

名师解惑丛书



责任编辑\韩义华

装帧设计\革 丽\戚晓东

2705-4/G · 2483

90 元

名师解惑丛书

光的传播

任守乐 编著

山东教育出版社

1999年·济南

名师解惑丛书
光的传播

任守乐 编著

出版发行：山东教育出版社
地 址：济南市纬一路 321 号

出版日期：1998 年 9 月第 1 版
1999 年 5 月第 2 次印刷

印 数：5001- 7000
用纸规格：787 毫米×1092 毫米 32 开
5.375 印张 110 千字

制版印刷：山东新华印刷厂临沂厂

书 号：ISBN 7—5328—2705—4/G·2483
定 价：4.00 元

出版说明

古之学者必有师。师者，所以传道受业解惑也。有感于此，组织部分长年在一线执教、经验丰富的著名教师，以专题讲座形式编辑出版一套限于中学理科知识框架内，源于教材但有些内容又略高于教材的，高级中学数学、物理学、化学“名师解惑丛书”是我们多年的想法和愿望。

两年多来，山东教育出版社理科编辑室经过广泛的调研，以及与部分学生和老师们的座谈，我们的初衷不断得到升华，并与作者就丛书的特色取得如下共识：

每册书即为一个专题讲座，其内容由若干教学过程中反映出的疑难知识点组成，通过对典型例题的分析，剖析疑难知识点，帮助学生理清思路，进而达到融会贯通的目的。

每册书通过对知识的综合，帮助学生将过去所学的知识按专题进行系统的归纳和总结；通过适当介绍一些学科知识自身发展的逻辑规律，给学生有关学科思想方法方面的启迪。

总之，这套丛书企盼达到启迪思维、拓宽知识、培养兴趣的目的，以提高学生分析问题和解决问题的能力。

前 言

光学是研究光的传播、光的本性和光与物质相互作用的科学。因此，光学通常分为几何光学、物理光学、量子光学三大部分。

为便于高中学生阅读，本书内容仅限于几何光学的部分知识，但注重帮助同学们总结归纳其基本的规律和特点，了解，进而掌握学习这部分知识所需的物理学思想和方法。为此，本书首先讲述了研究光的传播规律时经常遇到的光源、光线等基本概念。然后，依据光的直线传播规律、光路的可逆性原理，讲述了光的反射定律、光的折射定律及其广泛应用。在此基础上，又讲述了透镜成像的规律及常用光学仪器的原理。

本书在阐述知识的同时，还列举了一些典型例题，同学们可通过研读例题，构筑解题思路、掌握解题技巧；练习题是为巩固所学知识和方法而精选的，同学们亦可在掌握所学知识后选做一些。

编者

目 录

引言.....	(1)
---------	-----

一、光的反射

(一) 光的反射定律	(4)
(二) 平面镜成像的规律	(5)
(三) 球面镜及其成像规律	(7)
1. 球面镜及其近轴条件	(7)
2. 球面镜的焦点和焦距	(8)
3. 凹面镜的作图求像法	(9)
4. 凹面镜成像的物像公式	(10)
5. 凹面镜成像的规律	(12)
6. 凸面镜成像的规律	(13)

二、光的折射

(一) 光的折射现象和折射定律.....	(23)
(二) 全反射.....	(28)
(三) 棱镜.....	(31)
1. 利用棱镜改变光的传播方向	(31)
2. 棱镜的分光作用	(33)

三、透镜及其成像

(一) 透镜.....	(43)
-------------	------

1. 透镜的种类	(43)
2. 透镜对光的折射规律	(43)
3. 透镜的焦点、焦距、焦平面	(44)
(二) 透镜成像及作图规则	(45)
(三) 透镜成像公式	(49)
1. 透镜成像公式	(49)
2. 放大率	(50)
(四) 凸透镜成像规律的图示	(50)
(五) 凸透镜成像规律的数学论证	(52)
(六) 凸透镜成像的有关量的变化关系	(54)
1. 物距与像距之间的变化关系	(54)
2. 物距变化对物和像间距离的影响	(55)
3. 放大率随物距的变化规律	(57)
(七) 凹透镜成像规律的分析	(57)
(八) 利用焦平面的特性确定任意光线的方向	(58)
1. 焦平面的特性	(58)
2. 任意光线方向的确定	(59)
3. 用作图法求出主光轴上一发光点的像	(61)
(九) 透镜组成像	(104)

四、常用光学仪器

(一) 眼睛	(111)
1. 眼睛的调节作用	(111)
2. 眼睛的缺陷和眼镜	(114)
3. 眼睛的视觉规律	(119)
(二) 放大镜	(121)
(三) 显微镜	(126)

