



北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

## 第三章 平面与平面系统

冯丽爽 博士

仪器科学与光电工程学院光电工程系

北京航空航天大学



# 目录 Contents

- 平面镜成像
- 反射棱镜
- 平行平板
- 折射棱镜和光楔



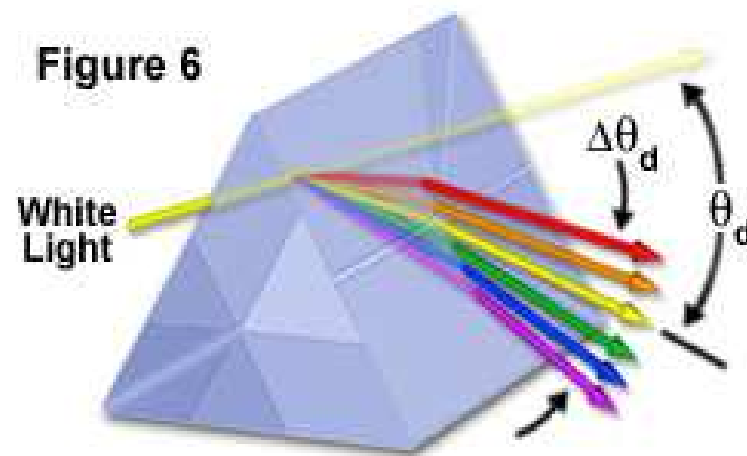
## 第四节 折射棱镜和光楔

### 牛顿的色散实验



Equilateral Dispersing Prism

Figure 6



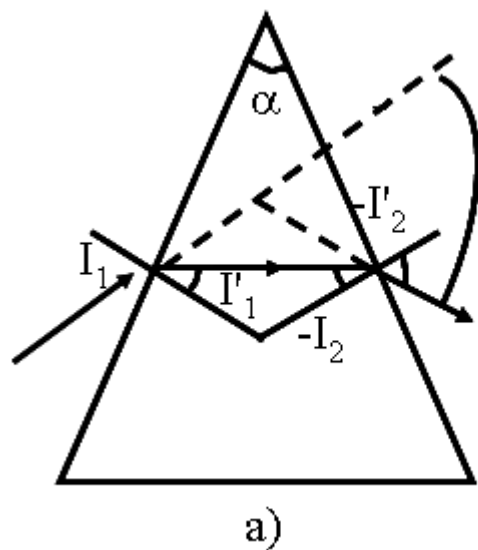
1665年，牛顿进行太阳光的实验，它把太阳光分解成各种颜色。



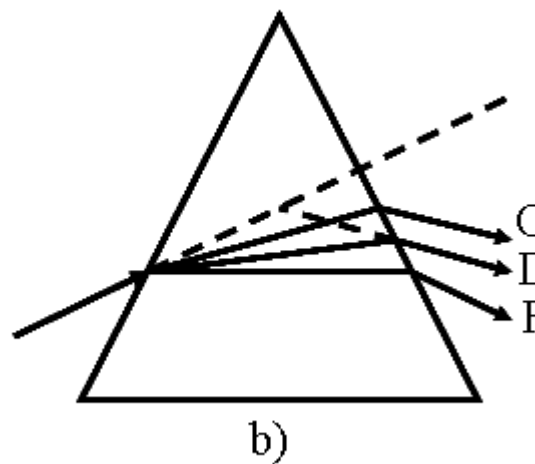
## 第四节 折射棱镜和光楔

### 一、折射棱镜的偏向角

折射棱镜在光路中有色散和偏向作用。



偏向角  $\delta$



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



## 第四节 折射棱镜和光楔

$$\alpha + \delta = I_1 - I_2'$$

$$\sin\left[\frac{1}{2}(\alpha + \delta)\right] = \frac{n \sin\left(\frac{1}{2}\alpha\right) \cos\left[\frac{1}{2}(I_1' + I_2)\right]}{\cos\left[\frac{1}{2}(I_1 + I_2')\right]}$$

结论：

- 光经过折射棱镜折射后，产生的偏向角  $\delta$  与  $\alpha$ 、 $n$  和  $I$  有关。
- 光线的光路对称于折射棱镜时，折射棱镜的偏向角取得最小值。

$$\sin\left[\frac{1}{2}(\alpha + \delta_m)\right] = n \sin \frac{\alpha}{2}$$

最小偏向角

应用：测量折射率



## 第四节 折射棱镜和光楔

### 二、光楔及其应用

当折射棱镜的顶角  $\alpha$  很小时，该棱镜称为光楔。

$$\sin\left[\frac{1}{2}(\alpha + \delta)\right] = \frac{n \sin\left(\frac{1}{2}\alpha\right) \cos\left[\frac{1}{2}(I_1' + I_2)\right]}{\cos\left[\frac{1}{2}(I_1 + I_2')\right]}$$

