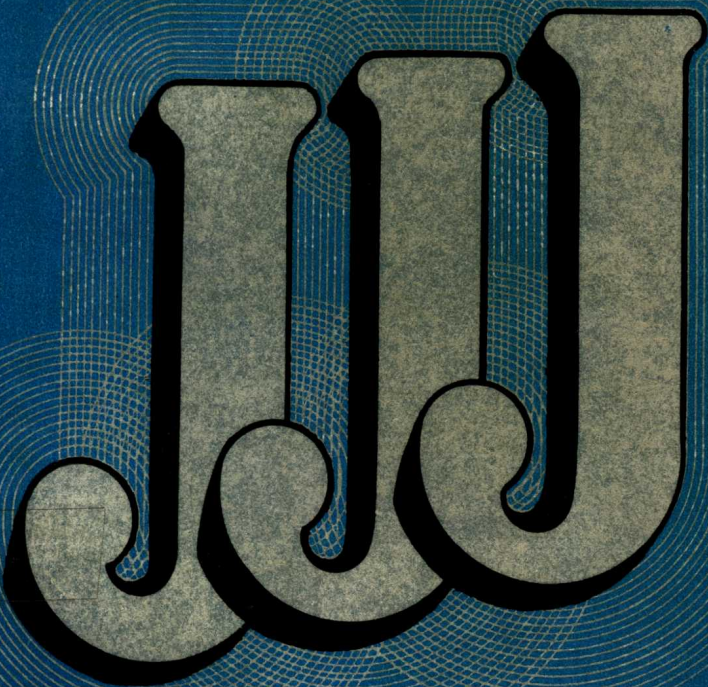


国家机械工业委员会统编

光学基础

机械工人技术理论培训教材

JIXIEGONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



43
R48

机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

光 学 基 础

国家机械工业委员会统编

机械工业出版社

本书共分七章，主要内容有几何光学原理，平面光学零件成象、球面光学系统成象、透镜象差、偏振光、相衬法的基本原理 光电效应等。

本书由国家机械工业委员会上海材料研究所刘长春、上海光学仪器研究所陆汉民编写。由国家机械工业委员会上海材料研究所李炯辉、上海第二光学仪器厂施良才审阅。

光 学 基 础

国家机械工业委员会统编

责任编辑：王斌 责任校对：丁丽丽

版式设计：乔玲

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $2^{3/4}$ · 字数 55 千字
1988年9月北京第一版·1988年9月北京第一次印刷

印数 00,001-15,000 · 定价：1.10元

ISBN 7-111-00828-X/TH·140

前 言

1981年，原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》，确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此，组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲（试行）》，编写了相应的教材，有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作，初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况，取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准（通用部分）》进行了全面修订，原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求，而且缺少高级部分；编写的教材，由于时间仓促、经验不足，在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此，原机械工业部根据新《标准》，重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》（初、中、高级），于1987年3月由国家机械工业委员会颁发，并根据培训计划、大纲的要求，编写了配套教材148种。

这套新教材的编写，体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神，坚持了文化课为技术基础课服务，技术基础课为专业课服务，专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上，力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力的培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

本教材适用于中级物理金相
实验工和中级工业化学分析工。

目 录

前言

绪论	1
第一章 几何光学概述	3
第一节 基本概念	3
第二节 基本定律	4
第三节 全反射现象	8
第四节 镜面反射与漫反射	10
复习题	10
第二章 平面成像	12
第一节 平面反射镜	12
第二节 反射棱镜及其展开	14
第三节 折射棱镜及其色散作用	15
第四节 光楔	17
第五节 平行平面玻璃板	18
第六节 滤光镜	20
复习题	21
第三章 球面成像	22
第一节 符号规则	22
第二节 单个折射球面的成像	24
第三节 折射球面的近轴成像公式	26
第四节 反射球面的物象关系	28
第五节 共轴球面系统的焦点、焦平面、主点和主平面	29
第六节 理想球面光学系统的图解求象	31
第七节 透镜成像公式	33

复习题	37
第四章 透镜及象差	38
第一节 透镜	38
第二节 透镜的分类及形状	40
第三节 薄透镜	41
第四节 透镜的象差	43
复习题	51
第五章 偏振光	52
第一节 光的偏振	52
第二节 由反射和折射产生的偏振	55
第三节 各向异性介质产生的偏振	58
第四节 偏光显微镜的原理	60
复习题	62
第六章 相衬法的基本原理	63
第一节 金属表面的一般性质	63
第二节 相衬显微镜及其原理	64
复习题	67
第七章 光电效应	68
第一节 光电转换的基本原理	68
第二节 常用光电转换器件	70
第三节 光电池	74
第四节 其他光电器件	78
复习题	79

