

## ◆眼睛及其光学系统

## ◆放大镜



## ◆显微镜系统



## ◆望远镜系统



## ◆目镜



## ◆摄影系统，投影系统





# 眼睛及其光学系统

# 一、眼睛的结构

角膜

前房 $n=1.34$

虹膜——孔径光阑

瞳孔  $D=2\sim 8\text{mm}$

晶状体 $n=1.4$ ——透镜

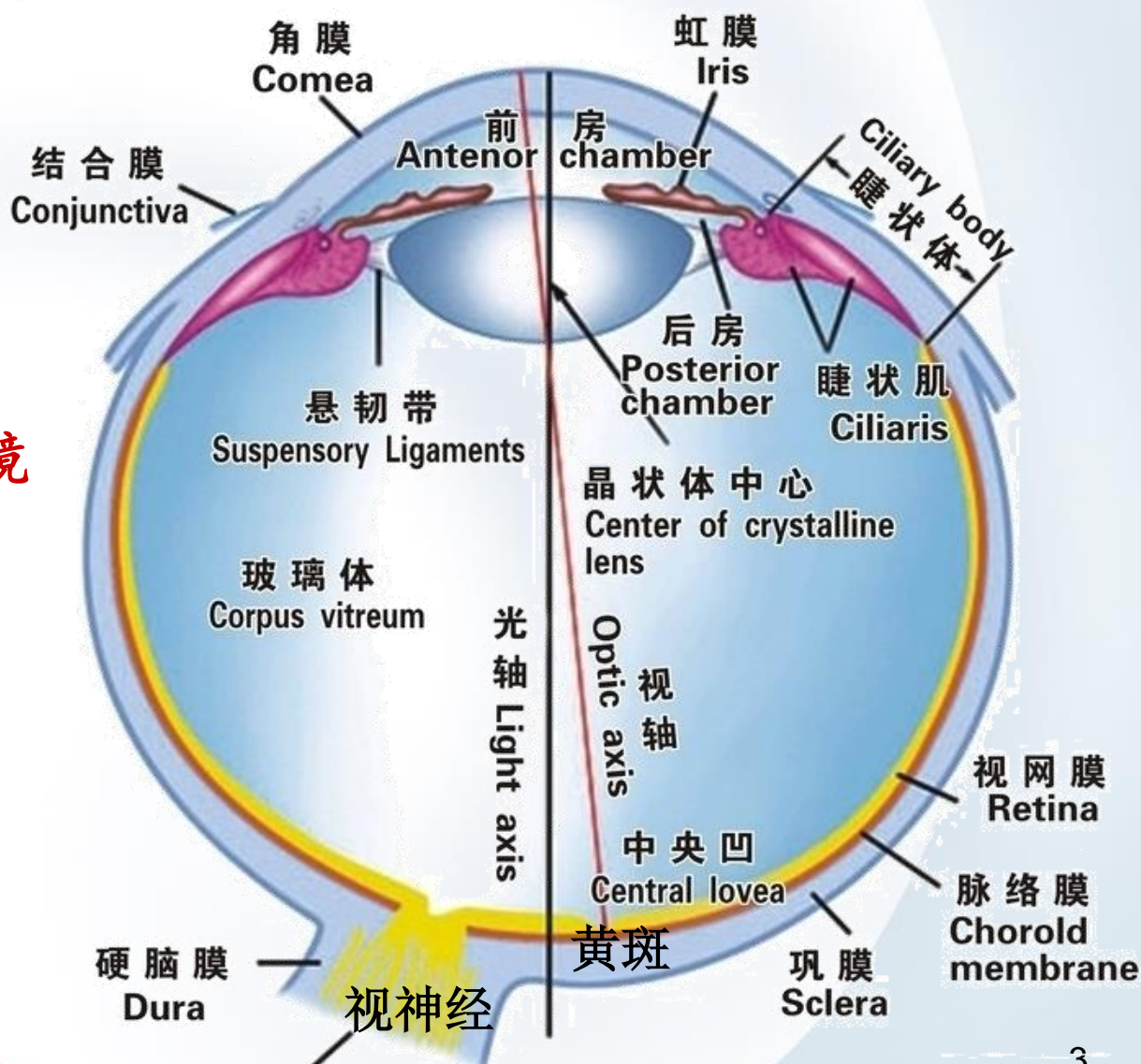
玻璃体 $n=1.34$

视网膜——像面

眼睛焦距:

$f = -14.2\sim -17.1\text{mm}$

$f' = 18.9\sim 22.8\text{mm}$



# 一、眼睛的结构

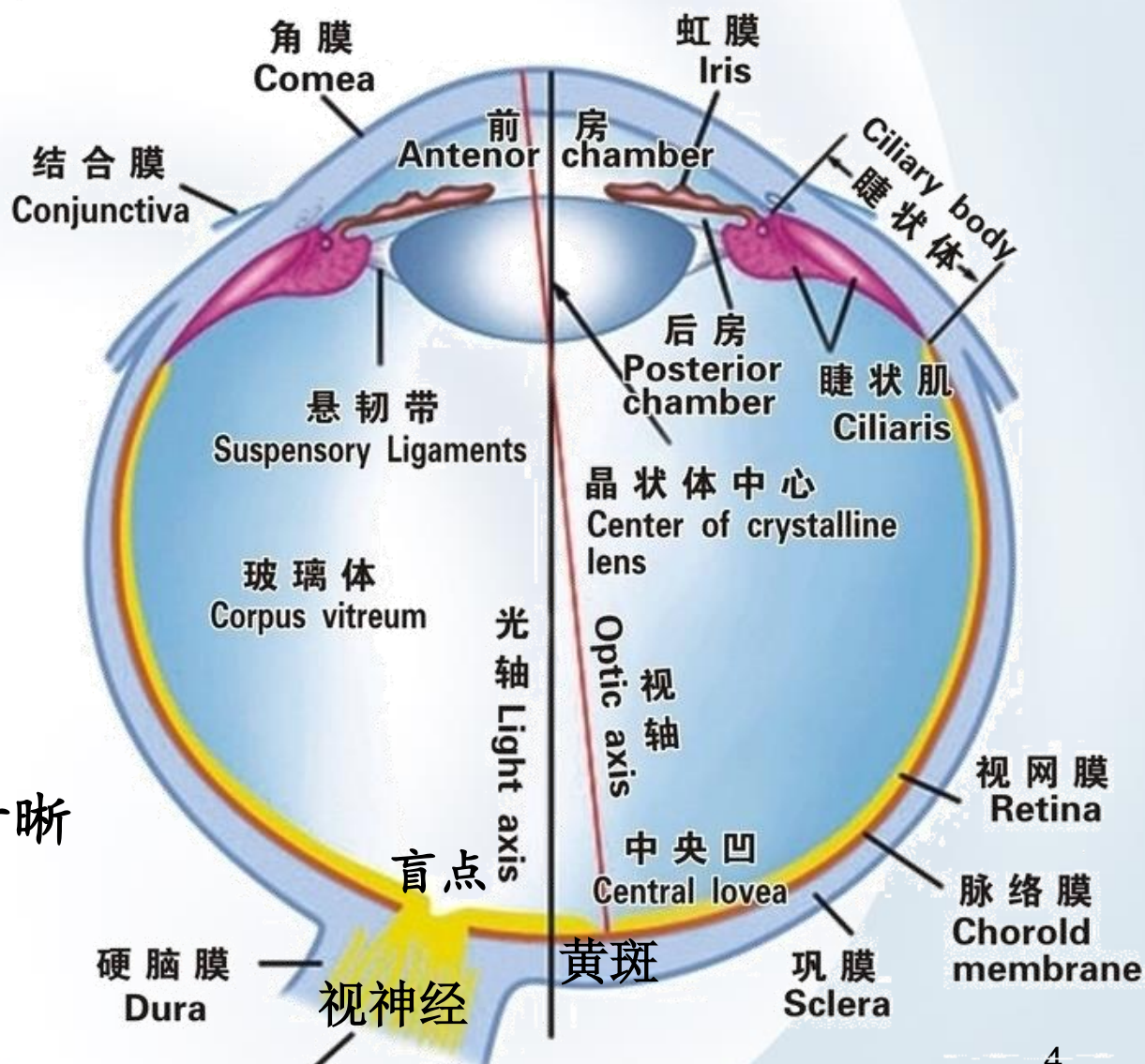
黄斑：光感最灵敏处

中央凹：黄斑中心

视轴：像方节点与中央凹的连线

眼睛视场约 $150^{\circ}$ ，  
视轴周围 $6\sim 8^{\circ}$  成像清晰

盲点

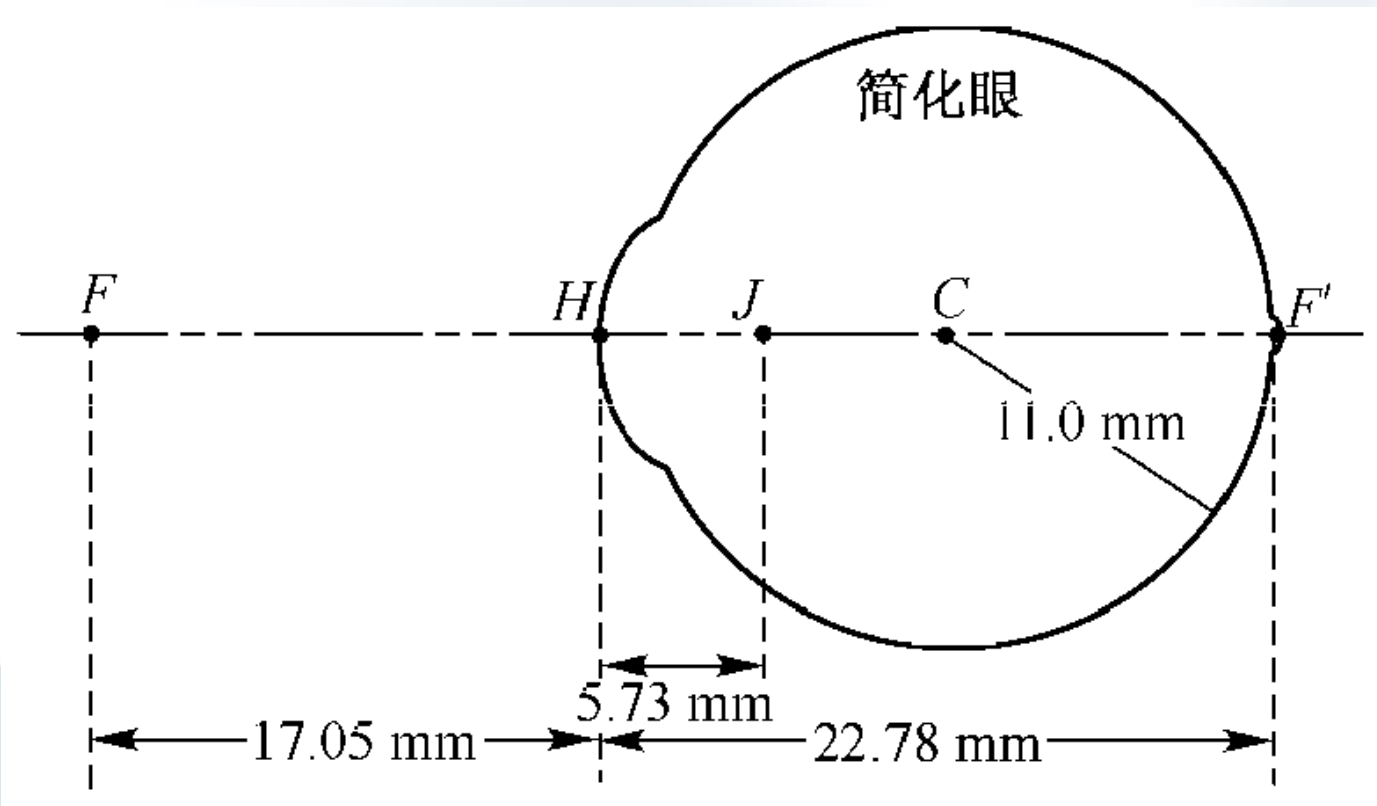




## ◆盲点的测试



## ◆ 简化眼的结构：







## 二. 眼睛的调节

{ 瞳孔调节  
{ 视度调节

◆ **瞳孔调节**：通过虹膜改变瞳孔大小，控制眼睛进光量。瞳孔2mm~8mm。

- **眼睛的适应**：眼睛对周围空间光亮情况的自动适应程度，通过瞳孔的自动增大（**暗适应**）或缩小（**明适应**）完成