$\alpha$  很小，  
 $\delta$  也一定很小

$$\delta = \alpha \left( n \frac{\cos I_1'}{\cos I_1} - 1 \right)$$

当  $I_1$  很小时， $\delta = \alpha(n - 1)$

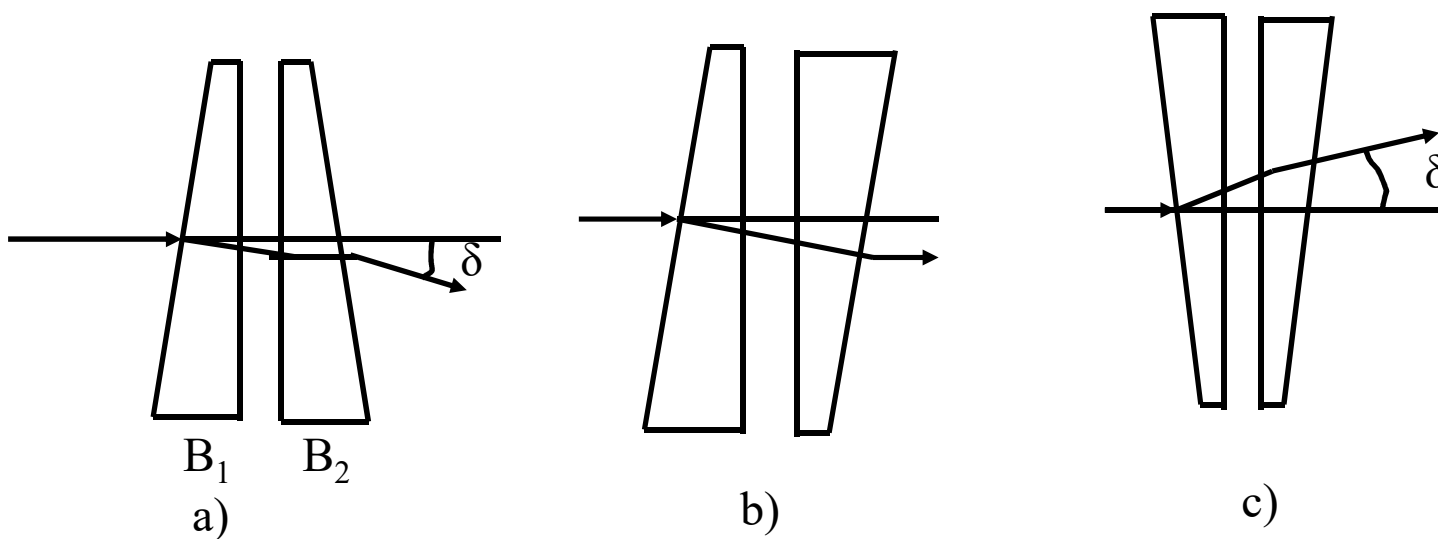
当光线垂直或接近垂直射入光楔时，所产生的偏向角仅取决于光楔的顶角及折射率。



## 第四节 折射棱镜和光楔

光楔组合应用：

微小角度的测量



当两光楔相对转动，各转角度  $\varphi$  时，其组合光楔的总偏向角为：

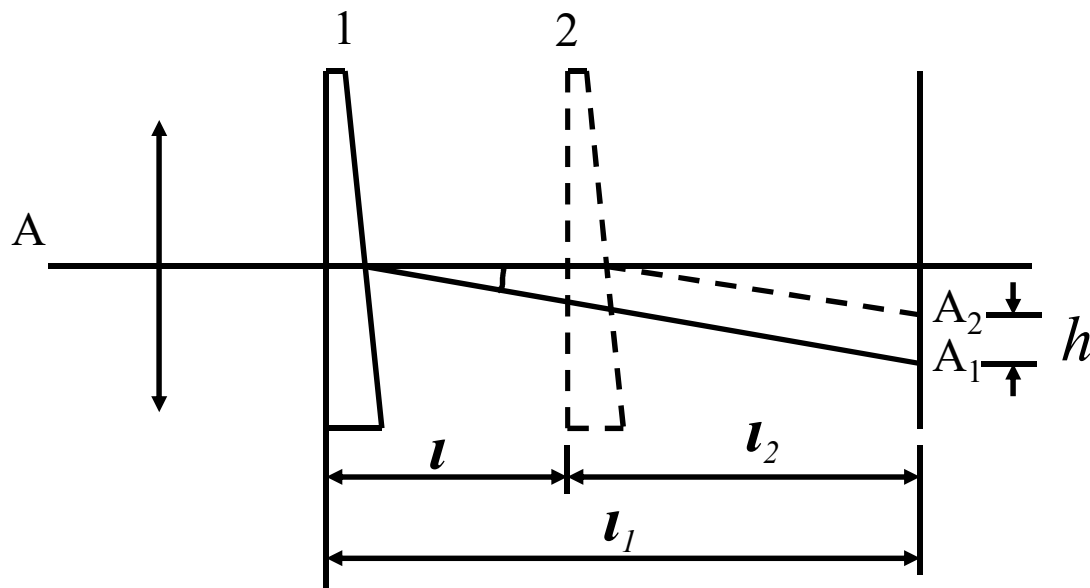
$$\delta = 2(n-1)\alpha \cos \varphi$$



## 第四节 折射棱镜和光楔

光楔组合应用：

微小位移的测量



$$h = l\delta = l(n-1)\alpha$$

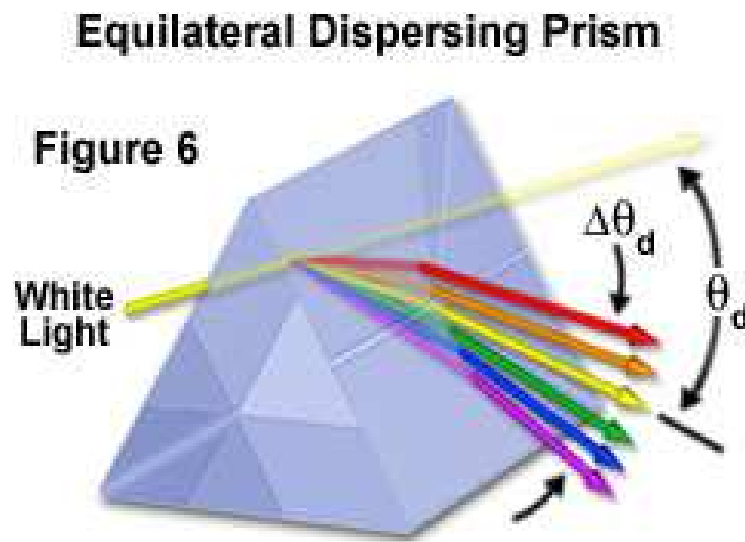




## 第四节 折射棱镜和光楔

### 三、棱镜色散

- 不同的色光具有不同的偏向角
- 折射棱镜常用作色散分光元件，主要用于光谱仪器中。



红光，折射率小，偏向角小



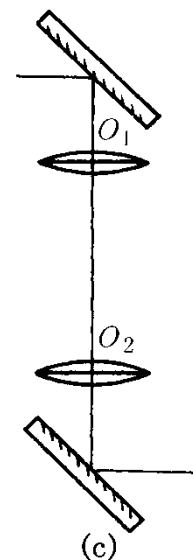
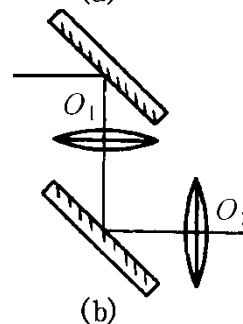
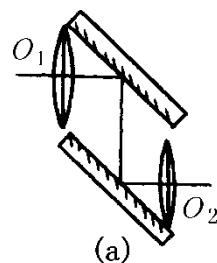
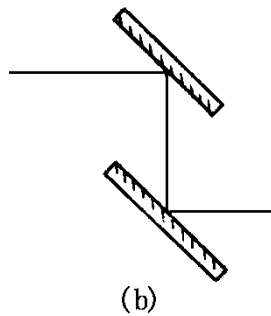
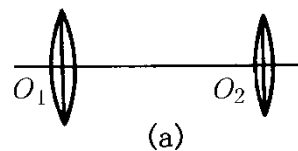
## 目录 Contents

- 平面镜成像
- 反射棱镜
- 平行平板
- 折射棱镜和光楔
- 共轴球面系统和平面镜系统组合（补）



## 第五节 共轴球面系统和平面镜系统组合

- 1、共轴球面系统和平面镜系统组合时，共轴球面系统中的各个透镜组和平面反射的配合次序不受限制。
- 2、各个透镜组的光轴在平面镜系统中构成一条共轴线。
- 3、各透镜组之间的间隔不变。

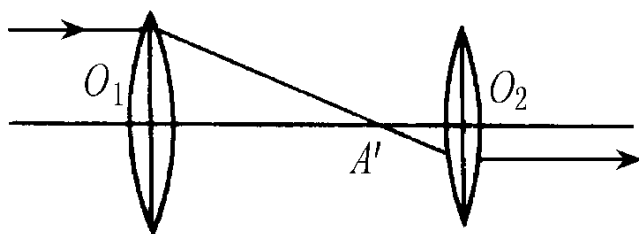




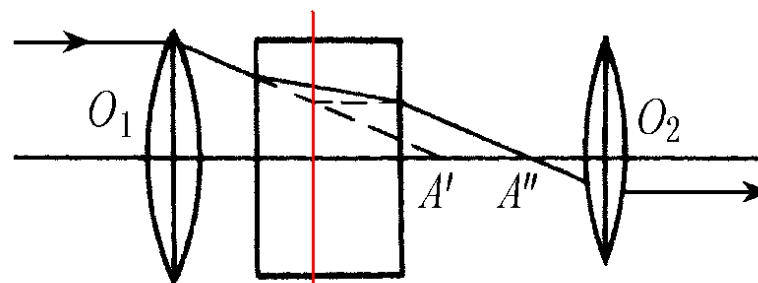
## 第五节 共轴球面系统和平面镜系统组合

若系统中有棱镜，则相当于另外加入一块平行板：

- 1、若光轴和棱镜的入射表面不垂直，则该棱镜只能放在平行光束中；
- 2、必须考虑平行玻璃板产生的像面位移。



(a)



(b)

