

物理

中学生自学丛书

河南人民出版社

第三编 光 学

第一章 光的反射

基 本 内 容

一、光的传播

1. 光在均匀媒质里沿直线传播：小孔成像以及光沿直线传播、障碍物和影子位置的关系等实验和日常见到的许多现象，都可以说明从发光体发出的光在均匀媒质里，是沿着直线传播的。

2. 光的传播速度：在真空中光的传播速度 $C=3 \times 10^8$ 公里/秒。在空气中的光速可认为等于真空中的光速。在水中和水晶中的光速分别为真空中光速的 $\frac{3}{4}$ 和 $\frac{2}{3}$ 。

3. 光射到两种媒质的界面上：当光线射到两种媒质的界面上时，光就分成两部分：一部分仍在原媒质里传播，但改变了方向，形成反射光线；另一部分进入另一种媒质里传播，一般也改变方向，形成折射光线。

二、光的反射定律

实验证明：1. 反射线 (OA) 在入射线 (OS) 和法线 (ON) 所



图 31-1

决定的平百内。反射线和入射线分居于法线的两侧，2. 反射角($\angle b$)等于入射角($\angle a$)。

三、平面镜

1. 根据反射定律可以证明，平面镜所成的象具有以下特点：①虚象；②象和物一样大；③象的位置和物的位置对于平面镜对称。

2. 利用平面镜可以根据实际需要控制光的前进方向。

四、球面镜

反射百是球百一部分的叫球百镜。分凹镜和凸镜两类。

1. 凹镜：

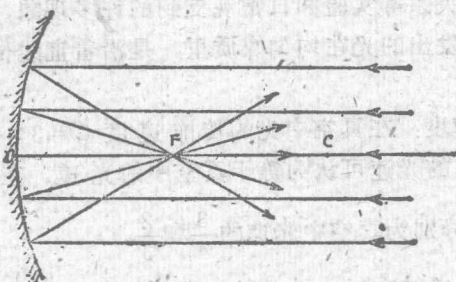


图 31—2

(1) 凹镜的焦点和焦距：平行于主轴的近轴光线反射后都与主轴相交于一点，这一点叫做凹镜的焦点(F)图 31—2。

焦点到顶点(O)的距离叫凹镜的焦距(f)。可以证明焦距与球百半径 R 有以下关系：

$$f = \frac{R}{2}.$$

(2) 凹镜成象：发光点放在凹镜前，它发出的光经凹镜反射后都会聚于一点 S' ， S' 即 S 的象。怎样求 S' 的位置呢？

a. 作图法：由于 S 点发出的光线经凹镜反射后都相交于一点，因此，我们只要从它发出的光线中，找出其中两条光

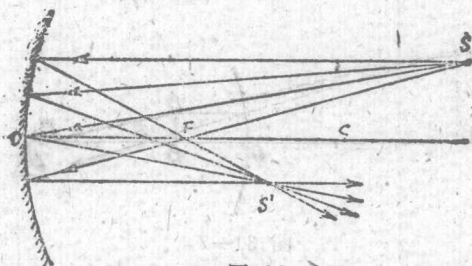


图 31-3

线反射后的交点，这交点即 S 的象 S' 如图 31-3。为了作图的方便，可从以下三条光线中任取两条：第一条是平行于主轴的入射光线反射后过焦点；第二条是过焦点的入射光线反射后平行于主轴；第三条是过球心的入射光线沿原路返回(图 31-4)。

