



仪器仪表工人
技术培训教材

几 何 光 学

上 册

机械工业部仪器仪表工业局 统编

机械工业出版社

5
2

仪器仪表工人技术培训教材

几 何 光 学

上 册

机械工业部仪器仪表工业局 统编

机 械 工 业 出 版 社

本书是为光学仪器类各工种的教學需要而编写的。

全书共分上、下两册，本书为上册，内容包括：几何光学原理，全反射及其应用，近轴球面光学系统，透镜成像，薄透镜系统及眼睛和常用光学仪器简介等，每章末均附有复习题。

本书由南京电影机械厂主编，由王树森、陈友亮同志编写，杨植溪、杨广烈、孙家平同志审稿。

几 何 光 学

(上 册)

机械工业部仪器仪表工业局 统编

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第 117 号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $4^3/4$ · 字数 101 千字

1984 年 8 月北京第一版·1984 年 8 月北京第一次印刷

印数 00,001—6,200 · 定价 0.43 元

*

统一书号：15033·5652

前 言

贯彻中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对广大工人进行系统的技术培训，是智力开发的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地开展这项工作，教材是关键。有了教材才能统一教学内容；才能逐步建立起正规的工人技术教育体系，提高工人的技术素质，以适应四化建设的需要。为此，我们在全中国仪器仪表行业有关的重点企业中，组织了有长期从事技术、教育工作经验的工程技术人员和教师，编写了这套仪器仪表专业工种的初级、中级工人技术培训教材，共七大类四十六本。

这套教材编写的依据是原国家仪器仪表工业总局一九八一年颁发的《工人技术理论教学计划、教学大纲（仪器仪表专业工种初、中级部分）》。学员学完初级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到部颁《工人技术等级标准》中本工种三级以下的“应知”要求；学完中级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到本工种六级以下的“应知”要求。在教材编写过程中，注意了工人培训和仪器仪表行业的特点，力求做到既要理论联系生产实际，学以致用，又要循序渐进。考虑到工种工艺学的特殊性，避免不必要的重复，对工种工艺学初级、中级教材采用合一册或上、下册的形式。通过教学计划和大纲，体现初级、中级培训的阶段性和连续性。

这套教材的出版，得到了北京、天津、上海、江苏等省

IV

市仪表局、机械厅和有关企业、学校、研究单位的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

由于时间仓促，加上编写经验不足，教材中难免存在缺点和错误，我们恳切地希望同志们在使用中提出批评和指正，以便进一步修订。

机械工业部仪器仪表工业局

工人技术培训教材编审领导小组

一九八二年十二月

目 录

前 言

绪 论	1
第一章 几何光学原理	4
1-1 光的传播	4
1-2 光的反射定律	7
1-3 平面镜成象	9
1-4 旋转平面镜的性质	11
1-5 光的折射	14
1-6 折射率	18
1-7 折射棱镜与色散	20
第二章 全反射及其应用	27
2-1 全反射	27
2-2 折射计原理	29
2-3 光路的改变	30
2-4 光学纤维	43
第三章 近轴球面光学系统	45
3-1 单个球面的折射公式及符号规则	45
3-2 折射球面的近轴成象	50
3-3 光学系统的图解求象	73
第四章 透镜成象	79
4-1 透镜	79
4-2 透镜的分类	85
4-3 透镜成象	87

VI

4-4	薄透镜	89
4-5	透镜的象差	90
第五章	薄透镜系统	99
5-1	薄透镜组的图解求象方法	99
5-2	薄透镜组的组合计算	106
5-3	薄透镜系统的组合方法举例	113
第六章	眼睛和常用光学仪器简介	118
6-1	眼睛	118
6-2	放大镜	125
6-3	显微镜	128
6-4	望远镜	131
6-5	照相机	135
附录	部分习题答案	142

绪 论

光学的研究使人们对物质世界有了深刻的认识，人们虽然很早就积累了许多有关光的现象的知识，但对光的本性，却经历了“牛顿的微粒说，惠更斯的波动说，麦克斯韦的电磁说，爱因斯坦的光子说”这么一个漫长的认识过程。“光究竟是什么”？直到今天才认为它是既有波动性，又有微粒性的物质。光的这种波动和粒子相互并存的性质被称为光的二象性。目前，这种理论还处在不断发展之中。