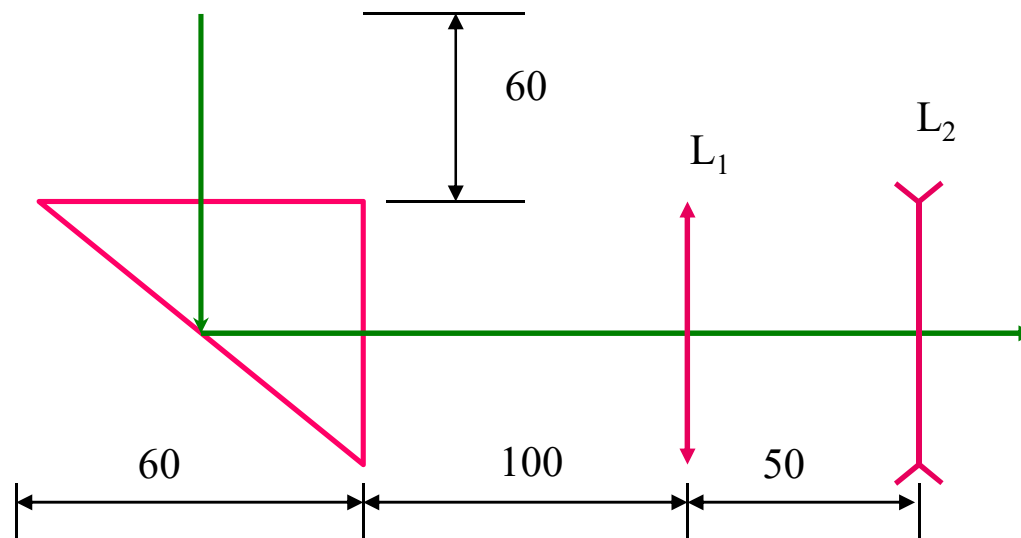


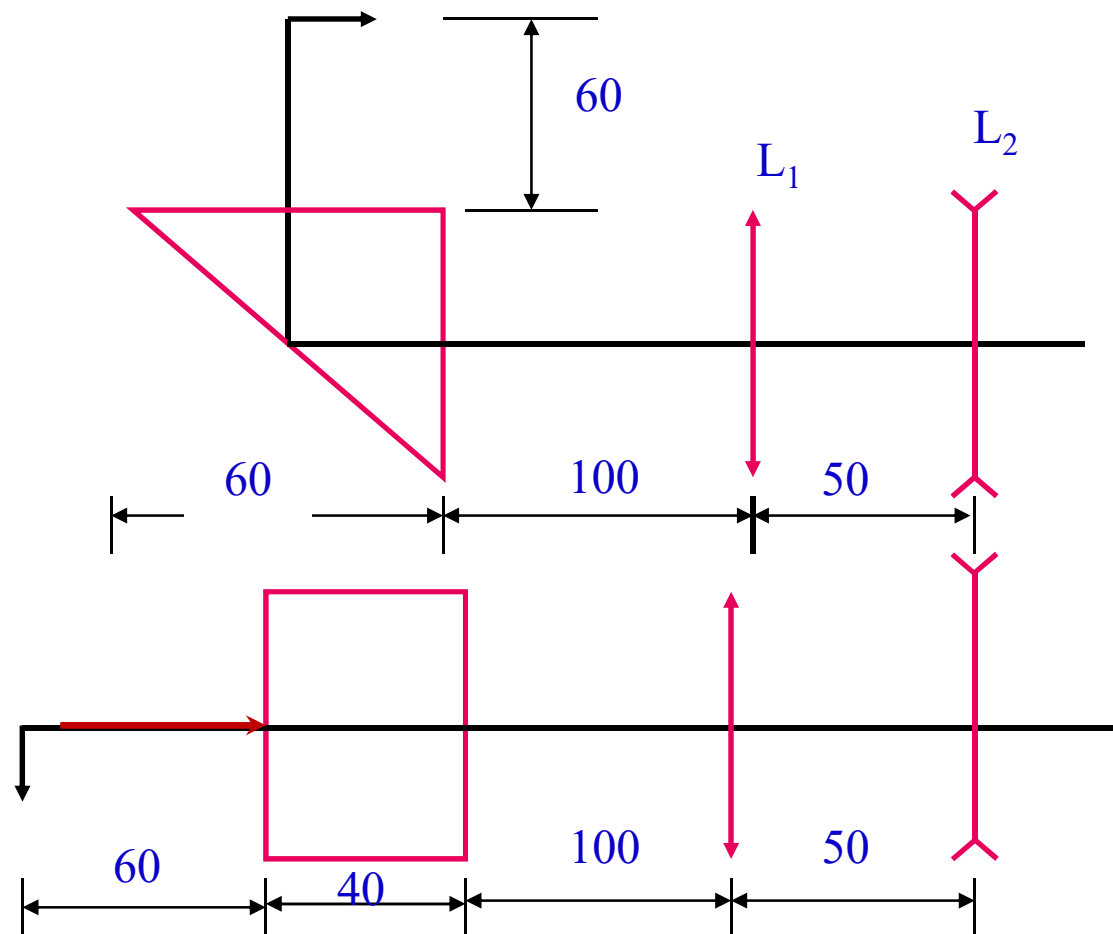
## 第五节 共轴球面系统和平面镜系统组合

例：图为一等腰直角棱镜 ( $n = 1.5$ ) 和两个薄透镜组成的光学系统。

棱镜直角边长为  $60\text{ mm}$  ,  $f_1' = 200\text{ mm}$  ,  $f_2' = -100\text{ mm}$  , 两透镜相距  $50\text{ mm}$  . 物高  $10\text{ mm}$  , 距棱镜  $60\text{ mm}$  , 棱镜距  $L_1$  为  $100\text{ mm}$  .

➤ 求物体经系统后所成的像的位置和大小。







棱镜的等效平行平板厚度 $d$ 为60mm,

利用等效空气平板的概念, 等效空气平板厚度为:

$$\bar{d} = \frac{d}{n} = \frac{60}{1.5} = 40 \text{ mm}$$

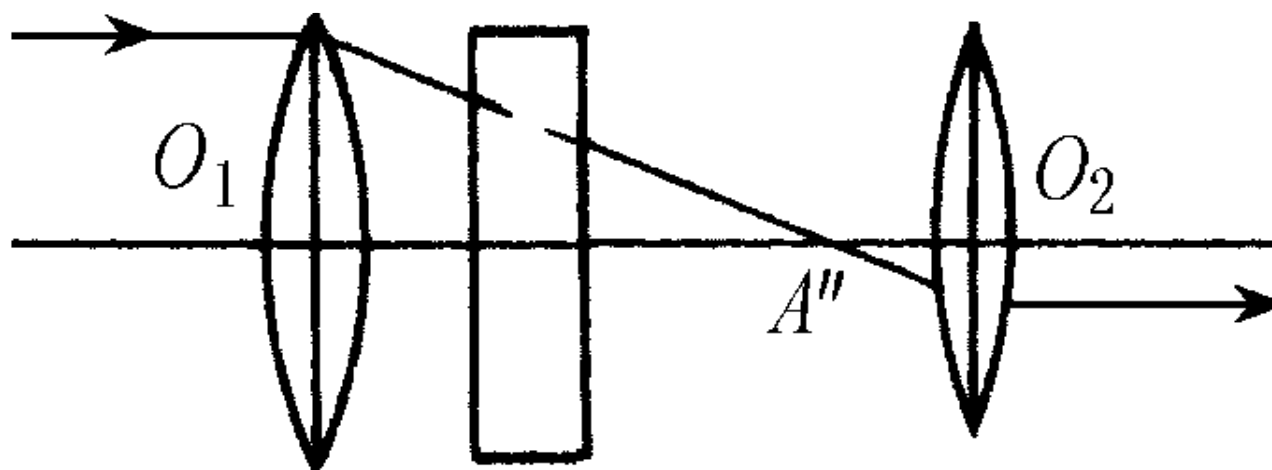
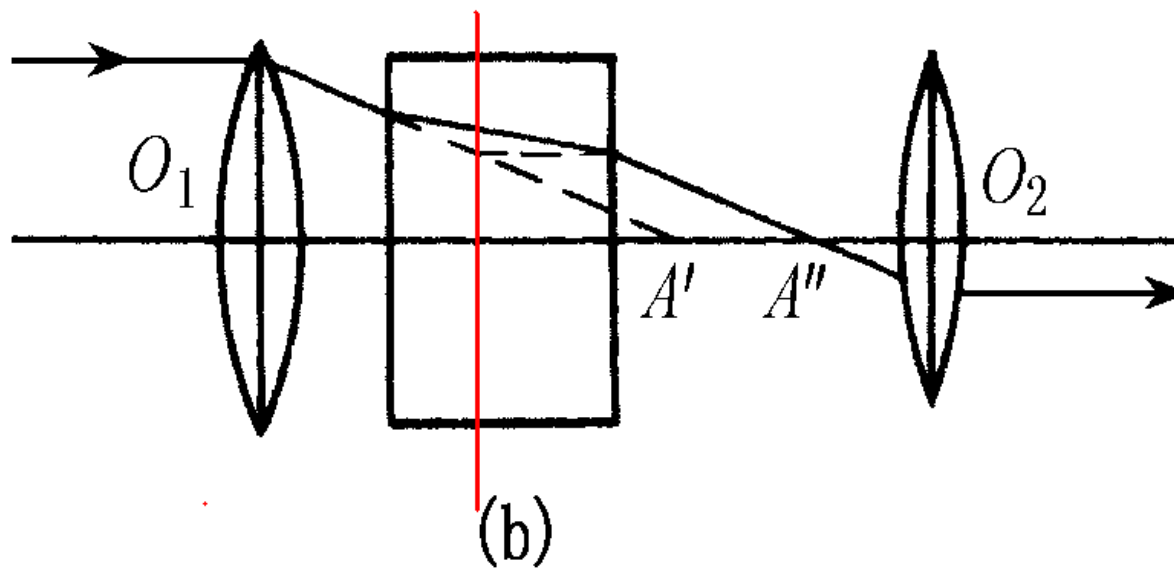
因此, 第一个透镜的物距为:  $l_1 = 60 + 40 + 100 = 200\text{mm}$

$$l_2 = \infty, l_2' = f_2' = -100\text{mm}$$

物位于 $L_1$ 的前焦面上, 像在 $L_2$ 左方100mm处。系统的垂轴放大率:

$$\beta = \frac{f_1 f_2}{f_1 f_1' - x_1 \Delta} = \frac{-200 \times 100}{-200 \times 200} = 0.5$$

故物经此系统后在 $L_2$ 左方100mm处成一缩小倒立的虚像, 像高5mm。







## 目录 Contents

- 平面镜成像
- 反射棱镜
- 平行平板
- 折射棱镜和光楔
- 共轴球面系统和平面镜系统组合（补）
- 光学材料（自学）



## § 3.5 光学材料

总体要求：折射材料对工作波段有良好的透过率，反射元件对工作波段有很高的反射率。

### 一、透射材料的光学性质

#### 1、 光学材料的分类：

	①光学玻璃	②光学晶体	③光学塑料
透射光波 范围	0.35-2.5um	比①宽	与①相当
使用情况	最常用 制造工艺成熟 品种齐全	日益广泛	中低档仪器



## 2、光学特性：

平均折射率： $n_D$

平均色散： $d_n = n_F - n_C$

阿贝常数(平均色散系数)： $v_D = (n_D - 1) / (n_F - n_C)$

部分色散： $n_1 - n_2$

相对色散： $(n_1 - n_2) / (n_F - n_C)$

## 3、特定波长折射率的计算：

哈特曼公式

德国肖特玻璃厂色散公式

## 二、反射材料的光学特性

镀银、镀铝、多层介质膜、高反膜



# Thank You !



# 工程光学上篇

# 几何光学

## 前 言

- 第一章 几何光学基本定律与成像概念
- 第二章 理想光学系统
- 第三章 平面与平面系统
- 第四章 光学系统中的光束限制
- 第五章 光度学与色度学基础
- 第六章 光线的光路计算及像差理论
- 第七章 典型光学系统
- 第八章 现代光学系统
- 第九章 光学系统的像质评价和像差公差
- 第十章 光学设计







