



第四章 平面镜棱镜系统

4.1 平面镜棱镜系统的应用



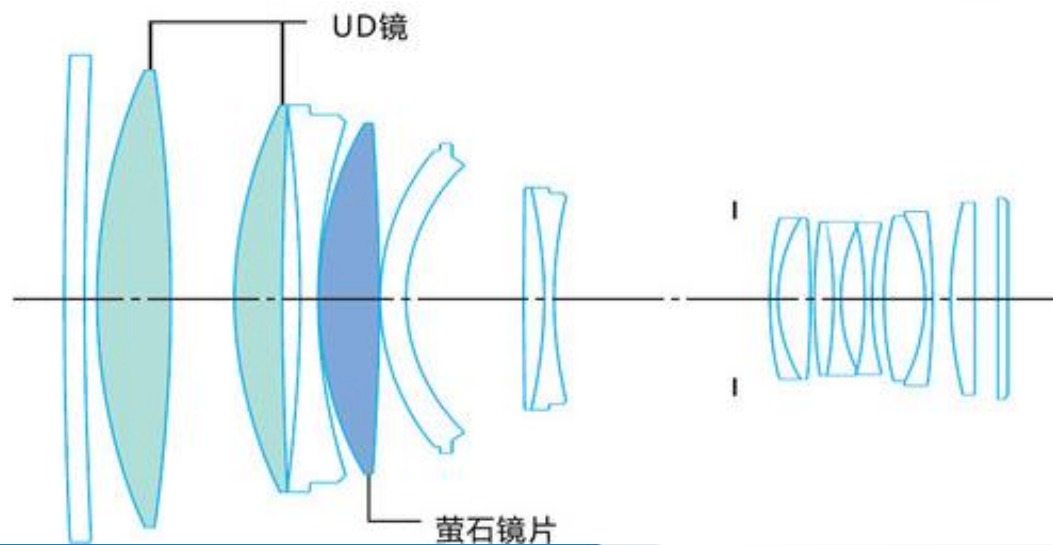
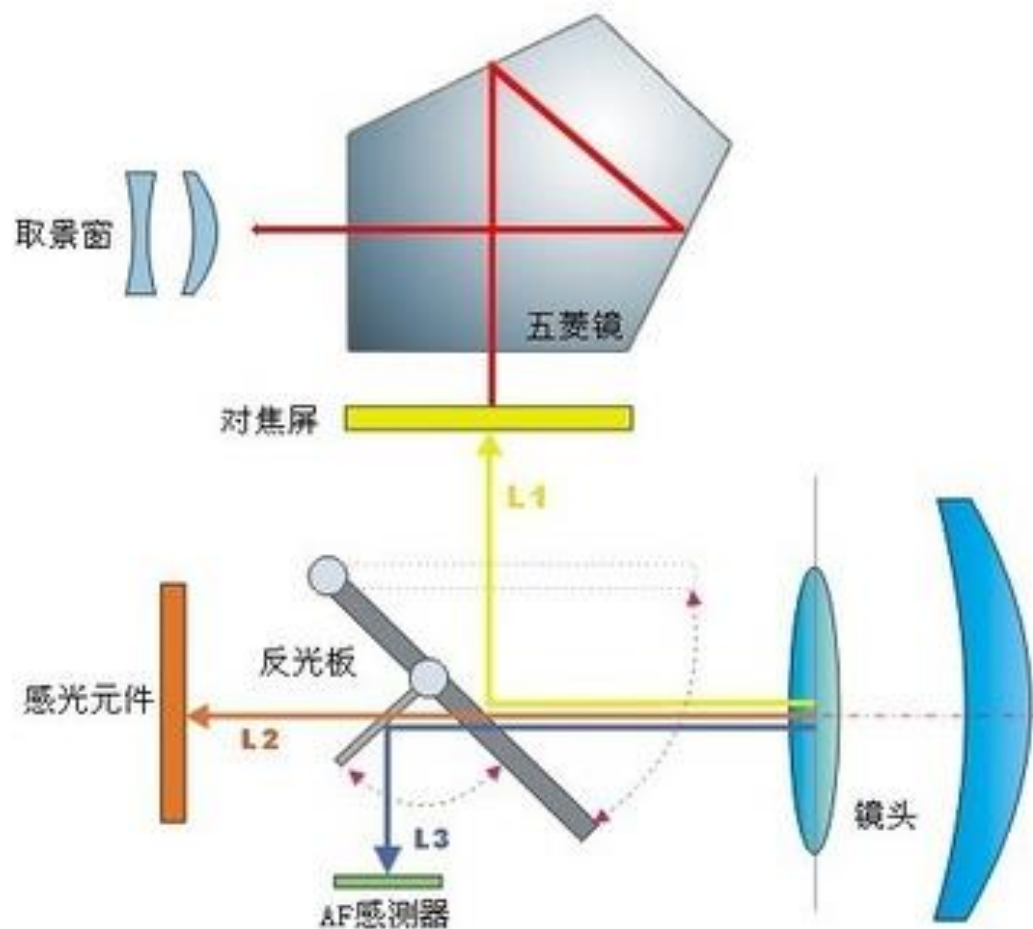
光学系统：

➤ 共轴球面系统

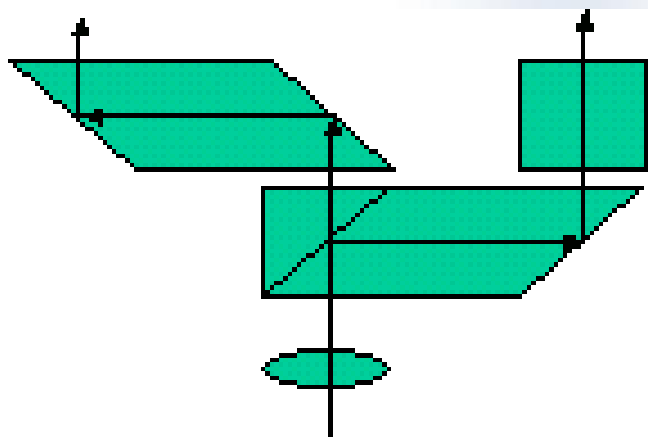
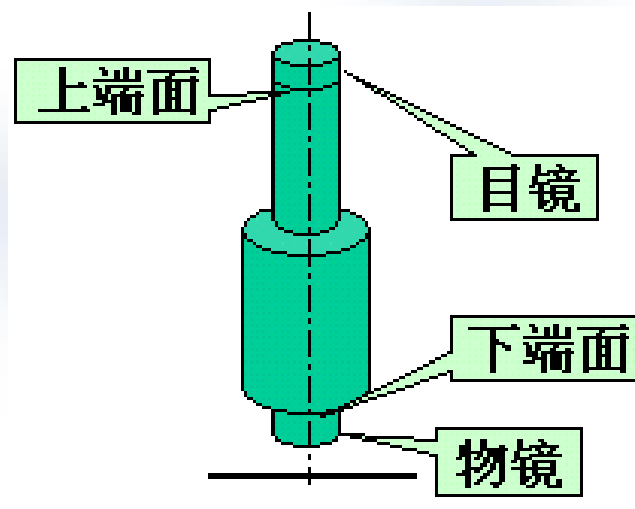
光学元件排列在同一直线，仪器体积可能较大

➤ 平面镜、棱镜系统

- 1) 将共轴系统折叠、减小仪器体积、重量
- 2) 转换像的方向
- 3) 改变共轴系统中光轴的位置、方向
- 4) 连续改变系统光轴方向，扩大观察范围
- 5) 利用棱镜产生色散



单反：单镜头反光，
SLR(Single Lens
Reflex)



双目镜筒通过
加反射棱镜和
平行平板实现



望远镜

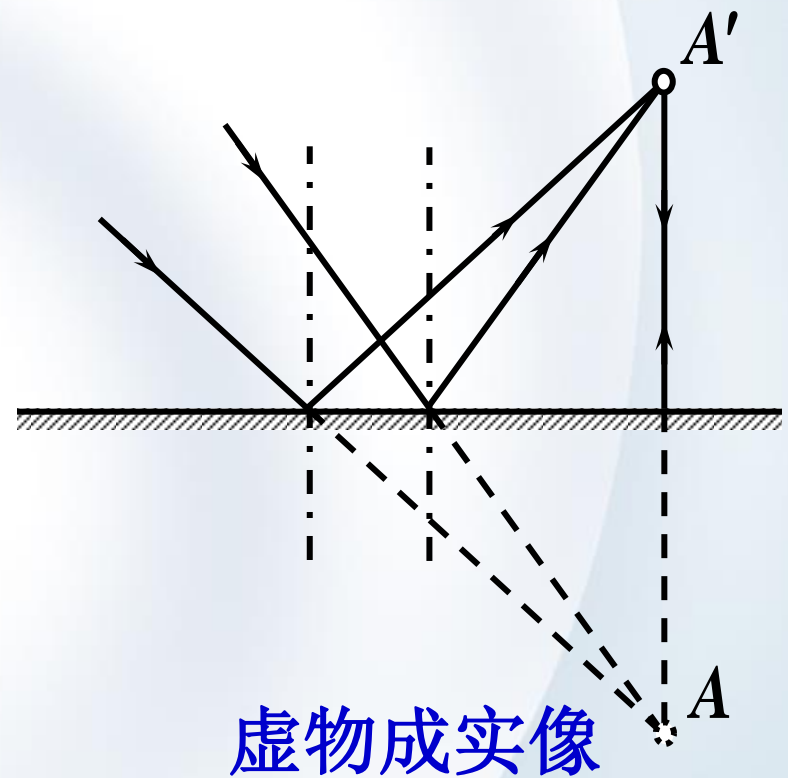
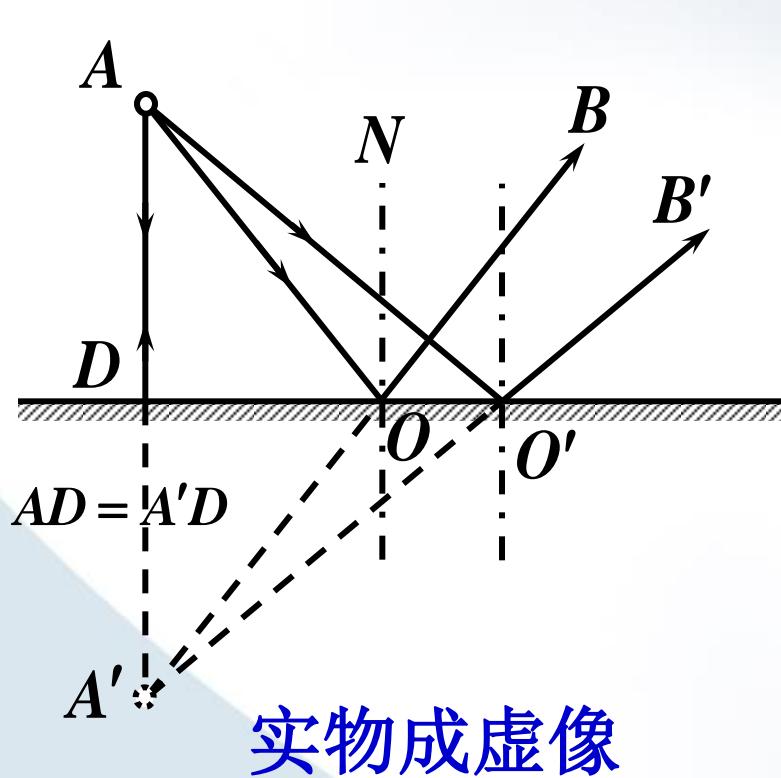


4.2 平面镜的成像性质



1) 物点的成像规律:

平面镜使整个空间任意物点理想成像，物像虚实相反



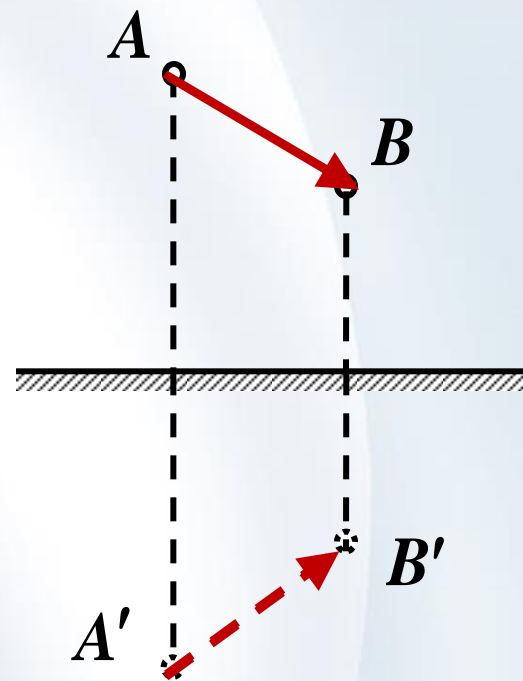
A点发出的同心光束经平面镜反射后交于一点**A'**

4.2 平面镜的成像性质



1) 物点的成像规律:

$$\left. \begin{aligned} \frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} &= \frac{n' - n}{r} \\ \beta = \frac{y'}{y} &= \frac{nl'}{n'l} \\ r &= -\infty \\ n' &= -n \end{aligned} \right\} \Rightarrow l' = -l, \beta = 1$$



成像的特性:

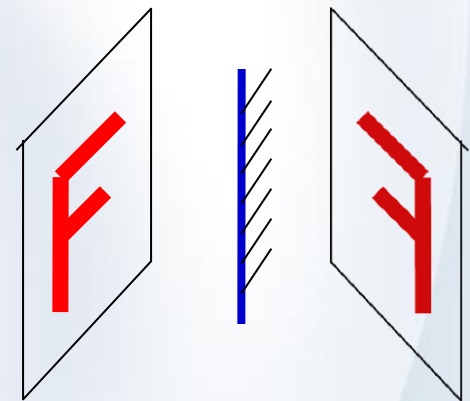
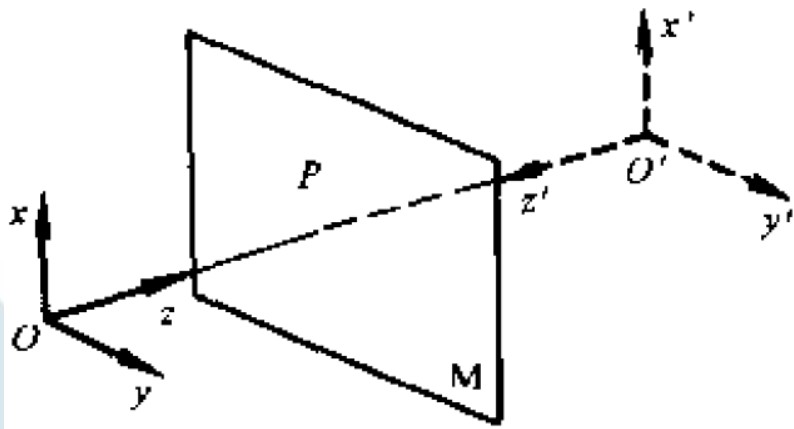
- 1) 正立、大小相等;
- 2) 像和物对称于平面镜;

4.2 平面镜的成像性质



2) 物、像的空间形状对应关系:

- 若物为右手坐标系，像变为左手坐标系（或反之）—— **非一致像**或“**镜像**”
- 物体经**奇数个**反射镜成像后成“非一致像”
- 物体经**偶数个**反射镜成像后，像与物相同，成“一致像”



像和物对称于平面镜

4.2 平面镜的成像性质

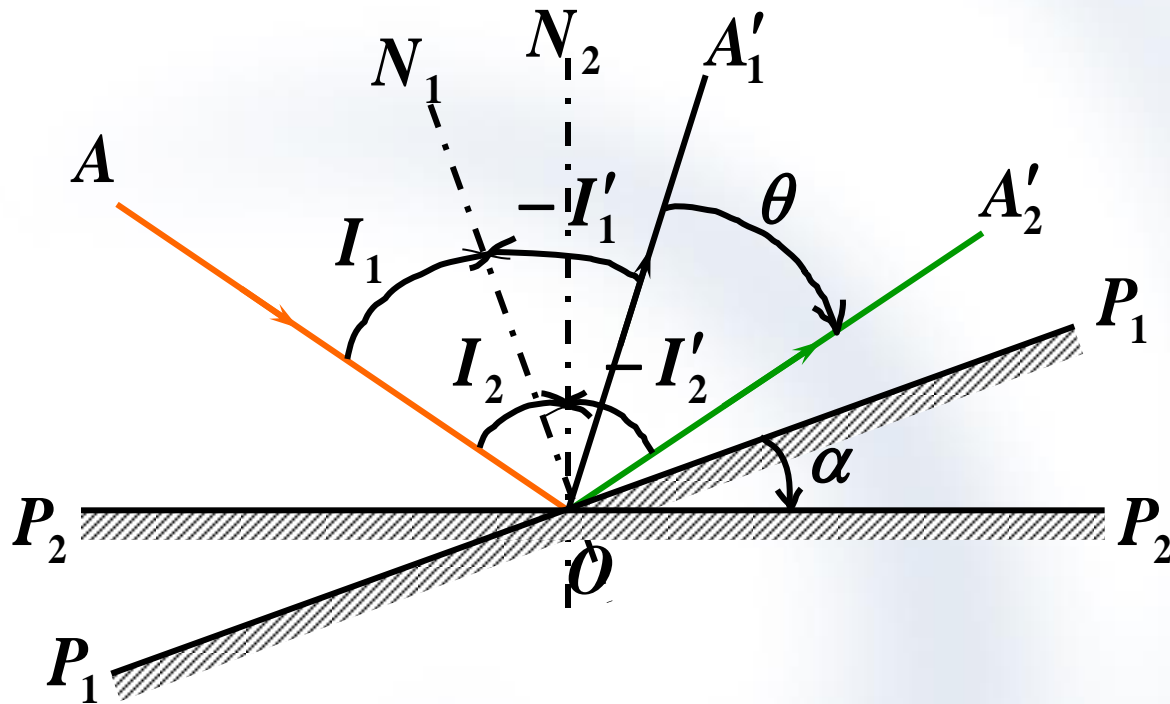


3) 平面镜成像特点:

- ①成完善像，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右手坐标系变成左手坐标系，成镜像
- ④奇次反射成镜像，偶次反射成一致像

平面反射镜系统与共轴球面系统组合后，可以改变共轴球面系统的方向，但不影响像的清晰度，不改变像的大小和形状

4.3 平面镜的旋转及其应用



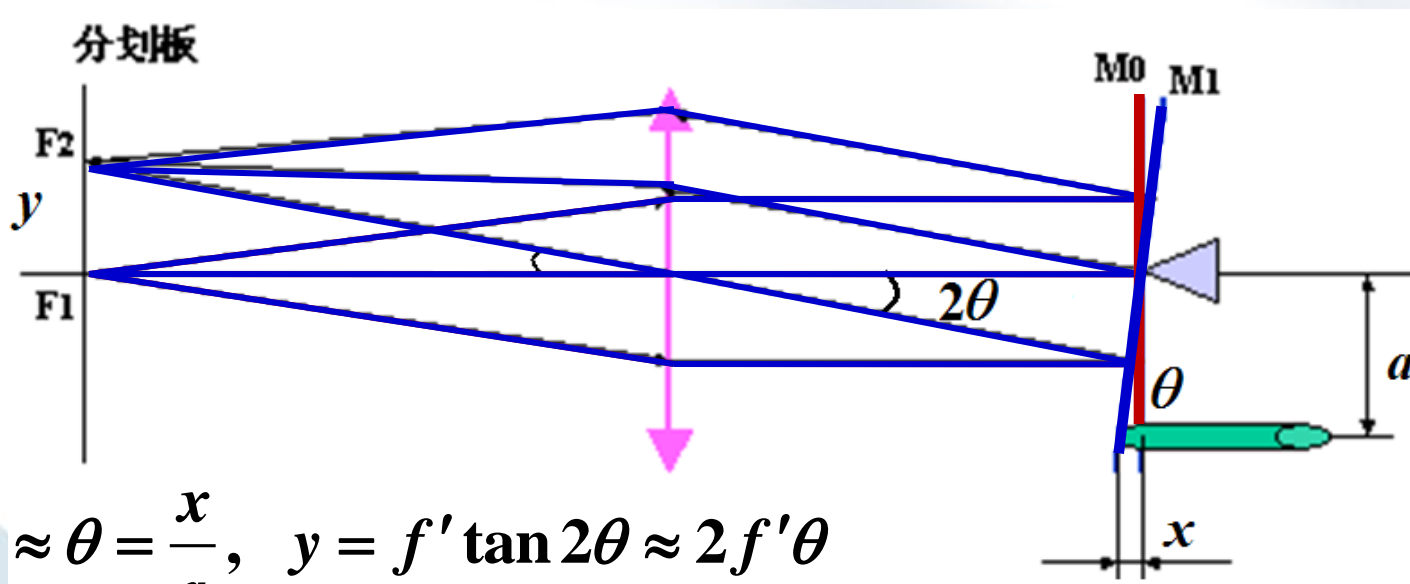
$$I_2 = I_1 + \alpha = -I_2' \Rightarrow \theta = 2(I_2 - I_1) = 2\alpha$$

