

J37

光 学

上 册

J. P. 马蒂厄 著

范少卿 于美文 张怀玉 译

科 学 出 版 社

1987

内 容 简 介

本书中译本分上、下两册配套出版发行,上册为电磁光学部分,下册为量子光学部分。本书主要内容包括:电磁波(第二章);用波动理论讨论光在各向同性和各向异性介质中的传播(第三、四、十、十七、十八、十九章);光的衍射、干涉和偏振(第五至八章);量子光学,原子的发射和吸收、原子和分子光谱(第十一至十六章)等。

本书可作为高等院校物理类大学生或研究生的教材或参考书,也可供有关专业的大学教师或科技人员参考。

J. P. Mathieu

OPTICS

Pergamon Press, 1975

光 学

上下册

J. P. 马蒂厄 著

范少卿 于美文 张怀玉 译

责任编辑 陈菊华

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

*

1987年12月第一版 开本:787×1092 1/32

1987年12月第一次印刷 印张:24 1/2

印数:0001—8,600 字数:552,000

ISBN 7-03-000049-8/O·11

统一书号:13931·3965

定价:上下册6.40元

译 者 的 话

本书分波动光学和量子光学两部分。前者以电磁学原理为基础,系统地讲述光波在介质中传播的规律,光的衍射和干涉,光的偏振性质等。后者以量子力学为基础,讲述光和物质相互作用的规律,光的分子理论,原子的发光和光谱等。

本书在系统性和内容上与传统的基础光学著作有所不同。首先,在波动光学部分,按波动的一般规律先讲衍射后讲干涉;注意应用傅里叶变换方法。这对读者了解全息和光学信息处理原理等很有好处。其次,用接近一半的篇幅单独介绍量子光学,扩大了基础光学知识范围。现在量子电子学和激光科学的进展表明这种扩展是必要的。

本书法文本原著作者是法国巴黎第六大学教授 J. P. 马蒂厄,我们是根据 J. 华仑勃兰科的英译本转译的。本书可以作为我国物理类大学生或研究生的教材或参考书,也可作为有关专业的大学教师或科技人员的参考书。

本书也是原作者马蒂厄和鲁索合编的《物理光学习题集》(科学出版社,1981年)所用的主要参考书。《物理光学习题集》中所列举的参考章节和公式编号均指本书而言。

本书由北京工业学院基础光学教研室张怀玉译电磁光学部分的第一、六、七、八、九章,于美文译第二、三、四、五章及附录 A~D,并由赵达尊按法文原著校订;由范少卿译量子光学部分,由刘培森按法文原著校订。译文中有错误或不妥之处,请读者批评指正。

英 译 版 序 言

本书对光学问题的处理方式是二十世纪六十年代初期发展起来的，当时它是光学课程改革的一个部分。使用本教材讲课的经验表明，很容易在一个学年内讲授完全部内容。

为了包括足够的新进展，本书不得不舍去一些传统内容。例如，在晶体光学中，主要限于讨论单轴晶体，对光波在晶体内的传播仅作简短论述，不涉及光线的传播。对菲涅耳（Fresnel）衍射的研究大为缩减，对许多干涉仪也未作介绍。只讨论了单电子原子光谱，删去了与热辐射有关的热力学论证。

业已发现，从一开始就使用光的电磁理论是有益的。当然这并非是唯一可取的方法，大多数教科书也没有要求学生预先具有电磁理论的知识。然而该方法确实有一些优点。它可以合乎逻辑地引出传播方程，精确地论述位相和简明地讨论晶体光学。此外，我们应该记住，实际上光学从射频区一直扩展到X射线区，有许多演示性实验在分米波区很容易进行。另外，不久以前只有某些专家感兴趣的许多方法，如今已受到广泛的重视。这些方法包括：傅里叶变换的应用、晶体结构的X射线分析和天线辐射图的研究等。

