

应用光学

喻 燾

科学出版社

53.73
67.5
1

应 用 光 学

喻 燾

科 学 / 出 版 社

内 容 简 介

本书内容共分三部分：第一部分，成像理论，主要讨论几何光学基本定律、光线经过光学系统折射时计算方法、成像的衍射理论及一般原理；第二部分，象差理论，主要讨论实际光学系统的成像缺陷及光学系统成像质量评价；第三部分，光学仪器，主要讨论几种最基本的光学系统的结构及其应考虑的一些主要问题。

应 用 光 学

喻 霁 编著

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 117 号

北京市书刊出版业营业许可证出字第 061 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

*

1966 年 1 月第 一 版 开本：787×1092 1/18

1966 年 1 月第一次印刷 印张：30 1/9

精装：0001—1,800 插页：5

平装：0001—1,700 字数：595,000

统一书号：15031·203

本社书号：3290·15—4

定价：[科六] 精装本 4.50 元
平装本 3.80 元

前 言

本书是编者在长春光学精密机械学院讲授“应用光学”课程时编写的,其内容系根据 A. E. 康勒第 (Conrady) 著“应用光学与光学设计”(Applied Optics and Optical Design), 麦克斯-伯恩 (Max Born) 著:“光学原理”(Principles of Optics), A. И. 杜德罗夫斯基 (Тудоровский) 著“光学仪器理论”, Б. В. 费菲洛夫 (Фефилов) 著:“应用光学”及王之江著:“光学设计理论基础”,“光学仪器通论”(未出版)等书作为主要材料编写而成。

本书内容共分三部分:第一部分,成象理论,主要是讨论几何光学基本定律、光线经过光学系统折射的计算方法、成象的衍射理论及一般原理;第二部分,象差理论,主要是讨论实际光学系统的成象缺陷及光学系统成象质量评价;第三部分,光学仪器,主要是讨论几种最基本的光学系统的结构及其应考虑的一些主要问题。关于光学系统的设计方法,已有其他同志编写故本书不再讨论。

通过上述三部分的讨论,主要目的是让初学者明确几何光学中的基本定律在什么条件下才是准确的,如何利用这些定律处理光学中的一些现象和问题,对实际光学系统来说影响它成象质量的因素是什么,以及这些因素与系统结构的关系,几种基本光学系统中主要问题又在什么地方。有了这些概念和理论知识之后,对于将来从事光学设计工作或使用光学仪器就初步具备了应有知识。当然这是编写本书时的一种主观愿望,但由于本人业务水平较低,实际工作经验不足,故在内容编写方面难免有许多错误和缺点并与所希望达到的目的尚有一段距离,希望读者随时提出宝贵意见加以校正。

本书在编写过程中,蒙王之江同志提出许多宝贵意见,特此致谢。本书在排印时,蒙赵葆常,郑潮璠,田永夫,阎勃生等同志绘制书中各图;李育林,沙维敏等同志协助核对书稿,均一併致谢。

喻 燾 1965 年 10 月

目 录

前 言	ix
-----	----

第一部份 成象理論

第一章 基本定律	1
§ 1.1.1 引言	1
§ 1.1.2 光的直线传播定律	2
§ 1.1.3 诸光束的独立性定律	2
§ 1.1.4 反射定律	3
§ 1.1.5 折射定律, 折射率	3
§ 1.1.6 光线通过两种透明媒质的分界面时发生的现象	6
§ 1.1.7 全反射	10
§ 1.1.8 矢量形式的反射定律和折射定律	13
§ 1.1.9 极端光程定律	15
§ 1.1.10 马吕 (Malus) 定律	19
§ 1.1.11 光线经过稜镜时在稜镜主截面內的折射	20
§ 1.1.12 光线经过折射角很小的稜镜时的折射, 楔形镜	22
第二章 基本方程式	25
§ 1.2.1 引言	25
§ 1.2.2 符号的规定	25
§ 1.2.3 光线经过球面折射时光线光路的三角计算	27
§ 1.2.4 光线光路计算举例	30
§ 1.2.5 基本方程式的一般确实性	33
§ 1.2.6 基本公式的精确度及其校对公式	37
§ 1.2.7 补充计算公式	42
§ 1.2.8 光线经过平面折射时的光线光路计算	44
§ 1.2.9 光线经过平行平板折射时的光线光路计算	46
§ 1.2.10 光线光路计算开始时初始数据的考虑	47
§ 1.2.11 近轴光线的计算	49
§ 1.2.12 拉格朗日 (Lagrange) 定理	53
§ 1.2.13 数字计算(续)——光学计算的正规格式	57
§ 1.2.14 子平面內斜光束之计算	64
§ 1.2.15 子午面和弧矢面內邻主光线细光束经过球面折射的计算	67