4.3 平面镜的旋转及其应用



◆ 平面镜的旋转特性

- 若入射光线不动，平面镜偏转 α 角，反射光线转过 2α 角
- 该性质可用于测量物体的微小转角或位移



$$\tan \theta \approx \theta = \frac{x}{a}, \quad y = f' \tan 2\theta \approx 2f' \theta$$

$$\Rightarrow y = \frac{2f'}{a} x = Kx$$

K: 光学杠杆放大倍数，可做到上百，由分划板刻度间隔决定

4.3 平面镜的旋转及其应用



◆ 双面镜成像

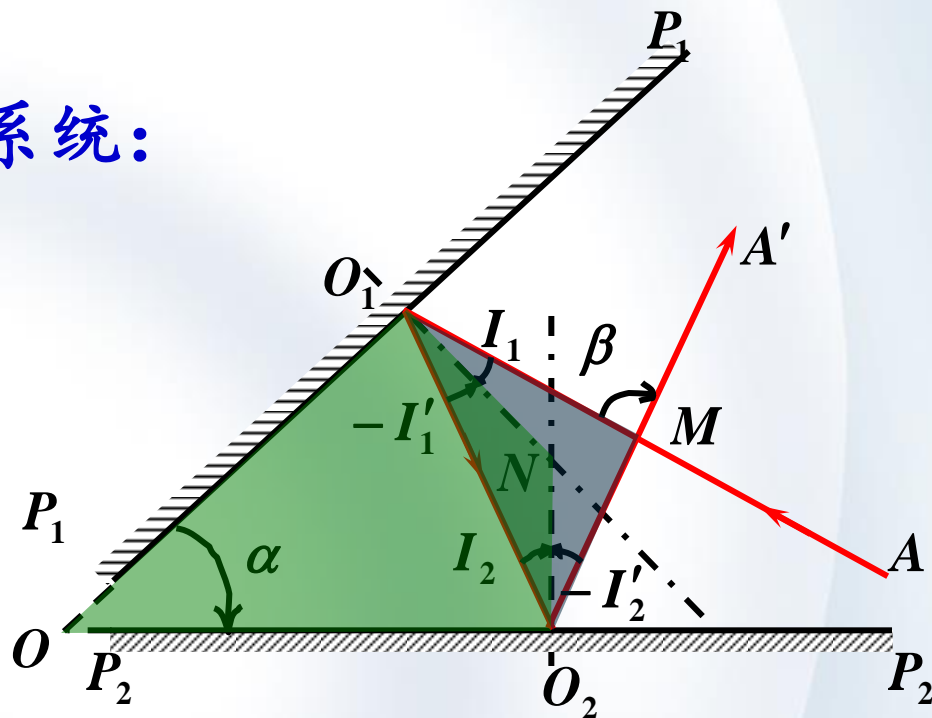
1) 夹角为 α 的双平面镜系统:

$$\beta = 2I_1 + 2I_2$$

$$\alpha = I_1 + I_2$$

$$\boxed{\beta = 2\alpha}$$

➤ 当两面镜夹角为 α 时,
出射光线和入射光线的夹角为 2α



β : 出射光线相对入射
光线转过的角度

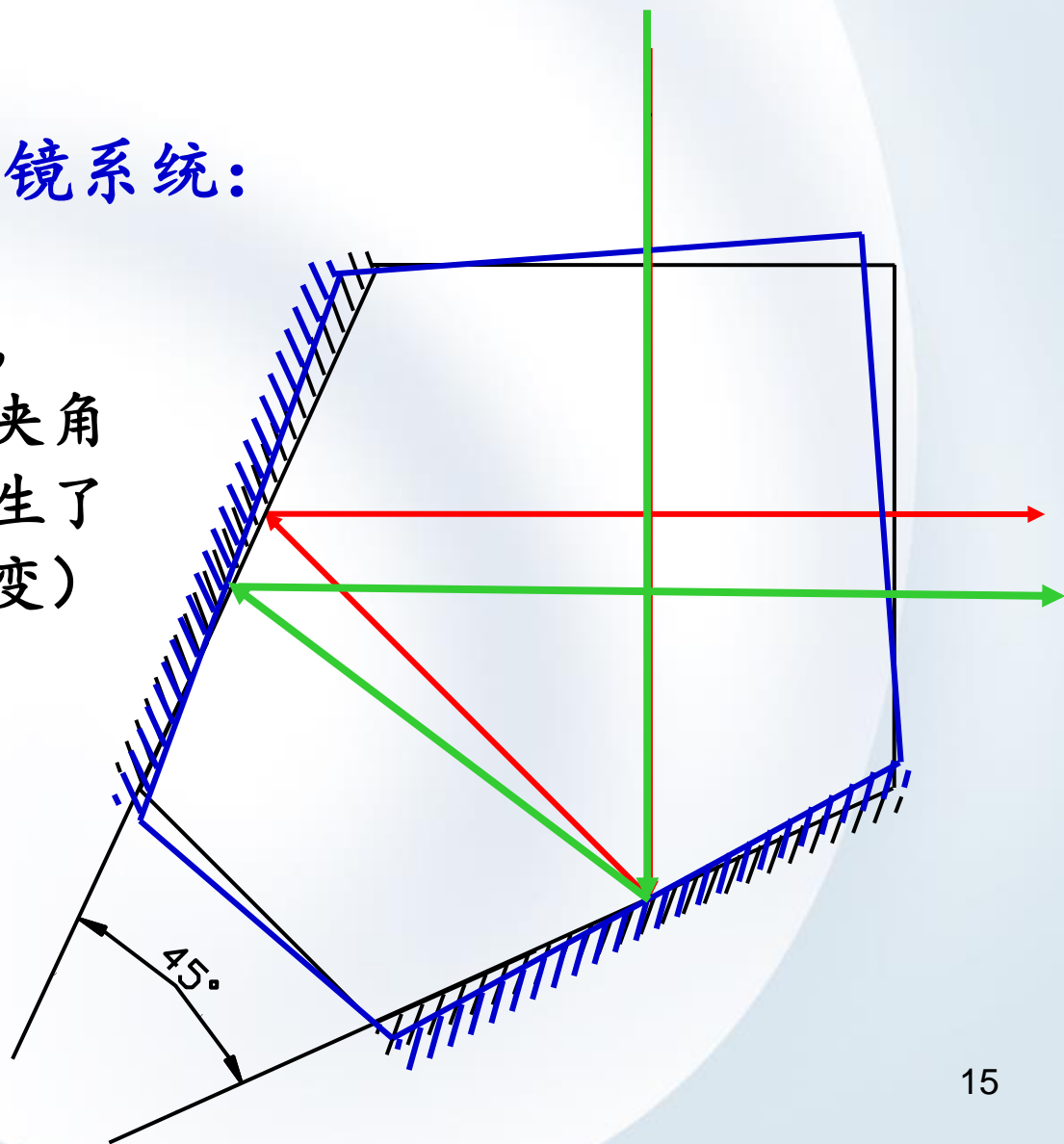
4.3 平面镜的旋转及其应用



◆ 双面镜成像

1) 夹角为 α 的双平面镜系统:

当两平面镜一起转动时，
出射光线与入射光线的夹角
不变，只是光线位置发生了
平移（入射光线方向不变）



4.3 平面镜的旋转及其应用

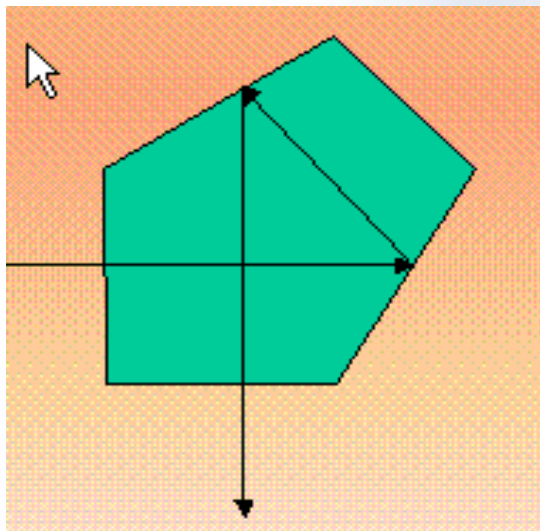


◆ 双面镜成像

1) 夹角为 α 的双平面镜系统:

➤ 若两平面镜相对移动 α 角，出射光线方向改变 2α 。所以在运输过程中可能造成夹角变化，故往往将二者做成相对不变——**反射棱镜**

➤ 应用： 转折光路



五角棱镜

4.4 棱镜的类型



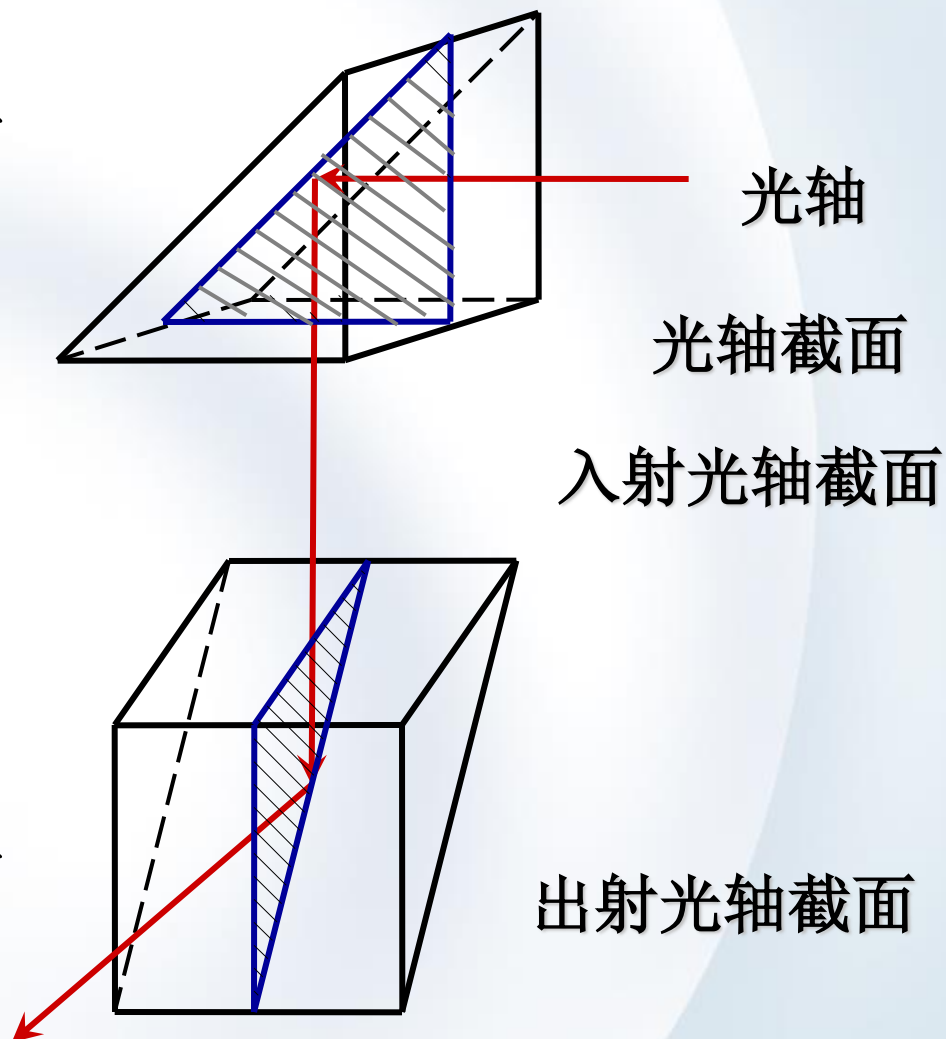
反射棱镜：有一个或多个平面反射表面磨制在同一块玻璃上形成的光学元件

➤ **工作面：**反射或折射表面

➤ **棱：**工作面之间的交线

➤ **主截面：**与各个棱垂直的平面；

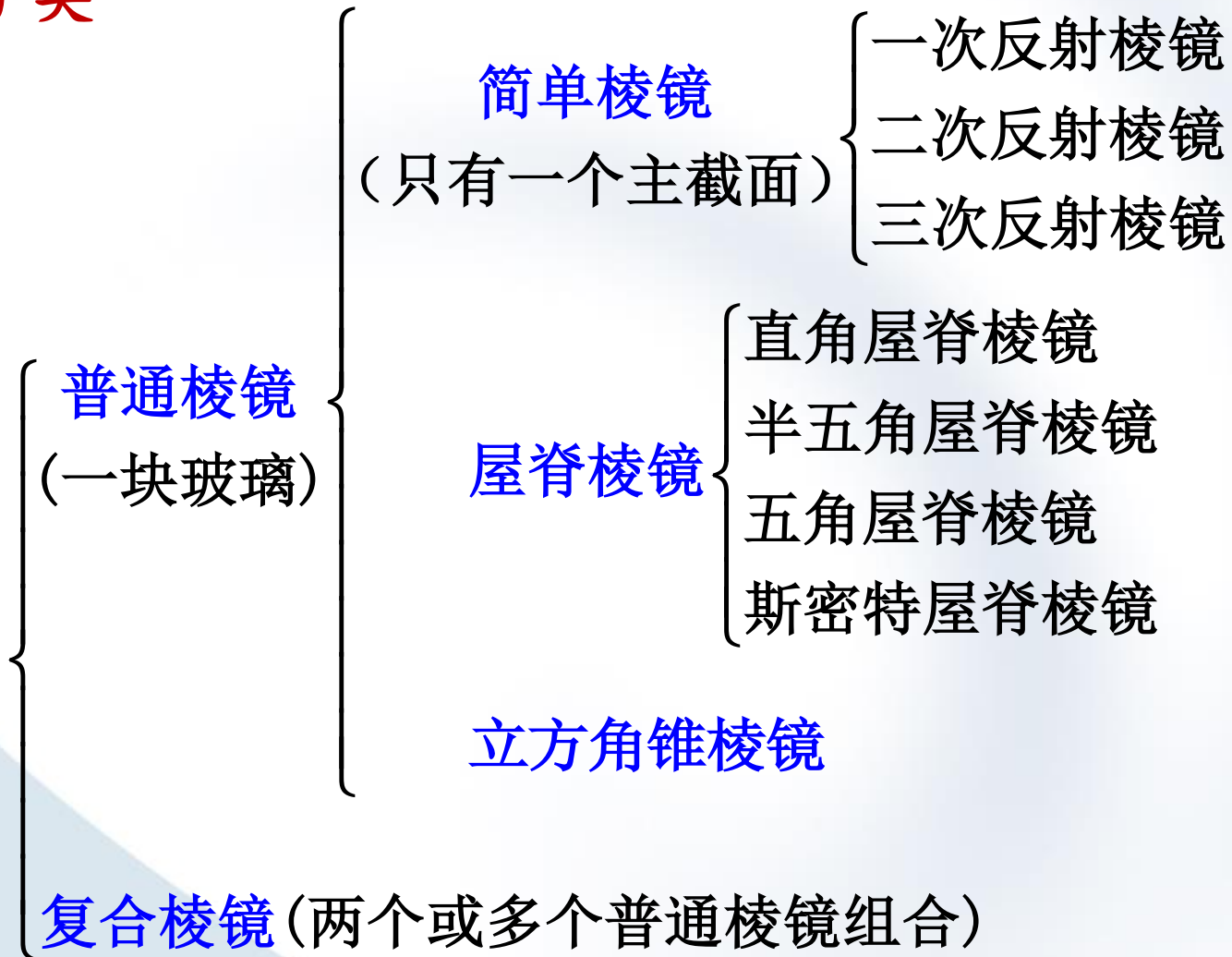
在光路中，取主截面与光轴重合，又称为**光轴截面**



4.4 棱镜的类型



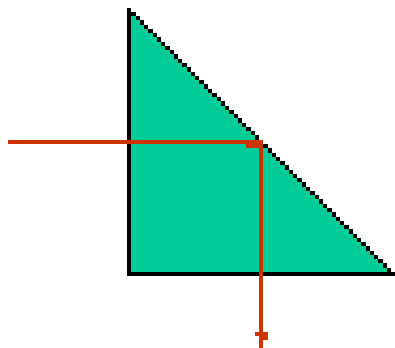
◆ 分类



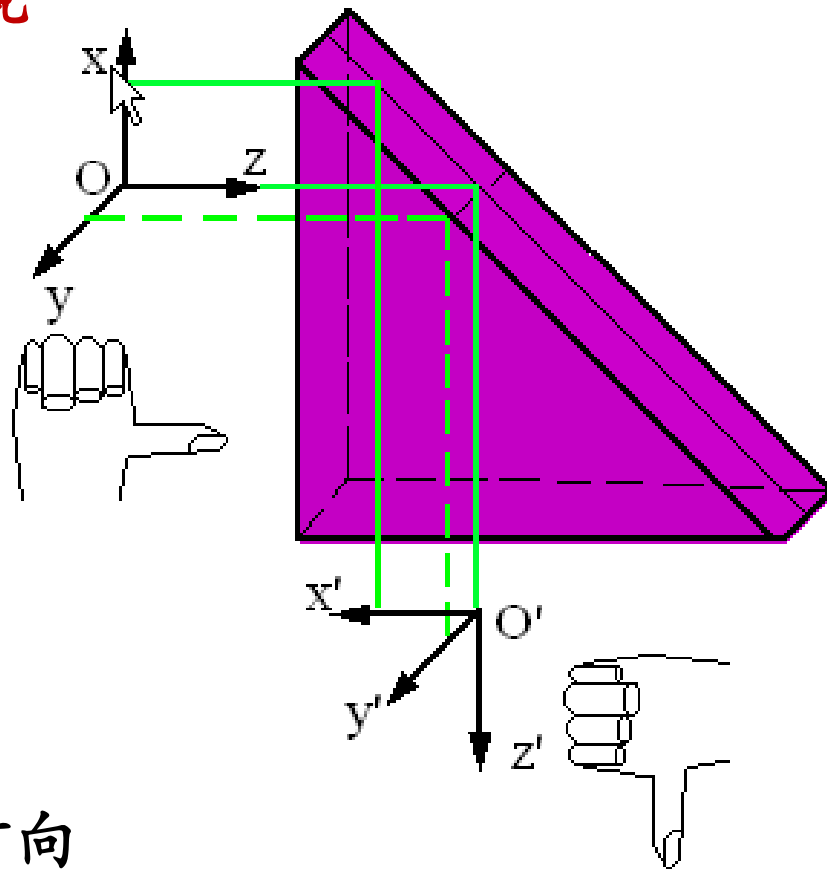
4.4 棱镜的类型



◆ 简单棱镜：1) 一次反射棱镜



等腰直角棱镜：相当于一个平面镜。一次反射成镜像，光轴转 90 度



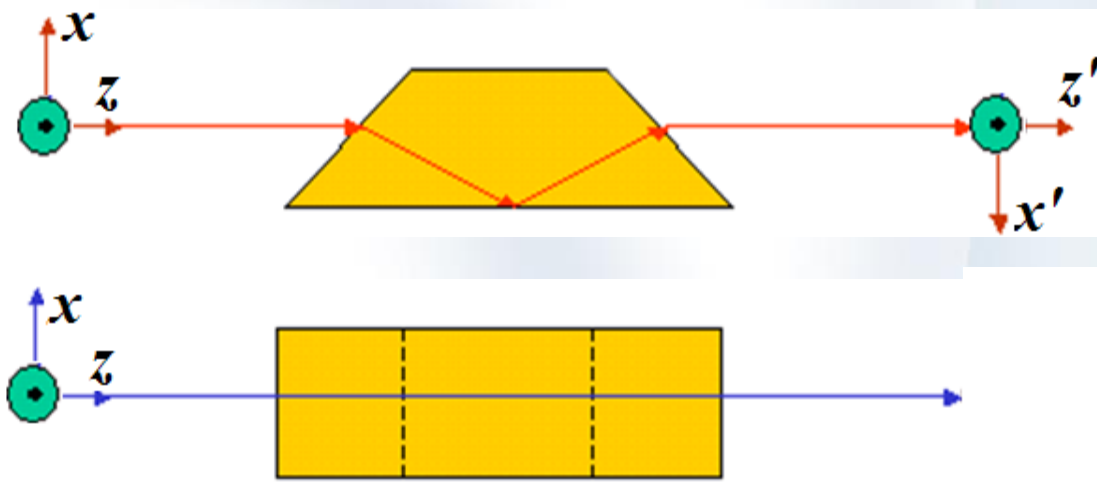
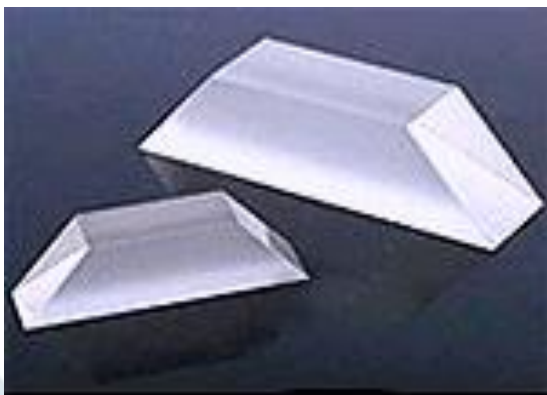
- 垂直于主截面的坐标 oy 不改变方向
- 在主截面内的坐标 ox 、 oz ，方向按光线的反射定律确定
- 光轴 z 转折 90°