(四) 望远镜	(132)
1. 开普勒望远镜	(134)
2. 伽利略望远镜	(140)
练习题	(147)
参考答案	(160)

引 言

光是什么？这个古老的问题，曾“引无数英雄竞折腰”，几十代宗师（李普塞、开普勒、牛顿、惠更斯、法拉第、麦克斯韦、普朗克……）为了揭开这个秘密，献出了宝贵年华。

在此，我们不去追述人类在锐意探索的过程中，所经历的艰辛的道路和付出的代价，只想请读者了解一下前人所取得的成果。

光的干涉、衍射、偏振等现象雄辩地说明光是电磁波，可见光的波长范围为 $3900 \sim 7800\text{nm}$ ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$)，它的频率范围为 $7.7 \times 10^{14} \sim 4.1 \times 10^{14}\text{Hz}$ 。

光电效应、康普顿效应等实验事实又有力地说明光的量子性，即光是一粒一粒的，是不连续的。大量实验事实表明，光既具有波动性，又具有量子性。即光具有波粒二象性。波粒二象性是怎样统一在“光”这个客体上的？二象性统一的机理是怎样的？人类对这个问题，至今仍未作出令人满意的回答。在此，我们引用美国物理学家阿瑟·贝塞的一段话来说明这一点：

“在一具体事例中，光或者显示波动性或者显示粒子性，但从不同时显示出两种性质……电磁波解释观察到的光的传播方式，而光量子解释观察到的光和物质之间能量交换的方式。我们没有别的选择，只好认为光有时表现为分立的粒子流，有时表现为波列，光的‘真正性质’再也不能用日常经

验加以想象了，我们必须同时接受在概念上完全对立的波动理论和量子理论，作为完整描述光的最周密的办法。”

光学是研究光的本性、光的传播和光与物质相互作用的科学，因为光学的内容丰富、范围广阔，所以把光学分为三个部分，即几何光学、物理光学、量子光学。

几何光学是根据光的直线传播，光的反射和折射定律研究光的传播和成像问题，是光学仪器设计的理论基础。

物理光学是利用光的波动理论研究光的干涉、衍射、偏振和色散现象，以及它们在技术上的应用。

量子光学是根据光的粒子性研究光和物质的相互作用规律。

本书只研究几何光学的部分内容，为此，首先介绍几个常用术语。

光的直线传播：光在同一种均匀介质里是沿直线传播的。光是电磁波，它在遇到障碍物时，将表现出光的衍射现象，即光并不严格沿直线传播，但当障碍物的线度远大于光波的波长时，光的衍射现象就不明显了。在这种情况下，几何光学通常用光的直线传播规律去研究光的传播问题，以得到完满的结果。

光源：太阳、电灯、燃着的蜡烛等能够发光的物体叫做发光体或光源。发光体发出的光进入眼睛后能引起视觉，于是眼睛就看到了它。有的物体本身不发光，但受到光的照射后能反射光，眼睛同样可以看到它。在白天，我们能看到房屋、树木、远山、近水……就是因为它们能反射太阳光。月亮也是不发光的，但它能反射太阳光，所以我们能看到它。

光线：表示光的传播方向的直线叫做光线，许多光线合

在一起叫做光束。自一点发出或收敛于一点的光束称为同心光束，点光源发出的光束就是同心光束。平行光线组成的光束称为平行光束。

光速：光既是电磁波，那么它在真空中的传播速度就等于电磁波的传播速度。其速度 $c=3\times 10^8\text{m/s}$ 。光在空气中的传播速度与光在真空中的传播速度相差甚微，因此，通常用光在真空中的速度代替光在空气中的速度。

一、光的反射

(一) 光的反射定律

如图 1—1 所示, 当光线 AO 射到两种介质 (例如, 空气和玻璃) 的分界面上时, 在一般情况下分成两条光线: 一条光线 OB 返回原介质, 称为反射光线. 另一条光线 OC 进入另一种介质, 称为折射光线. 入射光线与界面法线 ON 所构成的平面称为入射面. 入射光线与法线间的角称为入射角 (i), 反射光线与法线间的夹角称为反射角 (i'). 折射光线与法线间的夹角称为折射角 (r).

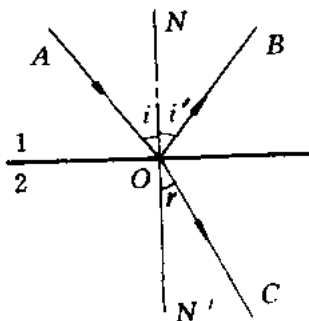


图 1—1

光的反射遵循反射定律, 该定律可表述如下: 反射光线在入射面内, 它与入射光线分居法线两侧. 反射角等于入射角.