1100750

§ 1.2.16 沿主光线的高斯光学公式	71
§ 1.2.17 矢量形式的空间光线计算	74
§ 1.2.18 矢量形式空间光线计算的应用	81
§ 1.2.19 光程差的三角计算	84
§ 1.2.20 光程差与几何象差的关系(一)	92
§ 1.2.21 光程差与几何象差的关系(二)	95
§ 1.2.22 因参考点移动而产生的光程差	96
第三章 理想光学系统理论	98
§ 1.3.1 理想光学系统、高斯光学	98
§ 1.3.2 共轴光学系统的主点、主平面和焦距	99
§ 1.3.3 按系统焦点确定光轴上共轭点的公式(牛顿公式)、垂轴放大率公式	100
§ 1.3.4 按主点确定光轴上共轭点的公式(高斯公式)	101
§ 1.3.5 拉格朗日-亥姆霍兹(Lagrange-Helmholtz)公式、焦距的比例	102
§ 1.3.6 理想光学系统的放大率公式	104
§ 1.3.7 光学系统的分类	105
§ 1.3.8 焦平面、焦点、主平面和主点的性质。节平面和节点	107
§ 1.3.9 理想光学系统的焦距公式	109
§ 1.3.10 通过光学系统的点和线的共轭象的作图法	111
§ 1.3.11 具有公共轴的两光学系统的组合	112
§ 1.3.12 望远系统	115
§ 1.3.13 光线的会聚度。系统的光焦度。屈光度	117
§ 1.3.14 有一定厚度的透镜。焦距公式。透镜的形式	117
§ 1.3.15 无限薄透镜。由无限薄透镜组成的等效系统	123
第四章 光束在光学系统内的限制	126
§ 1.4.1 关于光学系统光阑的概念。有效光阑或孔径光阑。入射光瞳和出射光瞳。 主光线	126
§ 1.4.2 视场光阑。窗或孔。渐晕	129
§ 1.4.3 空间点在平面上的成象。主光线及入射光瞳和出射光瞳的中心之意义。 景相变化与景相畸变	131
§ 1.4.4 平面上所成的空间象的不清晰度。成象空间的深度	133
§ 1.4.5 主光线的焦阑光路	139
第五章 光能。光度学	141
§ 1.5.1 辐射能通量。光通量	141
§ 1.5.2 视见函数	142
§ 1.5.3 发光强度。照度。面发光度和光源的亮度	145
§ 1.5.4 光度学数量的度量单位	151
§ 1.5.5 元光管。史特洛泊耳(Straubel)定理	155

§ 1.5.6 光束的亮度。折射时光由于反射的损失。折射光束的亮度	157
§ 1.5.7 光由于媒质吸收的损失	160
§ 1.5.8 光学仪器中亮度损失的计算	161
§ 1.5.9 通过具有一定大小的入射光瞳的光学系统的光通量。象的照度。入射和 出射光瞳的孔径	163
§ 1.5.10 摄影物镜的光强度。象的照度在视场边缘的减弱	166
§ 1.5.11 肉眼所感觉到的主观亮度	169
§ 1.5.12 通过仪器观察时眼睛所感觉到的象的主观亮度	171
第六章 成象的衍射理论	180
§ 1.6.1 引言	180
§ 1.6.2 几何光学基础	181
§ 1.6.3 惠更斯-夫累涅耳 (Huygens-Fresnel) 原理	182
§ 1.6.4 夫劳因霍斐 (Fraunhofer) 衍射	186
§ 1.6.5 焦点附近的衍射图形	192
§ 1.6.6 理想光学系统的分辨能力	195
§ 1.6.7 在相干照明下显微镜分辨能力——阿贝 (Abbe) 理论	197
§ 1.6.8 泽尼克 (Zernike) 的位相方法观察	200
§ 1.6.9 盖博 (Gabor) 重结构原理	204

