



应用光学

Applied Optics

任课教师：陈瑞

电子邮箱：chenr229@mail.sysu.edu.cn

助教安排：柳夏、石福隆

答疑时间：周四下午2:30-3:30，爪哇堂307

中山大学 物理学院
2021-1



第三章 平面和平面系统

20210910-4

平面系统能够改变光路方向、转像、分光以及色散作用使得光学系统的功能更趋完备，满足各种实际需求。

主要内容

- 3.1 平面系统的作用
- 3.2 平面镜 ★
- 3.3 平行平板
- 3.4 反射棱镜 ★
- 3.5 折射棱镜
- 3.6 光的色散和光学材料



第三章 平面和平面系统

平面系统能够改变光路方向、转像、分光以及色散作用使得光学系统的功能更趋完备，满足各种实际需求。

主要内容

- 3.1 平面系统的作用
- 3.2 平面镜
- 3.3 平行平板
- 3.4 反射棱镜
- 3.5 折射棱镜
- 3.6 光的色散和光学材料



3.1 平面系统在光学系统中的作用

一、共轴球面系统 VS 平面系统

共轴球面系统：

- 能够对任意位置的细小平面物体以要求的倍率成像
- 物平面垂直于光轴时，像平面也垂直于光轴，并且物像相似
- 不能拐弯，物、像以及光学系统必须处在一条直线上（共轴系统）

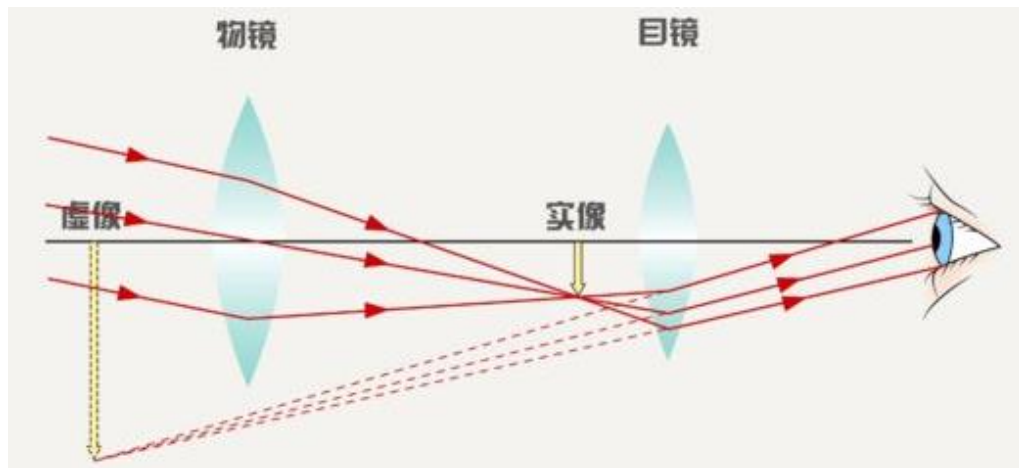
平面系统：

- 与球面系统配合，满足透镜不能实现的要求；
- 利用平面系统可以将光学仪器的功能更加完备；
- 主要包括平面镜、平行平板、反射棱镜和折射棱镜。

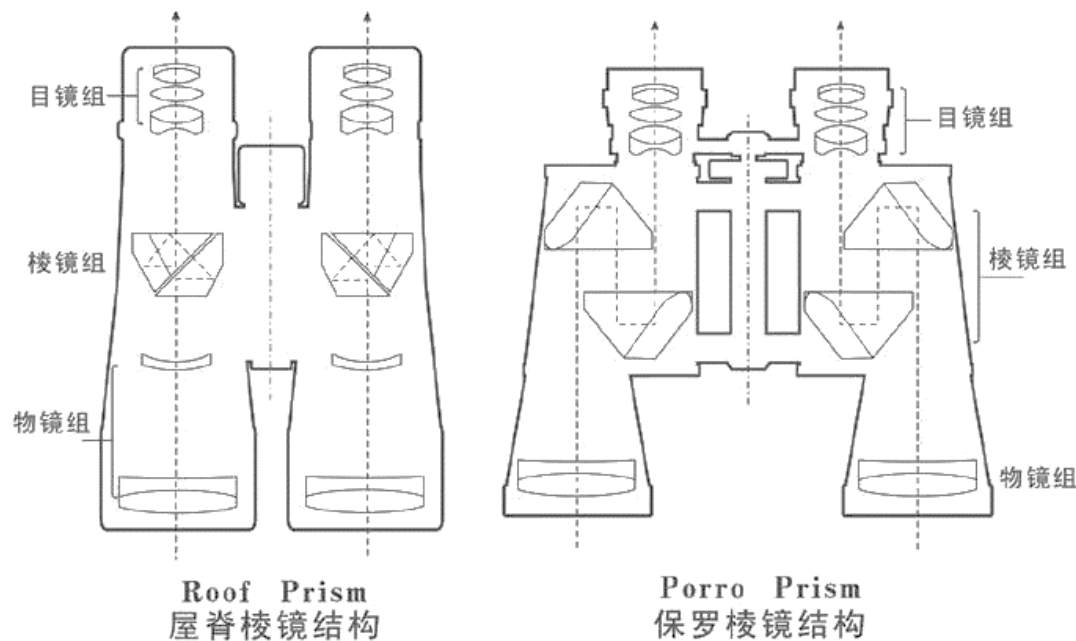
3.1 平面系统在光学系统中的作用

二、平面系统的作用

1. 转像，倒像



双筒望远镜光路示意图

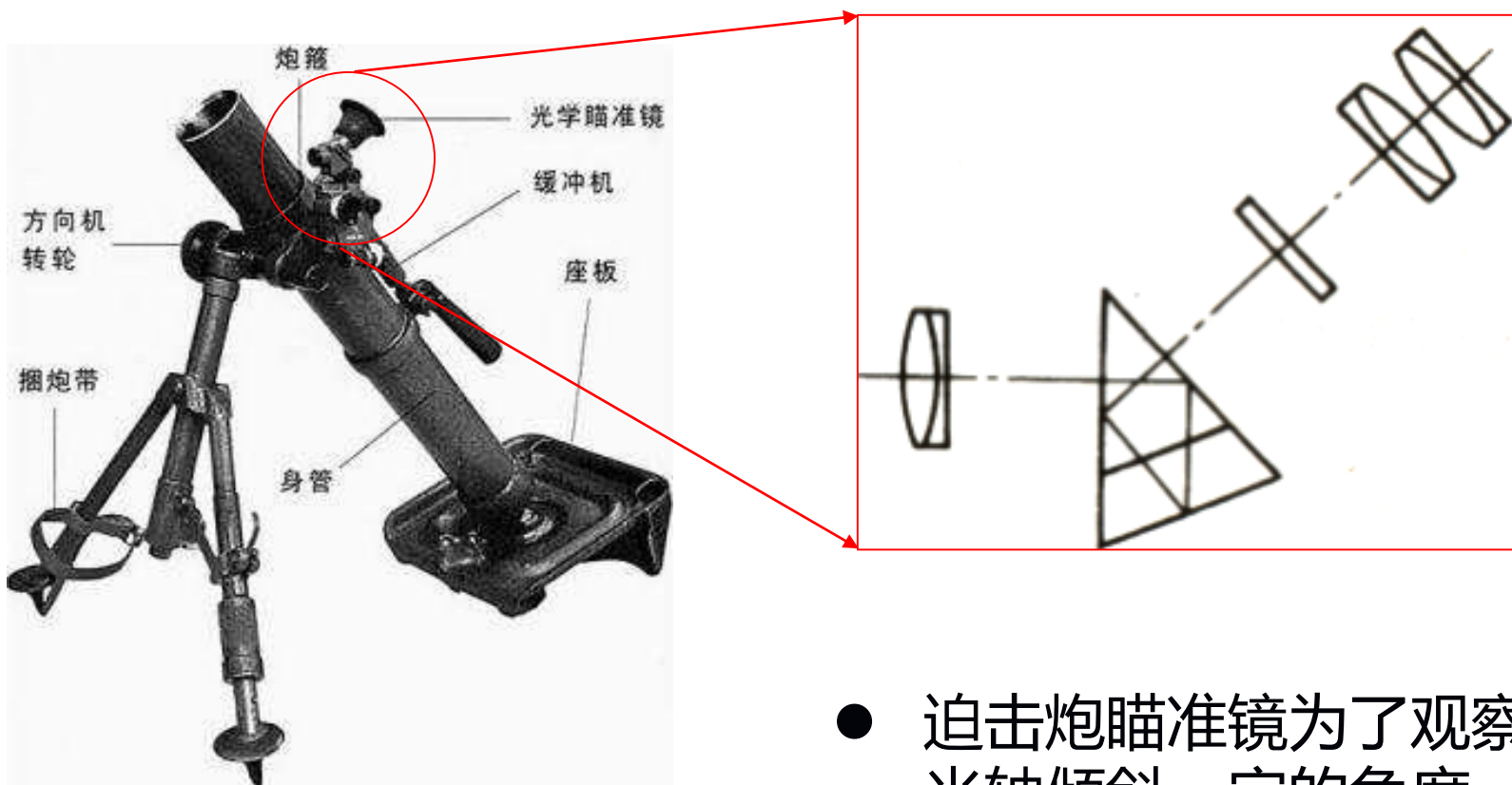


望远镜

3.1 平面系统在光学系统中的作用

二、平面系统的作用

2. 改变光路方向



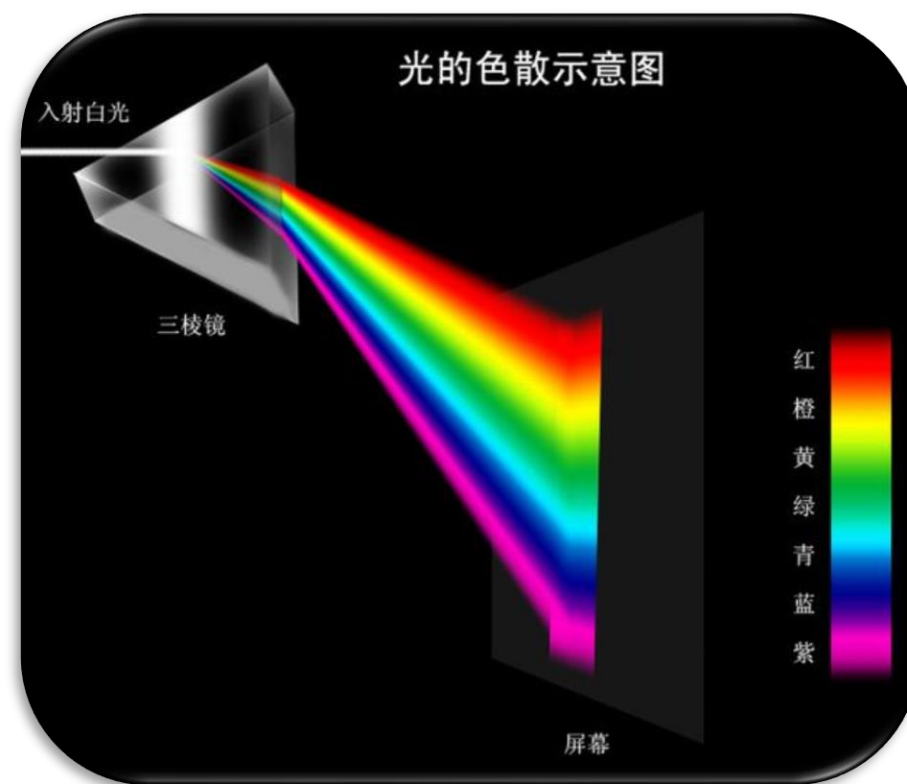
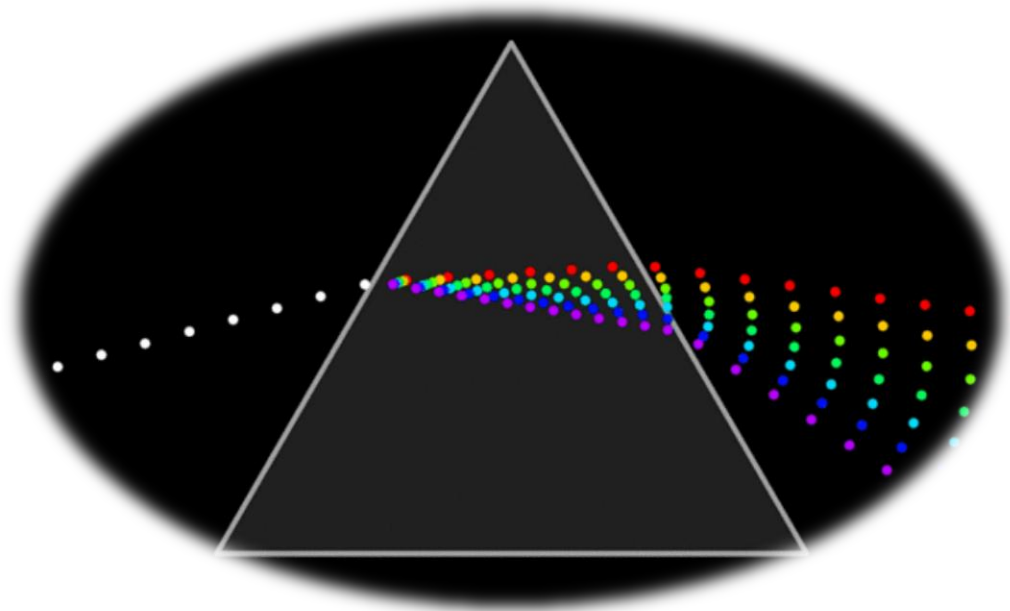
- 迫击炮瞄准镜为了观察方便，需要使光轴倾斜一定的角度。



3.1 平面系统在光学系统中的作用

二、平面系统的作用

3. 产生色散作用（分解光）



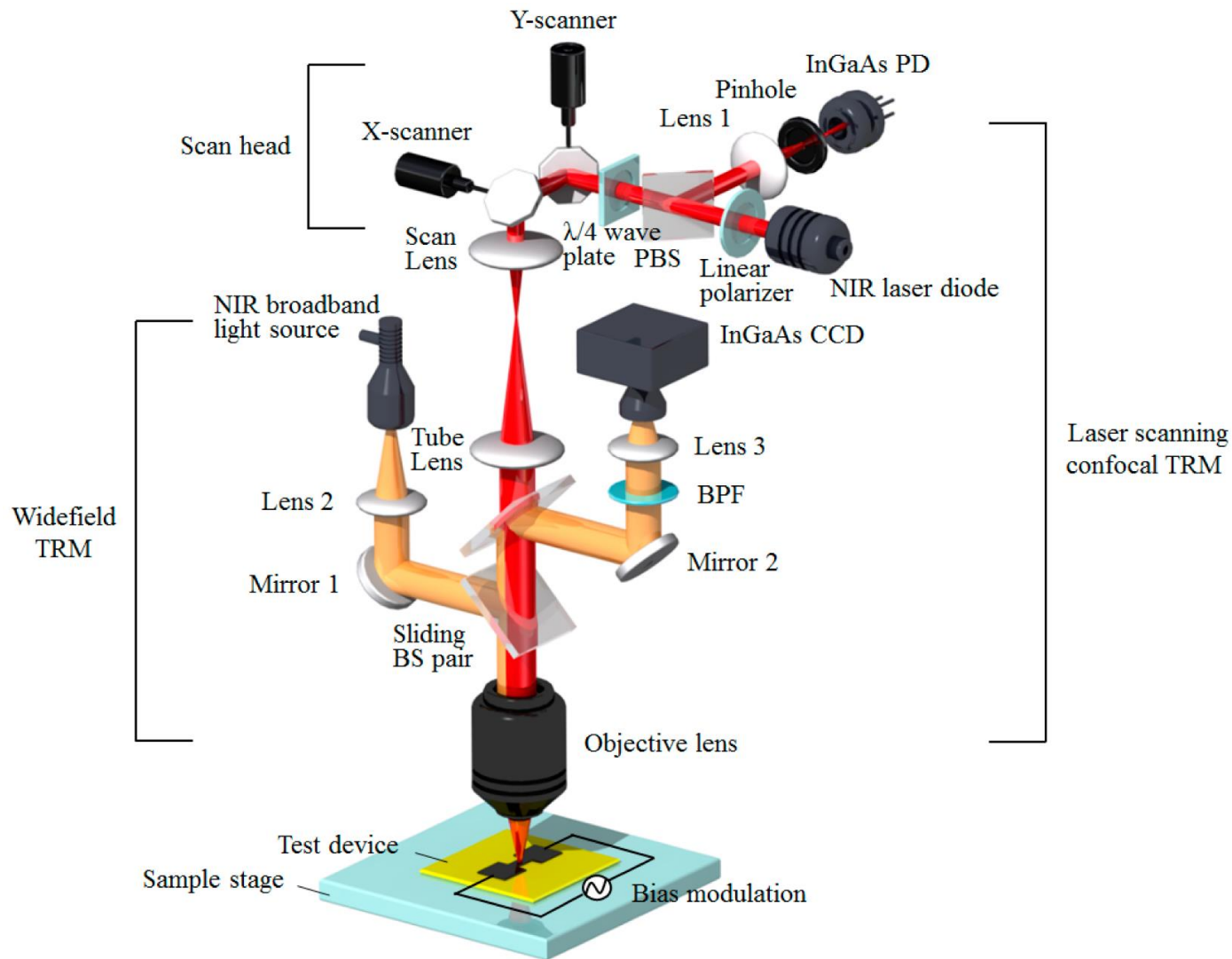
三棱镜的分光



3.1 平面系统在光学系统中的作用

二、平面系统的作用

- 复杂光学系统是球面系统与平面系统的组合，比如显微系统。



显微系统平面元件的应用



第三章 平面和平面系统

平面系统能够改变光路方向、转像、分光以及色散作用使得光学系统的功能更趋完备，满足各种实际需求。

主要内容

- 3.1 平面系统的作用
- 3.2 平面镜
- 3.3 平行平板
- 3.4 反射棱镜
- 3.5 折射棱镜
- 3.6 光的色散和光学材料



3.2 平面镜

一、平面镜成像

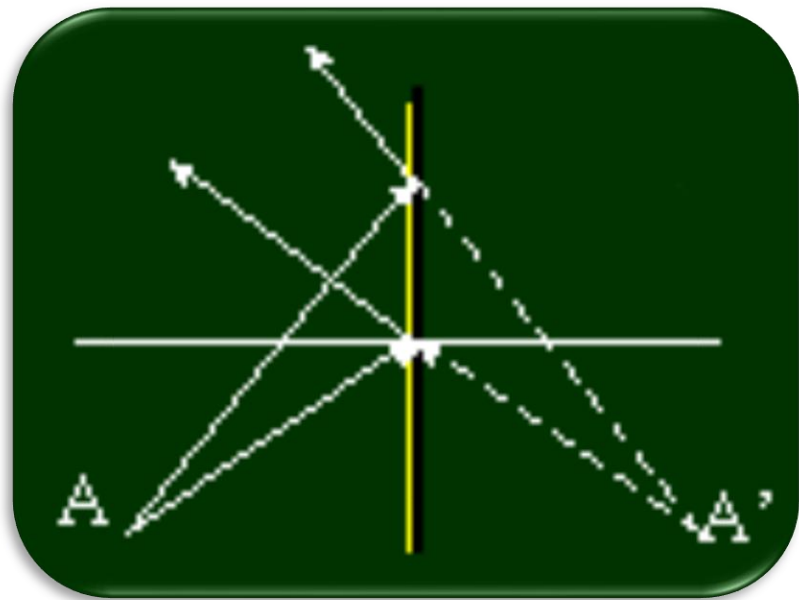
$r \rightarrow \infty$ 的球面反射镜

$$\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r} \xrightarrow{n' = -n, r \rightarrow \infty} l' = -l$$
$$\beta = -\frac{l'}{l} = 1$$

表明物像位于异侧成正像。

成像特点：

- ①完善像，唯一能成完善像的光学元件；
- ②正立、大小相等、虚实相反的像，像和物对称于平面镜；





3.2 平面镜

一、平面镜成像

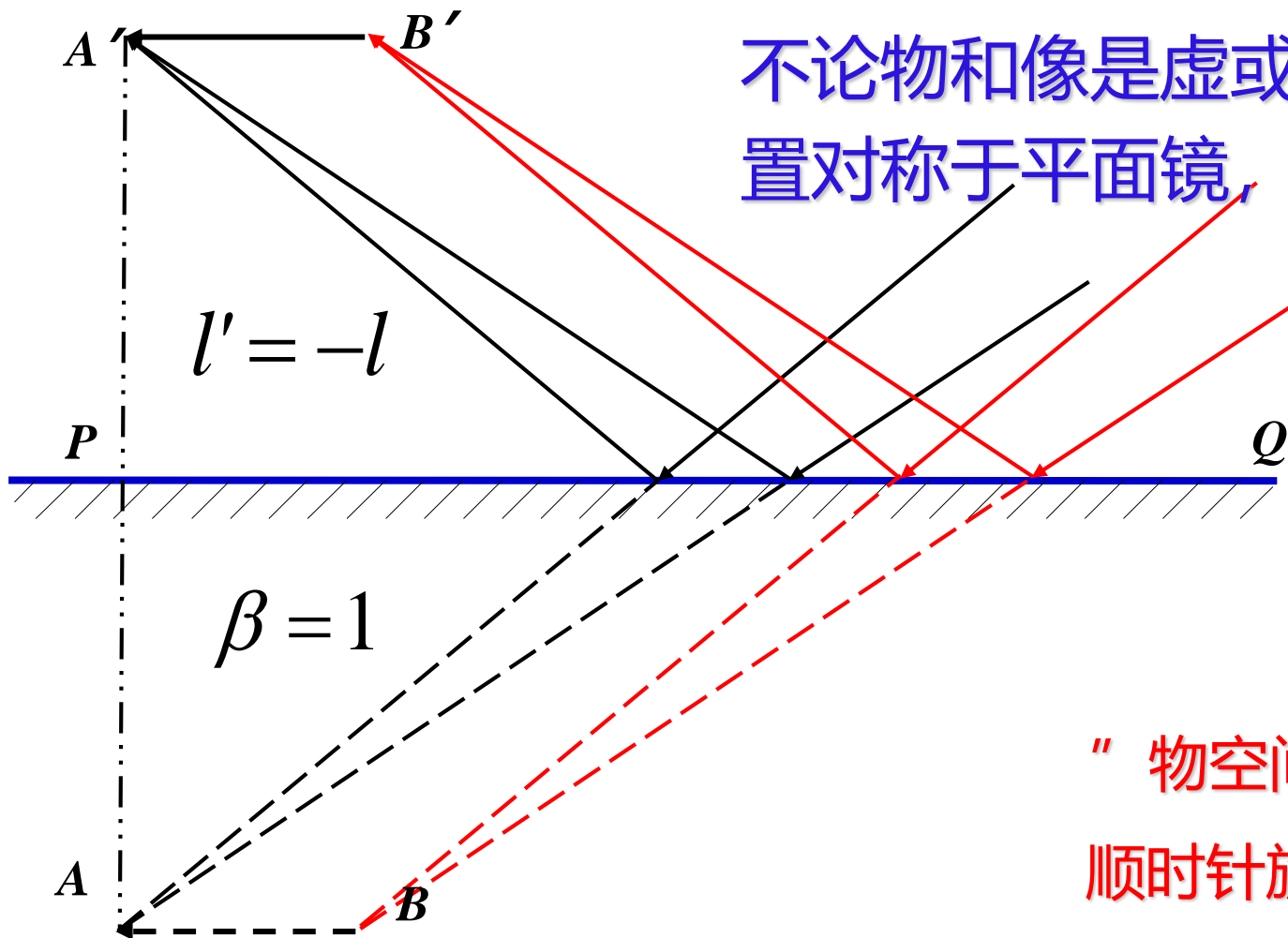


景物倒影



3.2 平面镜

一、平面镜成像



不论物和像是虚或实，它们的尺度相同且其位置对称于平面镜，这种对称性称为“镜像”。



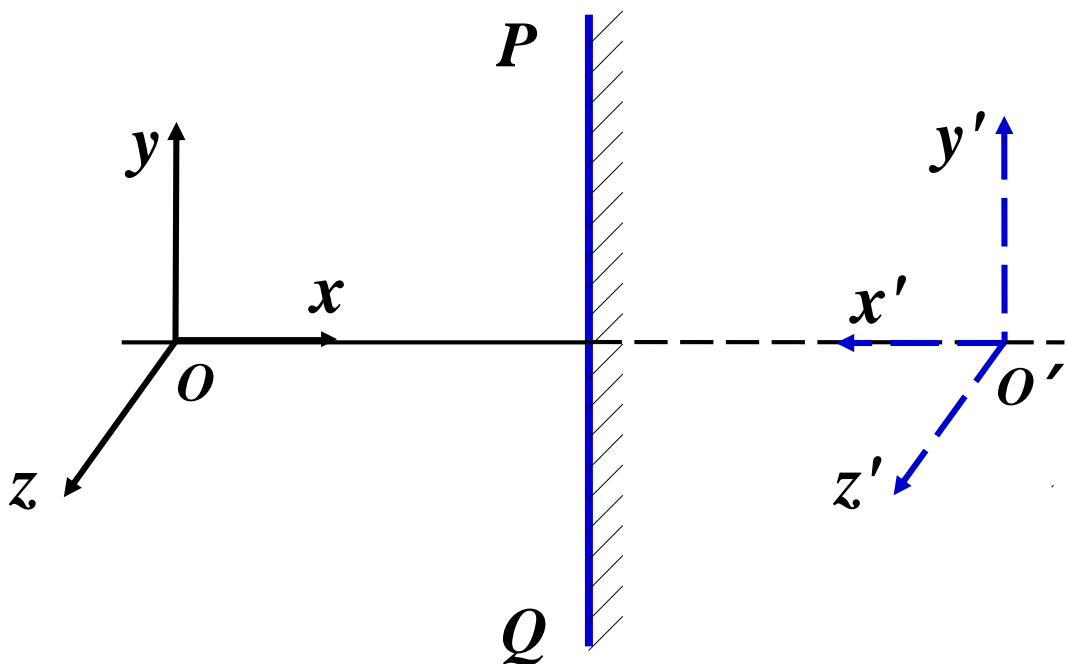
“物空间”与“像空间”是否一致？
顺时针旋转物，像是否是相同的旋转？



3.2 平面镜

一、平面镜成像

坐标系 “镜像”



