

中学生文库



ZHONGXUESHENG WENKU

光学中若干 容易混淆的问题

盛特杰 沈菁华 丁正直

上海教育出版社

写在前面

近年来,光学得到了很大的发展,光学在现代科技领域中的作用显得越来越大;涉及光学的许多问题和知识引起了广大中学生的兴趣和爱好,这使我们教育工作者感到无比欣慰。虽然,光学这一部分内容已有2000多年的历史,人们已掌握了大量有关光学的知识和规律(公元前4世纪我国“墨经”上对几何光学已有了较全面的记载),但是由于从开始起,光学就跟人们在日常生活中对周围自然现象的认识紧密相联系着,在自然科学尚处在萌芽状态的历史条件下,难免出现一些不确切的、甚至相当模糊的概念,和伴随着不少缺乏科学性的习惯用语;而且由于长时间的沿用,也往往造成了中学物理的教与学中的一些问题,特别是当前学生的知识面比较狭窄,供中学生阅读的书本上文字叙述又比较简单,对自然界中相似的光现象就无法明确它们之间的区别和联系。

针对上述情况我们编写了这本书,期望通过它能解决一些光学中容易混淆的问题,为此,适当地扩大了一些知识

面,显然,其中有些内容超越了目前中学物理教学的范围;在编写过程中我们也考虑到这一点,特别是微观上的分析仅作简单的介绍,因此只要求读者作一般性的了解,为今后进一步学习(包括自学)和工作创造条件,并不希望大家作深入地探索,以免影响正常的学习。

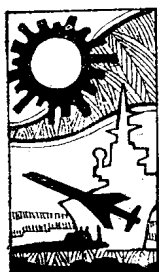
编写过程中虽然征求和听取了广大教师和同学的意见,但限于我们自己的理论水平和教学实践经验,在内容的深度和广度,叙述的科学性、文字的严谨性等问题上,一定存在许多不恰当和错误之处,衷心地期望大家予以指正。

编 者

1989年7月

目 录

一、光线和光波.....	1
二、小孔成像和小孔不成像.....	4
三、像和影.....	9
四、平面镜成虚像和平面镜 成实像.....	16
五、凹面镜和抛物面镜.....	19
六、透射率和折射率.....	26
七、光疏媒质、光密媒质和 媒质密度.....	31
八、镜面反射和全反射.....	35
九、会聚光束和透镜的会聚 作用 发散光束和透镜 的发散作用.....	42
十、球面镜的焦距和透镜的 焦距.....	46
十一、用透镜的一部分所成的	



像和部分光束经透镜所 成的像.....	53
十二、透镜横向放大率和光学 仪器放大率.....	56
十三、光学系统的像差和缺陷.....	65
十四、光的颜色和物体的颜色.....	70
十五、色散和散射.....	80
十六、双缝干涉产生的条纹和 单缝衍射产生的条纹.....	90
十七、自然界里存在的光和自 然光	101
十八、波动和粒子	103

一、光线和光波

中学物理所涉及的光学知识，主要分几何光学和物理光学两部分。前者是以光的直线传播为基础的，所以在研究小孔成像或面镜、透镜成像规律时，往往引进光线或光束的概念。

我们知道光实际上是一种电磁波，主要是指可用眼睛看得见的辐射。一个发光体就是电磁波的发射源，因而光在传播过程中应该是一种波动。

那末在描述光现象时应该引用“光线”这个概念还是“光波”这个概念呢？

发光体发射的电磁波向周围空间传播的情况如同投石于水面引起的振动使波浪向四周传播，某一瞬间波动传播所到达的位置称为波面，在均匀介质中，波动在各方向的传播速度相同，因此一个位于均匀介质中的点光源所发出的电磁波的波面，应该是一个以光源为中心的同心球面，所以如前所说，研究光的传播问题应该是一个波动的传播问题。

那末在什么情况下，光的电磁波动的本质可以用光线

的概念来加以描述呢?我们可以这样说,光在均匀介质中的直线传播现象,以及有关光的反射和折射现象中,在讨论成像问题时,当波面的线度或者说各种反射镜、棱镜等的横向尺寸远大于光的波长的情况下,用几何学的方法引进光线的概念加以研究则要方便得多。在这种情况下,光线就可看作代表波面在空间各处的传播方向。由于光波是横波,在空间各点上,光线和波面应严格垂直,换句话说,光线就是波面的法线,或者说波面就是所有光线的垂直曲面,如图 1-1 所示,所以光线仅是用来表示光能传播方向的几何线,它只是一种数学的抽象,用它能够帮助我们描述和理解光的行为。

