论菲涅耳-基尔霍夫衍射理论和它的一些应用。除一般题目外，这一章还详细讨论了光学成象的中心问题——几何焦点附近三维光分布的分析。此外还讲了另一种不那么知名的衍射处理方法，它是以杨氏边界衍射波概念为基础的。

以上所说各章主要是讨论点光源产生的完全单色光(因而是完全相干光)。第十章论述更实际的情况，即光是由有限大小的光源所产生，并占据有限的频率范围。这是部分相干的问题。这个方面近几年来取得了重大进展。事实上，一个关于部分相干光的干涉和衍射的系统理论现在已经发展起来。这一章还谈了部分偏振问题。从相干理论的观点来看，这个问题同部分相干密切相关。

第十一章讨论严格的衍射理论。这一领域在最近二十多年的

时期内出现了巨大发展¹⁾,主要是由于超短波无线电技术的进展而引起的.这一章系由克莱莫夫(P. C. Clemmov)撰写,附录三也是他准备的,它讨论最陡下降和稳定相两种数学方法.

最后两章,金属光学(第十三章)和晶体光学(第十四章),大部分依据于《Optik》的相应两章,但分别由泰勒(A. M. Taylor)和斯托克斯(A. R. Stokes)帮助重新整理并加以扩充.对这两个问题的讨论不够详细,可能有欠恰当.然而,金属光学只有依靠电子的量子力学才能处理得当,但这已经超出本书的范围.在晶体光学中,人们的注意中心已逐渐从可见辐射移到X射线,而近几年来所取得的进展也是技术性方面的,并不是属于理论性的.

虽然我们的目的是要出版一本书,它在表述方法和总的探讨方式上能够和《Optik》相类似,但是读者将会看到,现在这本书既不是《Optik》的英译本,也不完全是已知资料的编纂.关于我们在出书方面的分工,年长的合作者波恩(M. Born)以《Optik》提供材料作为本书某几章的基础,并且还积极参与了本书的总体计划工作,参与了有关争议之点、表述方法等等的讨论.书的编纂、写作和校对工作大部分是由年青的合作者沃耳夫(E. Wolf)担任的.

自然,我们曾力求使本书通篇采用系统化符号.但是在一本范围这样广的书中,可供使用的字母数目远远不敷所需.因此,我们不能全采用最适当的符号.但我们希望我们至少已经做到,避免在任何一节中用同一符号代表不同的量.

我们对矢量符号的使用一般是按照英国的习惯.经过多次考虑,我们放弃只单独使用 ∇ 一种符号,而是也采用习惯的“div”、“grad”和“curl”.还有,我们没有采用现代电技术单位,因为它们的主要优点是在纯电磁测量方面,而这些测量在我们的讨论中并不重要.再者,我们想,要是写第二册(《分子和原子光学》)或许第三册(《量子光学》)的话,理论物理中所采用的厘米-克-秒单位制

1) C. J. Bouwkamp, *Rep. Progr. Phys.* (London, Physical Society), 17 (1954), 35, 是一篇重要评述文章,它收录有500篇以上1940—1954期间发表的论文.

(C. G. S. 制)将仍为人们所喜爱. 虽然, 在这个单位制中, 大多数物质的磁导率 μ 在光频范围与 1 相差无几, 但我们在某些方程中仍然保留它. 这样做具有对称性较大的好处, 并且使我们能够利用麦克斯韦方程的对称特性推导“二重”结果. 对于时间周期场, 我们在复数表示中通篇采用因子 $\exp(-i\omega t)$. (下略)

M. 波恩

E. 沃耳夫

1959 年 1 月于巴达庇蒙特和曼彻斯特

目 录

译者的话	i
第五版序言	ii
第二版序言	iii
初版序言	iv
历史引言	1
第一章 电磁场的基本性质	13
§ 1.1 电磁场	13
§ 1.1.1 麦克斯韦方程	13
§ 1.1.2 物质方程	15
§ 1.1.3 突变面处的边界条件	17
§ 1.1.4 电磁场的能量定律	20
§ 1.2 波动方程和光速	24
§ 1.3 标量波	29
§ 1.3.1 平面波	30
§ 1.3.2 球面波	31
§ 1.3.3 谐波 相速	32
§ 1.3.4 波包 群速	35
§ 1.4 矢量波	41
§ 1.4.1 一般的电磁平面波	41
§ 1.4.2 谐电磁平面波	43
(a) 椭圆偏振	43
(b) 线偏振和圆偏振	48
(c) 偏振态的表征——斯托克斯参量	50
§ 1.4.3 任意形式的谐矢量波	52
§ 1.5 平面波的反射和折射	58
§ 1.5.1 反射定律和折射定律	58