第二部分 象差理论

第一章 球差、正弦条件	207
§ 2.1.1 象差的转面倍率、球差的表示式	207
§ 2.1.1-1 球差的正负	212
§ 2.1.2 初级球差	215
§ 2.1.2-1 单透镜初级球差表示式	218
§ 2.1.3 高级球差、本征球差、平面产生的球差	221
§ 2.1.3-1 折射率和相对孔径	223
§ 2.1.3-2 物距和相对孔径	226
§ 2.1.4 衍生高级球差	228
§ 2.1.5 球差的级数表示式	231
§ 2.1.6 校正球差时应有的光学系统结构	233
§ 2.1.7 相邻点波象差关系、正弦条件及其他	233
§ 2.1.8 正弦差分布	238
§ 2.1.9 同轴球面系统中正弦差和光栏位置关系	241
§ 2.1.10 薄透镜各个折射面对校正球差和彗差作用	242
§ 2.1.11 计算结果的图示和判断	244
第二章 轴外象差	247

§ 2.2.1 同轴球面系统中畸变的表示式、初级畸变	247
§ 2.2.2 同轴球面系统中畸变和物体位置的关系	248
§ 2.2.3 细光束的聚焦特性	251
§ 2.2.4 邻主光线高斯光学——物体移动时象面弯曲变化	253
§ 2.2.5 同轴球面系统的象散	254
§ 2.2.6 空间光线的象差分布	258
§ 2.2.7 象差分布的分量表示	259
§ 2.2.8 象面弯曲表示为各面贡献之和	263
§ 2.2.9 初级象散、象面弯曲和畸变	264
§ 2.2.9-1 高级象散和象面弯曲	267
§ 2.2.10 为使轴外细光束成理想象时,光学系统应有结构	273
§ 2.2.11 象面弯曲、象散和畸变的表示和评价	275
第三章 色差	278
§ 2.3.1 光学材料	278
§ 2.3.2 由光程差推导色象差	279
§ 2.3.3 $(d' - D')$ 方法消色差	283
§ 2.3.4 轴向色差每面的分布表示式	284
§ 2.3.5 初级色差	284
§ 2.3.6 分离薄透镜	288
§ 2.3.7 二级光谱	291
§ 2.3.8 $(d' - D')$ 法计算所得的色差与光线光路方法间的关系及轴上点色差图示法	296
§ 2.3.9 轴外点色差的光线光路方法讨论——色差的正弦条件	299
第四章 象差的一般性质	303
§ 2.4.1 象差的一般表示式	303
§ 2.4.2 象差的几何意义和描写光束特性的方法	306
§ 2.4.2-1 球差	307
§ 2.4.2-2 轴外球差	308
§ 2.4.2-3 畸变	309
§ 2.4.2-4 彗差	310
§ 2.4.2-5 轴外彗差	313
§ 2.4.2-6 象散和象面弯曲	313
§ 2.4.2-7 色差	314
§ 2.4.3 光栏移动时象差变化,计算结果的图示和判断	315
§ 2.4.3-1 计算结果的图解法	318
§ 2.4.4 光栏象差和物面象差关系	321
§ 2.4.5 物面移动时象差变化	325
§ 2.4.6 初级色差	330

§ 2.4.7 球面的初级象差	333
§ 2.4.7-1 由球差表示式导出其他表示式——将轴外象差看作球差	333
§ 2.4.7-2 由畸变表示式导出其他象差表示——将子午象差看作畸变差异	338
§ 2.4.7-3 薄透镜的初级象差	339
§ 2.4.7-4 双胶合透镜 P, W 表示式	344
第五章 光学系统成象质量评价	349
§ 2.5.1 有象差时的衍射图形	349
§ 2.5.2 中心点亮度	350
§ 2.5.3 瑞利判断	351
§ 2.5.4 理想光学系统的焦深	352
§ 2.5.5 一级和二级球差公差	353
§ 2.5.6 各种象差的常用公差	357
第六章 由要求确定光学系统结构	359
§ 2.6.1 焦距、倍率、共轭距、总长、工作距离和瞳孔距	359
§ 2.6.2 通光孔径、相对孔径、视场、场镜	365
§ 2.6.3 正象和光路弯折	376
§ 2.6.4 怎样校正象差	379
§ 2.6.5 结构的选择和质量预计	382