4.4 棱镜的类型



◆ 简单棱镜：1) 一次反射棱镜

道威 (Dove) 棱镜：光轴与斜面平行的直角棱镜

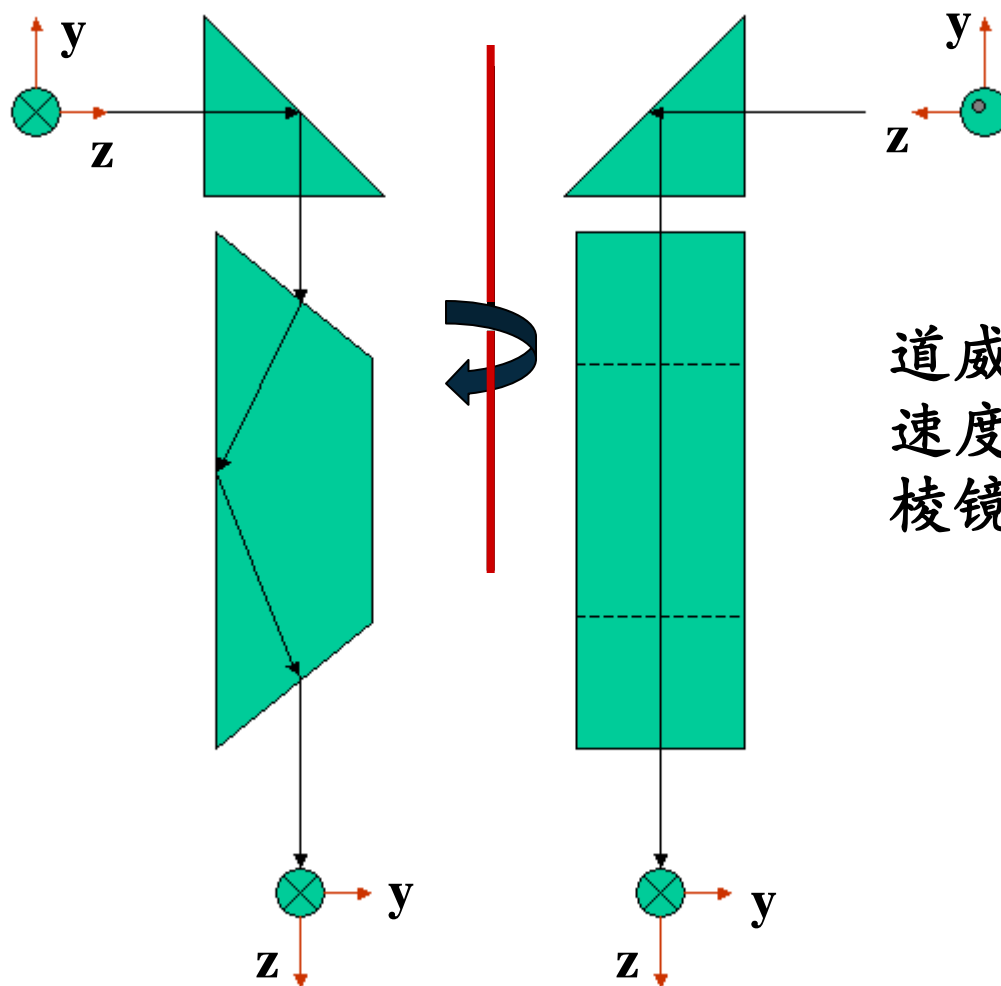


对物成镜像，光轴方向不变

棱镜绕光轴转 α ，像相对于棱镜旋转前的像转 2α



➤ 周视瞄准镜：由等腰直角棱镜和道威棱镜组成



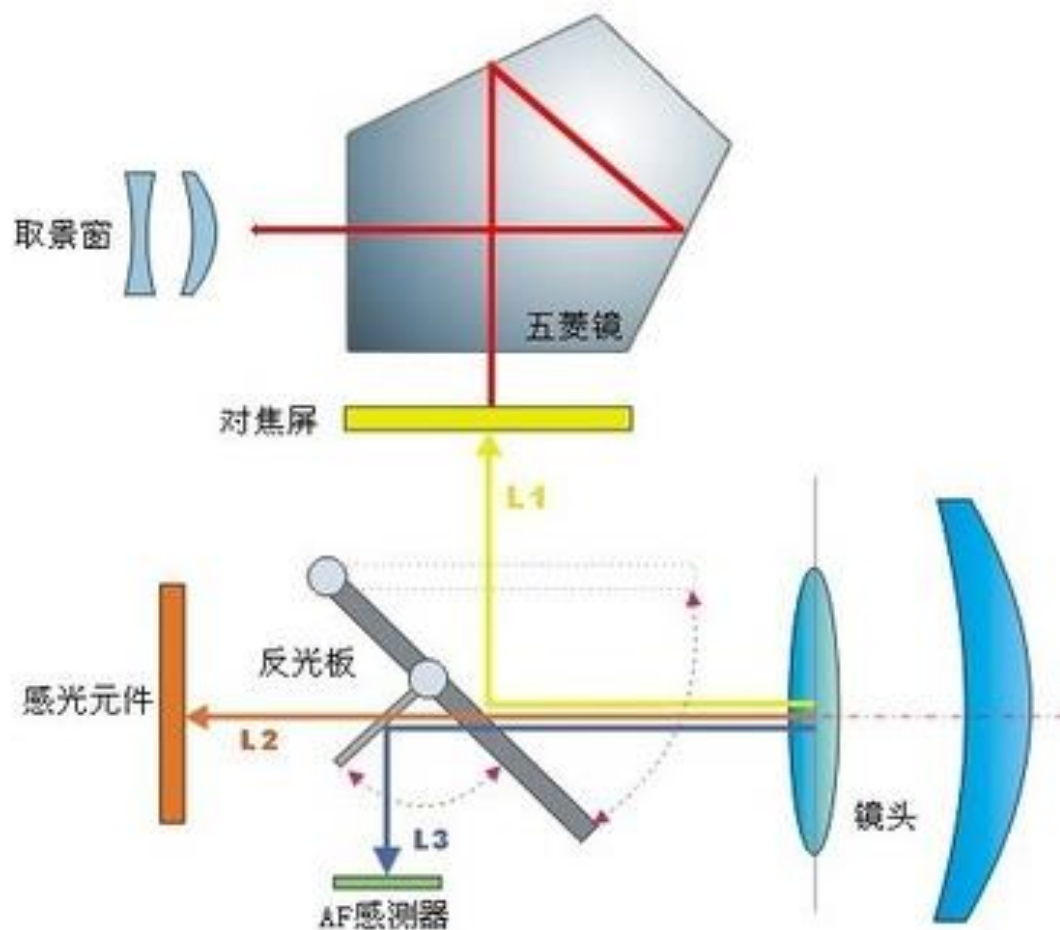
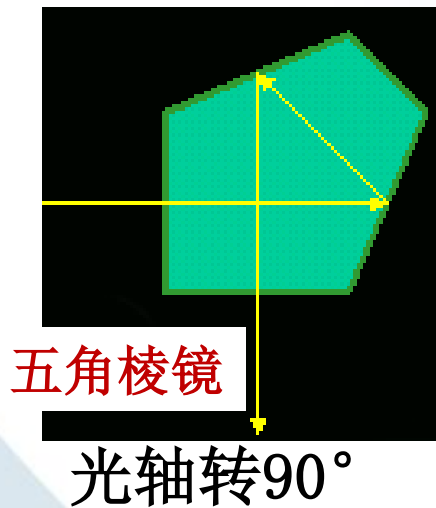
道威棱镜旋转角
速度为等腰直角
棱镜的一半

4.4 棱镜的类型



◆ 简单棱镜： 2) 二次反射棱镜

(相当于双平面镜系统，转折光轴、不产生镜像)

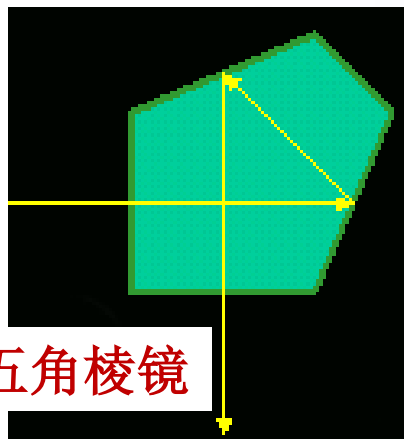


4.4 棱镜的类型

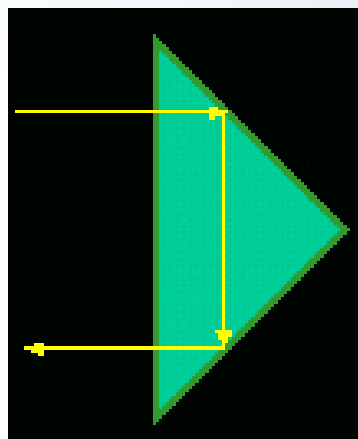


◆ 简单棱镜： 2) 二次反射棱镜

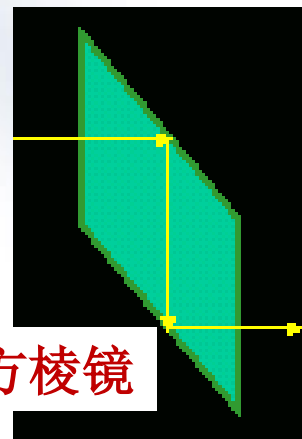
(相当于双平面镜系统，转折光轴、不产生镜像)



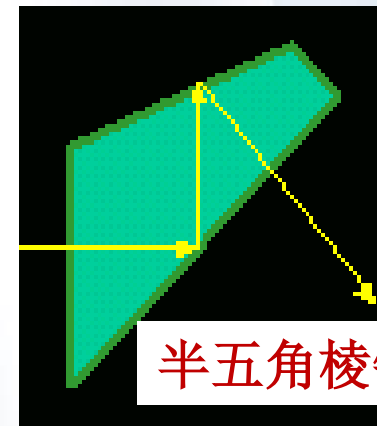
光轴转 90°



光轴转 180°

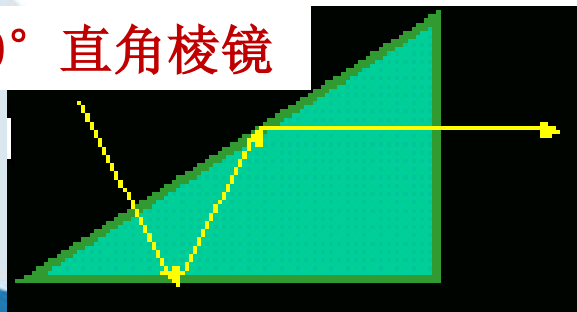


光轴平移



光轴转 45°

30° 直角棱镜



光轴转 60°

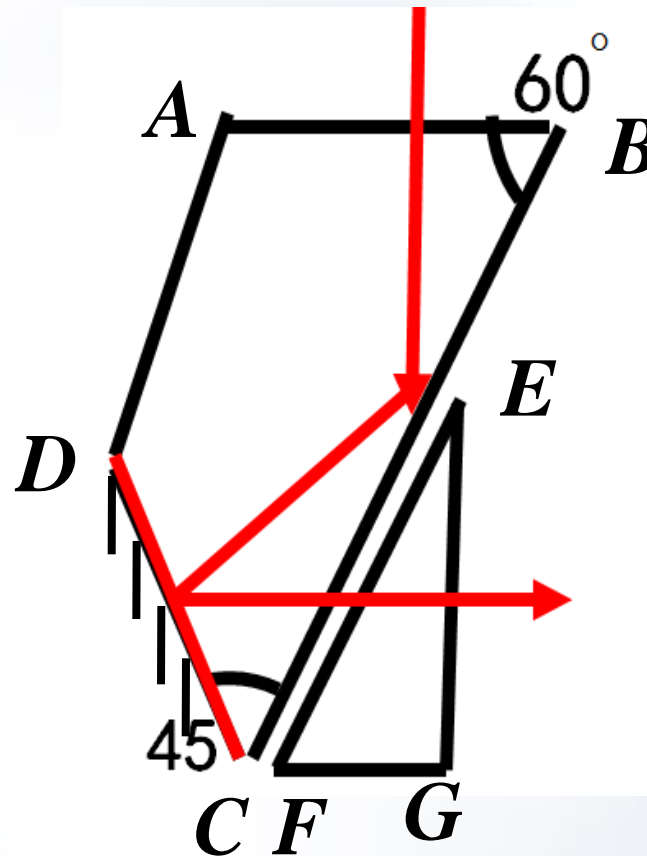
光轴转过的角度由什么决定？

两反射面夹角的2倍

4.4 棱镜的类型



◆ 简单棱镜： 2) 二次反射棱镜 —— 靴形棱镜



BC全反射

BC与**EF**之间 空气隙

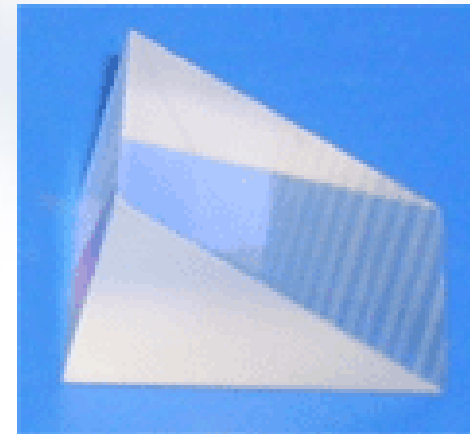
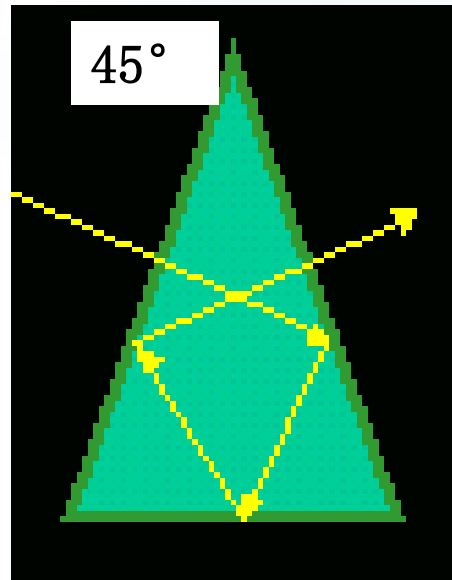
CD镀膜

EFG补偿棱镜

4.4 棱镜的类型



◆ 简单棱镜： 3) 三次反射棱镜 —— 施密特棱镜



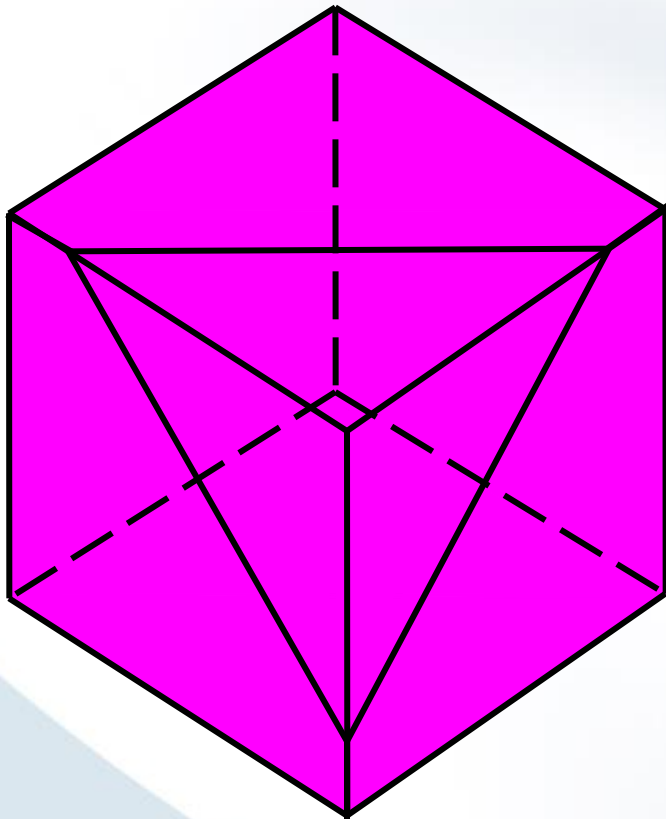
- 成镜像，光轴转 45°
- 光线在棱镜中的路径较长，缩小筒长，使仪器结构紧凑
- 底面要镀膜

4.4 棱镜的类型



◆ 立方角锥棱镜

由立方体切下一角形成，底面是等腰三角形；

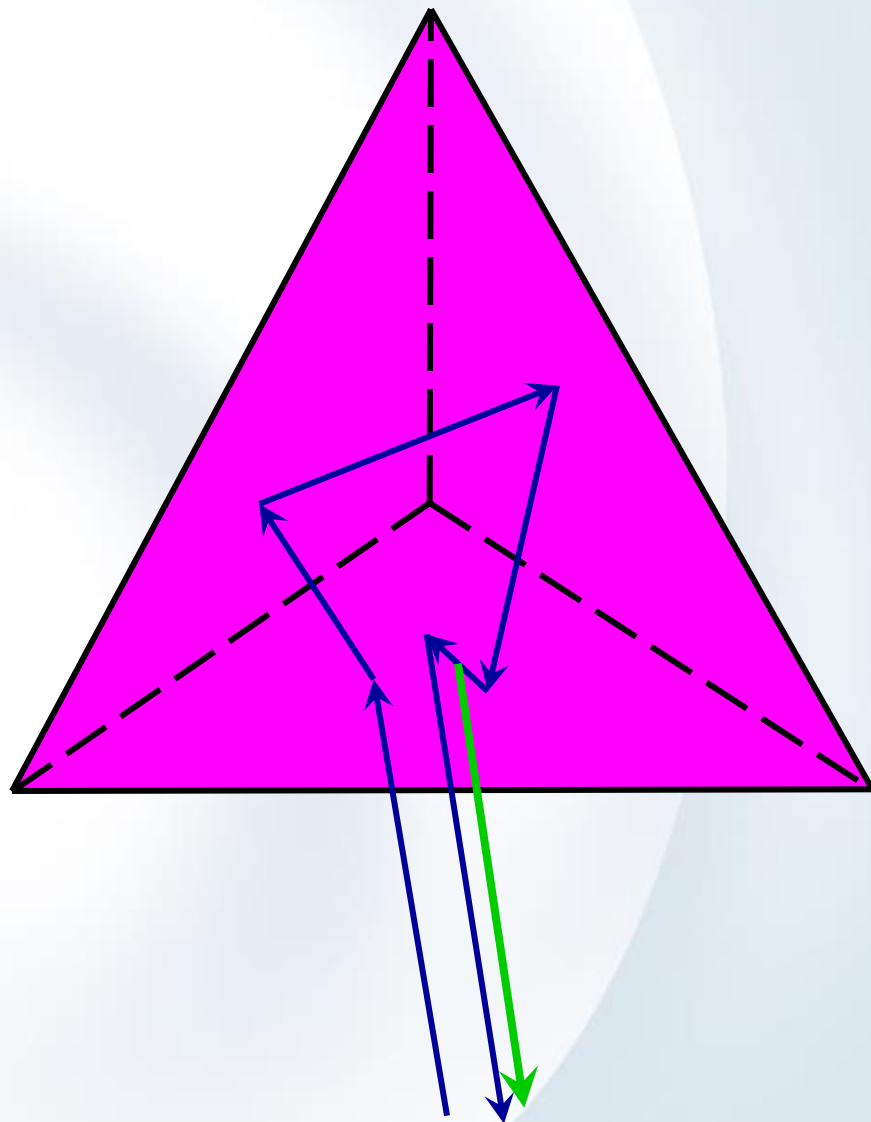


4.4 棱镜的类型



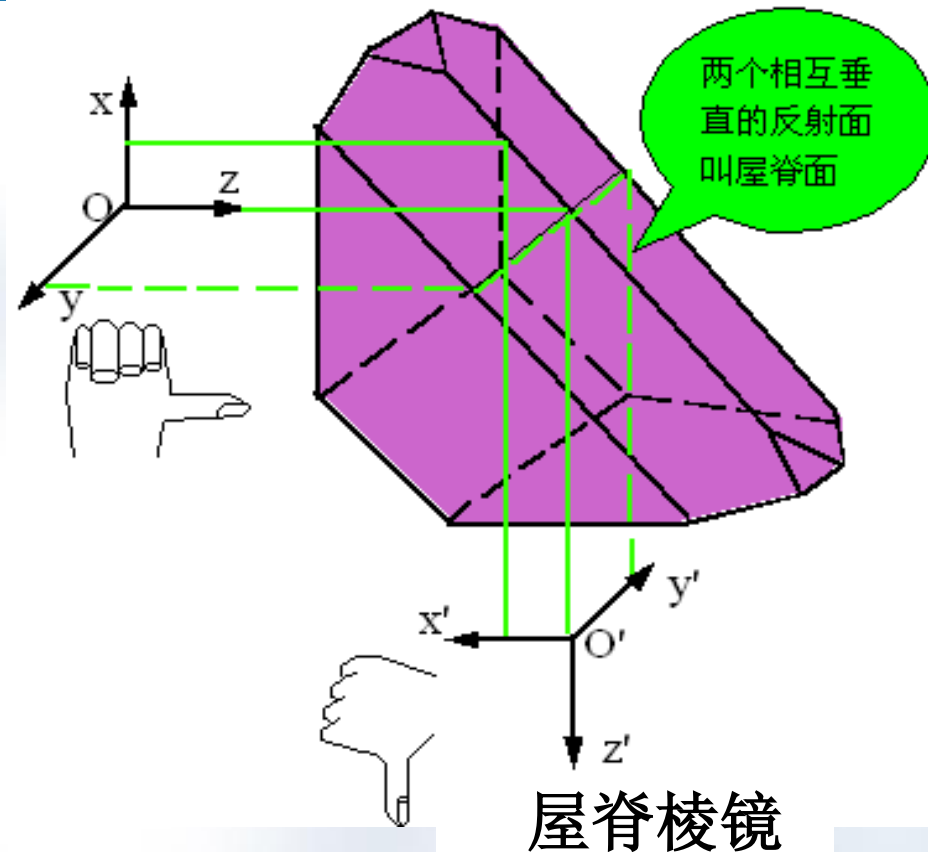
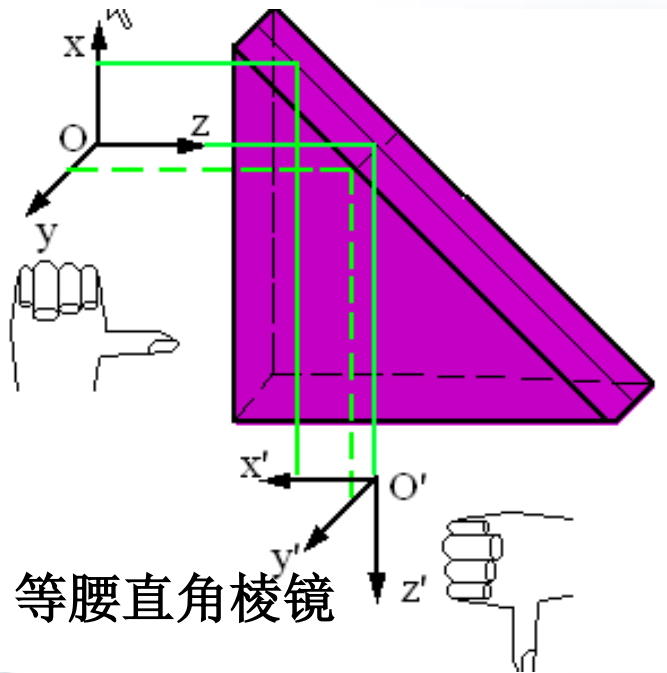
◆ 立方角锥棱镜

- 三个反射工作面相互垂直，底面是一等腰三角形，为棱镜的入射面和出射面。
- 当光线以任意方向从底面入射，经过三个直角面依次反射后，出射光线始终平行于入射光线
- 当角锥棱镜绕其顶点旋转时，出射方向不变仅产生一个平移