## 几何光学（宏观领域）：

忽略光的物理本质，用发光点、传输线、波阵面等几何概念，等效探讨光的传播方式与成像过程，方便工程应用。



# 《几何光学》 章节构成

- § 1     几何光学基本定律与成像概念
- § 2     理想光学系统
- § 3     平面与平面系统
- § 4     光学系统中的光束限制与光阑
- § 5     光度学与色度学基础
- § 6     光线的光路计算及像差理论
- § 7     典型光学系统
- § 8     现代光学系统
- § 9     光学系统的像质评价和像差公差
- § 10    光学设计



# 各章节的重点与难点





# 第1章 基本定律与成像概念

- 基本概念与四大基本定律
- 全反射及其应用
- 费马原理与马吕斯定律
- 成像概念与完善成像条件
- 实际光路计算
- 近轴光路计算



# 第1章 基本定律与成像概念

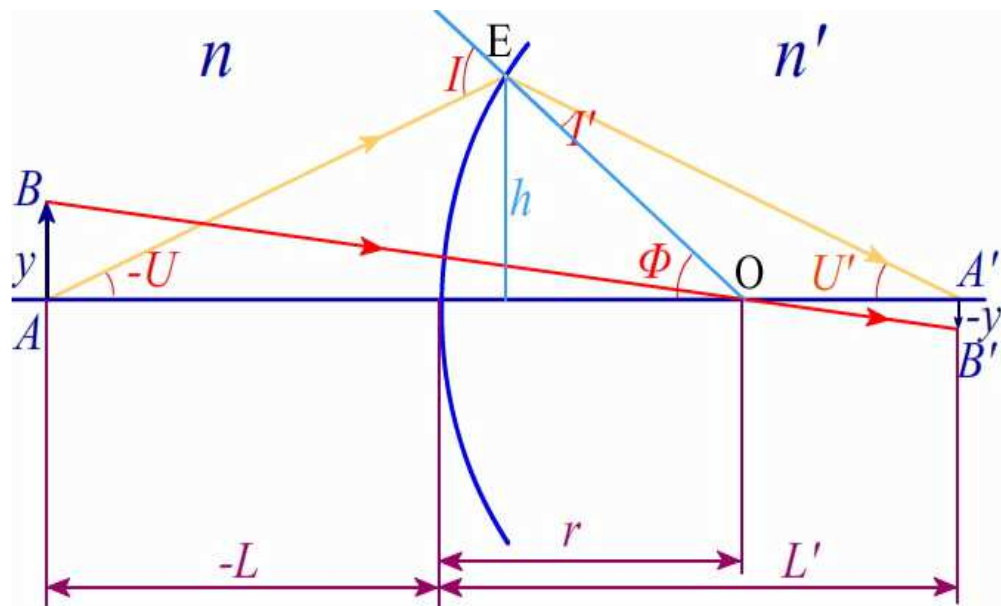
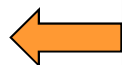
## 单折射面成像

1、符号规则

2、计算公式

3、反射成像

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



$$\frac{\sin(180^\circ - I)}{-L + r} = \frac{\sin(-U)}{r} \implies \sin I = (L - r) \frac{\sin U}{r}$$

$$\sin I' = \frac{n}{n'} \sin I$$

$$\phi = U + I = U' + I' \implies U = U' + I - I'$$

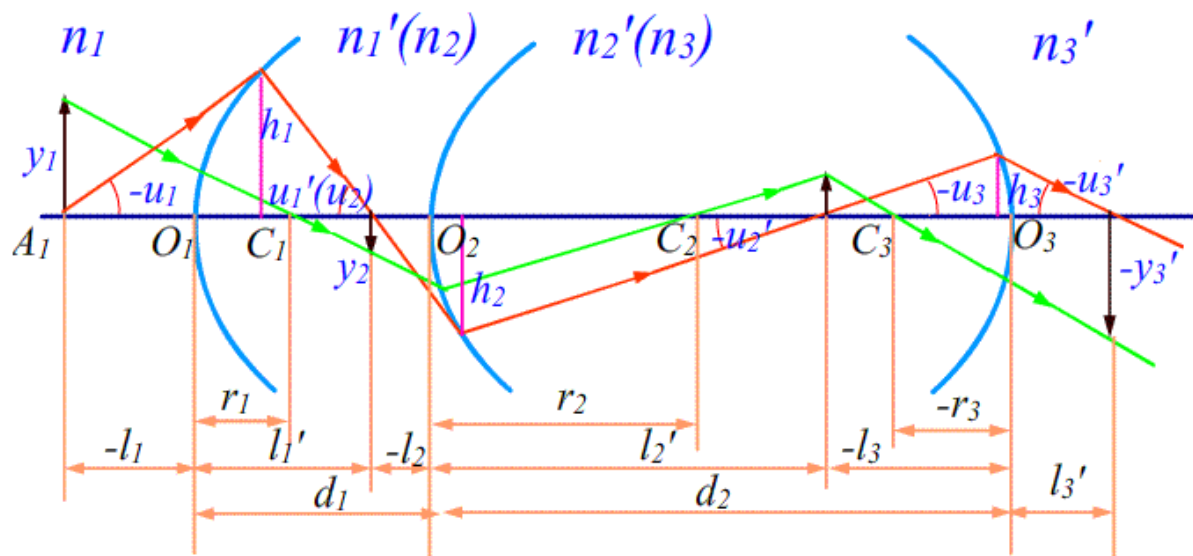
$$\frac{\sin I'}{L' - r} = \frac{\sin U'}{r} \implies L' = r \left( 1 + \frac{\sin I'}{\sin U'} \right)$$



# 第1章 基本定律与成像概念

## 共轴球面系统

- 1、过渡公式
- 2、放大率
- 3、拉赫不变量



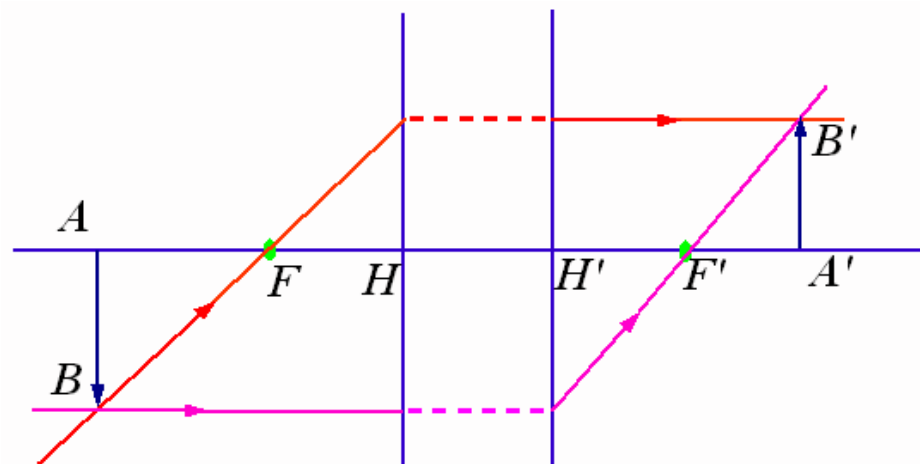
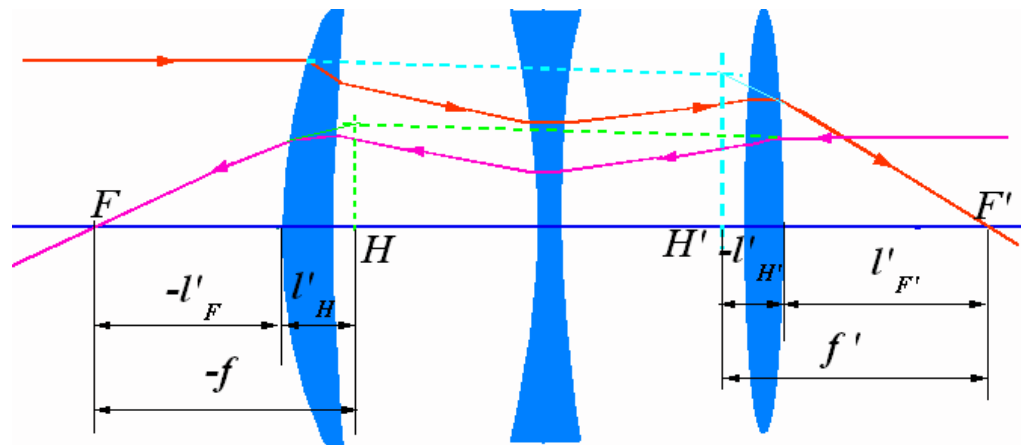
$$l_2 = l_1' - d_1, \quad l_3 = l_2' - d_2, \quad \dots \quad l_k = l_{k-1}' - d_{k-1}$$

