

YING YONG GUANG XUE

应用光学

徐昌杰 权贵秦 编



陕西人民出版社

应 用 光 学

徐昌杰 权贵秦 编

陕 西 人 民 出 版 社

(陕)新登字 001 号

书 名:应用 光 学
主 编:徐昌杰 权贵秦
出版发行:陕西人民出版社(西安北大街 131 号 邮编:710003)
印 刷:西安工业学院印刷厂
开 本:787mm×1092mm 16 开 11 印张 4 插页
字 数:244 千字
版 次:2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷
印 数:1-2000
书 号:ISBN 7-224-06324-X/TV·2
定 价:15.00 元

(图书如有质量问题请与陕西人民出版社发行部联系,电话:7216020)

前 言

光是一种重要的自然现象,人类生存离不开光。人类在认识世界、改造世界的过程中要接受外部世界的信息,我们主要通过眼睛这个感觉器官感觉瞬息万变的客观世界的景象。被眼睛以光的形式接受的外部信息占人的所有的感官接受信息的90%以上,而且眼睛以光的形式接收的信息是最直接、最形象、最真实的,可见光与人类生活和社会发展进步密切联系。

然而在人类文明的最初数千年中,对于光的认识只限于对一些直观、简单的现象和规律的观察和描述。就是反射和折射现象也是到17世纪初才由荷兰科学家斯涅尔归结为定量的折射定律和反射定律。

真正涉及到光的本性的探讨研究还是近三四百年以来的事情。当然这不是偶然的,而是整个科学技术发展的必然结果。从17世纪开始对光的本性的认识有两个并列的学说:一个是以牛顿为代表的微粒说,认为光是按照惯性定律沿直线飞行的如微粒流一般的物质;另一个是荷兰科学家惠更斯提出的光的波动理论,认为光是一种在特殊弹性媒质中传播的机械波。

这两种学说把光看成是某种机械运动的过程,都具有机械论的色彩,它们也能解释光的一些现象。微粒说能解释光的色散、直进、折射、反射现象,但不能正确解释双折射现象。而波动说能解释光的折射、反射、双折射现象,但惠更斯没有对光的颜色和直进现象作出解释。因此,两者在理论上互不占上风。但是,微粒说和波动说在解释光的折射现象时出现了矛盾,当光从空气进入水时,波动说认为光在水中的速度比在空气中慢,而微粒说则认为光在水中的速度比在空气中快。由于牛顿在自然科学界的杰出的成就和权威的地位,使人们较为容易地接受了牛顿的学说。

19世纪初,英国杨氏和法国的菲涅尔等人的实验和理论工作,把光的波动理论大大地向前推进。他们解释了光的干涉、衍射现象,使被忘却了百余年的光的波动论重被谈起。1862年傅科通过实验证实了光在水中的速度比在空气中慢,此后光的波动说逐步得到了确立。

但是,惠更斯光的波动说的最大弱点在于他把光看成某种机械运动的过程,看成一种弹性波。他的理论中臆想出一种特殊的媒质,这种媒质充满整个宇宙空间,密度极小,弹性模量极大。这种假想的弹性媒质(历史上称之为“以太”)不仅在理论上无法验证,在实际上也不可能存在。

对光的认识的重要突破发生在19世纪60年代。1863年英国科学家麦克斯韦在前人研究的基础上,总结扩充了当时已知的电磁学的实验知识,把体现静电场和稳恒电流的磁场的基本规律的四个方程,在几点假设的基础上总结成为麦克斯韦方程组,揭示了

自由空间变化的电场和变化的磁场之间的联系,预言了电磁波的存在,在理论上证明了电磁波的传播速度与当时测得的光速几乎相等。麦克斯韦以后八年,赫芝通过实验装置制造出了电磁波,并且做了一系列的电磁波的折射、反射、干涉、衍射实验,发现电磁波与光有同样的特性,证实了电磁波的存在。从此,光的电磁波理论得到确立。人们利用光的波动说可以圆满地解释光的传播现象。

但是,人们对事物的认识是不断前进的,19世纪末一系列新的实验现象被陆续发现,如可见光打到锌板上不发生光电效应,紫外光很小的能量会产生光电效应等。这是用光的电磁理论无法解释的。这些实验现象使人们对光的本性认识的探索又进入到一个新的阶段。1905年,爱因斯坦提出了光的粒子性的假说即光子说。

光的粒子说在解释光对物质的作用的许多实验结果方面具有优势,但光的波动说在解释光的干涉、衍射及偏振现象方面有优势。目前人们对光的认识是光具有波粒两重性,这种认识还在不断地深入、完善、发展之中。

在不涉及光与物质的相互作用的情况下,光学可分为波动光学(物理光学)和几何光学(应用光学)。波动光学是以麦克斯韦电磁波理论为基础,研究光的波动特性干涉、衍射、偏振的学科。几何光学是忽视光的波动本质,以费马原理证明光的直进、折射、反射定律为基础,研究光线传播和物体成像的学科。