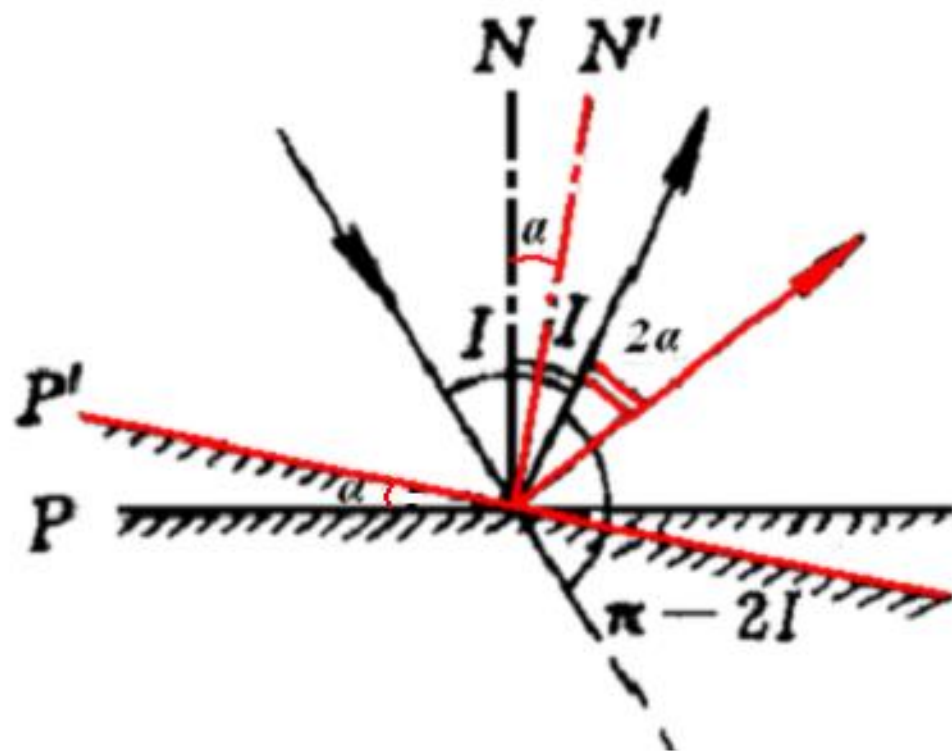
- 如果物体为右(左)手坐标系, 其像却是左(右)手坐标系, 这种的像, 叫做 “镜像” 或 “非一致像”。
- 如果物体为右(左)手坐标系, 而像仍为右(左)手坐标系, 则这样的像称为 “一致像”。

3.2 平面镜

二、平面镜旋转与平移

1. 平面镜旋转

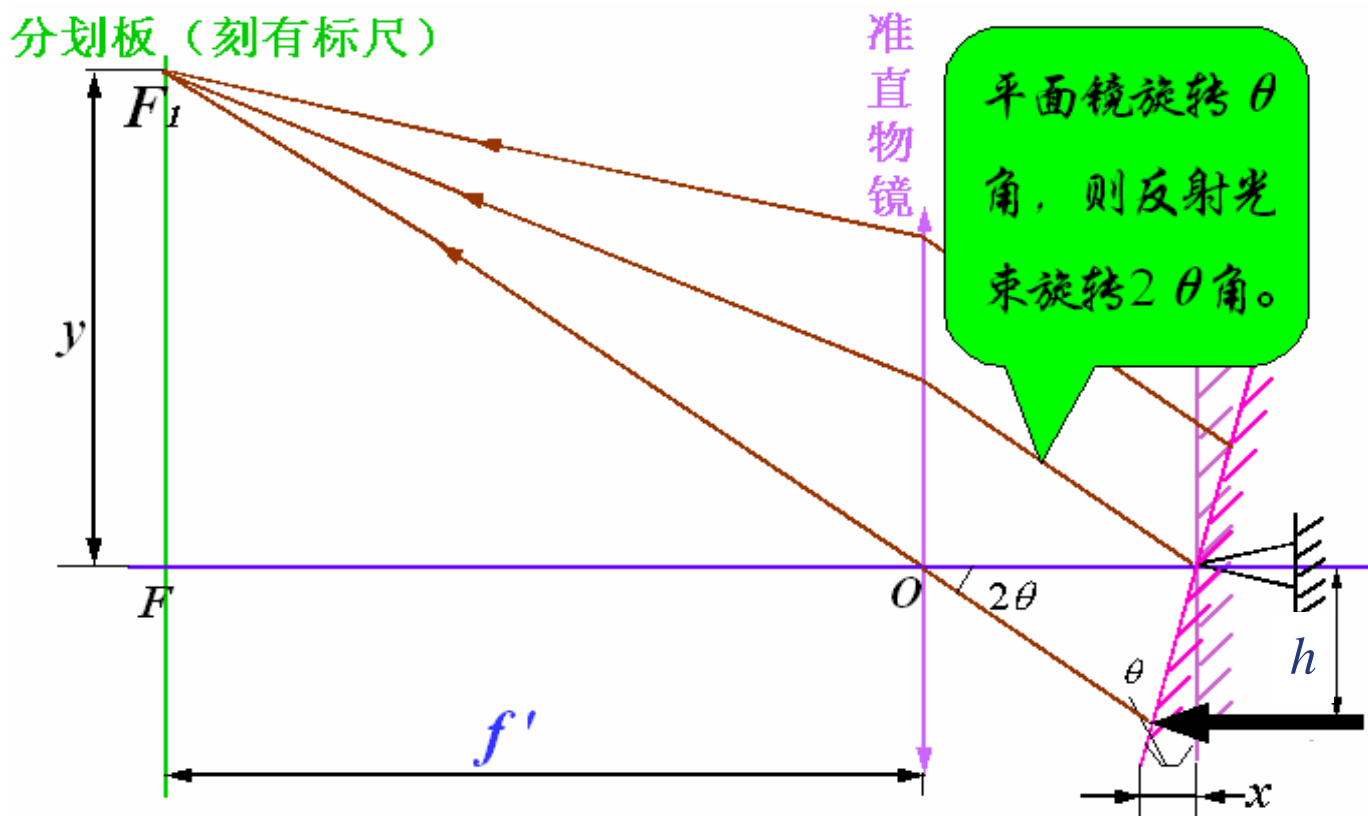
- 入射和反射光线间的夹角，等于入射角 I 的两倍，光线经过反射后旋转了 $(\pi - 2I)$ 的角度。
- 当平面镜绕着和入射面垂直的轴线转动 α 角时，入射角改变了 α ，而反射光线将改变 2α ，
- 转动方向和平面镜的转动方向相同。



3.2 平面镜

二、平面镜旋转与平移

1. 平面镜旋转



应用：测量微小角度或位移

$$\begin{aligned} y &= f' \tan 2\theta \\ &\approx 2f' \theta \\ &= f' \frac{2x}{h} \end{aligned}$$

应用设备：光电式灵敏电流计，光学比较仪等。

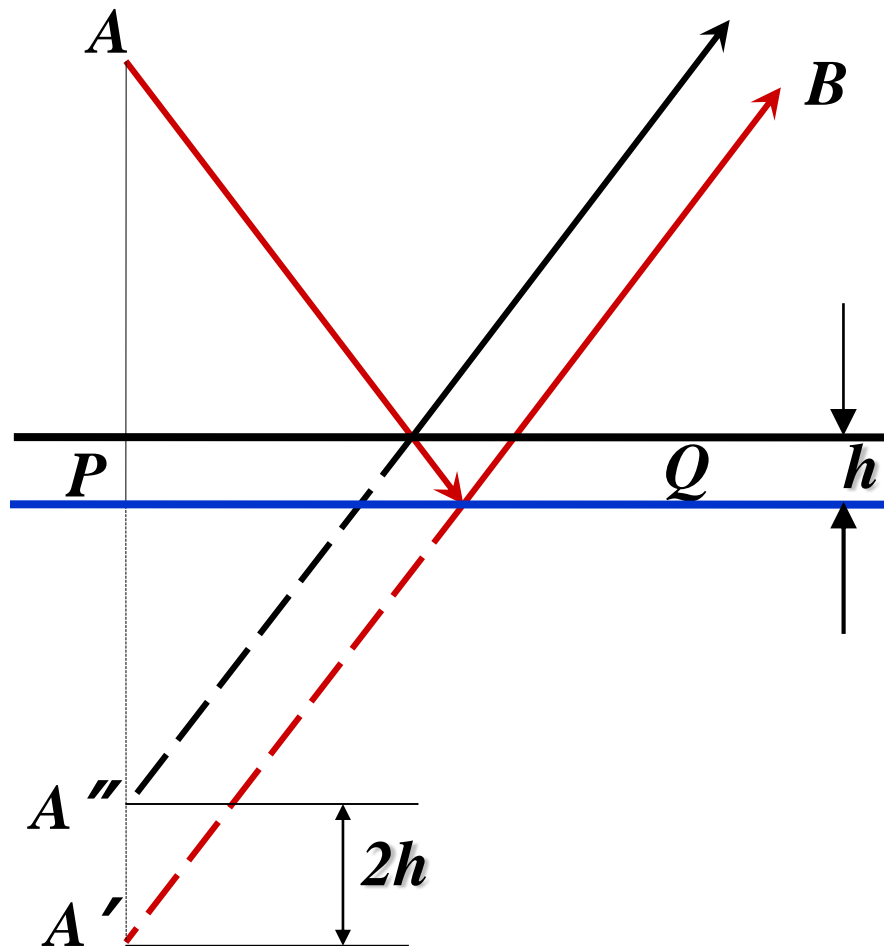


3.2 平面镜

二、平面镜旋转与平移

2. 平面镜平移

平面镜旋转和平移具有“光放大”作用。

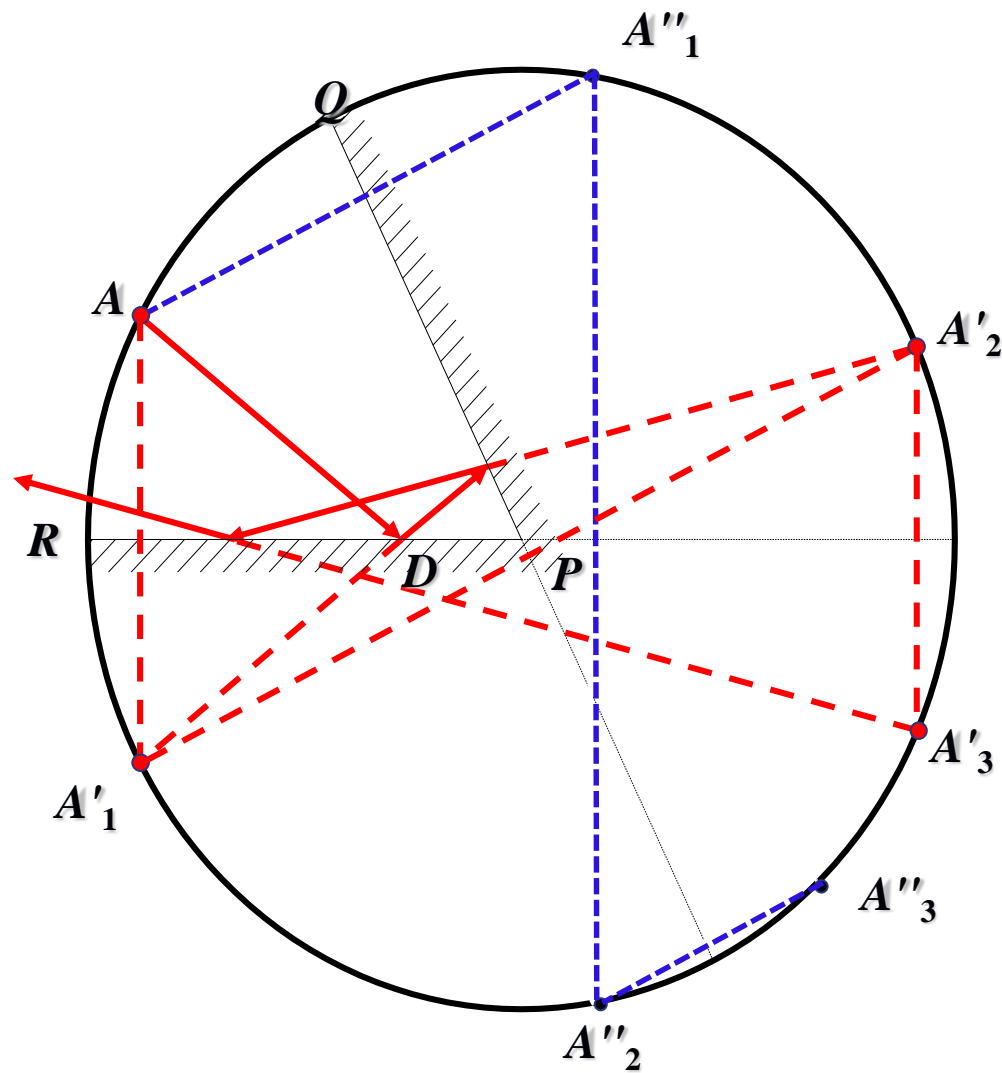


3.2 平面镜

三、双平面镜系统

1. 连续反射

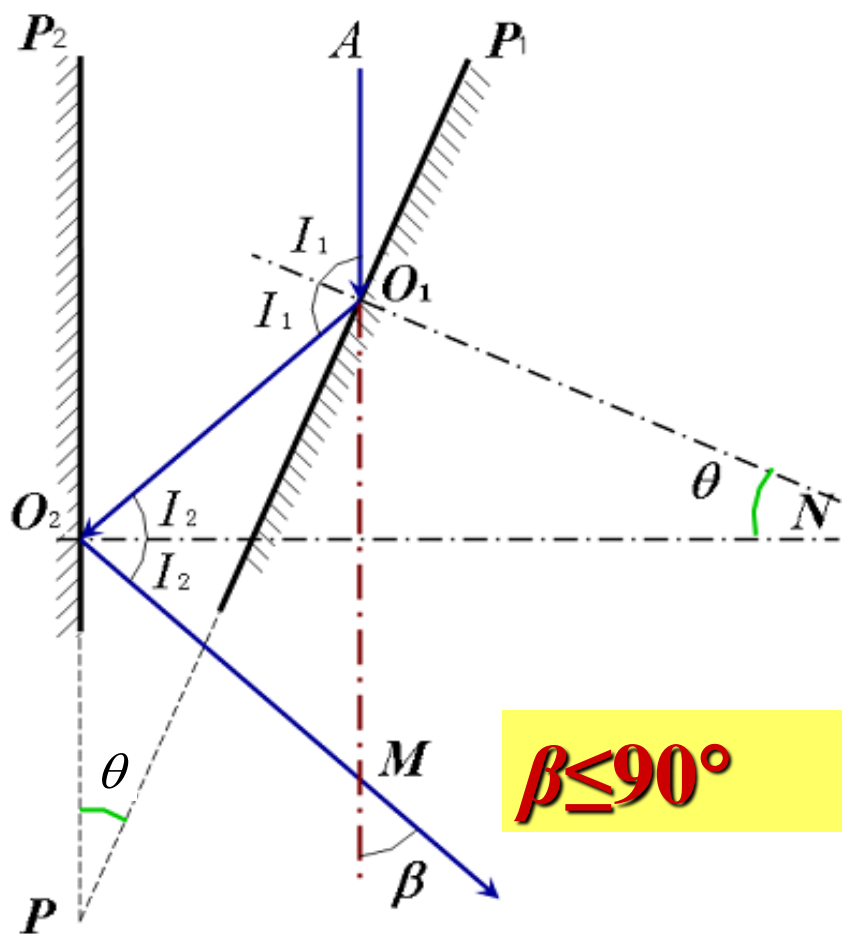
- 物点在双平面镜上连续反射直到像点位于两个平面镜的背面；
- 物点被双平面镜连续反射所成的虚像点，均在同一圆周上；
- 平面镜夹角越小，像点数目越多；



3.2 平面镜

三、双平面镜系统

2. 连续一次成像



在 $\triangle O_1O_2M$ 中, $2I_1 = 2I_2 + \beta \Rightarrow \beta = 2(I_1 - I_2)$

在 $\triangle O_1O_2N$ 中, $I_1 = I_2 + \theta, \Rightarrow \beta = 2\theta$

- β 角与 I 角的大小无关, 只取决于两平面镜夹角的大小;
- 当双平面镜绕P点转动时, 只要保持 θ 角和入射光线方向不变, 出射光线方向始终不会改变。
- **用途:** 只需要加工好夹角, 对双面镜的安装精度要求不高。



3.2 平面镜 – 总结

成像特点

- ①**完善像**：唯一能成完善像的光学元件；
- ②**对称性**：正立大小相等虚实相反，像和物对称于平面镜；
- ③**成镜像**：右手坐标系变成左手坐标系，反演，成镜像；
- ④**一致像**：奇次反射成镜像，偶次反射成一致像；
- ⑤**光放大**：平面镜旋转和平移具有“光放大”作用；
- ⑥**双平面镜**：当双平面镜绕二者交点转动时，只要保持二者夹角和入射光线方向不变，出射光线方向始终不会改变。



第三章 平面和平面系统

平面系统能够改变光路方向、转像、分光以及色散作用使得光学系统的功能更趋完备，满足各种实际需求。

主要内容

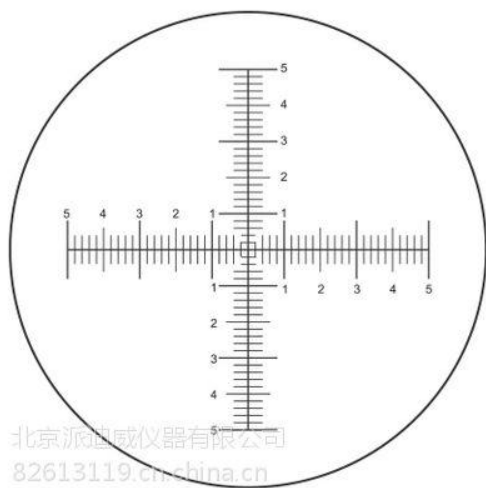
- 3.1 平面系统的作用
- 3.2 平面镜
- 3.3 平行平板
- 3.4 反射棱镜
- 3.5 折射棱镜
- 3.6 光的色散和光学材料



3.3 平行平板

平行平板： 由两个相互平行的折射平面构成的光学零件；

实例： 有标志的分划板、夹持标本的载玻片和盖玻片、滤光片、滤色片等



分划板



载玻片和盖玻片



滤光片



3.3 平行平板

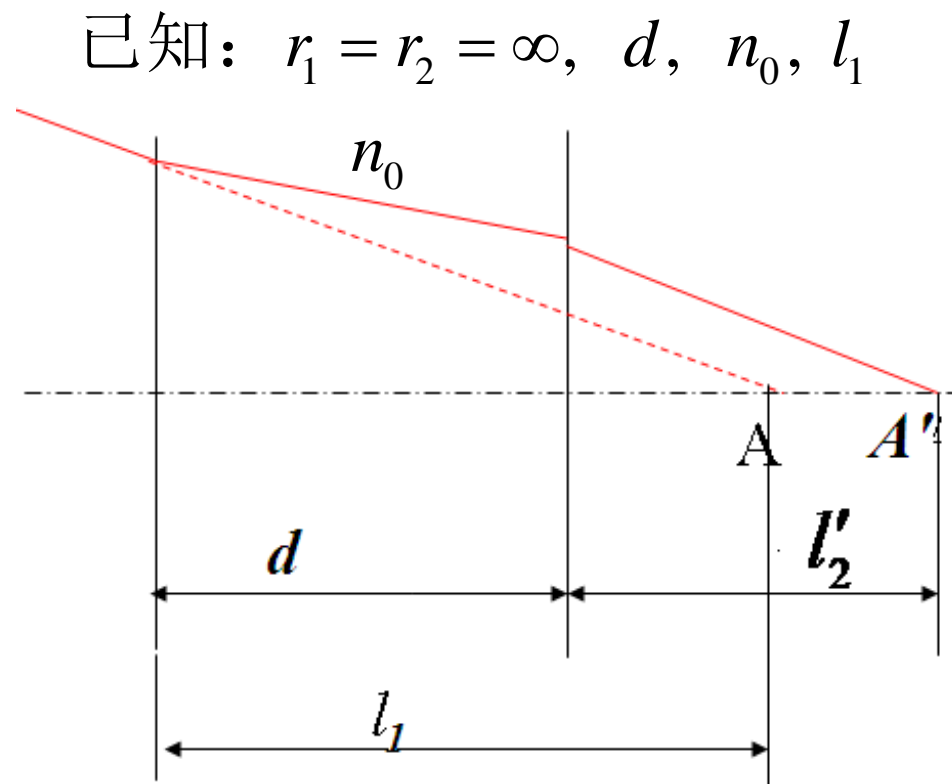
一、平行平板成像

如图所示平行平板，设A离第一面距离为 l_1 ，求像点离第二面的距离。

由单个折射球面物像位置关系：

$$\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r} \xrightarrow{r \rightarrow \infty} \frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = 0$$

对第一面应用有： $l = l_1, l' = l'_1, n = 1, n' = n_0 \Rightarrow \frac{n_0}{l'_1} - \frac{1}{l_1} = 0 \Rightarrow l'_1 = n_0 l_1$





3.3 平行平板

一、平行平板成像

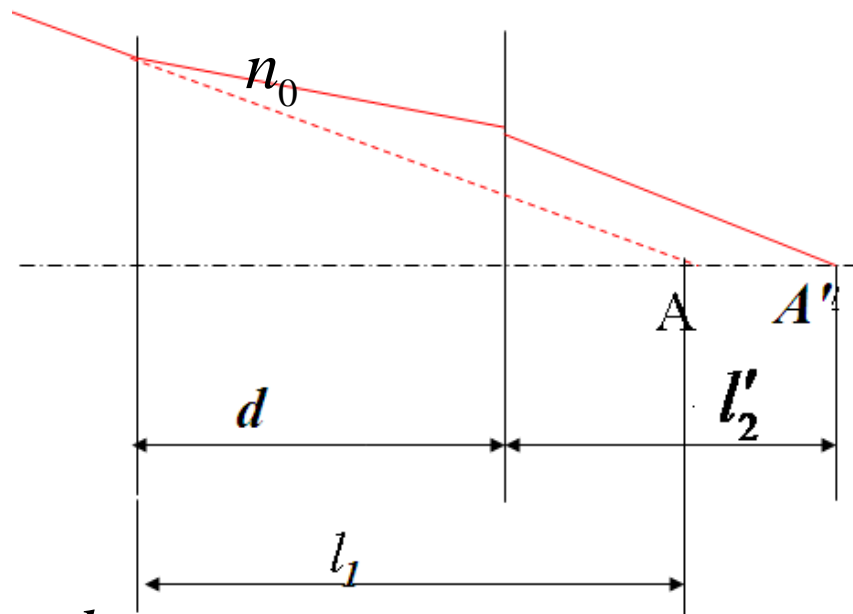
对第二面应用转面公式: $l_2 = l'_1 - d = n_0 l_1 - d$

$$\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r} \xrightarrow{r \rightarrow \infty} \frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = 0$$

$$n = n_0, \quad n' = 1, \quad \Rightarrow \frac{1}{l'_2} - \frac{n_0}{n_0 l_1 - d} = 0 \quad \Rightarrow \quad l'_2 = \frac{n_0 l_1 - d}{n_0} = l_1 - \frac{d}{n_0}$$