- 4、薄透镜，组合公式



## 第2章 理想光学系统

- 共线成像理论
- 基点与基面
- 作图法求像
- 解析法求像
  - 高斯公式
  - 牛顿公式
- 多光组组合





## 第2章 理想光学系统

### ➤ 牛顿公式

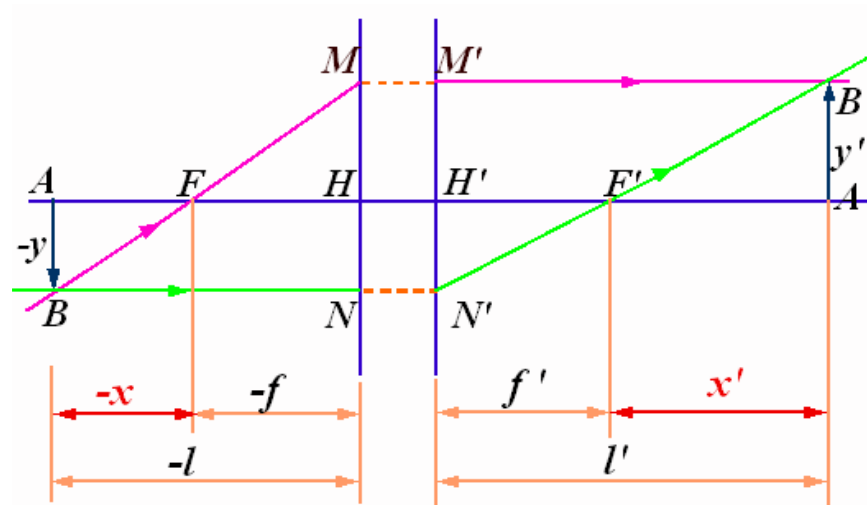
$$xx' = ff' \quad \beta = \frac{y'}{y} = -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f'}$$

### ➤ 高斯公式

$$\frac{f'}{l'} + \frac{f}{l} = 1$$

$$\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{f}{f'} \frac{l'}{l}$$

$$\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f'} \quad , \quad \beta = \frac{l'}{l}$$



$$\Delta BAF \sim \Delta FHM, \quad \Delta H'N'F' \sim \Delta F'A'B' \\ -y'/y = -f/-x, \quad -y'/y = x'/f' \rightarrow xx' = ff'$$



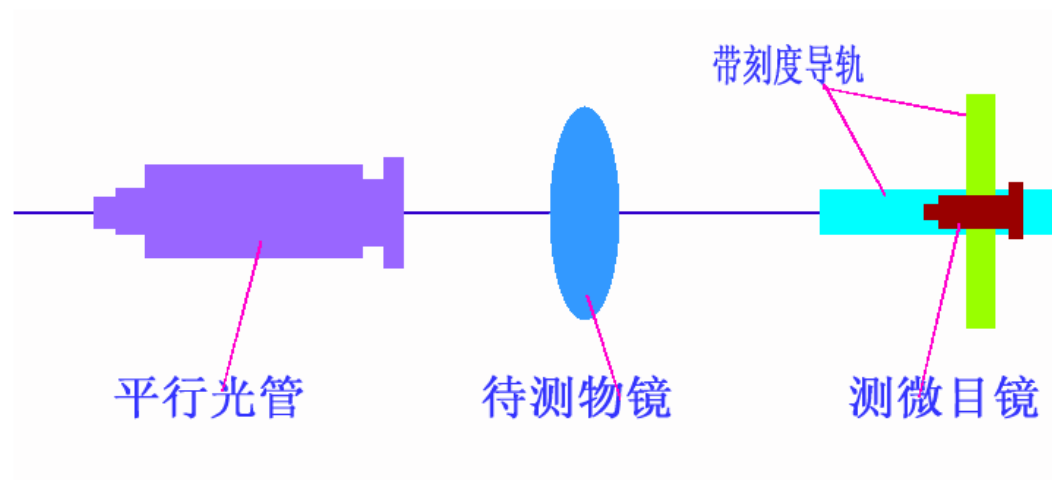
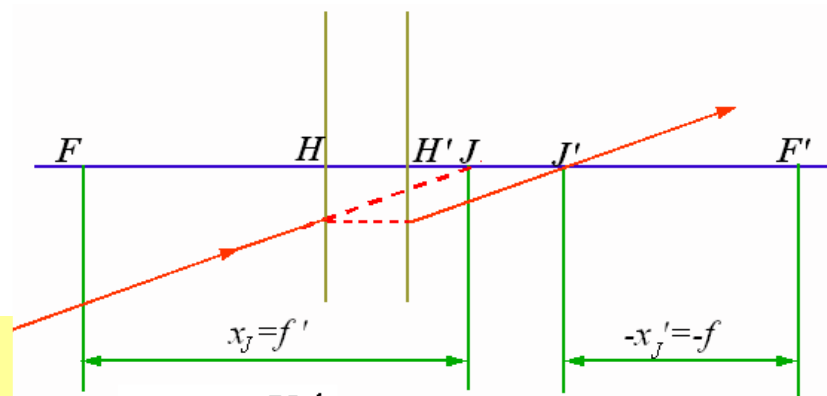
## 第2章 理想光学系统

### ➤ 物像方焦距关系

$$\frac{f'}{f} = -\frac{n'}{n}$$

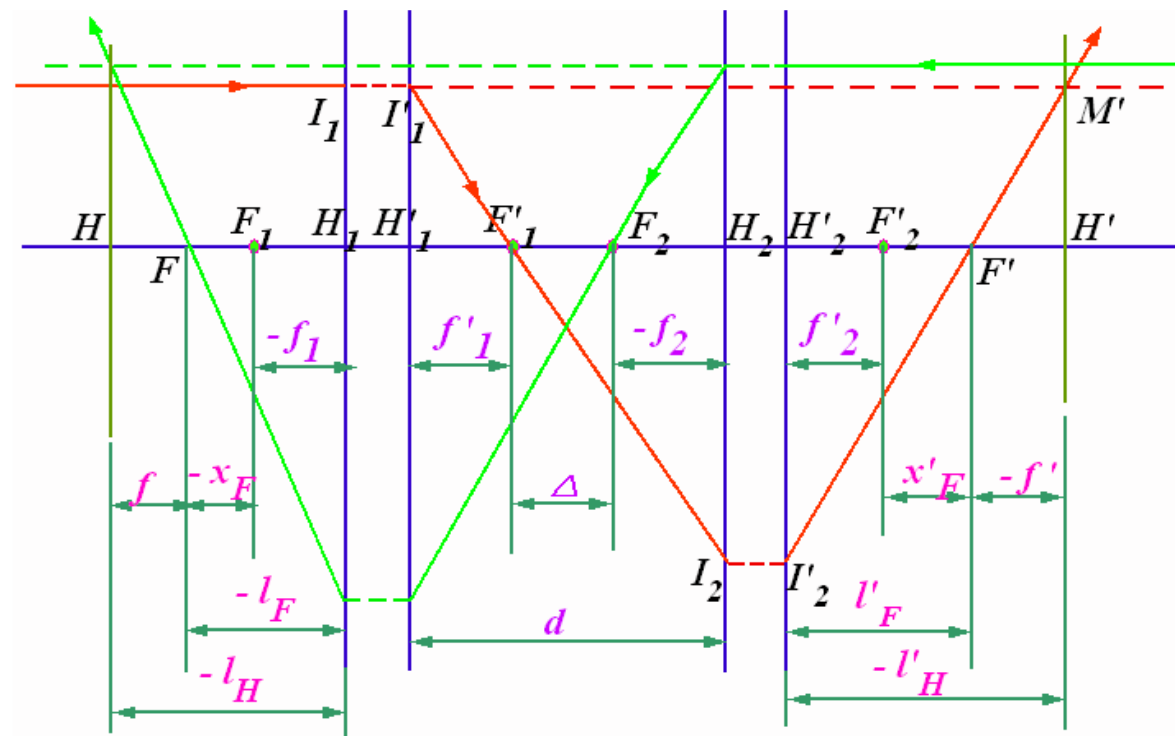
### ➤ 光学系统的节点

$$x_J = f', x'_J = f$$





## ➤ 多光组组合



$$f' = -\frac{f'_1 f'_2}{\Delta}$$

$$f = \frac{f_1 f_2}{\Delta}$$

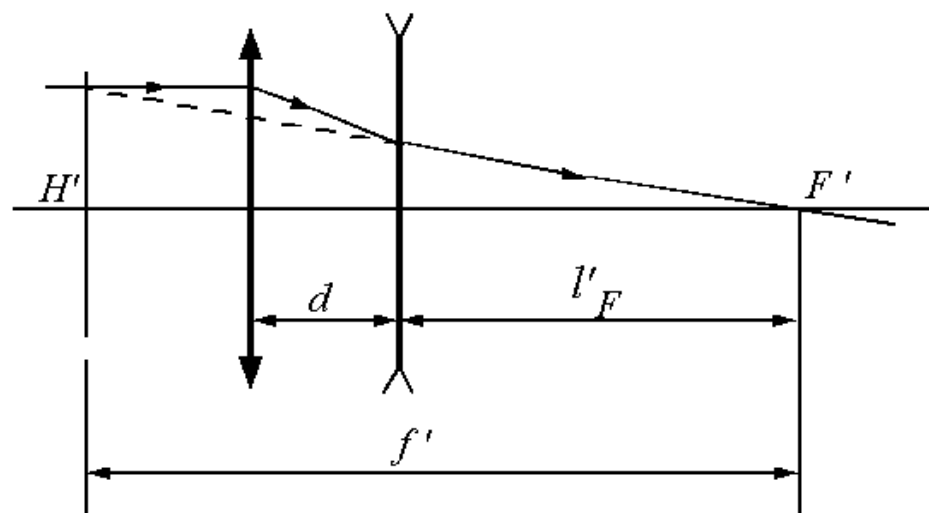
$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 - d\varphi_1\varphi_2$$