  - ✓ 适应要有个过程，最长可达30min。
  - ✓ 眼睛能感受的光亮变化非常大，可达 $10^{12}:1$



## 二. 眼睛的调节

◆ **视度调节**：眼睛通过控制晶状体曲率、对任意距离物体自动调焦的过程

➤ **视度**：表示人眼调节的程度，将与视网膜共轭的物面到眼睛的距离的倒数称为视度，用SD表示

$$SD = \frac{1}{l}$$

✓ 距离  $l$  单位为 m；  $SD$  有正负，单位为屈光度 D

✓ 观察眼前方 2m 处物体时， $l = -2$ ， $SD = -0.5$

✓ 视度绝对值越大，调节量越大





## 二. 眼睛的调节

- 眼睛清晰调焦的最远距离为远点距离  $l_r$ ，最近距离为近点距离  $l_p$ 。

$$R = \frac{1}{l_r} \text{ 远点发散度 (或会聚度), 单位: 屈光度 (D)}$$

$$P = \frac{1}{l_p} \text{ 近点发散度 (或会聚度)}$$

- 眼睛调节能力:  $\bar{A} = R - P = \frac{1}{l_r} - \frac{1}{l_p}$



## 二. 眼睛的调节

➤ 眼睛调节能力随年龄的变化：

正负值表示什么？

年龄	10	20	30	40	45	50	60	70	80
$L_p(m)$	-0.07	-0.10	-0.143	-0.222	-0.286	-0.40	-2.0	1.0	0.40
P(D)	-14	-10	-7	-4.5	-3.5	-2.5	-0.5	1	2.5
$l_r(m)$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	2.00	0.80	0.40
R(D)	0	0	0	0	0	0	0.5	1.25	2.5
A	14	10	7	4.5	3.5	2.5	1	0.25	0