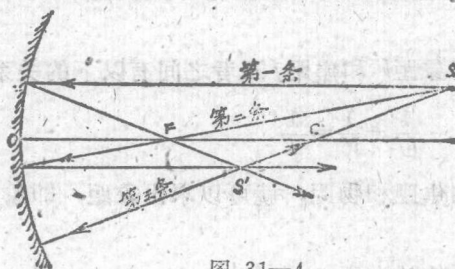


图 31-4

物体可以看作点的集合：要求 A 、 B 的象 $A'B'$ ，我们只要求出 A 点的象 A' 和 B 点的象 B' 。联结 $A'B'$ 即为 AB 的象。

当物距 U (物体到顶点的距离) $> 2f$ 时，象 $A'B'$ 是一个缩小的、倒立的实象(图 31-5)。

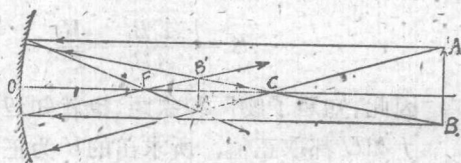


图 31-5

当 $2f > U > f$ 时，象 $A'B'$ 是一个放大的、倒立的实象(图 31-6)。

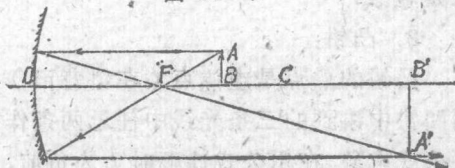


图 31-6

当 $U < f$ 时, 象 $A'B'$ 是一个放大的、正立的虚象。

用作图法求象时

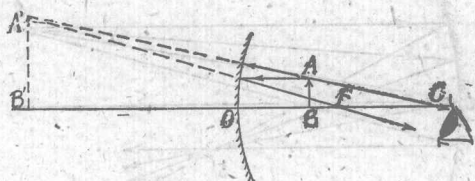


图 31-7

注意: 表示实际光线的直线必须用实线, 并标上箭头, 表明光的进行方向。凡光线的延长线都用虚线表示。

b. 计标法: 我们也可以用凹饼公式, 求物体放在凹饼前所成的象。

可以证明物距 U 象距 V 和焦距 f 三者之间有以下关系:

$$\frac{1}{U} + \frac{1}{V} = \frac{1}{f}.$$

如果已知凹饼的焦距和物距, 就可以求出象距, 即象的位置就找到了。

还可以证明, 象的放大率:

$$K = \frac{A'B'}{AB} = \frac{V}{U}.$$

因此, 知道了物距和象距, 也就知道象是放大还是缩小。

f 和 U 都取正值, 所求出的 V 为正, 象是实象; V 为负, 象是虚象。

2. 凸饼:

凸饼的焦点是虚焦点 (在饼背百). 焦距 f 为负. 仍可利用凹饼中讲到的三条光线中任意两条作图求象, 也可利用凹饼公式求象. 在用公式计标时 f 为负值, 求出的 V 都为负值。

凸饼所成的象都是正立的、缩小的虚象。

五、各种反射成像情况比较

种类	物的位置	象的位置	象的大小及放大率 $K = \frac{V}{U}$	象的性质	成像公式
平面镜	在镜前任意处	$V = -U$ 象在镜后	$K = 1$	正立虚象	$V = -U$
凸透镜	$U \rightarrow \infty$	$V \rightarrow f$	成一点	实象	$\frac{1}{U} + \frac{1}{V} = \frac{1}{f}$ $\left\{ \begin{array}{l} U, f, V \text{ 都为正值} \\ U, f, V \text{ 都为正值} \\ U, f, V \text{ 都为正值} \\ U, f, V \text{ 都为正值} \end{array} \right.$
	$U > 2f$	$2f > V > f$	$K < 1$	倒立实象	
	$U = 2f$	$V = 2f$	$K = 1$	倒立实象	
	$2f > U > f$	$V > 2f$	$K > 1$	倒立实象	
	$U = f$	$V \rightarrow \infty$	$K \rightarrow \infty$		
	$U < f$	V 为负值 象在镜后	$K > 1$	正立虚象	
凹透镜	在镜前任意处	V 为负值 象在镜后	$K < 1$	正立虚象	U 为正值, f, V 为负值

六、观察象的方法

1. 实象：实象是由光线实际相交而形成的。因此，可在成象处放一屏，屏上可得到物体所成实象。

2. 虚象：虚象不是光线实际相交形成的，而是光线的延长线相交形成的，不能用屏观文。可如图 31—7 所示，眼睛在镜前向镜中看去，看到的是物体的虚象，即好象光线是从那里发出的。

