

庫 特 · 任 席 著

精密測量 光学量儀



机 械 工 业 出 版 社

精密測量
光學量儀



53.732
216

精密测量光学量仪

库特·任席著

国家计量局长度处译

薛社鎬校

zk588/32)

zk588/11



机械工业出版社

1960

53.732
216

精密测量光学量仪

库特·任席著

国家计量局长度处译

薛社鎬校

zk588/32)

zk588/11



机械工业出版社

1960

內 容 介 紹

本書系統地对光学仪器的性能、构造、使用等方面作了較為完整的介紹与分析。

本書的第一部分，先对光学仪器中所用到的一些光学基本原理作了十分扼要的說明，对于对光学还不十分清楚的讀者來說，是会有帮助的。

本書的第二部分便开始系統地介紹各种光学仪器。

本書可供光学仪器的設計、使用、檢定及整修人員参考，也可作为高等学校光学仪器专业学生的参考書。

德意志联邦共和国 Kurt Rantsch 著 'Die Optik in der Feinmeßtechnik' (CARL HANSER VERLAG·MÜNCHEN 1949年)

*

*

*

NO. 3059

1950年11月第一版 1960年11月第一版第一次印刷

787×1092¹/₂₅ 字数 296 千字 印張 14²⁰/₂₅ 0,001— 2,730 册

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版业营业許可証出字第 008 号 定价(11) 2.30 元

目 录

第一部分 技术光学的基本原理

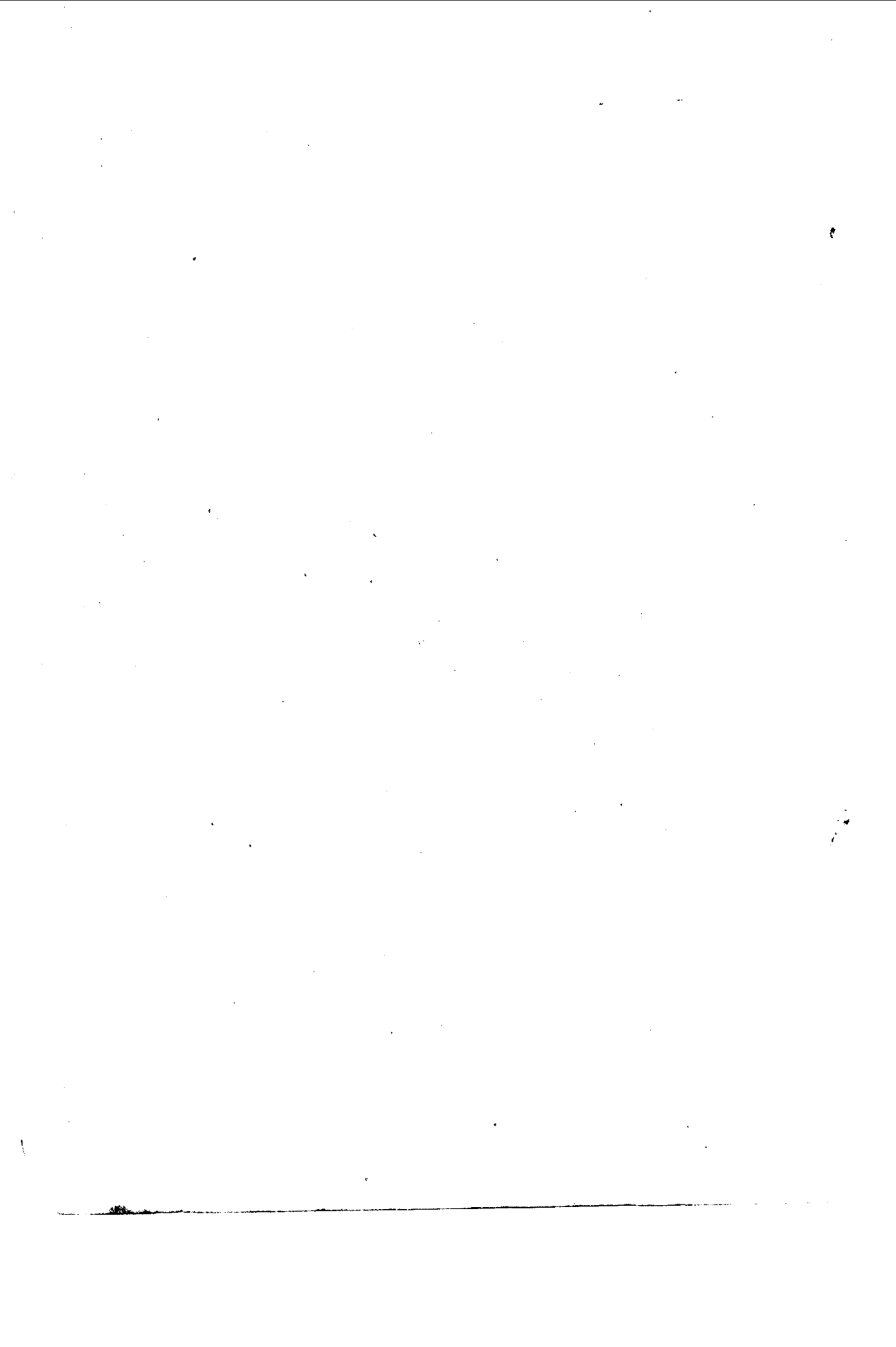
第一章 光的性質	7
第二章 折射与反射的基本現象	9
第1节 光的反射	9
一 反射定理	10
二 用平面鏡成像	12
第2节 光的折射	14
一 折射定理	15
二 用平面分界面成像	18
三 光折射所發生的色散	23
第三章 几何光学的基本原理	25
第1节 自然的与人工的光束	25
第2节 單个透鏡的性質	27
一 典型的透鏡形式	27
二 用透鏡成像	28
三 目的物与像之間的位置关系	30
四 目的物与像之間的大小关系	33
五 透鏡的基点	35
六 像点的找出	36
七 透鏡公式的討論	37
八 焦距的确定	41
九 單透鏡的像差	42
第3节 球面鏡的性質	46
一 球面鏡的形式	46
二 用球面鏡成像	47
三 球面鏡与透鏡式反射鏡的等价	49
第4节 透鏡組的性質	52
一 透鏡組的分类	53