光学主要研究光的发射、光的本性、光的传播和接收的规律、光与物质的相互作用以及它们在各方面的应用。由于光学的内容丰富，所涉范围很广，为了便于研究，一般把光学分为几何光学、物理光学和量子光学三大部分。物理光学是根据光的波动原理，研究光的干涉、衍射、偏振、色散等现象及其应用的。量子光学是根据光的微粒性，研究光和物质相互作用时产生的光电效应、荧光、磷光、激光等现象。几何光学是以光的直线传播为基础，讨论光的一些基本现象和光通过光学系统成象的原理及其应用的一门学科。

我们的祖先对于几何光学的理论研究和科学实验有着卓越贡献。

早在我国先秦时代（公元前 400 年），伟大的学者墨翟在他的《墨经》里对光的几何性质在理论上已作了比较完整的论述，《墨经》中有关光学的八条内容，分别叙述了“影”的定义与产生、光和“影”的关系、光传播的直线性及针孔

成像实验、光的反射性能、光和光源与“影”的关系、平面镜、凹球面镜、凸球面镜及其物象关系。因此，无论从时间上或是科学性方面来说，《墨经》都称得上是世界上记录光学知识的最早书籍，它比西方国家最早的光学著作欧几里德所著的《光学》早 100 多年，并且在理论上要科学得多，因此，《墨经》在光学史上有着非常重要的地位。

据《考工记》记载，远在我国周代，就已经会用凹面镜取火，记有“金锡半谓之鉴燧之齐”，即铜（金）和锡各半的合金（齐）所做的凹镜（鉴）可作取火的工具。到了公元前二世纪，《淮南子》一书中的“阳燧见日而燃为火”，把凹镜（阳燧）的取火作用说得更清楚。我国晋代张华所著的《博物志》中也有“削冰命圆，举以向日，以艾成其影，则得火”的论述。因此，至少在公元三世纪以前，我们的祖先就已经知道用透镜向日取火了，而西方国家直到公元十三世纪，才相传有个叫培根的人花了三年时间，用金属磨成一个凹面镜，在太阳光下取火，这比我国至少落后十几个世纪。

光学知识广泛应用于现代科学技术的各个方面，光学仪器已成为四化建设不可缺少的工具。例如，望远镜除了可作为日常生活和军事上的观察之外，还是大地测量中不可缺少的工具；显微镜可用来检查冶炼产品，检验精密机件，解剖生物和检查纤维，发现和鉴别细菌，检查农产品的病害等等；照相机可以从水下和陆上、地面和高空记录静态和动态的现场景物，还能拍摄物体内部的静态和动态状态以便保留、研究和测定瞬间景物的情况及其变化；干涉仪器可用来测定精密器件的表面光洁度、物体的平面度、煤矿中沼气含量，测量星体的视直径，并且可用氪86的橙红线的波长或激光的波长来测定标准米，各种各样的光栅光谱仪器是分析物

质分子结构的有效工具……。可见，光学在机械、冶金、燃料、半导体等工业和农业、大地测量、医药卫生、文化教育、科学研究以及国防军事等方面都有很重要的应用。

随着科学技术的不断发展，近代光学仪器往往是光、机、电结合在一起的仪器，它的使用范围还在不断地扩大，并且光学技术本身也在日益发展并趋于完善。这里特别需要提及的是，自本世纪六十年代激光问世以来，它为光学的研究和应用开拓了新的前景，使古老的光学换之以崭新的面貌并在各个科学技术领域中发挥着越来越大的作用。

第一章 几何光学原理

几何光学不考虑光的本性，它以光的直线传播性质为基础，研究光在透明介质中的传播问题。几何光学的基础，是从实际观察和直接实验得到的四个基本定律：光的直线传播定律；光的独立传播定律；光的反射定律和折射定律。本章主要学习光在传播过程中的这些基本规律。