第三部分 光学仪器

第一章 眼睛和视觉	385
§ 3.1.1 眼睛的解剖结构	385
§ 3.1.2 把眼看作光学系统;示意眼和简化眼	387
§ 3.1.3 眼睛的调节。眼睛的折射及其缺陷的矫正。眼睛光学系统的特性	388
§ 3.1.4 眼的象差	392
§ 3.1.5 适应,日间视觉与黄昏视觉	393
§ 3.1.6 视觉绝对阈;眼的敏感度	397
§ 3.1.7 眼的分辨能力(视觉敏锐度)	398
§ 3.1.8 单眼视觉和双眼视觉	400
§ 3.1.9 实体视觉	402
§ 3.1.10 通过立体镜所观察的空间	406
第二章 照相记录 and 放映	411
§ 3.2.1 照相乳剂特性	411
§ 3.2.2 照相物镜的发展历史及其基本类型	415
§ 3.2.3 变焦距照相物镜	423
§ 3.2.4 照相物镜的象差	426

§ 3.2.5 照相物镜的分辨能力	430
§ 3.2.6 照相机	432
§ 3.2.6-1照相机的取景和对焦	433
§ 3.2.6-2照相机的快门	438
§ 3.2.7 投影仪	439
§ 3.2.8 电影技术	443
§ 3.2.9 彩色摄影	448
§ 3.2.10 高速摄影	452
第三章 放大鏡和显微鏡	469
§ 3.3.1 放大鏡及其放大倍率	469
§ 3.3.2 显微鏡及其放大倍率	471
§ 3.3.3 显微鏡中的光束限制	473
§ 3.3.4 显微鏡结构的发展	476
§ 3.3.5 观察方法	490
§ 3.3.6 一些显微鏡的结构	494
§ 3.3.7 红外及紫外显微鏡	503
第四章 望远鏡	505
§ 3.4.1 天文望远鏡	505
§ 3.4.2 地形测量和大地测量仪器中的望远鏡	513
§ 3.4.3 军用望远鏡	521

第一部分 成象理論

第一章 基本定律

§ 1.1.1 引言

由电磁波理論知道光的传播特性是快速的振动(频率的数量級为 10^{14} /秒左右), 或者說光是以极短波长的振动来传播(波长的数量級为 10^{-5} 厘米)。如果忽略波长的大小, 即是說把光的传播当成是直綫传播, 从而能得到一些近似的光的传播定律也是我們所希望的。目前发现許多光学問題中这样的方法是可采用的。实际上, 有些現象与这种近似的結果不符合, 如象衍射現象就是如此。忽略了光用一定大小的波长的振动来传播的特性以研究光的性質, 这就是所謂几何光学。由于这样的近似結果的基本定律可以用几何方法推导出来, 因此这些定律并不是精确的定律而只是光能传播的粗略定律。从几何光学的观念出发, 光的能量可以認為是沿光綫传播的。一束光綫的物理概念可以認為光从一可忽略大小的光源发出通过一个屏上的小孔来获得。光达到屏后的空間将充滿一有限范围的区域, 粗略看来这区域的边界(光綫的边界)是清晰的, 但一經仔細观察将会发现光的強度在边界附近的变化是剧烈的而又是連續的, 即是說从黑暗的阴影中連續变化到亮, 这个变化是單調的, 而又有起伏的, 即有明显的亮与暗的条紋出現, 这就是所謂衍射条紋。这种剧烈变化与波长和孔的大小之比有关。当孔的大小对波长來說不是很大时, 几何光学的概念是不适用的, 因此只要波长对于孔的大小來說可忽略不計时, 我們認為光是直綫传播的。反之, 当波长对于孔的大小是不能忽略时, 所发生的現象就要仔細研究。但当孔慢慢縮小时, 孔的中心与在孔后被光照射范围的中心的連綫就越准确, 这个連綫我們就定义为光綫。显然, 几何光学的光綫实际上并不存在, 只是一种抽象的概念而已。