➤ 明视距离：正常眼在阅读时，或眼睛通过目视光学仪器观测物像时，为了工作舒适，习惯上把物或像置于眼前250mm处，称此距离为明视距离。



### 三、眼睛的分辨率

◆ **眼睛分辨率**：眼睛刚能分辨的两物点在视网膜上成像点之间的距离

➤ 与视网膜上视神经细胞大小有关

◆ 视网膜是由**锥状细胞**和**杆状细胞**组成的辐射接收器

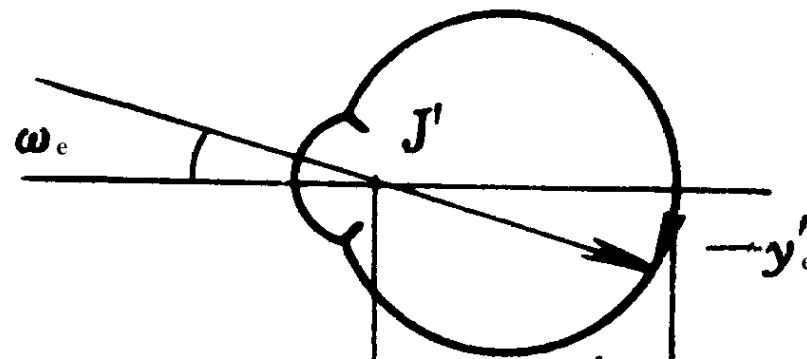
➤ **杆状细胞**——感光极敏感，但完全不感色；

➤ **锥状细胞**——感光能力较差；

决定了分辨颜色的能力，色视觉。

◆ 黄斑上视神经细胞直径 $0.001\sim 0.003\text{mm}$ ，一般取 $0.006\text{ mm}$ 为人眼分辨率。

### 三、眼睛的分辨率



➤ **视角鉴别率  $\omega_{\min}$** ：照明良好时人眼刚能分辨的两物点对眼睛的张角

✓ (**视角**：物体对人眼的张角)

$$y' = f \tan \omega = 0.006mm$$

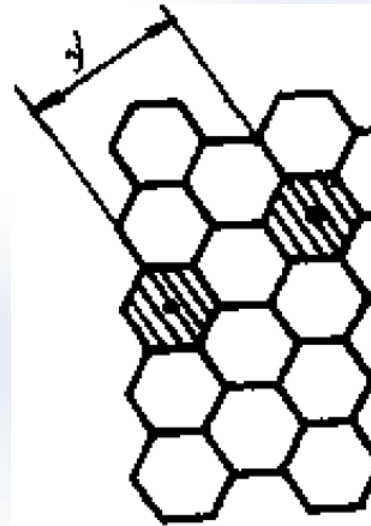
$$\omega = \arctan\left(\frac{0.006}{f}\right) \times \frac{180 \times 60 \times 60}{\pi} (")$$

人眼放松状态下,  $f \approx -16.68mm$ ,  $\omega \approx 60''$

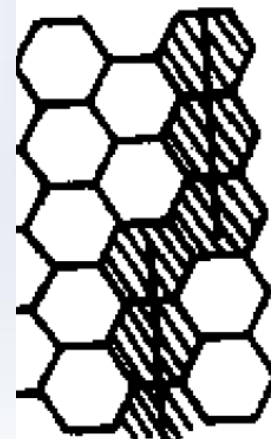
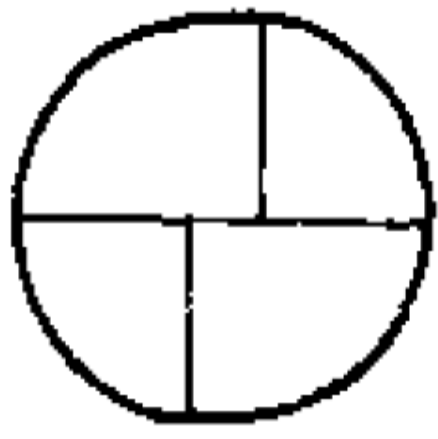


### 三、眼睛的分辨率

$\omega \approx 60''$ : 对两物点的分辨率



观察两条平行直线，视角分辨率  $\omega_{\min}$  可提高到  $10''$





## 四、眼睛的缺陷及校正

- **正常眼**：眼睛的像方焦点 $F'$ 与视网膜重合；远点位于人眼前无限远处。
- **近视眼**：眼睛的像方焦点 $F'$ 位于视网膜前方；远点位于人眼前有限距离处。
- **远视眼**：眼睛的像方焦点 $F'$ 位于视网膜后方；远点位于人眼后有限距离处。