本书分为十章,前七章由徐昌杰编写,后三章由权贵秦编写。在书中,对费马原理应用增加了极大光程的例子和实物成虚像和虚物成实像等光程面的推导;提出了理想光学模型的概念;对作图法的讲述更加概括;对光焦度用光学系统对光线的作用来表述;两光组合公式用高斯公式推出;光束限制及景深公式和远心光路的叙述也有特点……

本书在编写过程中参考了大量中外著作,可作为大学本科、研究生和专科相关专业的教材,也可以作为从事与光学有关工作的工程和科技人员的参考资料。

编 者

2002年7月

目 录

第一章 几何光学基本定律

第一节	波面、光束、光线	(1)
第二节	几何光学基本定律	(2)
第三节	弗马原理	(4)
第四节	有关物和像的概念	(6)

第二章 球面和球面系统

第一节	光线经单个折射球面的折射	(13)
第二节	近轴区及近轴光线光路计算	(15)
第三节	单个折射球面的成像放大率及拉赫不变量	(18)
第四节	共轴球面系统	(21)
第五节	球面反射镜	(23)

第三章 理想光学模型

第一节	理想像和理想光学系统	(25)
第二节	理想光学模型的基点、基面	(26)
第三节	理想光学模型的物像关系式 牛顿公式和高斯公式	(29)
第四节	理想光学模型的拉赫公式及二焦距之间的关系	(30)
第五节	理想光学模型的放大率	(31)
第六节	节点和节平面	(34)
第七节	理想光学模型的作图求解	(36)
第八节	会聚度、发散度和光焦度	(39)
第九节	共轴理想光学模型的组合焦距及基点的确定	(45)
第十节	望远系统——基点在无限远的理想光学模型	(56)
第十一节	折射透镜	(58)
第十二节	透镜的简化——薄透镜	(64)

第四章 平面镜和平面系统

第一节	平面镜	(66)
第二节	平行平板的折射	(69)
第三节	反射棱镜	(71)

第四节	折射棱镜	(78)
-----	------------	--------

第五章 光阑和光束限制

第一节	光学系统中的光阑及其作用	(81)
第二节	孔径光阑、入射光瞳和出射光瞳	(82)
第三节	视场光阑、入射窗和出射窗	(84)
第四节	光学系统的景深	(90)
第五节	远心光路	(93)
第六节	光学系统的分辨本领	(95)

第六章 光能及其计算

第一节	辐射能通量和光通量	(97)
第二节	发光强度	(100)
第三节	光照度和面发光度	(101)
第四节	光源的光亮度	(103)
第五节	光能通过介质传递时的损失	(104)
第六节	光能量在光学系统中的传递	(106)

第七章 光线的光路计算及像差概述

第一节	子午面内光线的光路计算	(112)
第二节	轴外物点近主光线细光束经球面折射的计算	(118)
第三节	球差	(121)
第四节	彗差	(122)
第五节	像散和像面弯曲	(124)
第六节	畸变	(126)
第七节	位置色差	(128)
第八节	倍率色差	(129)

第八章 眼睛

第一节	眼睛的构造	(131)
第二节	眼睛的调节 正常眼和非正常眼及其矫正	(132)
第三节	眼睛的分辨本领	(135)
第四节	双眼的立体视觉	(136)
第五节	眼睛的主观亮度	(138)

第九章 放大镜和显微镜

第一节	放大镜	(140)
第二节	显微镜简述	(143)

第三节 显微镜的光束限制 (146)
 第四节 显微镜的景深 (148)
 第五节 显微镜的分辨本领和有效放大率 (150)
 第六节 显微镜物镜 (153)
 第七节 显微镜物镜的照明系统 (154)

第十章 望远镜

第一节 望远镜的一般特性 (157)
 第二节 望远镜的分辨本领 (159)
 第三节 望远物镜 (160)
 第四节 目镜 (163)

 参考文献 (167)

第一章 几何光学基本定律

第一节 波面、光束、光线

几何光学把光看成是几何线的传播,它们遵从直进、反射和折射定律。从理论高度来看几何光学的这些行为只不过是光的波动规律(忽略波长)的短波近似,波动光学和几何光学之间是有着紧密联系的。

光是电磁波,可见光是波长 $\lambda = 400 \sim 760\text{nm}$ 的电磁波,它在真空中的速度 $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$, $c = \lambda_0 \cdot \nu$, λ_0 为真空中波长, ν 为光振动频率。

光在不同介质中传播时, ν 频率不变而 λ 波长变化,光在介质中的速度 v 为

$$v = \lambda \cdot \nu \quad (1-1)$$

n 为介质中的折射率,真空中折射率为 1,折射率与光的波长有关,称为色散。

$$n = \frac{c}{v} \quad (1-2)$$

或写为

$$v = \frac{c}{n} \quad (1-3)$$

光线是无体积、无大小,代表光的传播方向的几何线。发光点是发射光线的光源,没有体积大小的几何点。从同一发光点发出的光振动,经过某一相同时刻到达具有相同位相的空间各点,这些点所构成的曲面就是波面。光线是波面的法线,光线代表波动传播的方向。