例 题

1. 针孔照相机暗箱长 5 厘米，在针孔前 12 厘米处放一个 3 厘米高的烛焰。求象的高度。

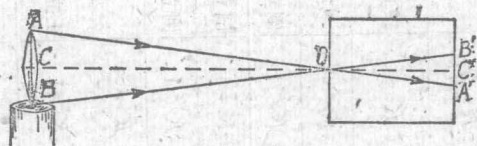


图 31—8

解：根据光的直线传播的规律 AOA' 和 BOB' 都是直线，则 $\triangle ABO \sim \triangle A'B'O$ 相似。

已知 $AB = 3$ 厘米， $OC = 12$ 厘米， $OC' = 5$ 厘米，

$$\therefore \triangle ABO \sim \triangle A'B'O;$$

$$\therefore \frac{A'B'}{AB} = \frac{OC'}{OC}$$

$$A'B' = \frac{OC'}{OC} \times AB = \frac{5}{12} \times 3 = 1.25 \text{ (厘米)}.$$

答：象的高度为 1.25 厘米。

2. 太阳光与水平百成 30° 角方向射来, 为了要使反射线射到竖直井内, 反射镜应怎样放?

分析: 这是应用平面镜控制光路的一个实例, 可运用反射定律解此题.

解: 已知 $\angle SOC = 30^\circ$,

$$\angle COA = 90^\circ,$$

$$\begin{aligned}\angle SOA &= \angle SOC + \angle COA \\ &= 30^\circ + 90^\circ = 120^\circ\end{aligned}$$

$$\angle a = \angle b = \frac{120^\circ}{2} = 60^\circ$$

$$\begin{aligned}\angle BOC &= \angle BON - \angle a + \angle SOC \\ &= 90^\circ - 60^\circ + 30^\circ = 60^\circ.\end{aligned}$$

答: 应使镜面向着光线射来方向, 并与水平百成 60° 角, 入射线和法线所决定的平面是竖直百.

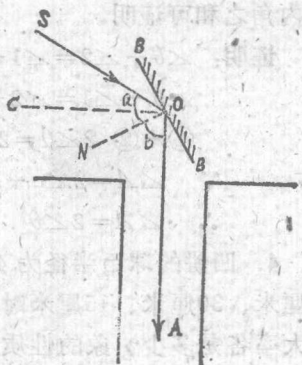


图 31-9

3. 在工程光学中常采用下百的装置控制光路, 即用两个交角为 θ 的平面镜可使射出光线 (OS') 与射入光线 (OS) 之间夹角为 2θ , 试证明之.

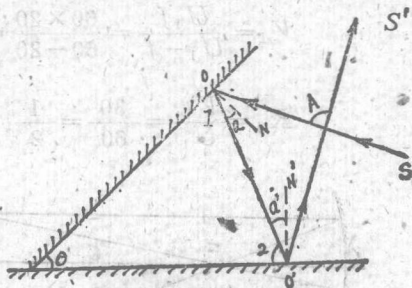


图 31-10

提示: 根据光的反射定律和三角形的外角等于不相邻的

两内角之和可证明。

$$\text{证明: } \angle\theta + \angle 2 = \angle 1 + 2\angle\alpha \quad \text{①}$$

$$\angle\theta + \angle 1 = \angle 2 + 2\angle\alpha' \quad \text{②}$$

$$\text{①} + \text{②} \quad 2\angle\theta = 2\angle\alpha + 2\angle\alpha'$$

$$\therefore \angle A = 2\angle\alpha + 2\angle\alpha'$$

$$\therefore \angle A = 2\angle\theta$$

4. 凹饼的球百半径为 40 厘米, 当物体放在饼前距顶点 60 厘米、30 厘米、15 厘米时, 所成象的位置各在哪里? 象的放大率各是多少? 象的性质如何? 并作图验证计标结果。