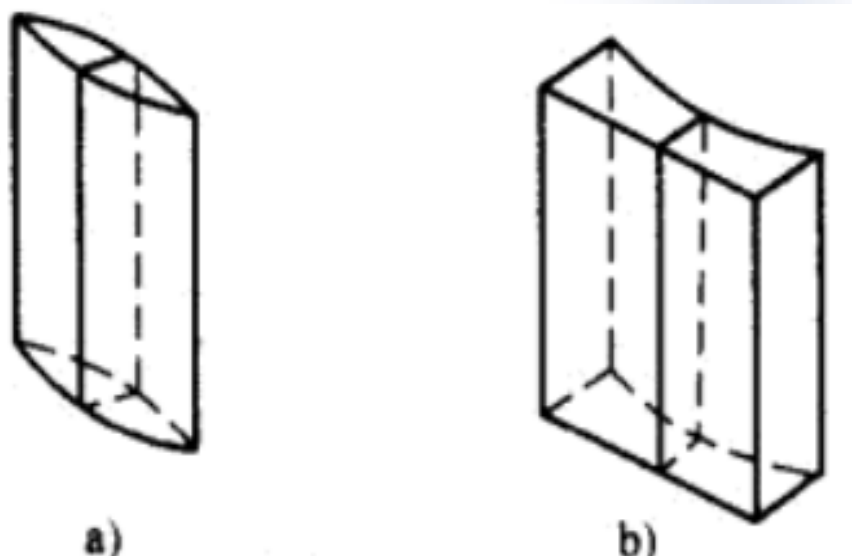
用远点距离 $l_r$ （单位m）的倒数表示**近视眼或远视眼的程度**，单位为屈光度（D）。1D称为100度





➤ **散光**：若晶状体两表面不对称，则使细光束的两个主截面的光线不交于一点，即两主截面的远点距也不相同，视度 $R_1 \neq R_2$ ，其差作为人眼的散光度 $A_{ST}$ ：

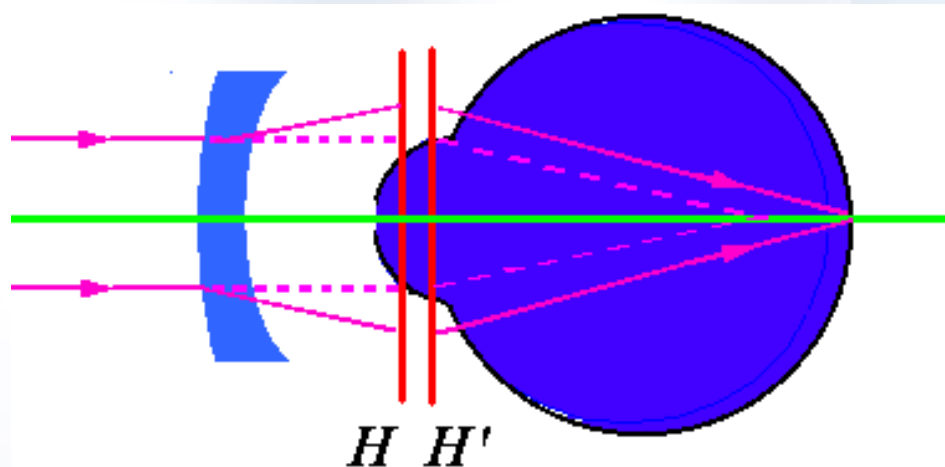
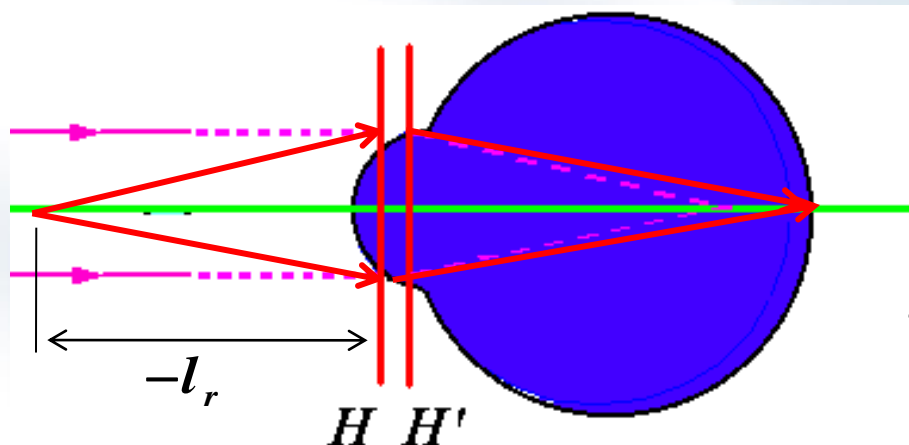
$$A_{ST} = R_1 - R_2$$