绪 论

光学是一门有悠久历史的学科。人类在很早时候，就已记载了许多有关光的现象。早在我国先秦时代（公元前400年）的《墨经》里就对光在理论上作了比较完整的论述，论述了“影”的定义与产生光和影的关系、光传播的直线性及针孔成象实验等。可以说，《墨经》是世界上记录光学知识的最早书籍。

对光的本质的认识在17世纪就已形成两派不同的学说，一派是牛顿提出的微粒学说，另一派是惠更斯的弹性波动学说。由于当时受到条件的限制，都未能较全面地解释光的各种现象，后来，到1871年麦克斯韦提出了电磁波的学说和1905年爱因斯坦提出了光子学说之后，人们才逐渐认识到光的波动性和粒子性是相互并存的，并称之为光的波粒二象性。

光学作为一门学科，近代发展很快，如20世纪50年代的“傅里叶光学”为现代的光学信息处理、象质评价等奠定了基础。60年代“薄膜光学”的发展、激光的兴起、纤维光学及红外技术的发展等都使光学这门科学的发展向前迈进了一大步。而且在现代通讯、遥感测量、精密加工与测量、现代军事、信息处理、微电子技术等许多新的领域中发挥了极大的作用。

光学主要是研究光的本性、光的传播和接收的规律、光与物质的相互作用等。由于光学的内容十分丰富，为了便于

研究，一般把光学分为几何光学、物理光学、量子光学三个部分。几何光学是以光的直线传播为基础的，它研究光在两种不同介质的分界面上的反射和折射，研究光线通过由各种光学零件组成的光学系统时的成象原理及其应用。物理光学是根据光的波动学说，研究光的干涉、衍射、偏振、色散等现象及其应用的。量子光学则是根据光的微粒学说，研究光和物质相互作用时产生的光电效应、荧光、激光等现象及其实际应用的。

本书从实际需要出发，介绍了几何光学、物理光学和量子光学中的一部分内容，供从事物理金相实验室和化学分析实验室工作者学习和应用。

第一章 几何光学概述

第一节 基本概念

一、发光点

从物理的观点来看，光源是一个光的辐射体。当光源的尺寸大小与其辐射能的作用距离相比可忽略不计时，就称它为发光点。太阳、星体等，相对于地球上的观察者来说，都可认为是发光点。在几何光学里，把发光点视为一个既无体积又无大小的几何点。但在自然界，理想的点光源是不存在的。

二、光线

从发光点发出的光射向各个方向，如图1-1所示。表示光的传播方向的直线称为光线。从物理的观点来说，当某一光柱的截面面积与其长度相比可忽略不计时，把这种细长的光柱称之为光线。几何光学将这种概念加以抽象，认为光线是一条携带光能的几何线，它代表光的传播方向。

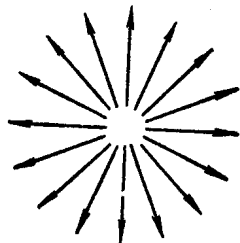


图1-1 点光源发出的光线

有一定关系的一些光线的集合，称为光束，如图1-2所示。位于均匀介质中的点光源，它所发出的光线波面是以发光点为球心的球面波，随着光的传播，横截面的面积越来越大，这种光束叫做发散光束（图1-2 a）；如果发出的光线是

三、光束

有一定关系的一些光线的集合，称为光束，如图1-2所示。位于均匀介质中的点光源，它所发出的光线波面是以发光点为球心的球面波，随着光的传播，横截面的面积越来越大，这种光束叫做发散光束（图1-2 a）；如果发出的光线是

互相平行的，则称它为平行光束（图1-2 b）；如果随着光线的传播，其横截面的面积越来越小，这种光束称为会聚光束（图1-2 c）；相交于同一点或由同一点发出的光束称为同心光束。发散光束和会聚光束均为同心光束。

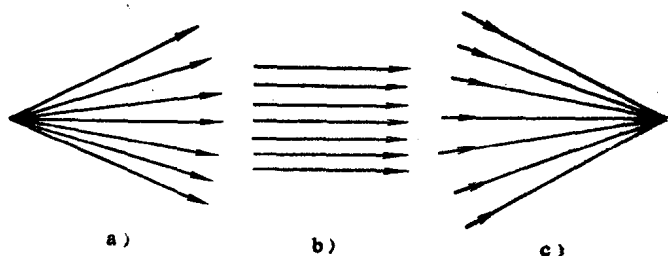


图1-2 光束

a) 发散光束 b) 平行光束 c) 会聚光束

几何光学主要研究光在各种介质中及界面上传播时所发生的反射或折射现象及其规律，研究光在经过各种物质所构成的光学零件时的成像原理。

第二节 基本定律

几何光学主要有以下几个基本定律。

一、光的直线传播定律

在各向同性的透明均匀介质中，光按直线传播。这就是光的直线传播定律。这一定律是大量宏观现象（如日蚀、月蚀、本影、半影等）的总结。可用图1-3所示的实验来验证光的直线传播定律。将三块都带有一个小孔的纸板按一定距离放置。然后用一束细光束（如激光或手电筒光）射向第一块纸板的小孔，如三个小孔不在一直线上，则在第三块纸板的小孔处就看不到光线。而只有当三个小孔在同一条直线上时