像面移动量: $AA' = l'_2 + d - l_1 = d - \frac{d}{n_0} = \left(1 - \frac{1}{n_0}\right) d$

已知: $r_1 = r_2 = \infty, \quad d, \quad n_0, \quad l_1$





3.3 平行平板

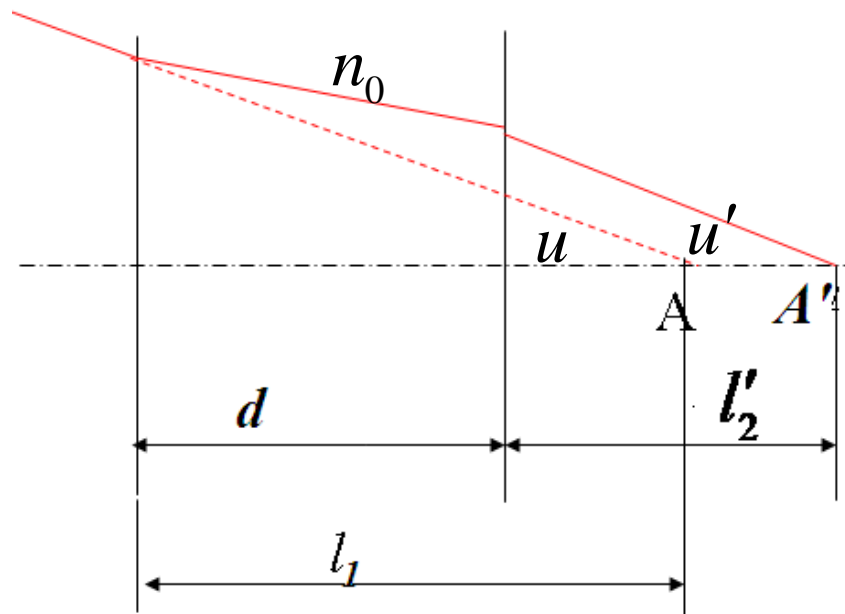
一、平行平板成像

光线通过平行平板时，入射光线与出射光线永远平行。

$$u_1 = u'_2 \quad \gamma = \frac{\operatorname{tg} u'}{\operatorname{tg} u} = \frac{u'_2}{u_1} = 1$$

$$\text{空气中} : \beta = \frac{1}{\gamma} = 1 \quad \alpha = \beta^2 = 1$$

已知： $r_1 = r_2 = \infty$, d , n_0 , l_1



结论：平行玻璃板不改变像的大小，只使像面发生位移，移

动量为 $\left(1 - \frac{1}{n_0}\right)d$



3.3 平行平板

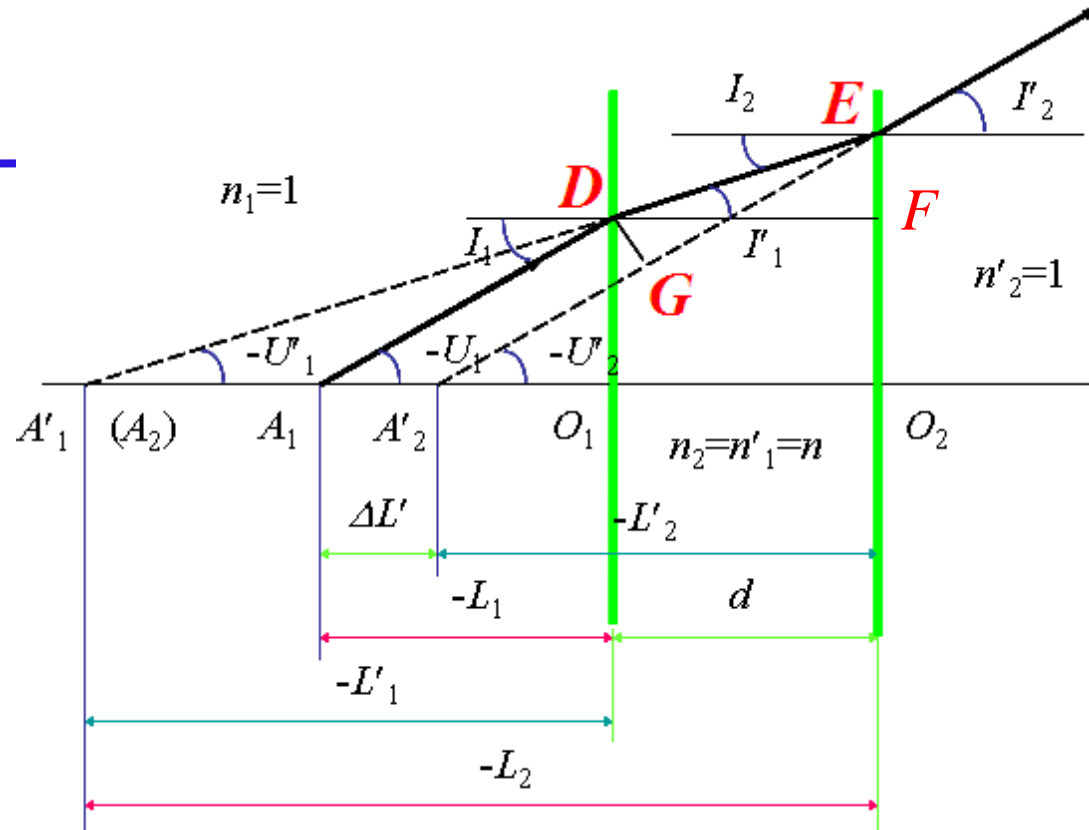
二、非近轴成像

1. 侧向位移 $\Delta T'$

在 $\triangle DEG$ 和 $\triangle DEF$ 中，DE为公用边

$$\begin{aligned}\Delta T' &= \overline{DG} = \overline{DE} \sin \angle DEG \\ &= \overline{DE} \sin(I_1 - I'_1) = \frac{\overline{DF}}{\cos I'_1} \sin(I_1 - I'_1) \\ &= \frac{d}{\cos I'_1} \sin(I_1 - I'_1)\end{aligned}$$

$$= d \sin I_1 \left(1 - \frac{\cos I_1}{\sqrt{n^2 - \sin^2 I_1}} \right)$$



线性关系，小角度转动平板可以作为补偿或者测试的手段。

近轴条件

$$\Delta t' = d \left(1 - \frac{1}{n} \right) i_1$$



3.3 平行平板

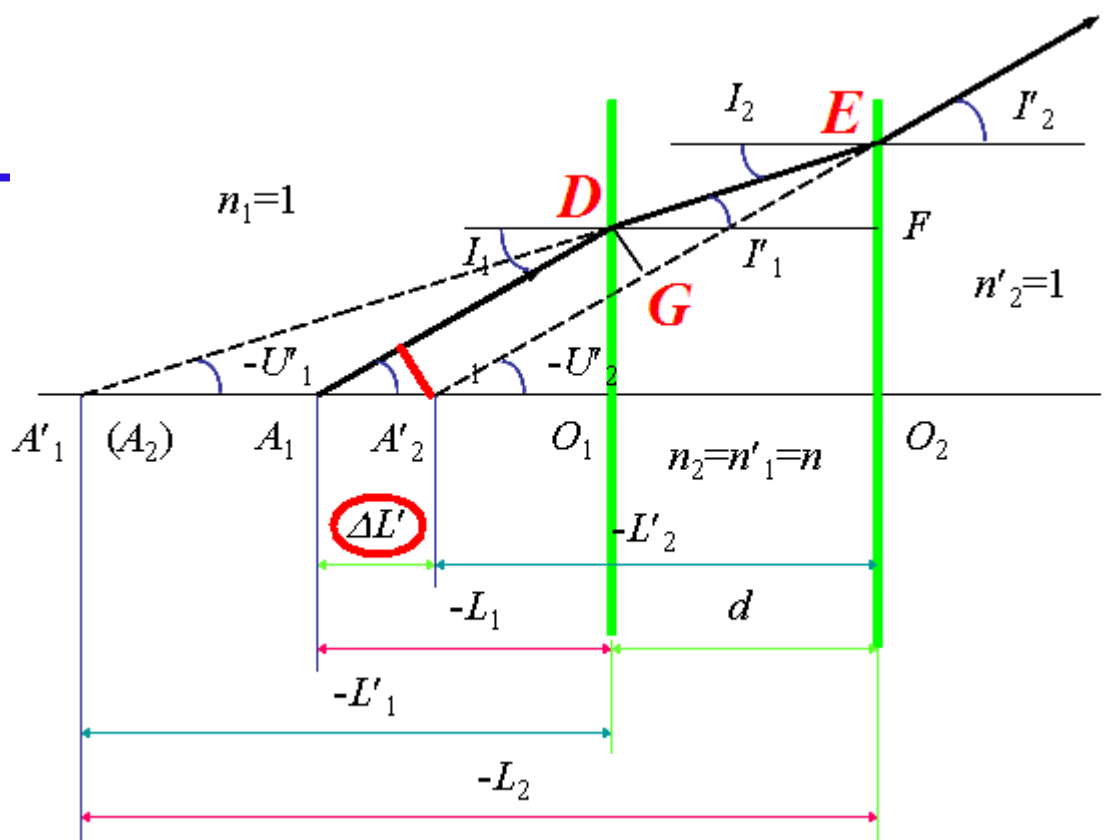
二、非近轴成像

2. 轴向位移 $\Delta L'$

$$\Delta L' = \frac{DG}{\sin I_1} = \frac{d}{\sin I_1 \cos I'_1} \sin(I_1 - I'_1)$$

$$= d \left(1 - \frac{\cos I_1}{\sin I_1} \frac{\sin I'_1}{\cos I'_1} \right)$$

$$= d \left(1 - \frac{\tan I'_1}{\tan I_1} \right)$$



近轴条件

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

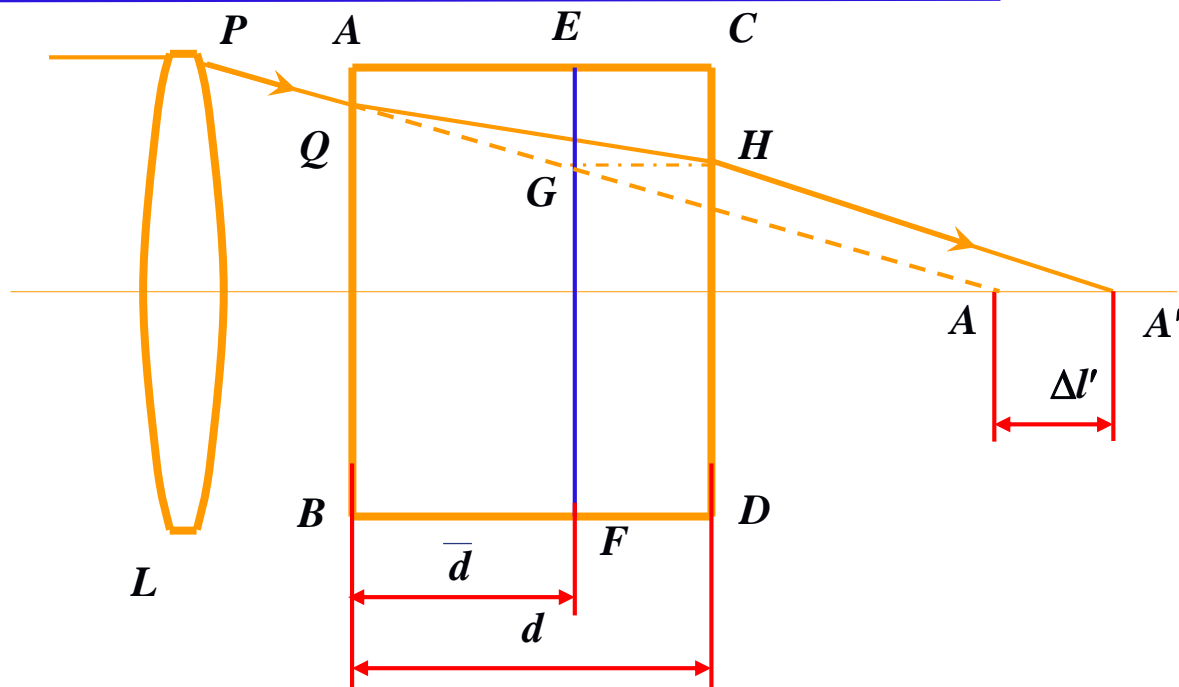
Notes: 轴向位移 $\Delta L'$ 随入射角 I_1 (即孔径角 U_1) 的不同而不同, 即轴上点发出不同孔径的光线经平行平板后与光轴的交点不同, 亦即同心光束经平行平板后变成了非同轴光束。因此, 平行平板不能成完善像。

3.3 平行平板

三、平行平板的等效光学系统

- 平行平板在近轴区以细光束成像是完善的。
- 不管物体位置如何，其像可认为是由物体移动一个轴向位移而得到的。

$$\Delta l' = d(1 - 1/n)$$



- 将玻璃平板的出射平面及出射光路HA'一起沿光轴平移 $\Delta l'$ ，则CD与EF重合，出射光线在G点与入射光线重合，A'与A重合。
- 光线经过玻璃平板的光路与无折射的通过空气层ABEF的光路完全一样。这个空气层就称为平行玻璃平板的**等效空气平板**。其厚度为

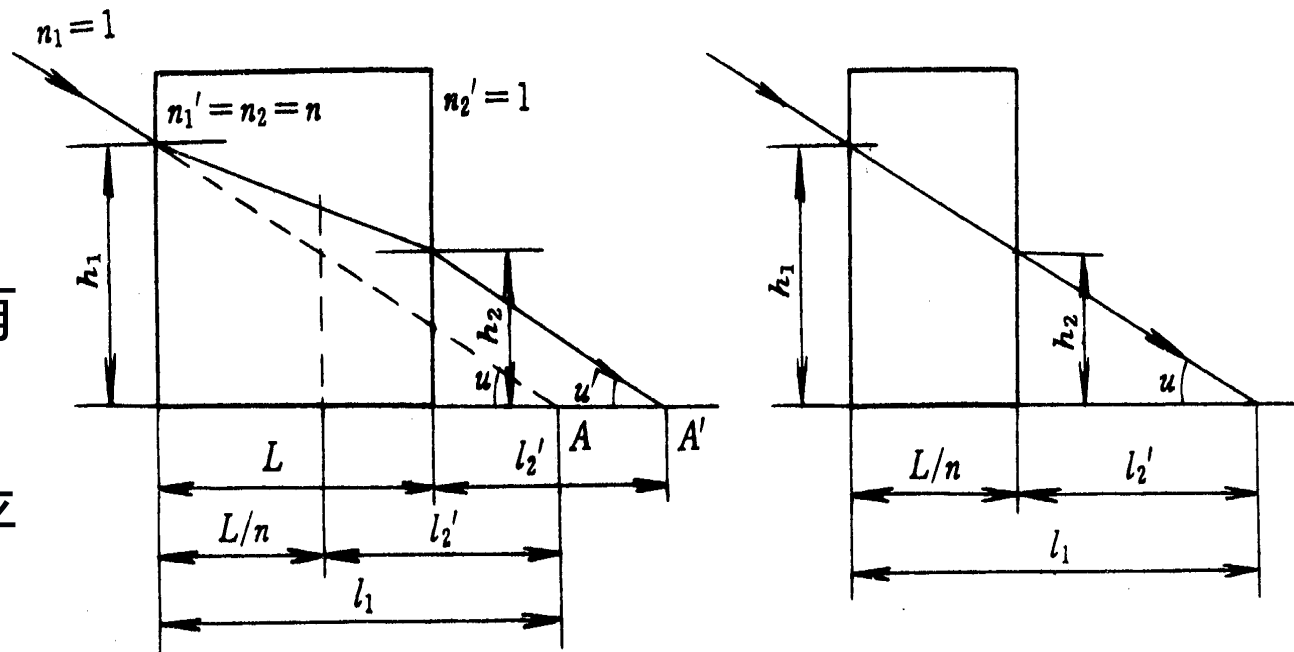
$$\bar{d} = d - \Delta l' = d / n$$

3.3 平行平板

三、平行平板的等效光学系统

引入等效空气平板的作用

- 如果光学系统的会聚或发散光路中有平行玻璃平板,将其等效为空气平板;
- 简化光学系统的外形尺寸计算时对平行玻璃平板的处理,
- 只需计算出无平行玻璃平板时 (即等效空气平板) 的像方位置, 然后再沿光轴移动一个轴向位移 $\Delta l'$, 就得到有平行玻璃平板时的实际像面位置。
- **Notes:** 平行玻璃板有像面位移, 等效空气层没有位移; 平行玻璃板有像差, 等效空气层没有。

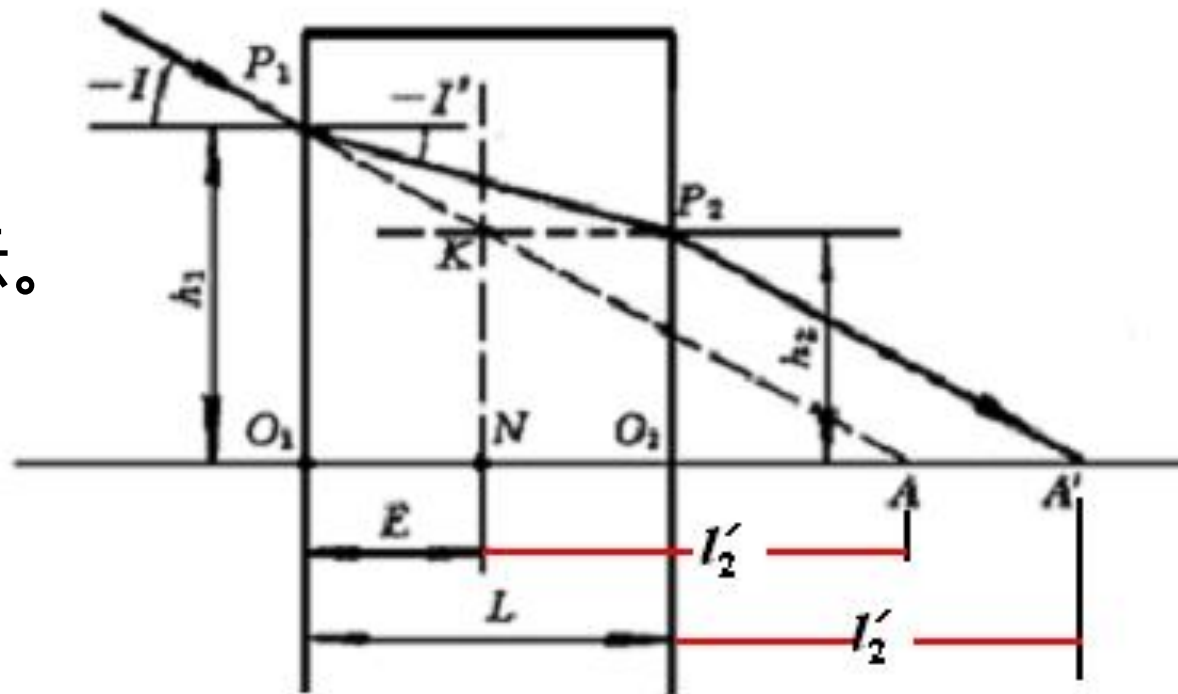


3.3 平行平板

三、平行平板的等效光学系统

例：当光束在表面的**入射角较大时**，求新的等效空气层厚度 E 。如图所示。

解：如图所示，假定入射光线 P_1A 在棱镜入射面上的入射角为 $-I$ ，折射角为 $-I'$



光线在出射面上的投射点为 P_2 。通过 P_2 作光轴的平行线和入射光线 P_1A 交于一点 K ，通过 K 作光轴的垂直线，和光轴交于一点 N ， O_1N 即为等效空气层的厚度，用 E 表示。

3.3 平行平板

三、平行平板的等效光学系统

例：当光束在棱镜表面的入射角较大时，求新的相当空气层厚度 E 。如图所示。

解

$$E = O_1A - NA$$

$$O_1A = \frac{h_1}{\tan(-I)};$$

$$NA = \frac{h_2}{\tan(-I)} = \frac{h_1 - L \cdot \tan(-I')}{\tan(-I)}$$

$$E = L \frac{\tan I'}{\tan I} = \frac{L}{n} \cdot \frac{\cos I}{\cos I'}$$

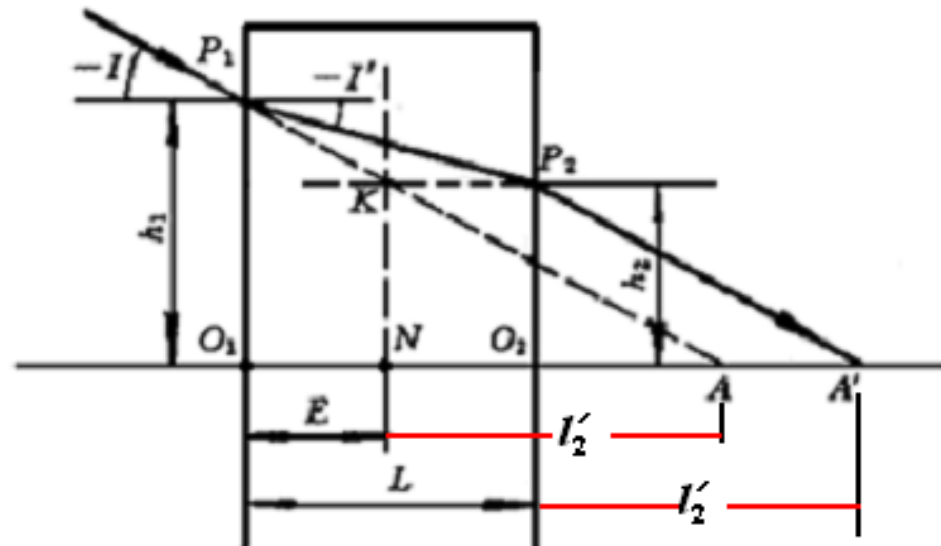


图 4-23

当入射角小于 20° 时，应用小值公式误差不大；大于 20° 时，需要考虑修正系数。



3.3 平行平板 – 总结

平行平板： 由两个相互平行的折射平面构成的光学零件；

应用实例： 有标志的分划板、夹持标本的载玻片和盖玻片、滤光片、滤色片等；

近轴成像： 平行平板在近轴区以细光束成像是完善的，平行玻璃板不改变像的大小，只使像面发生位移，轴向移动量为 $(1-1/n)*d$ ；

非近轴成像： 轴向位移 $\Delta L'$ 随入射角 I_1 （即孔径角 U_1 ）的不同而不同，**平行平板不能成完善像；**

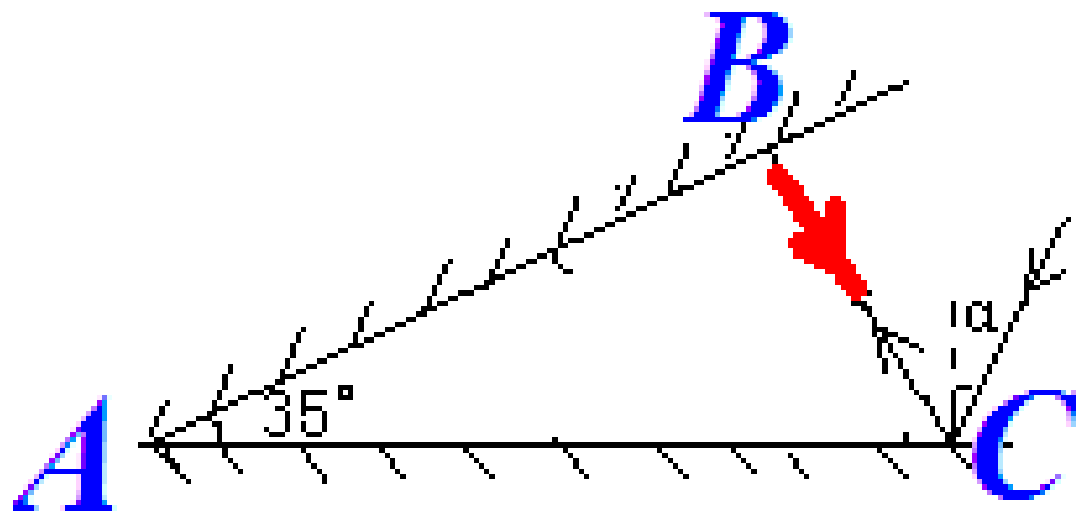
等效平行平板： 光线经过玻璃平板的光路与无折射的通过空气层ABEF的光路完全一样。这个空气层就称为平行玻璃平板的等效空气平板。其厚度为 d/n （近轴成像）。