光束是波面所对应的法线束。同心光束是球面波所对应的法线束即光线束。会聚光束的光线束聚向一点,如图 1-1a;发散光束的光线束从同一点发出,如图 1-1b;平行光束可以看成半径无限大的球面波,此时波面为平面所对应的光线束,如图 1-1c。

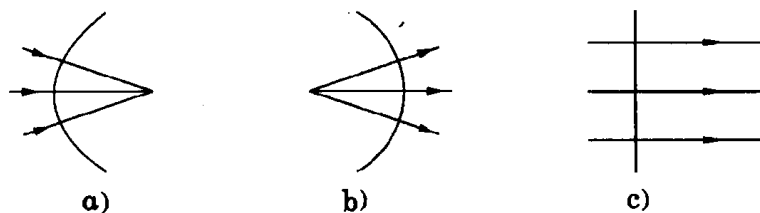


图 1-1 同心光束

a)会聚同心光束 b)发散同心光束 c)平行光束

对于波面是非球面的曲面,它所对应的光线束不再是同心光束,而是一个像散光束。

如图 1-2, 在小波面元上的某一点必有两条垂直的法截线, 几何学可以证明其中一条曲率半径最大, 另一条曲率半径最小, 这是主截线。光线束先会聚在 $F_s F_s$, 再会聚于 $F_t F_t$, 这样两条垂直的短焦线上, 这两焦线之间的距离称为像散差。

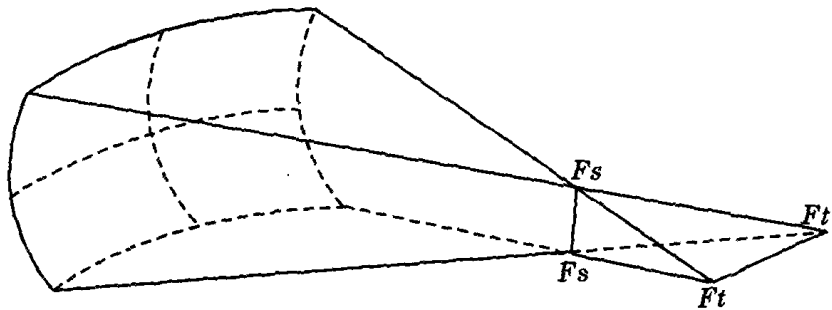


图 1-2 像散光束

第二节 几何光学基本定律

一、几何光学三大定律

(一) 光的直线传播定律

光在均匀的、透明的、各向同性介质中沿直线传播。

(二) 光的独立传播定律

光线从不同方向通过某点时, 彼此不发生影响, 各条光线好像其他光线不存在似的继续独立向前传播。

(三) 光的折射和反射定律

光线由一个均匀的、透明的、各向同性介质射入由光滑界面分出的第二个透明的、均匀的、各向同性介质时, 在分界面上光线发生反射和折射, 其继续传播的规律由反射定律和折射定律规定。

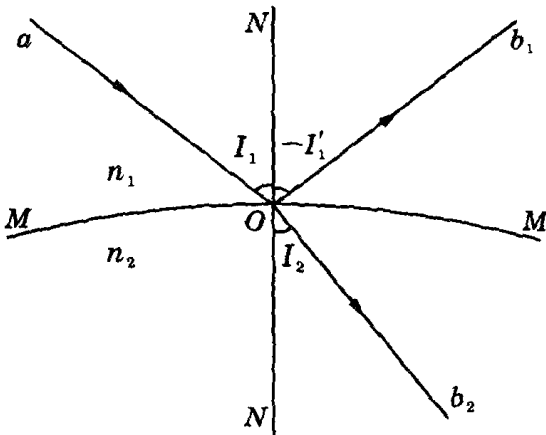


图 1-3 反射、折射定律

图 1-3 中, 第一和第二介质折射率分别为 n_1, n_2 , 它们被光滑界面 MM 分开。 NN 是入射光线 a 在两介质分界面 MM 投射点 O 处的法线。 b_1 为反射光线, b_2 为折射光线。入射光线 a 与法线 NN 的夹角 I_1 为入射角, 反射光线 b_1 与法线 NN 的夹角 I'_1 为反射角, 折射光线 b_2 与法线 NN 的夹角 I_2 为折射角。

1. 反射定律

(1) 反射光线必与入射光线和界面投射点处的法线共面;