§ 1.5.2	菲涅耳公式	61
§ 1.5.3	反射率和透射率;反射和折射产生的偏振	64
§ 1.5.4	全反射	71
§ 1.6	波在分层媒质中的传播 介质膜理论	77
§ 1.6.1	基本微分方程	78
§ 1.6.2	分层媒质的特性矩阵	82
(a)	均匀介质膜	85
(b)	分层媒质作为均匀薄膜的膜堆	86
§ 1.6.3	反射系数和透射系数	88
§ 1.6.4	均匀介质膜	89
§ 1.6.5	周期性分层媒质	96
第二章	电磁势和电磁极化	102
§ 2.1	真空中的电动势	103
§ 2.1.1	矢势和标势	103
§ 2.1.2	推迟势	106
§ 2.2	极化和磁化	108
§ 2.2.1	用极化强度和磁化强度表示矢势和标势	108
§ 2.2.2	赫兹矢量	113
§ 2.2.3	一个线性电偶极子的场	115
§ 2.3	洛伦兹-洛伦茨公式和初等色散理论	118
§ 2.3.1	介电极化率和磁极化率	118
§ 2.3.2	有效场	120
§ 2.3.3	平均极化率:洛伦兹-洛伦茨公式	122
§ 2.3.4	初等色散理论	126
§ 2.4	用积分方程处理电磁波的传播	135
§ 2.4.1	基本积分方程	136
§ 2.4.2	厄瓦耳特-欧西恩消光定理和洛伦兹-洛伦茨公式的 严格推导	137
§ 2.4.3	借助厄瓦耳特-欧西恩消光定理处理平面波的折射和 反射	143
第三章	几何光学基础	149
§ 3.1	对于极短波长的近似处理	149

§ 3.1.1	程函方程的推导	150
§ 3.1.2	光线和几何光学的强度定律	154
§ 3.1.3	振幅矢量的传播	160
§ 3.1.4	推广和几何光学的适用范围	162
§ 3.2	光线的一般性质	165
§ 3.2.1	光线的微分方程	165
§ 3.2.2	折射定律和反射定律	168
§ 3.2.3	光线汇和它们的焦点特性	170
§ 3.3	几何光学的其它基本定理	172
§ 3.3.1	拉格朗日积分不变式	172
§ 3.3.2	费马原理	173
§ 3.3.3	马吕斯和杜平定理和一些有关定理	176
第四章	光学成象的几何理论	179
§ 4.1	哈密顿特征函数	179
§ 4.1.1	点特征函数	180
§ 4.1.2	混合特征函数	182
§ 4.1.3	角特征函数	184
§ 4.1.4	旋转折射面的角特征函数近似形式	185
§ 4.1.5	旋转反射面的角特征函数近似形式	189
§ 4.2	理想成象	191
§ 4.2.1	一般定理	192
§ 4.2.2	麦克斯韦“鱼眼”	198
§ 4.2.3	面的无象散成象	200
§ 4.3	具有轴对称的投影变换(共线关系)	202
§ 4.3.1	一般公式	202
§ 4.3.2	望远情况	206
§ 4.3.3	投影变换的分类	207
§ 4.3.4	投影变换的组合	208
§ 4.4	高斯光学	210
§ 4.4.1	旋转折射面	210
§ 4.4.2	旋转反射面	214
§ 4.4.3	厚透镜	215