用几何光学的概念来描写光的強度变化时, 是以光管横切面的变化来确定, 但当光束(更明显的是相干光束)迭加时, 強度的分布一般就不能用这样簡單的方法来考虑, 而是用干涉的方法来研究。

由此看来, 几何光学中的定律是粗略的定律, 这些定律对于光束的边緣及能量集中的区域, 如焦点附近是不适用的。但实际上, 許多光学問題运用几何光学的方法对問題的进一步研究至少是一个开端。

§ 1.1.2 光的直綫传播定律

几何光学里认为,光在透明而均匀的(各向同性的)媒质中是沿着直綫传播的。日常的經驗使我們确信这一定律的正确性。从某些宇宙現象的观察,例如日蝕或月蝕,确定了光传播的直綫性。利用最精密的大地測量方法,例如根据精密測角仪器測量三角网中一三角形三內角的结果能使人更深信这一定律的正确性。当观测很仔細时,測得的三角形三內角的总和与实际的总和($180^\circ + \epsilon'$)間的差值总是在与測角仪器的精度相关的可能的观测誤差范围以內。当光束通过窄孔或在光路上放置不透明的小障碍物时,光传播的直綫性便遭到破坏。在这种情况下,便产生了以上指出的衍射現象,此时光进入几何阴影的区域以內。

衍射現象在物理光学內要詳細地研究。几何光学完全不考虑衍射現象,因为在一般使用光学仪器的条件下,衍射現象只有在特殊的情况才能显出。

§ 1.1.3 諸光束的独立性定律

几何光学里假設,复合而成的光流中的各个光束彼此无关,就好象其他光束不存在似的传播着。例如在光路上放置一不透明的屏 R 后(图 1.1.1),就排除了光束組成部分中的某一部分。根据光綫的独立性定律,我們應該认为,未通过屏的光綫的作用不会因此而改变。

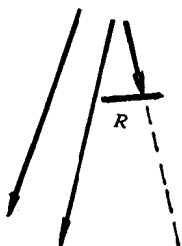


图 1.1.1

如果两个光束投射到同一块平面上,則此二光束作用迭加。光綫的独立性定律对于由不同的輻射中心发出的光束始終是正确的。

当两个光束从同一个輻射中心发出,以不同的途径到达某一点,并在該处发生光的減弱或完全消失的現象(产生黑暗),此时两光束的共同作用代替了期待的光的加強作用,这种現象叫做光的干涉。评价象的品质时,必須考虑到这种現象。

在以后討論象差的衍射理論时将指出,由于波面发生变形,点象能具有复杂的形状,显现为圓形或更复杂的弥散图形。弥散图形上的光能分布能由光綫交点在图形上的集中情况来判断。但是可能出现这种情况:当某些光綫投射到平面上的同一点时,由于彼此干涉而削弱,并产生暗影。因此,在光学仪器理論中解决弥散图形能量分布的問題时,不能局限于几何光学的原理,而應該注意到干涉現象。

§ 1.1.4 反射定律

若光线在它传播的路途上遇到两媒质间的抛光分界面, 则它将按照反射定律改变自己的方向. 在图 1.1.2 内 PP 为两媒质间的抛光分界面, NA ——此界面上入射点 A 处的法线, SA ——入射光线, AS' ——反射后光线的方向. 入射光线与法线的夹角 $I = \angle SAN$ 称为入射角, 反射光线与法线的夹角 $I' = \angle S'AN$ 称为反射角. 由此, 光的反射定律可表述如下: 入射光线, 分界面的法线和反射光线在同一平面上, 入射角和反射角的绝对值相等, 符号相反(由于两光线位于法线的两侧)即:

$$I = -I'. \quad (1)$$

如果入射角和反射角是由光线到法线按顺时针方向构成的, 则其值为正, 反之(逆时针方向), 则为负. 在图 1.1.2 内, 入射角 I 为正, 反射角 I' 为负. 很显然, 如果入射光线沿着 $S'A$ 方向, 则反射光线的方向将是 AS , 这就是说, 入射光线与反射光线的作用可以互换.