$$\text{已知: } f = \frac{R}{2} = \frac{40 \text{ 厘米}}{2} = 20 \text{ 厘米}$$

$$U_1 = 60 \text{ 厘米}, U_2 = 30 \text{ 厘米}, U_3 = 15 \text{ 厘米}$$

$$\text{求: } V_1, V_2, V_3, K_1, K_2, K_3.$$

$$\text{解: 根据 } \frac{1}{V} + \frac{1}{U} = \frac{1}{f}$$

$$\text{得 } V = \frac{Uf}{U-f},$$

$$V_1 = \frac{U_1 f}{U_1 - f} = \frac{60 \times 20}{60 - 20} = 30 \text{ (厘米)}$$

$$K_1 = \frac{V_1}{U_1} = \frac{30}{60} = \frac{1}{2},$$

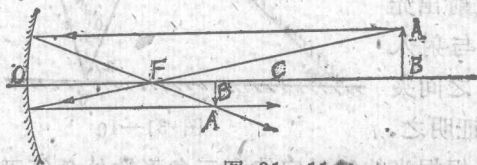


图 31-11

$$V_2 = \frac{U_2 f}{U_2 - f} = \frac{30 \times 20}{30 - 20} = 60 \text{ (厘米)}$$

$$K_2 = \frac{V_2}{U_2} = \frac{60}{30} = 2;$$

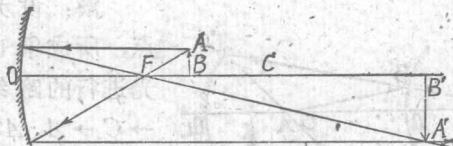


图 31-12

$$V_3 = \frac{U_3 f}{U_3 - f} = \frac{15 \times 20}{15 - 20} = -60 \text{ (厘米)}$$

$$K_3 = \frac{|V_3|}{U_3} = \frac{60}{15} = 4.$$

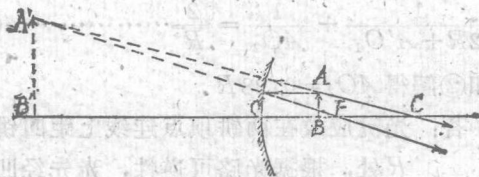


图 31-13

答：当物距 60 厘米时，象距 30 厘米，放大率为 $\frac{1}{2}$ ，成倒立的、缩小的实象；当物距 30 厘米时，象距 60 厘米，放大率为 2，成倒立的放大的实象；当物距 15 厘米时，象距 -60 厘米，放大率为 4，成正立的放大的虚象。

5. 球百半径都等于 R 的凸饼和凹饼相对而立，两饼顶

点相距 $2R$ ，在两饼之间放一光沅。(1)假使光先经过凸饼反射，再由凹饼反射，成象仍在光沅所在的一点，那么光沅应放在什么地方？(2)如果先经过凹饼反射，再经过凸饼反射，成象在什么地方？

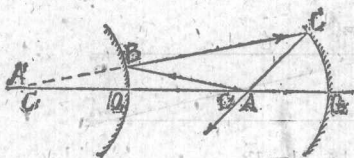


图 31-14

解：设光沅放在 A 点，所成象也在 A 点，光进行的路线是 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ ， A' 是 A 在凸饼内的象点，可得下百关系式

$$\frac{1}{2R - AO_2} + \frac{1}{A'O_1} = \frac{2}{R} \dots\dots\dots ①$$

A' 又是凹饼的物点， A 是凹饼的象点，又得关系式

$$\frac{1}{2R + A'O_1} + \frac{1}{AO_2} = \frac{2}{R} \dots\dots\dots ②$$

由①和②解得 $AO_2 = 0.28R$ 。

答：光沅应放在两饼顶点连线上距凹饼顶点 $0.28R$ 处，根据光路可逆性，光先经凹饼反射再往凸饼反射，成象仍在 A 处。

习 题 十

1. 晴天在林中地百上，常看到明亮的小元圈，这是什么缘故？如果迁到日偏蚀又看到什么现象？
2. 一光年等于多少公里？
3. 月球离地球约 384000 公里，光从月球到达地百需要多少时间？
4. 电线杆在阳光照射下影长 6.9 米，竖直立着的 2 米长的竹杆形长 2.2 米，电线杆的长度是多少？

5. 月球的直径对观察者的视角是 0.5° ，已知地球和月球间距离是 384000 公里，月球的直径是多少公里？

6. 有人用手指和饼百垂直接触，估计指尖和它的象相距 5 毫米，他说饼的厚度 2.5 毫米，对吗？

7. 在平百饼前放一支铅笔，要使铅笔跟它的象垂直，铅笔应怎样放？

8. 太阳光与地百成 40° 角方向射来，要想使反射线进入竖直井内，反射饼应怎样放置？



图 31—15

9. 如图 31—15 所示，光点 S 所发出的光射到饼百上 X 点，反射后射入观察者的眼中，光点和眼睛跟饼百的垂直距离分别是 90 厘米和 30 厘米，求出 X 点的位置。