由此可见,按光的本质来说,光和一般无线电波并无区别,所不同的是光波的波长比无线电波还要短,能被人眼所见的可见光的波长范围约为 3.9×10^{-7} 米 $\sim 7.7 \times 10^{-7}$ 米,所以用光波来叙述光应该更为确切,但利用发光点和光线的概念可以把光学中复杂的能量传播和光学成像问题归结为简单的几何运算和作图问题,从而使所要处理的问题大为简化,这就是引入光线概念的目的所在。

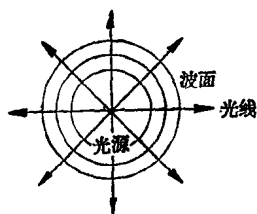


图 1-1

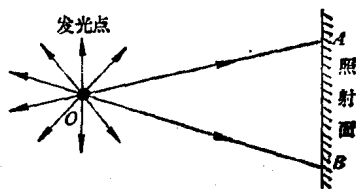


图 1-2

我们还知道发光点所发射的光是向四面八方传播的,但在讨论具体问题时,我们只取被照射面的一部分进行研究(图 1-2),这时我们所取的就是以发光点为顶点的圆锥形光束 OAB , OA 和 OB 是这个光束的边界(也可认为是光线),因此,我们也可以这样说,光束是由无数光线构成的。前面提到光的传播过程是能量的传播过程,而光的能量存在于光束之中。

至于光的亮暗,对于光源来说一般用发光强度来描述,描述被照面的亮暗,则通常用照度这个概念,所以用光线来描述光的亮暗是不恰当的。

总之,从能量角度看,光束的概念比光线更重要,而在作光路图时,光线则显得更为有用和方便。

二、小孔成像和小孔不成像

学过中学物理的人都知道，作为光的直线传播的典型例子就是小孔成像。我国古代哲学家墨翟和他的弟子就是世界上最早利用实验方法获得小孔成像的人。小孔所成的像上下倒置，左右交换，且针孔愈小，所成的像点也愈小、愈清晰，这足以证明光像射箭一样是直线行进的。

但人们作进一步实验发现，当小孔的直径小到 0.01 毫米时，所成的像又变得模糊不清，且光点的范围也越来越大，超出了直线传播所能达到的区域，这时小孔又不能成像了。上述现象说明，在同一种媒质中，光总是沿着直线传播的这句话是有一定条件的。下面让我们看几个具体的例子。

1. 太阳光在大气层中的传播

太阳光在进入地球大气层后，传播的路线并不是直的，而是一条连续的曲线，因此，我们平时所见的太阳并不是真正的太阳，而是太阳的像。旭日东升和夕阳西下时的太阳似乎有些“变形”就可以证明这一点。图 2-1 是太阳在大气层中传播路径的示意图。

仔细观察图 2-1 的示意图,你能明白:当我们看见太阳刚跳出地平线的时候,真正的太阳其实还在地平线的下面。在太阳落山的时候则恰好相反,也就是说,这时真正的太阳已在地平线以下,而我们看到的太阳还在地平线之上。

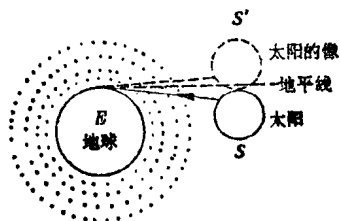


图 2-1

那末,为什么太阳光在大气层中传播的路径是弯曲的呢?人们很自然地会想到这是由于大气层分布不均匀所造成的。事实也确实如此,在地面附近的空气比较稠密,密度较大,越往高处空气越稀薄,密度就越小。例如,在 160 公里的高空中,空气的密度只有地面时的十亿分之一。如此不均匀分布的大气层使得不同高度处的大气层的光学性质不一样,用物理术语来说,太阳光在大气层中的传播实际上是由光疏媒质向光密媒质传播,于是就不断地发生折射,传播的路径便变弯了。

由此可见,光在同一种媒质里是直线传播的,必须强调这种媒质是均匀的。那末,光在均匀媒质中传播的路径一定是直的吗?也不尽然。让我们再来看下面的例子。

2. 奇异的双折射现象

早在十七世纪,丹麦的一位学者巴赛林那斯(Erasmus Batholinus 1625~1698 年)在研究冰洲石时发现,一束光经过冰洲石会分成两束,其中一束遵守折射定律,另一束不遵守折射定律。

在实验室中，我们能见到光的双折射现象。将一束足够细的光束，投射到有一定厚度的方解石晶体上，透过方解石，我们能看见两个光斑，这两个光斑意味着两束不同性质的光线。进一步研究表明，其中一束光完全遵守折射定律，这束光称为寻常光；而另一束光则与折射定律不符合，折射光线竟不在入射平面内，且入射角正弦和折射角正弦之比是一个与入射角有关的变量，这束光称为非常光。

