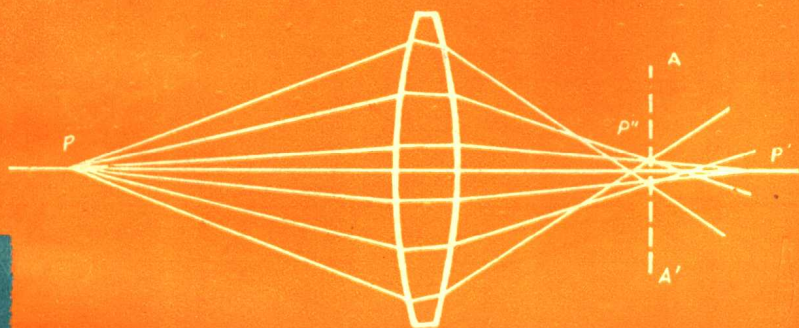


中央电视台电视教育节目用书

几何光学知识

徐大雄 编著



广播出版社

中央电视台电视教育节目用书

J I H E G U A N G X U E Z H I S H I

几 何 光 学 知 识

徐大雄 编著

广 播 出 版 社

几何光学知识

徐大雄 编著

*

广播出版社出版

北下关印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 32开 4.25印张 88(千)字

1984年6月第1版 1984年6月第1次印刷

印数: 1-28,000

定价: 0.45元

前 言

本书是配合中央电视台电视教育节目《几何光学知识》而编写的教材。内容和编排次序同电视节目一致，共十四讲。电视节目侧重于物理概念的演示；教材则较系统地对理论和应用作了详细的说明。

现代科技的发展，不仅使光学和所有的物理学分支有密切联系，而且还使光学和许多工程科学分支（如现代通讯工程）有着直接的关系。因而，光学知识是掌握现代科技基本知识所不可缺少的。

《几何光学知识》是一本通俗的、普及性读物。它从几何光学基本定律出发，向读者介绍了日常生活及技术工作中常见、常用的光学现象、光学仪器、光学纤维和激光器等基本知识以及光学零件、光学纤维的加工制造过程。

《几何光学知识》适合具有初中文化程度的青少年、工人和干部自学光学知识之用，也可作为有关工厂和业余学校培养青工的教材。

目 录

第 一 讲	几何光学基本定律·····	(1)
第 二 讲	光在介质中的传播·····	(7)
第 三 讲	全反射现象及其应用, 棱镜的色散·····	(13)
第 四 讲	反射成像·····	(20)
第 五 讲	折射成像·····	(32)
第 六 讲	薄透镜成像·····	(37)
第 七 讲	厚透镜成像, 透镜的像差·····	(51)
第 八 讲	光学仪器 (一)——目视仪器 ·····	(62)
第 九 讲	光学仪器 (二)——投影仪器 ·····	(74)
第 十 讲	几何光学中虚物的概念及其应用·····	(82)
第十一讲	光学玻璃和光学零件的加工·····	(94)
第十二讲	纤维光学纤维·····	(100)
第十三讲	纤维光学纤维的制造、性质和应用·····	(108)
第十四讲	激光束的几何性质·····	(118)
习题及答案·····		(126)

第 一 讲

几何光学基本定律

早在牛顿时代，光学已经发展起来了。但那时的光学是独立于力学、热学、电学、磁学等学科分支之外的，和其它的学科分支联系不是很多。现在就不同了，光学不仅和几乎所有的物理学分支有密切联系，并且还和不少工程科学分支例如通讯工程等也都有联系。造成近代的这种联系，主要是因为光本质上就是一种电磁波以及近代对于光的波动理论研究的不断发展和完善所导致的。

一、光波和光线

人类对光的研究可以分为两个方面：一方面是研究光的本性，并根据光的本性来研究各种光学现象，称为“物理光学”；另一方面是研究光的传播规律和传播现象，称为“几何光学”。