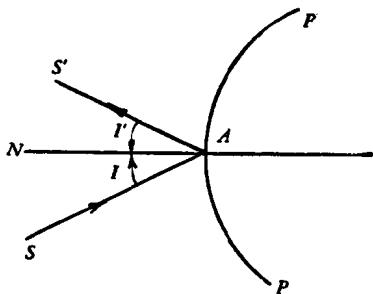


图 1.1.2

§ 1.1.5 折射定律. 折射率

当光线由一种透明均匀的媒质进入另一种透明均匀的媒质内时, 在两媒质间的抛光分界面上, 光线在它和第二种媒质的相遇点 A 处改变了方向, 构成所谓光的折射(图 1.1.3). 入射光线和法线的夹角 $\angle SAN = I$ 是入射角, 折射光线和法线的夹角 $\angle S'AN = I'$ 称为折射角.

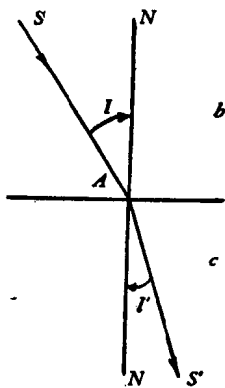


图 1.1.3

折射定律确定: 当光线由一种媒质 b 进入另一种媒质 c 时, 入射光线、法线和折射光线在同一平面上, 入射角 I 和折射角 I' 的正弦之比与这些角度的大小无关(只与两接触媒质 b 和 c 的性质有关), 同时对于一定波长的光线, 当媒质的温度和密度一定时, 它是一个常量. 角 I 和 I' 的符号规则与反射定律所采用者相同. 这样, 从图 1.1.3 有 $I > 0$ 和 $I' > 0$. 所以根据定义可以写成:

$$\frac{\sin I}{\sin I'} = n_c^b, \quad (2)$$

n_c^b 叫做媒质 c 对于媒质 b 的相对折射率。

試驗証明,入射光綫和折射光綫的作用可以互換。因此,如果入射光綫沿着 $S'A$ 方向以入射角 I' 射入媒质 c 內,則媒质 b 內的折射光綫將沿着 AS 方向进行,而且与法綫构成一折射角 $\angle NAS = I$; 若用 n_c^b 表示媒质 b 对于媒质 c 的相对折射率,則同样可以写成:

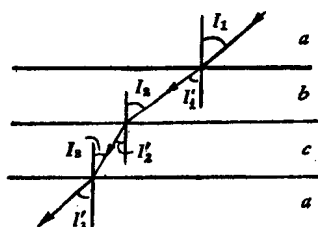
$$\frac{\sin I'}{\sin I} = n_c^b. \quad (3)$$

將(2)和(3)比較就建立了下面的关系式:

$$n_c^b = \frac{1}{n_b^c}. \quad (4)$$

关系式(4)指出,入射光綫和折射光綫的方向可以直接相反地变換,光綫的作用互換,但光綫与法綫的夹角仍旧不变。因此,几何光学里可以利用光程可逆的原理。

图 1.1.4 所示,为三种透明均匀的媒质,它們的分界面彼此平行。用符号 a 表示第一种与最末一种媒质。这样在媒质 a 之間有由两媒质 b 和 c 組成的平行平面板。由实验可以証明,第一界面的入射角 I_1 等于第三界面的折射角 I'_3 。对于第一、第二和第三界面上的折射,按照公式(2)可以写出下列的等式:



$$\left. \begin{aligned} \frac{\sin I_1}{\sin I'_1} &= n_b^a \\ \frac{\sin I_2}{\sin I'_2} &= n_c^b \\ \frac{\sin I_3}{\sin I'_3} &= n_a^c \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