(2) 入射角和反射角绝对值相等但符号相反, 即入射光线与反射光线位于法线两侧,

即 $I_1 = -I_1'$ 。

2. 折射定律

- (1) 折射光线与入射光线和界面投射点处法线共面；
- (2) 入射角正弦和折射角正弦之比为两介质折射率之比, 是一个常数。

$$\frac{\sin I_1}{\sin I_2} = \frac{n_2}{n_1} \tag{1-4}$$

如果设 $n_1 = -n_2$, 则 $I_1 = -I_1'$, 这就是反射定律, 可见反射定律是折射定律当 $n = -n'$ 时的特殊情况。

反射、折射定律不仅对于平面, 对于球面或任意光滑曲面都是成立的。

二、全反射

当光从光密介质进入到光疏介质时, 因为 $n_2 < n_1$, 由式(1-4)必有 $I_2 > I_1$, 此时折射光线将偏离法线。当 I_1 继续增大时, I_2 也将增大, 当 I_1 增大到使 $I_2 = 90^\circ$ 时折射光线将由分界面掠射出去, 令此时入射角为 I_m

$$\sin I_m = \frac{n_2}{n_1} \sin 90^\circ = \frac{n_2}{n_1} \tag{1-5}$$

如再增大 I_1 , 使 $I_1 > I_m$, 那么 $\sin I_2 > 1$, 方程(1-4)将无实数解, 此时的物理意义就是光线不再折入第二介质, 而在分界面上全部反射, 发生全反射现象, 如图 1-4。由(1-5)式决定的 I_m 称全反射临界角。

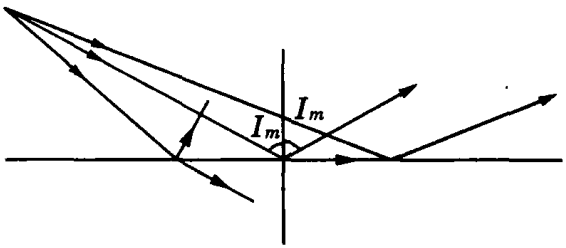


图 1-4 全反射

全反射原理有很重要的应用, 如图 1-5a 中的直角棱镜, 光线射入棱镜后在斜边上反射光路转折 90° 。此时, 光线从光密介质玻璃射到光疏介质空气。如果玻璃折射率足够大, 可以使光在棱镜斜边上发生全反射, 无需镀反射膜即可减少光能损失。在图 1-5b 中的光学纤维, 外层包裹的玻璃折射率较低, 在两层玻璃间发生全反射, 光经过多次全反射可以从一端传到另一端。用这样的玻璃纤维束可以用来传像, 用于内窥光学系统, 也可以用来传递信息, 用于光纤通讯。

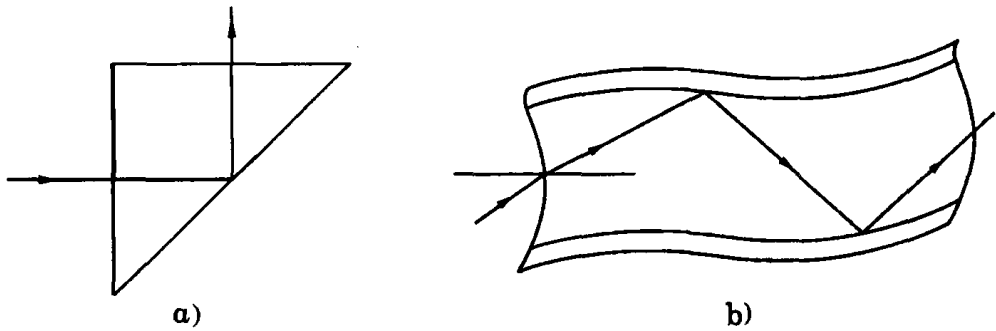


图 1-5 全反射应用

- a) 全反射棱镜
- b) 光学纤维

三、光路可逆性原理

从几何光学基本定律不难看出,如果光线逆着反射光线 b_1 方向入射,则这时的反射光线将逆着原来入射光线 a 方向传播,如图 1-3。对于折射光线也同样可逆。

当光线逆向行进时,它将顺着同一路径传播,这个带有普遍性的结论称为光路可逆原理。今后在有些情况下这个原理对我们会有帮助。

第三节 弗马原理

一、光程

光线在真空中从 A 点到 B 点传播距离 l 所需的时间为 $t_{AB} = \frac{l}{c}$, 当光线在折射率为 n 的介质中从 A' 点到 B' 点传播距离 l' 所需的时间为 $t'_{AB} = \frac{l'}{v} = \frac{nl'}{c}$ 。

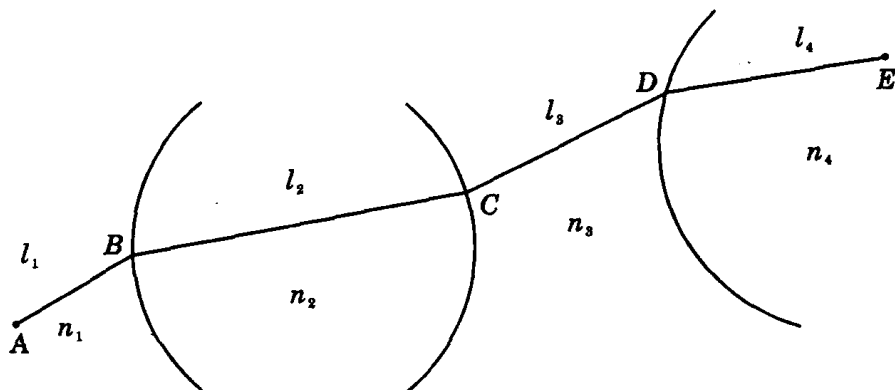


图 1-6 光程

当光线经过几个折射率为 n_1, n_2, n_3, n_4 的不同介质,在各介质中经过的路程为 l_1, l_2, l_3, l_4 ,从 A, B, C, D 到达 E 时所需的时间为(见图 1-6)

$$t_{AE} = \sum_i \frac{l_i}{v_i} = \sum_i \frac{n_i l_i}{c} = \frac{(ABCDE)}{c} \quad (1-6)$$