## 1) 近视眼及其校正

在眼前面加凹透镜，其焦距大小恰能使其后焦点F'与远点重合，即

$$f' = l_r$$

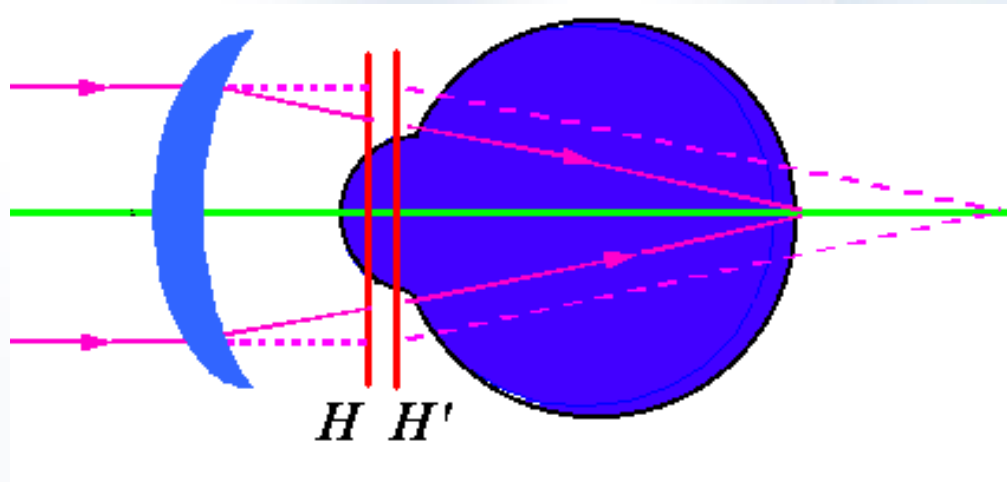
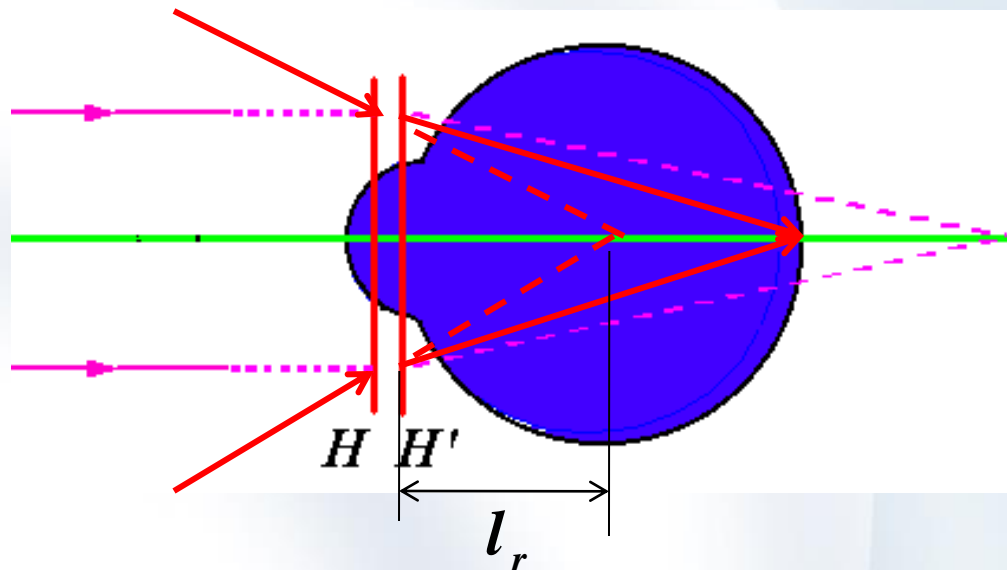