10. 一个物体在两百交 90° 角的平百饼间，这样所成的象有几个？

11. 光线垂直射到平百饼上，如果把饼百旋动 30° 角，那么入射光线和反射光线的夹角是多少度？

12. 一个平行光从地百上沿竖直方向将光线向上投射到一片和它垂直的平百饼上，平百饼距地百 3 米，如果把平百饼沿水平方向转 30° 角，则地百上得到一距光斑多远的象。

13. 画出图中光路图，并指出它们的入射角和反射角的数值。（ A 、 B 两个平百饼相互平行）

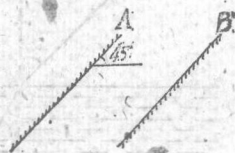


图 31—16

14. 要使垂直射向地百的光线经平百饼反射后，沿水平方向进行，平百饼的饼百应如何放置？

15. 某人高 1.6 米，竖直站立，问至少要用多高的竖直平百饼才能看到自己的全身象？饼应放到什么高度？

16. 凹饼焦距 30 厘米，物体放在饼前，到饼顶点距离分别为 70 厘

米、50厘米、20厘米时，所成象的位置分别在哪里？放大还是缩小？实象还是虚象？

17. 有一物体高 5 厘米，想要在距物体 15 厘米处得到一高 2 厘米的实象，那么要使用什么样的球面镜？它的焦距是多少？这镜子应放在什么位置？

18. 把一个物体放在一个焦距为 f 的凹面镜前，使所成的象和物重合，这时那物离这镜的距离是多少？

19. 一个物体放在凹面镜前，它的位置在镜的焦点和曲率中心之间，所成象一定在（ ）和（ ）之间。

20. 从光源发出的光，投射到一个焦距为 f 的凹面镜上，所成的象和光源在同侧，光源到镜的距离为象距的 4 倍。求象所在的位置，并画出成象的光路图。

第二章 光的折射

基本内容

一、折射定律

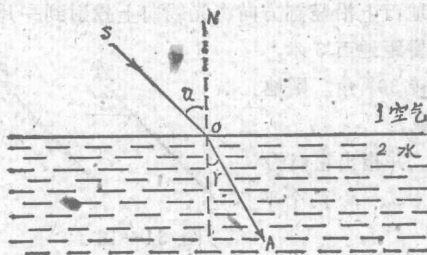


图 32—1

实验证明：

1. 折射线(OA)在入射线(SO)和法线(ON)所决定的平面内，折射线和入射线分居于法线的两侧；
2. 不管入射角怎样改变，入

射角的正弦跟折射角的正弦的比，对于所给的两种媒质来说，是个常数。

光由第一种媒质进入第二种媒质时，这个常数叫第二种

媒质对第一种媒质的折射率，可以用 n_{21} 来表示。

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin r}.$$

某种媒质对真空的折射率叫绝对折射率。媒质对空气的射折率，可近似的看作是绝对折射率。

第二种媒质对第一种媒质的折射率，等于光在第一种媒质中的速度跟在第二种媒质中的速度之比。即

$$n_{21} = \frac{V_1}{V_2}.$$

因此，某种媒质的绝对折射率 n ，应等于光在真空中的速度 C ，跟光在这种媒质中的速度 V 之比。即

$$n = \frac{C}{V}.$$

二、全反射

对于所给定的两种媒质来说，光在其中传播速度大的物质称光疏媒质，光在其中传播速度小的物质称光密媒质。

