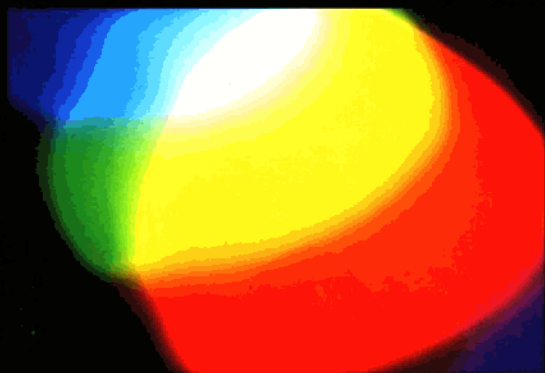


科学教育丛书

主编：郭永 赵仁

JIEKAIGUANGZHIMI

解开光之谜



编著：张子珍

兵器工业出版社

《科学教育丛书》编委会

主	编	郭	永	赵	仁	
编	委	张	丽春	张	子珍	杨
		袁	雯	郭	永	赵
						仁

总 序

科学教育,特别是自然科学教育,是提高人们素质的重要因素,是现代教育的一个核心。科学教育不仅使人获得生活和工作所需要的知识和技能,更重要的是使人获得科学的思想、科学的精神、科学的态度以及科学方法的熏陶,使人获得非生物本能的智慧,获得非与生俱来的灵魂。可以这样说,没有科学的“教育”,只是培养信仰,而不是教育;没有受过科学教育的人,只能称为受过训练,而非受过教育。而现阶段,我国的大学生接受“科学教育”方面非常薄弱,尤其作为未来教师的师范院校学生,知识面窄,文理交叉学科渗透不深,对当代科学研究的前沿了解甚少。诚然,当前科学技术的发展一日千里,人类的知识宝库正在快速地丰富扩展,把知识建成简明的逻辑体系,使学生能够比较快速地,而又系统地掌握前人已获得的知识,这是一种好的教学方法,是很必要的。但是不能把基本的科学思想和方法传授给青年人,则不能不令人感到这是教育工作的一种跛足现象,是不利于培养高师人材的。

由于历史原因,目前绝大部分的师范院校的学生是专业模式中培养的。而科学的发展对未来人才在知识结构的深度和广度上提出了更高的要求。知识结构单一、缺乏开拓性的学生在社会上是不受欢迎的。因此,在学校教育中,全面提高学生素质,培养学生的创造能力,已成为重中之重。特别是创造能力的培养,是未来素质教育的方向。

结合师范院校的特点,我们组织编写了这套《科学教育丛书》,作为师范院校学生进行科学教育的教材。这是一套有科学性、哲理性和趣味性的著作。各篇文章史料翔实,科学内容准确,观点鲜明,叙述生动流畅,对一些著名科学家的伟大发现作了精辟的分析,并注意介绍新思想、新概念诞生的历史背景和科学研究的基本方法。书中尽量减