人们往往愿意在光学领域内对两个重要的现代理论（相对论和量子力学）展开讨论。对于前者，我们只限于研究狭义相对论和推导洛伦兹（Lorentz）变换及其最简单的运动学结论。量子力学有着更重要的作用。采用经过四十年研究才形成的方法，来阐明严格量子化的原子光学和分子光学，现在是时候了。应该使初学者避免那些如今只对历史学家，而不是

对物理学家更有意义的早期徘徊过程。尽管量子力学的公理式处理方法有种种的优点,但它似乎并不最适合于初学的人。相反地,波动理论最适宜于说明光子理论中的相似性和差异。这种方法当然不是最普遍和最严格的,但是,在相同水平的衍射研究中,可以说它还是通常采用的方法。

作者对 M. Zarembovitch 助教帮助准备习题表示感谢。本书第 1 部分的大多数照片是弗朗松 (M. Françon) 提供的,在此对他的帮助表示最深切的感谢。

目 录

上 册

译者的话	i
英译版序言	ii
主要的物理常数	iv
主要的符号和参变量	v

第 I 部分 电磁光学

第一章 定义和基本现象	1
§ 1.1 光学的对象	1
§ 1.2 光源	2
§ 1.3 光的传播——光线——衍射	2
§ 1.4 单色辐射和多色辐射	5
§ 1.5 光速和折射率	6
§ 1.6 波面和光程	7
§ 1.7 惠更斯和斯涅耳作图法	8
§ 1.8 电磁辐射能量的定义	13
§ 1.9 与辐射能有关的物体性质	17
§ 1.10 关于光的本性的理论	19
§ 1.11 光的波动性	20
§ 1.12 干涉	22
§ 1.13 光的横波性质——光的偏振	30

§ 1.14 光的粒子性——光子	33
§ 1.15 一些基本概念的正确性	34
习题	35
第二章 电磁波	40
§ 2.1 麦克斯韦方程	40
§ 2.2 自由空间的电磁波	44
§ 2.3 自由空间的正弦电磁波	49
§ 2.4 在均匀各向同性电介质中的电磁波	52
§ 2.5 均匀欧姆导体中的电磁波	53
§ 2.6 电磁波从一种介质到另一种介质的传播	56
§ 2.7 辐射压力	58
§ 2.8 光的电磁理论	59
习题	62
第三章 各向同性透明介质的电磁光学	64
§ 3.1 反射和折射的几何定律	64
§ 3.2 反射系数和透射系数的计算	66
§ 3.3 菲涅耳公式的讨论	68
§ 3.4 能量的反射和透射	76
§ 3.5 在各向同性吸收介质上的反射	79
§ 3.6 实验验证和应用	82
§ 3.7 由平面镜垂直反射形成的驻波	85
§ 3.8 斜反射产生的行波	89
§ 3.9 波导	92
§ 3.10 共振腔	95
§ 3.11 驻波和导波的应用	97
习题	100
第四章 各向异性透明介质的电磁光学	103
§ 4.1 各向异性介质的几何光学	103

§ 4.2	波法线和光线	105
§ 4.3	在各向异性介质中的平面电磁波	108
§ 4.4	折射率方程——折射率曲面	110
§ 4.5	实验证明	114
§ 4.6	波面	116
§ 4.7	惠更斯作图法的特殊情况	117
§ 4.8	双折射偏振	121
§ 4.9	折射率椭球	122
§ 4.10	全反射——折射率的测量	127
§ 4.11	折射率椭球和晶体的对称性	128
§ 4.12	偏振棱镜	129
§ 4.13	吸收晶体	131
§ 4.14	晶体的反射系数	132
	习题	132
第五章	波动辐射的传播、衍射	136
§ 5.1	波动方程和几何光学的方程	136
§ 5.2	聚焦的波	139
§ 5.3	惠更斯、菲涅耳、基尔霍夫研究波传播的方法	140
§ 5.4	自由波的传播——菲涅耳波带	142
§ 5.5	衍射现象的分类	146
§ 5.6	巴俾涅 (Babinet) 定理	149
§ 5.7	无限直边的阴影	150
§ 5.8	圆孔和圆屏轴线上的照度	153
§ 5.9	光学成像中的衍射	156
§ 5.10	矩形孔的衍射	158
§ 5.11	圆孔的衍射	164
§ 5.12	应用	167