4.4 棱镜的类型

◆ 屋脊棱镜



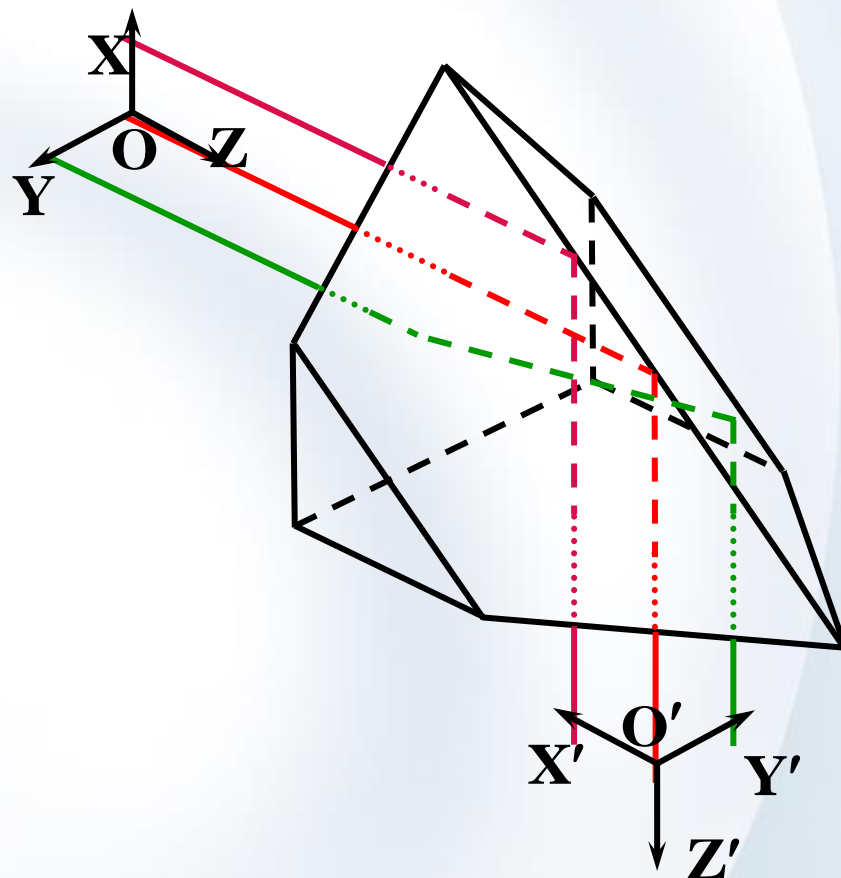
当反射次数为奇数时成镜像，为获得一致像，又不再增加反射面，就用两个相互垂直的反射面代替其中一个反射面，称为屋脊面，其交线平行于原反射面，且在主截面内

4.4 棱镜的类型



◆ 屋脊棱镜

- **作用：**
使与屋脊垂直的坐标单独
改变一次方向，相当于增
加一次反射

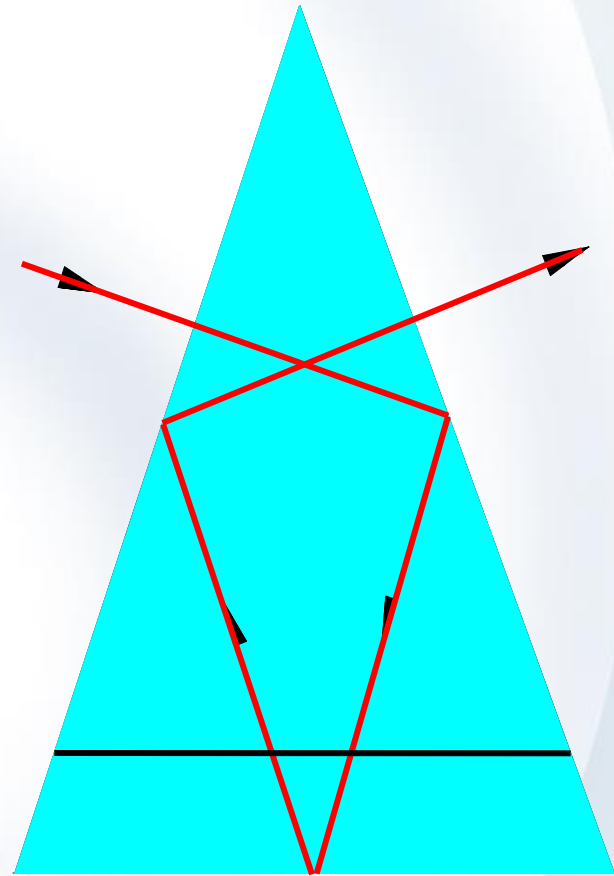
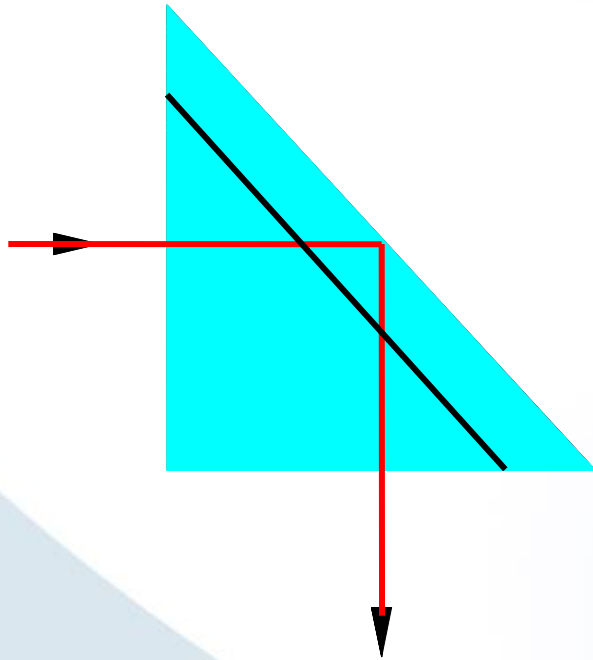