少数学公式,力求在科学思想上给读者以有益的启迪。为社会培养善于总结、勇于开拓、知识结构宽广的高素质复合型人才。

在编写过程中,我们参阅了大量资料。引用了有关专家学者的相应论文,在此,向这些书籍、报刊、杂志的作者与出版单位表示诚挚的谢意。

因水平有限,书中难免有不妥之处,望广大读者和专家们批评指导。

编 者

2000 年 5 月

目 录

导言	(1)
第一章 中国古代光学的发展	(4)
第一节 墨家对光学的贡献	(4)
第二节 《梦溪笔谈》中的光学知识	(11)
第三节 赵友钦的光学实验	(14)
第二章 西欧和阿拉伯古代光学的成就	(18)
第一节 古希腊人对视觉的认识	(18)
第二节 古希腊人对光的反射和折射现象的研究	(19)
第三节 伊本·海赛木的光学与中国宋元光学之比较	(21)
第三章 几何光学的进展	(43)
第一节 望远镜与显微镜的发明	(43)
第二节 折射定律与费马原理	(52)
第三节 牛顿研究光的色散	(59)
第四节 歌德西贝克和歌德的《颜色论》	(66)
第五节 关于光的本性的争论	(78)
第四章 新的波动说的兴起	(87)
第一节 托马斯·杨(1773—1829)	(88)
第二节 菲涅耳(1788—1827)	(104)
第三节 光的横波的确证	(117)
第四节 光速与“以太漂零”的测定	(119)
第五节 麦克斯韦与光学	(123)
第六节 爱因斯坦的光子说	(124)
第五章 激光	(129)
第一节 激光器的“意外发明”	(129)

第二节 激光应用的发展	(140)
第三节 全息术是怎样发展起来的	(147)
附录 A 牛顿的科学方法和科学方法论	(155)
参考文献	(168)

导 言

在人的感觉器官中,听觉和视觉最灵敏,而接触到周围现象最多的还是视觉。古代人活动离不开太阳光,“日出而作,日没而息”。到发明用火之后,人开始利用其他许多人造光源,藉助于光的照明,观察物体的运动,从水面和镜面认识自己的面容。客观世界的形象就这样通过光而为视觉所感受。

现代科学研究表明,人所接受外界信息的 70%是通过光这个载体传输的。因此,对光现象的观察,对光的传播规律的研究,自然成为人类最早的科学研究活动之一。在此基础上发展起来的光学,是与力学差不多一样古老的物理学分支之一,它包括了 2000 多年人类积累的知识。

光学的发展过程,是人类认识客观世界的历史长河中一个重要的组成部分,是不断揭露矛盾和克服矛盾、从不完全和不确切的认识逐步走向较完善和较确切认识的过程。它的不少规律和理论是直接 from 生产实践中总结出来的,也有相当的发现来自长期的系统的科学实验。因此,生产实践和科学实验是推动光学发展的强大动力,为光学发展提供了丰富的源泉。

光学的发展为生产技术提供了许多精密、快速、生动的实验手段和重要的理论依据,而生产技术的发展,又反过来不断向光学提出许多要求解决的新课题,并为进一步深入研究光学准备了物质条件。因此,同其它自然科学一样,光学与生产实践的关系生动地体现了理论和实践的辩证关系。

从方法论上看,作为物理学的一个重要学科分支,光学研究的发展也完全符合如下的认识规律:在观察和实验的基础上,对物理现象进行分析、抽象和综合,进而提出假说,形成理论,并不断反复经受实

践的检验。例如围绕“光的本性是什么”的根本问题,古往今来,人们就是遵循着实验——假说——理论——实验这条道路曲折前进的。这样,一方面,正确的理论对实践具有指导作用;另一方面,理论通过实践又获得进一步的发展。

光学是一门古老的学科,同时又是现代科学领域中最活跃的前沿阵地之一。光学的发展大体经历了以下五个时期:

萌芽时期(古代1至6世纪)。在两千多年的漫长岁月中,除了对光的直线传播、反射和折射现象的观察和实验外,在生产和生活需要的推动下,到15世纪末16世纪初,已陆续出现了眼镜、透镜、面镜以及幻灯等光学元件。值得提出的是,我国古代的《墨经》、《淮南万毕术》、《梦溪笔谈》等古籍中,有关光学的记载在世界科学史上占有崇高的地位。

几何光学时期(17~18世纪)。这个时期是光学发展史上的一个转折。17世纪相继发明了望远镜与显微镜。1621年由斯涅尔提出了为今天所用的反射和折射定律,并由笛卡尔于1637年首次公诸于世。接着费马于1657年又得到了确定光在介质中传播的光程极值原理,即费马原理。