## 两种典型的光组组合

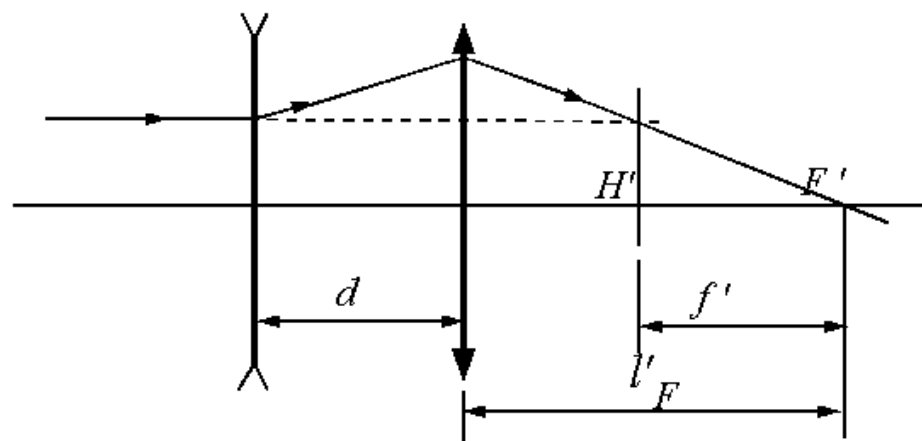
### 1) 远摄物镜

(焦距大于筒长)



### 2) 反远距型物镜

(后截距大于焦距)







## 第3章 平面与平面系统

### ■ 平面镜成像及其旋转

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

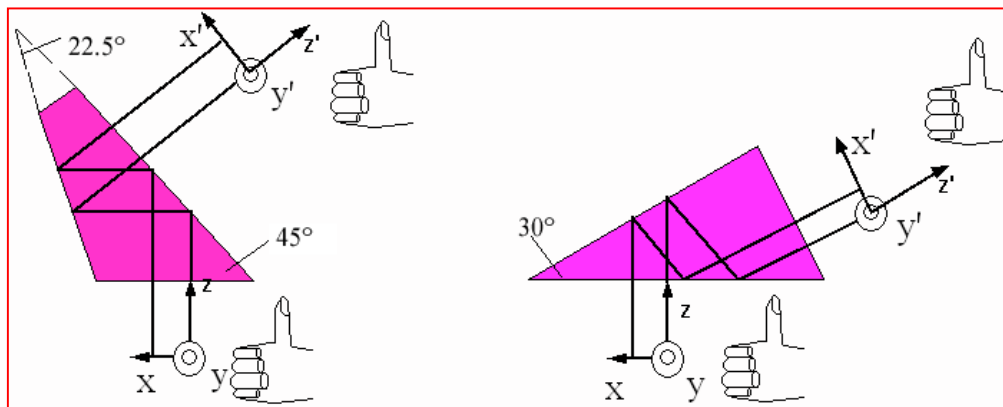
### ■ 平行平板

$$\bar{d} = d/n$$

### ■ 反射棱镜

➤ 作用

➤ 方向判断



### ■ 折射棱镜与光楔

$$\sin \frac{\alpha + \delta_m}{2} = n \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$\delta = \alpha(n - 1)$$

