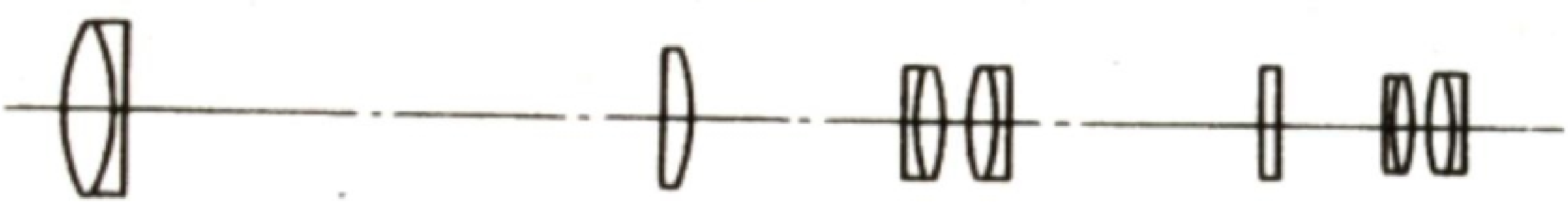
教学要求

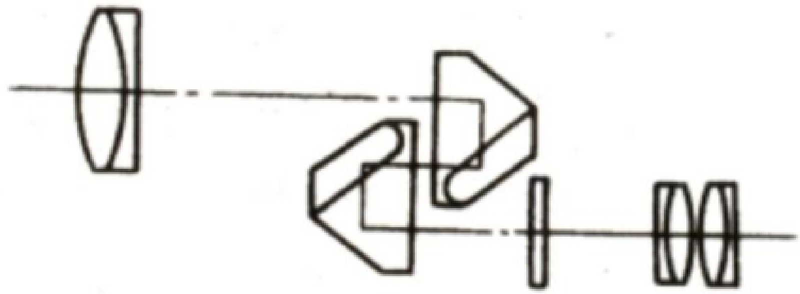
- ●掌握平面成像的原理、平行平板成像的特性；
- ●掌握反射棱镜成像原理及在光路中的作用；
- ●理解折射棱镜及光楔在光路中的应用。

概述

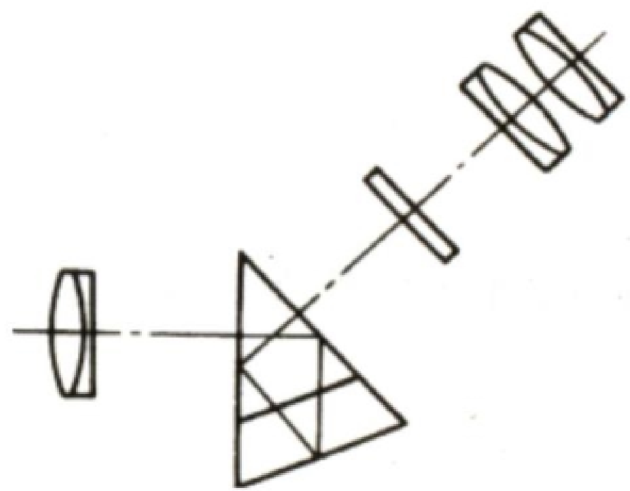
利用透镜可以组成各种共轴球面系统，以满足不同的成像要求，例如望远镜和显微镜等，但是，共轴球面系统的特点是所有透镜表面的球心必须排列在同一条直线上，这往往不能满足很多实际的需要。例如用正光焦度的物镜和目镜组成的简单望远镜所成的像是倒的，观察起来就很不方便，为了获得正像，必须加入一个倒像透镜组，这种系统如图所示。