17世纪中叶,基本上奠定了几何光学的基础。到17世纪下半叶,牛顿和惠更斯等人把光的研究才真正引向进一步发展的道路。1665年牛顿发现了光的色散现象,使当时的颜色学摆脱了主观视觉的印象,而上升到与客观量度相联系的科学发展的道路。他还发现了另一惊人的现象——牛顿环,并最先认识了颜色和空气厚度的关系。为了从理论上解释光的反射、折射等现象,出现了光学史上以牛顿为代表的微粒说和以惠更斯为代表的波动说之争。但是,在这个时期牛顿的微粒说占据统治地位。

波动光学时期(19世纪)。19世纪初,人们发现光具有波动特征所表现的干涉、衍射和偏振等现象,同微粒说是不相容的。1800年到大约1835年,英国医生托马斯·杨和法国工程师菲涅尔复活了光的

波动说,开始了波动说的“英雄”时期。1845年以后,随着麦克斯韦电磁场理论的建立,才揭示了光和电磁现象的统一性,从而奠定了光的电磁理论的基础。

量子光学时期(19世纪末至20世纪中叶)。19世纪末20世纪初光学研究深入到光的发生、光和物质的相互作用的微观机构领域。随着黑体辐射、光电效应等一些新的现象的发现,波动理论又陷入了困境。当时,普朗克、爱因斯坦等人提出了量子理论,使人们对光的本性的认识又向前迈进了一大步。至此,光既具有波动性又具有微粒性(量子性),即光的二象性。在20世纪30年代,人们又发现了实物粒子的二象性。但光具有波粒二象性,对于这种辩证关系,现在尚缺乏清晰的物理图像。这正说明人们对光的本性的认识还没有达到理想的境界。

现代光学时期(20世纪中叶至现在)。本世纪60年代以来,由于光学同其他学科和技术领域的广泛结合和相互渗透,一度沉寂的光学又焕发了青春,正以前所未有的速度向前发展。它已经成为现代物理和现代科学技术的前沿阵地之一,同时又产生出许多新的分科来。自1960年梅曼(Maiman)首先成功地制成了红宝石激光器后,激光科学技术的发展突飞猛进。全息摄影、光纤通讯等新技术的出现,以及傅里叶光学、集成光学等新的科学的形成,展现出现代光学广阔的发展前景。现代光学同其他科学与技术的结合,将成为人们认识自然、改造自然以及提高社会生产力的强有力武器。

第一章 中国古代光学的 历史与发展

光学主要是研究光的本性,光的发射、传播和接收的规律,光和其他物质相互作用及其应用的一门学科。

在我国古代,很早就开始制作和应用光源,对视觉也有比较正确的认识,随着青铜制的平面镜和球面镜等简单光学仪器的发明与制造,更为我国古代光学的产生和发展准备了条件。对光的直线行进、光的反射等几何光学现象,不但认识甚早,而且有比较全面的阐述;各种古镜的研制工艺十分高超;对色散现象的研究,已有精辟的见解;沈括测定焦距方法之巧妙,赵友钦“小罅光景”实验规模之巨大,在科学史上都是罕见的。我国古代及其丰富的光学知识,对世界古代光学作出了重要贡献。

第一节 墨家对光学的贡献

《墨经》中有关光学的记载有八条,其中论针孔成像的一条,论投影的有四条;论镜像的有三条。以“经”与“说”的形式一一对应,言简意赅,在世界古代光学史上占有十分重要的地位。《说》是对于《经》文的解释、补充或引伸。

一、论针孔成像

公元前4世纪,墨家做了世界上最早的针孔成像实验,并且给予了正确的分析和解释。

经:“景到(倒),在午有端,与景长。说在端。”

说:“景。光之人,煦若射。下者之人也高;高者之人也下。足蔽

下光，故成景于上；首蔽上光，故成景于下。在远近有端与于光，故景库内也。”