用适当的方法，将两块方解石合在一起，我们发现光束在这两块方解石内不是直线传播的。这是什么原因呢？原来这些媒质和一般媒质的光学性质不一样，在不同方向上有不同的光学性质，这在物理学上称为各向异性。因此，光在同一种媒质中是直线传播的这句话，指的是光在各向同性的均匀媒质中是直线传播的。严格说来，均匀媒质不能仅仅认为是密度均匀的媒质，同时还应是各向同性的。

那末，光在密度均匀、各向同性的媒质中，是否一定是沿直线传播的呢？如本节一开始所说的，还有一种例外情况，即光通过直径足够小的孔时的情况。下面就来讨论这个问题。

3. 光通过细孔或狭缝时的行为

在小孔成像的实验中，如果我们用平行光射向一个直径为几毫米的小孔时，通过小孔在屏上可以得到一个清晰的圆形亮斑。如果我们在薄板上用针扎一个极小的孔（直径在0.1毫米以下），重复上面的实验，在屏上我们看到的却是黑白相间的同心圆。这个事实告诉我们，光在这种情况下

下又不是直线传播了。

如果我们将两支铅笔并起来做成狭缝，来观察光通过狭缝时的现象。当两支笔并得不太拢的时候，通过它去观察日光灯，见到的是细而长的光源。如果两支笔并得更紧些，使其间的狭缝宽度约为 0.1 毫米，你就会看到光源似乎展宽了，在平行于狭缝方向上扩展开来。这个事实同样说明光通过狭缝不是从一个方向而是从各个方向射入我们的眼睛，这时光不再沿着直线传播了。

前面我们谈到光波实际上是一种电磁波，作为波的重要特征就是干涉和衍射现象，上述现象就是一种衍射现象。我们知道，只有当障碍物或孔的尺寸与波长可以相比拟时，才会发生衍射现象。如前所说，可见光的波长是很短的，它的数量级为 10^{-7} 米，由于一般的障碍物或孔的尺寸远大于这个范围，我们就不易看到光的衍射现象。只有当孔很小或缝很窄时才会产生这种现象。

综上所述，光的直线传播对光的实际行为来说只有近似的意义，只有在各向同性的均匀媒质中，且研究对象的尺寸远大于光波波长时，才可以认为光的传播路径是直的。所以，在几何光学中所说的“光的直进”或“光线”等，只不过是一种近似的概念而已。

光的传播实际上是一种波的传播现象。在通常情况下，它的传播并不是直线，只有在某种特定的条件下，我们才可以近似地将光的传播看成是沿直线的。不仅如此，近代物理研究表明，一切物体在引力场附近时，都受引力的作用

而使它的运动轨道偏向引力源。光在引力场中传播时，也会发生类似的现象，一束通过太阳表面附近引力场的恒星的光就会有这种弯曲现象，尽管这种偏转角是极其微小的（一般以分而不是以度计算）。1919年爱丁顿领导的观测队，第一次定量地证实了光线是弯曲的。此后，几乎在所有可能进行日全食的观察时，各国天文学家都要做光线弯曲的实验。由此可见，建立在光的直线传播基础上的几何光学所能研究的范围是很有限的，不仅在观察小孔成像现象时要注意这一问题，而且在科学技术迅速发展的今天，必须要用建立在电磁场理论基础上的波动光学以及量子理论和相对论力学去解决复杂的光学问题。

三、像 和 影

我们知道,谈到像和影,总是离不开物的。在日常生活,我们往往能很正确地地区分出物、像和影,但从光学角度去进一步研究时,就会发现,这三者之间常常混淆。因为物、像和影都是客观世界在人脑中的反映,都是光线进入人眼所引起的感觉,那末如何从光学原理上去确切地表达并加以严格区分呢?

俗话说:“耳听为虚,眼见为实”,似乎眼睛看到的东西总是真实可靠的。学了光学知识之后就知道这种说法是不全面的,例如电影摄影机若以镜子里看到的東西作为摄影对象,在放映时你根本分不出屏幕上展现的是镜子里的像还是实际的物。可以这样说,如果你只站在一个位置上是不能区分看到的東西是物还是像,因为对于眼睛来说,总是以刚进入瞳孔时的这一光束的情况来作出判断的,并且总认为进入眼睛的光束是在眼的前方以直线进行传播的。图 3-1 是平面镜成像情况,在弧线 BO 所示的范围内对着镜子里看,我们认为在 A' 位置上有一个物点,其实 A' 点是物

点 A 的像, 在平面镜后则什么也没有。

从上面的叙述, 我们可以知道, 一束光是从物点还是从像点射出, 对于眼睛来说是无法区分的, 那末如何区分物点和像点呢?