目前使用的军用观察望远镜，由于在系统中使用了棱镜，所以它不需要加入倒像透镜组即可获得正像，同时又可大大地缩小仪器的体积和重量。



此外，在很多仪器中，根据实际使用的要求，往往需要改变共轴系统光轴的位置和方向。例如在迫击炮瞄准镜中，为了观察方便，需要使光轴倾斜一定的角度，如图所示。



利用棱镜或平面镜的旋转，就可以观察到四周的情况，如图中的周视瞄准镜。

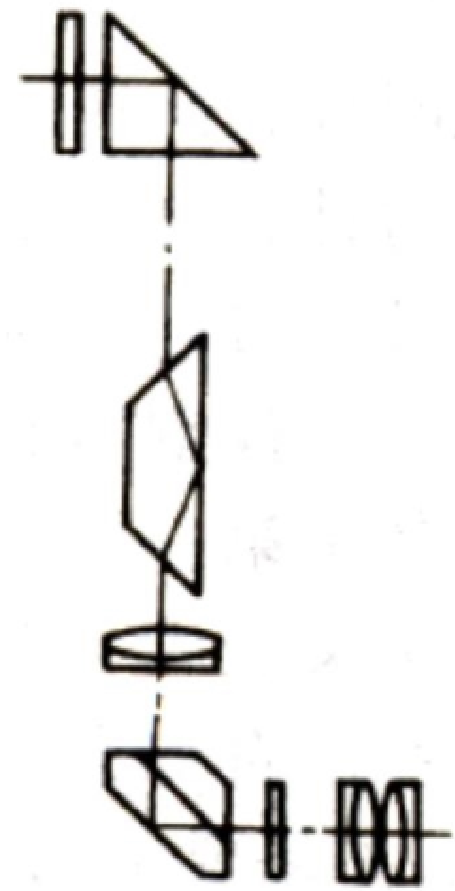
平面镜、棱镜系统主要作用有：

① 将共轴系统折叠以缩小仪器的体积和减轻仪器的重量；

② 改变像的方向——起倒像使用；

③ 改变共轴系统中光轴的位置和方向；

④ 利用平面镜或棱镜的旋转，可连续改变系统光轴的方向，以扩大观察范围。



§3.1　平面镜成像

一、平面镜成像

1、平面镜的成像特性

平面镜是最常用的光学元件之一，也是最简单并能成完善像的唯一一个光学元件。

2、物像位置关系及放大率公式

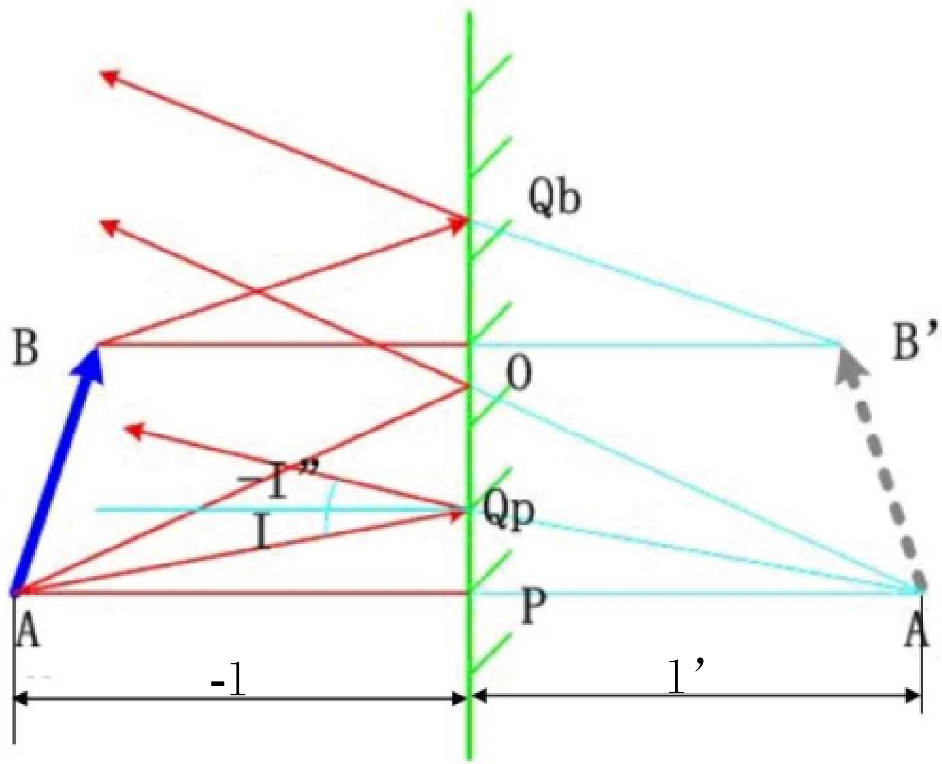
①物像位置关系式：

$$\frac{n'}{l'}-\frac{n}{l}=\frac{n'-n}{r}$$

$$n'=-n\ ,\quad r=\infty$$

$$l'=-l$$

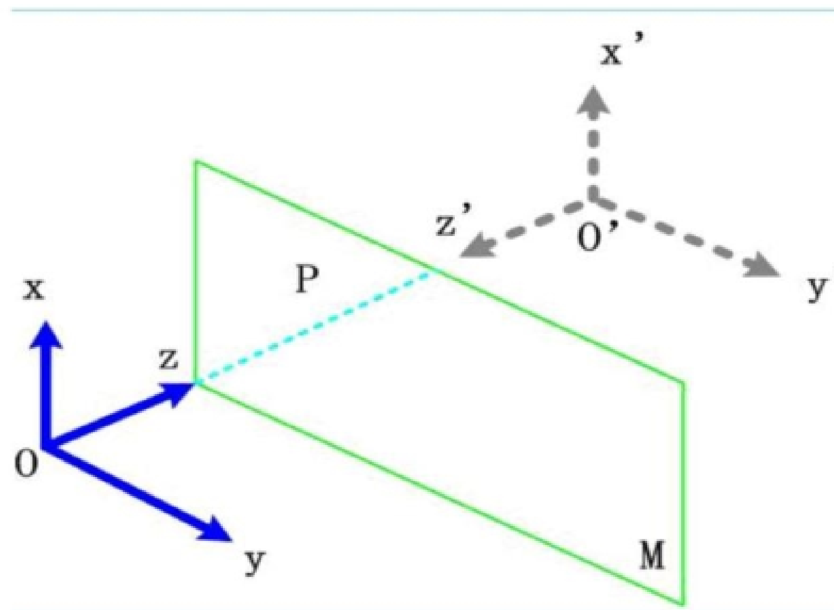
即像与物相对于平面镜来讲是对称的。



②放大率公式：

$$\left.\begin{array}{l}\beta = \dfrac{nl'}{n'l} \\ l' = -l \\ n' = -n\end{array}\right. \quad \Rightarrow \quad \beta = +1$$