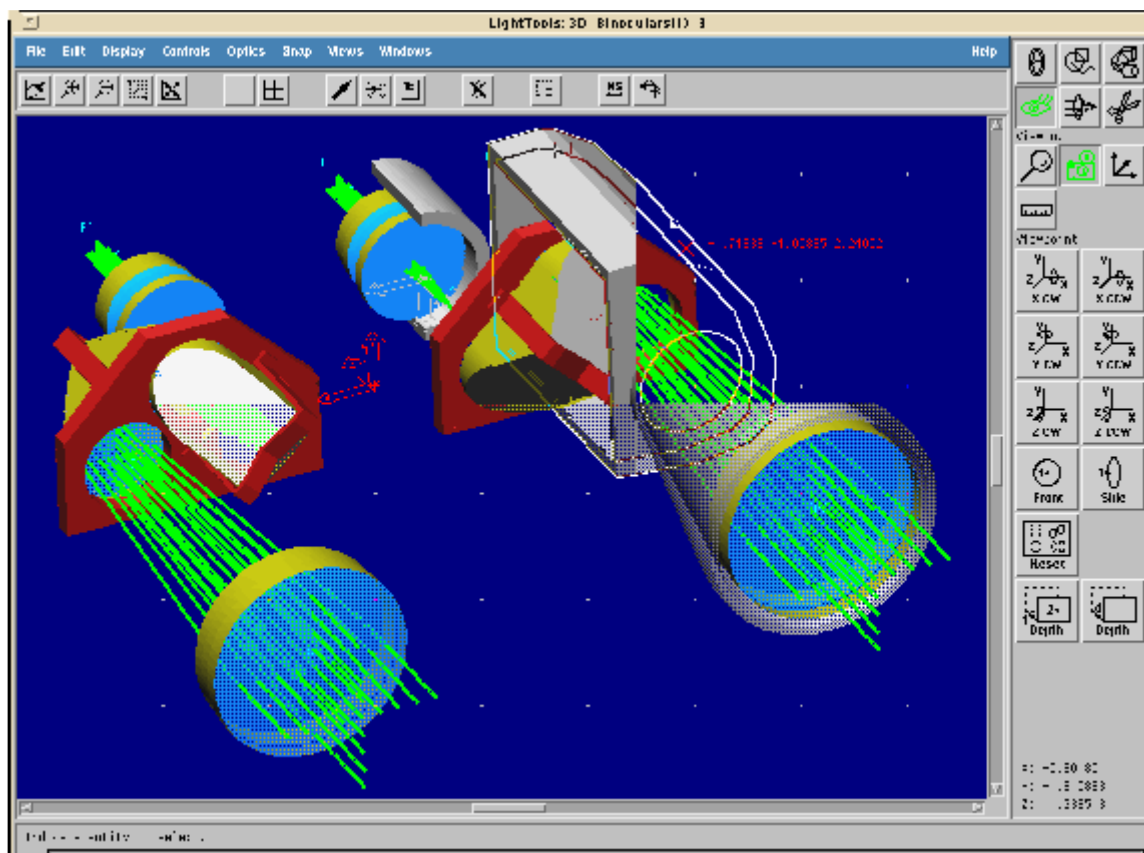


# 引申思考

- 理想
- 现实



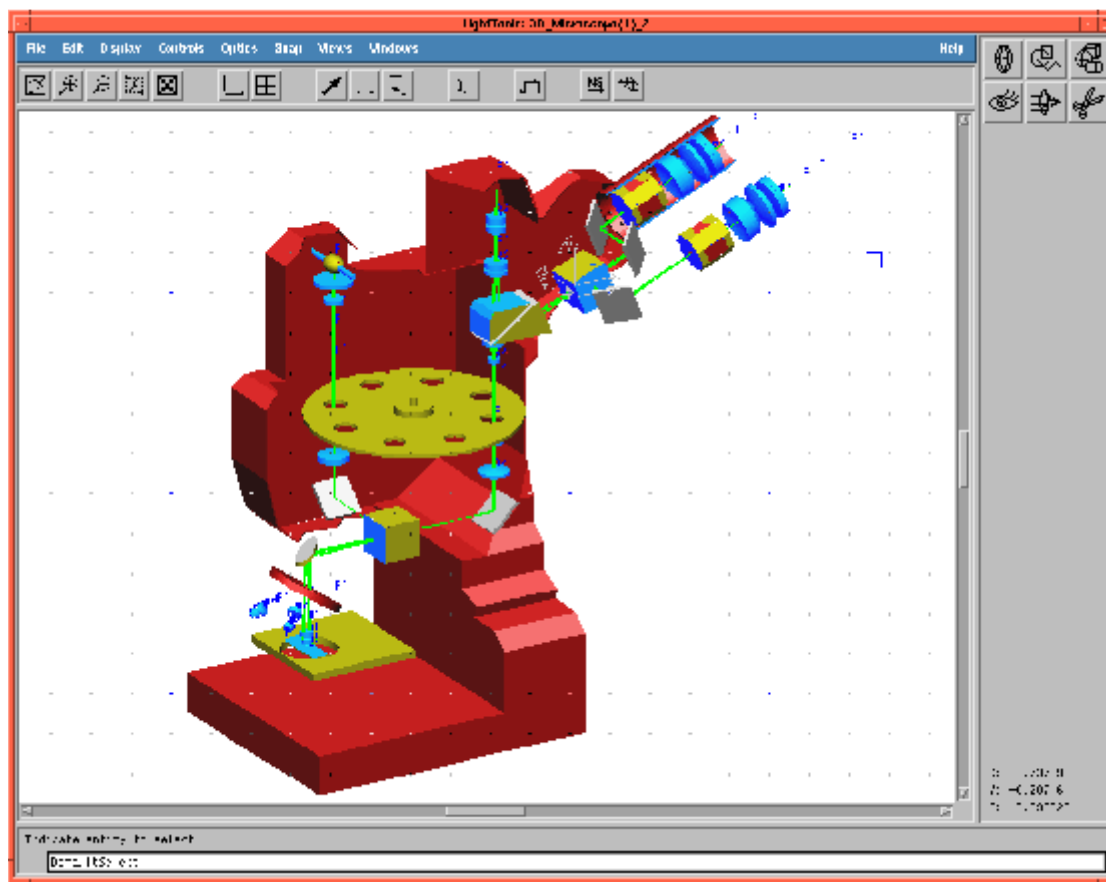
# 《几何光学》理论与实际



- 球面系统  
物镜、目镜
- 平面系统  
折叠光路、倒像
- 光束限制
- 像质评价



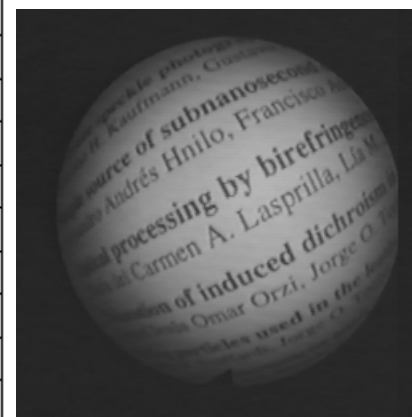
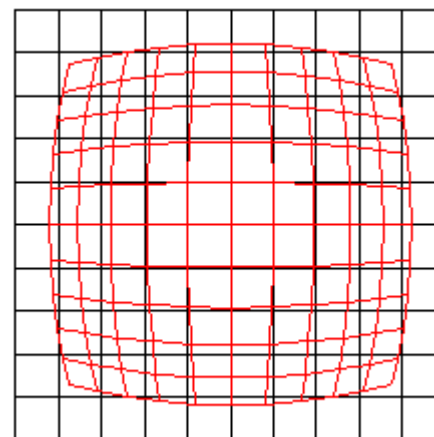
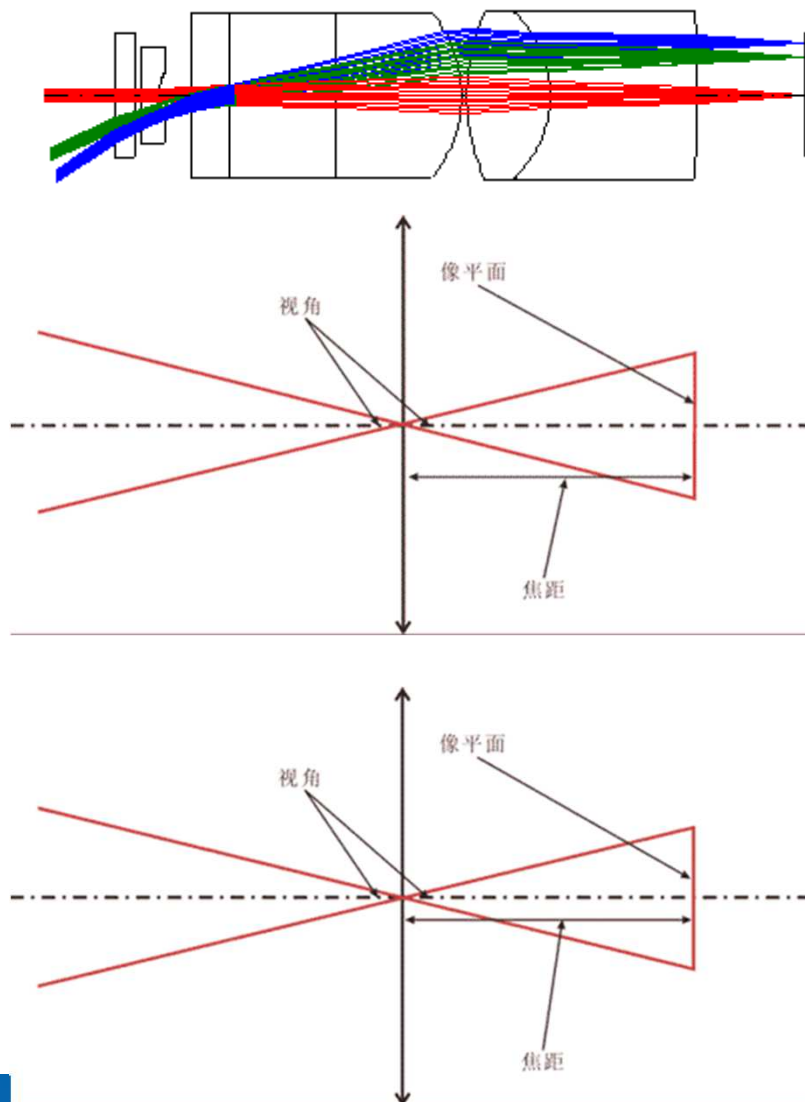
# 《几何光学》理论与实际



- 球面系统  
物镜、目镜
- 平面系统  
折叠光路、倒像
- 光束限制
- 像质评价



# 《几何光学》与工程实践



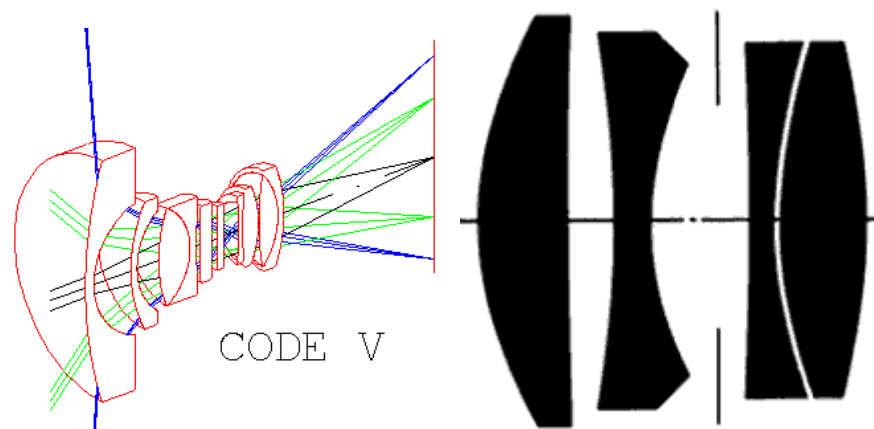
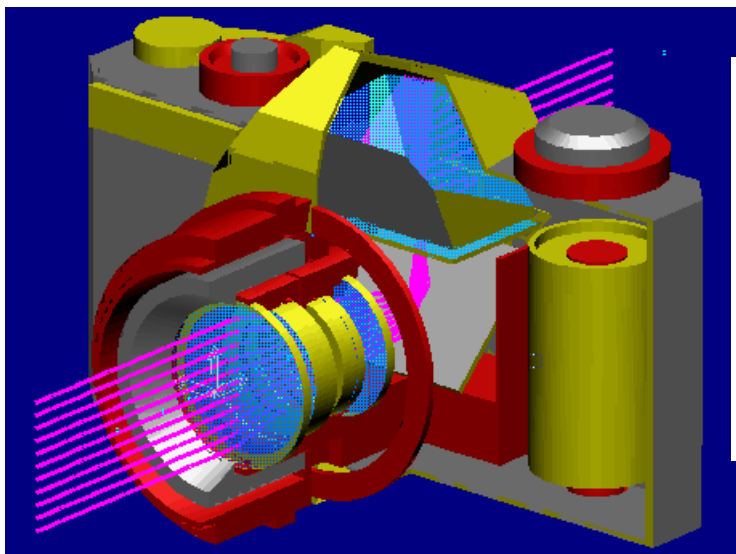
理论：why？