人类对于光的本性的认识，是逐步发展的。直到十九世纪中叶，由于无线电技术的发展及对电磁波性质的深入研究，才证明光实际上是电磁波。从本质上讲，光和一般无线电波并无区别。一个发光体就是电磁波的发射源。发光体发射的电磁波向周围空间的传播情况，如投石水面的振动而产

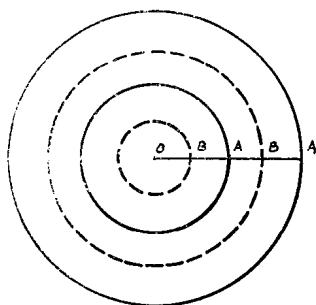


图 1-1

生向四周传播的波浪相似，如图 1-1 所示。强度最大或最弱的两点间的距离为波长，用 λ 表示，如图中 AA' 、 BB' 所示。不过光的波长要比水波的波长小得多。

光波和一般无线电波不同的只是光波的波长还要比无线电波短，图 1-2 中表示

名 称	波 长 cm
宇宙射线	10^{-11}
γ 射线	10^{-10}
	10^{-9}
	10^{-8}
X 光	10^{-7}
	10^{-6}
紫外线	10^{-5}
可见光	10^{-6}
红外线	10^{-5}
	10^{-2}
超短波	10^{-1}
	10^0
无线电波	10^1
	10^2

(a)

波 长 (Å)	可见光主要谱线
3000	
4000	h 4047
	G' 4341
	B 4358
5000	F 4861
	e 5461
	d 5876
6000	D 5893
	C 6563
7000	b 7065
	A' 7662
8000	
9000	
注: $1\text{Å} = 10^{-10}$ 米 Å 称为埃	

(b)

图 1-2

了电磁波按波长分类的情况。波长在 $4\sim 7.6\times 10^{-5}$ 厘米的电磁波能够为人眼所感觉，称为“可见光”。超出这个范围，人眼就感觉不到了。

不同波长的电磁波在真空中具有完全相同的传播速度： $c=3\times 10^{10}$ 厘米/秒。在一般透明介质中，如水、玻璃中等，光的速度随波长的不同而改变。

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，应该是以光源为中心的同心球面，如图 1-3 所示。

光即是电磁波，研究光的传播问题，应该是一个波动传播问题。但是，几何光学中研究光的传播，并不把光看作是电磁波，而把光看作是“能够传输能量的几何线”。这样的几何线叫做“光线”。光源 A 发光就是向四周发出无数条几何线。沿着每一条几何线向外发散能量，如图 1-4 所示。目前使用的光学仪器，不少是应用几何光学原理——把光看作“光线”——设计出来的。

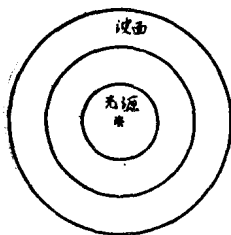


图 1-3

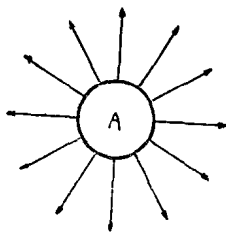


图 1-4

几何光学研究光的传播，也就是研究这些光线的传播。

研究的方法是，首先找出光线的传播规律——几何光学的基本定律，然后根据这些基本定律研究光的传播现象。

如前所述，位于均匀介质中的点光源所发射的光波的波面，是以发光点为球心的球面。按照几何光学的观点，点光源发光就是由发光点 A 向四周发出无数条几何线，如图 1-5 所示。显然，光线垂直于波面，换句话说，“光线就是波面的法线”。

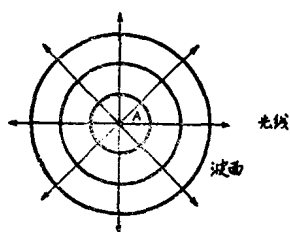
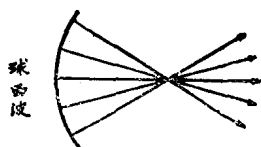
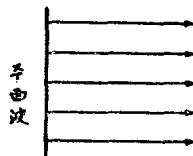