1-1 光的传播

光给世界带来光明，使我们能看清周围的景物。在自然界和日常生活中，有许多发光的物体，如太阳、电灯、蜡烛等，这些能自己发光的物体叫做光源，或称为发光体。对于本身不发光的物体，例如月亮、房屋、树木等，在光源的照射下，由于能反射外来的光，我们同样可以看到它们。

为了讨论问题方便，首先介绍点光源和光束的概念。设想有这样一个发射光线的光源，它和几何点一样，只有几何位置而没有大小，这样的光源，我们称为点光源，或称为发光点。在自然界，理想的点光源是不存在的，因为它都有一定的大小。但是，对于均匀发光的小球体，如果它本身的大

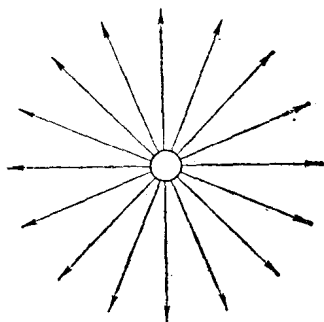


图1-1 点光源发出的光线

小和它到观察点的距离相比小得多，我们就可以近似地把它看作点光源。从点光源发出的光射向四面八方，表示光前进方向的直线称为光线。光线具有和几何线相同的性质，所不同的只是光线具有传播方向，如图 1-1 所示。

有一定关系的一些光线的集合，称为光束。光线互相平行的光束叫做平行光束（图 1-2a）；随着光的传播，横截面积越来越大的光束叫做发散光束（图 1-2b）；随着光的传播，横截面积越来越小的光束叫做会聚光束，又称收敛光束（图 1-2c）；相交于同一点或者由同一点发出的光束称为同心光束。发散光束和会聚光束都是同心光束。

几何光学研究光在介质中传播时发生的现象和规律，主要就是研究这些光线和光束的传播规律。

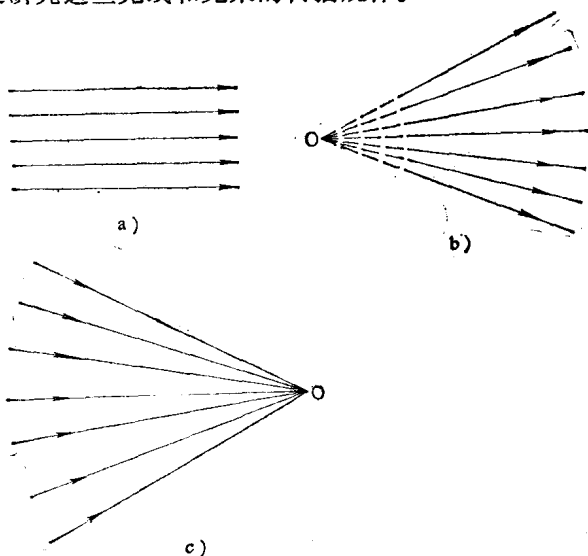


图1-2 光束的分类

a) 平行光束 b) 发散光束 c) 会聚光束

一、光的直线传播

先看图 1-3 所示的实验，用一根线依次穿过三块纸板的中心小孔，把线拉直使三个小孔在同一条直线上，按下 A 处的手电筒按钮，对着小孔照去，从 B 处可以看到通过小孔的光，如把纸板移动一下，使三个小孔不在一直线上，在 B 处就看不到光亮了，可见，光在空气中是沿直线传播的。

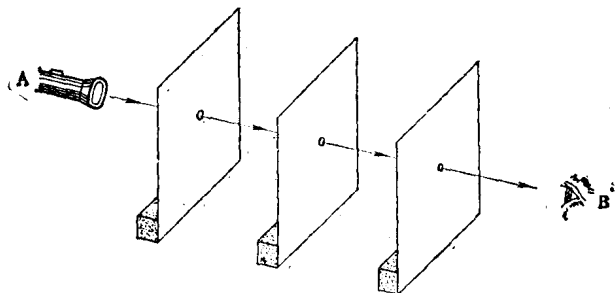


图1-3 光沿直线传播

空气、水、玻璃等物质都能传播光，这类物质称为透明介质。实验表明，光在均匀的透明介质中是沿着直线传播的。这就是光的直线传播定律。物体在光线的照射下能形成轮廓清晰的影子，日蚀、月蚀以及图1-4所示的小孔成象实验都是光直线传播的典型例子。

