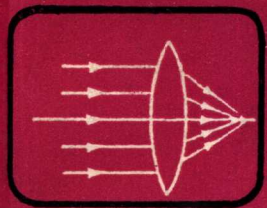


中学物理教学参考丛书



# 几何光学

7-1111111-1  
3.7  
X3333333

上海教育出版社

中学物理教学参考丛书

# 几 何 光 学

张 静 江

上海教育出版社

中学物理教学参考丛书

几何光学

张静江

上海教育出版社出版

(上海永福路123号)

新华书店上海发行所发行 上海崇明印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 4.5 字数 166,000

1980年3月第1版 1980年3月第1次印刷

印数 1—100,000 本

统一书号: 7150·2259 定价: 0.35 元

## 编者的话

本书是中学物理教学参考丛书之一，主要供中学物理教师参考。全套丛书共有二十本左右，将陆续出版。

《几何光学》的主要内容是阐述光在透明介质中和在两种介质交界面上的传播规律及其应用。全书共分五章：第一章阐述光的反射定律和面镜成象；第二章阐述光的折射定律、折射率和全反射；第三章讨论透镜成象规律、透镜成象的质量——象差、色差及其消除方法；第四章介绍几种常用的光学仪器；第五章分析有关几何光学的若干典型题目。书末附录中介绍我国古代对光学的贡献和三棱镜最小偏向角公式的推导等。

# 目 录

引 言	1
第一章 光的反射	5
一、反射定律	5
二、平面镜及其成象	6
三、球面镜及其成象	12
四、关于球面镜成象性质的讨论	22
第二章 光的折射	24
一、光的折射现象及其规律	24
二、棱镜的折射及色散	30
三、反射和折射的联系 全反射	34
第三章 透镜及其成象	40
一、透镜	40
二、薄透镜的成象公式	41
三、透镜的焦点、焦距和焦面	46
四、透镜的分类 光焦度	49
五、透镜的作图求象法	51
六、透镜成象的其它公式	53
七、关于透镜成象规律的讨论	57
八、透镜组成象	60
九、透镜成象的质量——象差	66
十、理想光组简介	72
第四章 常用光学仪器	80

一、眼睛和眼镜	80
二、放大镜	86
三、显微镜	88
四、望远镜	90
五、照相机	94
六、幻灯机	98
第五章 解题分析	103
第六章 习题	118
附录	126
一、我国古代对光学的贡献	126
二、三棱镜最小偏向角公式的推导	129
三、色散及光学材料	130
习题答案	135

## 引 言

光是最早引起人类注意的自然现象之一，但人类对光的认识却经历了一个相当长的过程。在原始阶段，人们曾将光和人的视觉混同起来，认为光是人眼发出的一种触须，闭上眼睛光就不存在了。这是一种唯心的观念。这种观念至今还保留在诗人的语言和儿童的心理中，如“目光闪烁”，“他的眼睛发出光芒”，以及孩子们在做游戏时怕被别人看见而捂上自己的眼睛等。对光的物质本性的认识是随着实践经验的积累，经历了一个长时间的辩证过程，而逐渐趋于完善的：由牛顿的微粒说，惠更斯的波动说，到麦克斯韦的电磁说，再发展到普朗克、爱因斯坦的光子说，这是一个实践、认识、再实践、再认识，不断地由低级阶段进入较高级阶段的发展过程。今天我们认识到光是客观存在于我们主观意识之外的物质，是一种波长较短的电磁波，它既有波动性，又有微粒性。

光学是研究光的传播规律、光与其它物质相互作用、光的本性及其在工农业生产中的应用的科学。光学的研究对于物理学的发展起着巨大的作用。各种各样的光学仪器在日常生活、工农业生产和科学研究中被广泛地应用着。如摄影和电影技术用的照相机、摄影机、放映机、放大机等；对产品进行精密测量和检验时要用到显微镜、投影仪和干涉仪等；钢铁冶炼、化工分析要用到光谱仪、分光光度计等；国防上经常用到望远镜、测距仪、潜望镜等。随着生产自动化程度的提高，常常需要把机、电、光几方面的机件配合起来使用，这是科学技

术发展的结果，也是科学技术进步的标志之一。特别需要提出的是，自从本世纪六十年代激光器问世以来，它为光学的研究和利用开拓了新的发展道路，使古老的光学以崭新的面貌在各个科学技术领域中发挥着越来越大的作用。掌握光学及其在各方面的最新成果是实现我国的四个现代化所必不可少的。