4.4 棱镜的类型



◆ 屋脊棱镜

屋脊棱镜的平面表示方法

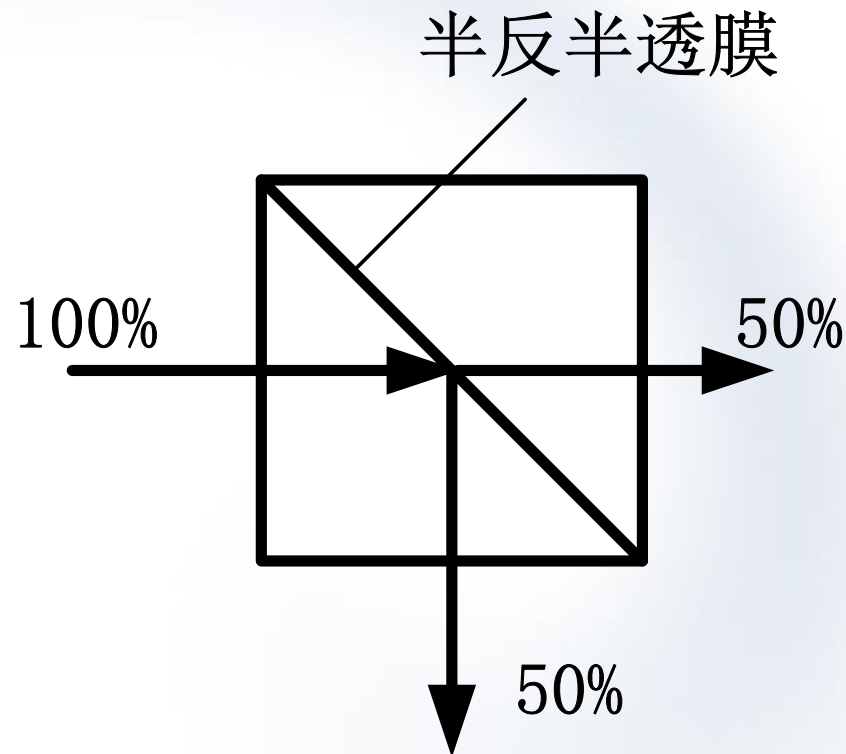


4.4 棱镜的类型



◆ 复合棱镜

1) 分光棱镜

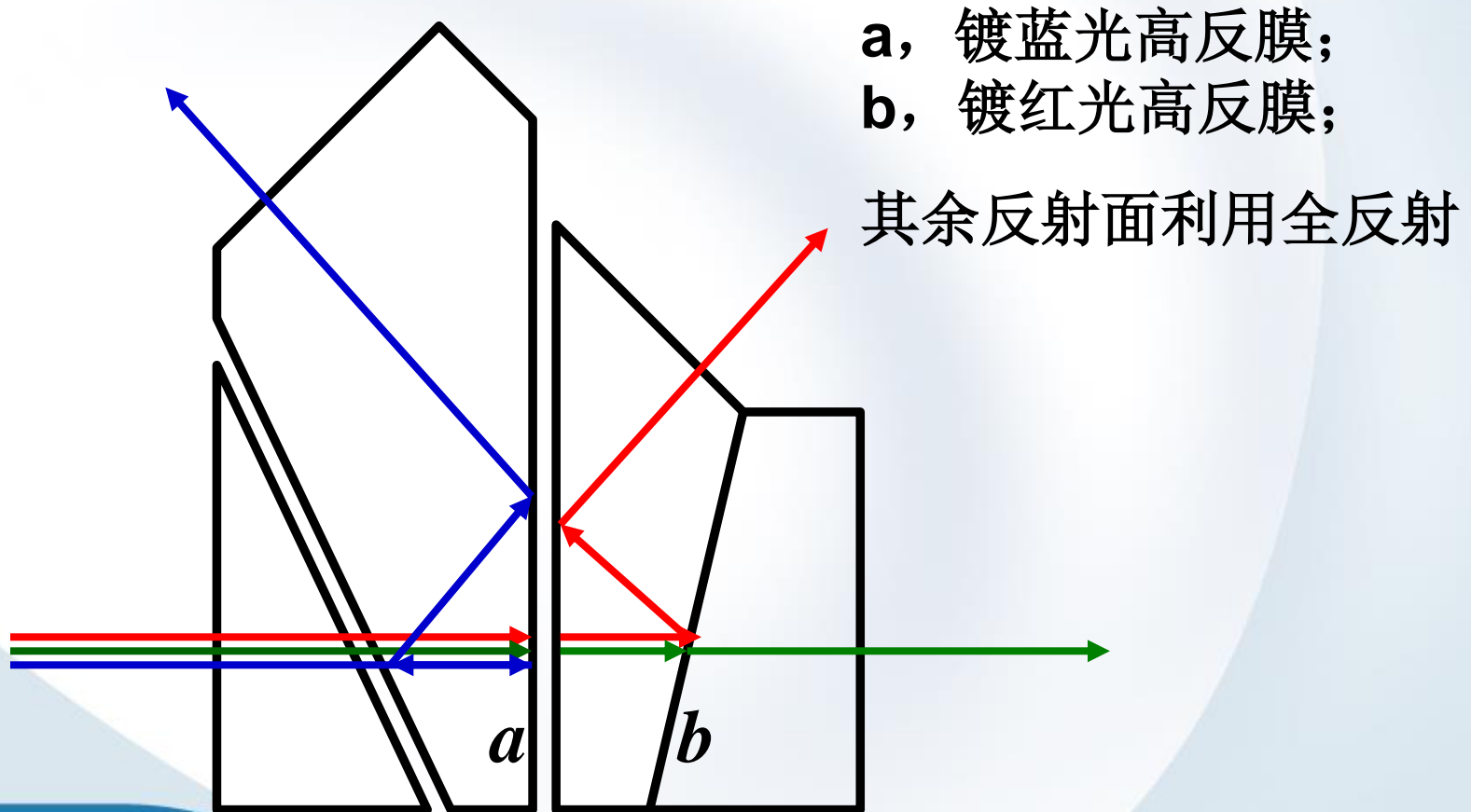


4.4 棱镜的类型



◆ 复合棱镜

2) 分色棱镜



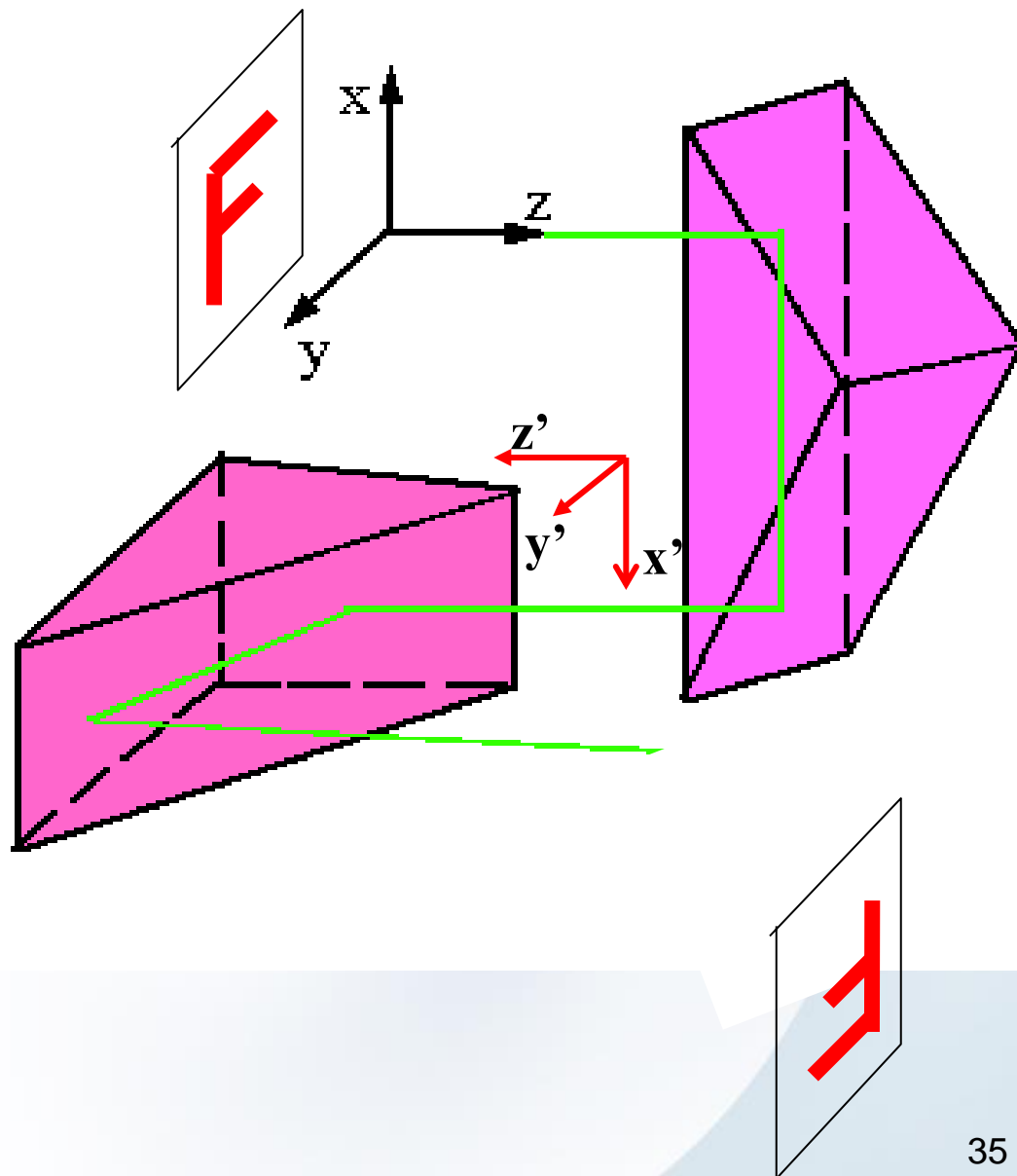
4.4 棱镜的类型



◆ 复合棱镜

3) 转向棱镜

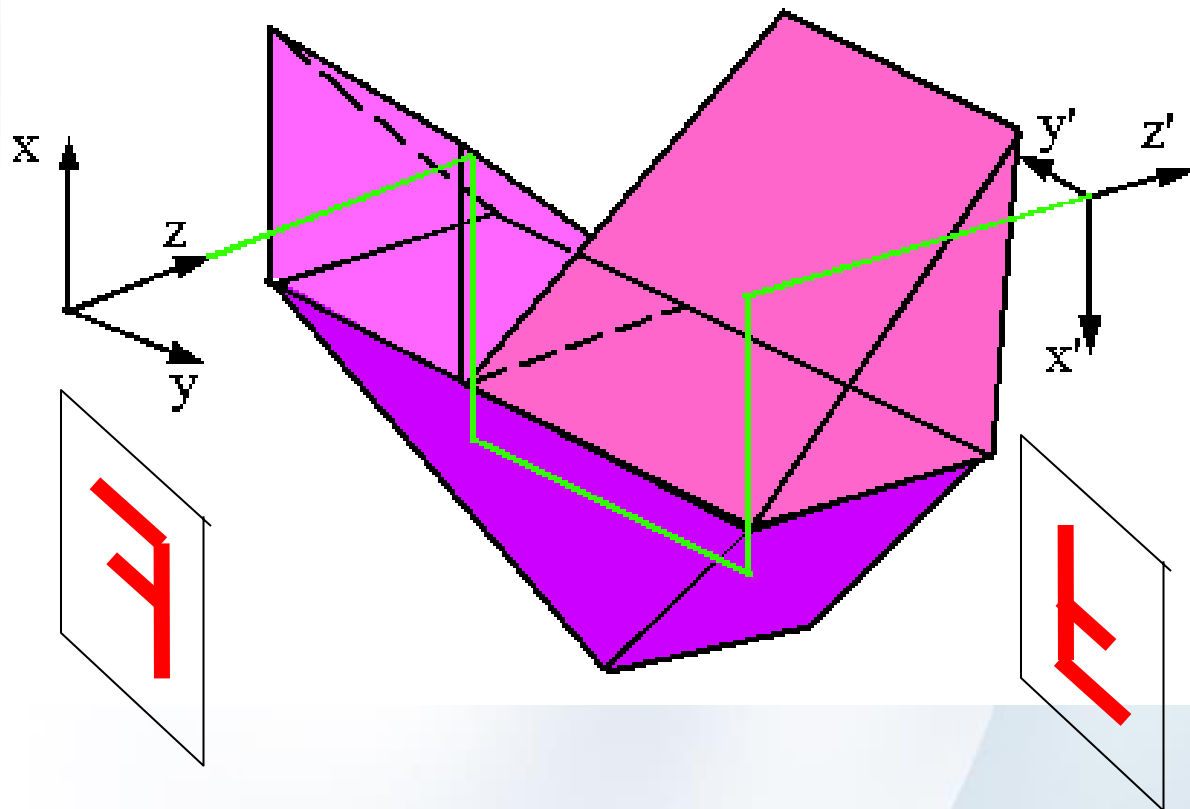
普罗I型转像棱镜



◆ 复合棱镜

3) 转向棱镜

普罗II型转像棱镜

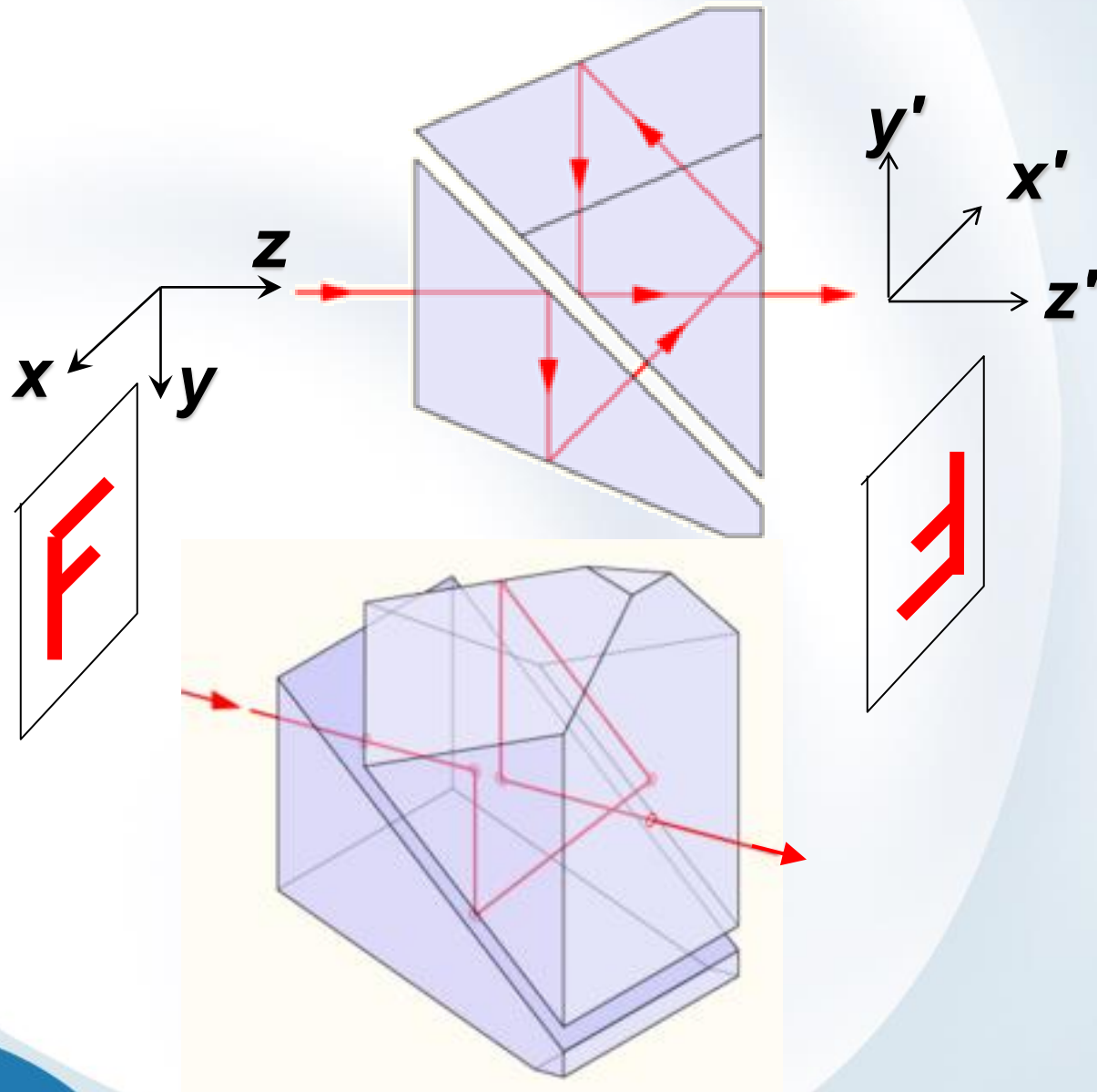


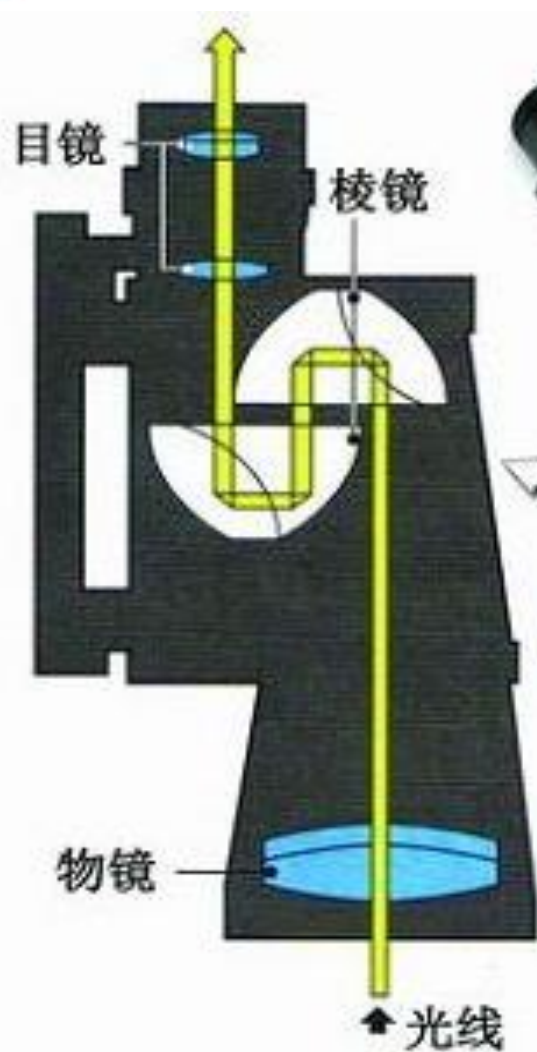


◆ 复合棱镜

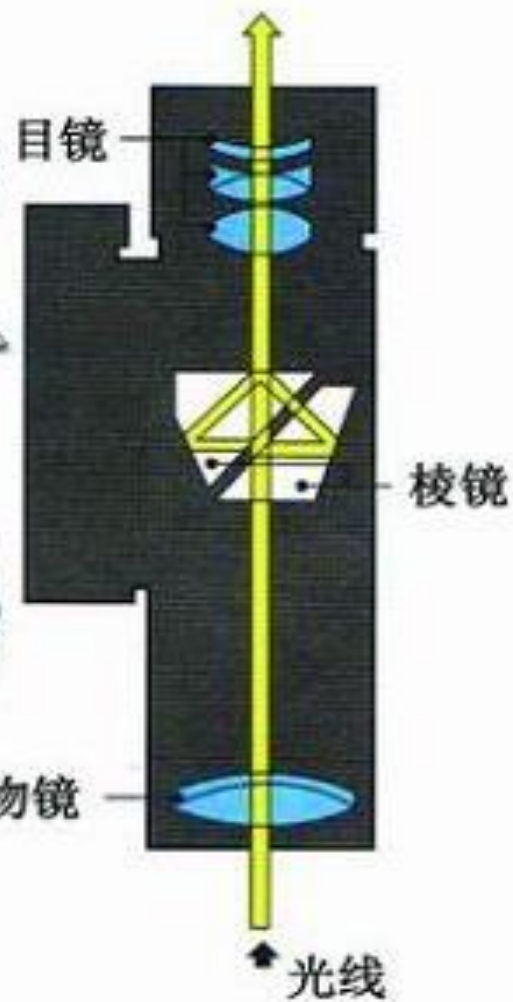
3) 转向棱镜

别汉棱镜





普罗棱镜 (Porro Prism)



屋脊棱镜 (Roof Prism)

4.5 确定平面镜棱镜系统成像方向的方法



1) 具有单一主截面的棱镜的成像方向判断:

➤ 设物的坐标为 $oxyz$,为右手坐标系, oz 光轴方向, ox 在主截面内的方向, oy 垂直于主截面的方向

① $o'z'$ 光轴方向按反射定律定出

② 垂直于主截面的 $o'y'$ 视屋脊面个数而定:

没有或偶数个屋脊面, 则同向; 奇数个, 反向

③ 主截面内 $o'x'$ 视反射系统的反射次数而定, 奇数次反射成镜像, 偶数次反射物象一致, 一个屋脊为两次反射。

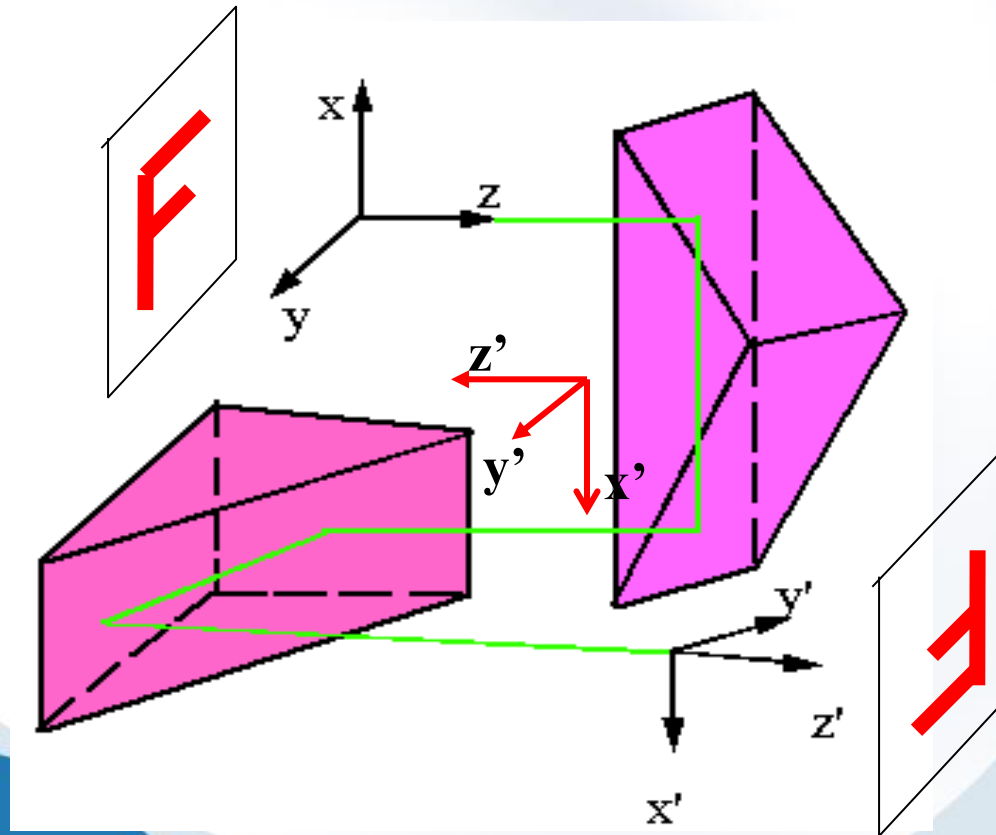
具体定时, 先将光轴方向定出, 然后按是镜像还是相似像按左右手定出

4.5 确定平面镜棱镜系统成像方向的方法

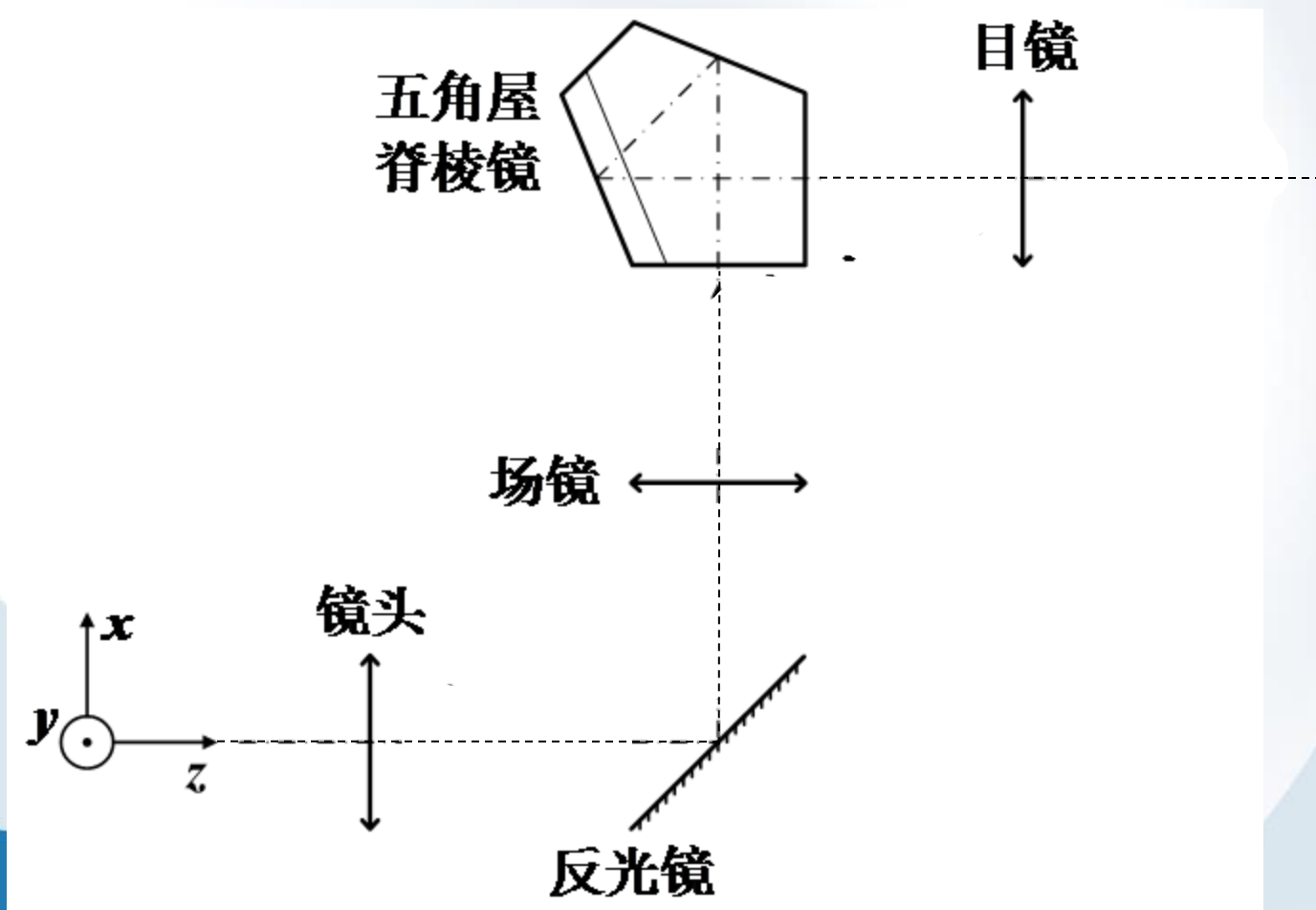


2) 具有两相互垂直的主截面的棱镜系统，成像方向判断：

- 按单一主截面的系统的方法依次判断
- **！注意：**第二个光学元件的主截面方向

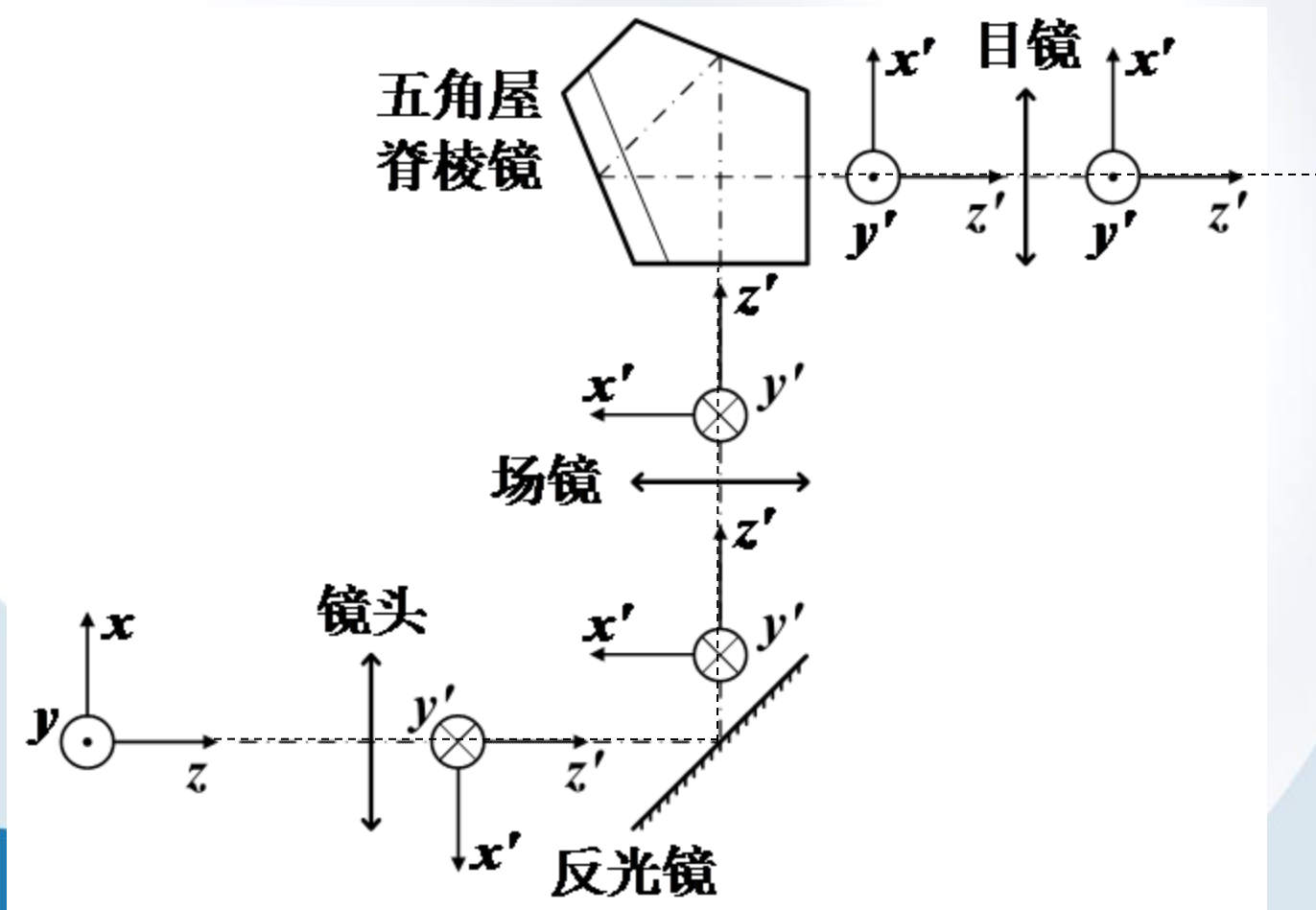


- ◆ 判断下面单反相机取景时候的转像情况。设输入为右手坐标系 xyz ，画出相应的输出坐标系





- ◆ 判断下面单反相机取景时候的转像情况。设输入为右手坐标系 xyz ，画出相应的输出坐标系

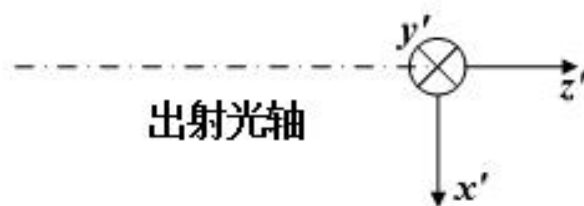
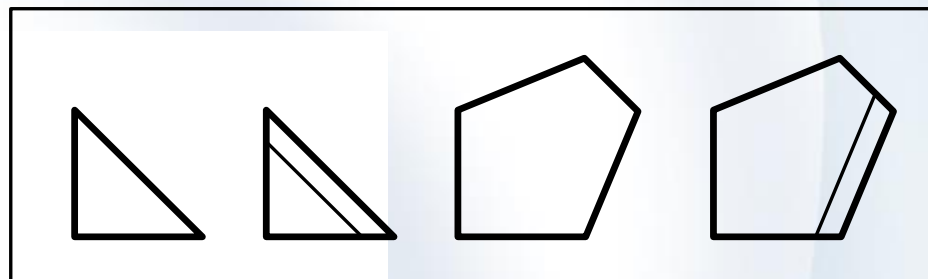
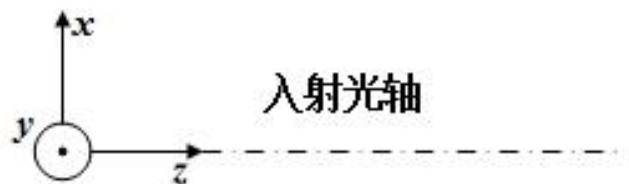


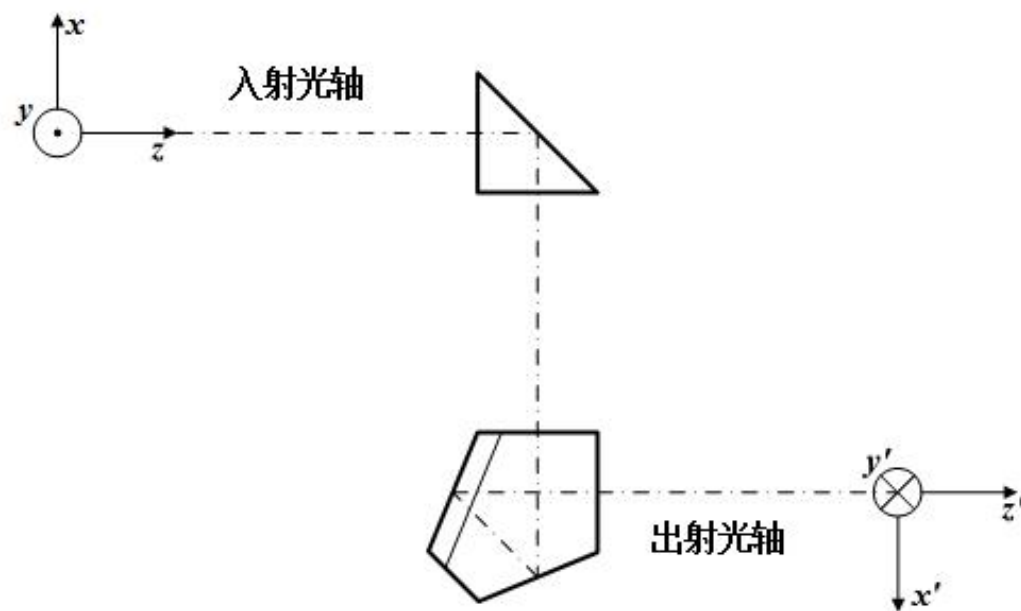
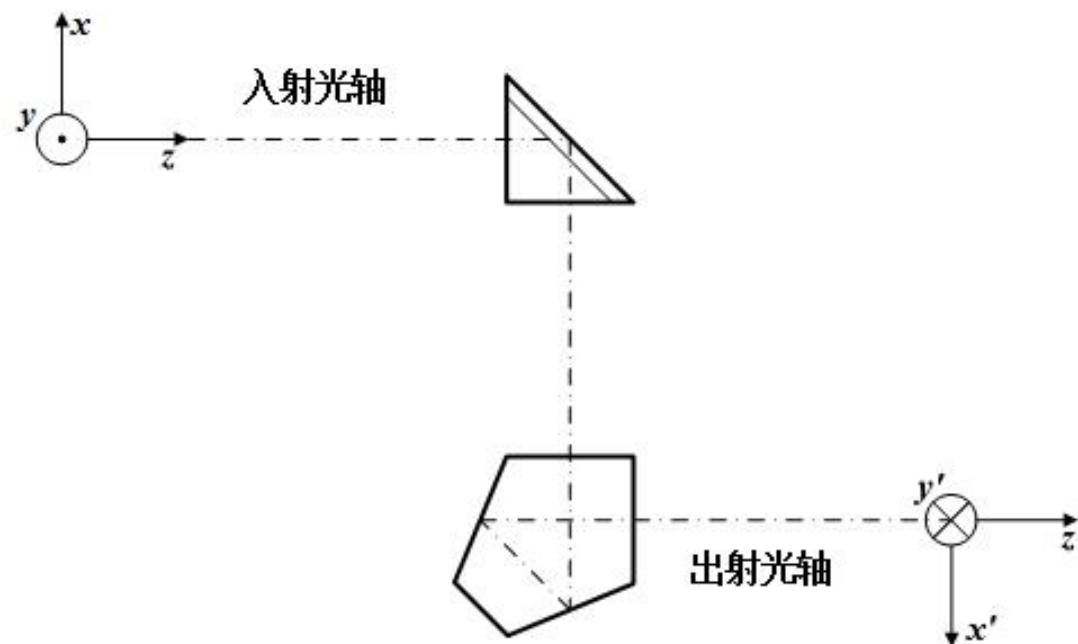
练习：