$(ABCDE)$ 称为光线 $ABCDE$ 的光程,简写为 (AE)

$$(AE) = (ABCDE) = \sum n_i l_i = t_{AE} \cdot c \quad (1-7)$$

光程是光线在介质中的几何路程与该介质折射率的乘积。

如果介质折射率是连续变化的,则光程应为:

$$(AE) = \int_A^E n \cdot dl \quad (1-8)$$

式中 $n = n(x, y, z)$, 积分沿光线路径。

从式(1-6)可见,光程可以理解为光在介质中从一点传播到另一点花费一定的时

间,在相同时间内光线在真空中传播的距离。这样把在各不同折射率的介质中传播的路程统一转化到真空中传播的路程这样一个相同情况下去比较。

二、弗马原理

弗马原理的原始表述为:光从空间的一点到另一点的实际路径是沿着光程为极值的路径传播的。或者说,光沿着光程为极大、极小或者常量的路径传播。

弗马原理的数学表述为:

$$\delta(AB) = \delta \int_A^B n \cdot dl = 0 \tag{1-9}$$

在光线的实际路径上,光程的变分为 0。

如果 ACB 代表光线的实际路径,如图 1-7,那么光线通过 ACB 的光程(或者说所需的时间)与邻近的任何可能路径 $AC'B$ 相比为极值(极大、极小或常数)。

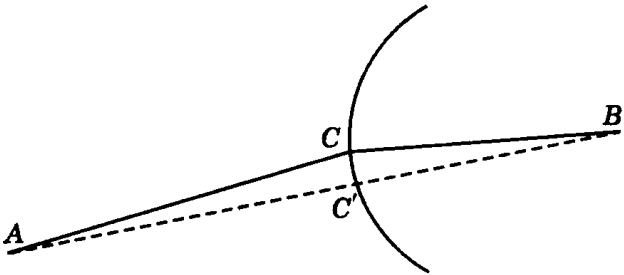


图 1-7 弗马原理

三、弗马原理的应用

由弗马原理可以推导出反射定律和折射定律。

(一)反射定律

由 A 经 QQ 界面反射到达空间任意一点 B 的光线的路径并不知道,现在没有反射定律而只有弗马原理,如图 1-8a。

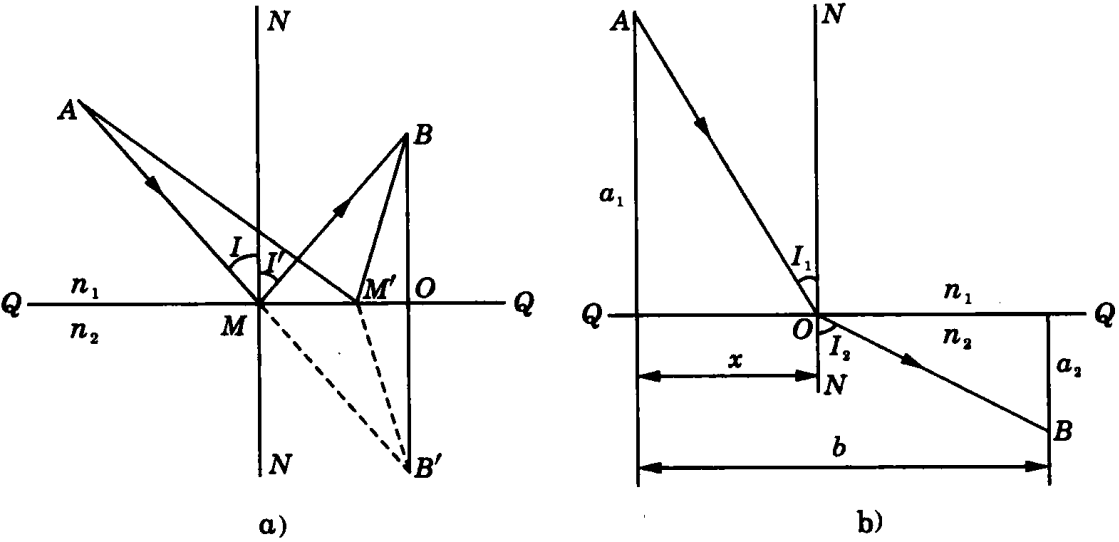


图 1-8 弗马原理证明反射和折射定律

a)反射定律证明 b)折射定律证明

从 A 点经界面 QQ 反射到 B 点任一可能路径 $AM'B$ 与 $AM'B'$ 相等, B' 为 B 的对称

点, $BO = B'O$ 。从 A 点到 B 点的光程 $(AB) = n_1(AM' + M'B) = n_1(AM' + M'B')$ 。显然, $(AM' + M'B')$ 在 AB' 取直线时最短。若 AB' 是直线时与界面 QQ 交于 M 点, 这时从 A 点到 B 点光程 $(AB) = n_1 \cdot (AM + BM)$ 。根据费马原理, 这是由 A 点到 B 点任意可能路径中光程的极小值, 因此 AMB 是光线的实际路径。不难看出此时 $I = I'$, 而且 A、M、B 三点与 M 点的法线 NN 共面。