我们的祖先对光学的发展有过卓越的贡献。公元前四百多年我国的古书里就有关于光的传播规律和简单光学仪器的记载，许多光学的重大发现都在西方国家之前（参看本书附录一）。可是由于国内外反动势力的压迫和统治，我国古代的光辉成就没有得到应有的发展。解放前，光学工业奄奄一息，仅有一些修理业务。解放后，光学研究和光学工业有了极大的发展，但由于林彪、“四人帮”一伙的严重干扰和破坏，我国的光学事业也受到极大的摧残，目前还远远赶不上各方面的需要，和世界先进水平之间还有很大的差距。我们一定要急起直追，努力赶超世界先进水平。

几何光学是以光的直线传播为基础，探讨光在透明介质（即光在其中传播的物质）中和两种介质交界面上的传播规律及其应用的科学。下面介绍几个光学中常用的术语：

**光线** 我们知道电磁波在均匀介质中向各个方向的传播速度相同。所以，一个光源在均匀介质中以相同的速度向各个方向辐射光能。假如这个光源的体积是很小的，它形成的波面，就近似以光源为球心的同心球面。但在几何光学中，并不把注意力集中在波面上，而是放在与波面垂直的向各方辐射的几何线上，即光的传播方向上，并把这种代表光能传播方向的几何线称为光线，利用光线的概念可以说明许多光的传播现象。几何光学常又被称作“光线光学”。



**光束** 许多光线合在一起叫**光束**。自一点发出或收敛于一点的光束称为**同心光束**[波面是球面,参看图1(a)];互相平行的光线组成**平行光束**[波面是平面,参看图1(b)]。

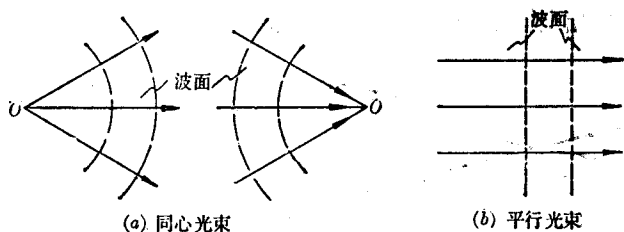


图 1

**光源** 一个发光的物体上面的每一点都可以认为是发出同心光束的点,称为**点光源**,许多点光源则构成**面光源**或**体光源**。光源发出的光线射入人的眼睛,使人看见物体。但有的物体本身发光,称为**发光体**,如太阳、电灯等;有的物体本身并不发光,须凭借外来光的照射方能看到它,称为**不发光体**,如月亮以及我们周围的许多物体。在漆黑的夜里,如果室内不点灯,我们将看不见周围的各种物体。

**光的直线传播** 光线的传播到底遵循什么规律呢?最基本的一条是光线在均匀介质中按直线传播,或者说在均匀介质中光线为一直线。自然界中的许多光学现象都可以用光的直线传播规律加以解释,如影的形成、小孔成象等。此外,木工的划线,射击时的瞄准,大地测量等都应用了光的直线进行的性质。

**光的独立传播** 在观察光的直线进行的许多现象中,还可以发现在几何光学范围内光的传播还有一个重要的特性——**独立性**,即个别光束的传播与是否有其它光束在这区

域内同时传播无关。两光线或光束相遇互不干扰。例如小孔成象时,由发光体一端发出的光线,并不因遇到另外一端发出的光线而受到干扰,仍然直线进行[图 2(a)]。又如甲乙二人可以分别看到窗外的物体 A 和 B,并不因二者发出的光线在窗隙处相交而受到影响[图 2(b)]。

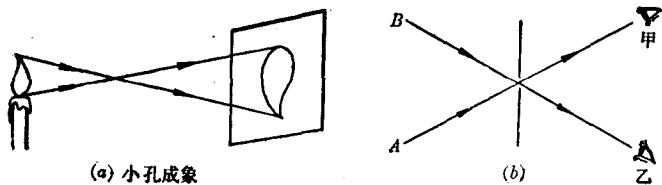


图 2

# 第一章 光的反射

光的直线传播和独立传播规律可以用来解释自然界中的许多光学现象，在工农业生产中也经常用到。但单凭这两条规律还不能解决光学仪器的原理和设计问题，还需要研究光从一种介质向另一种介质的传播问题。当在光的前进方向上遇到不同的介质时，一般地讲，光就要分为两部分，这两部分都要改变原来的传播方向，其中返回原来介质的称为反射光，进入第二种介质的称为折射光。我们先来研究反射光所遵循的规律。