§ 4.4.4	薄透镜	218
§ 4.4.5	一般共轴系统	219
§ 4.5	广角光锥的无象散成象	222
§ 4.5.1	正弦条件	223
§ 4.5.2	赫谢耳条件	225
§ 4.6	象散光锥	226
§ 4.6.1	细光锥的焦点特性	226
§ 4.6.2	细光锥的折射	228
§ 4.7	色差; 棱镜的色散	232
§ 4.7.1	色差	232
§ 4.7.2	棱镜的色散	235
§ 4.8	光度学和孔径	240
§ 4.8.1	光度学的基本概念	240
§ 4.8.2	光阑和光瞳	246
§ 4.8.3	象的亮度和照度	248
§ 4.9	光线追迹	251
§ 4.9.1	斜子午光线	251
§ 4.9.2	傍轴光线	254
§ 4.9.3	不交轴光线	256
§ 4.10	非球面的设计	259
§ 4.10.1	轴上无象散的实现	260
§ 4.10.2	不晕的实现	263
第五章	象差的几何理论	267
§ 5.1	波象差和光线象差; 象差函数	268
§ 5.2	施瓦茨蔡耳德微扰程函	273
§ 5.3	初级(赛德耳)象差	277
§ 5.4	初级象差的相加定理	286
§ 5.5	一般的共轴透镜系统的初级象差系数	288
§ 5.5.1	利用两条傍轴光线的赛德耳公式	288
§ 5.5.2	利用一条傍轴光线的赛德耳公式	294
§ 5.5.3	珀兹伐定理	296

§ 5.6	例子: 一个薄透镜的初级象差	297
§ 5.7	一般的共轴透镜系统的色差	301
第六章	成象仪器	306
§ 6.1	眼睛	306
§ 6.2	照相机	308
§ 6.3	折射望远镜	313
§ 6.4	反射望远镜	320
§ 6.5	照明仪器	326
§ 6.6	显微镜	328
第七章	干涉理论基础和干涉仪	334
§ 7.1	引言	334
§ 7.2	两个单色波的干涉	335
§ 7.3	双光束干涉: 波阵面分割	339
§ 7.3.1	杨氏实验	339
§ 7.3.2	菲涅耳双面镜和类似装置	341
§ 7.3.3	准单色光条纹和白光条纹	344
§ 7.3.4	使用狭缝光源; 条纹的可见度	346
§ 7.3.5	应用于测量光程差: 瑞利干涉仪	350
§ 7.3.6	应用于测量光源的角幅度: 迈克耳孙测星干涉仪 ...	353
§ 7.4	驻波	361
§ 7.5	双光束干涉: 振幅分割	366
§ 7.5.1	平行平板产生的条纹	366
§ 7.5.2	薄膜产生的条纹; 斐索干涉仪	372
§ 7.5.3	条纹的定域	380
§ 7.5.4	迈克耳孙干涉仪	391
§ 7.5.5	特怀曼-格林干涉仪和有关干涉仪	394
§ 7.5.6	两块全同板产生的条纹: 雅满干涉仪和干涉显微 镜	399
§ 7.5.7	马赫-泽德干涉仪; 贝茨波阵面切变干涉仪	407
§ 7.5.8	相干长度; 双光束干涉在研究光谱线精细结构中的应 用	413

§ 7.6 多光束干涉	421
§ 7.6.1 平行平板的多光束干涉条纹	422
§ 7.6.2 法布里-珀罗干涉仪	429
§ 7.6.3 应用法布里-珀罗干涉仪研究光谱线的精细结构	434
§ 7.6.4 应用法布里-珀罗干涉仪比较波长	441
§ 7.6.5 陆末-盖尔克干涉仪	445
§ 7.6.6 干涉滤波器	453
§ 7.6.7 薄膜多光束干涉条纹	458
§ 7.6.8 两块平行平板产生的多光束条纹	470
(a) 单色光和准单色光生成的条纹	470
(b) 叠加条纹	475
§ 7.7 波长与标准米的比较	480
第八章 衍射理论基础	483
§ 8.1 引言	483
§ 8.2 惠更斯-菲涅耳原理	484
§ 8.3 基尔霍夫衍射理论	489
§ 8.3.1 基尔霍夫积分定理	489
§ 8.3.2 基尔霍夫衍射理论	494
§ 8.3.3 夫琅和费衍射和菲涅耳衍射	498
§ 8.4 过渡到标量理论	505
§ 8.4.1 单色振子产生的象场	506
§ 8.4.2 总象场	510
§ 8.5 各种形状光孔上的夫琅和费衍射	513
§ 8.5.1 矩孔和狭缝	513
§ 8.5.2 圆孔	517
§ 8.5.3 其它形状的孔	521
§ 8.6 光学仪器中的夫琅和费衍射	524
§ 8.6.1 衍射光栅	524
(a) 衍射光栅原理	524
(b) 光栅的类型	532
(c) 光栅摄谱仪	538
§ 8.6.2 成象系统的分辨本领	541