图 1-5

反之，波面就是所有光线的“垂直曲面”，这就是波面和光线之间的对应关系。相交于同一点或者同一点发出的一束光线称为“同心光束”，对应的波面形状为球面，如图 1-6(a) 所示。平行光束对应的波面为平面，如图 1-6(b) 所示。



(a) 同心光束



(b) 平行光束

图 1-6

二、几何光学的基本定律

下面我们来研究光线的传播规律。

1. 光线在均匀透明介质中传播的规律——直线传播定

律：光线在均匀透明介质中按直线传播。

2. 光线在两种均匀介质分界面上的传播规律——反射定律和折射定律：

若一束光投射在两种介质的分界面上，如图 1-7 所示，其中一部分光线在分界面上反射到原来的介质，称为“反射光线”，这种现象叫做反射现象；而另一部分光线透过分界面进入第二种介质，并改变

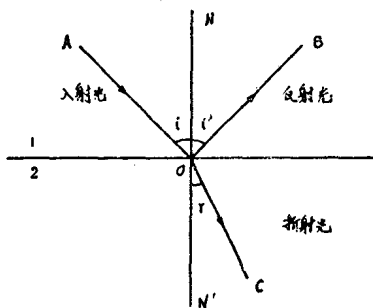


图 1-7

原来方向，称为“折射光线”，这种现象叫做折射现象。反射和折射光线的传播规律，就是反射和折射定律。为了便于表述这些定律，我们首先引入以下几个名词。

入射光线 AO 和介质分界面的法线 ON 间的夹角 $\angle AON = i$ ，称为“入射角”；反射光线 OB 和法线 ON 间的夹角 $\angle BON = i'$ ，称为“反射角”；折射光线 OC 和法线之间的夹角 $\angle CON' = r$ ，称为“折射角”；入射光线和法线构成的平面称为“入射面”。

反射和折射定律可分别表述如下：

反射定律：

1. 反射光位于入射面内，反射光线和入射光线分居法线两侧；

2. 反射角等于入射角。

$$i' = i \quad (1-1)$$

折射定律:

1. 折射光线位于入射面内, 折射光线和入射光线分居在法线两侧;

2. 入射角和折射角正弦之比, 对两种一定的介质来说, 是一个和入射角无关的常数;

$$\frac{\sin i}{\sin i'} = n_{2.1} \quad (1-2)$$

$n_{2.1}$ 称为第二种介质对第一种介质的折射率。

反射现象由于分界面的性质不同分为两种: 一种是物体表面粗糙, 各点的法线不相平行, 即使入射光线是平行的, 反射光线并不沿单一方向, 这种现象叫做漫反射, 如图 1-8(a) 所示; 另一种是平行光线照射到平滑物体表面, 反射后仍为平行光线, 叫做镜反射, 如图 1-8(b) 所示。

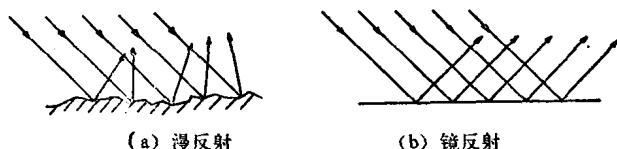


图 1-8

光学仪器中主要利用镜反射来改变光束的传播方向。漫反射则在生活中对于视觉有特殊意义, 它使我们可以从任意方向看见被照明的物体。

列宁同志说:“自然界一切现象和过程都含有互相矛盾、互相排斥、互相对立的趋向。”光的反射和折射是几何光学中的一对基本矛盾, 光的反射和折射定律是几何光学中最基本的定律, 许多光学零件和光学仪器的设计, 就是光的反射和折射的各种各样的应用。