## 一、反射定律

反射定律可以归纳为如下两条：(1) 反射光线在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的两侧；(2) 反射角等于入射角。此外，实验还证明，在反射现象中，光路是可逆的，如果光线逆着反射线入射，则反射线将逆着原来入射线的方向射出。

反射现象可分为两类：一类是理想的光滑平面，其法线只有一个方向，当光线以一定的方向入射到该平面时，反射光只有按反射定律规定的一个方向射出，这时如果观察者的眼睛接受不到这束反射光就感觉不到该反射面的存在。这样的反射叫镜反射，这种面叫镜面。最典型的镜面就是擦得很干净的镜子或玻璃表面。另一类是毛面，即粗糙不平的表面，它

好象是由很多小反射面组成，而这些小反射面的法线是向着各个方向、杂乱无章地排列着。如果入射光是一束平行光，反射光将不是一束平行光而是各个方向都有。这种反射称为漫反射，这种面叫漫射面。一张粗糙的白纸或毛玻璃就是漫射面。即使只有一束光从一个方向入射到它们上面，因为反射光四面八方都有，所以无论从哪个方向看去，都能感觉到它们的存在。

实际上绝对的漫反射和镜反射都是不存在的，因为反射面只是表面光滑和毛糙的程度不同罢了。不发光物体的表面不可能绝对光滑，或多或少都有些漫反射作用，这就是我们之所以能看见本身不发光的物体的原因。

## 二、平面镜及其成象

### (一) 平面镜

各种反射镜都是利用光的反射特性的光学元件。为了提高反射能力，常在反射面上镀一层反光物质，如银、铝、铬等，这样可使入射光的百分之九十以上被反射。

平面镜是最简单的一种反射镜。它的应用却很广泛。精密的悬丝电流计常将一个小反射镜粘附在悬丝上，利用光在小镜上的反射，能够提高读数的精确度。它的原理如下：

设光线垂直地射到平面镜  $M$  上(图 1-1)，反射光线将沿原方向  $OP$  返回。现在使平面镜以  $O$  为轴转动一个角度  $\alpha$ ，转到  $OM'$  的位置，入射线方向不变。此时，对于  $OM'$  位置的镜面，入射角为  $\alpha$ 。根据反射定律，反射角亦为  $\alpha$ ，所以反射线  $OP'$  与入射线  $OP$  之间的夹角为  $2\alpha$ ，即  $OP'$  相对于平面镜未

转动时的反射线  $OP$  转过  $2\alpha$  角。这样,当小镜粘附在电流计线圈的悬丝上时,电流的变化引起线圈的转动,带着小镜转过一个角度  $\alpha$ ,反射光则将扫过  $2\alpha$  角。将反射光线投射到标尺上,如果标尺放得足够的远,则线圈的微小转动也能引起反射光线在标尺上很大的位移(图 1-2)。所以附有悬镜的光点检流计可以从光点在标尺上的位移读出微小的电流数值。

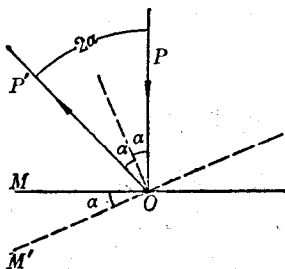


图 1-1

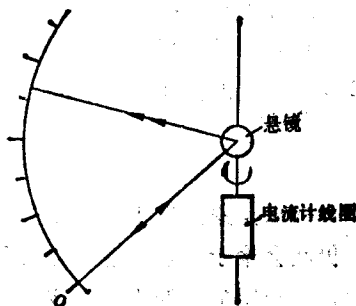


图 1-2

光杠杆也是利用小镜转动来进行精确测量的。图 1-3 所示的是利用光杠杆来测量工件厚度的一种装置。工作台上放着已知厚度的标准件  $B$  (块规) 时,测杆  $R$  将小镜  $M$  支承在位置  $OM$ , 此时垂直入射到镜面上的光线将沿原路返回。当工作台上换上待测厚度的工件时,如果此工件比  $B$  厚些,它将通过  $R$  将小镜绕轴点  $O$  转过角度  $\alpha$ , 到位置  $OM'$ , 此时反射光转过角度  $2\alpha$ 。在标尺上扫过一段距离  $t$ , 设工件与  $B$  的厚度差为  $h$ , 则