光线才能通过，可见，光在空气中是沿直线传播的。光的直线传播定律在很多精密的天文测量、大地测量、准直测量中得到应用，并能达到很高的精度。

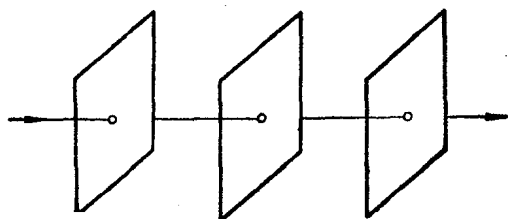


图1-3 光的直线传播

二、光的独立传播定律

不同的光线以不同的方向通过某一点时，彼此不发生影响，并仍按各自的传播方向前进，这就是光的独立传播定律。为了证明这一定律，可用图1-4所示的小孔成象实验来说明。当蜡烛的火焰 AB 经过小孔 O 后，便在屏幕上得到一个倒立的蜡烛火焰象 $A'B'$ 。A点的光线经小孔直线地射到 A' ，而B点的光经小孔直线地射到 B' ，它们并不因为同时经过一个小孔而改变自己的方向和光能分布。在日常生活中这种现象也常会发现，如夜间凡只探照灯的光束搜索同一目标时，尽管光束相交于一点，但还是按各自的方向射去。

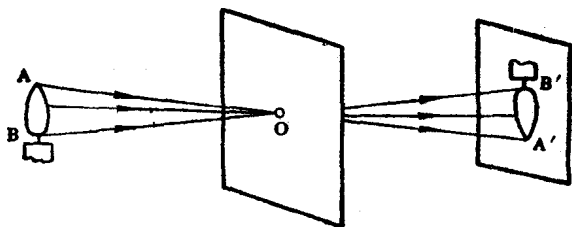


图1-4 小孔成象

三、光的折射和反射定律

当一束光射到两种透明介质的光滑分界面时，就被分成两部分，如图1-5所示。一部分光在分界面被反射回原介质，此光线称为反射光线。一部分光折入另一个介质，这部分光线称为折射光线。为了方便起见，我们把AO叫做入射光线，O点叫做入射点，通过O点并垂直于界面的直线ON叫做法线。BO叫做反射光线。OA'叫做折射光线。入射光线与法线的夹角*i*叫做入射角，反射光线与法线的夹角*i''*叫做反射角，折射光线与法线的夹角*i'*叫做折射角。

光在反射和折射过程中将遵守如下的规律：

1. 反射定律

①反射光线位于入射光线和法线所决定的平面内。

②反射角*i''*和入射角*i*的绝对值相等，可表示为*i''* = -*i*。式中的负号说明反射光线与入射光线分居法线的两侧。

2. 折射定律

①折射光线位于由入射光线和法线所决定的平面内。折射光线和入射光线分居法线的两侧。

②入射角的正弦和折射角的正弦之比值为一个常数，用下式表示

$$\frac{\sin i}{\sin i'} = \frac{n}{n'} \quad (1-1)$$

其中常数*n*和*n'*分别为第一介质和第二介质的绝对折射率

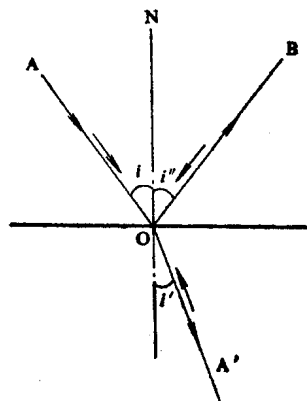


图1-5 光的反射和折射

(以下简称折射率)，它们定义为

$$\left. \begin{aligned} n &= \frac{c}{v_1} \\ n' &= \frac{c}{v_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

其中 c 为光在真空中的速度， v_1 和 v_2 分别为光在第一介质和第二介质中的速度。

光在真空中的绝对折射率定义为 1。经实验测定，空气的绝对折射率在标准大气压 101325 Pa、温度 20℃ 时为 1.00028，与真空的绝对折射率相差甚微，所以在实际应用时常把空气的折射率看作 1 来计算。