这说明正立的像与物等距离的分布在**镜**面的二**边**，大小相等，虚**实**相反。因此，像与物完全**对**称于平面**镜**。



3、**镜**像与一致像

①所**谓镜**像是指若物**为**右手坐**标**，像**为**左手坐**标**，**这**种像叫**为镜**像。

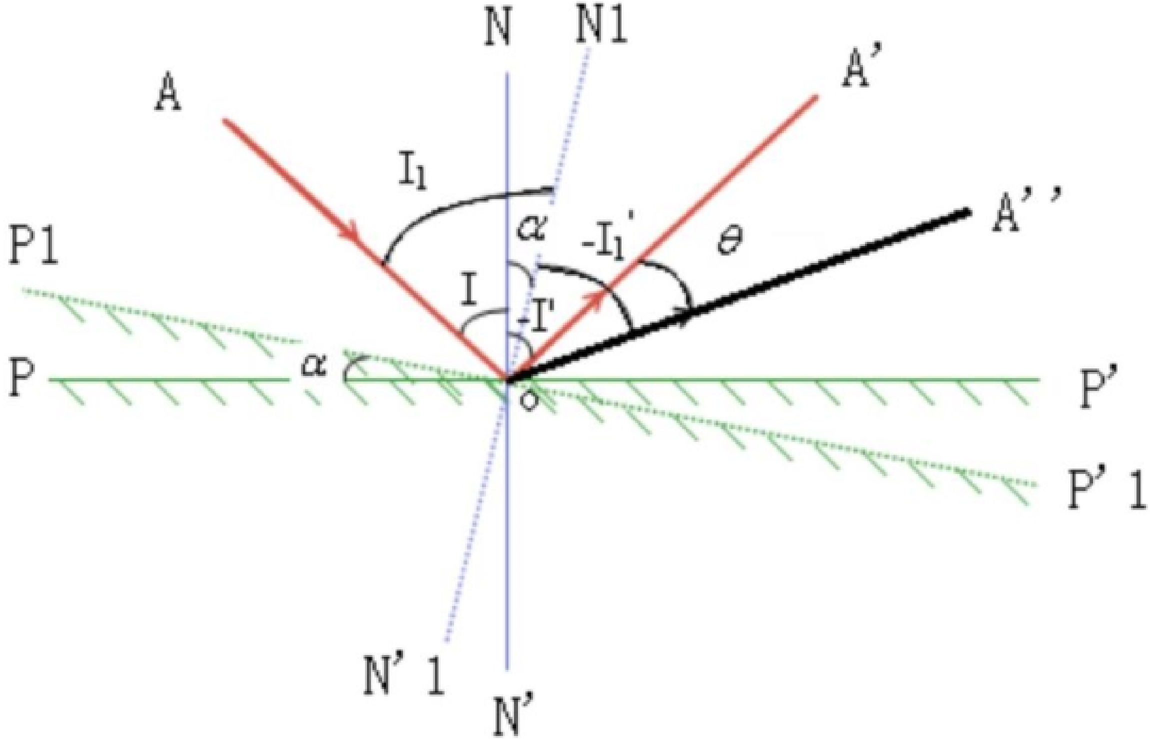
特点：像与物上、下同向，但左右却颠倒，它可通过奇次反射得到。

② 一致像：物为右手坐标，像也为右手坐标，即物与像是完全一致的，它可通过偶次反射来得到。

总结：（**1**）奇数次反射成镜像，偶数次反射成与物一致的像。

（**2**）当物体旋转时，其像反方向旋转相同的度数。

二、平面镜旋转



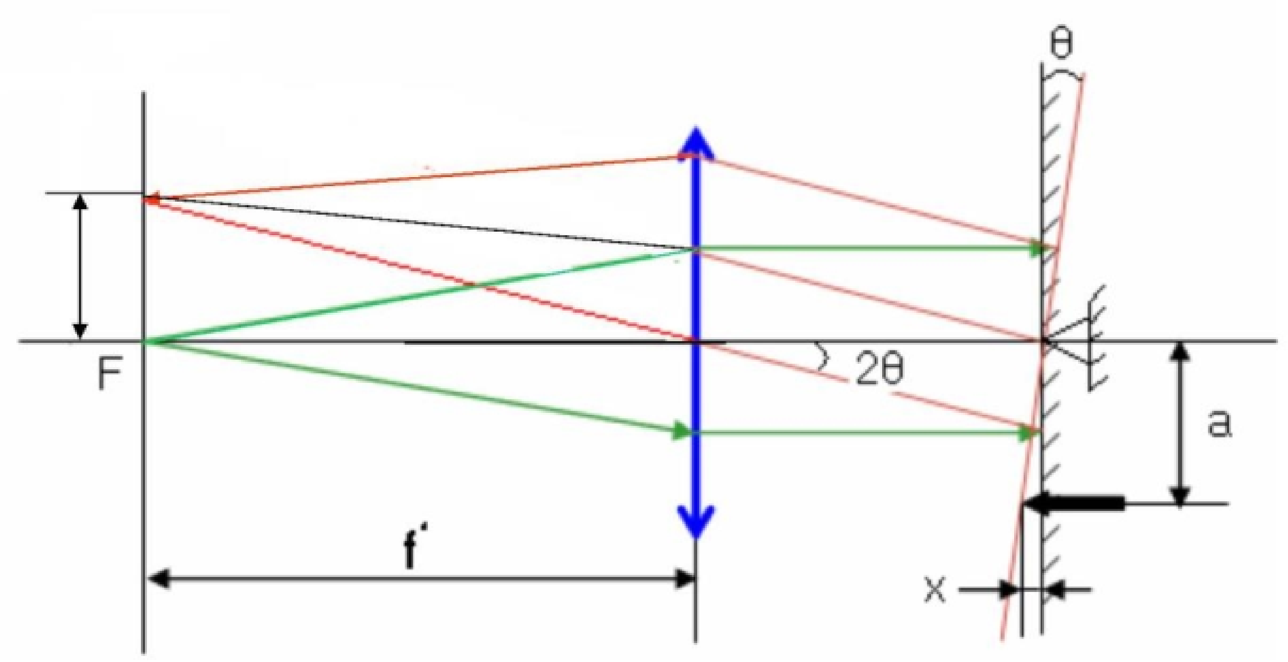
重要特性：当入射光方向不**变**，而平面**镜**旋**转时**，反射光**线**的方向将会改**变**。若平面**镜转过**角**α**，反射光**线**将**转过2α=θ**角。