第二讲

光在介质中的传播

上一讲已经介绍了几何光学的基本规律，这一讲根据基本规律来进一步讨论光在介质(包括真空)中的传播。

一、折射率和光速的关系，绝对折射率

假定一束平行光线投射在两介质的分界面上，如图 2-1 所示。所有的光线具有相同的人射角 i ，通过平面折射后，按折射定律，所有折射光线显然具有相同的折射角 r 。因此，仍为一平行光束。和平行光束相垂直的入射和折射波面，应该是两个平面。

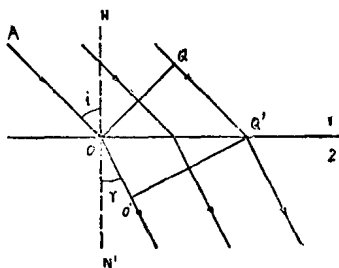


图 2-1

假定某一瞬间波面的位置为 OQ ，经过时间 t 后，波面传播到 $O'Q'$ 波面。设光在两介质内的传播速度分别为 V_1 和 V_2 ，由图可得：

$$QQ' = V_1 t; \quad OO' = V_2 t$$

由于波面 OQ 垂直于光线 AO ，分界面垂直于法线 ON ，因此， $\angle QQ'O' = \angle AON = i$ ；同理 $\angle O'Q'O = \angle A'ON' = r$ ，根据 $\triangle OQQ'$ 和 $\triangle OQ'O'$ 得

$$\sin i = \frac{QQ'}{OQ'}; \quad \sin r = \frac{OO'}{OQ'}$$

由以上两式相除消去 OQ' 得

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{QQ'}{OO'}$$

将前面 $QQ' = V_1 t$ ； $OO' = V_2 t$ 的关系代入上式，并消去 t ，得到

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2} = n_{2,1} \quad (2-1)$$

由此可知：第二种介质对第一种介质的折射率 $n_{2,1}$ 等于第一种介质的光速 V_1 和第二种介质的光速 V_2 之比。这也就是折射率和光速之间的关系。对于一定的介质和一定波长的光，光速显然不变。因此，两种一定的介质对应的折射率应为不变的常数。实际上也就证明了折射定律的成立。

通常我们把一种介质对另一种介质的折射率称为“相对折射率”，而把介质对真空的折射率称为“绝对折射率”。由于光在空气中的传播速度和真空的传播速度相差极小，通常把空气的绝对折射率也取为 1，而把介质对空气的折射率作为“绝对折射率”。下表列出几种物质的绝对折射率(对于 D 光)：

物 质	水	普通玻璃	光学玻璃 K ₉	有机玻璃
n	1.33	约 1.5	1.5163	1.49

物 质	石 英	酒 精	二氧化硅
n	1.54	1.36	1.46

光在真空中的速度为 c ，根据上面得到的公式(2-1)，第一和第二种介质的绝对折射率 n_1 和 n_2 用以下公式表示：

$$n_1 = \frac{c}{V_1}; \quad n_2 = \frac{c}{V_2}$$

两式相除得：

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{c}{V_2}}{\frac{c}{V_1}} = \frac{V_1}{V_2}$$

根据前面相对折射率的公式(2-1) $n_{2.1} = \frac{V_1}{V_2}$ ，得：

$$n_{2.1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2-2)$$

上式表明，第二种介质对第一种介质的相对折射率等于第二种介质的绝对折射率和第一种介质的绝对折射率之比。

将以上关系代入折射定律：

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{2.1} = \frac{n_2}{n_1}$$

上式可改写作 $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ (2-3)

以上公式是用绝对折射率表示的折射定律。今后主要应用这种形式的折射定律。注意，上面用的绝对折射率都是媒质对于 D 光的绝对折射率(即 n_D)。

二、光路可逆定理

上面介绍了光线传播的基本定律，下面我们应用这些定律来研究一种重要的光的传播现象——光路可逆现象。

假定某一条光线，沿着一定的路线，由 A 传播到 B 。如果我们在 B 点沿着入射光线的相反方向投射一条光线，则此反向光线仍沿着此同一条直线，由 B 传到 A 。光线传播的这种性质，叫做“光路可逆定理”。根据该定理，当研究光线传播时，我们可以按实际光线进行的方向来研究它的传播路线，也可以按与实际光线相反的方向进行研究，两者的结果是完全相同的。