此条经文，提出了对针孔成像的见解，认为小孔成倒像，是因为在光线交叉的地方有一点（“端”），所给出的像的大小，与这交点的位置有关。

经说中“照若射”，以“射”来描绘光线径直向前、疾速似箭、远及他处的特性，不仅生动、形象，而且相当准确。“在远近”既指人体所在位置的变化，也指屏上成像的变化。即为“端”所约束，光线通过小孔，人体位置由远而近，暗室内（库内）屏上的倒像由小变大，见图 1.1。

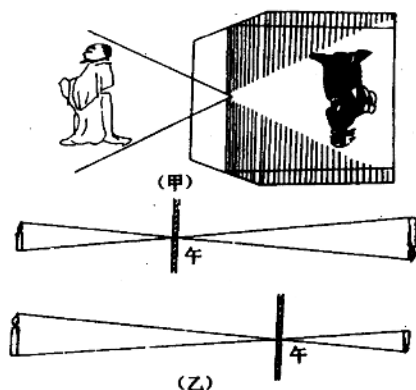


图 1.1 针孔成像

公元前 4 世纪的墨家在这里不仅首次十分明确地提出了光的直线传播概念，而且对小孔成像也同时作了成功的和比较细致的阐释。

二、论投影

墨家利用光的直线传播这一性质，讨论了光源、物体、投影三者

之间的关系。一般认为运动着的物体，它的投影也是随着物体一起移动的。墨家反对这种看法。

经：“景不徙，说在改为。”

说：“景空。光至，景亡。若在，尽古息。”

“景”在此条中指物之投影。墨家认为：影是不动的（“景不徙”），若影移，那是由于光源或物体的移动，使原影不断消逝，新影不断生成的原故（“说在改为”）。

这个观点，由《说》进一步作了阐明。投影之处，有光一照，影子就会消失。若影子存在（“若在”），表明物体不动，只要物体不动，影子就将始终止息于原处（“尽古息”）。墨家通过观察，深入细致地研究光的性质，正确解释了影动与影不动的原因。从而说明：物体移动时，前后各瞬间的影子连续不断地更新着，并且相应地变动着位置，看起来就觉得投影是随物体移动一样。墨家在这里已经用了“瞬时”的概念来分析物和影的变化，这种观点是极为可贵的。

墨家对本影和半影也作了正确的解释。

经：“景二，说在重。”

说：“景二，光夹。一，光一。光者，景也。”

一物有两种投影（本影和半影），是由于它同时受到两个光源重复照射的原故（“光夹”，“说在重”），一种投影（本影），只受一个光源的照射，见图 1.2。在这里墨家不仅概括出光源直接影响物体投影的状况，而且强调了光源与投影的联系（“光者，景也。”）。

与此相连的是，墨家还根据物和光源相对位置的变化，以及物与光源本身大小的不同来定影的大小及其变化。

经：“景之小大。说在斜正、远近。”

说：“木斜，景短大；木正，景长小。光小於木，则景大於木；光大於木，非独小也，远近。”

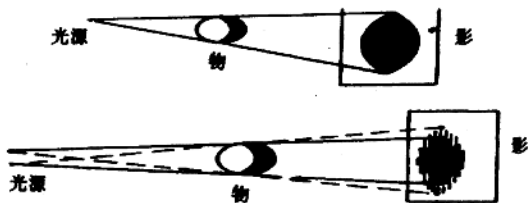


图 1.2 半影生成图

这就是说，杆影的长短、粗细，是由于木杆的放置相对光源有斜正、远近不同所致。木杆斜置，杆影就短些粗些；木杆与光线正交，杆影就长些细些。若光源形体小于木杆，则杆影恒比木杆大；光源形体大于木杆时，杆影并非一定比木杆小（“非独小也”），杆影的大小还随着木杆距离光源的远近而起变化见图 1.3。

三、平面镜论述

经：“景迎日。说在转。”

说：“景。日之光反烛人，则景在日与人之间。”