所谓物点是指物体上的某一点, 它能向各个方向发光 (可以是它作为光源发出的光, 也可以是它被其他光源照射后漫反射的光), 因此从光束的角度来描述, 它应是发散光束的顶点。如果这些光束经过光学元件后改变了光路, 但改变了光路后的光束仍有一个顶点, 那末这个顶点就是像点。明白了物点和像点的关系, 我们就可以找出它们的区别了。首先从因果关系上来说, 像点是依赖于物点而存在的。其次, 像点的存在需要光学元件, 而光学元件的尺寸是有限的, 物点发出的光不可能全部通过像点, 因此观察像点就必须在某一个限定的范围内, 而物点一般就没有这种限制。图 3-2 中, P 是物点, 只要它周围不存在障碍物, 我们就可以在任何方向看到它, 而像点 P' 则是物点经凸透镜所成的像点, 它只能在 α 角的范围内被人们所看到。

在中学物理中, 我们还知道经过光学元件所成的像有

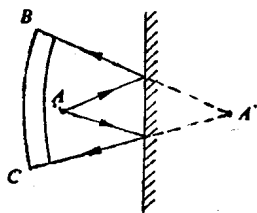


图 3-1

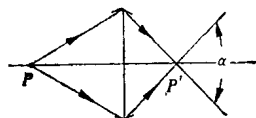


图 3-2

实像和虚像之分，而且往往把在屏幕上看到的像称之为实像，仅能从眼睛里看到而不能在屏幕上显示的像称为虚像。

首先要澄清的是实像是否只能在屏幕上看到的问题。

在做研究凸透镜成像规律的光学实验中，为了观察透镜所成实像的大小和正倒，我们常用毛玻璃片作光屏来加以观察。在讲到凸透镜应用的例子，如照相机、幻灯机的成像时，又总要讲到照相底片和幕布相当于光屏，光线在它们上面会聚成像。

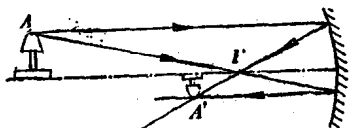


图 3-3

于是有人总认为要观察实

像只能通过光屏，甚至错误得出实像的定义是光屏上所成的像。其实，没有光屏也能观察到实像，例如有的魔术师表演子弹穿过灯泡的魔术，他可以在众目睽睽之下，用子弹穿过灯泡而灯泡竟会不碎。原来他利用凹面镜成实像的规律与观众开了个玩笑。其光路如图 3-3 所示。魔术师只要对准 A' 的位置开枪，我们看到的只能是子弹穿过灯泡而灯泡不碎的现象了。如果我们在 A' 处放上光屏，而且实像只能在光屏上看到的话，那么这种魔术也就变不成了。那末，为什么我们通常要用光屏来观察实像呢？因为实像是指实际的反射或折射光线会聚相交而成的像，它是由真实的光点汇集而成，但光线在会聚后要继续向前传播，也就是前面所说的只能在有限范围内人眼才能看到它，这对做实验来说，显然是不方便的。利用光屏之后，实际会聚的光线在光屏上发生了漫反射，观察就比较容易，且也能比较准确地测准

像的位置。电影院里用了幕布，不但坐在各个角度的人都能观看，而且看电影的人与放映机在屏幕同侧，可以大大节约电影院的造价。从光学角度来说，实像也被认为是经光学元件改变光路后（对于观察者来说）的会聚光束的顶点，它能用光屏来观察，可使照相底片感光，也可在屏幕上显示，而且在一定范围内也可被人眼直接所看到。

至于虚像就没有上述这些性质，虚像处并不是一个真实的发光体，只是人眼的感觉而已，因为虚像是光束经光学元件反射或折射后的反向延长线的交点，在成虚像处既不像实像那样真有光线通过，又不能用屏幕来加以显示，真可以说是一无所有。有人可能要问，既然是一无所有，怎么还能看到呢？这就需要讲讲人眼的作用。人眼本身就是一个光学系统，眼睛里的晶状体、水状液和玻璃体的共同作用相当于一个凸透镜，所以对于人眼来说，无论是物点还是像点，都只不过是进入瞳孔的发散光束的顶点，在发散光束进入眼睛经它折射后，在视网膜上会聚形成一个实像，刺激视神经引起了视觉，实像和虚像对于眼睛所引起的视觉并没有什么不同，因此，尽管在虚像处没有光线发出，但在眼睛的视网膜上仍有一个实像，使人们觉得光线是从虚像处发出的，真有点“眼见为虚”的味道了，但光屏只能显示实像而不能接受虚像，就是因为它不像眼睛那样使发散光会聚成像，这一区别必须搞清。

综上所述，实像和虚像都能被人眼所看到，它们都是光束的顶点，但它们的区别是：实像点是光束经光学元件反射