在光学中折射率小的介质称为光疏介质，折射率大的介质叫光密介质。光从光疏介质进入光密介质时，折射角小于入射角；与此相反，光从光密介质进入光疏介质时，折射角大于入射角。

在几何光学中除了上述四个基本定律外，还有光路可逆定律。如果光线沿折射的方向反过来入射至两介质的分界面，此时折射光线一定会沿着原来入射光线的方向射去，这说明折射光路是可逆的。同样，光线沿着反射光线向界面投射，那么反射光线将沿原入射光路射出，这说明反射时光路也是可逆的。因此，无论光线经过几次反射、折射，也不管它经过什么介质，光路都是可逆的，光的这种传播性质，叫做光路可逆定律。

光的直线传播定律、光的独立传播定律、光的反射定律、光的折射定律和光路可逆定律在几何光学中得到广泛的应用，在本书以后的章节里，它们将被用来解释各种物象关系及光学系统的成像原理。

第三节 全反射现象

全反射是光线传播的另一个重要现象，它是在某些特殊条件下产生的。如图1-6所示，由A点发出一光束射向两介质的分界面，设入射介质的折射率 n 大于折射介质的折射率 n' ，由折射定律 $n \sin i = n' \sin i'$ 可知， i' 大于 i 。若增大入射角 i ，则折射角 i' 也相应增大，当入射角 i 增大到某一数值 i_m 时，折射角 i' 为 90° 。此时折射光线将沿两介质的分界面掠射而出，而且 $n \sin i_m = n' \sin 90^\circ = n'$ 。这种情况下的入射角 i_m 称为临界角，它等于

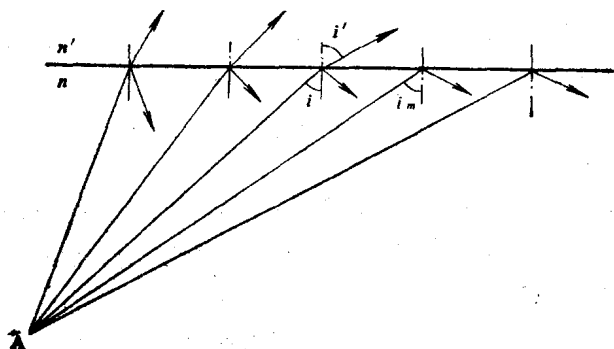


图1-6 全反射现象

$$\sin i_m = \frac{n'}{n} \quad (1-3)$$

若再增大入射角，使 i 大于 i_m ，则由式(1-1)可知 $\sin i'$ 将大于1，这显然是不可能的。此时，光线不再遵守折射定律了，其出射光线不再折射到光疏介质中，而全部反射到光密介质里，这种现象称之为全反射。

全反射现象只在下列条件下发生：

①光线从折射率大的介质射向折射率小的介质（即由光密介质射向光疏介质）；

②入射角大于临界角。

全反射现象在光学仪器中有着广泛的应用，例如用全反射棱镜代替平面反射镜，以减少光能的反射损失。又如光导纤维的应用。如图1-7所示，光导纤维由内外层折射率不同的玻璃制成，内层玻璃折射率 n 较高，是纤维的轴心，外层玻璃的折射率 n' 较低。设入射光线SA由折射率为 n_0 的介质射向内层玻璃的A端，经折射后射向玻璃的内壁B（图1-7 a），其入射角大于临界角时，就发生全反射。在临界状态时的入射角 i 定为 i_0 ，折射角 i' 定为 i'_0 ，由式（1-3）可得

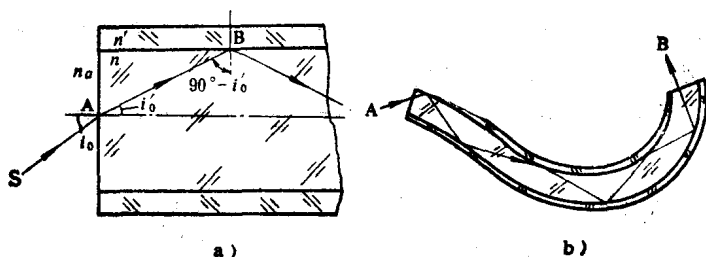


图1-7 光导纤维导光原理

a) 导光原理图 b) 全反射光线示意图

$$\sin(90^\circ - i'_0) = n'$$

因为 $n_0 \sin i_0 = n \sin i'_0$ 将此式代入上式整理后，可得

$$i_0 = \arcsin\left(\frac{1}{n_0} \sqrt{n^2 - n'^2}\right) \quad (1-4)$$

当入射光线的 i 角小于 i_0 角时，光线将在玻璃内壁不断的全反射并传播到另一端（图1-7 b），而大于 i_0 角的入射