墨家在此条中描述了一种反射现象：人影投在迎向太阳的一面，是因为日光经过镜子的反射而转变了方向。人站在日与镜之间，日光经过镜子反射到人体上背向太阳的一面，则人的影子就投在日与人之间。这个实验的原理与月面灰光的成因非常相似。可以认为，镜子相当于大地，人体相当于月球，而背向太阳的半个人体表面就相当于“月魄”，那里只被反射光所照耀，见图 1.4。

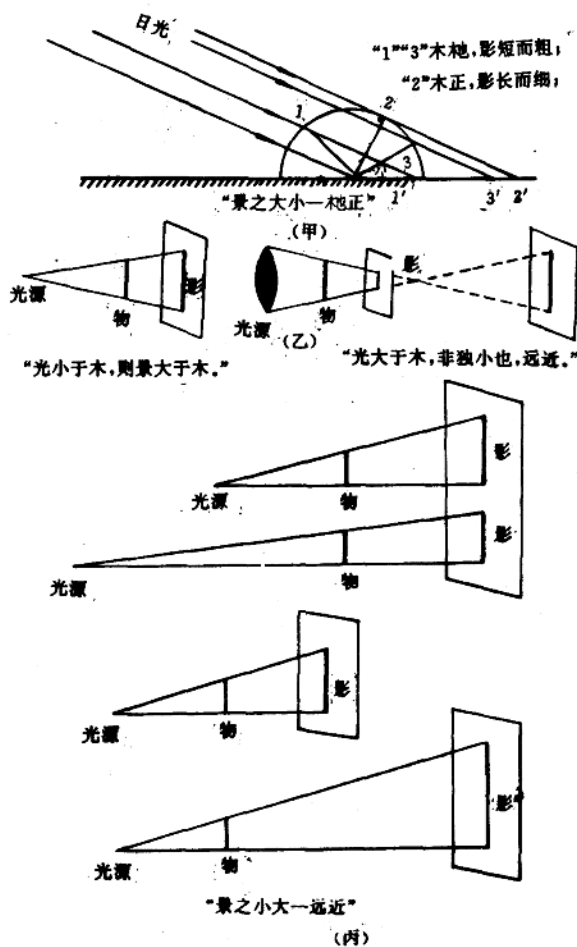


图 1.3 影大小的变化

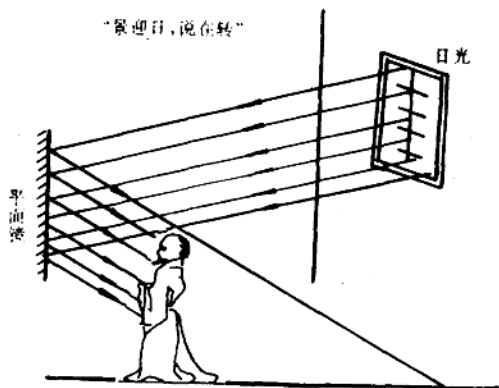


图 1.4 “月魄”实验示意图

四、论凹面镜

我国对于凹面镜聚焦特性的认识相当早，墨翟和他的学生对凹面镜所作的深入考察和明确记载就是十分突出的例子。

经：“鉴低，景一小而易，一大而正，说在中之外、内”。

说：“鉴。中之内：鉴者近中，则所鉴大，景亦大；远中，则所鉴小，景亦小；而必正。起于中缘（缝）正而长其直（置）也。中之外：鉴者近中，则所鉴大，景亦大；远中，则所鉴小，景亦小；而必易。合于中而长其直也。”

经文中的“低”即深、凹之意，“鉴低”就是指凹面镜，“中”指球心至焦点这一段。当物体在“中之外”即物体在球心以外，得到的是比物体小而倒立的像；当物体放在“中之内”，即焦点至镜面之间，得到的是比物体大而正立的像。