3.3 平行平板

例：夹角为 35° 的双平面反射镜系统，当光线以多大的入射角入射于一平面时，其反射光线再经另一平面镜反射后，将沿原光路反向射出？

解：为使反射光线能沿原光路反向射出，则应垂直于入射于另一平面反射镜。



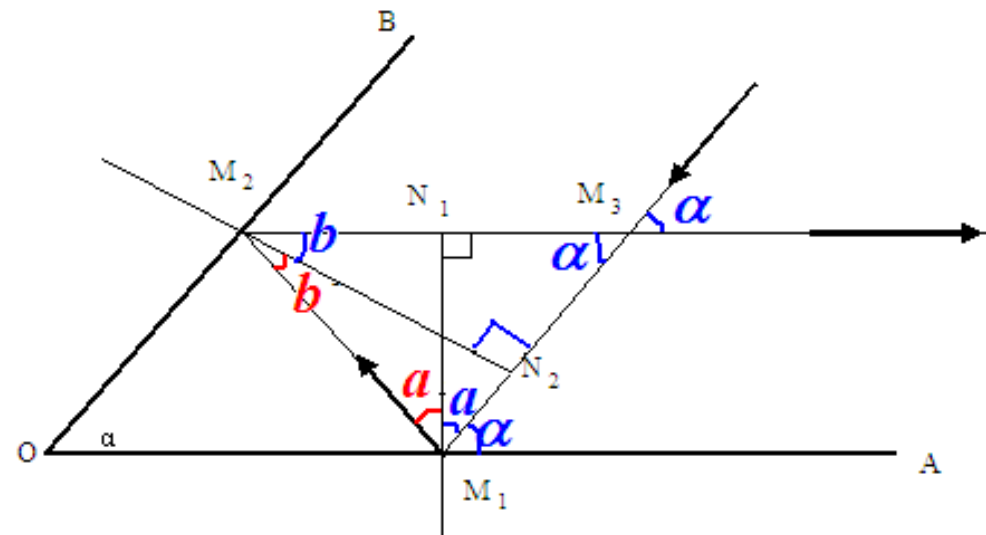
即如图示，因 $CB \perp AB$ ，于是由三角形内角和为 180° 知，入射角 α 为：

$$\alpha = 90^\circ - \angle BCA = \angle BAC = 35^\circ$$



3.3 平行平板

例：有一双面镜系统，光线平行于其中一个平面镜入射，经两次反射后，出射光线与另一平面镜平行，问两平面镜的夹角为多少？



解： $M_2M_3 \parallel OA$ $M_1M_3 \parallel OB$

$$\because a + 2b = a + \alpha = 90^\circ \Rightarrow \alpha = 2b$$

$$\because b + 2a = b + \alpha = 90^\circ \Rightarrow \alpha = 2a$$

而在 $\triangle M_1M_2M_3$ 中

$$\alpha + 2a + 2b = 3\alpha = 180^\circ \Rightarrow \alpha = 60^\circ$$



解：如图，观察点为S点， $SH = 2.5\text{m}$ ；镜子的长度 $AB = 1\text{m}$ ，在地面上的投影为C点，因此 $AC = 2\text{m}$ ， $CH = 1.5\text{m}$ ；能观察到的最远点为E点，最近点为D点。



$$\text{SF} = 2.5 - 2 = 0.5\text{m} \quad \text{SG} = 2.5 - 1 = 1.5\text{m}$$

$$\operatorname{tg} \angle \text{SAF} = \text{SF} / \text{AF} = 1/3, \quad \therefore \operatorname{tg} \angle \text{CAE} = \operatorname{ctg} \angle \text{FAE} = \operatorname{ctg} \angle \text{SAF} = 3$$

$$\therefore CE = AC \cdot \tan \angle CAE = 2 \times 3 = 6\text{m} \quad \text{同理可得 } CD = 1\text{m}$$

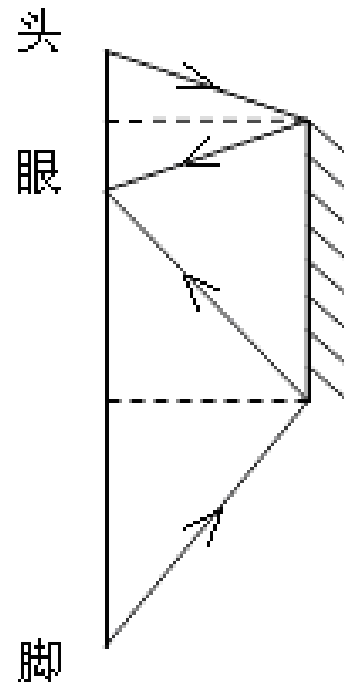
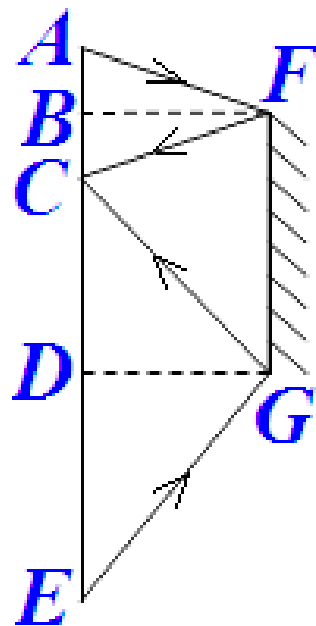
3.3 平行平板

例：人照镜子时，要想看到自己的全身，问镜子要多长？人离镜子的距离是多少？

解： 因 $AB=BC$ ， $CD=DE$

人高： $AB+BC+CD+DE$
 $=2(BC+DE)$

镜长： $FG=BC+CD$



所以，人身高 = $2 \times$ 镜长，且与人、镜相对位置无关！



第三章 平面和平面系统

20210915-5

平面系统能够改变光路方向、转像、分光以及色散作用使得光学系统的功能更趋完备，满足各种实际需求。

主要内容

- 3.1 平面系统的作用
- 3.2 平面镜
- 3.3 平行平板
- 3.4 反射棱镜
- 3.5 折射棱镜
- 3.6 光的色散和光学材料



3.2 平面镜 – 总结

成像特点

- ①**完善像**：唯一能成完善像的光学元件；
- ②**对称性**：正立大小相等虚实相反，像和物对称于平面镜；
- ③**成镜像**：右手坐标系变成左手坐标系，反演，成镜像；
- ④**一致像**：奇次反射成镜像，偶次反射成一致像；
- ⑤**光放大**：平面镜旋转和平移具有“光放大”作用；
- ⑥**双平面镜**：当双平面镜绕二者交点转动时，只要保持二者夹角和入射光线方向不变，出射光线方向始终不会改变。



3.3 平行平板 – 总结

平行平板： 由两个相互平行的折射平面构成的光学零件；

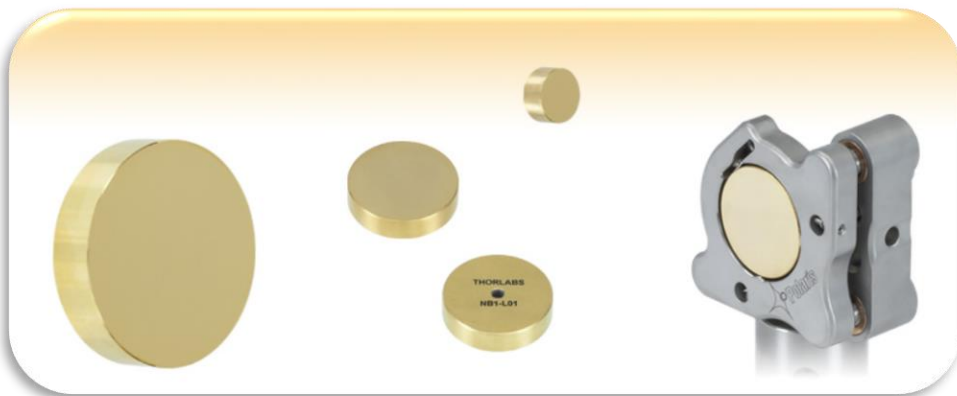
应用实例： 有标志的分划板、夹持标本的载玻片和盖玻片、滤光片、滤色片等；

近轴成像： 平行平板在近轴区以细光束成像是完善的，平行玻璃板不改变像的大小，只使像面发生位移，轴向移动量为 $(1-1/n)*d$ ；

非近轴成像： 轴向位移 $\Delta L'$ 随入射角 I_1 （即孔径角 U_1 ）的不同而不同，**平行平板不能成完善像；**

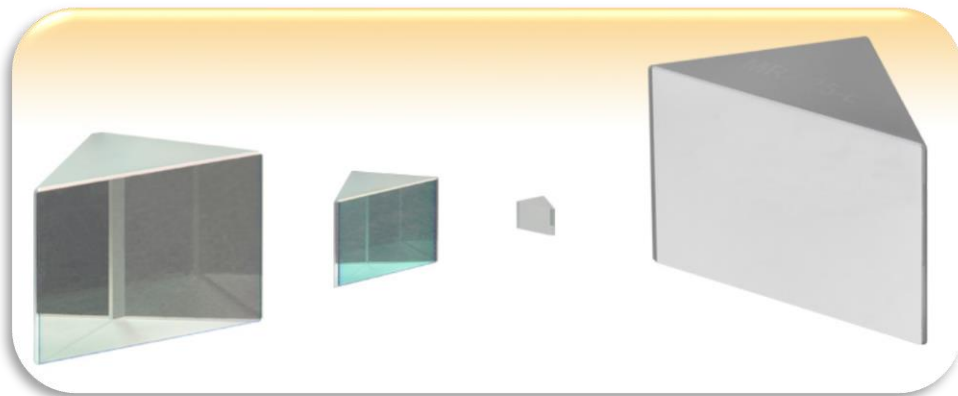
等效平行平板： 光线经过玻璃平板的光路与无折射的通过空气层ABEF的光路完全一样。这个空气层就称为平行玻璃平板的等效空气平板。其厚度为 d/n （近轴成像）。

3.4 反射棱镜



平面反射镜

- 金属镀膜
- 光能损失大
- 不稳定且不耐久
- 装校不便等



棱镜

- 光能损失少
- 坚固耐久不易损坏
- 易于安装固定等
- 体积重量较大,
- 对材料要求高等



3.4 反射棱镜

一、基本概念

反射棱镜： 把一个或者多个反射面做在同一块光学材料（如玻璃）上的光学零件。

棱镜的作用： 转折光轴、倒像、转像、扫描等

棱镜的类型

按结构棱镜可分为：

- 简单棱镜
- 屋脊棱镜
- 复合棱镜



按对光的反射次数分：

- 一次反射形式
- 二次反射形式
- 三次反射形式



3.4 反射棱镜

一、基本概念

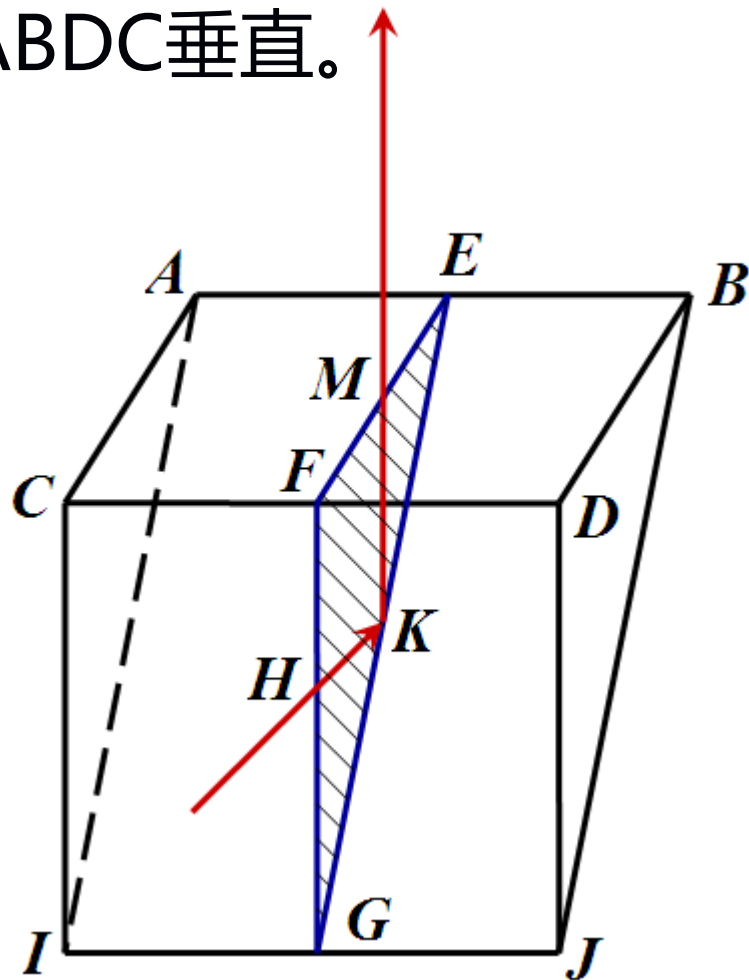
棱镜光轴：带箭头红线HKM

棱：工作面之交线，如CD、AB、IJ。

光轴截面、主截面：包含光轴的面EFG

工作面：入射面CDJI、出射面ABDC、反射面ABJI之统称。

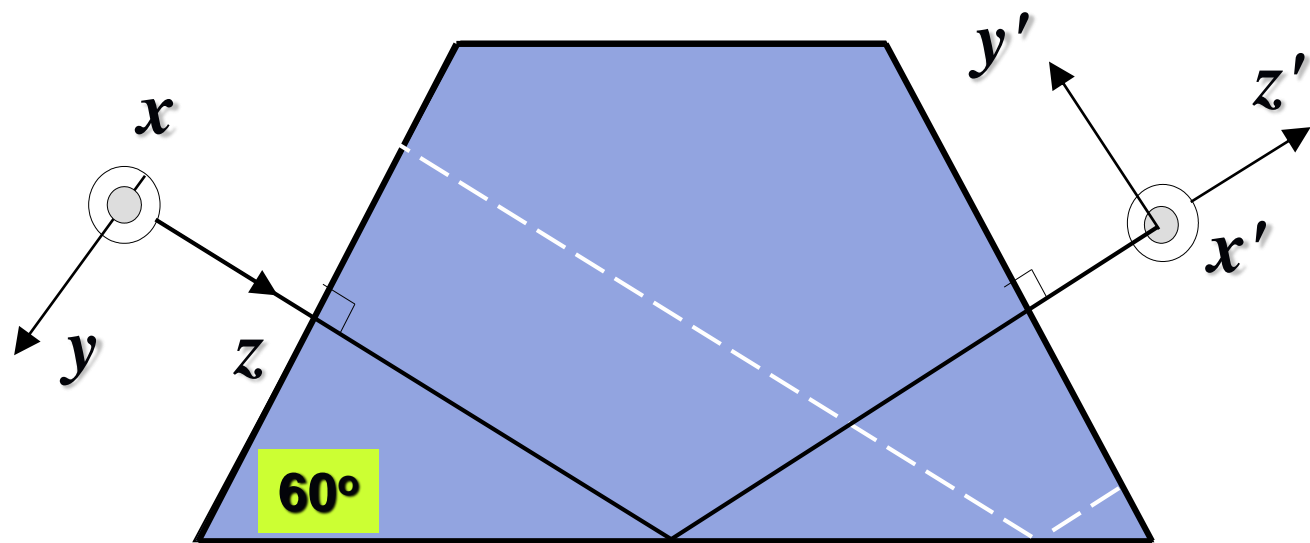
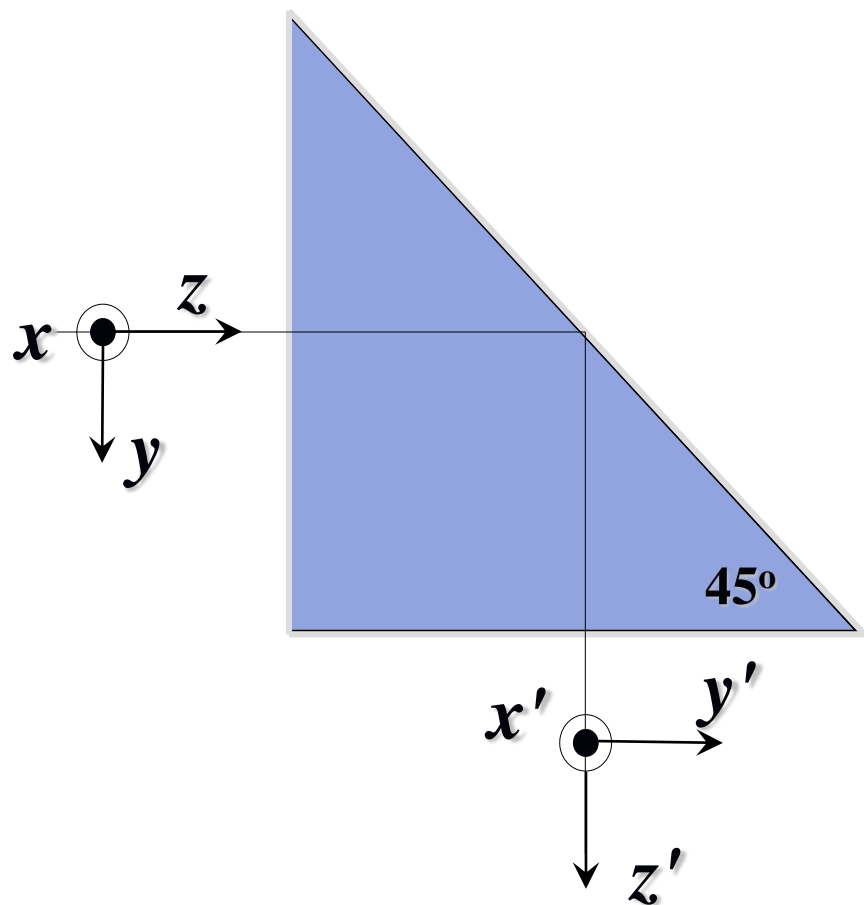
光轴与入射面CDJI、出射面ABDC垂直。



3.4 反射棱镜

二. 简单棱镜

1. 一次反射棱镜



- 等腰棱镜使光线折转任意角度。
- 直角棱镜使光线折转90°
- 二者的特点：入射面、出射面与光轴垂直。



3.4 反射棱镜

二. 简单棱镜

1. 一次反射棱镜

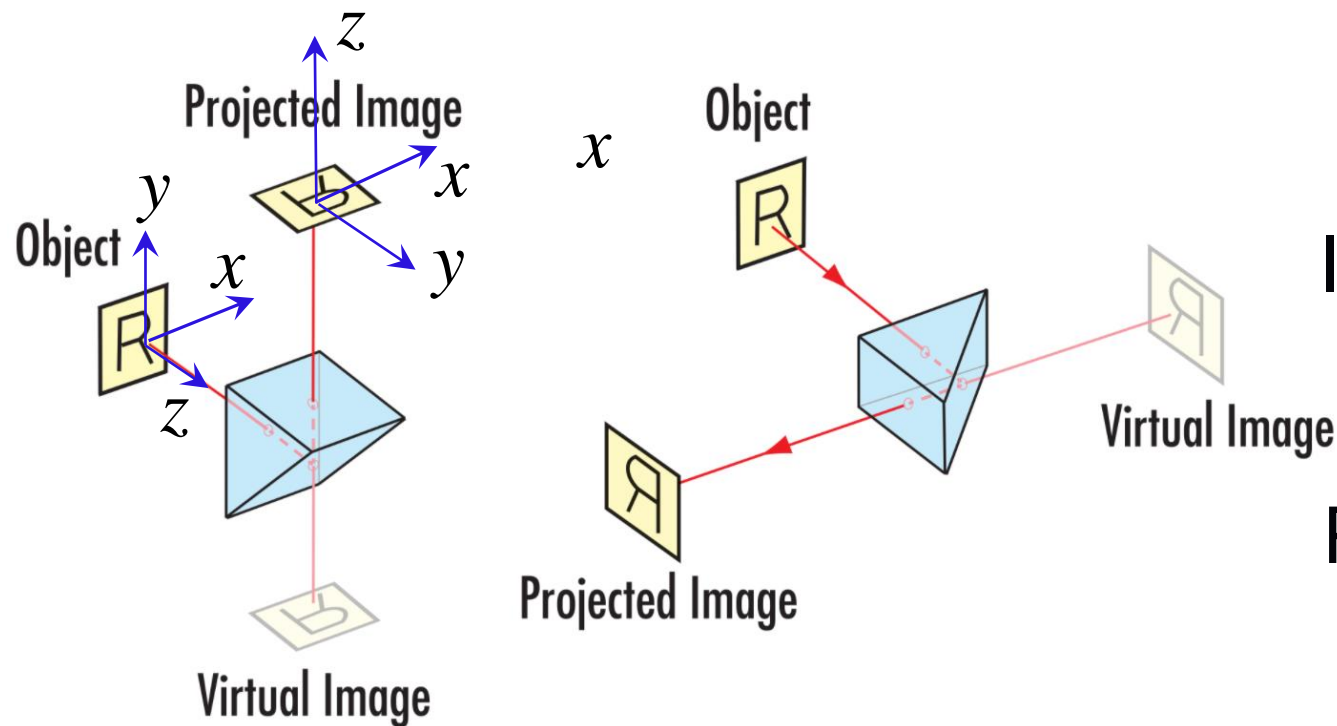


Figure 1: 45° - 90° - 45° as a Right Angle Prism Showing Inversion (Left) and Reversion (Right)



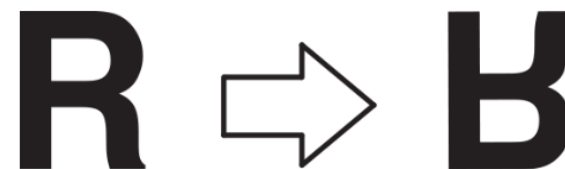
Figure 4: Right Handedness or Even Parity



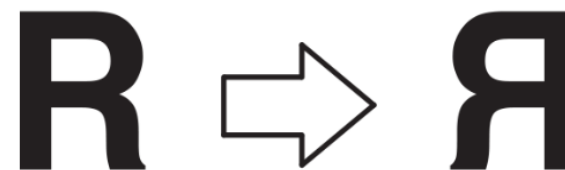
Figure 5: Left Handedness or Odd Parity

Three types of image change

Inversion



Reversion



Rotation

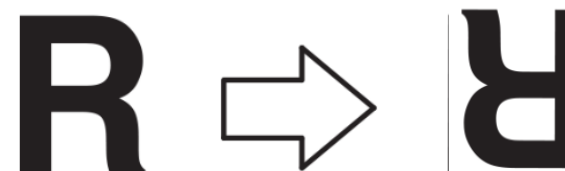
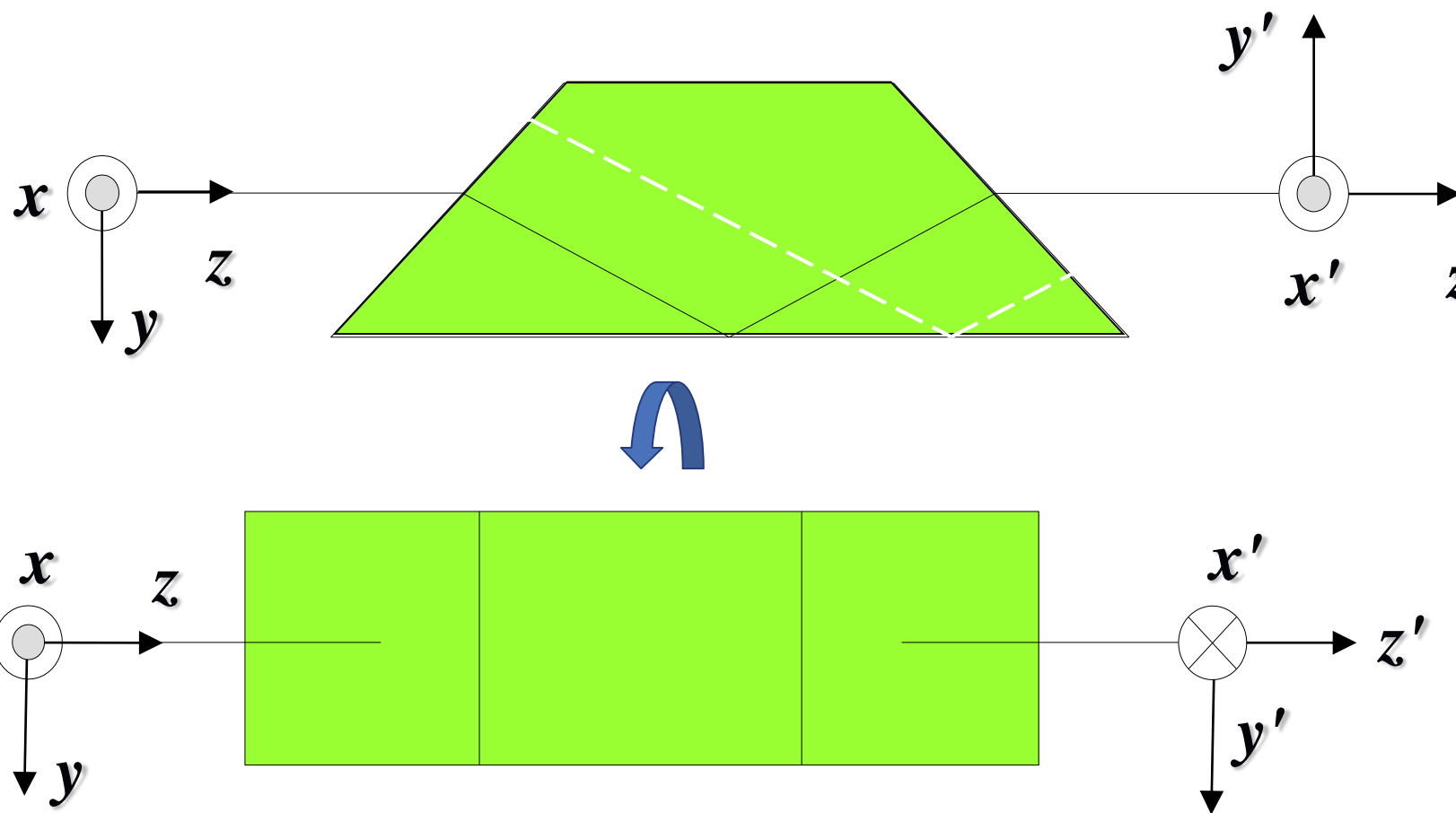