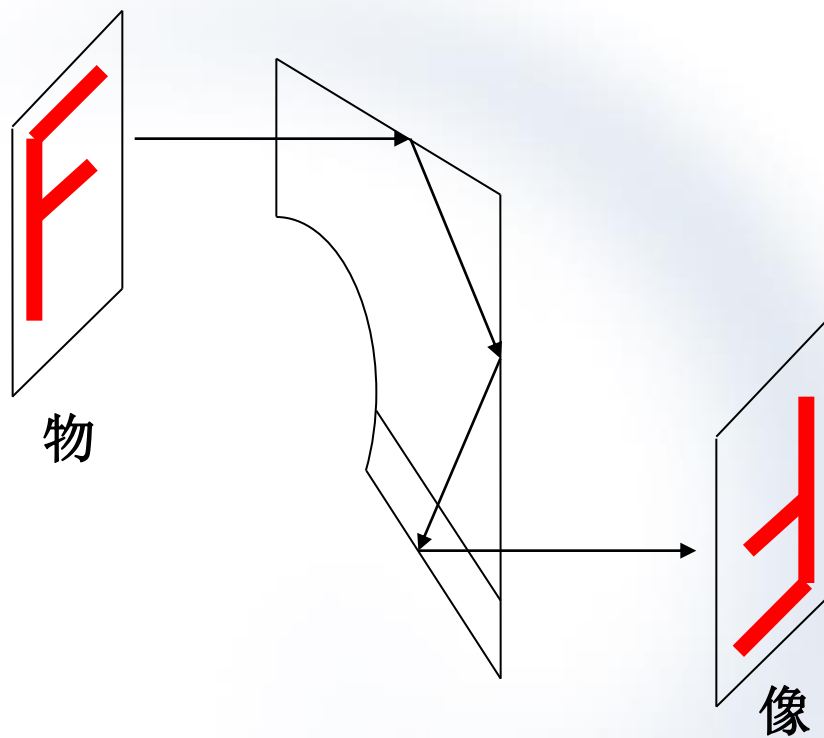


◆ 在一次反射直角棱镜、一次反射直角屋脊棱镜、五角棱镜、五角屋脊棱镜中任意选择若干个元件组成一个同时满足下列两项要求的棱镜系统：
(5分)

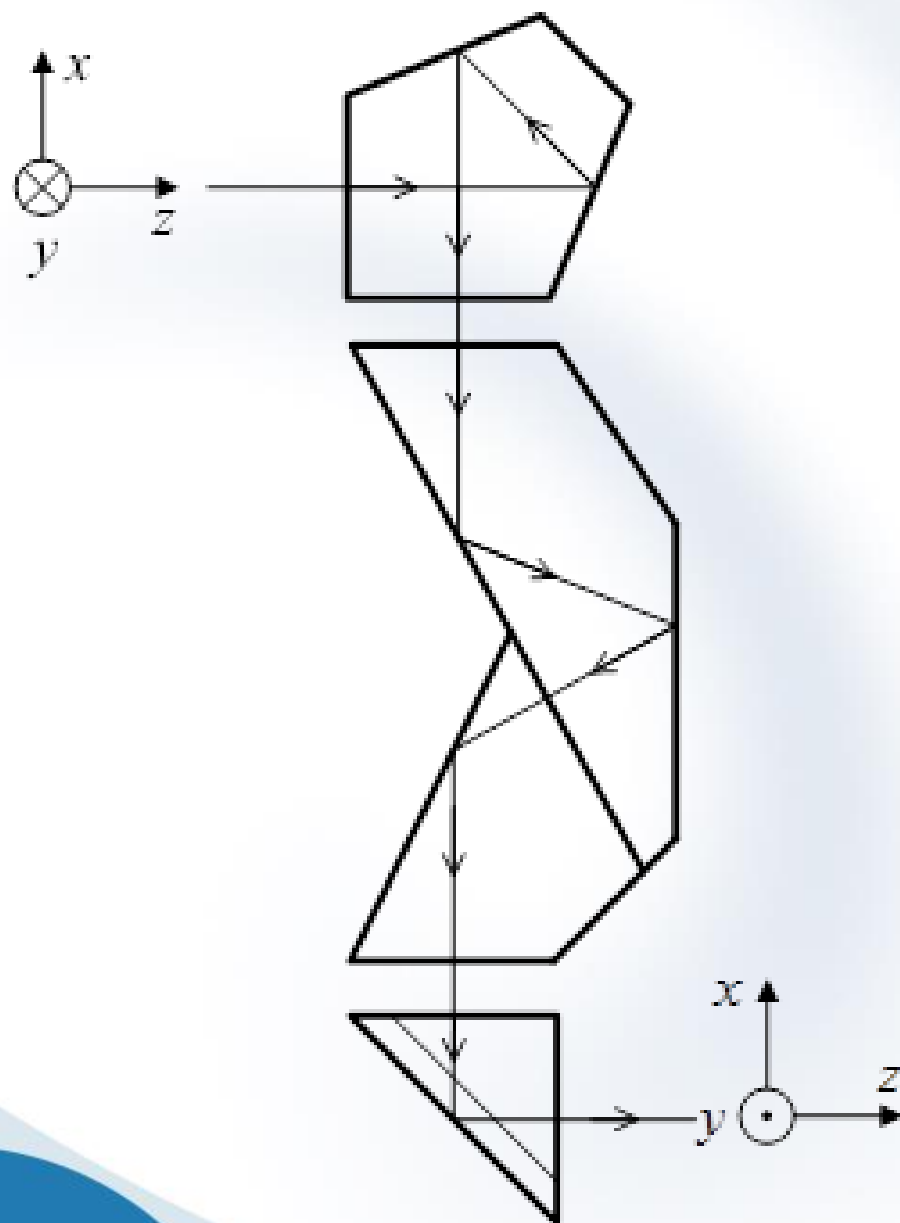
- 1) 出射光轴和入射光轴平行、同向，在垂直光轴方向上相隔一段距离；
- 2) 相对于物坐标系，像坐标系上下、左右都颠倒。





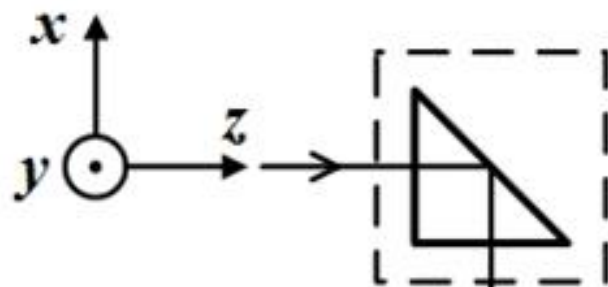


练习：





物坐标系



物镜

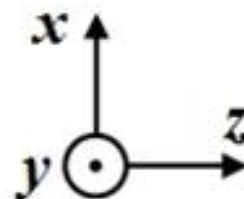


靴形棱镜

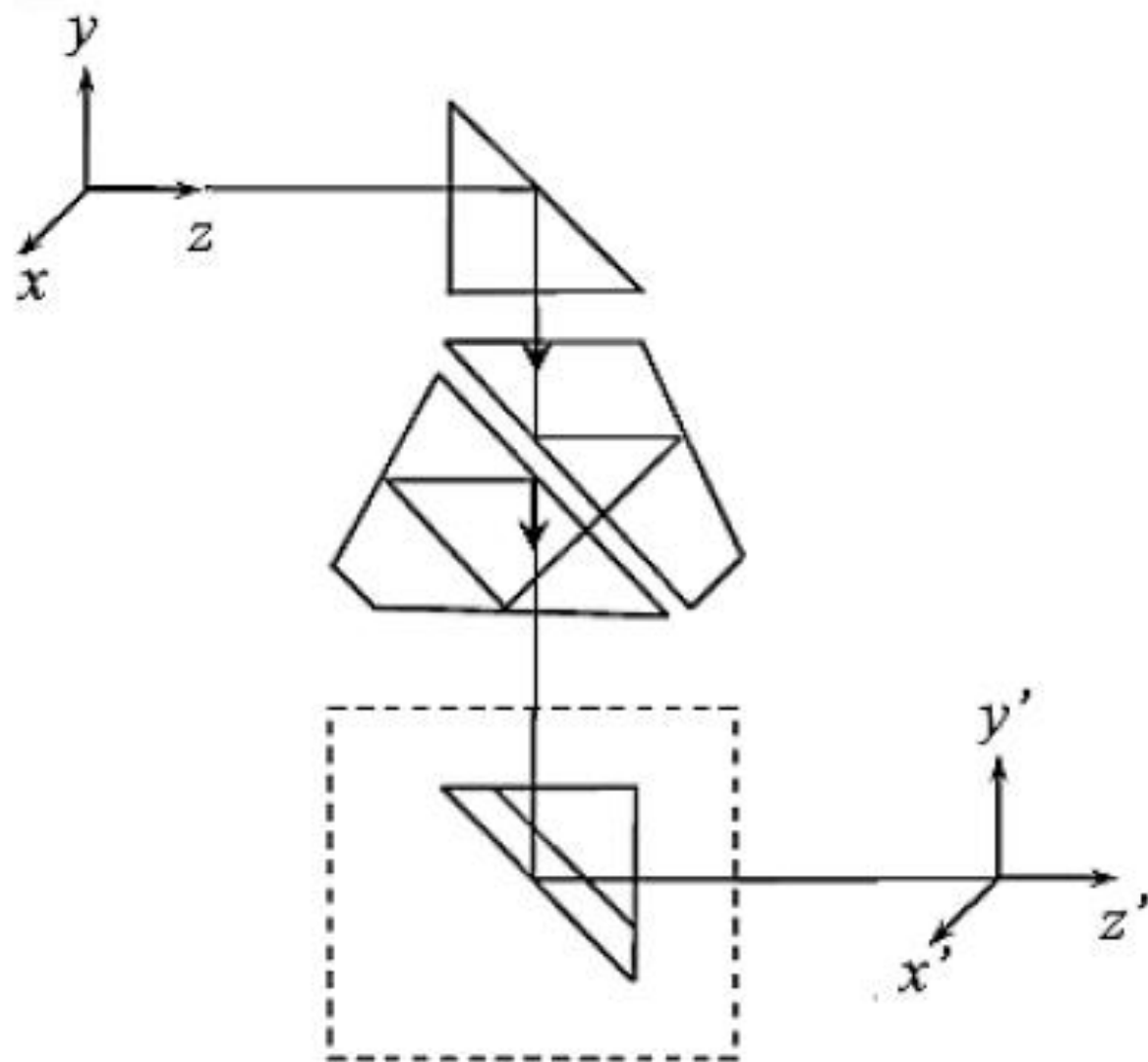
分划板



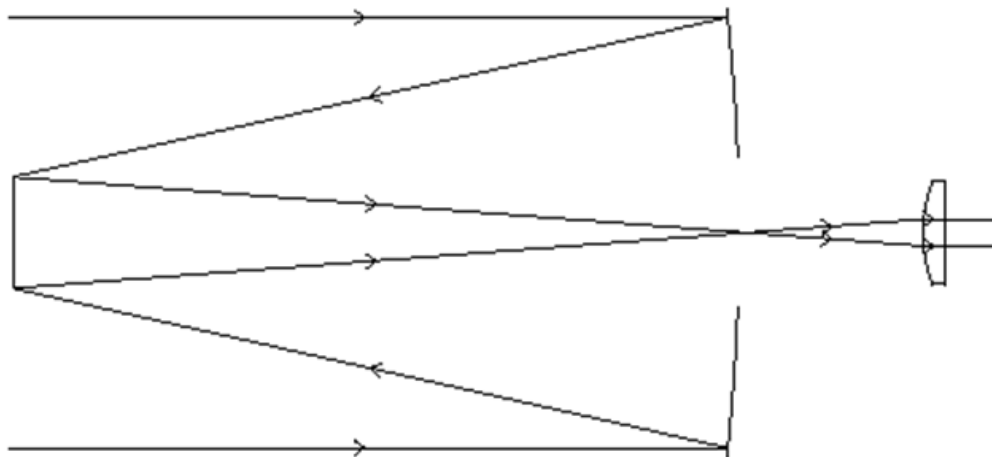
目镜



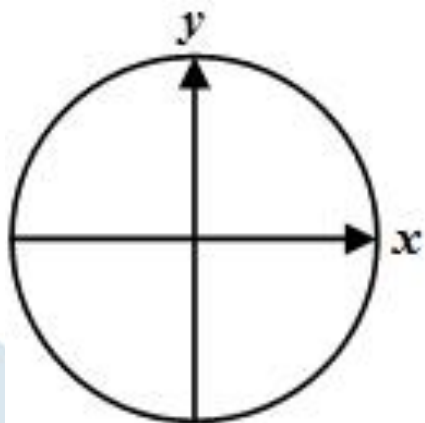
像坐标系



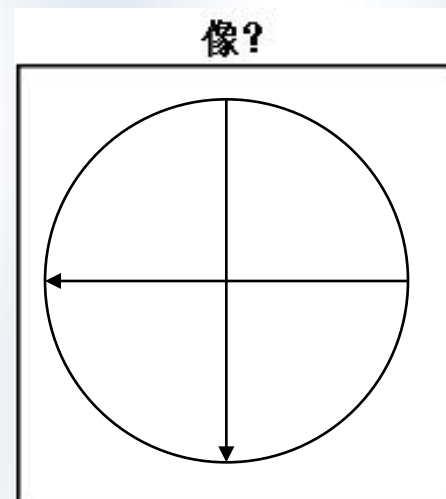
练习：



卡塞格林望远镜系统



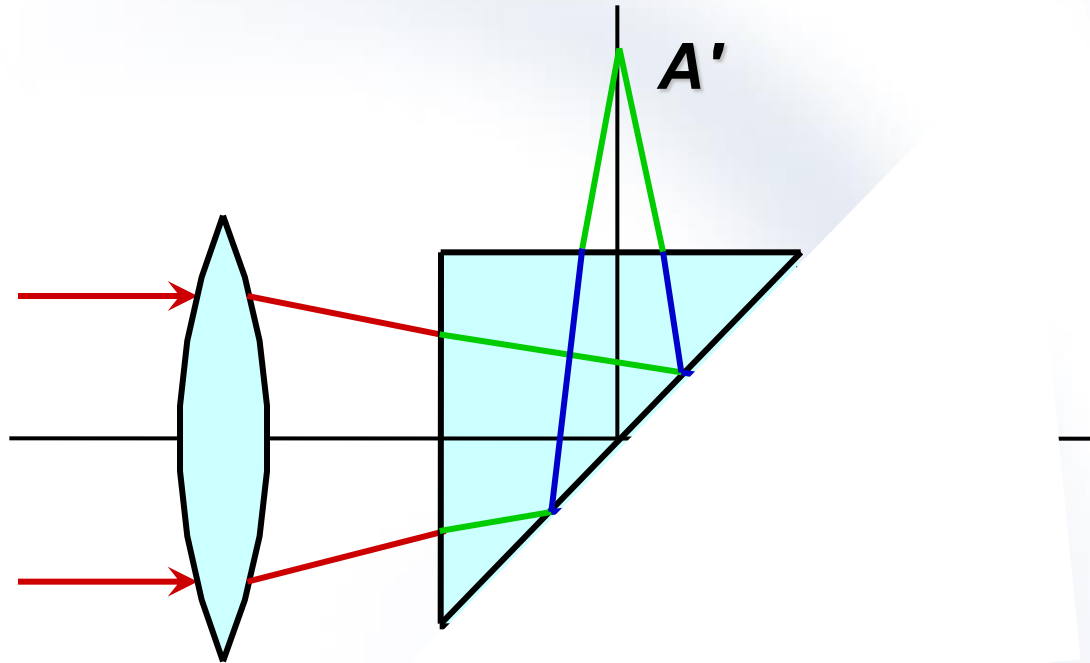
物



4.6 棱镜的等效作用与展开



- ◆ **棱镜展开**：把棱镜的**光轴截面**沿着它的反射面展开，取消棱镜的反射，以平行玻璃板的折射代替棱镜折射的方法



- ◆ 讨论棱镜的成像性质时，引入棱镜的展开法，以消除反射作用，只保留折射成像。

4.6 棱镜的等效作用与展开



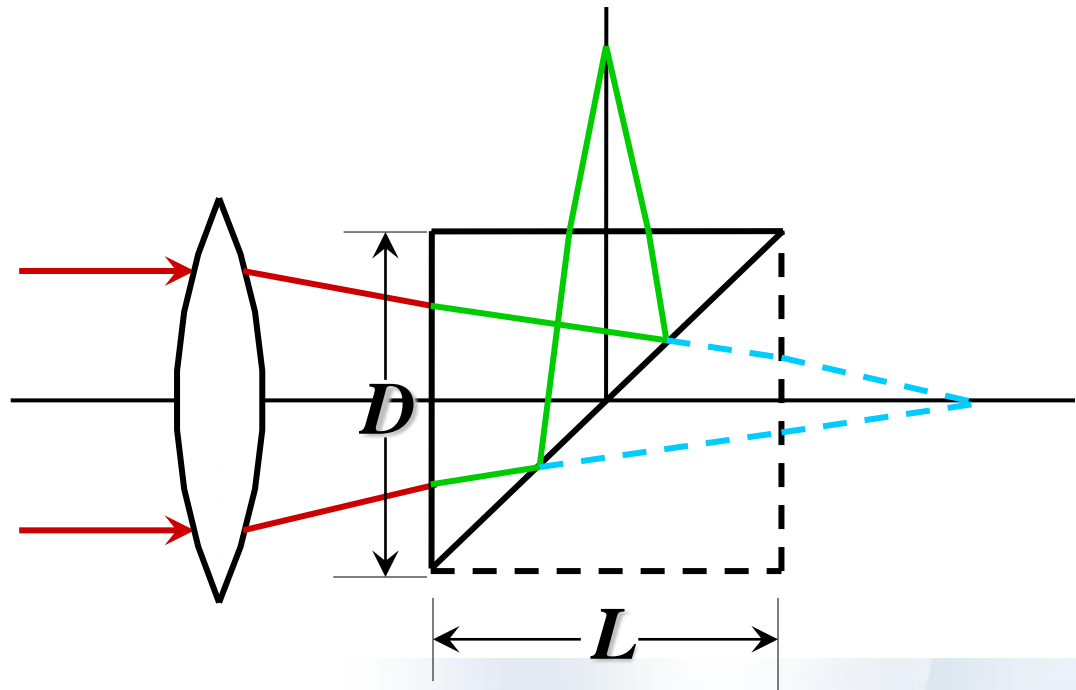
D: 棱镜的口径
(通光直径)