二、光的独立传播

图1-4是小孔成象的实验。蜡烛的火焰AB在经过屏 M 上的小孔 Q 后，便可在屏幕 P 上得到一个倒立的蜡烛火焰象 B'A'。其烛光尖端 A 沿直线传播至 A' 处，烛光尾部 B 沿直线传播至 B' 处，这两条光线在同时通过小孔 Q 时，仍然按各自的方向继续传播而互不影响。

实验表明，在均匀的介质中，两束不同的光以不同方向通过某点时，彼此互不干扰，各光束就好象其他光束不存

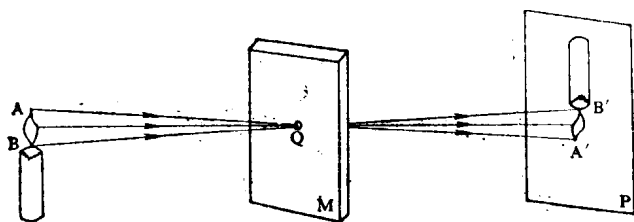


图1-4 小孔成像

在似地按各自的传播路线独立地传播，这叫作光的独立传播定律。在夜间，可以看到探照灯的巨大光束在天空交错，共同对准某一目标时，尽管光束相交于一点，但不影响各自本身的照射方向，这也是光的独立传播定律的例证。

1-2 光的反射定律

当光射到物体表面的时候，它的一部分将反射回去，这种现象称光的反射现象。图1-5是光的反射实验。把中间镶有平面镜的木板平放在桌上，使镜面朝上，并在其上垂立一块带有半圆形刻度盘的白色屏，这个屏是由两块矩形硬纸板 E、F 粘接起来的，并可绕它们的接缝 ON 向前折或向后折。使 E 和 F 置于图1-5a所示位置，即两者处于同一个平面内。此时如在 E 面上使光线 AO 沿屏面射到镜面上的 O 点，则在 F 面上就会看到有光线 OB 沿屏面射出。如果把 F 向前或向后折，如图 1-5b 所示，那就看不到反射出去的光线了。

我们把 AO 叫做入射光线，O 点叫做入射点，OB 叫做反射光线，通过 O 点并垂直于镜面的直线 ON 叫做法线。入射光线和法线的夹角 i （即 $\angle AON$ ）叫入射角，反射光线与法

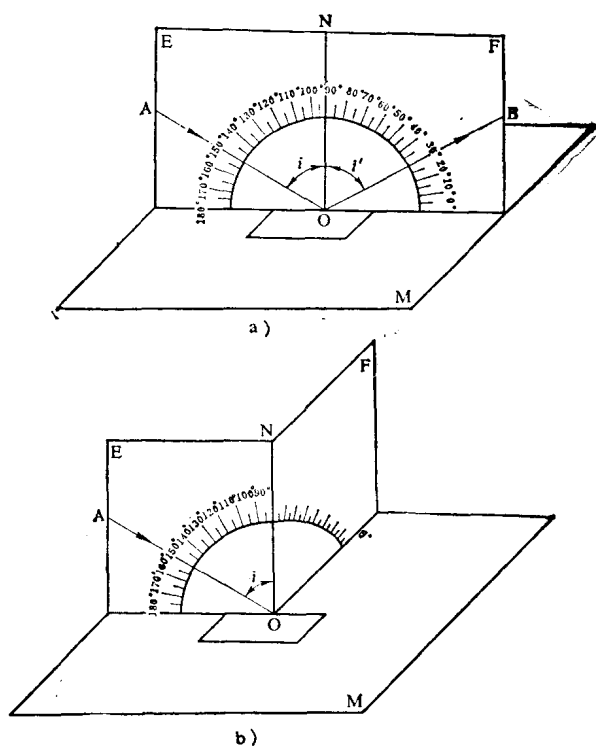


图1-5 光的反射实验

a) E、F在同一平面上 b) E、F不在同一平面上

线的夹角 i' (即 $\angle BON$) 叫做反射角。从以上实验可以看出, 反射光线 OB 在入射光线 AO 和法线 ON 所决定的平面内。如果使光线 AO 沿不同的方向入射, 观察反射光线 OB 的方向, 可以从刻度上看出, 入射角 i 总等于反射角 i' 。因此, 可以得出光的反射定律如下:

(1) 反射光线位于入射光线和法线所决定的平面内,

反射光线和入射光线分居法线两侧，

(2) 反射角等于入射角。

光的反射定律在光学仪器及日常生活中应用很广，平面反射镜就是光学仪器中常用的反射元件之一，它的作用是改变光线方向。

1-3 平面镜成像

日常生活中所用的镜子就是平面镜。在照镜子的时候，我们发现，平面镜所成的象既不放大，又不缩小，并且象是正立的，象和物的不同点只是左右相反，如果把手表放在镜前，就会发现顺时针走的秒针会逆时针旋转起来，说明平面镜成的象与物是左右相反的。

平面镜的成像原理可由图 1-6 加以说明，图中， S 为点光源或能反射外来光线的不发光点，称为物点。 S 到镜面的距离 SO 称为物距。由 S 发出的两条光线 SA 和 SB 被平面镜反射后分别沿 AE_1 和 BE_2 的方向进入我们的眼睛。光线虽然是从 S 点发出的，但经平面镜反射并改变了传播方向后到达人眼中，人的眼睛凭借光的直线传播的视觉经验，却觉得

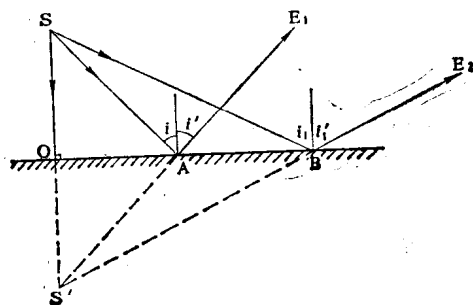


图1-6 平面镜成像

光线是从 AE_1 、 BE_2 的反向延长线的交点 S' 射来的。平面镜后的 S' 点就是物点 S 经平面镜成的象，称为象点。实际上，平面镜后面并不存在这样一个发光点，它是实际光线反向沿长线的交点，所以它是虚象点，象点到镜面的距离 $S'O$ 称为象距。

在图 1-6 中，物点 S 发出的光线射到平面镜上，根据反射定律，光线 SO 垂直于镜面入射，反射后沿原路射回，因此，这条反射光线的延长线 OS' 也垂直于镜面。入射光线 SA 的反射光线 AE_1 的反向延长线交直线 SS' 于 S' 点。可以证明，任意作一条入射光线 SB ，其反射光线 BE_2 的反向延长线也交 SS' 于 S' 点。

在直角 $\triangle SOA$ 与直角 $\triangle S'OA$ 中，根据反射定律 $\angle i = \angle i'$ ，可以证得： $\triangle SOA$ 全等于 $\triangle S'OA$ 。所以 $S'O = SO$ ，即象距等于物距，象和物对称于镜面。

图 1-7 表示物体 AB 和 CD 通过平面镜的成像情况。通过上述作图方法，可以找出物体 AB 和 CD 上每一点的对应象点。实际作图时，只要找出物体 AB 和 CD 上二个特殊点 A 、 B 与 C 、 D ，就可以确定它们的象 $A'B'$ 和 $C'D'$ 的位置了。

由图 1-7 还可看出，物体通过平面镜所成的虚象，与物体大小相等，对称于镜面。这是平面镜成像的性质。

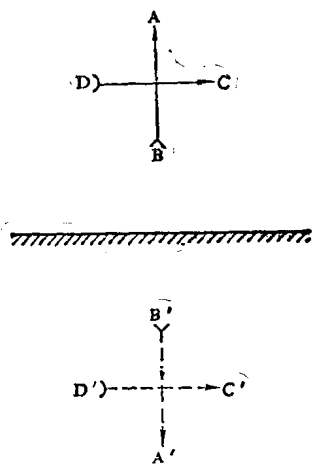


图1-7 平面镜成像性质示意图