§ 5.13	光学仪器的分辨本领	168
§ 5.14	无限衍射中傅里叶变换的应用	173
§ 5.15	用衍射观察位相结构	177
§ 5.16	多个相同开孔或光屏的衍射	181
§ 5.17	全息照相	183
	习题	185
第六章	两束波干涉装置及其应用	188
A.	自然光的干涉	188
§ 6.1	非定域干涉条纹	188
§ 6.2	定域干涉条纹	192
§ 6.3	透明平行平板的干涉。等倾条纹	194
§ 6.4	变厚度透明薄板的干涉。等厚条纹	201
§ 6.5	空气薄板的等厚条纹	203
§ 6.6	关于干涉条纹定域性的推广	208
§ 6.7	点光源概念	211
§ 6.8	相干性	213
§ 6.9	迈克耳孙干涉仪	215
§ 6.10	波列——纵向相干性	218
§ 6.11	白光干涉	223
§ 6.12	白光干涉条纹的光谱分析	227
§ 6.13	在测量光程及其变化中干涉的应用	227
§ 6.14	表面结构的研究	231
§ 6.15	折射率的测量	233
§ 6.16	微小长度变化的测量	234
B.	偏振光干涉	236
§ 6.17	菲涅耳-阿喇戈实验	236
§ 6.18	光束通过双折射平行平板不分成两束光的情形	237

§ 6.19	在起偏器与检偏器之间的平行光中放置双折射板产生的干涉	238
§ 6.20	白光现象	241
§ 6.21	偏振光干涉的应用	243
§ 6.22	在会聚偏振光中双折射板引起的干涉	245
	习题	247
第七章	多束波干涉	251
§ 7.1	多束波干涉现象的一般特征	251
§ 7.2	透明板上的多次反射	251
§ 7.3	透明表面反射系数的改变	255
§ 7.4	空气层的干涉条纹。法布里-珀罗干涉仪 ..	257
§ 7.5	干涉滤波器	262
§ 7.6	多层结构——介质膜反射镜	263
§ 7.7	一组等距等宽狭缝在无限远处的衍射	264
§ 7.8	线光栅	269
§ 7.9	光栅用于分离各种波长	276
§ 7.10	射电干涉仪	278
§ 7.11	白光的组成	280
§ 7.12	周期结构物体的象的形成	281
§ 7.13	二维光栅	285
§ 7.14	三维光栅——晶体的X射线衍射	288
§ 7.15	测量晶面间隔的方法	294
§ 7.16	晶体中衍射极大的强度	296
§ 7.17	李普曼 (Lippman) 彩色照相术	298
	习题	299
第八章	光的偏振态	305
§ 8.1	定义	305
§ 8.2	椭圆偏振光	306

§ 8.3	特殊情形	309
§ 8.4	直线振动方位的确定	313
§ 8.5	物质的旋光性	317
§ 8.6	已知方位的椭圆振动的分析	321
§ 8.7	一般椭圆振动的分析	325
§ 8.8	部分偏振光	331
	习题	332
第九章	光速和狭义相对论	336
§ 9.1	相速度和信号速度	336
§ 9.2	相速度的测量	336
§ 9.3	信号速度的测量	337
§ 9.4	结果	338
§ 9.5	运动介质中的光速	339
§ 9.6	光源与观察者相对运动的影响	340
§ 9.7	绝对运动——迈克耳孙-莫雷实验	342
§ 9.8	空间和时间的相对性。洛伦兹变换	344
§ 9.9	洛伦兹变换的运动学结果	346
§ 9.10	在光学中的应用	350
§ 9.11	狭义相对论的几个动力学结果	352
	习题	355