Figure 6: Inversion (Top), Reversion (Middle), and Rotation (Bottom)

3.4 反射棱镜

二. 简单棱镜

1. 一次反射棱镜



- 达夫棱镜(等腰直角棱镜), 入射面、出射面与光轴不垂直
- 绕光轴旋转 α 角, 其对应的反射像同方向 2α 旋转角。
- 达夫棱镜旋转 90° 后, 像旋转 180° 。

3.4 反射棱镜

二. 简单棱镜

1. 一次反射棱镜

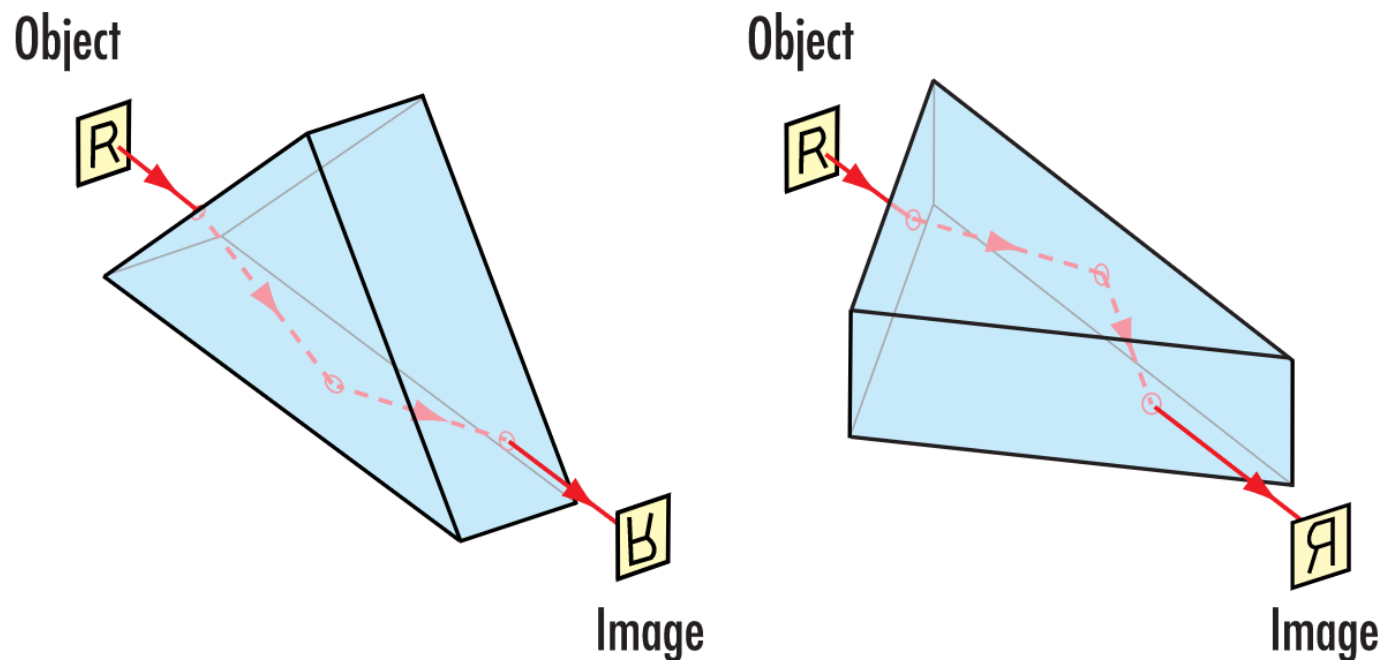


Figure 3: 180° Rotation with a Right Angle Prism, Similar to a Dove Prism

Three types of image change

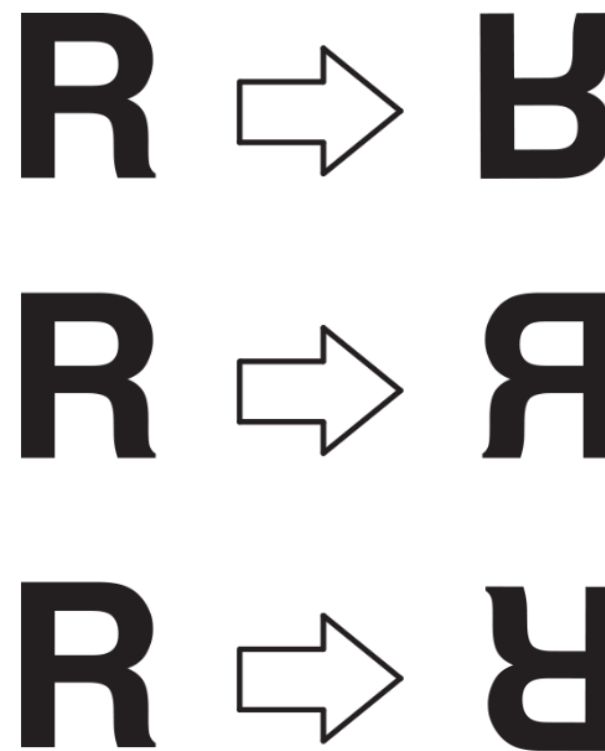


Figure 6: Inversion (Top), Reversion (Middle), and Rotation (Bottom)

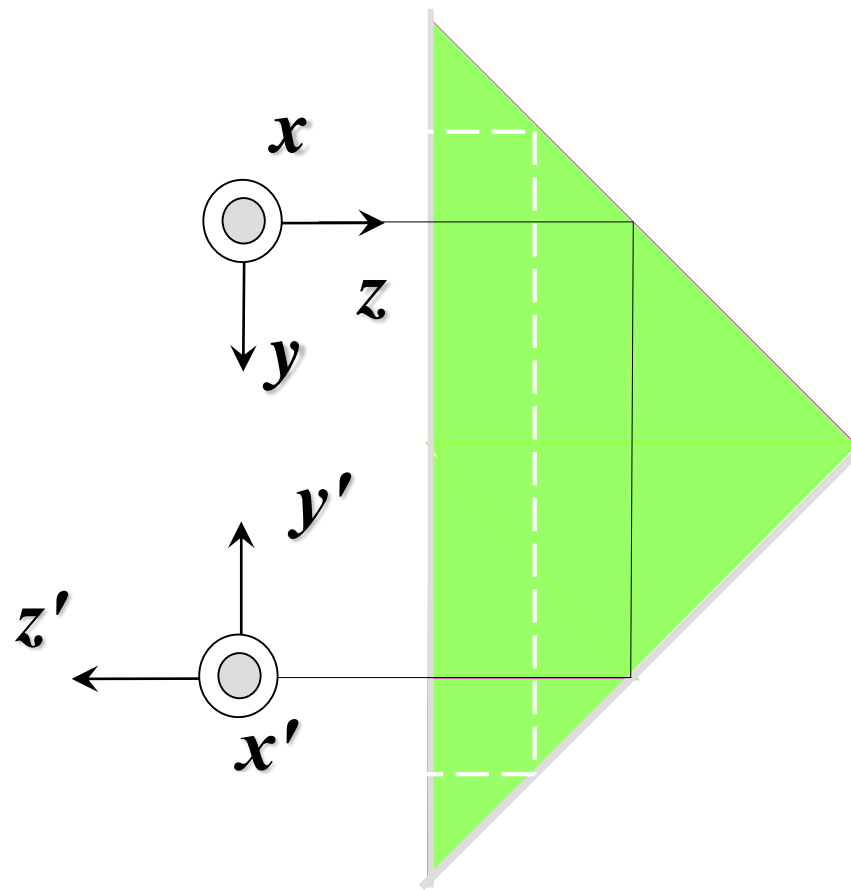


3.4 反射棱镜

二. 简单棱镜

2. 二次反射棱镜

- 二次反射棱镜相当于是双平面镜系统，入射光线和出射光线间的夹角决定两个反射面间的夹角（二面角）；
- 入射光线和出射光线间的夹角是二面角的两倍.

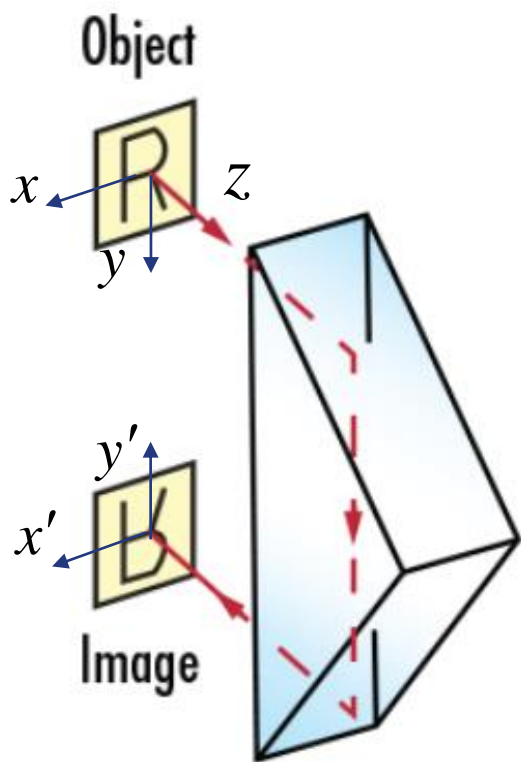


等腰直角棱镜

3.4 反射棱镜

二. 简单棱镜

2. 二次反射棱镜



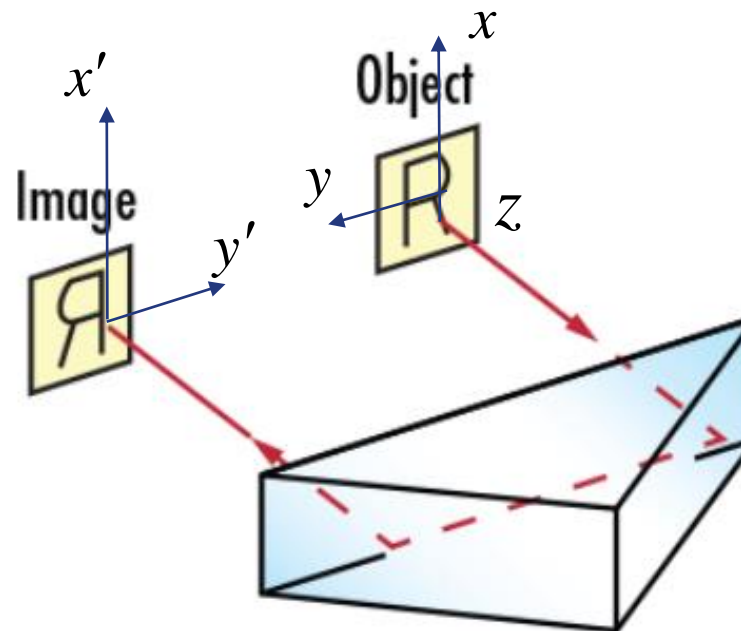
迎着光线方向观看



Figure 4: Right Handedness or Even Parity



Figure 5: Left Handedness or Odd Parity

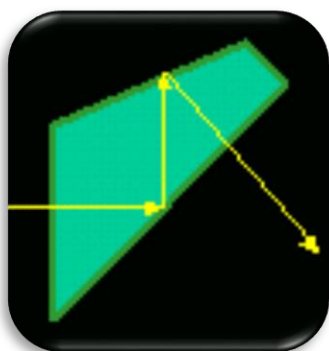




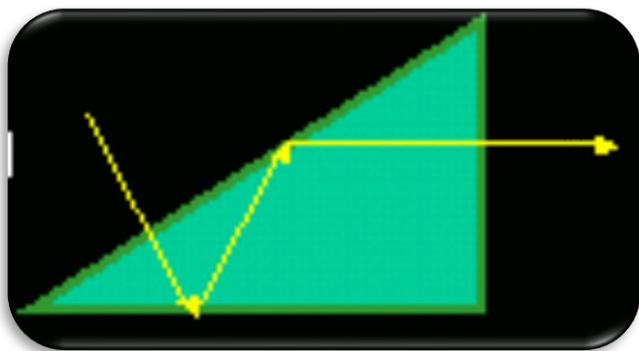
3.4 反射棱镜

二. 简单棱镜

2. 二次反射棱镜



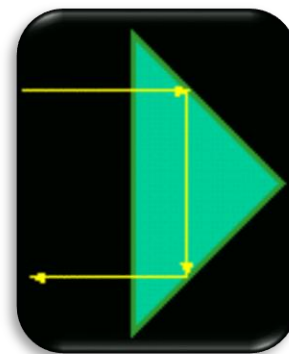
1. 光轴转45度



2. 60度

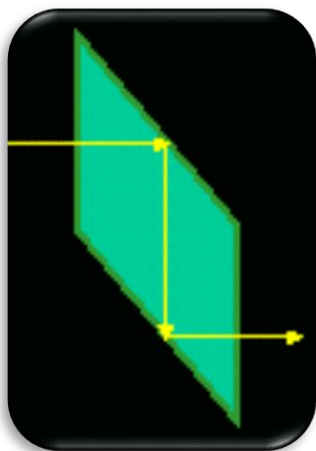


3. 90度



4. 180度

5. 光轴平移



1. 半五角棱镜
2. 直角棱镜
3. 五角棱镜
4. 等腰直角棱镜
5. 斜方棱镜



3.4 反射棱镜

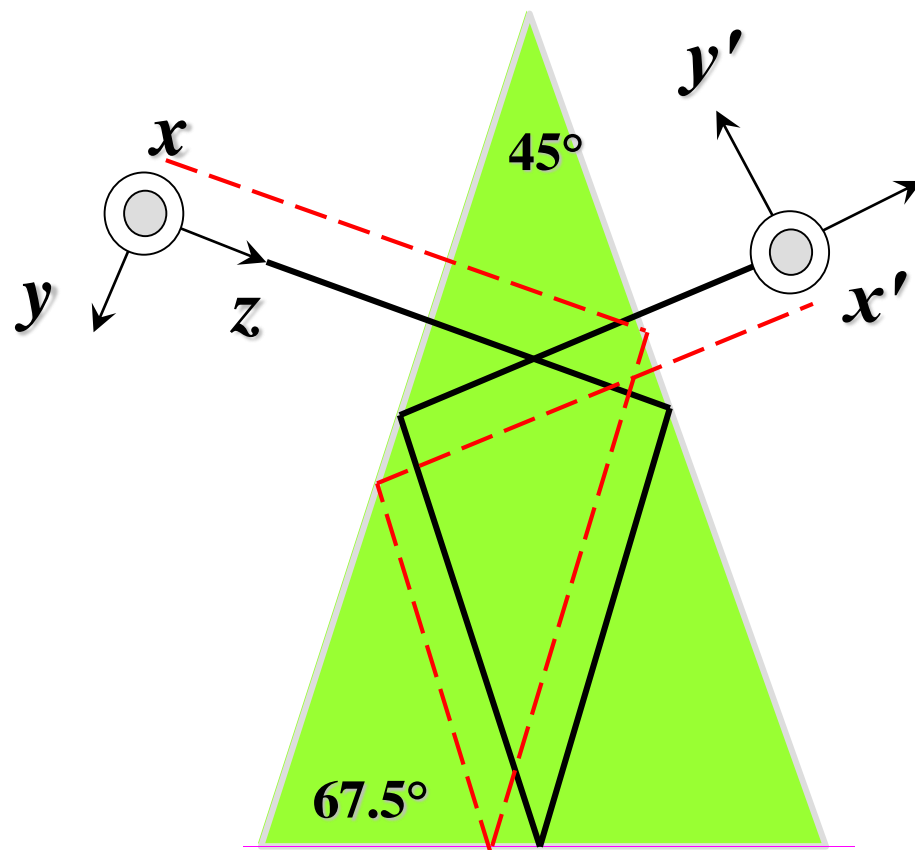
二. 简单棱镜

3. 三次反射棱镜

特点:

- 光线在棱镜中的光路很长，可以折叠光路，使仪器紧凑。
- 入射光线与出射光线之间的夹角为 45°

施密特棱镜 (Schmidt Prism)





3.4 反射棱镜

二. 简单棱镜

反射次数	成像特点
1	成镜像，在主截面内坐标方向改变，垂直于光轴截面内坐标方向不变；
2	成一致像，相当于双平面镜系统，即夹角为 α 的二次反射棱镜将使光轴转过 2α 角。
3	光线在棱镜中的光路很长，可以折叠光路，使仪器紧凑。

- 都不能使垂直于主截面的轴发生倒转
- 所成像或者是镜像，或者是与物相同方向的像

因此不能用来实现**倒像**



屋脊棱镜 (Roof Prism)
复合棱镜：棱镜的组合



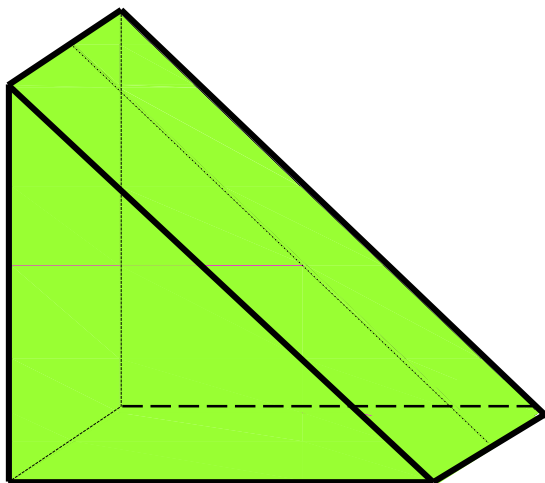
3.4 反射棱镜

三. 屋脊棱镜

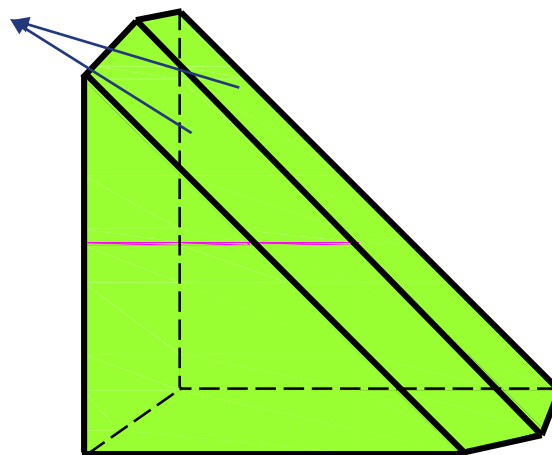
1. 定义

把普通棱镜的一个反射面用两个互成直角的反射面来代替的棱镜。两直角面的交线，即棱线平行于原反射面，且在主界面上，犹如在反射面上盖上一个屋脊，因而称之为屋脊棱镜。

直角棱镜



屋脊面



直角屋脊棱镜

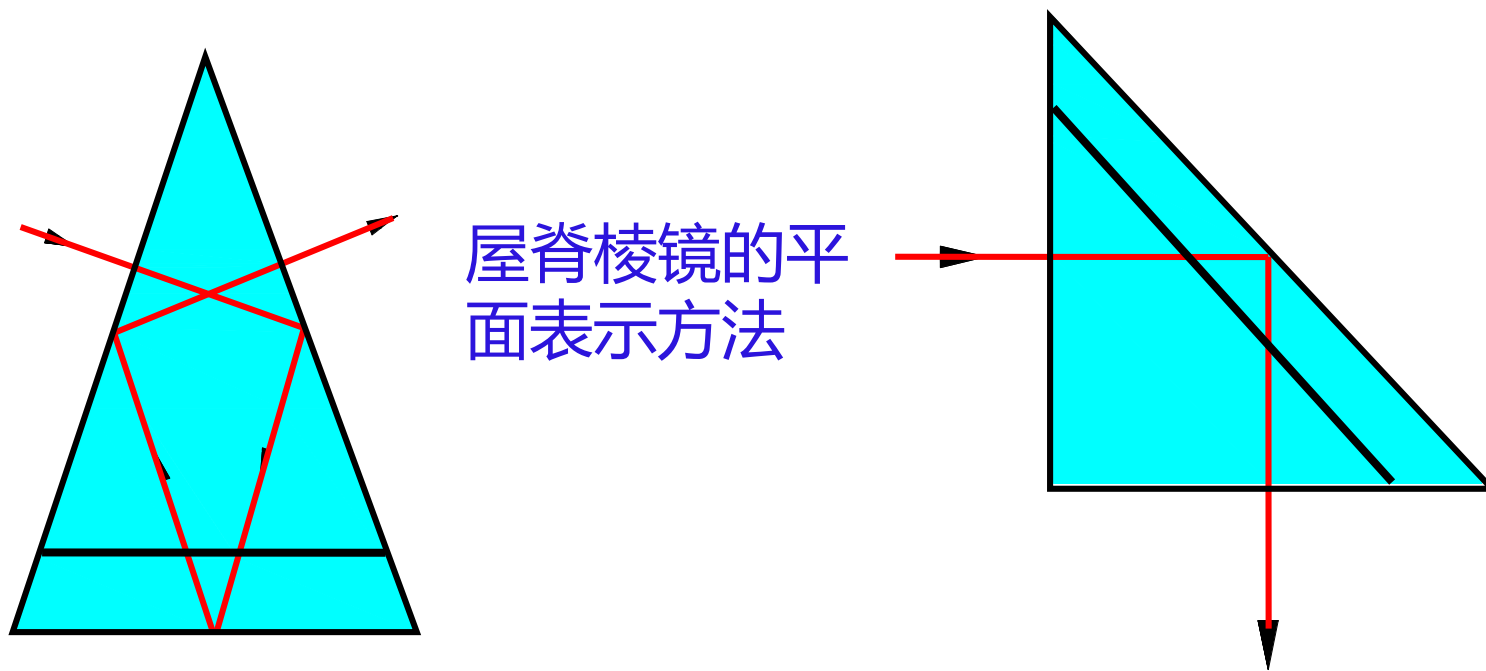


3.4 反射棱镜

三. 屋脊棱镜

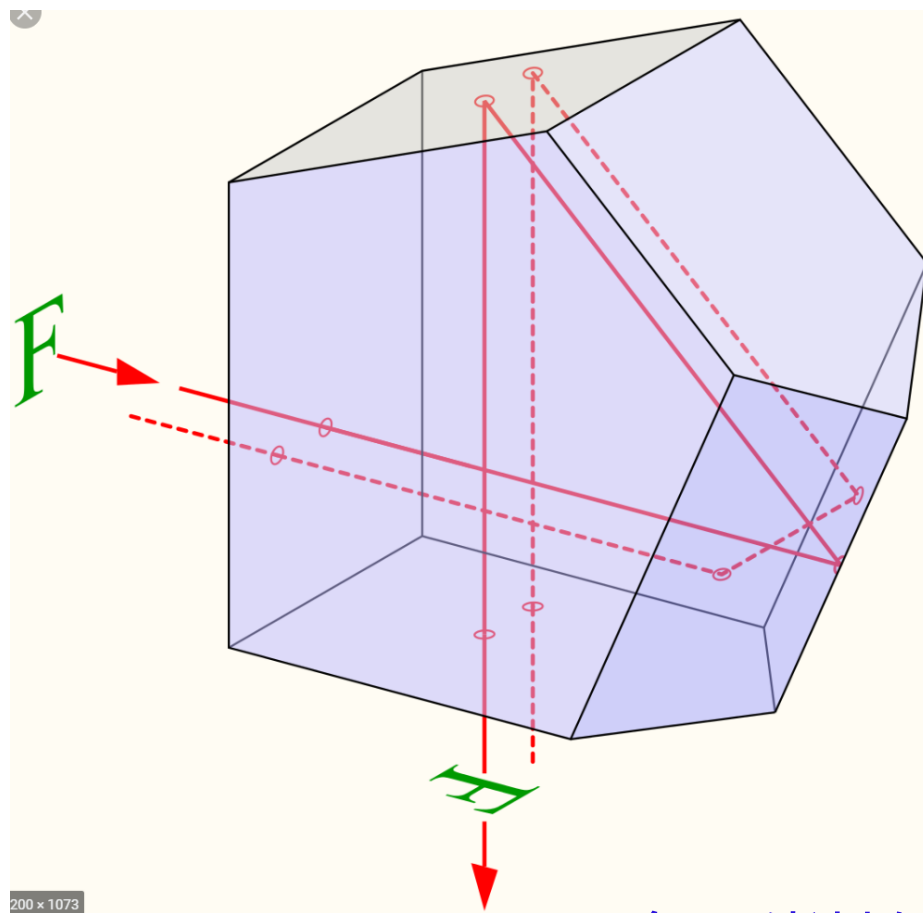
2. 屋脊面的作用

在不改变光轴方向和主截面内成像方向的条件下，增加一次反射，使系统总的反射次数由奇数变成偶数，可以单独作为倒像棱镜，从而达到物像相似的要求。（相当于两次反射的直角棱镜）