图 1.1.4

將等式(5)逐項連乘,并注意到 $I'_3 = I_1$ 的条件,就得出三个相对折射率 n_b^a , n_c^b , 和 n_a^c 的乘积等于 1, 即:

$$n_b^a \cdot n_c^b \cdot n_a^c = 1, \quad (6)$$

由此得出:

$$n_c^b = \frac{1}{n_b^a \cdot n_a^c}. \quad (7)$$

考虑到(4)式,可以将(7)式写成:

$$n_c^b = \frac{n_a^c}{n_b^a}. \quad (8)$$

公式(8)指出,媒质 c 对于媒质 b 的相对折射率等于以媒质 b 对于媒质 a 的相对折射率除媒质 c 对于媒质 a 的相对折射率。

我們由公式(8)得出結論,为了利用折射定律,不需要有每一对可能的物質的全

部相对折射率表, 只需要确定出一切物质对于某一选定物质的折射率. 把真空选作这样的媒质是适当的. 媒质对于真空的折射率称为绝对折射率. 此后, 绝对折射率用下方注明媒质的字母 n 表示. 真空的折射率对于一切波长的光都等于 1. 众所周知的透明物质的折射率照例都大于 1. 若在公式(8)内假定媒质 a 为真空, 则上述等式可以写成以下的形式:

$$n_c^b = \frac{n_c}{n_b}. \quad (9)$$

现在注意到图 1.1.4 并用 n_b 和 n_c 分别表示媒质 b 和 c 的绝对折射率, 则根据等式(2)和(9)可以写出:

$$\frac{\sin I}{\sin I'} = n_c^b = \frac{n_c}{n_b},$$

或

$$n_b \sin I = n_c \sin I'.$$

倘用字母 n 表示第一种媒质的折射率, n' 表示第二种媒质的折射率, 这时折射定律就可写成便于应用的公式:

$$n \sin I = n' \sin I'. \quad (10)$$

等式(10)指出, 折射率和光线与法线夹角之正弦的乘积彼此相等. 乘积 $n \sin I$ 叫做光学不变式.

公式(10)表达出折射定律. 若在公式(10)内设 $n = -n'$ 则由此式能得出反射定律.

按照公式(9)有:

$$n_c = n_c^b \cdot n_b. \quad (11)$$

倘设媒质 c 为玻璃, 而 b 为空气, 则公式(11)就可以这样来解释, 玻璃的绝对折射率等于玻璃对于空气的相对折射率乘以空气的绝对折射率.

公式(11)可以改变成等式:

$$n_c = n_c^b n_b + n_c^b - n_c^b = n_c^b + n_c^b (n_b - 1). \quad (12)$$

对于波长 $\lambda = 589.3$ 毫微米, 大气压力为 h 毫米水银柱和温度为摄氏 t° 度时, 求上式因子 $(n_b - 1)$ 的经验公式为:

$$n_b - 1 = 0.0002945 \frac{h}{760} \frac{1}{1 + \alpha t^\circ}, \quad (13)$$

式中 $\alpha = \frac{1}{273}$. 由上式可看出, 当标准压力为 760 毫米, 温度为 20°C 时, 空气的绝对折射率很接近于 1. 实际上;

$$n_p = 1.000274 \cong 1.0003.$$

在真空中测定折射率实际上是一个比较复杂的技术问题。若求出媒质在空气中的折射率，再利用空气的绝对折射率表，按照公式(12)就可以计算媒质的绝对折射率。这种折射率只有在很少的情况下才需要知道。空气的绝对折射率由于压力、温度和波长的改变所引起的变化极其微小。另一方面，如果是测定媒质对于空气的折射率，则折射定律仍然正确。所以，在工程上玻璃的折射率是在空气中测定，同时在测定空气的折射率时，由于空气的物理状态改变所引起的变化极其微小，测定中不必引入这些改变的修正量。光学玻璃的产品说明书里注出玻璃对于空气的折射率。在以后的叙述中，我们常设空气的折射率为 1。

§ 1.1.6 光线通过两种透明媒质的分界面时发生的现象

如前两节所述，当光线通过两种媒质的分界面时，入射光线分为两部分——反射光线和折射光线。此两光线的方向由反射和折射定律决定。应该指出，光线在此界面上发生的现象仅仅用反射和折射定律来描述是不够的，还必须说明反射光线和折射光线强度如何，偏振状态如何。这些问题在十九世纪初由夫累涅耳（Fresnel）解决，后来利用麦克斯威（Maxwell）电磁理论得到更完满的解决。