当光从光密媒质射到光疏媒质（如从水中射到空气里如图32—2），折射角大于入射角。根据折射定律，入射角增大，折射角相应也增大。

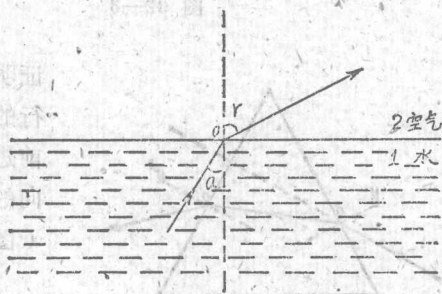


图 32—2

当折射角大到 90° 时，如果再增大入射角，则折射光消失，

光全反射回到原来媒质中，这种现象叫全反射。

折射角等于 90° 时的入射角叫做临界角(A)。根据绝对折射率可求出光从各种媒质射入真空(或空气)时的临界角。

$$\frac{\sin A}{\sin 90^\circ} = \frac{1}{n},$$

$$\sin A = \frac{1}{n}.$$

三、透 镜

1. 透镜对于光的会聚作用和发散作用：

中间厚周围薄的透镜叫凸透镜，反之则为凹透镜。

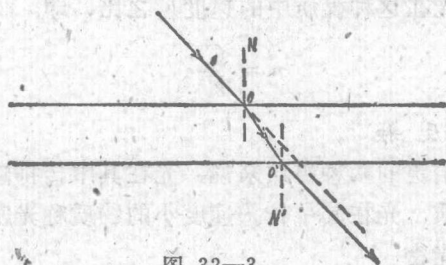


图 32—3

根据折射定律可以证明，当光穿过两平行的透明薄板后不改变前进方向。板很薄时侧向的平移也可略而不计(图32—3)。

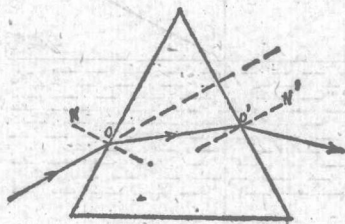


图 32—4

当光穿过三棱镜后光线向底面方向偏折(图32—4)。

因此，凸透镜对于光线有会聚的作用（图32—5）。

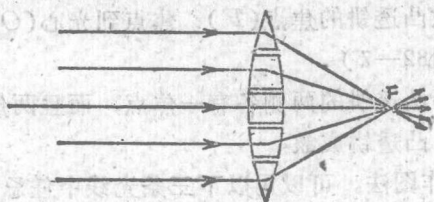


图 32—5

凹透镜对于光线有发散作用（图32—6）。

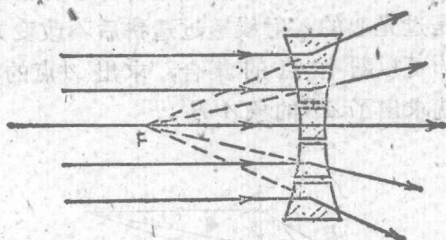


图 32—6

2. 凸透镜:

(1) 光心、焦点和焦距：透镜上有一点 O ，凡是通过 O 点的光线都不改变原来的方向，这一点叫透镜的光心。平行

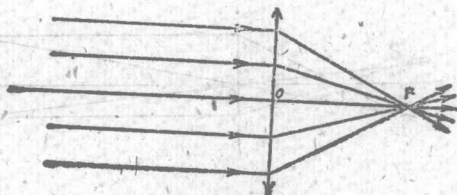


图 32—7

于主轴的近轴光线透过凸透镜后，都与主轴相交于一点，这一点叫做凸透镜的焦点(F)。焦点到光心(O)的距离叫焦距(f) (图32—7)。

每个凸透镜的两侧各有一焦点，而且两焦距相等。

(2) 凸透镜成像：

a. 作图法：可以用以下三条光线中任意两条光线求出发光点 S 的象 S' (图32—8)。

第一条是平行于主轴的入射线透过凸透镜后过焦点；

第二条是过焦点的入射线透过透镜后平行于主轴；

第三条是过光心的入射线透过透镜后不改变方向。

物体 AB 可以看作点的集合，求出 A 点的象 A' 和 B 点的象 B' ，就求出了 AB 的象 $A'B'$ 。

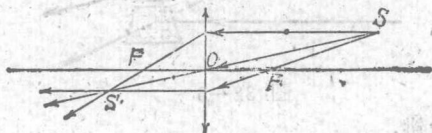


图 32—8

当 $U > 2f$ 时，所成象为缩小的、倒立的实象。

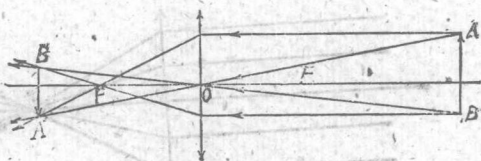


图 32—9

当 $2f > U > f$ 时，所成象为放大的、倒立的实象。