02864

二	透鏡組的焦距	53
三	透鏡組基点的位置	54
四	實像的分解	55
第5节	光綫定限的基本原理	56
一	光綫空間的定限	56
二	光圈光闌与像場光闌的配合作用	59
三	立体目的物的成像	62
第四章	物理光学的基本原理	67
第1节	光作为波动	67
一	光干涉的基本原理	68
二	繞射的基本原理	74
三	光学成像系统的分辨力	77
第2节	輻射介質	79
一	光度的單位	79
二	物理光通量	81
三	反射与吸收所造成的光損失	82
第3节	光与色	85
第五章	成像光学系統	87
第1节	成像比例与放大率	87
第2节	簡單成像的光学仪器	88
一	實像成像系統	88
二	虛像成像系統	100
第3节	再生像的光学系統	103
一	复合望远镜	103
二	复合显微镜	114
三	讀数望远镜	122
四	照明系統	124
第4节	人眼的光学性能	130
一	調节能力	130
二	适应能力	131
三	分辨能力	131
四	光学放大作用	133
五	人眼与光学仪器的結合	134

第二部分 光学精密量仪

第六章 具有成像光学系统的仪器	238
第1节 简单的成像仪器	238
一 放大镜与放大镜仪器	238
二 投影仪	247
第2节 再生像的仪器	270
一 显微镜	270
二 显微镜式测量仪器	278
三 望远镜	272
四 望远镜式仪器	295
五 光学精密接触式仪器	300
第七章 试件进入成像光路中的仪器	309
第1节 检验测量面平面性的平晶	309
第2节 用于块规检定的干涉比较仪	311
第3节 光学的表面检查仪器	322
一 光切法	322
二 全反射消除法	332
三 干涉法	340
附录	361
1 本书所用公式的系统汇集	361
2 本书所用字母一览表	368



第一部分 技术光学的基本原理

第一章 光的性質

光是我們四周环境中物体間的能量傳遞的各种形式之一。从狹隘的意義上來說，光只是一種能量的傳遞形式，這種形式，通过它對我們眼睛的作用使得我們有明亮及色彩的感覺，并因而使我們對环境的像有所認識。从廣義的物理意義上來說，光的概念包括了同類型的整個過程，但是，對於這整個過程，我們沒有一個能直接感覺的器官。