我们假定每个光波都是横波（把光振动与电向量振动看作是一样的），其振动是沿着与传播方向垂直的直线。普通光线是由成百万个这种光波所组成的，每个光波都有自己的振动面，普通光含有在所有平面上振动的光波，各平面上振动的机会相等。

一条在所有平面上都有振动的普通光线可以设想为只含有两种振动，一种振动是在一平面上（譬如纸面），而另一振动则在和前一平面垂直的平面上。

布卢斯特（Brewster）曾发现当光线投射在两媒质分界面上的入射角为某一定值 I_p 时，反射光线 BC 和折射光线 BD 恰成 90° ，如图 1.1.5 (a)，此时反射光线是平面偏振光，即只有一垂直于入射平面振动的光， I_p 称为起偏角。这样，布卢斯特定律可表示为：

$$\tan I_p = \frac{n'}{n}. \quad (14)$$

下面对一般的情况作简要的讨论。如图 1.1.5 (b)，令入射及折射角各为 I, I' ；反射角为 $-I$ ，并引入符号：在入射光线中垂直于入射面的振幅为 A_i ，在反射光线中垂直于入射面的振幅为 R_i ，在折射光线中垂直于入射面的振幅为 T_i ；至于在入射面内的振动振幅，对于入射光线、反射光线、折射光线分别为 A_p, R_p ，及 T_p 。根据夫累涅耳公式有：

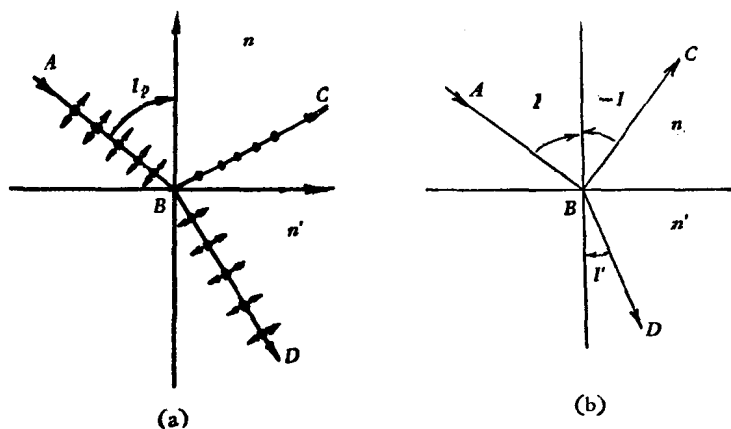


图 1.1.5

$$\frac{R_s}{A_s} = \frac{-\sin(I - I')}{\sin(I + I')}, \quad (15)$$

$$\frac{T_s}{A_s} = \frac{2 \sin I' \cos I}{\sin(I + I')}, \quad (16)$$

$$\frac{R_p}{A_p} = \frac{\tan(I - I')}{\tan(I + I')}, \quad (17)$$

$$\frac{T_p}{A_p} = \frac{2 \sin I' \cos I}{\sin(I + I') \cos(I - I')}. \quad (18)$$

入射角与折射角的关系,由折射定律为:

$$\frac{\sin I}{\sin I'} = \frac{n'}{n}.$$

对于空气与折射率 $n = 1.52$ 的玻璃相接的特殊情况,振幅比值 $\frac{R_s}{A_s}$, $\frac{T_s}{A_s}$, $\frac{R_p}{A_p}$, $\frac{T_p}{A_p}$ 作

为入射角 I 的函数如图 1.1.6 所示。由图可知,当入射角为某一定值 I_p 时,比值

$\frac{R_p}{A_p} = 0$ 。由(17)式可知,此入射角 I_p 的值为下列条件所决定:

$$\tan(I + I') = \infty,$$

亦即为

$$I + I' = \frac{\pi}{2}$$

所决定,此条件与布卢斯特定律是一致的。因为

$$\frac{\sin I}{\sin I'} = \frac{n'}{n}, \quad I' = \frac{\pi}{2} - I,$$