工程：how？

必须改变学习思路



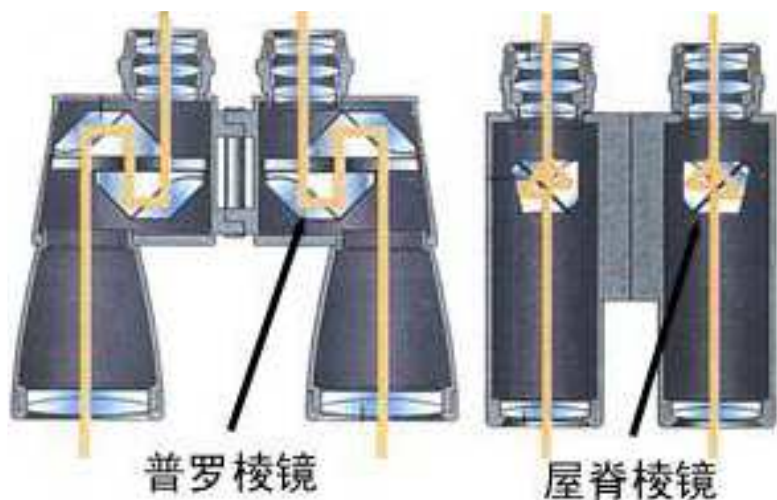
# 《几何光学》与工程实践



- 熟知照相系统的**主要构成**
- 熟知**物镜**的主要参数及其意义、结构形式及其特点，
- 明确**光阑**在照相系统中的作用



# 《几何光学》与工程实践

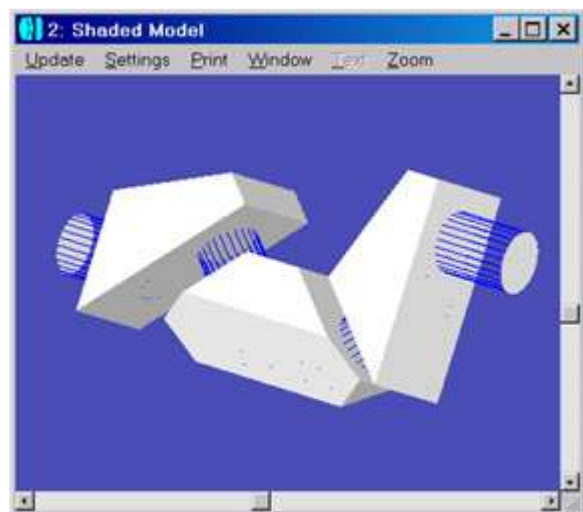
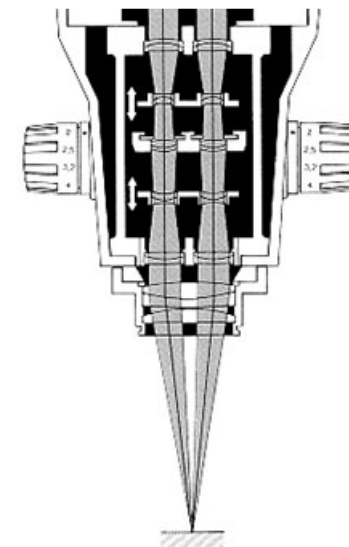


- 熟知各种类型的望远镜；
- 明确球面系统、平面系统以及多种光阑在仪器中的特点和作用





# 《几何光学》与工程实践

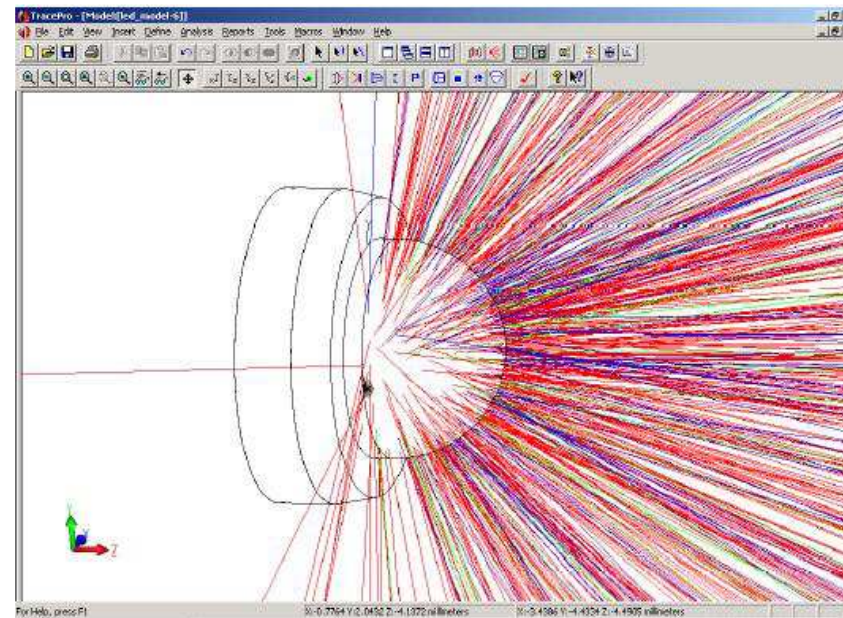
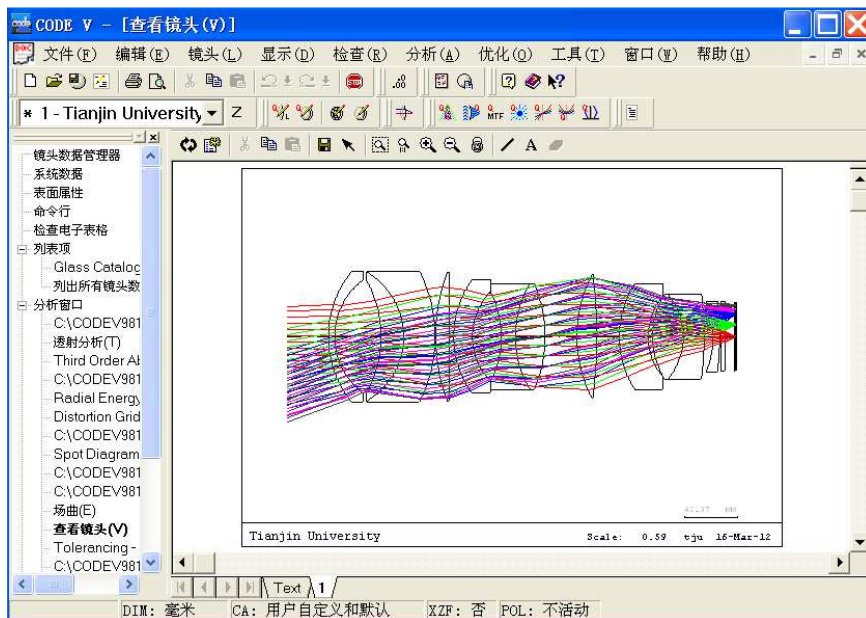


- 熟知各种类型的显微镜；
- 明确球面系统、平面系统以及多种光阑在仪器中的主要作用





# 《几何光学》与工程实践



有过镜头设计经验的专业人员

- 了解系统参数、结构参数的设置；
- 明确优化函数与评价方法的选取；
- 对几何光学的理解会更加透彻。




## 《几何光学》相关资料

- 1, 张以谟主编. 应用光学(第3版). 电子工业出版社, 2008
- 2, Born & Wolf, Principles of Optics [M]. 7th edition, Cambridge University Press, 1999
- 3, Fincham & Freeman, Optics [M]. 9th edition, Cambridge University Press, 1980
- 4, 王之江. 光学设计理论基础[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- 5, 袁旭沧. 现代光学设计方法[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1995.
- 6, Rudolf Kingslake. Lens Design Fundamentals[M]. New York: Academic Press, 1978



踏上信息工程之旅：从工程光学开始！



YES. I CAN!

期中考试日期：2017年4月20日

答疑时间：2017年4月19日下午7-8节



1. 作业：P55 10、12、13、14。

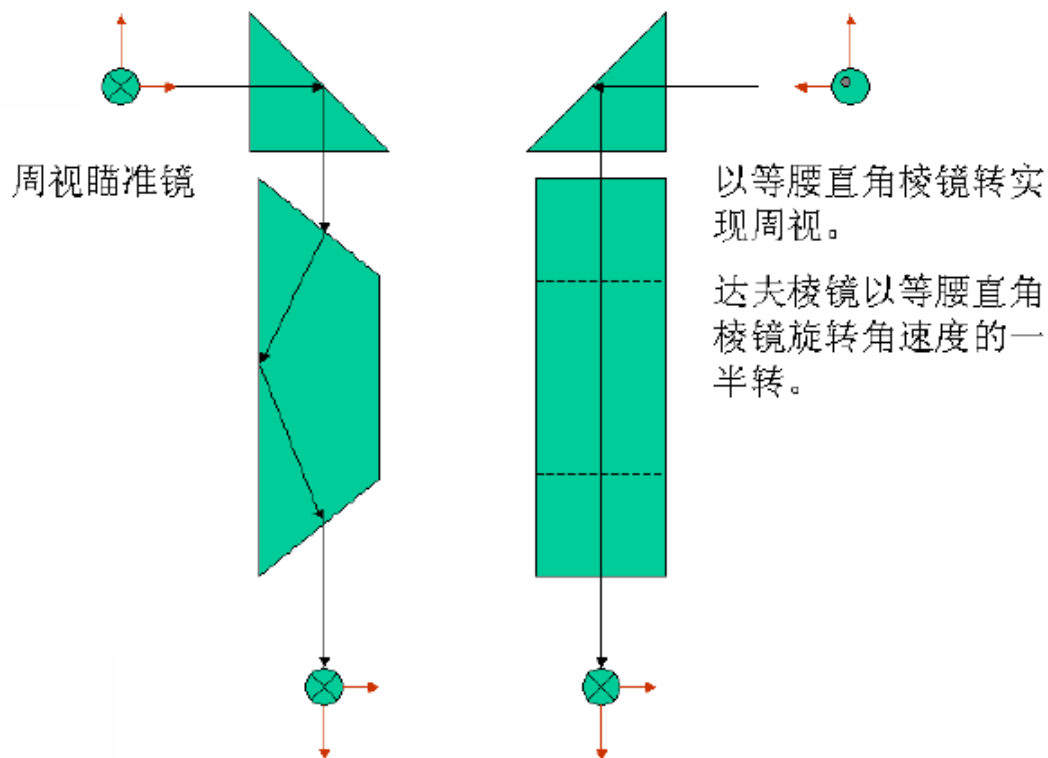




## 试简述潜艇用周视瞄准镜的工作原理

(只限感兴趣同学，提交电子版即可)

周视瞄准镜用等腰直角棱镜和达夫棱镜组成，想一想是怎样实现周视的？



Thank You !