我們對光的性質的理解，随着時間也大大地不同了。為要能滿意地說明一切涉及到光的自然現象，那么光——也就是所謂以光的形式的能量傳遞——在我們的想像中是一種十分錯綜複雜的物理過程。

為了解在工業測量技術中所使用的光學儀器的作用方式，關於光的性質只須知道其較為簡單的两點即已够了。第一點即為光的傳播是“輻射”的，另一點則是它的傳播是一種“波動”。

光的起點即所謂光源或發光體。在這些光源里，由于原子的反應過程而引起這種能量發射。這種現象往往發生在由于化學反應或電的作用而產生熱、發生溫度輻射（或稱熱輻射——譯者）的時候，或是在由于直接的光學及電的過程如螢光或磷光的冷光及某些氣體放電的時候。我們四周的大多數物體它們本身並不發光，而只不過是把其他光源所射在上面的光綫轉遞而已。

對我們來說，最主要的自然光源就是太陽，日光給予我們多種多樣的的作用。在黑暗的地方，我們也用人工的光源來照明我們的四周及我們的工作場所。它們是不同形式不同種類的溫度輻射并產生了可以引起光綫的各種不同方式的热能（随着技術水平而不同）。

光綫的傳播是不需要可証實的傳遞媒介物的。所謂以太

(Lichtäther) 也只不过是一种想像的必不可少的东西，它只是在用来说明某些物理现象时是需要的，而且按所说明的现象不同而具有不同的意义。

光的传播所需要的时间十分短促。光的速度与一般速度比较起来是特别大的；它在真空的空间中约有 300000 公里/秒。为物质所充满的空间中光线传播的速度则较小于在真空中的速度，这种速度的降低不仅与所穿透的介质的性质有关，而且也与光的颜色有关。例如在空气中的速度约为 299900 公里/秒，在水中则约为 225000 公里/秒。光的折射现象就是基于光线的速度受物质的影响。

光线的直线传播是我们日常生活中所已经证实了的经验：太阳的光通过一个孔进入到一个黑暗的屋内时，空气中被照明的尘埃，容易表明这一特性；此外，不透明物体形成阴影也反复证实了这一自很久以来就有的认识。

普通我们就用直线，用光线来表明光的走向以便易于了解。而严格地说，一条一条的光线实际量不存在的。它只存在在纸上，而且仅只是一种作图的及计算的辅助说明方法。我们所观察的都是光束，它是一细小的、为直线围限的光锥(Lichtkegel)，这种光锥是由一本身发光的物体或由被照明了的物体所发出，它一直伸展出去并恒为一有限的锥口(Öffnungskegel)。一条一条的光线不能用任何方法产生。用一条一条光线的想像所形成的辐射光学仅对于光学仪器成像的理解以及其计算具有特殊的意义。它是光学中的一个专门部分，一般称之为几何光学。在以下的叙述中，最大的部分即为几何光学。

光的传播有一系列现象，例如绕射(光线通过一小孔时所发生的弯曲现象)，不能用几何光学加以说明。这些现象仅可以用光传播的波动假说来说明。这些现象包括在波动光学或物理光学的范围内。

由于光的波动性质，在成像的光学仪器中，就特别规定了它

們的效能極限。在精密測量技術中所使用的儀器，其光學零件在一般情況下並不要求用到此極限效能，因此這裡不詳細講述光學的這一部分。但是光的波長對於測量技術來說，它現今是長度的標準，因此，只是由於這一原因，這裡也需要研究光的波動性質。

第二章 折射與反射的基本現象

第1節 光的反射

在輻射光學中我們不需使用光為一種波動的概念。我們假定光是由一發光點以光綫的形式直綫地向所有的方向傳播開去。在一個具有有限張口的空間錐體內所包含的光綫假定是相互沒有影響的，它們總起來就組成了一光束。與之相反，由一點所發射出來的在一個平面上的光綫則稱之為光帶。

如果光到達我們四周的某一物體時，一般它分為兩部分；一部分進入物體內部，另一部分由物體反射回來。進入到物體內部的光與反射回來的光的比例在各種情況下都不相同。如果我們首先只是考察反射的光綫，則又可分為兩種不同情況：在粗糙表面的反射及在光滑表面的反射。