后期墨家为了说明经文，又通过反复试验，得到更明确的结论。从《经说》记载中可以看出后期墨家虽然也是分别就物体在“中”之

内、之外两种情况来说明凹面镜成像的，但对于凹面镜的物像关系的认识却前进了一步。

一种情况是物体放在“中之内”(即焦点之内)。墨家认为物体离焦点近些，则所照大些(“所鉴大”，拿现在的话来说就是视角大)，因此产生的像也大些；物体离焦点远些，则所照小些(“所鉴小”)，因此产生的像也要小些。在这种情况下，像必定都是正立的。就是说，物体从焦点开始移动(“起于中燧”)，正立着而往镜面方向挪远其位置(“正而长其置”)。值得我们注意的是在这一记载中，后期墨家已对焦点和球心作了区分，给焦点起了个专门名词，称为“中燧”，其意思是“火的中心点”。

另一种情况是物体放在“中之外”(即球心之外)。墨家认为物体离球心近些，则所照大些，产生的像也要大些；物体离球心远些，则所照小些，产生的像也要小些。在这种情况下，像都是倒立的。就是说物体在球心同自己的像重合之后，背着镜面挪远其位置(“合于中而长其置”)。后期墨家已经知道物体及其像是在球心处重合，这种观察是细致和周密的。

由于《墨经》作者当时是把观察者自身当作物体来进行实验的，对于物体在球心和焦点之间，成像于球心之外(即观察者身后)无所见，则是十分真实自然的。

五、论凸面镜

墨家对凸面镜也进行了研究。

经：“鉴团，景一。说在刑之大。”

说：“鉴。鉴者近，则所鉴大，景亦大；(同其)远，所鉴小，景亦小；而必正。景过正，故招。”

“鉴团”即凸面镜，也称团镜。“景一”指明凸面镜的成像只有一种。而“刑”(同“形”，指物体)总比像大。物体离镜近些，则所照显得大些；物体离镜远些，则所照显得小些，像也要小些。在这两种情况下，像都是正的。物体过远，像就模糊不清了。(“故招”。)

墨家的光学思想是十分惊人的。在《墨经》中对于成影；多个光源照射一个物体的成影；立木之影与立木的倾斜、距光源之远近、光源之大小等因素之间的关系；平面镜、凹面镜、凸面镜的成像等都有较精辟的阐述。墨家还作了小孔成倒像的实验观察。由于墨家牢牢把握了光是直线传播的这一先进物理思想，从而对小孔成倒像作出了科学的解释。在公元前4世纪就有这样的系统论述是令人叹为观止的。

《墨经》就系统而言，俨然是一部几何光学；就内容而言，是一部实验的记录。不论就写作的年代还是就对光学现象的科学记载，这部书都堪称世界最早的光学记录。

第二节 《梦溪笔谈》中的光学知识

沈括在《梦溪笔谈》中所阐述的光学知识甚为丰富。他不仅善于总结前人的科学成果，而且对光的直线传播、凹面镜成像、凸面镜的放大和缩小作用、透光镜的探讨、虹的研究等，根据亲身的观察和实验，都提出了自己的见解。

一、光的直线传播和焦距的测定

大量的观察事实，使人们认识到光是沿直线传播的。为了证明光的这一性质和给以形象化的解释，沈括做了如下的小孔成像实验。他先直接观察鸢儿在空中的飞动，看到地面上的影子也跟着鸢儿移动；影子移动的方向，是和鸢飞的方向一致的。然后在纸窗上开了一个小孔，使窗外飞鸢的影子，呈于室内的纸屏上。于是他用光的直线传播的道理，说明了“鸢东则影西，鸢西则影东。”光线穿过窗上小孔时，窗外的楼塔等物，所成的影子也是颠倒的。对此，沈括作了观察和记录：“窗隙中楼塔之影，中间为窗所束，亦皆倒垂。”

《梦溪笔谈》中还讲到了沈括的一个著名实验。将一指置于凹面镜前，观察成像情况，发现随着手指与镜面距离的远近移动，像也相