第 I 部分 电 磁 光 学

第一章 定义和基本现象

§ 1.1 光 学 的 对 象

光学研究是从眼睛观察开始的。在这种观察中产生了视觉机理和视觉分析。然而,对亮、暗和颜色的感觉只能意会而不能言传。虽然它们具有主观实在性,却需要考虑解剖学、生理学甚至心理学的因素,这些因素现在是光学的一个分支——生理光学的基础。

生理光学不是本书研究的内容,我们将认为眼睛具有几个恒定不变的性质,它们均由各自的平均值表示。

事实上,经常出现的情况是,所有人对同一现象的观察在视觉描述上往往是一致的。这种一致性允许人们客观地研究作为视觉起因的光与光源特性之间的关系。这一组关系是物理光学的基础,即使是盲人也能够理解它们。

事实上,一方面人们认识到眼睛只是一种特殊的对光敏感的检测器 (§ 1.8.3),另一方面,也已经发现,对于可见光建立起来的客观关系,经过某些量值上的修改,便可推广到人眼看不见的辐射中去。人们把它们统称为电磁辐射,以表明这些可见和不可见辐射在生成模式上的理论联系。

在这一章中,我们将从可见光着手,考察所有电磁辐射共有的几个基本性质,但并不是从一开始就按所希望的严谨性去处理它们。对一些概念的深入研究,对某些过分笼统的定

义的限制,以及对一些基本概念的发展及其应用的讨论,都是本书以后各章节的内容。

§ 1.2 光 源

光源由发射辐射的发光体(太阳、星体、灯、萤火虫等等)构成。人们有时也把反射来自光源的光的被照物体(月亮、反射镜、漫射体、荧光体等等)当作次级光源[§ 12.6(b)]。

光源的特性可以初步用它们的大小、强度和颜色来表征。在 § 1.8 中将对这些概念作定量描述。

点光源是一种线度小到可以忽略的光源。这种定义与所要研究的问题有关,我们将在 § 1.3 来讨论这个问题。

§ 1.3 光的传播——光线——衍射

1.3.1 光源和接收器之间的介质在光的传播中起着重要作用。

这种介质可能是真空,光可以在其中通过。如果是物质介质,则可以是透明的,也可以是不透明的。一般地说,对于可见辐射和不可见辐射,同一介质的透明性并不相同,对此也可以作定量描述(§ 1.8)。

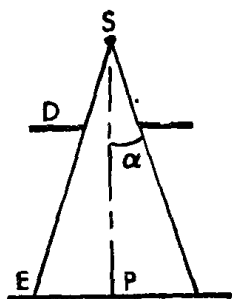


图 1.1 光束

不太细致的观察表明,在透明、均匀介质中,欲使一点 P 被点光源 S 照明,直线 SP 就必须不碰到任何不透明物体。按这种精度,点光源 S (针孔)发出的光通过几厘米宽的光瞳或光阑 D 后,将在屏 E 上产生一个光斑(图 1.1),这个光斑相应于以 S 为顶点、沿着 D 的边缘画出

的锥体在屏E上的截面。通过D的光形成一个光束。假如D的开口是圆形的,而且垂直于中线SP,以球面度(sr)为单位的锥形光束的立体角 Ω 由下式给出:

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos\alpha), \quad (1.1)$$

式中 α 是锥体的半顶角,而角 2α (弧度)是锥形光束的角孔径。

当D小时 Ω 也小,此时称这个光束为光锥并且可以把式(1.1)近似地写成

$$\Omega \approx \pi\alpha^2. \quad (1.2)$$

然而,只要S到D的距离很大,即使D不小, Ω 也可以是小的。当光束被方向基本相同的直线所限制时,则称为平行光束或圆柱光束。

此外,所谓“点”光源,并不需要它的线度是几分之一毫米,只要它的线度比具体问题中出现的其他线度(例如,图1.1中的距离SP)小得多。于是,所要求的只是,从观察点P向光源看去,光源的角直径 β (图1.2)很小。这样,星体是点光源,因为它们的角直径不超过 3×10^{-7} rad (0.05"),尽管例如天狼星的直径实际上比 10^{10} m还要大。