(二) 折射定律

由 A 点发出的光线射向分界面 QQ , 折射后光线以怎样的路径到达 B 点。如图 1-8b, a_1, a_2, b 为已知值, 假定由 A 点到达界面 O 点后再折入第二介质到达 B 点, O 点坐标为 x 。从 A 到 B 点的光程为:

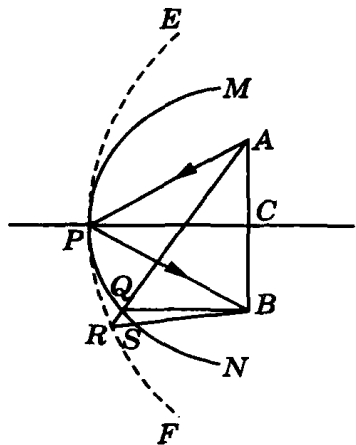
$$(AOB) = n_1 \overline{AO} + n_2 \overline{OB} = n_1 \sqrt{a_1^2 + x^2} + n_2 \sqrt{a_2^2 + (b - x)^2}$$

根据费马原理光程 (AOB) 应为极值

$$\frac{d(AOB)}{dx} = n_1 \frac{x}{\sqrt{a_1^2 + x^2}} - n_2 \frac{b - x}{\sqrt{a_2^2 + (b - x)^2}} = n_1 \sin I_1 - n_2 \sin I_2 = 0$$

这就是折射定律, 进而可得 $\frac{d^2(AOB)}{dx^2} > 0$, 这是极小值的条件, 这样得到光线从 A 点通过折射到达 B 点的实际路径按光程为极小值的路径行进, 这个路径满足折射定律。

以上举的是光程极小的例子, 下面举一个光程为极大的情况。



研究一个凹球面镜 MN , 如图 1-9, P 为球面顶点, C 为球心, A、B 两点对 CP 是对称的。证明来自 A 点通过凹球面镜 MN 一次反射后到达 B 点的光线的光程与邻近可能路径的光程相比是一个极大值。

从 A 点一次反射后到达 B 点只有 APB 的路径才能保证入射角与反射角相等。因此, 实际路径应该是 APB 。设凹球面镜 P 点附近有 Q 点, AQB 是邻近的可能路径。作一个与 P 点相切的椭球面 EF 使它的焦点落在 A、B 点上, R 是椭球上的一点。根据椭球的性质有 $(APB) = AP + PB = AR + RB > AQ + QB = (AQB)$, 因此实际光线路径的光程 (APB) 与邻近可能路径的光程 (AQB) 相比是一个极大值。

从以上讨论我们还可以看到对于焦点为 A、B 的椭球面来说从焦点 A 发出经椭球面反射的光线一定要通过另一焦点 B。这是一个光程是常数的例子。

第四节 有关物和像的概念

光学仪器中很大部分是成像的仪器, 成像问题是我们要研究的主要问题, 现在介绍一些有关成像的基本概念。

一、物和像

如有一同心光束进入光学系统以后变换成另一同心光束从系统中射出,我们就说光学系统把物点成了像。点像是从光学系统中出射同心光束的交点。

如果从光学系统中出射的是会聚同心光束,那么,会聚点就是实像点,图 1-10a 中的 A_1' 和图 1-10b 中的 A_1' 都是实像点;如果从光学系统中出射的是发散同心光束,那么,发散同心光束向后延长的交点就是虚像点,图 1-10a 中的 A_2' 和图 1-10c 中的 A_1' 都是前一光组的虚像点。

物点是进入光学系统的同心光束的交点。

对于发散同心光束,它的出发点就是实物点,如图 1-10a 中的 A_1 点和 A_2 点, A_2 点是前一光学系统的实像,对后一光学系统它可看做为实物。如图 1-10c 中的 A_2 点,它是前一光学系统的虚像点,对后一光学系统可看做为实物;