如果光遇到一粗糙表面的物體（這裡所說的粗糙是與光波波長相比的），則光束的各個光綫都改變了其方向，這種方向隨此光綫所遇到的物體的形狀及其表面性質而不同：此照明光束在此物體的表面散射開來，即亂反射。

由於光的散射，此物體也就成了一個輻射光綫的光源，此輻射光綫與照明此物體的光束的傳播方向及界限之間不再有確定的關係。物體表面越粗糙，光的散射越嚴重，表面粗糙較小，則光的散射也較輕微。我們四周的一切物體或多或少地發生亂反射，因此，我們才能看見它們。

一 反射定理

如果光不是遇到一粗糙表面而是遇到一光滑的表面，那么它的方向也会發生改变；仅不过沒有散射而已，也就是說有規則地反射。这种改变光綫方向的反射面实际上是看不見的，当它越是光滑时越是如此。

在光滑表面上光綫傳播方向的改变服从于反射定理，这也就是几何光学中的第一个基本定理：

入射綫与反射綫二者与反射面上入射点的法綫成相等的交角，而且在同一平面內。

圖 1 中， ε 表示入射角， ε'_R 表示反射角。它們均是自入射点的法綫起量到光綫的，它們符号相反而相等。反射定理我們写成下式：

$$\varepsilon'_R = -\varepsilon. \quad (1)$$

在光路示意圖中，我們常将光綫画成从左向右射来，倘若仪器的使用位置不特別要求将光綫画成另一方向的話。角度的計算值应是自法綫量到光綫。如果对角度的顶点來說这一方向与时針走动的方向相反，則作为正的，如果这一測量方向与时針的走动方向一致，則作为負的。

投射綫与反射綫之間的角度为方向改变角 δ (Ablenkungswinkel)。按圖 1 其值为：

$$\delta = 180^\circ - \varepsilon + \varepsilon'_R. \quad (2)$$

如果光綫的原先的方向轉到此新的方向时是逆时針的轉动方向，則此角为正。反之則为負。它的补角 $\bar{\delta} = 180^\circ - \delta$ 則是等于反射角 ε'_R 与入射角 ε 之差的負值，也就是等于两倍的投射角：

$$\bar{\delta} = -(\varepsilon'_R - \varepsilon) = +2\varepsilon. \quad (3)$$

当一反射鏡旋轉了一个角度 γ 时，如圖 2，在与旋轉軸垂直的平面內入射角以及反射角各都改变了一个角度 $\Delta\varepsilon = -\gamma$ ；因此，方向改变角 δ 变化了 2γ ：

$$\Delta\delta = -2\Delta\varepsilon = 2\gamma。$$

(方向改变角的补角 $\overline{\delta}$ 则变化了 $\Delta\overline{\delta} = -2\gamma$)。

如果在鏡面轉动的变化 $\Delta\delta$ 中我們需要一光綫方向改变的角度 δ 比反射定理 (4) 所給予的因子“2”还要大时，則我們可以使光綫在此同一鏡面上發生再反射。