实验证明, 如果光线逆着原来反射光线的方向射到反射面上, 它就要逆着原来入射光线的方向反射出去, 这一规律称为光路可逆性原理. 光在折射过程中也遵循光路可逆性原理.

由于反射面的情况不同, 有两种不同的反射现象.

一类是光滑平面，如镜子的面、光滑的金属面、平静的水面等，当入射光以一定的方向入射到平面时，反射光只有按反射定律规定的一个方向射出，如图 1—2 所示，如果观察者的眼睛接收不到这束反射光，就感觉不到这个反射面的存在。这样的反射面叫做镜面，这样的反射叫做镜面反射。

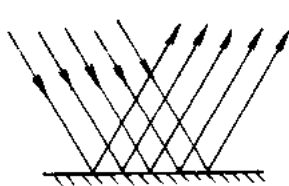


图 1—2

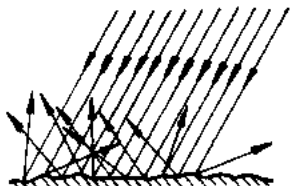


图 1—3

另一类是粗糙不平的物体表面，它们好像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分布着。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，如图 1—3 所示。这种反射称为漫反射。一般物体对光的反射都属于漫反射，由于漫反射时反射光射向四面八方，所以无论从哪个方向看上去，都能看到被观察的物体。

(二) 平面镜成像的规律

我们平常用的镜子，表面是平面而且很光滑，所以叫做平面镜。我们照镜子时，能够看到自己的像，这说明平面镜能够成像。

在图 1—4 中，直线 MN 表示跟纸面垂直的平面镜，点 S 表示物体上的一个点，从 S 开始画出两条光线，其中一条光线 SA 与镜面垂直，这条光线在 A 点被反射回去。另一条光

线 SB ，在 B 点的反射光线是 BC ，这两条反射光线的反向延长线交于镜后的 S' 点。由反射定律和平面几何知识可知， $\triangle SBS'$ 是等腰三角形，所以 $S'A = SA$ 。我们在得出这一结论时，对入射光线 SB 的入射角 i 并没有特别要求，这意味着，入射角 i 取任意值时，总有 $S'A = SA$ 。这样，所有从 S 点发

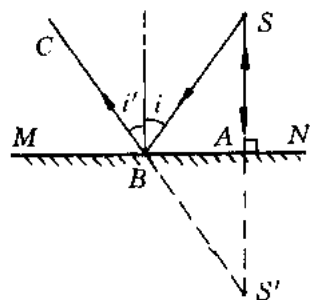


图 1-4

出的光线，经平面镜反射后，都好像是从 S' 点发出的，如图 1-5 所示。我们把点 S' 称为点 S 的像。

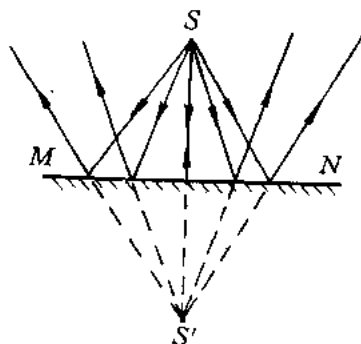


图 1-5

由以上分析可知，点 S 和它的像 S' 对于平面镜而言是对称的。这就是平面镜成像的规律。在镜前方的观察者看来，好像在镜后方 S' 点处有一个发光点，但实际上这样的发光点并不存在，所以这个像称为虚像。

入的眼睛在通过镜于看虚像时，感觉是“好象”虚像点 S' 处有一个发光点，为什么会有这样的感觉呢？道理是这样的： S 点射向平面镜的光线经平面镜反射后的光束与从 S' 点直接发出的有心光束，对观察者的眼睛产生的效果是完全相同的，所以对眼睛引起的视觉也应是相同的。

根据平面镜成像的规律，我们很容易求出一个物体经平面镜成像的位置。如图 1—6 所示，平面镜前一物体 AB ，找出 A 点对平面镜的对称点 A' ， B 点的对称点 B' ，则线段 $A'B'$ 即为 AB 的像的位置。