$\theta = AOA'' - AOA' = 2(AON - AON1)$

$\because AON - AON1 = \alpha$

$\therefore \theta = 2\alpha$

应用：**测**量微小角度或位移。

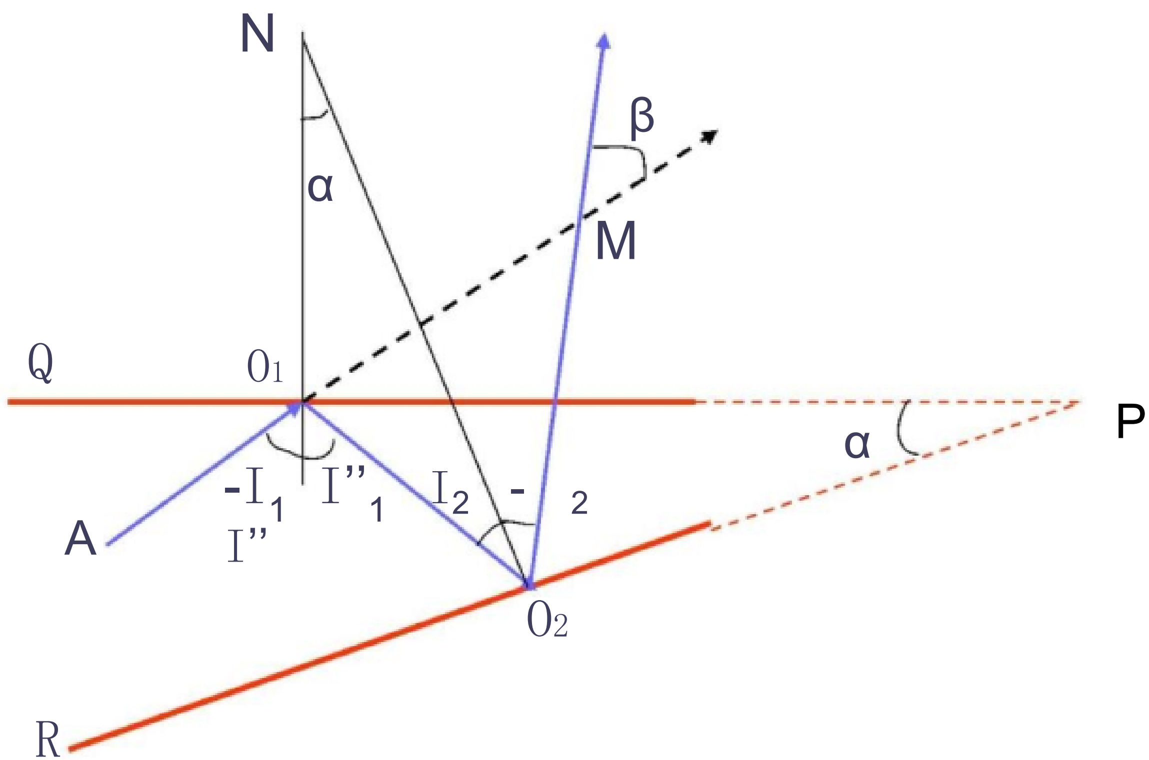


$y = f' tg2\theta \approx 2f'\theta$

若平面镜转动是由测微杆引起得，设测杆到支点的距离微a，测杆的移动量为 x，则$tg\theta \approx \theta = x/a$, 代入上式，得：$y = (2f'/a)x = Kx$