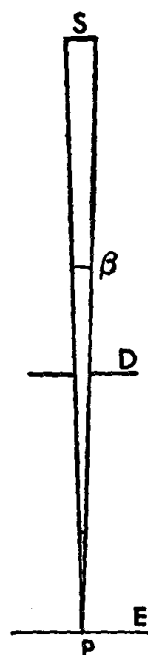


图1.2 光源S的角直径

准直仪由会聚透镜和位于其主焦点处的小孔光阑组成,用任意光源照明这个小孔,便从准直仪射出平行光束。

我们设想一束光越来越细(当然,实际上得不到)最后缩成一条直线,称之为光线。这个概念允许人们画出光的传播方向,是构成几何光学的基础。

1.3.2 光线概念的不足之处可由改变图1.1实验的条件而显示出来。假定我们试图用逐渐收缩开口D(在此情况下

是一个缝)的方法来分离出一条光线(图 1.3)。当开口宽度达到十分之几毫米的数量级时,在屏E上看到的不是一个宽度随 D 单调减小的亮斑,而是一个比较复杂的光分布,这个分布称为衍射图样(第五章)。中央部分的光较亮,并且基本上分布在宽度为 l 的范围内。例如,对宽度为 0.05mm 的狭缝,距离 L 等于 3m 时, l 约为 $6\text{cm}^{1)}$ 。随着狭缝变窄, l 增加,同时亮斑变暗。于是,当人们试图用实验方法确定一条光线时,它将因弥散而消失。

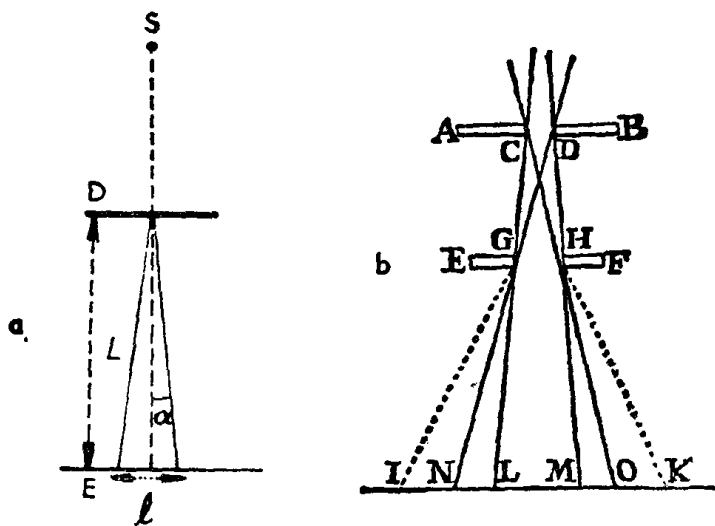


图 1.3 (a) 光的衍射; (b) 格里马第对现象的观察

另一方面,如果图 1.3 中的狭缝宽为 3mm ,则在 $SD=1\text{m}$ 时,我们会在屏E上见到一条宽为 12mm 的亮带,亮带边缘处的衍射现象[1665年由格里马第(Grimaldi)发现]大约只占 0.5mm 范围²⁾,在这种情况下,几何光学给出了良好的近似。

1) 该值的计算见 § 5.10.

2) 同上.

§ 1.4 单色辐射和多色辐射

牛顿实验(图 1.4)表明,通常可以借助于准直仪 SL 和棱镜 P 将来自光源 S 的辐射分解成为单一的,即单色的辐射,它们在透镜 L' 的焦面上形成光源的光谱 RV。小孔 O 允许某一颜色的光锥通过。当此光锥通过第二个棱镜 P' 偏折时,颜色不再改变。