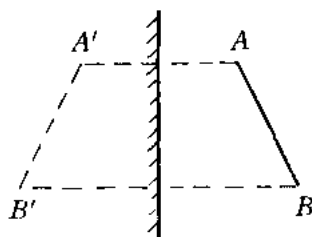


图 1—6

(三) 球面镜及其成像规律

1. 球面镜及其近轴条件

反射面是球面的反射镜，称为球面镜。反射面是凹面的球面镜，称为凹面镜。如图 1—7 (a) 所示。反射面是凸面的球面镜，称为凸面镜，如图 1—7 (b) 所示。

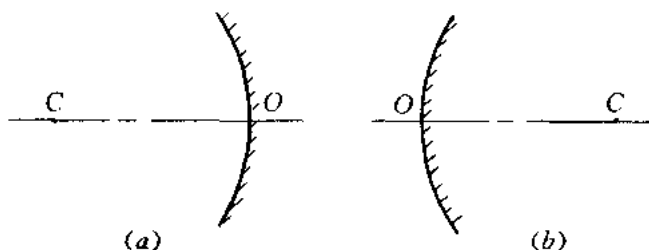


图 1—7

镜面上的中心点 O 叫做顶点，球面的球心 C 叫做球面镜的曲率中心。球面的半径 R 叫做球面镜的曲率半径。通过顶点和曲率中心的直线 OC 称为主光轴。通过曲率中心和球面上任意点的直线叫做副光轴。

球面镜对入射光的反射，也遵循反射定律。如图 1—8 所示，凹面镜前一发光点 S ，由它发出的三条光线 SD 、 SO 、 SB 经凹面镜反射后并不相交于一点，即不能形成一个清晰的像点。但如果把发光点的位置加以限制，把射向

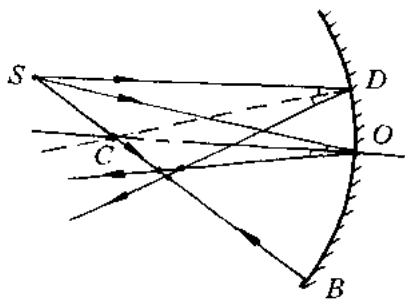


图 1—8

凹面镜的光线也加以限制，就可以得到一个比较清晰的像。这个限制是：

发光点 S 离主光轴很近，当物点到主光轴的距离远小于球面镜的曲率半径时，就符合“很近”的要求了。满足这一条件的物称为近轴物体。

由物点射向凹面镜的光线与主光轴的夹角必须很小。当角的正弦值与用弧度表示的角度值近似相等时 ($\sin u \approx u$)，这一要求就算得到满足了。满足这一条件的光线称为近轴光线。

以上两个限制条件统称为近轴条件，当物点和光线满足近轴条件时，球面镜也能成比较清晰的像。凹面镜和凸面镜的成像规律有相似之处，掌握了凹面镜的成像规律，凸面镜的成像规律也就迎刃而解了。

2. 球面镜的焦点和焦距

在近轴条件下，平行于主光轴的光线入射到凹面镜上，经反射后将会聚于一点，这一点称为凹面镜的焦点，用 F 表示，如图 1—9 所示。焦点到球面顶点的距离称为焦距，用 f 表

示,在近轴条件下,若凹面镜球面的曲率半径为 R ,则凹面镜的焦距 $f = \frac{R}{2}$.

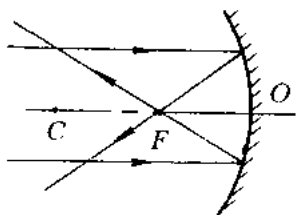


图 1—9

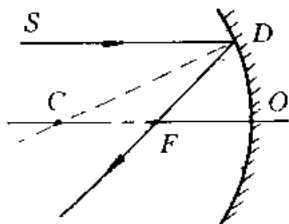


图 1—10

现对这一结论证明如下:在图 1—10 中, SD 是平行于主光轴的入射光线, DF 是反射光线, DC 是法线,由反射定律可知, $\angle SDC = \angle CDF$, 又因 $SD \parallel CO$, $\angle SDC = \angle DCF$, 所以 $\triangle DCF$ 为等腰三角形, 即 $CF = FD$, 在近轴条件下, $FO \approx FD$, 所以, $CF = FO = \frac{1}{2}CO = f = \frac{R}{2}$.

用同样的方法可以证明,凸面镜的焦距 f 在数值上也等于球面曲率半径的 $\frac{1}{2}$. 由于凸面镜球面的曲率中心在反射面的后面, 所以它的焦距规定为负值, 即 $f = -\frac{R}{2}$.

3. 凹面镜的作图求像法

在近轴条件下,凹面镜能成比较理想的像,即物方的一个点对应于像方也只有一个点. 这样,只要能找到由物点发出的任意两条光线经反射后的方向,这两条反射光线的交点就是像的位置.

在图 1—11 中,物体 AB 置于凹面镜前并垂直于主光轴,我们可用作图法求出 A 点的像 A' 点,再由 A' 点向主光轴引