三. 屋脊棱镜

2. 屋脊面的作用



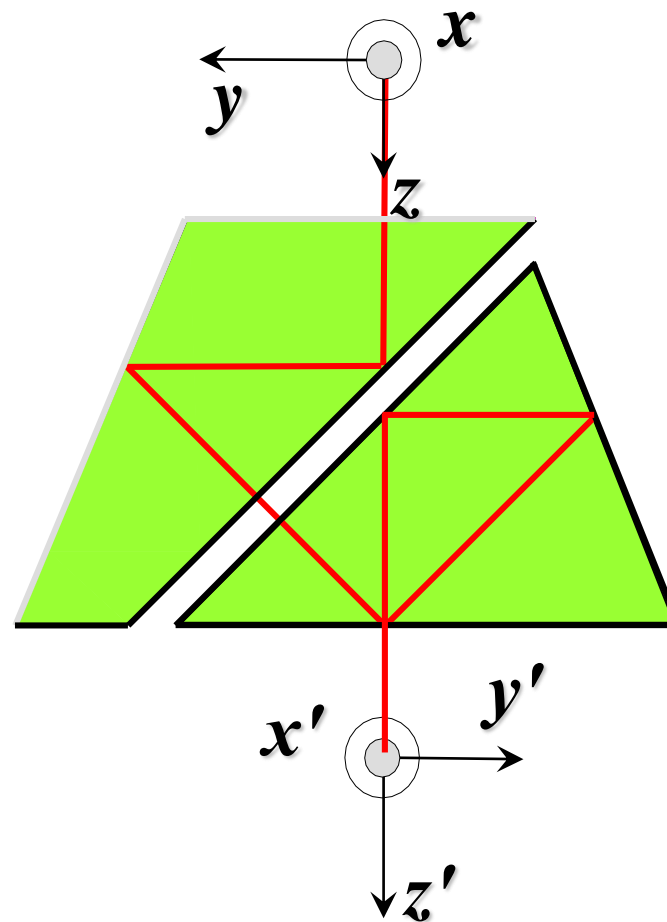
在不改变光轴方向和主截面内成像方向的条件下，也可以使系统总的反射次数由偶数变成奇数，在已经具有一个反射面的基础上，作为倒像棱镜用。

五角屋脊棱镜 (p29)

3.4 反射棱镜

四. 复合棱镜

由两个以上的棱镜组合起来形成，可以实现一些特殊或者单个棱镜难以实现的功能，这种复合棱镜也可以实现倒像作用。

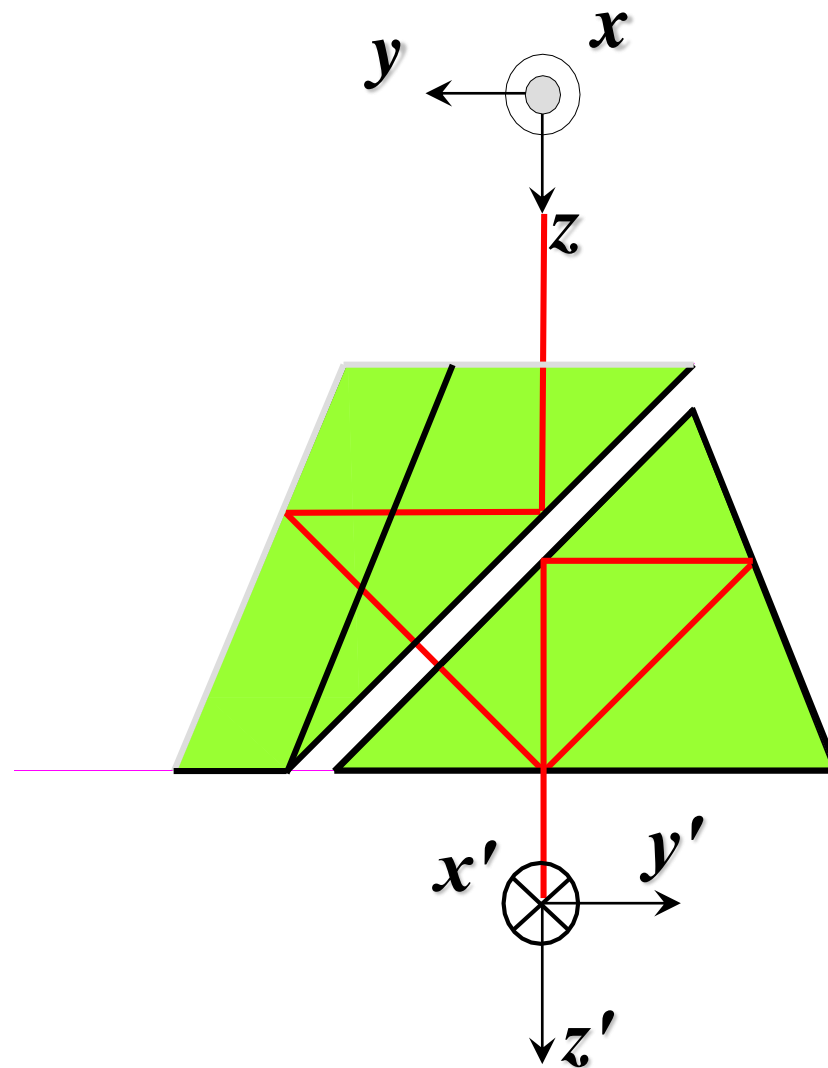
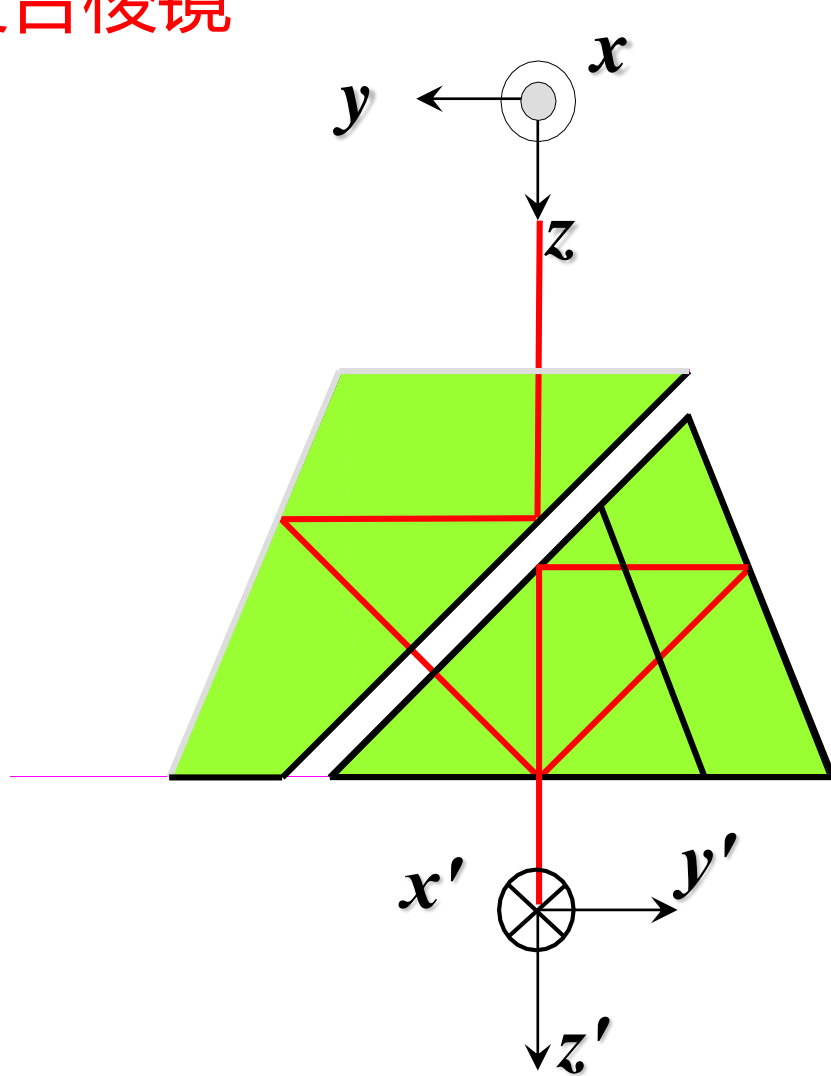


别汉棱镜
Pechan prism



3.4 反射棱镜

四. 复合棱镜

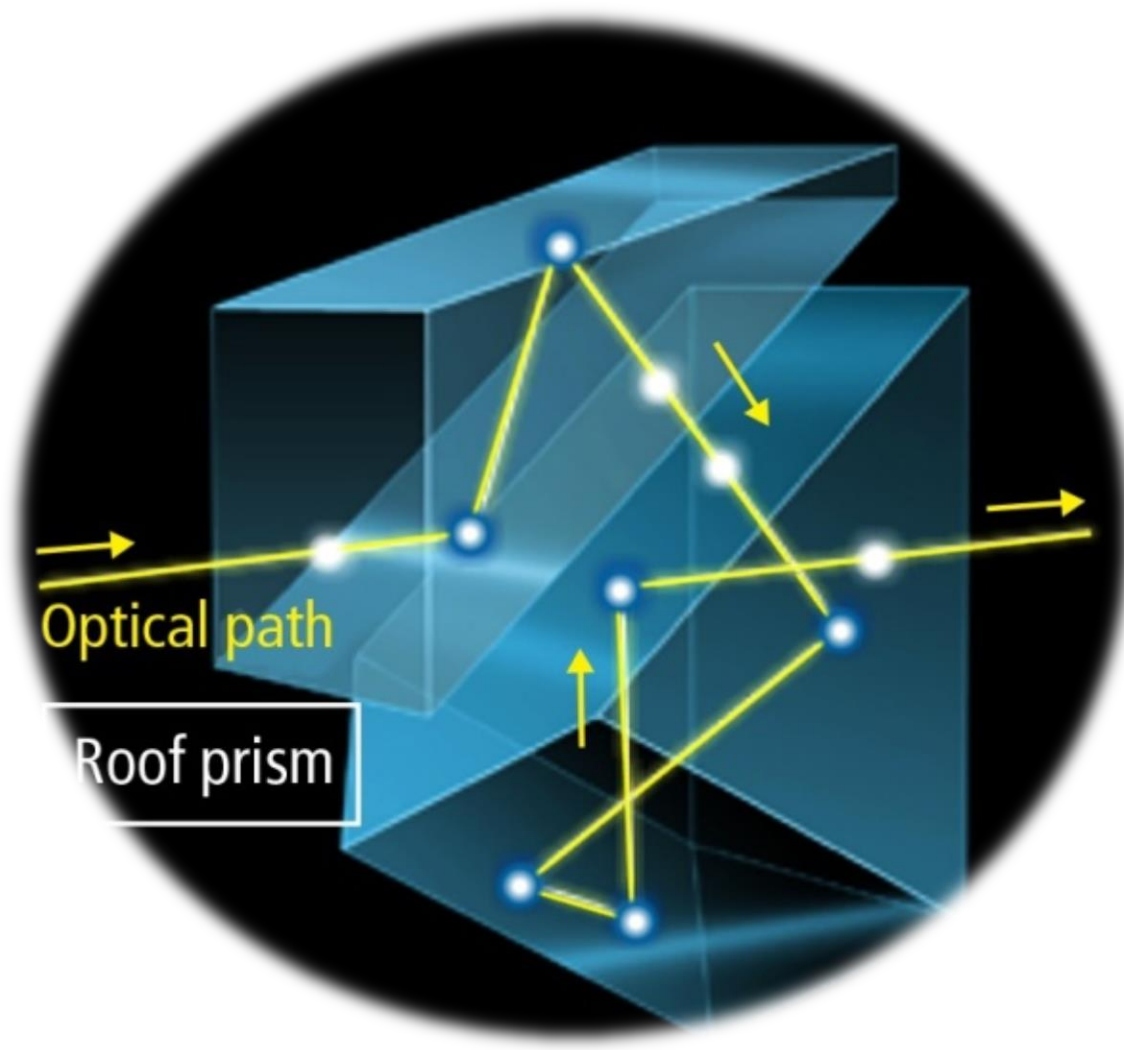


别汉屋脊棱镜



3.4 反射棱镜

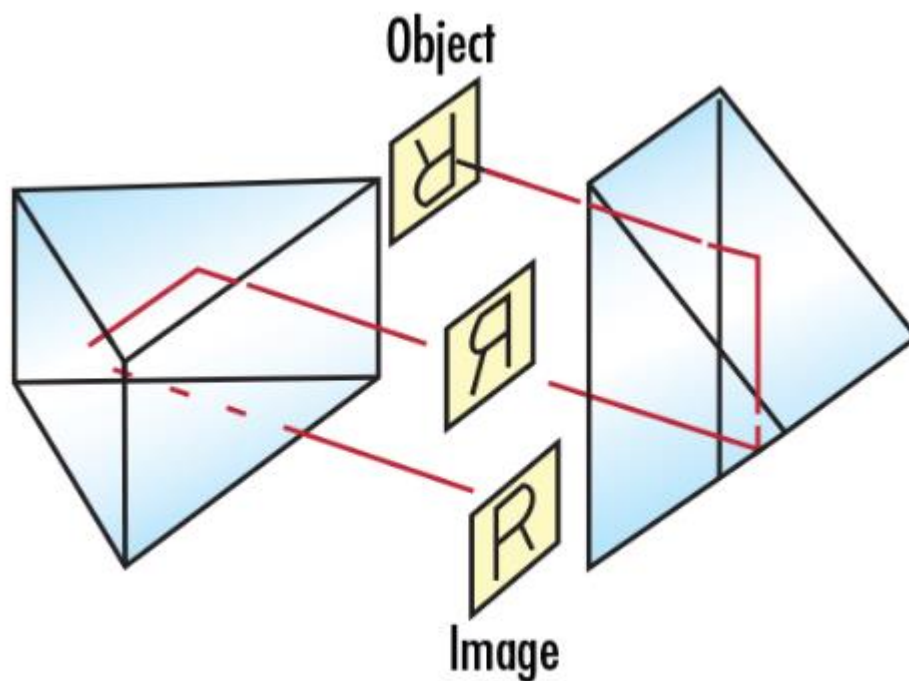
四. 复合棱镜



三维空间光路

四. 复合棱镜

棱镜组合系统也可用做倒像系统



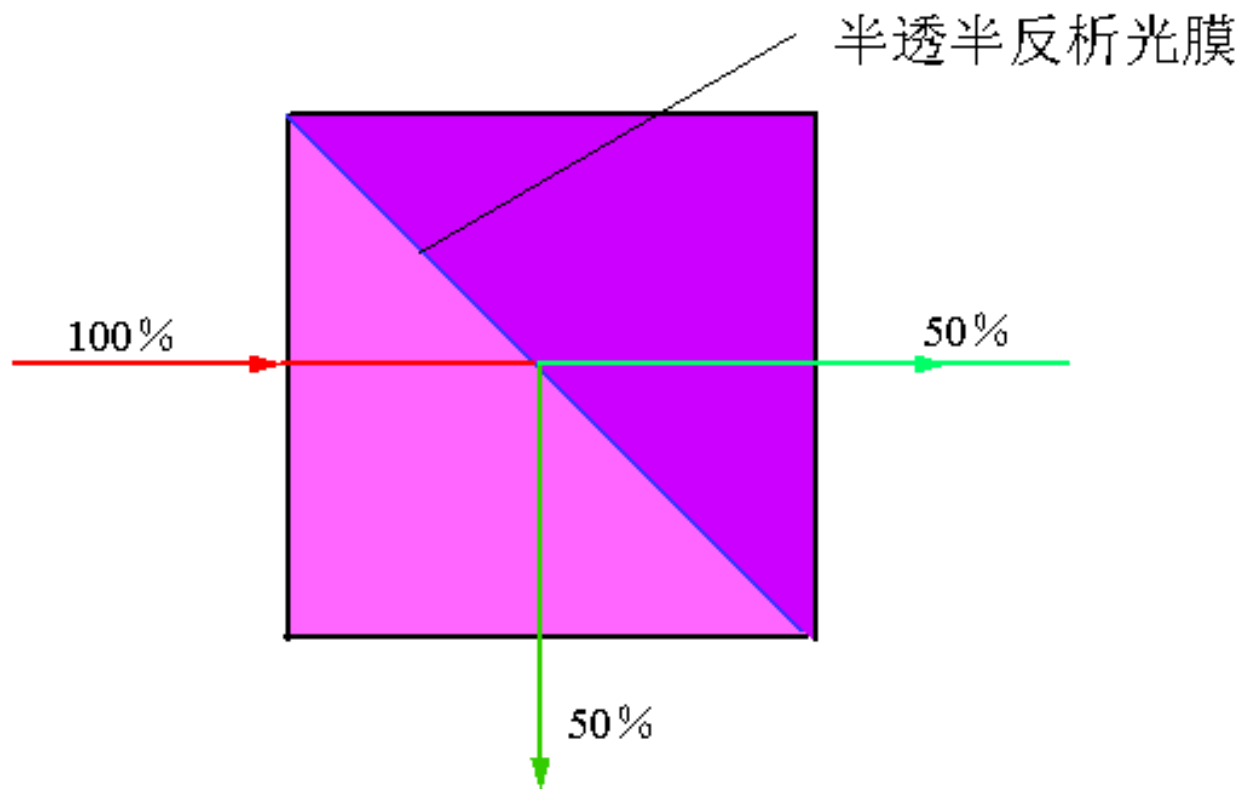
普罗型棱
镜系统
(Porro
prism)

Figure 4: Fixed 180° Rotation with a Porro System



3.4 反射棱镜

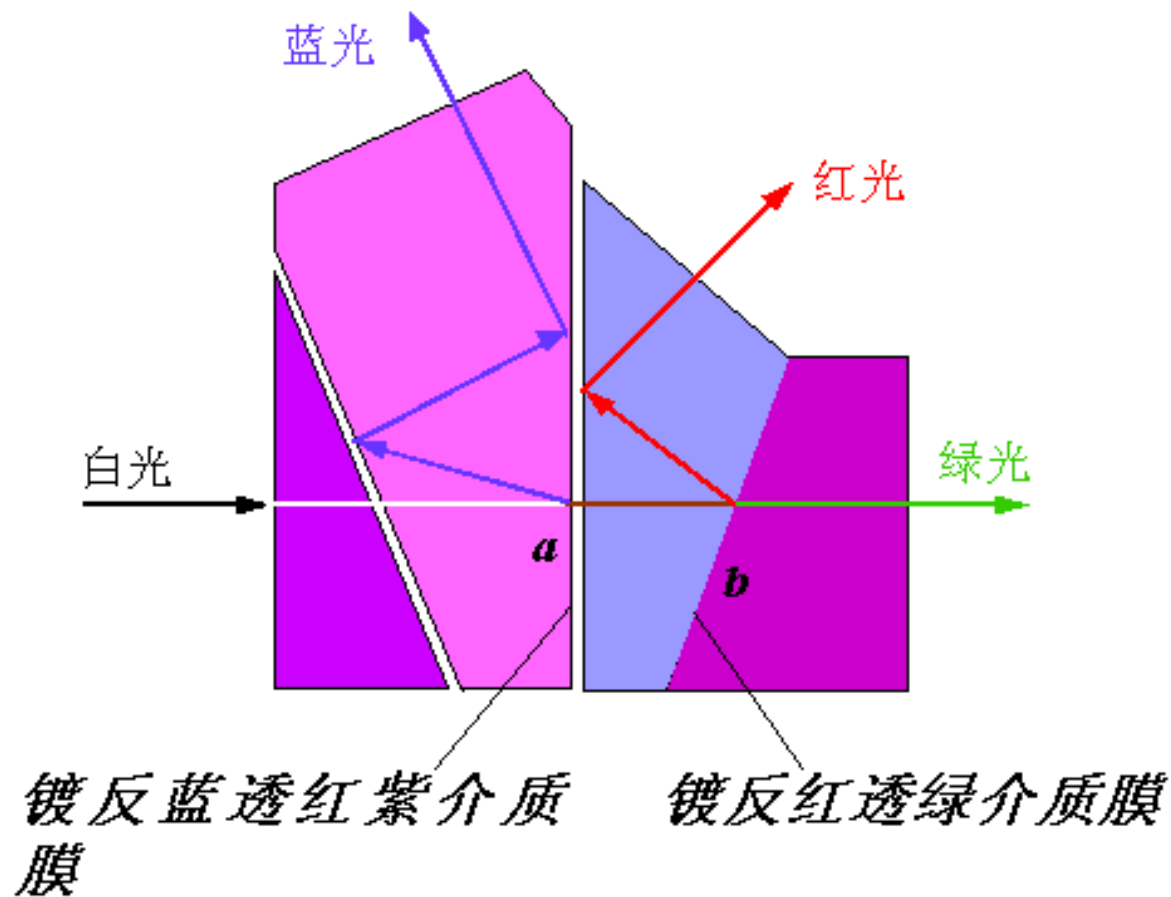
四. 复合棱镜



分光棱镜

将一束光分成光强相等的两束光，
且在棱镜中的光程相等。

四. 复合棱镜



分色棱镜

分色棱镜主要用于彩色电视摄像机中

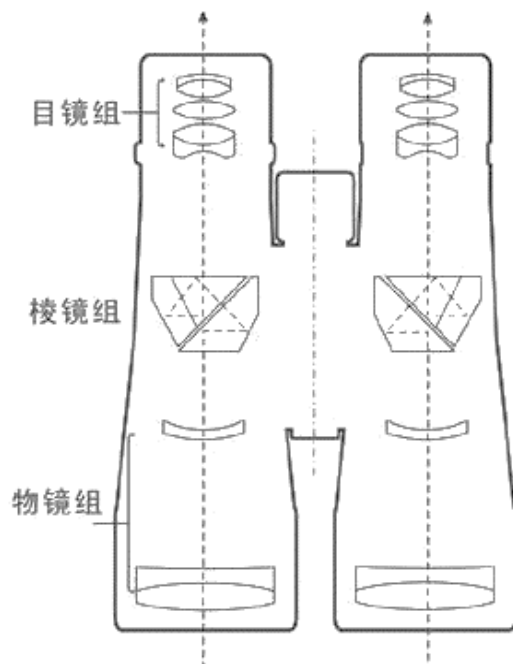


3.4 反射棱镜

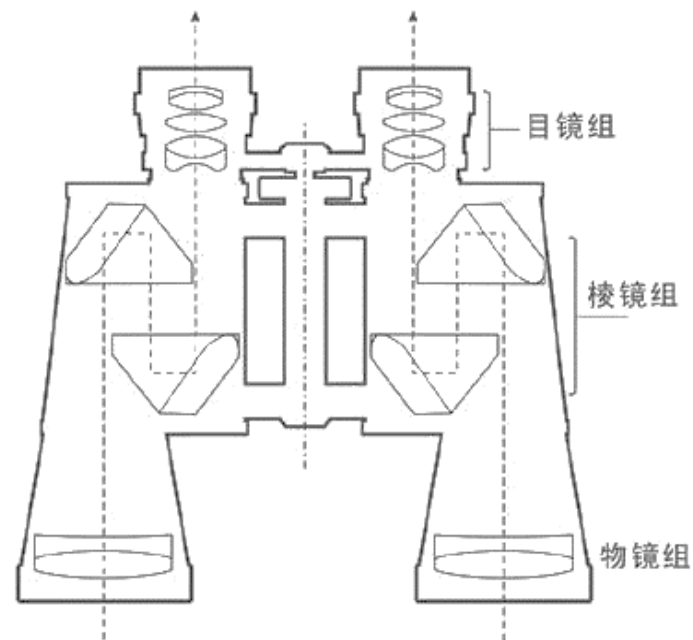
四. 复合棱镜



双筒望远镜光路示意图



Roof Prism
屋脊棱镜结构



Porro Prism
保罗棱镜结构

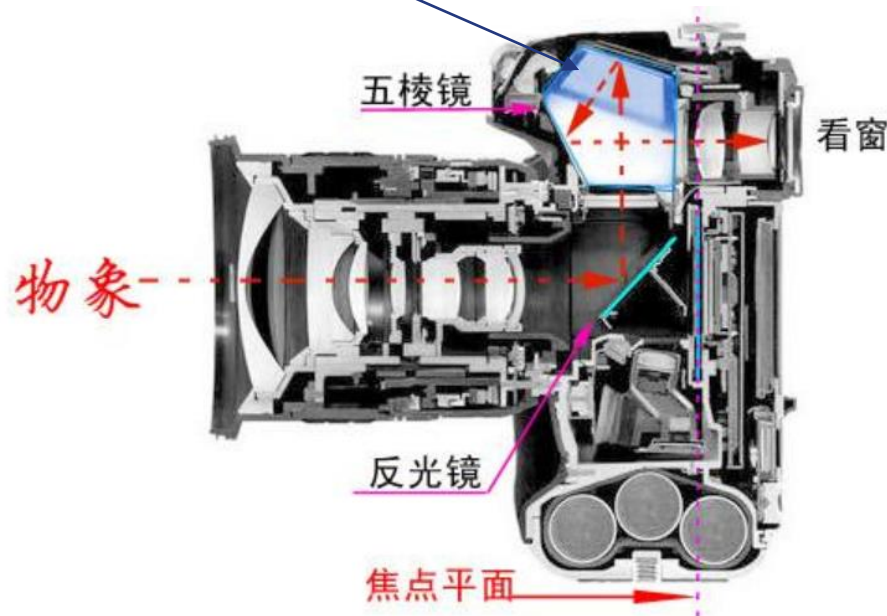
望远镜

3.4 反射棱镜

四. 复合棱镜



五角棱镜



单镜头反光照相机，SLR (Single Lens Reflex)