L: 反射棱镜的
展开长度或称光
轴长度

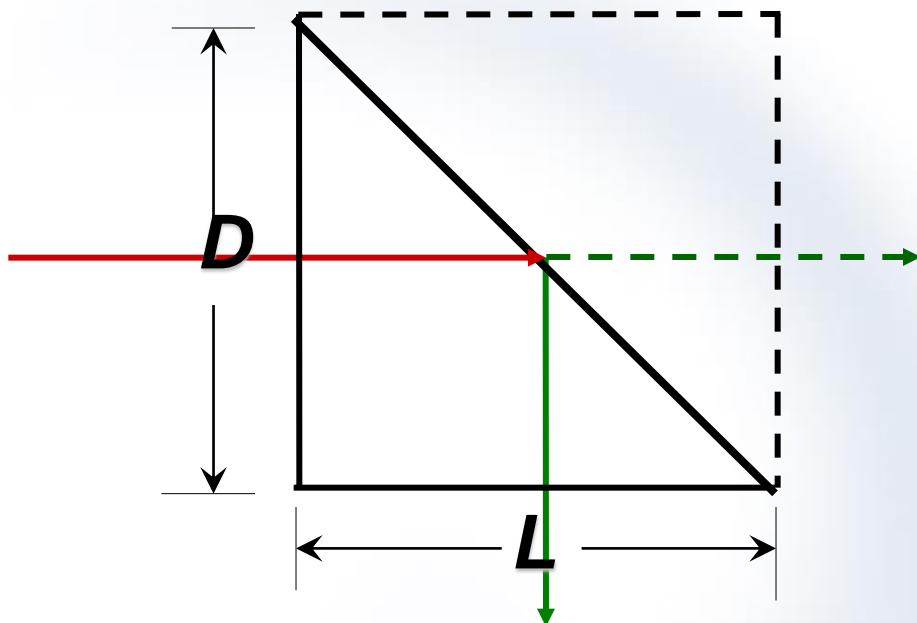
$$L = k \cdot D$$

k: 棱镜的结构参数

取决于棱镜的结构形式，与棱镜大小无关

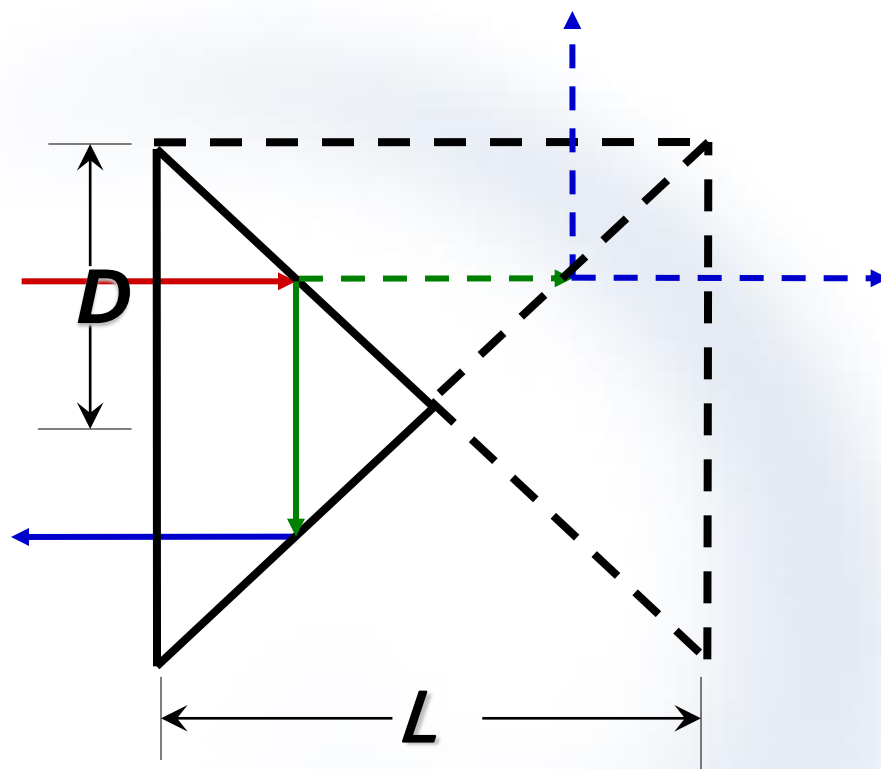


4.6 棱镜的等效作用与展开



一次反射直角棱镜： $L=D$ ， $k=1$

4.6 棱镜的等效作用与展开

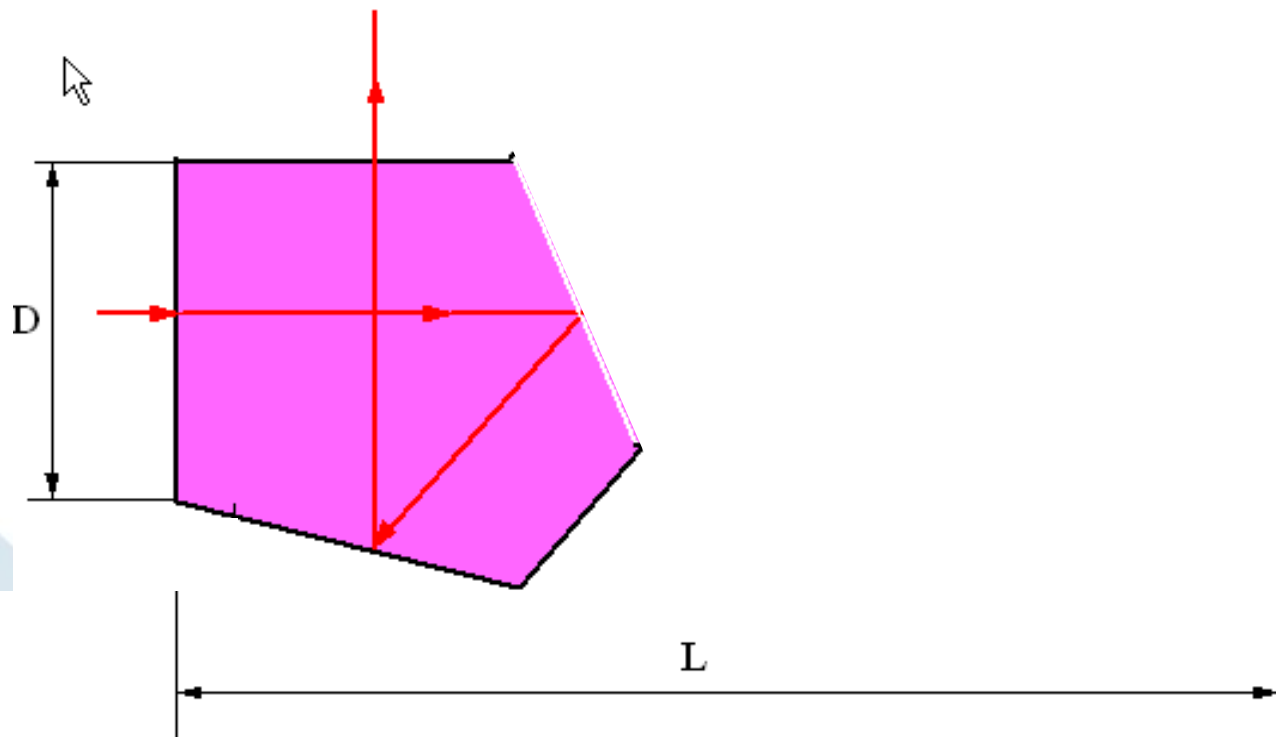


二次反射直角棱镜： 入射孔径为斜边的一半
 $L=2D$, $k=2$

4.6 棱镜的等效作用与展开



五角棱镜



光轴长度: $L = (2 + \sqrt{2})D$

棱镜常数: $k = 2 + \sqrt{2}$

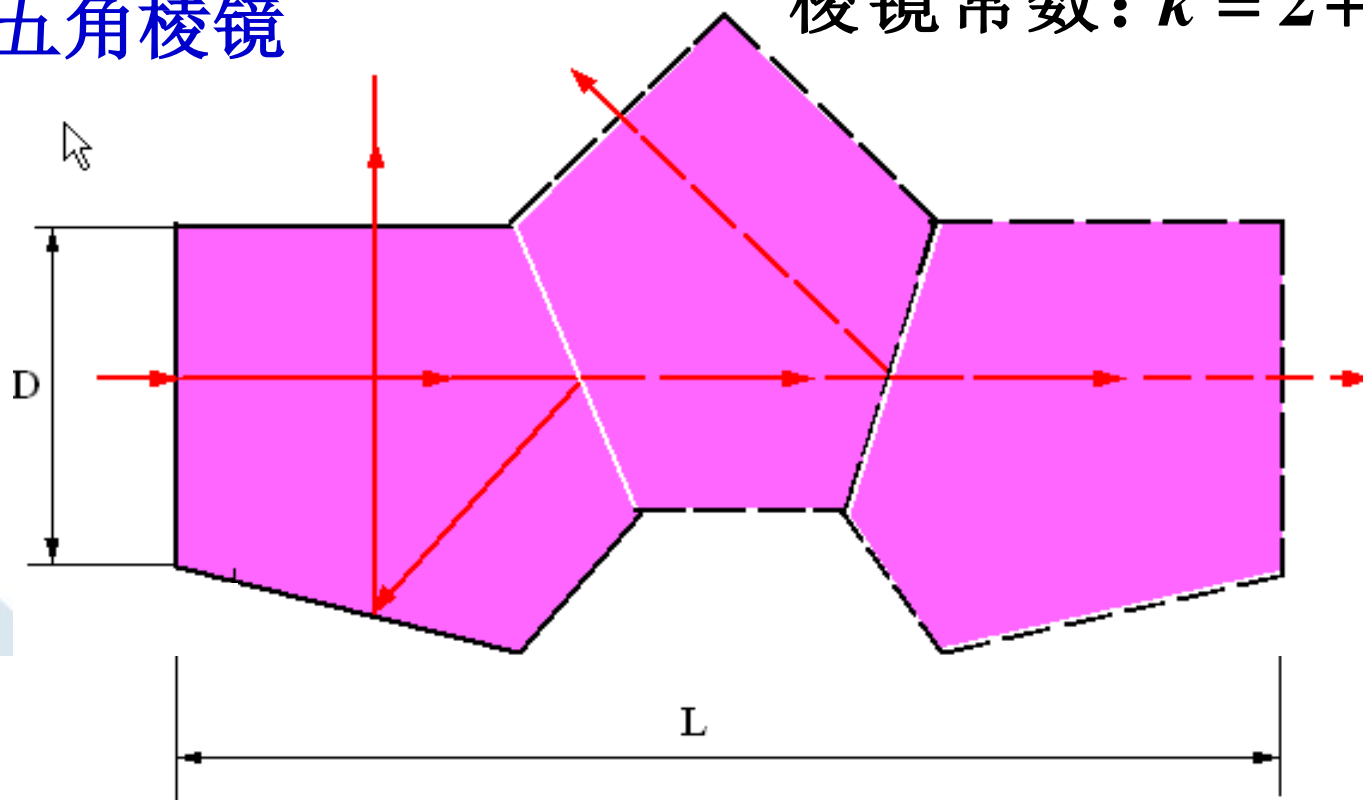
4.6 棱镜的等效作用与展开



五角棱镜

光轴长度: $L = (2 + \sqrt{2})D$

棱镜常数: $k = 2 + \sqrt{2}$



4.6 棱镜的等效作用与展开



道威棱镜

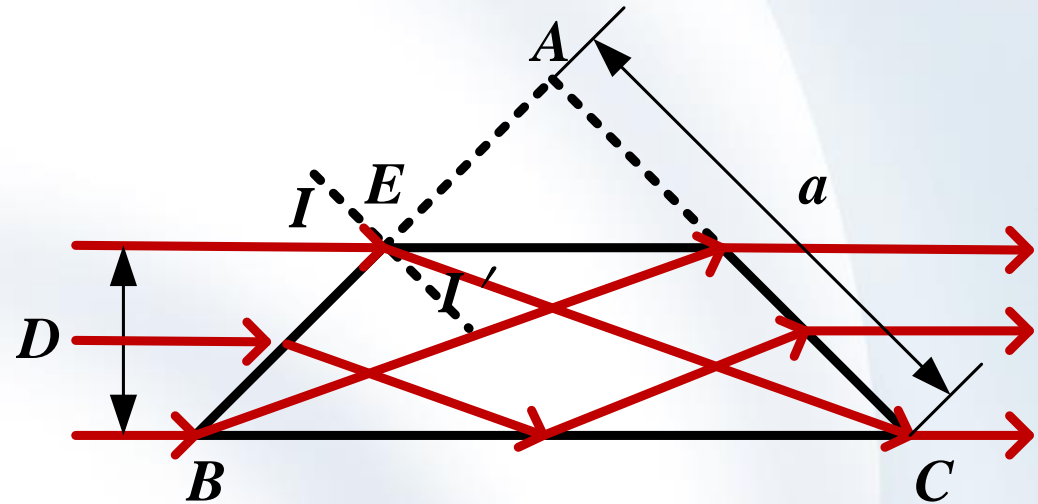
$$\sin I' = \frac{\sin 45^\circ}{n} = \frac{1}{n\sqrt{2}}$$

$$\tan I' = \frac{1}{\sqrt{2n^2 - 1}}$$

$$D = \overline{EB} \sin 45^\circ = \frac{\overline{EB}}{\sqrt{2}} = \frac{\overline{AB} - \overline{AE}}{\sqrt{2}} = \frac{a(1 - \tan I')}{\sqrt{2}}$$

$$\Rightarrow D = \frac{a}{\sqrt{2}} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2n^2 - 1}} \right)$$

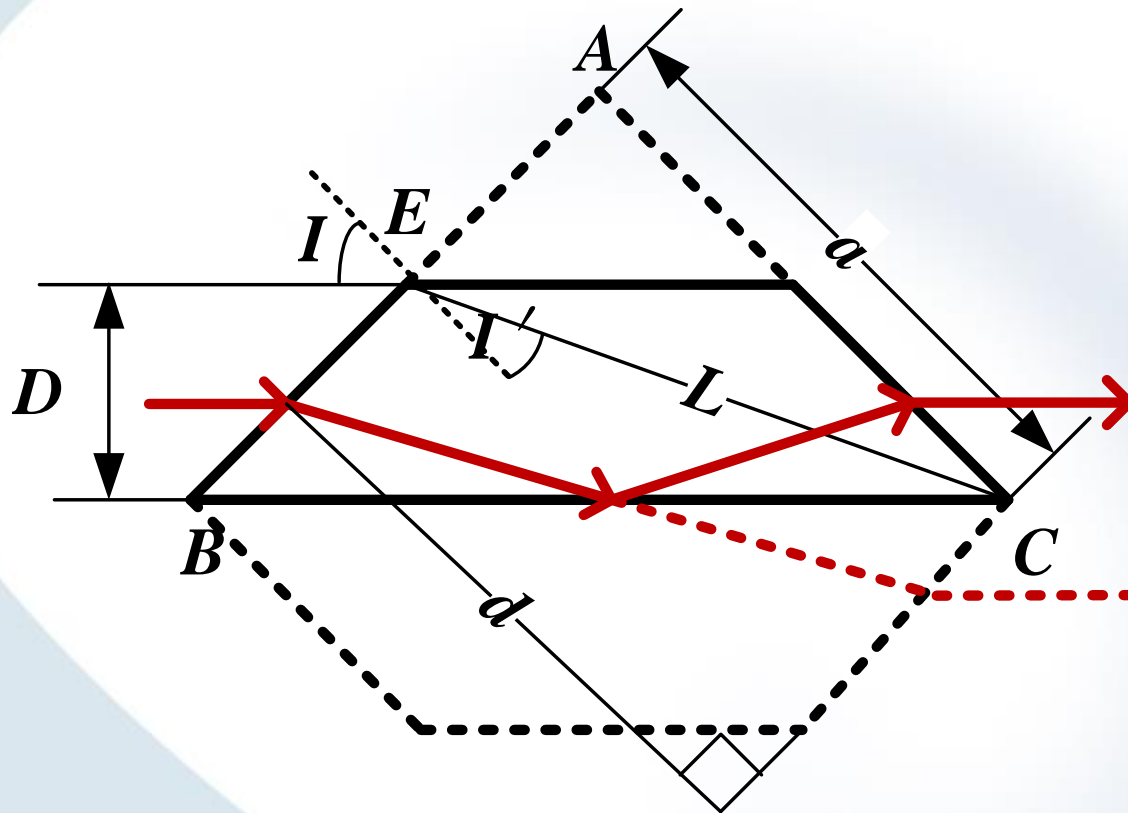
若采用K9玻璃, $n = 1.5163$, $D = 0.334a$



4.6 棱镜的等效作用与展开



道威棱镜



光轴长度:

$$L = \overline{EC} = \frac{a}{\cos i'} \\ = \frac{2nD}{\sqrt{2n^2 - 1} - 1}$$

棱镜常数:

$$k = \frac{2n}{\sqrt{2n^2 - 1} - 1}$$

等效平板玻璃厚度:

$$d = L \cos i'$$

4.6 棱镜的等效作用与展开



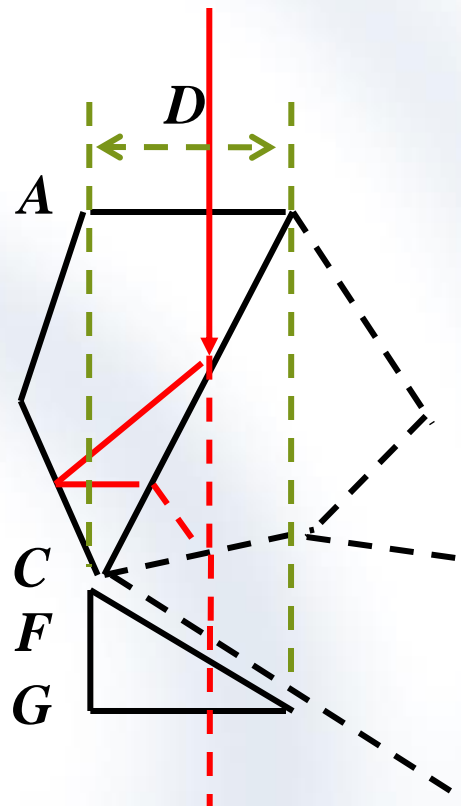
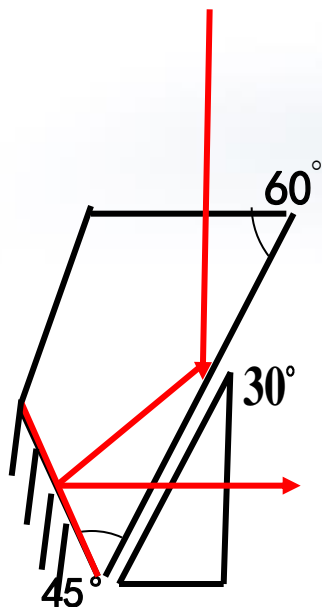
◆对棱镜的要求

- 1、棱镜展开后应该是一块平行玻璃板
- 2、光轴必须和棱镜的入射及出射表面相垂直。

4.6 棱镜的等效作用与展开



◆ 靴形棱镜

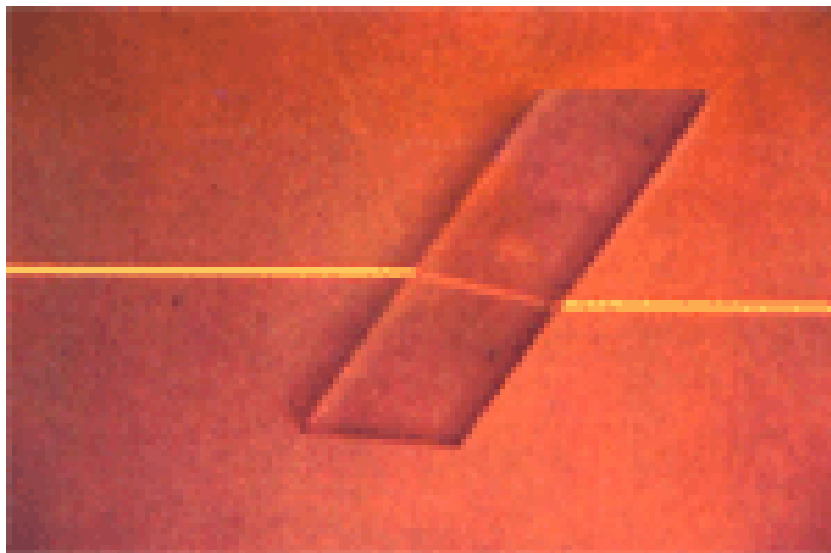


$$L = \overline{AC} + \overline{FG} = D \tan 60^\circ + D \tan 30^\circ = \frac{4}{3} \sqrt{3} D$$