三、双平面镜成像

性质：在双平面镜系统中，出射光线和入射光线的夹角与入射角无关，只取决于双面镜的夹角α。



△O_1O_2M，有

$$(-I_1 + I''_1) = (I_2 - I''_2) + \beta,$$

根据反射定律：

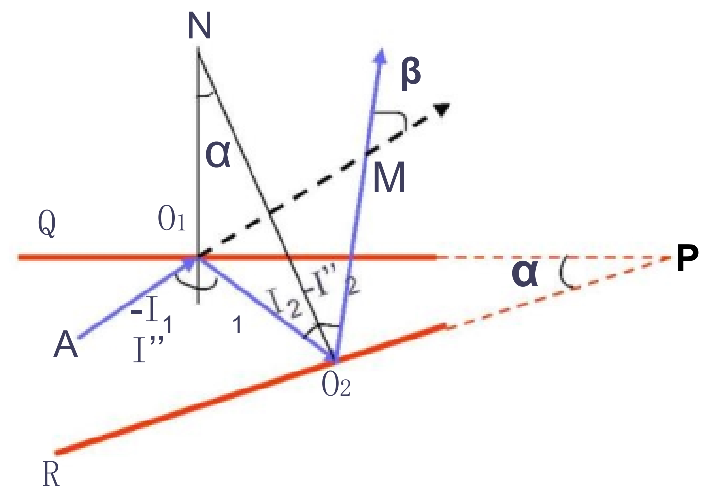
$$I_1 = I''_1 \;;\quad I_2 = I''_2$$

$$\beta = 2\,(I''_1 - I_2)$$

在△O_1O_2N中，有

$$I''_1 = \alpha + I_2 \;,\quad \alpha = I''_1 - I_2$$

所以有 $\beta = 2\alpha$



§3.2 平行平板

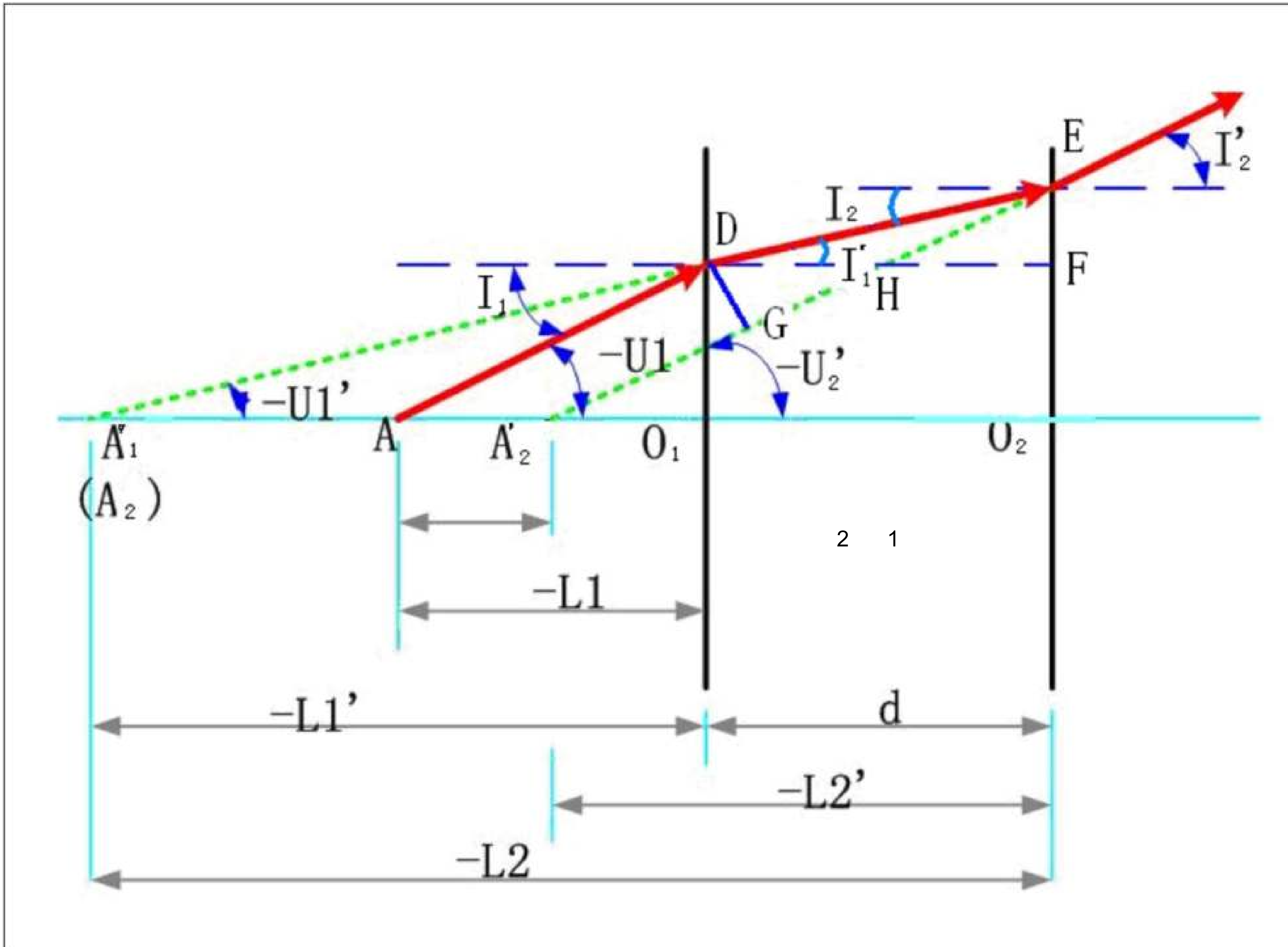
一、平行平板的成像特性

1、平行平板的定义：由二个互相平行的折射平面构成的光学元件。

$$|r_1| = |r_2| \to \infty \qquad \text{透平行平板}$$

$$I_2 = I_1' \qquad \sin I_1 = n\sin I_1' = n\sin I_2 = \sin I_2'$$

$\therefore \quad I_1 = I_2'$ ，或 $U_1 = U_2'$ 即：出射与入射始平行。



E
I'2
I2
D
I'1
F
H
I1
G
-U1
-U'2
-U1'
A''1
(A2)
A
A'2
O1
O2
2 1
-L1
-L1'
d
-L2'
-L2

$$\gamma = \frac{tgU_2'}{tgU_1} = 1 \qquad \beta = \frac{1}{\gamma} = 1 \qquad \alpha = \beta^2 = 1$$

这表明，平行平板是个无光焦度元件，不会使物体放大或缩小，在系统中对光焦度无贡献。

由于出射光线与入射光线不重合，产生侧向位移ΔT＝DG和轴向位移$\Delta L' = AA'_2$，在ΔDEG和ΔDEF中，DE为公共边，所以

$$\Delta T = DG = DE\sin(I_1 - I_1') = \frac{d}{\cos I_1'}\sin(I_1 - I_1')$$

$$\because \quad \sin(I_1 - I_1') = \sin I_1 \cos I_1' - \cos I_1 \sin I_1'$$

$$\because \quad \sin I_1 = n\sin I_1' \quad \Rightarrow \quad \sin I_1' = \frac{1}{n}\sin I_1$$