摄影者可以从取景器中直接观察到通过镜头的影像可以准确地看见胶片即将“看见”的相同影像。



3.4 反射棱镜

各坐标轴经棱镜系统时的变化规律

- 设物方右手坐标系，沿光轴方向的坐标轴 oz 经棱镜系统后仍与光轴行进方向相同；
- 垂直于主截面的坐标轴 ox 的方向经系统后是否倒转由系统的屋脊个数决定，奇数个屋脊时要倒转，否则不变；
- 在主截面内的坐标轴 oy 经系统后的方向由系统的总反射次数决定（一个屋脊相当于两次反射）；



3.4 反射棱镜

Notes

- ❖ 反射棱镜主要利用全反射原理反射光线;
- ❖ 并不是所有反射棱镜的反射面都满足全反射条件;
- ❖ 凡遇到这种反射面, 都必须**镀上反射膜**;



3.4 反射棱镜

五. 棱镜的等效

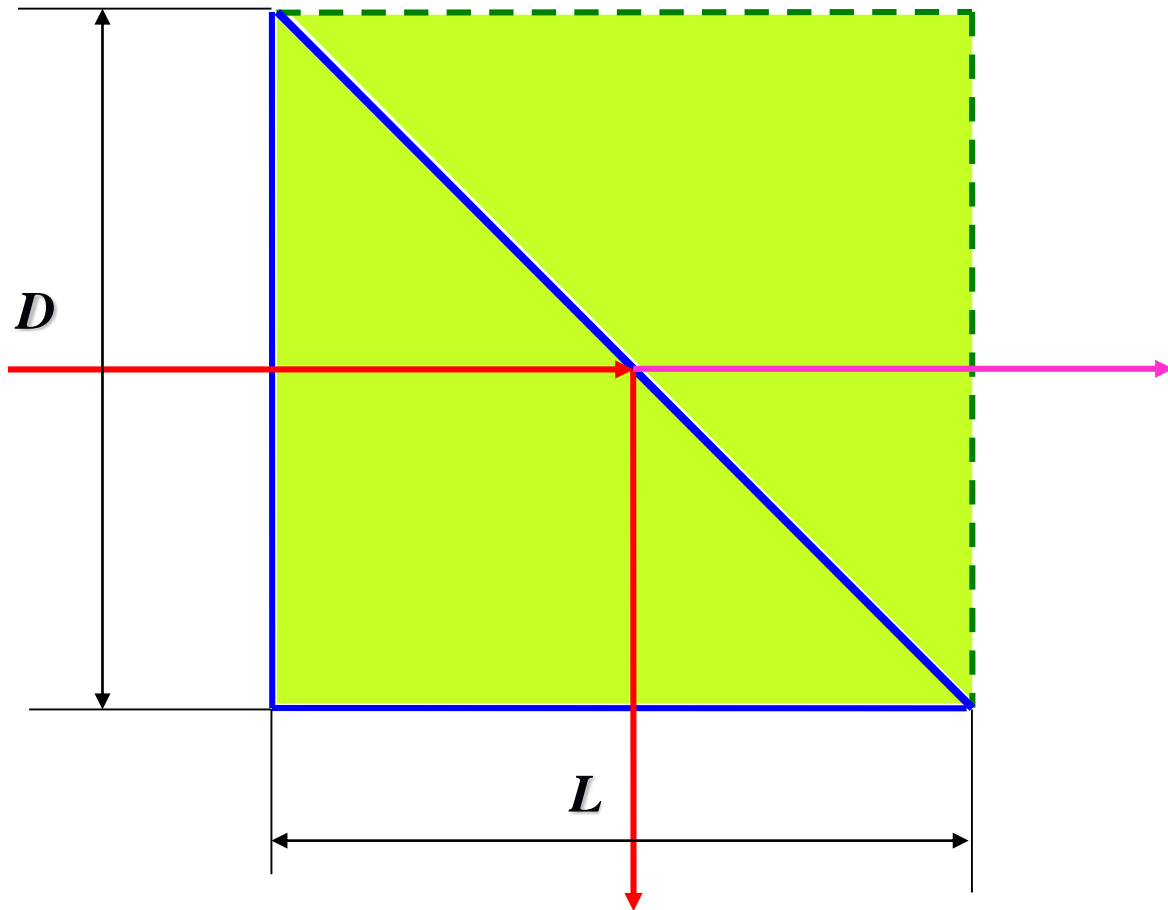


在光路中棱镜
怎么分析？

- 反射棱镜有两个折射面和若干反射面，若不考虑反射面，光线在两个折射面之间的行为等效于一个**平行平板**。
- 依次对反射面逐个做出整个棱镜被其所成的像，即可将棱镜展开成为平行平板
- 为了使棱镜和共轴球面系统组合后，仍能保持共轴球面系统的特性，必须对棱镜的结构提出一定的要求：
 - ① 棱镜展开后玻璃板的两个表面必须平行；
 - ② 如果棱镜位于会聚光束中，则光轴必须和棱镜的入射及出射表面相垂直；

3.4 反射棱镜

五. 棱镜的等效



直角棱镜 $K = 1$

- 平行平板的厚度就是反射棱镜的展开长度或称光轴长度 (L)
- 展开后应先找到棱镜限制光束的位置，再求尺寸，即棱镜通光光束的口径 (D) 。

- **棱镜的结构参数 K**

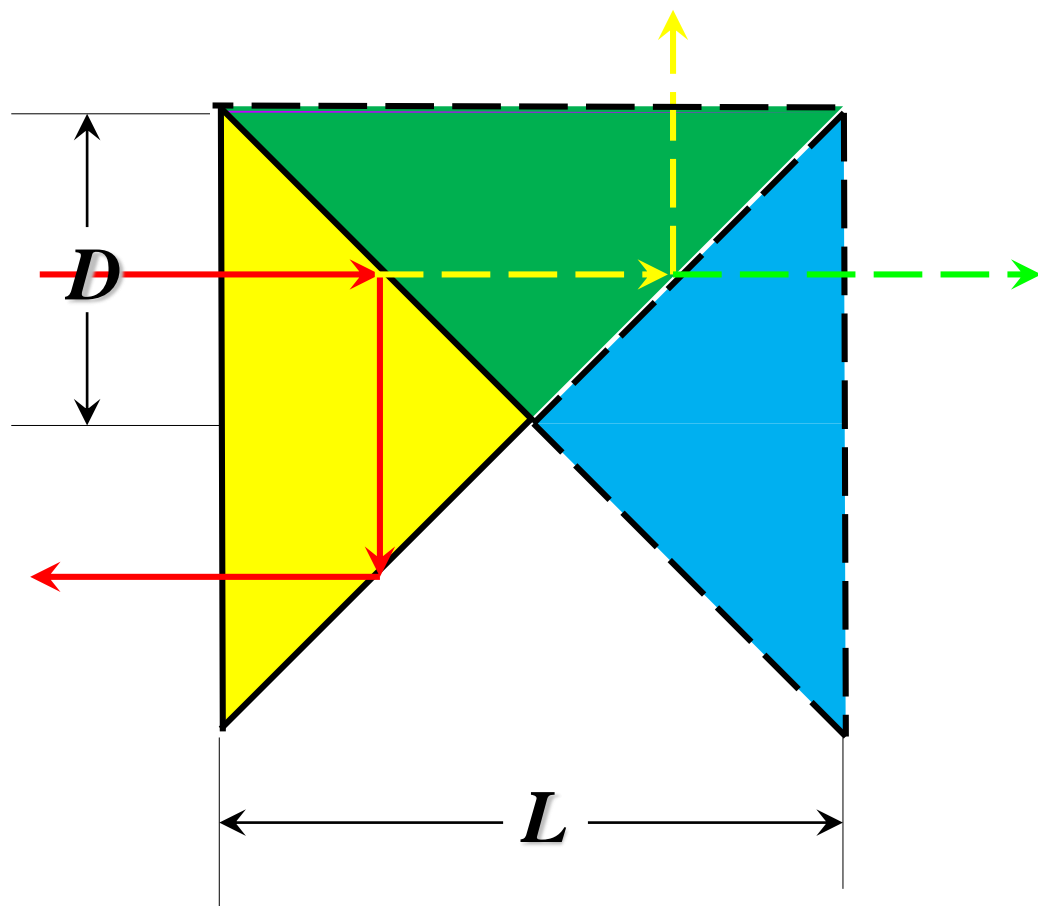
$$K = \frac{L}{D}$$

- 取决于棱镜的结构形式，与棱镜的大小无关，



3.4 反射棱镜

五. 棱镜的等效



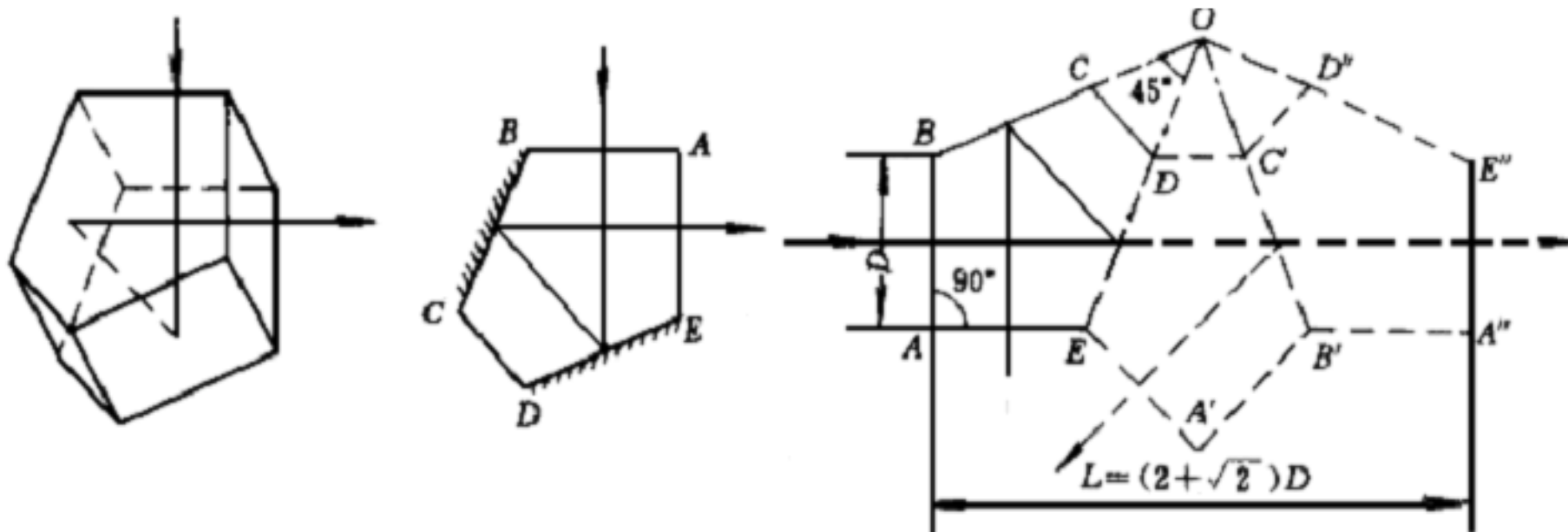
L —棱镜的光轴长
 D —入射光束口径

$$K = 2$$

二次反射直角棱镜

3.4 反射棱镜

五. 棱镜的等效



$$L = (2 + \sqrt{2})D = 3.414D \quad \Rightarrow \quad K = 3.414$$

五角棱镜



第三章 平面和平面系统

平面系统能够改变光路方向、转像、分光以及色散作用使得光学系统的功能更趋完备，满足各种实际需求。

主要内容

- 3.1 平面系统的作用
- 3.2 平面镜
- 3.3 平行平板
- 3.4 反射棱镜
- 3.5 折射棱镜
- 3.6 光的色散和光学材料

3.5 折射棱镜

一. 折射棱镜定义

反射棱镜—利用表面的反射作用

折射棱镜—利用表面的折射作用，工作面为两个折射面

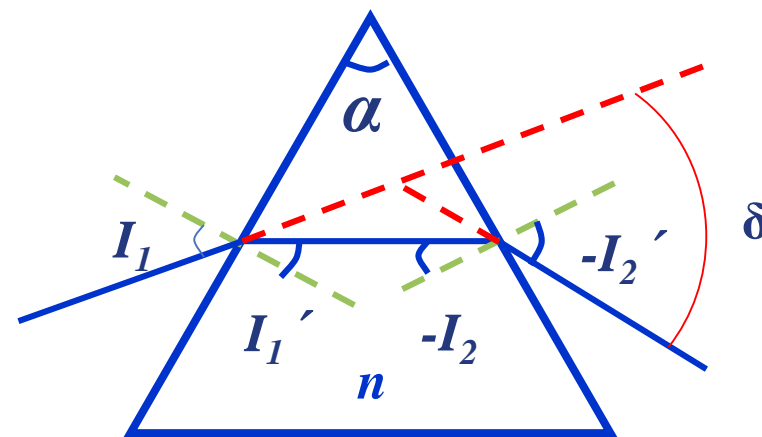
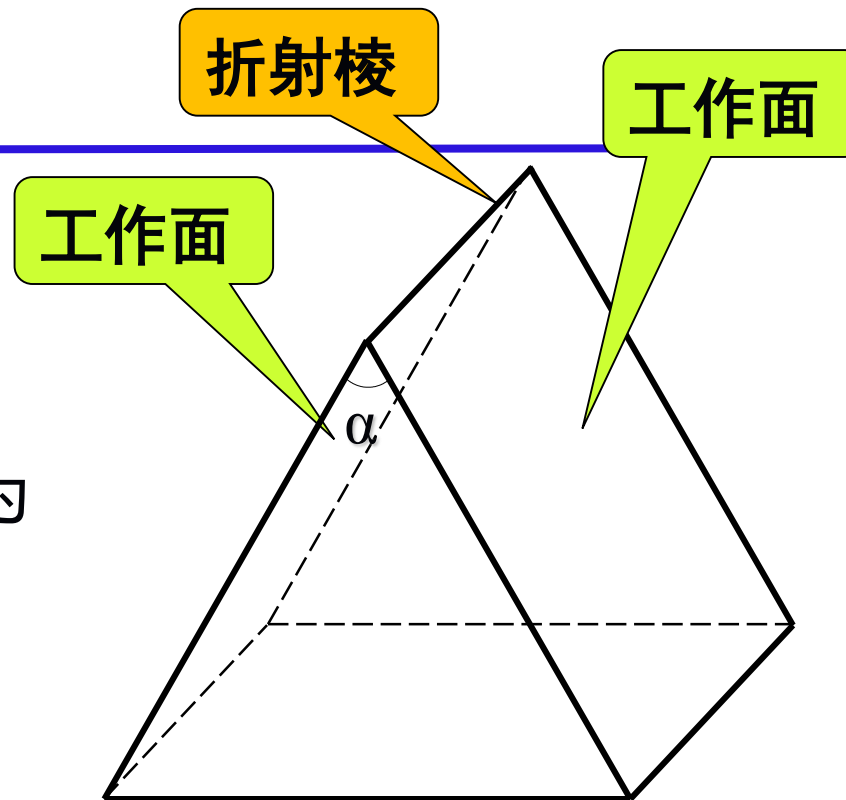
折射棱—入射面与出射面的交线

折射角—顶角 α

偏向角 δ —入射光线与出射光线的夹角，从入射光线转到出射光线，顺正逆负；

$$\because \alpha + (90^\circ - I_1') + (90^\circ + I_2) = 180^\circ$$

$$\Rightarrow \alpha = I_1' - I_2$$





3.5 折射棱镜

二.折射棱镜与光楔

自学： P33-34



第三章 平面和平面系统

平面系统能够改变光路方向、转像、分光以及色散作用使得光学系统的功能更趋完备，满足各种实际需求。

主要内容

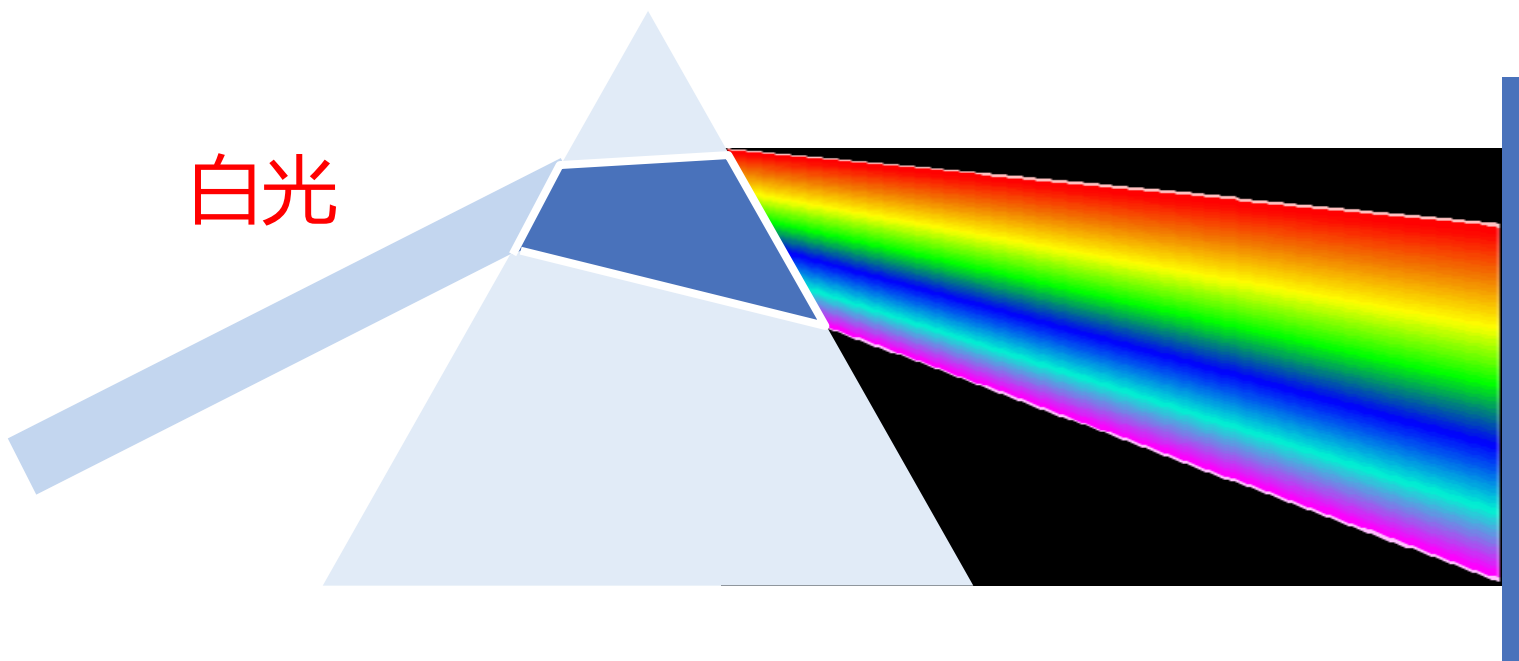
- 3.1 平面系统的作用
- 3.2 平面镜
- 3.3 平行平板
- 3.4 反射棱镜
- 3.5 折射棱镜
- 3.6 光的色散和光学材料



3.6 光的色散和光学材料

一、光的色散

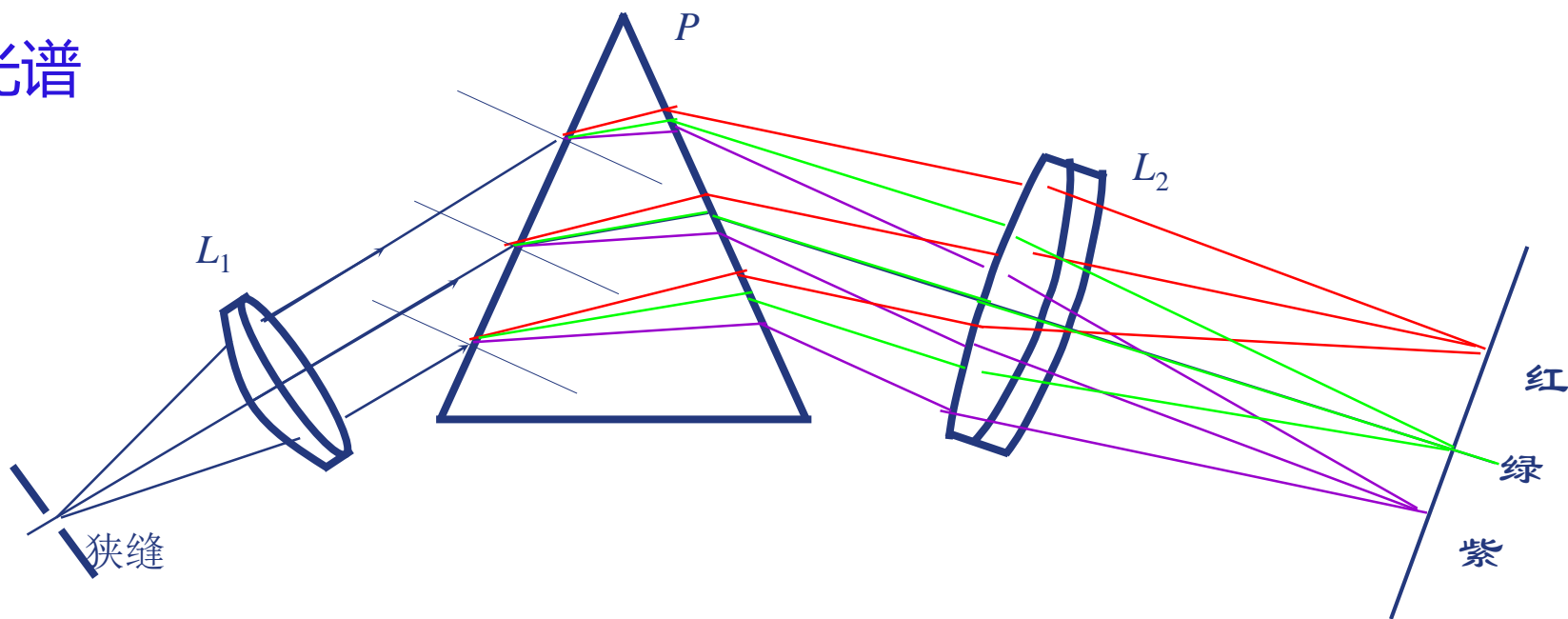
任何透明介质对不同波长的色光具有不同的折射率，只是随介质的不同，其折射率随波长而变的程度不同而已，这种性质称为**光的色散 (dispersion)**。