下面我们利用基本定律，证明上述定理。

根据直线传播定律，在均匀介质中光线按直线传播。两点间只能作一条直线，不论由 A 到 B ，或者由 B 到 A ，光线必然沿着此同一直线传播，光路可逆定理显然成立，已如上述。

至于反射和折射的情形，根据反射定律和折射定律的公式(1-1)和(2-3)：

$$i = i', \quad n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

在以上两式中，左右两边分别表示入射光线和反射光线，以及入射光线和折射光线几何位置之间的关系，并且等式两边形式完全对称。交换等式两边，得 $i' = i$ 和 $n_2 \sin r = n_1 \sin i$

如果把 i' 看作入射角， i 便成了反射角； r 作为入射角， i 便成了折射角。这就相当于把原来的反射光线和折射光线的位置作为入射光线的位置。根据以上公式，新的反射光线

和折射光线的位置就是原来的入射光线的位置，如图 2-2 所示。

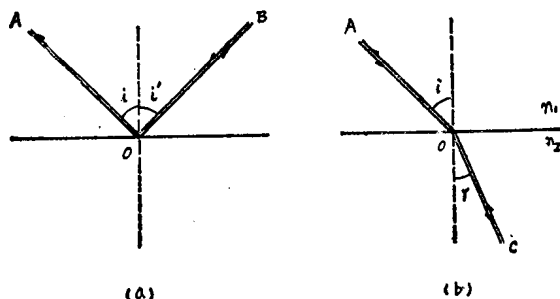


图 2-2

既然无论光线在均匀介质中传播，或者在二介质分界面上进行反射和折射，光路可逆定理都成立。因此，无论光线经过任意次反射、折射，也不管它通过什么样的介质，上述定理永远普遍成立。但是，它并不是独立于反射、折射定律之外的又一个基本定律，光路可逆定理正是由反射、折射定律导出的。

三、介质中光的吸收

没有一种介质是绝对透明的，光线(光能)经过介质时，由于介质对于光的吸收作用，光强要逐渐减小，穿过的介质层越厚，光强衰减得越大。如果 I_0 、 I 、 x 分别表示初始光强、穿越介质后的光强和介质层的厚度，则有下列的公式

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (2-4)$$

式中 I_0 表示在 $x=0$ 处的初始光强， α 称为介质的吸收系数，

它的大小决定于介质的种类。可参考图 2-3。

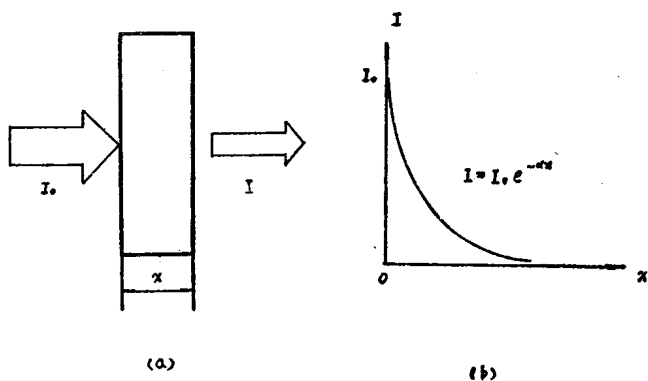


图 2-3

习题

1. 当射击水底目标时,是否可以和射击地面目标一样地进行瞄准?

2. 证明光线通过在空气中的两个表面互相平行的玻璃板,不论光线的入射角大小如何,出射光线和入射光线的方向永远平行。今有一块玻璃,两面平行,厚度为 $d = 10 \text{ mm}$,光的入射角为 45° ,已知玻璃的绝对折射率为 1.52,求出射光线和入射光线间的垂直距离。