$$\therefore \quad \Delta T = \frac{d}{\cos I_1'}\sin(I_1 - I_1') = \frac{d}{\cos I_1'}(\sin I_1 \cos I_1' - \cos I_1 \sin I_1')$$

$$\Delta T = d\sin I_1(1-\frac{\cos I_1}{n\cos I_1'})$$

轴向位移由图可知：

$$\Delta L' = \frac{\Delta T}{\sin I_1} = d(1-\frac{\cos I_1}{n\cos I_1'}) \qquad (n = \frac{\sin I_1}{\sin I_1'})$$

由折射定律：

$$\Delta L' = d(1-\frac{tgI_1'}{tgI_1})$$

该式表明，**轴**向位移**Δ**L'随入射角I_1(即孔径角U_1)的不同而不同，即**轴**上点**发**出不同孔径的光**线经**平板后与光**轴**的交点不同，亦即同心光束**变**成了非同心光束，因此，平行平板不能成完善像。

2、成象特性：

1）光**线经**平行平板折射后光**线**方向不**变**；

2）平行平板不使物体放大或**缩**小，其放大率β＝1，且象与物始**终**在同一**侧**；

3）光**线经**平行平板后**呈**方向不**变**，但却要**产**生一定位移；

4）同心光束**经**平板后**变为**非同心光束（平行平板成像是不完善的），$\Delta L'$越大，不完善程度也越大；

5）**轴**上点近**轴**光**经**平板成象是完善的。

二、平行平板的等效光学系 统

1、平行平板在近**轴**区内以**细**光束成像**时**，近**轴**区内的**轴**向位移**为**：

$$\Delta L' = d\left(1 - \frac{tgI_1'}{tgI_1}\right) \Rightarrow \Delta\ l' = d\ \left(1 - \frac{1}{n}\right) \qquad \left(\frac{tgI_1'}{tgI_1} = \frac{\sin I_1'}{\sin I_1} = \frac{1}{n}\right)$$

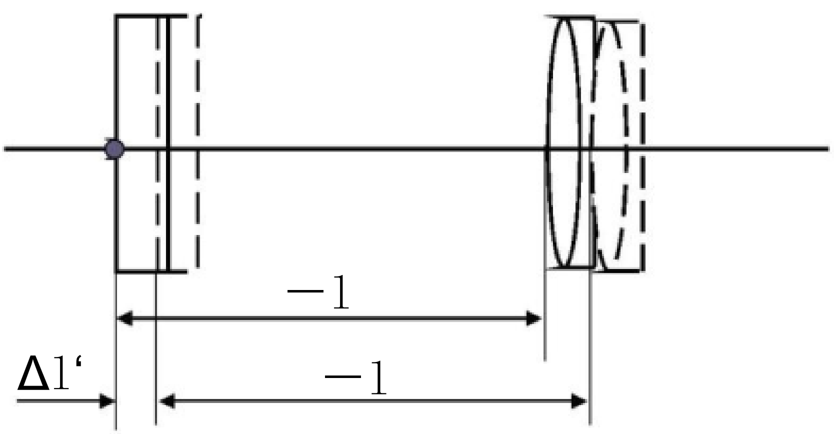
2、在近**轴**区，平行平板的**轴**向位移只与其厚度d和折射率n有关，与入射角无关。因此，平行平板在近**轴**区以**细**光束成像是完善的。

例**题**：一架**显**微**镜**已**对**一个目**标调**整好物距**进**行**观**察，**现**将一**块**厚**7.5mm**，折射率**1.5**的平板玻璃**压**在目**标**上，**问**此**时**通**过显**微**镜还**能看清楚目**标**，如何**调**整？