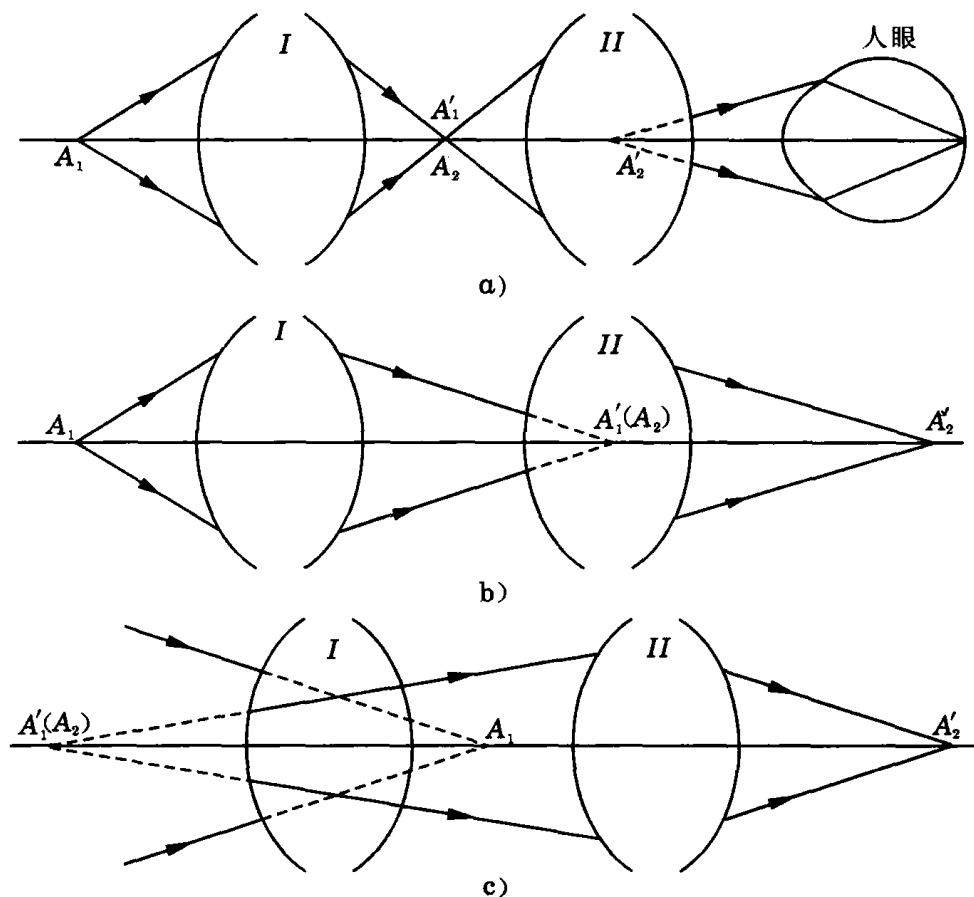


图 1-10 物和像

a) 实物成实像再成虚像 b) 虚物成实像 c) 虚物成虚像再以实物成实像

如果进入光学系统的是会聚同心光束,那么向前延长的交点就是虚物点。如图 1-10c 中的 A_1 点, A_1 点是前一光组(未画出)的实像点,对于后一光组是虚物点。在图 1-10b 中的 A_2 点, A_2 点是前一光学系统的实像点,对后一光学系统它就是虚物。

实物可以成实像,见 1-10a 中的前一光学系统;实物也可以成虚像,见图 1-10a 中

的后一光学系统;虚物可以成实像,见图 1-10b 中的后一光学系统;虚物也可以成虚像,见图 1-10c 中的前一光学系统。

实像可以用屏幕和胶片接收,见图 1-10b 中 A_2' ;虚像要用眼睛接收,见图 1-10a 中 A_2' ,或再用一个光学系统把虚像变成实像再由屏幕接收,见图 1-10c。

二、物空间和像空间

物空间有时也称为物方,像空间有时也称为像方。

从以上讨论可见,不管是实物还是虚物,总是由发散(实物)或会聚(虚物)的同心光束射入光学系统。不论是实物还是虚物,对于进入光学系统的实际光束(不是向前延伸的光束)存在的一方是物空间;同样,不论是实像还是虚像,从光学系统出射的实际光束(不是向后延伸的光束)存在的一方是像空间。

以单个折射球面为例,在图 1-11a 和图 1-11b 中,以折射球面为界,左边为实际入射光束存在的一方,是物空间,物方介质折射率为 n ;右边为实际出射光束存在的一方,是像空间,像方介质折射率为 n' 。而不能因为在图 1-11b 中的物是虚物,同心光束延伸到折射球面的右边 A 点处相交而认为物方介质折射率是 n' 。同样不能因为像是虚像,出射同心光束向后延伸到 A' 相交而认为像空间在折射球面的左边,而认为像方介质折射率是 n 。

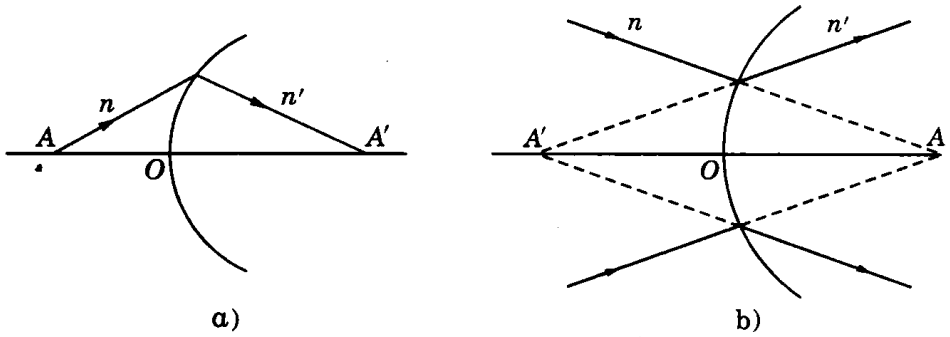
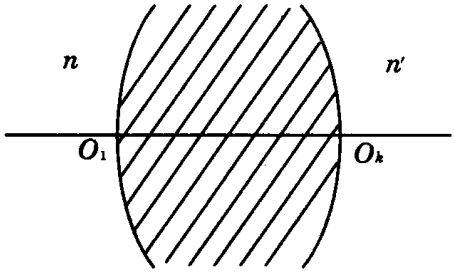