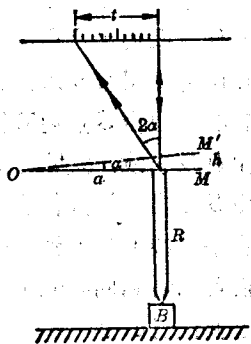


图 1-3

$$h = atg\alpha \approx a \cdot \alpha。$$

又有

$$t = F \cdot \operatorname{tg} 2\alpha \approx F \cdot 2\alpha。$$

$$\therefore \frac{h}{t} = \frac{a}{2F}。$$

$F$  和  $a$  在光杠杆装置中都是可测的, 所以读出  $t$  后, 就可以从上式算出  $h$  值, 从而得出待测工件与标准件的厚度差。

这种光杠杆的原理可用在测量水平或微小震动的装置上。它们都是利用小镜转过  $\alpha$  角, 反射光线转过  $2\alpha$  角来测知高度或厚度的微小变化。

## (二) 平面镜成象及其应用

什么是象? 发光点发出的同心光束经过一系列光学元件后仍然会聚于一点, 这一点就称为发光点的象。发光点则称为物。一定形状的物应对应有相似形状的象。假如对应一物点没有象点, 或对应一物没有相似形状的象, 我们就说没有成象, 或者说发生了象散现象。各种光学元件组成的光学仪器都是为了根据不同的要求获得物体的理想的象。

平面镜是可以得到物体的理想的象的一种最简单的光学元件。我们平常用的镜子就是平面镜。根据反射定律, 利用作图方法很容易求出物体上某一点  $S$  在平面镜中的象 (图 1-4)。取由  $S$  点射到镜面上的任意两条光线, 按反射定律作出其反射线, 这两条反射线的延长线相交于  $S'$  点。可以证明由  $S$  发出的另外任意一条光线经平面镜反射后也交于  $S'$  (垂直平分线上各点到两端等远),  $S'$  点即为  $S$  点的象。在这里我们可以看到同心光束经平面镜反射后仍保持为同心光束。不过要注意的是, 经平面镜反射后的反射光线是发散的,  $S'$  不是实际光线的交点而是实际光线延长线的交点。这样的象我们

称为虚象。实际光线会聚而成的象则称为实象。实象可以映在屏幕上，虚象虽然可以看见但它不能象实象那样在屏幕上显示出来；虚象实际上是经过眼睛的会聚作用将它转变为网膜上的实象而被我们感觉到的。

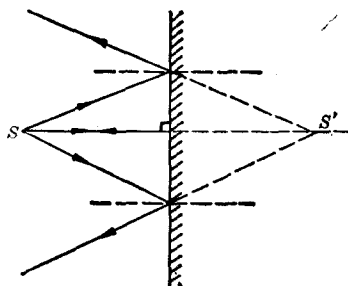


图 1-4

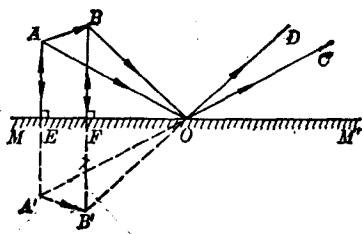


图 1-5

下面我们讨论一下平面镜的物与象之间的关系。

如图 1-5 所示，有一平面镜  $MM'$ ，一物体  $AB$  置于镜前。自  $A$  点发出两束光  $AE$  和  $AO$ ， $AE \perp MM'$ ， $AE$  的反射线  $EA$  沿原入射线方向返回。 $AO$  的反射线为  $OC$ ，反射线  $EA$  和  $OC$  的逆着光线进行方向的延长线相交于  $A'$  点， $A'$  即为  $A$  的虚象。用同样办法可以找到  $B$  的虚象  $B'$ 。

利用反射定律可以证明  $\triangle AOE \cong \triangle A'OE$ ，由此可得  $AE = EA'$ 。这说明物  $AB$  中  $A$  点到镜面的距离与虚象  $A'B'$  中  $A'$  点到镜面的距离是相等的。同样可以证明  $\triangle BOF \cong \triangle B'OF$ ，则  $BF = FB'$ 。可见物  $AB$  中每一点至镜面的距离与虚象中各对应点至镜面的距离相等。所以我们说物与象对于平面镜的镜面对称的。