有一些光源发射连续光谱,它们的辐射显然由无数个单色辐射组成。太阳的辐射和温度非常高的液体及固体(火焰、钨丝灯、碳弧,等等)的辐射均属这种情况。另一些光源有分立光谱,由数目有限的单色辐射(称为光谱线)组成。由于高温而发光的气体或蒸气(火焰中的金属盐),或者由于在几十伏(钠灯和汞金属蒸气灯)和几千伏(氢灯和惰性气体灯)电压下有电流通过而发光的气体或蒸气,它们都发射这种类型的辐射。

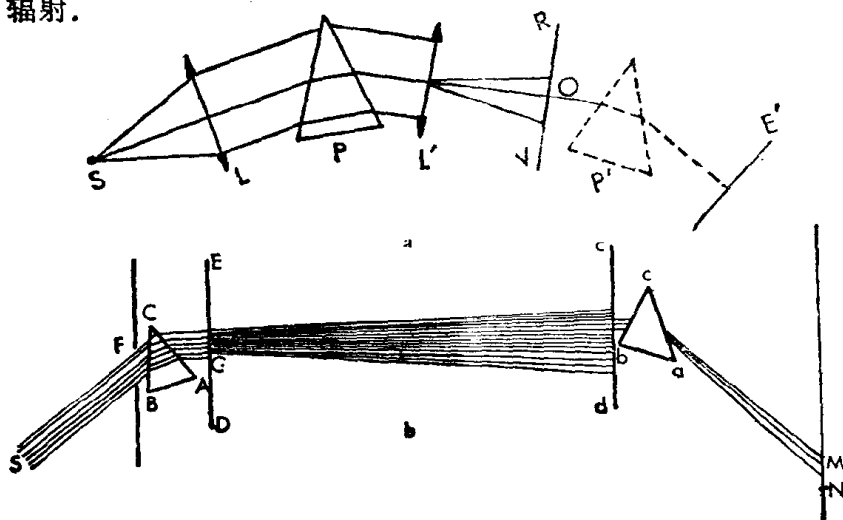


图 1.4 (a) 辐射被棱镜分解; (b) 牛顿实验

将光源的光展成光谱，并选取其中非常窄的一部分作为次级光源的装置叫做单色仪。

§ 1.5 光速和折射率

1.5.1 光源发出的光以有限速度传播，光速可以用各种方法测定，但得到的结果是相同的（见 § 9.4）。这里，我们只介绍傅科法（图 1.5）。点光源 S 经平面镜 M 反射后，由透镜 L 成象在凹面镜 M' 上的 S' 处。 M' 的中心在点 I ，如果 M 镜不动，则反射回来的光所形成的象与 S 重合。实际上， M 绕着通过点 I 、并垂直于图面的轴线，以很高的角速度 ω （数量级为 1000 rad/s ）旋转。在 $t = 2l/v$ 时间内， M 转过角度 $\theta = \omega t$ ，其中 t 是光以速度 v 沿路径 $l = IS'$ 来回一次所需要的时间。于是由 M 镜反射的光线与入射光线成 2θ 角，就好像是 S' 移动了 $2\theta l$ 一样。这时 S 的象位于 S_1 ，故有

$$SS_1 = 2\theta l \frac{p}{p'},$$

其中 $p = SL$ 和 $p' = LIS'$ 。测出各长度值以及 ω ，便可求出 v 。

可用此方法测定空气中的，或是位于 M 和 M' 之间的管子内的透明介质中的光速。

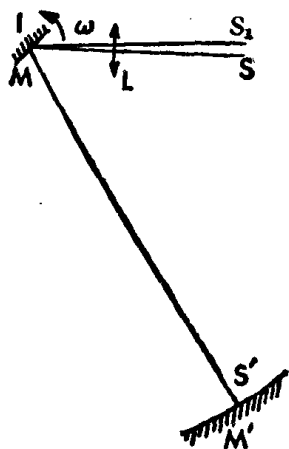


图 1.5 傅科法测量光速

1.5.2 结果如下：用最精确的方法给出真空中的光速是

$$c = 299,793 \pm 0.3 \text{ km/s},$$

或 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，后一值的误差在 $1/1000$ 以内。真空中的光速