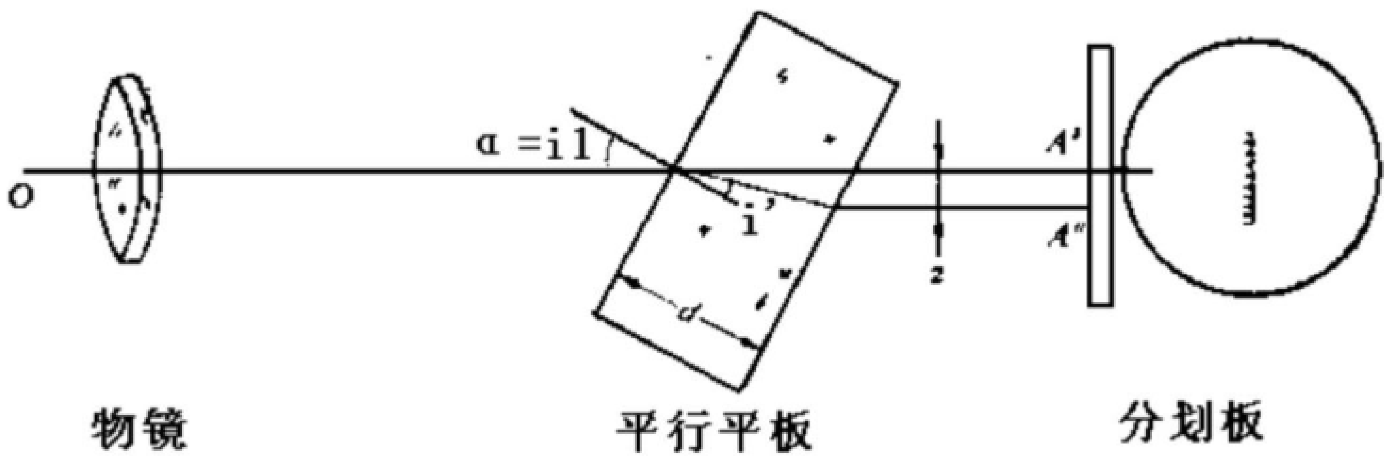
解：由于在**显**微**镜**下放入玻璃板厚，必然使原来**调**好的焦距**发**生**变**化，因**为**玻璃板的加入，会**产**生**轴**向位移使原来清晰的像便的模糊。

$$\Delta l' = d\left(1-\frac{1}{n}\right) = 7.5\left(1-\frac{1}{1.5}\right) = 2.5mm$$

显微**镜应**向上抬起**2.5mm**，才可使像清晰。



例体：如图所示是平板测微器的光路结构，已知平板厚度d＝10.4mm，平板材料为K9玻璃（n＝1.5163），分划板分度值为0.1mm(共10格)，物镜放大率是8倍。试计算：如果要使像点在分划板上移动1格，平板应转动多大角度?



分析：

平板测微器是根据平行平板使光线产生侧向位移这一特点而设计的。在读数望远镜物镜后而设置一块平行平板。OA’为系统的光轴，当平行平板垂直于光轴时，轴上物点经物镜所成的像落在A’点。在分划板上通常它位于刻尺的两条刻线之间，如果要确定它位于一格的百分之几位置，则

可转动测微平板，使像点从A’移到某一点A”而与一条刻线重合由图可见，平板转过的角度α就是光线在平板第一面的入射角i_1。而A’A”就是平板因倾斜而产生的侧向位移。当α很小时，根据公式

$$\Delta T = d \sin I_1 (1 - \frac{\cos I_1}{n \cos I_1'}) \qquad Z = d(1 - \frac{1}{n})\alpha$$