如圖 3 所示，为此我們使用了一固定的反射鏡，使光綫在反

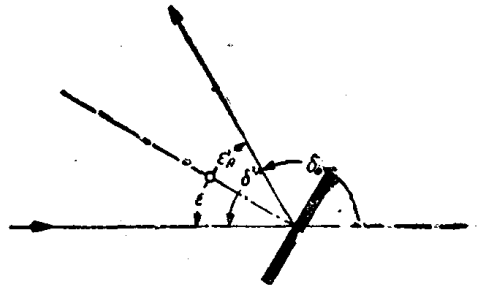


圖 1 反射定理

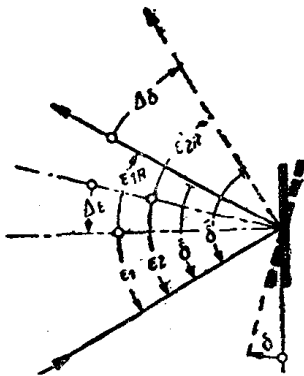


圖 2 当反射鏡轉动时光綫方向的变化

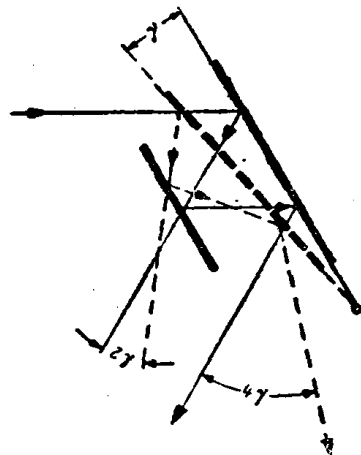


圖 3 由于再反射而使方向改变角的增加

射后折回，再一次地在此活动的鏡面反射。在需要的时候，也可使用多次回复的再反射。例如通过两次的反射，則方向改变的角度是四倍于鏡面的旋轉角度。

如果我們需要使光綫方向改变角 δ 在反射中与方向改变系統的旋轉无关，則我們必需如圖 4 及 5 所示，利用一双反射来代替簡單反射，也就是說利用一角式反射鏡(Winkelspiegel)来代替一簡單的反射鏡。角式反射鏡的角度 α 應該等于所需要的方向改

变角 δ 的一半。当角式反射鏡以其两反射面的交綫为軸旋轉时，不致使光綫反射的方向發生改变。角式反射鏡的这种特性有很多用处，特别是在要求光学系統在其內部的反射机构發生不希望の轉动时不致受到扰动的时候。

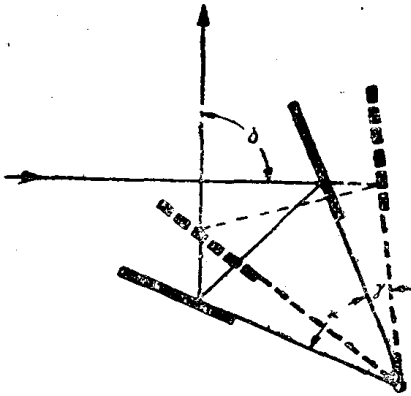


圖 4 使光綫方向改变 90° 的角式反射鏡

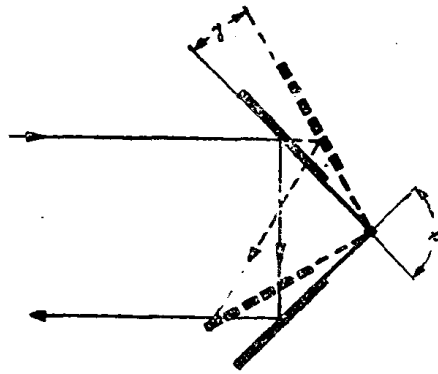


圖 5 使光綫方向改变 180° 的角式反射鏡

二 用平面鏡成像

一束光綫在反射鏡上的变化比較單独光綫的反射更为重要。由一个点所發出的光綫在一个平面上反射时，它們相互間的配合关系是不变的，它們不会失去共同从一点出發的特性。我們把这些在反射鏡上改变了方向的光綫向后延長，如圖 6，它們將交于一点 O' ，这就是 O 点的像。因为这并不是光綫的交点而是它們的延長綫在反射鏡后面的交点，我們把这种像点称之为虛像。

点 O 以及其虛像 O' 均在此反射鏡面的同一法綫上；而且它們各在反射鏡的一边与鏡面的距离相等。虛像 O' 在鏡后的距离等于目的物 O 在鏡前的距离。像点位置的作圖同时包括其設計的原則为：从 O 点向反射鏡平面作垂綫，交点为 P ；通过 P 点，等距离地延長 OP 至 O' 。如果全部自 O 点發出的光綫在此反射平面均按反射定理反射，則全部从 O 所發出的光綫好像在 O' 点相交。对于一个延伸成为一目的物上的全部点也是一样，如圖 7。