3.6 光的色散和光学材料

一、光的色散

白光光谱



- 这种按照波长长短顺序的排列称为**白光光谱**，光学上常用**夫琅和费 (Fraunhofer) 谱线**作为特征谱线来表征光学介质的折射率。
- 谱线是处于温度较低的太阳大气中的原子对更加炽热的内核发射的连续光谱进行选择吸收的结果。



3.6 光的色散和光学材料

一、光的色散

夫朗和费谱线颜色、符号、波长及产生相应谱线的元素

谱线 符号	红外	A'	b	C	C'	D	d	e	F	g	G'	h	紫外
颜色		红			橙	黄		绿	青		蓝	紫	
波长 /nm	>770.0	766.5	709.5	656.3	643.9	589.3	587.6	546.1	486.1	435.8	434.1	404.7	<400
对应 元素		K	He	H	Cd	Na	He	Hg	H	Hg	H	Hg	

折射棱镜的主要作用之一就是利用其色散特性做成分光元件，形成各种分光光谱仪。

色散曲线：介质折射率随波长的变化的曲线表示。 p35



3.6 光的色散和光学材料

二、光学材料

- ❖ 各种光学元件，如透镜、棱镜、平面镜、球面镜和分划板等是构成光学系统的基本元件，其所用材料必须满足这样的要求：

- ❖ 即折射材料对工作波段具有良好的透过率，
- ❖ 反射元件对工作波段具有很高的反射率。

光学材料

透射光学材料

光学特性主要由其对各种色光的透过率和折射率决定。

光学玻璃
光学晶体
光学塑料

反射光学材料

不存在色散，光学特性是其对各种色光的反射率 $\rho(\lambda)$ 。



3.6 光的色散和光学材料

二、光学材料

1. 透射光学材料

折射特性一般以夫琅和费特征谱线的折射率表示。在目视光学系统中，常规光学玻璃以D光(589.3nm)或d光的折射率 n_D 或 n_d 、F光和C光的折射率 n_F 和 n_C 为主要特征。其中 n_D 定义为平均折射率。

折射率	谱线	C	D	d	e	F	g	h
色散	λ (nm)	656.3	589.3	587.6	546.1	486.1	435.8	404.7
	参数	n_C	n_D	n_d	n_e	n_F	n_g	n_h

人眼最灵敏波长555nm，两个极端C，F

$n_F - n_C$	$n_{\lambda 1} - n_{\lambda 2}$	$v = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$	$\frac{n_{\lambda 1} - n_{\lambda 2}}{n_F - n_C}$
平均色散	部分色散	阿贝常数 平均色散系数	部分色散系数 相对色散

阿贝常数越大，色散越低，反之，色散越大。



3.6 光的色散和光学材料

二、光学材料

1. 透射光学材料

透射光学材料还应具有以下特性：

- 折射率、色散系数与标准值的允许差值；
- 同一批折射率及色散系数的一致性；
- 高度的光学均匀性；
- 化学稳定性和良好的物理性能；
- 不应有明显的气泡、条纹和内应力等缺陷；



3.6 光的色散和光学材料

二、光学材料

2. 光学玻璃：

两大玻璃类别

	冕牌玻璃 K	火石玻璃 F
特点	低折射率、低色散	高折射率、高色散
类别	轻冕QK 冕 K 磷冕 PK 钡冕 BaK 重冕 ZK 镧冕 LaK	冕火石 KF, 轻火石 QF 钡火石 BaF, 火石 F 重火石 ZF, 重钡火石 ZBaF 镧火石 LaF, 重镧火石 ZLaF 特种火石 TF

一般光学玻璃能够通过波长在0.35~2.5μm范围内的各种色光。一旦入射波段超过此范围，就将被强烈吸收，玻璃对超此范围的波长来讲就是不透明的。



3.6 光的色散和光学材料

二、光学材料

2. 光学玻璃：

常用光学玻璃色散公式：哈特曼色散公式

$$n = n_0 + C / (\lambda_0 - \lambda)^\alpha$$

式中， n_0 、 C 、 λ_0 和 α 为与介质折射率有关的系数。 α 值对于低折射率玻璃可取为1，对于高折射率玻璃取为1.2。系数 n_0 、 C 和 λ_0 可由玻璃目录中已知的三个介质折射率求出，然后再根据公式计算所需波长的折射率。

德国肖特玻璃厂的色散公式：

$$n_\lambda^2 = A_0 + A_1 \lambda^2 + A_2 / \lambda^2 + A_4 / \lambda^4 + A_6 / \lambda^6 + A_8 / \lambda^8$$

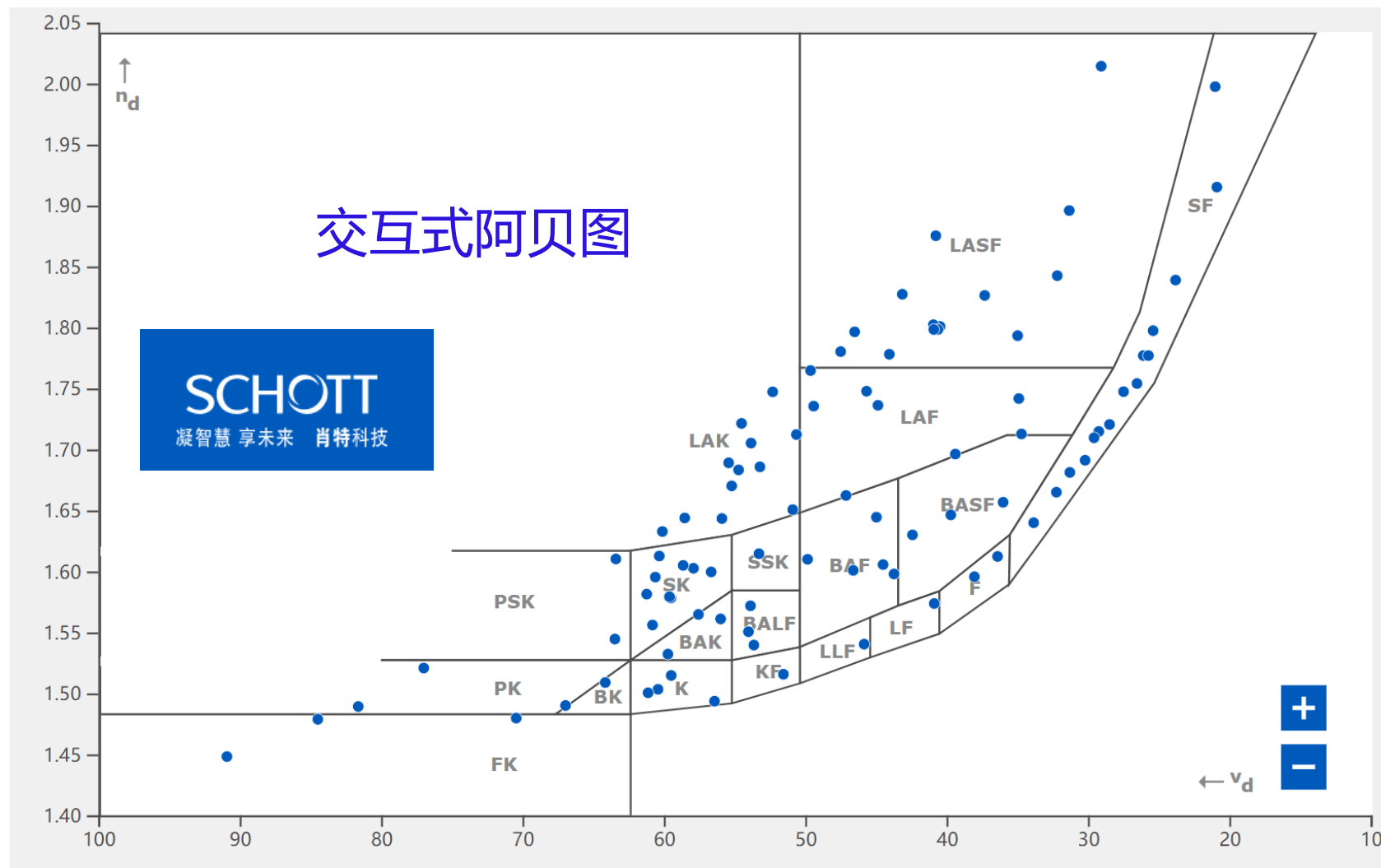
式中，波长 λ 以nm为单位，系数 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_4 、 A_6 、 A_8 可由玻璃目录中查出。利用上述公式，计算精度在400~750nm波长范围内可达 $\pm 3 \times 10^{-6}$ ，在365~400nm和750~1014nm波长范围内可达 $\pm 5 \times 10^{-6}$ 。这个计算精度对实际应用是足够的。



3.6 光的色散和光学材料

二、光学材料

2. 光学玻璃：





3.6 光的色散和光学材料

二、光学材料

2. 光学玻璃-选择主要考虑的性能:

- **可用性**: 首选玻璃、标准玻璃和查询玻璃;
- **透射性**: 不同的玻璃在不同的波段具有不同的透射性;
- **双折射特性**: 一般玻璃都是各向同性的, 但是机械或者热应力会使得玻璃变成各向异性;
- **热学性能**: 折射率温度系数: 导热系数、线膨胀系数等;
- **化学稳定性**: 玻璃抵抗潮湿空气、水、酸、碱、盐的侵蚀能力。



3.6 光的色散和光学材料

二、光学材料

3. 光学晶体

与玻璃相比其优点是波段范围相对较宽，较为常用的晶体有：

- ◆ 石英(SiO_2)-- $0.2 \sim 4 \mu\text{m}$ (可用于紫外光谱区),
- ◆ 萤石(CaF_2)-- $0.15 \sim 10 \mu\text{m}$, 超低色散材料, 在对色散要求高的系统中常有应用, 比如复消色差显微物镜、长焦距摄影物镜;
- ◆ LiF 、 MgF_2 --等金属卤化物, 但是呈现明显的各向异性, 对入射光会产生双折射, 限制了它们的应用;



3.6 光的色散和光学材料

二、光学材料

4. 光学塑料

- ◆ **主要优点：**光学塑料是指可用来代替光学玻璃的有机材料，因其具有价格便宜、密度小、重量轻、易于模压成型、成本较低、生产效率高和不易破碎等。
- ◆ **主要用途：**用于精度要求不高的光学系统，它的成本低，生产效率比较高，但像质不好，且热胀系数高。例如：低倍的放大镜、简单的望远镜。
- ◆ **主要缺点：**热膨胀系数和折射率的温度系数比光学玻璃大得多，制成的光学元件受温度影响大，成像质量不稳定。
- ◆ **常用的光学塑料：**聚甲基丙烯酸甲酯 PMMA、丙烯酸有机玻璃 (acrylic)、聚苯乙烯 (polystyrene, PS) 和聚碳酸酯(polycarbonate,PC) 等。

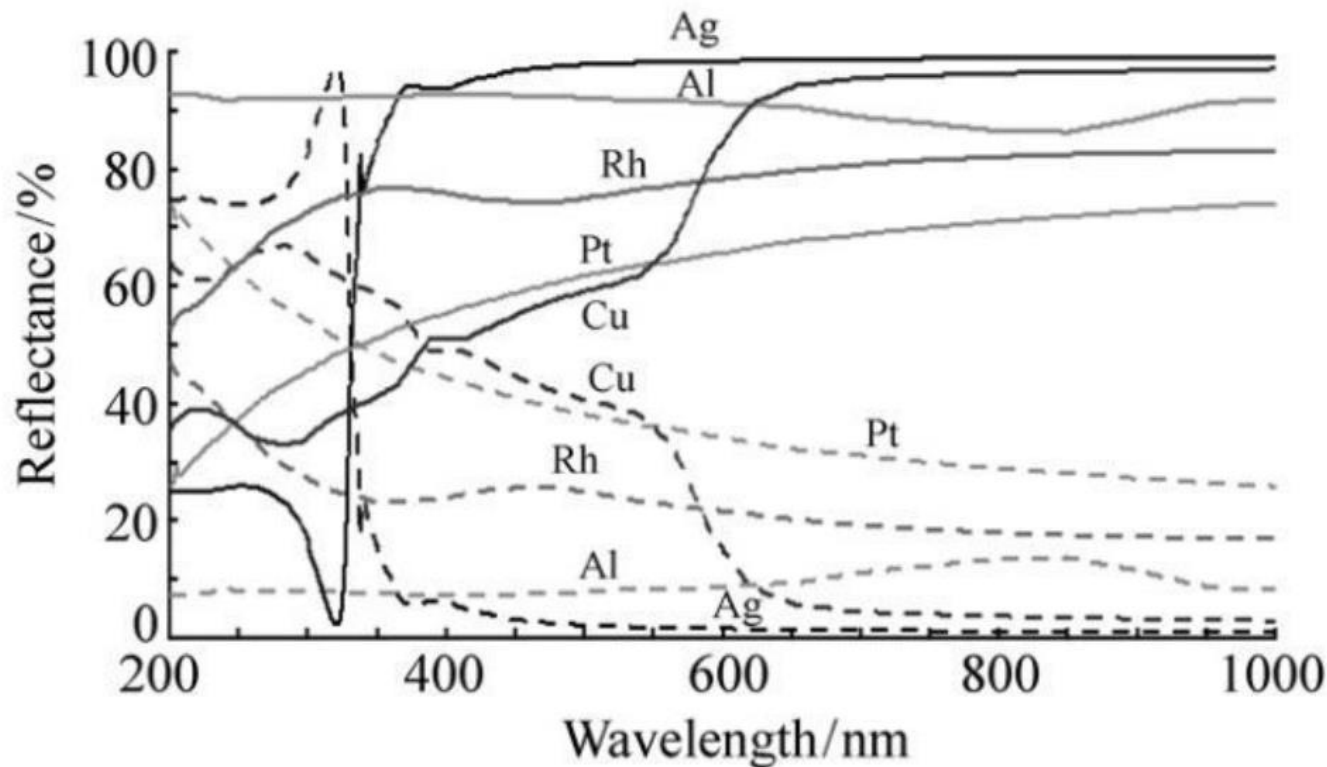


3.6 光的色散和光学材料

二、光学材料

5. 反射光学材料

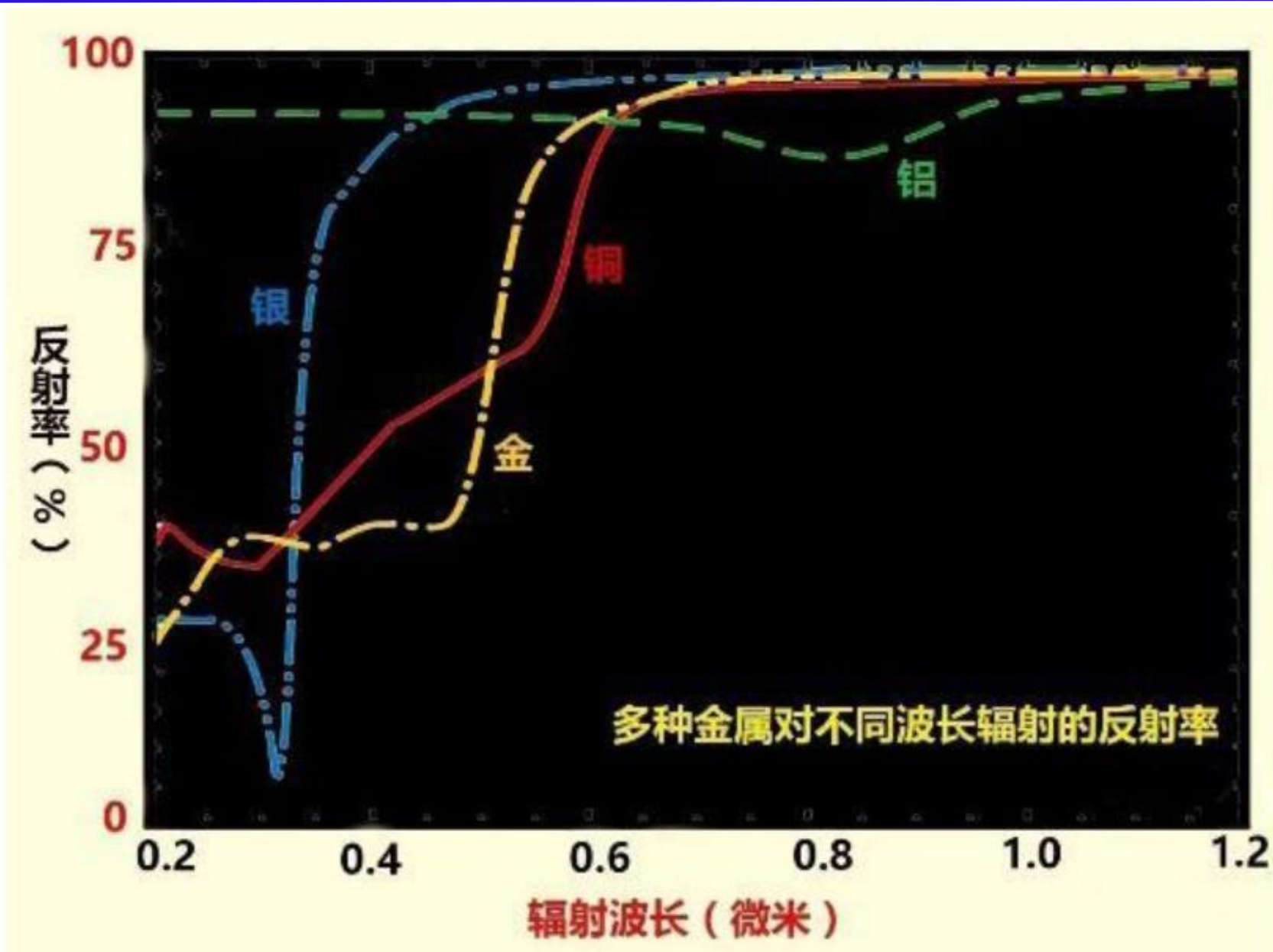
- 反射光学元件是在抛光玻璃或金属表面镀上高反射率金属材料的薄膜而成。
- 反射不存在色散。
- 反射光学材料的**唯一光学特性是其对各种色光的反射率 $\rho(\lambda)$** 。
- 各种金属镀层的反射率各不相同，同一金属材料的反射率随波长的不同而不同。



常用金属膜的反射率(实线)和吸收率(虚线)曲线



3.6 光的色散和光学材料





第三章 平面和平面系统

平面系统能够改变光路方向、转像、分光以及色散作用使得光学系统的功能更趋完备，满足各种实际需求。

主要内容

- 3.1 平面系统的作用
- 3.2 平面镜
- 3.3 平行平板
- 3.4 反射棱镜
- 3.5 折射棱镜
- 3.6 光的色散和光学材料



3.4 反射棱镜

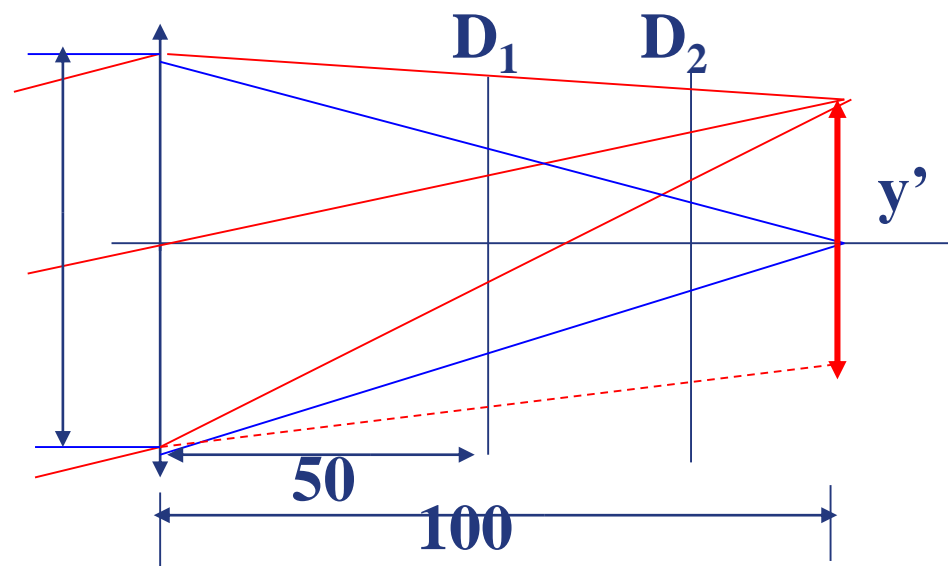
例：一个薄透镜组 $f'=100$ ，口径 $D=20$ ，对无限远目标成像，像高 $2y'=10$ ，在距透镜组50处加入一个五角棱镜，使光轴偏转90度，求棱镜尺寸和像面位置 ($n=1.5163$)

解：第一步：作出对应光路图

第二步：求棱镜第一面通光口径

$$D_1 = (20 + 10)/2 = 15$$

第三步：求玻璃板厚度和相当空气层厚度



$$\text{厚度: } L = 3.414D_1 = 51.21$$

$$\text{相当空气厚度: } e = L/n = 33.8$$

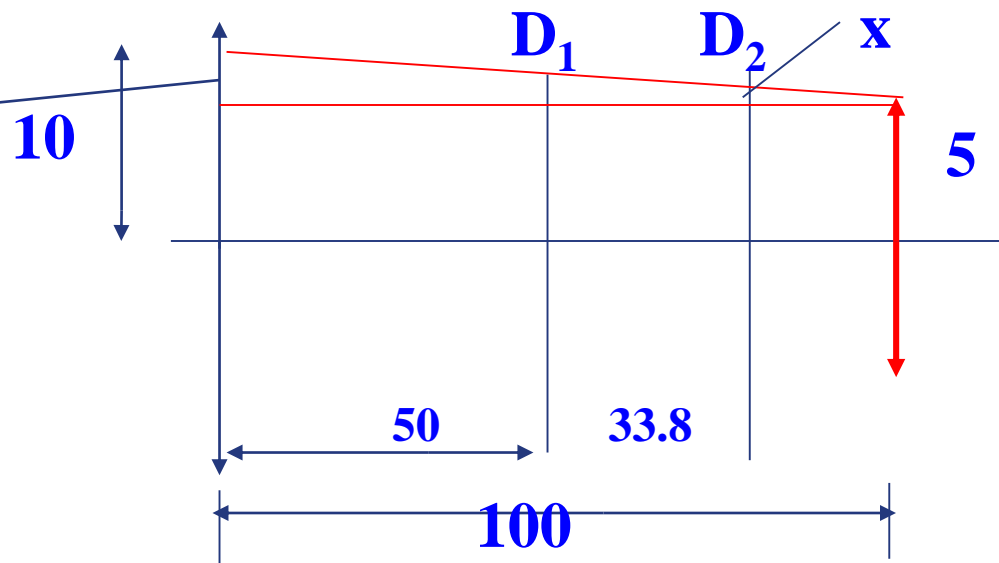
3.4 反射棱镜

第四步：求第二面通光口径

$$\frac{5}{x} = \frac{100}{50 - 33.8} = \frac{100}{16.2}$$

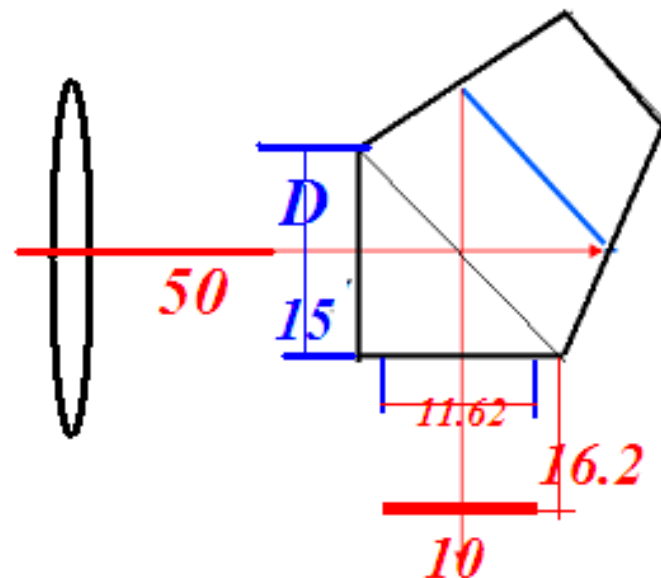
$$x = 0.81$$

$$\therefore D_2 = 10 + 2x = 11.62$$



第六步：求新像面位置

$$L'_2 = 50 - 33.8 = 16.2$$





第三章 小结

平面镜

- 平面镜成像公式
- 旋转与平移
- 双平面镜系统

平面系统能够改变光路方向、转像、分光以及色散作用使得光学系统的功能更趋完备，满足各种实际需求。

平行平板

- 平行平板近轴成像
- 非近轴成像
- 等效光学系统

第三章 平面和平面系统

折射棱镜

- 折射棱镜
- 光楔近轴
(自学)

反射棱镜

- 简单棱镜
- 屋脊棱镜
- 复合棱镜
- 棱镜等效

色散和材料

- 光的色散
- 折射材料
- 反射材料