图 1-11 单个折射球面物空间和像空间

a) 实物成实像时的物像空间 b) 虚物成虚像时的物像空间

对于由多个折射球面组成的整个光学系统而言(图 1-12),当光线自左向右传播时



物空间是以第一个折射球面 O_1 为界,它的左边为物空间,物方介质折射率为 n ;像空间是以系统最后一个折射球面 O_k 为界,它的右边为像空间,像方介质的折射率为 n' 。因为,实际入射到整个光学系统的光束存在于 O_1 之左,从整个光学系统射出的实际光束存在于 O_k 之右。

凡是以成像为目的的光学系统,成像物体所在的空间决定了物空间,这是不能随便变换的。在图 1-13 中,成像的物点为 A ,它所在的空间(n)为物方,实像点在 A' ,它所在的空间(n')为像空间。如在光学系统左边放置一个光孔 P ,它肯定是一个实际发出光束的物体,不

能因为它的存在而认为 n' 空间也是物空间,而应该认为它处在光学系统的像空间。物空间和像空间是不同的两个空间,不能直接发生联系,只有将光孔通过光学系统成像,把处在像空间的光孔 P 转换到物空间去,才能与物点 A 直接联系。

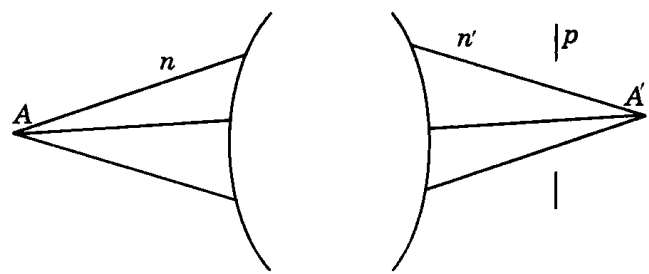


图 1-13 成像物体决定物像空间

三、物像之间的等光程性

一个发光点或实物点发出同心的光束,若经光学系统所成的像点是由发散或会聚同心光束相交而成,则称这个像点是完善像点,或者说由物点发出的球面波经光学系统以后的波面也是球面波,那么,我们说光学系统成了完善的像。这一对点就称为共轭点。如图 1-14 中的 A 、 A' 点就是一对共轭点。

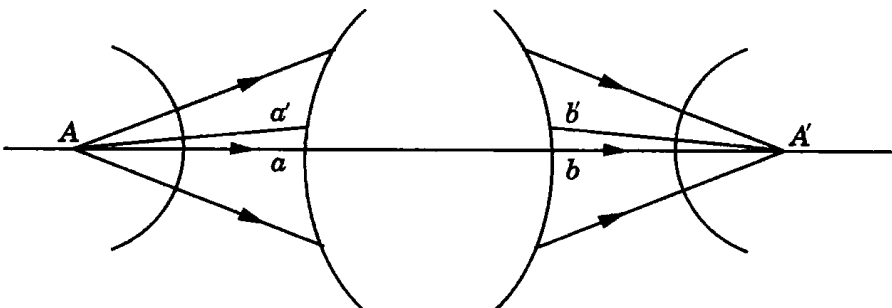


图 1-14 物点与完善像点之间的等光程性

由弗马原理可以得出一个重要结论:物点 A 和像点 A' 之间各光线的光程都相等,这便是物像之间的等光程性,这里所说的像点当然是完善像点。

在图 1-14 中,从物点 A 到完善像点 A' 之间某一实际路径 $AabA'$ 和它邻近光线路径 $Aa'b'A'$ 直至 A 点发出的整个光束内的光线经过光学系统以后都应该到达 A' 点,由弗马原理,这些光线实际路径的光程与其邻近可能的路径光程相比是极大值、极小值或常数。而这些连续分布的实际光线路径的光程不可能都会是极大值或极小值,只能是常数。因此,从物点 A 到完善像点 A' 之间任意一条光线的光程是常数。这就是物像之间的等光程性。

四、等光程面

下面我们利用物像之间等光程的原理,探讨一下成完善像的可能性。

如要求物点 A 成像到 A' 处,如能找到某一个曲面,它能使 A 点发出的光线经过该曲面的反射或折射后到达 A' 点的光程都相等,即能使 A 点经过该曲面反射或折射后成完善的 A' 像点,这样的曲面就称为等光程面。

(一)反射等光程面

1. 有限远物成像于有限远 A 经反射后成像于有限距离 A' 点,如果 M 为反射面上