光束在平面反射鏡上的反射形成了目的物的虛像，成像的比

例為 1:1，而它的位置則正好相反。這種由於反射鏡而顛倒的像的位置（左與右的顛倒或是上與下的顛倒），可以讓光束再一次地

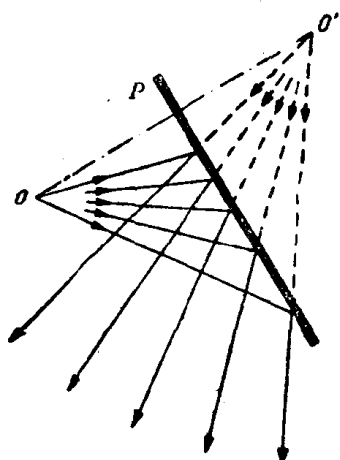


圖 6 平面反射鏡的一點的成像

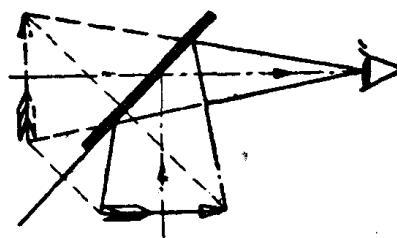


圖 7 物體在平面反射鏡中的成像

在第二個反射鏡上反射而消除，此第二個反射鏡的法綫應與第一個反射鏡的法綫在同一平面上。

圖 8 所示為兩個相平行的平面反射鏡，圖 9 所示為兩個相垂直的平面反射鏡，它們為雙反射中的特例，是在光學儀器中使用得很多的兩種情況。至於像以及目的物的位置則必需永遠注意到：或是此二者都是順着光綫的方向來觀察，或是此二者都是逆着光綫的方向來觀察。在圖 8 中，它們沒有改變位置，而在圖 9 中，出現了 180° 的顛倒。光束在側面的移動則不致使得光綫方向發生改變。

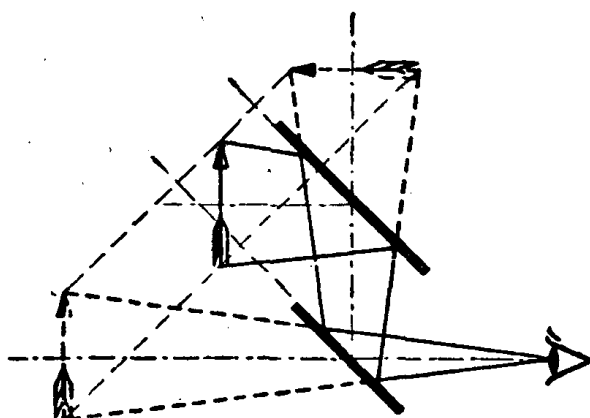


圖 8 在兩個相平行的反射鏡中物體的成像

因为在几何光学中任何光綫的路程皆可逆溯，因此，不仅可将 O' 作为 O 的像以及 O'' 作为 O' 的像来理解，而且 O 以及 O'' 也可作为 O' 的像来理解。如果我们已得到在平面反射鏡上的像，其法綫在所繪圖的平面上，那么， O 与 O'' 在位置以及大小上則都是一致的。

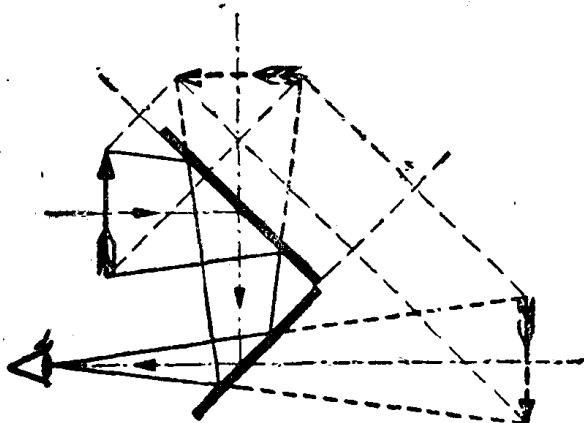


圖 9 在两个相垂直的反射鏡中物体的成像

在（理想的）平面反射鏡上的成像是唯一沒有各种成像誤差的，也就是說光綫在像点上的相交是完善的，而且特別是目的物的成像沒有畸变。这一点对于測量技术來說是特別重要的。

第 2 节 光的折射

光能透过的物体，如果光在这种物体中不發生漫射而仅是部分地被吸收掉，則称之为透明，否則則是透亮。而任何这种透明的物体当它是充分厚时，就不再透明了；反之，任何一不透明的物体当它是充分薄时則是透明的（金屬箔如金箔等）。

如果同一种顏色的光在某一物体中傳播的速度比在另一种物体中为快，則我們称这种透明的物体比另一种較為光疏，如果傳播速度較慢，則称之为較為光密。一般用来作为比較的对象为空气，它与真空在性質上的区别一般可以略而不計。就光学的关系而言，一物体的性質以某一定顏色的光在它里面的速度来表示，而且是以其与这种光在空气中的速度比来表明这种物体的性質。这一光速比值的倒数称为这一物体的折射比，折射率或簡單地称