还可证明  $\triangle ABO \cong \triangle A'B'O$ ，则  $AB = A'B'$ ，这说明象的大小与物的大小相等。这种情况我们称为放大率等于 1。

平面镜可以改变光束前进的方向。利用一个或几个平面镜的不同组合可以得到适合各种不同需要的改变光路的装置。最早的潜望镜就是由两块平面镜组合而成(图 1-6)。

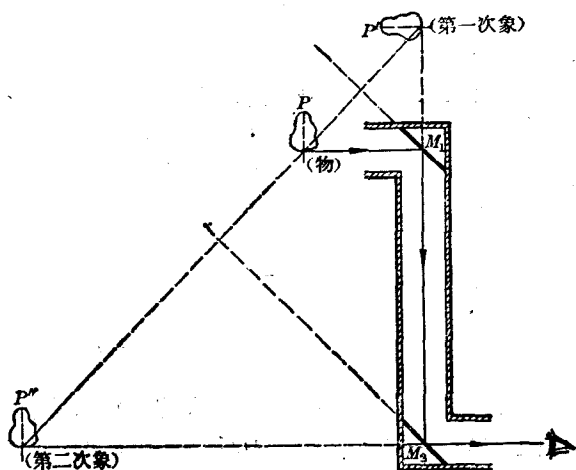


图 1-6 潜望镜原理图

归纳起来,平面镜成象有以下几个特点:

1. 成理想的象——光束保持同心性。
2. 成虚象——象不是实际光线会聚而成,而是实际光线的反方向延长线会聚而成。
3. 物象对称——物和象到镜面的距离相等,物和象等大。

仔细观察平面镜所成的象就会发现象和物对称,上下并不颠倒,但左右却调换了(根据平面镜成象的特点很容易证明这一点,参看图 1-7)。若再经过第二个平面镜,左右再对调一次,所成的象就和物体完全相向了(参看潜望镜原理图)。



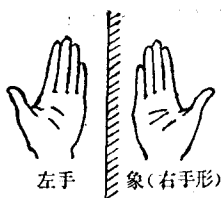


图 1-7

所以对于左右不对称的物体，要求象和它完全相同就需要采用偶数个的平面镜。教学用的透射、反射式两用幻灯机，在用反射式光路放映时，虽然只用一个平面反射镜，但因为幻灯是投影到屏幕上再反射出来被我们看到，

这样经过一次平面镜反射形成的反象就又正过来了，所以我们看到的图片和原物是一样的。

[例 1] 太阳的仰角（太阳到观察点的连线与地平面间的夹角）是  $40^\circ$  时，要利用太阳光照亮井底，问平面镜与水平方向应成多大的角度？

[解] 按题意作图 1-8，可见要使仰角是  $40^\circ$  的太阳光垂直射入井底，入射角和反射角之和应为  $40^\circ + 90^\circ = 130^\circ$ 。按反射定律：入射角 = 反射角 =  $65^\circ$ 。由图可知，平面镜应与水平方向成  $40^\circ + 25^\circ = 65^\circ$  角。

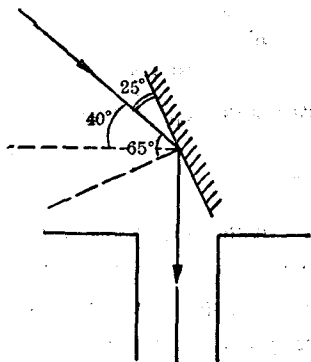


图 1-8

[例 2] 一人身高 1.8 米。设他的眼睛在头顶下方 10 厘米处。如果此人能够从铅直的平面镜中看见自己的全身，这个平面镜至少应有多高？如何放置？

[解] 一人能看见自己的全身，即要求从头顶到脚尖发出的光（当然是反射其它发光体的光）经镜面反射后能进入自己的眼睛。设  $AB$  代表人高， $E$  为人眼所在处。要求由  $A$  发出的光线经镜的上端  $M$  反射后到达  $E$  处；由  $B$  发出的光线经镜的下端  $N$  反射后到达  $E$  处（参看图 1-9）。分别由  $M$ 、 $N$  作  $AB$  的垂线，交  $AB$  于  $C$  和  $D$ 。 $CM$  与  $DN$  即为镜子两端的法线。由反射定律及几何关系可见