因此，当n和d已知时，就可根据平板的转角精确地读取相当于分划板上一格的小数值。

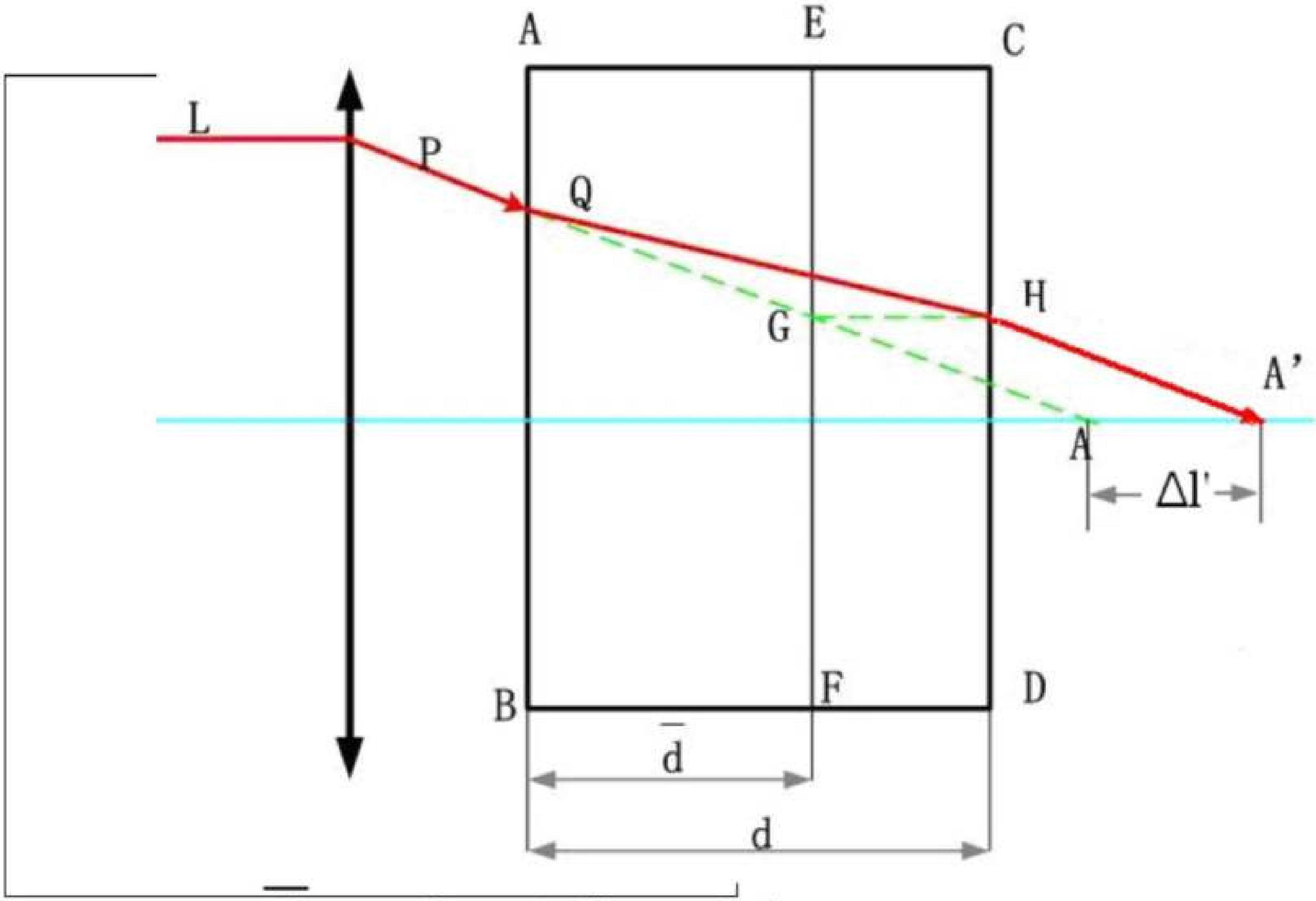
计算：

因分划板刻线分度值为0.1㎜，物镜放大8倍，则0.1㎜经物镜成像为0.8㎜，分划板上8㎜内刻分成10格．今按题意z＝0.8㎜

经计算，得

$$\alpha = \frac{Z}{d}(\frac{n}{n-1}) = \frac{0.8}{10.4}(\frac{1.5163}{1.5163-1})(\frac{360}{2\pi}) = 14^0$$

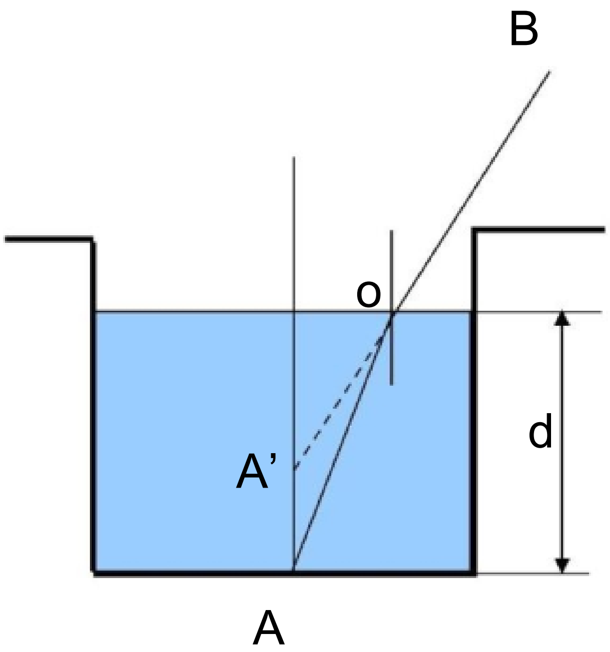
3、应用：将平行玻璃平板**简**化**为**一个等效空气平板。



$$\bar{d} = d - \Delta l' = d / n$$

举例：**1.** 一人站在游泳池旁，垂直注**视**池底物体，**试问**物体的**视见**位置要比**实际**位置高多少？（水的折射率**为4/3**）

解：**设**游泳池水的**实际**深度**为d**，有池底物点**A发**出的光**线**，**经过**水平面折射后，像点**A'**相**对**物点**A产**生了**轴**向位移。



$$\overline{AA'}=\Delta l=d(1-\frac{1}{n})=d(1-\frac{1}{4/3})=\frac{d}{4}$$

人垂直注**视**水面，看到水底的物体到水面的距离**为3/4d**

2. 一**层2cm**厚的乙醇（**n=1.36)**浮在**4cm**的水（**n=1.33**）面上，若沿着正入射方向往下看，水底乙醇上表面的**视见**深度**为**多少？

解：若把折射平面看成是曲率半径**为r=∞**的折射面，那么，近**轴**区平面折射的物象公式可写成