4.7 平行平板的成像性质



- ◆ 由两个相互平行的折射平面组成的光学零件



- ◆ 如分划板、显微镜载物台上的载波片和盖玻片、滤光片和滤色片、补偿平板及保护玻璃片等。
- ◆ 反射棱镜也展开成平板

4.7 平行平板的成像性质



一、成像特性

$$\sin I_1 = n \sin I'_1$$

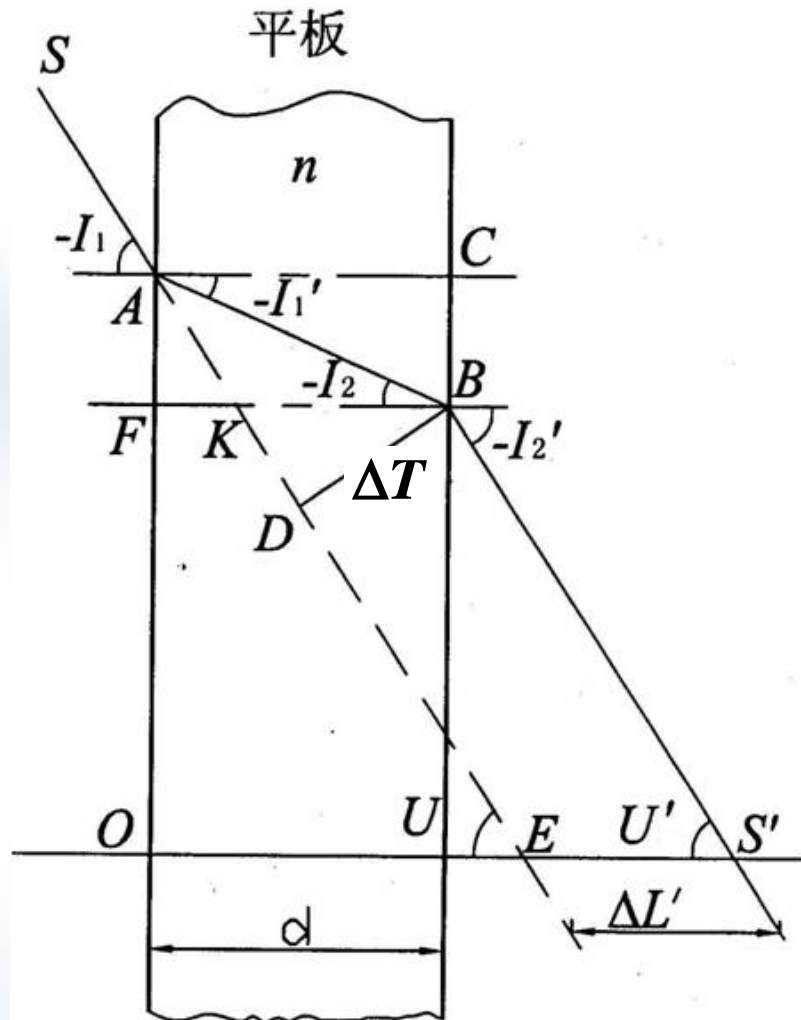
$$n \sin I_2 = \sin I'_2$$

$$I'_1 = I_2$$

$$\Rightarrow I_1 = I'_2$$

$$U = U'$$

➤ 光线经平行平板后方向不变



4.7 平行平板的成像性质



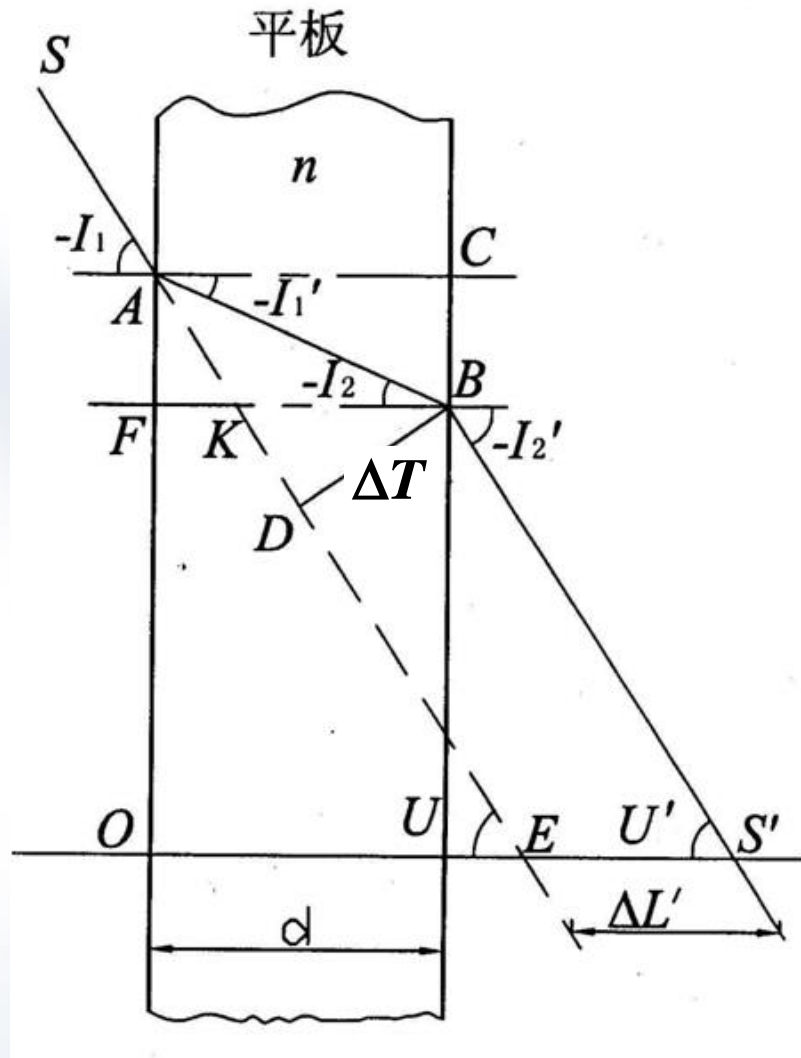
一、成像特性

$$\gamma = \frac{\tan U'}{\tan U} = 1$$

$$\beta = \frac{1}{\gamma} = 1$$

$$\alpha = \beta^2 = 1$$

➤ 不会使物体放大或缩小，
对系统光焦度无贡献



4.7 平行平板的成像性质



一、成像特性

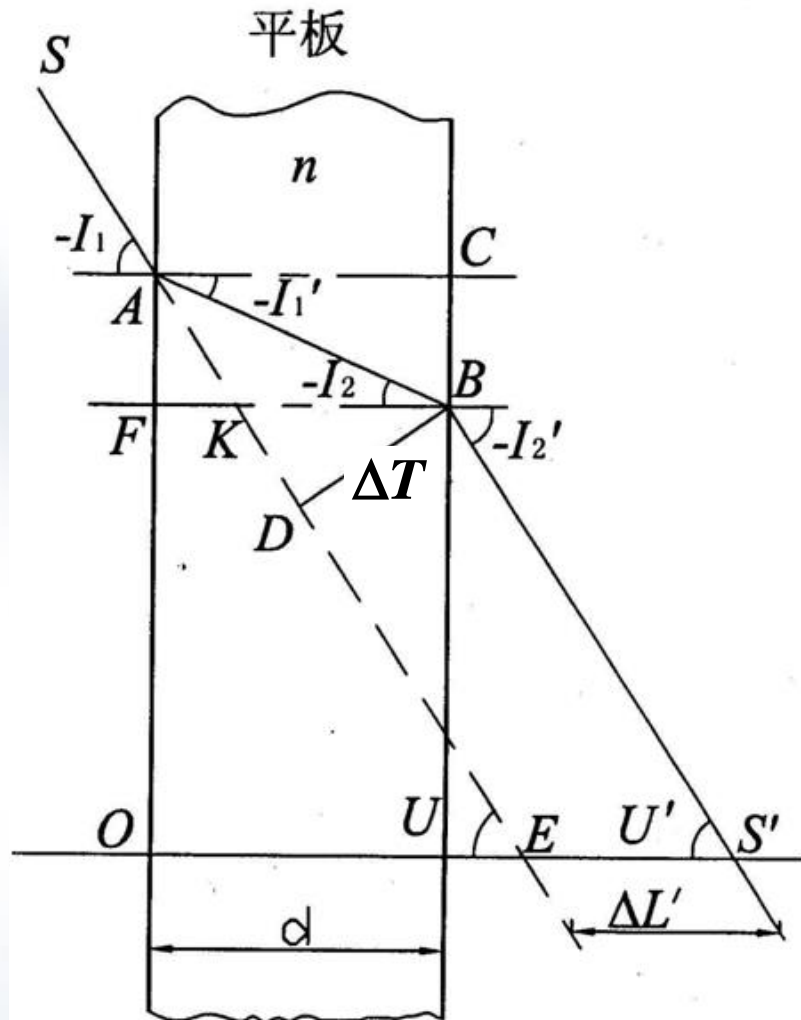
➤ 侧向位移（平行位移） ΔT

$$\Delta T = \overline{BD} = \overline{AB} \sin(I_1 - I'_1)$$

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

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

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



4.7 平行平板的成像性质



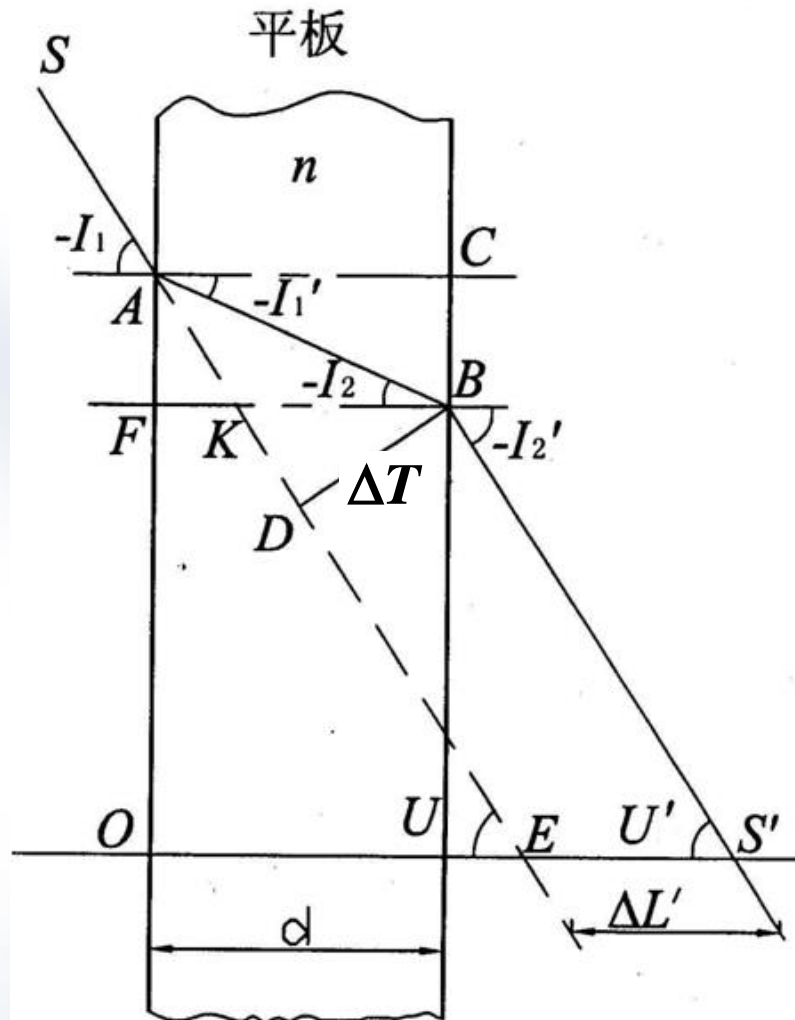
一、成像特性

➤ 轴向位移 $\Delta L'$

$$\Delta L' = \overline{KB} = \frac{\overline{BD}}{\sin I_1}$$

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

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



4.7 平行平板的成像性质



一、成像特性

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

1) $\Delta L'$ 是 I_1 的函数，成像不完善。

近轴光线 I_1 很小， $\Delta L' = d \left(1 - \frac{1}{n} \right)$ ，理想成像，像可以认为

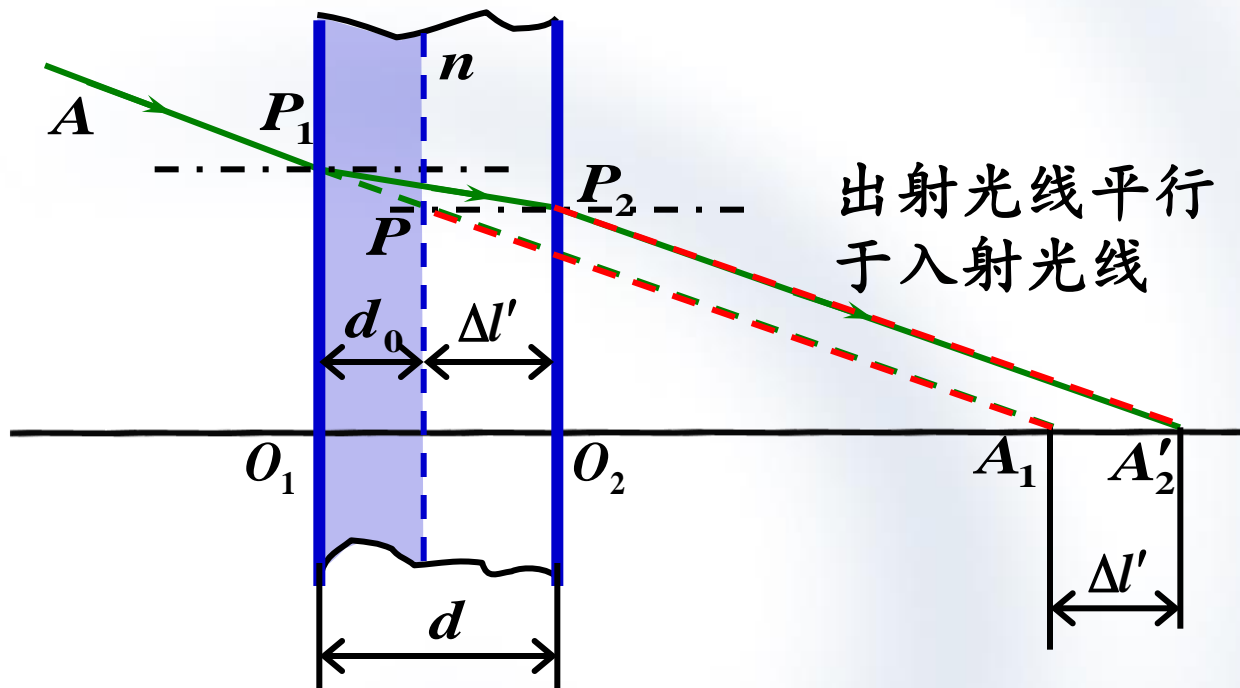
是由物体移动一个轴向位移 $\Delta L'$ 得到

2) 平行平板所成的像与原物的大小一样，光学系统中加入平行平板后不影响光学系统的特性，只是使像平面后移一段距离 $\Delta L'$

4.7 平行平板的成像性质



二、等效空气平板



等效空气平板厚度: $d_0 = d - \Delta l' = \frac{d}{n}$ 近轴!!

作用?

4.8 棱镜外形尺寸计算



◆棱镜外形尺寸计算

➤入射面通光孔径 D ，等效玻璃板厚度 L

◆棱镜系统的作用：

➤平面镜 + 平行玻璃板

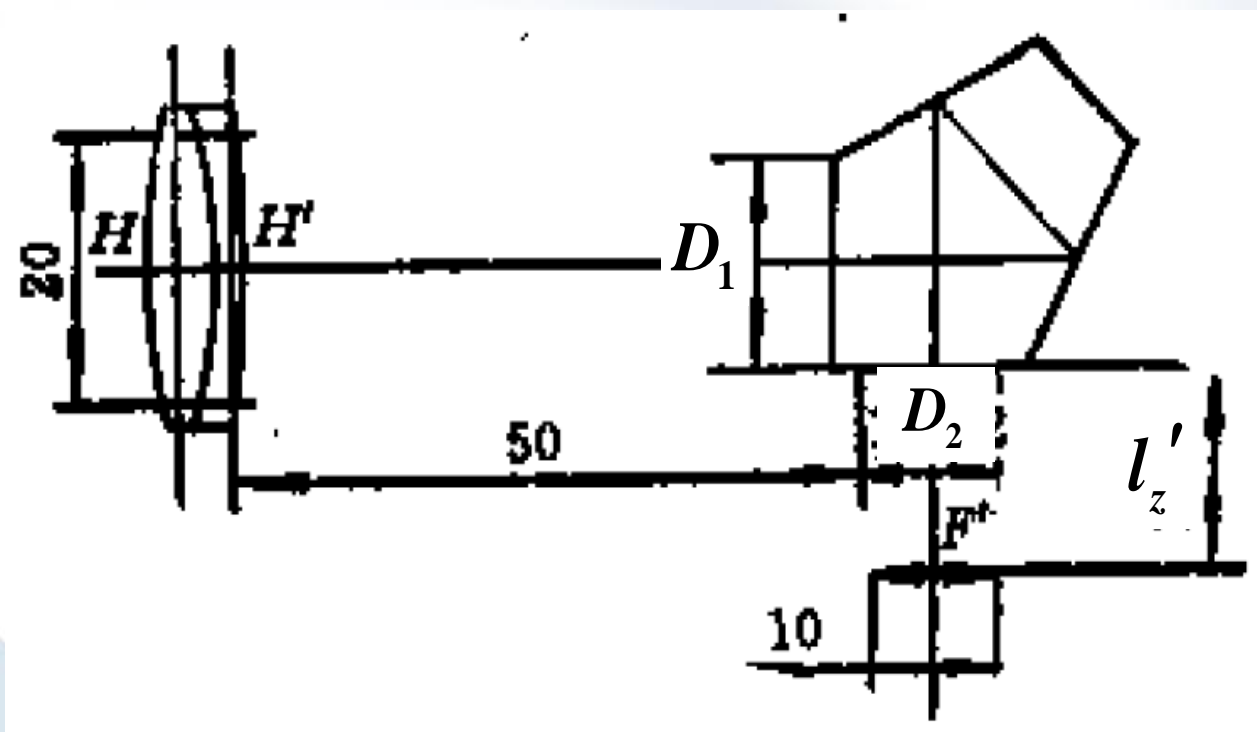
➤像面位移

➤各透镜组之间的间隔应等于共轴球面系统的原有间隔加上棱镜所引起的像平面位移

4.8 棱镜外形尺寸计算



- ◆ 例：一个薄透镜组，焦距为100，通光口径为20，利用它使无限远物体成像，像的直径为10。在距离透镜组50处加入一个五角棱镜，使光轴转折 90° ，求棱镜的尺寸和通过棱镜后的像面位置。



4.8 棱镜外形尺寸计算



棱镜第一表面通光直径:

$$D_1 = \frac{20+10}{2} = 15$$

五角棱镜展开后的厚度:

$$L = (2 + \sqrt{2})D_1 = 51.21$$

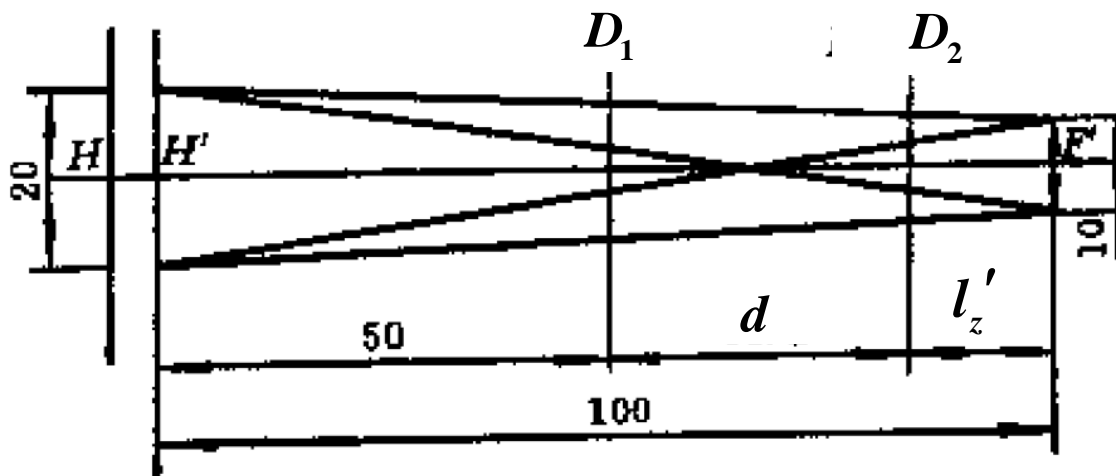
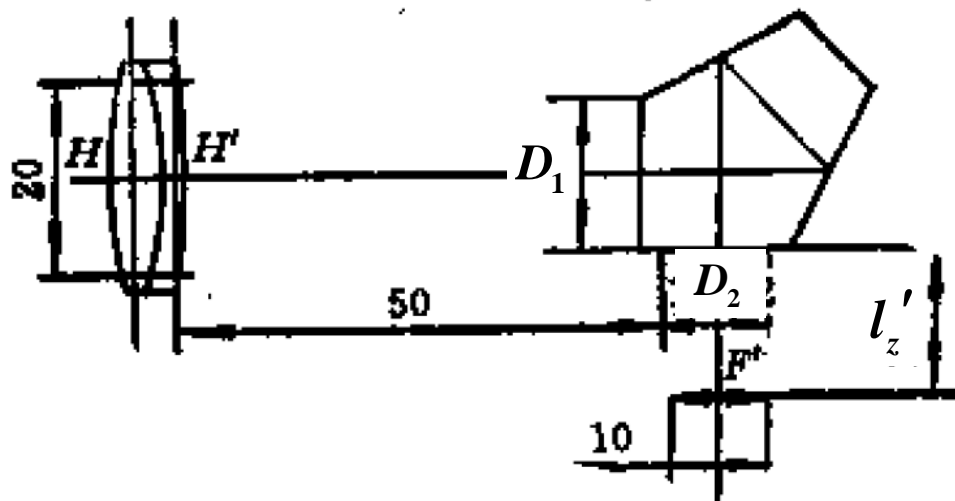
等效空气平板厚度:

$$d = \frac{L}{n} = \frac{51.21}{1.5163} = 33.8$$

等效空气平板出射面
与像面距离:

$$l'_z = 50 - d = 50 - 33.8 = 16.2$$

棱镜出射面光线高度与
等效空气平板出射面相同



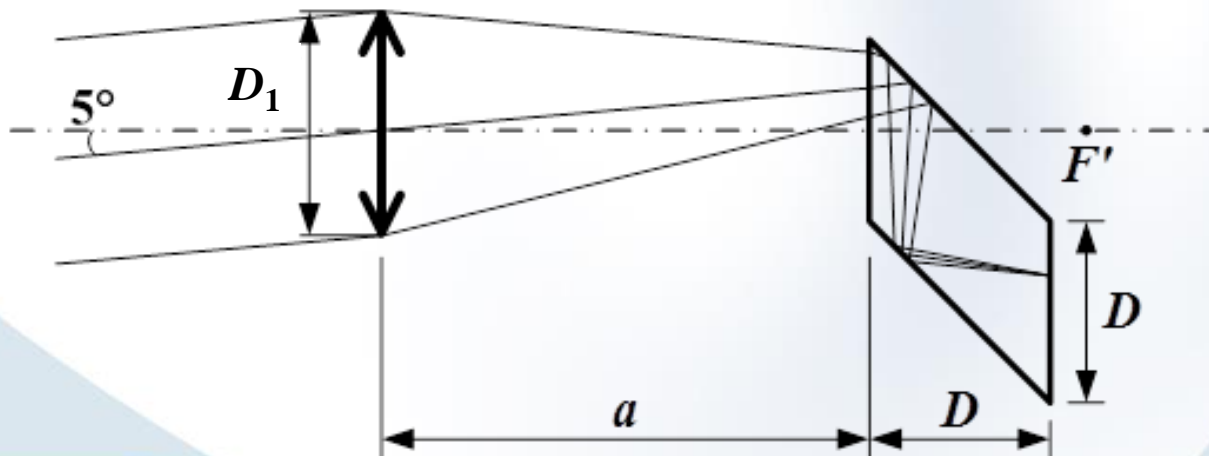
棱镜出射面通光口径:

$$D_2 = 10 + (20 - 10) \frac{16.2}{100} = 11.62$$

练习：



- ◆ 某双目望远镜任意一条光路上物镜的通光口径 $D_1 = 30 \text{ mm}$ ，焦距 $f' = 120 \text{ mm}$ ，无渐晕时物方视场角为 $2\omega = 10^\circ$ 。为了能够灵活地调整两条光路之间的目距，在物镜后放置了 $n = 1.5$ 的斜方棱镜。如图所示，加入斜方棱镜后，经过物镜后的成像面位置恰好与棱镜出射面重合，并且像全部落在出射面上。求棱镜的口径 D 以及棱镜入射面与透镜的距离 a 。



练习：



将棱镜展开并等效为空气平板

棱镜展开成平行平板的厚度：

$$L = KD = 2D_{\lambda}$$

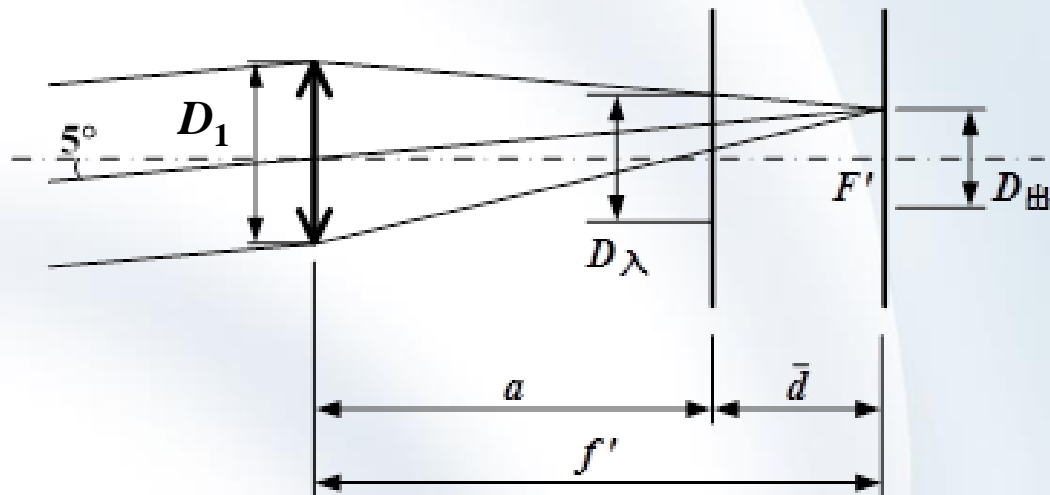
等效空气层厚度 $\bar{d} = \frac{L}{n} = \frac{4D_{\lambda}}{3}$

无渐晕时，棱镜出射面对应的口径 $D_{\text{出}} = 2f' \tan 5^{\circ} \approx 21 \text{ mm}$

$$\because D_{\text{出}} < D_1 \quad \therefore D_{\text{出}} < D_{\lambda}$$

棱镜口径 $D = D_{\lambda} = D_{\text{出}} + (D_1 - D_{\text{出}}) \frac{\bar{d}}{f'}$
即 $D \approx 23.33 \text{ mm}$ 。

通常为综合计算题，
结合光阑、渐晕等



棱镜入射面与透镜的距离 $a = f' - \bar{d} = f' - \frac{4}{3}D \approx 88.89 \text{ mm}$

4.9 棱镜的偏差



- ◆ **光学平行差：**棱镜展开成玻璃板后，入射和出射表面的不平行度误差，破坏系统的共轴性、对称性
 - **第一光学平行差：**主截面方向的不平行度
 - **第二光学平行差：**垂直主截面方向的不平行度此两种误差，在设计中均要提出要求

- ◆ **屋脊棱镜的双像差：**屋脊棱镜的夹角不是严格的 90° 一束平行光射入棱镜，经过两个屋脊面反射后成为两束相互之间有一定夹角的平行光，因而出现双像



- ◆掌握平面镜、棱镜的成像性质和成像方向；
- ◆平行平面板的成像性质，棱镜的外形尺寸计算。
- ◆了解棱镜的误差分类。