一学生带**500度**近视镜，则该近视镜的焦距为 **-0.2m**  
该学生裸眼所能看清的最远距离为 **眼前0.2m**。

## 2) 远视眼及其校正:

在眼前面加凸透镜，  
其焦距大小恰能使其  
后焦点F' 与远点重  
合，即

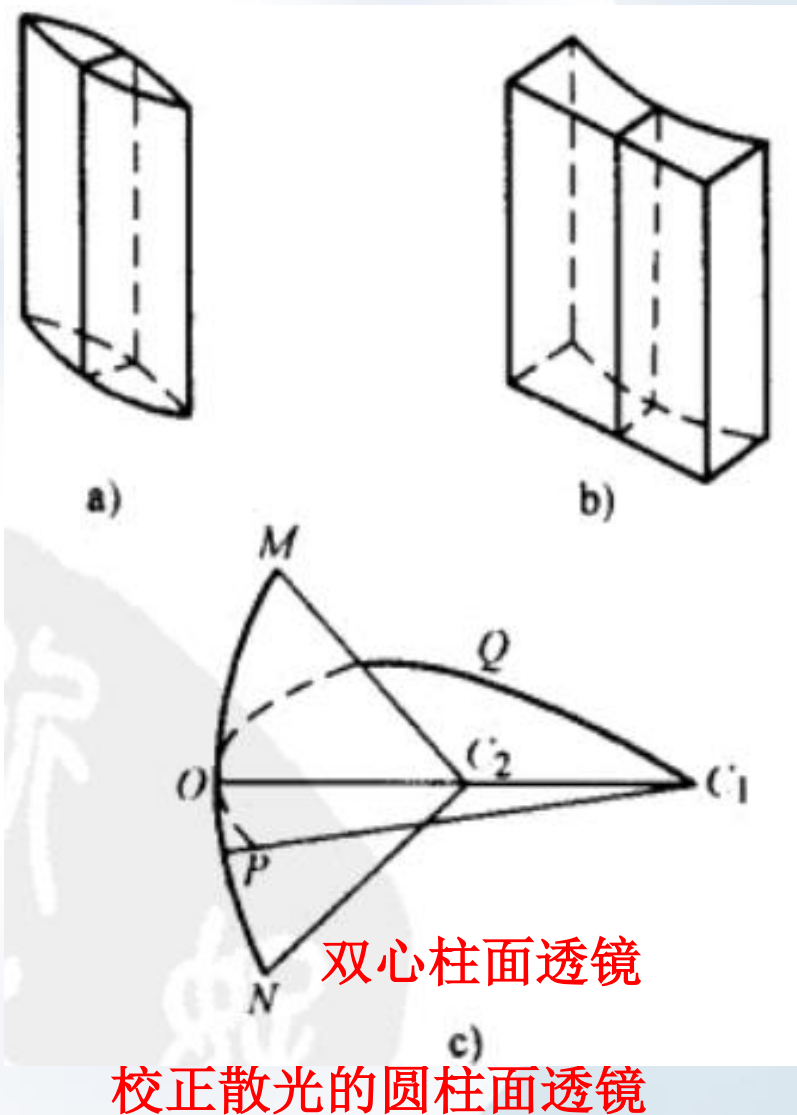
$$f' = l_r$$



### 3) 散光的校正:

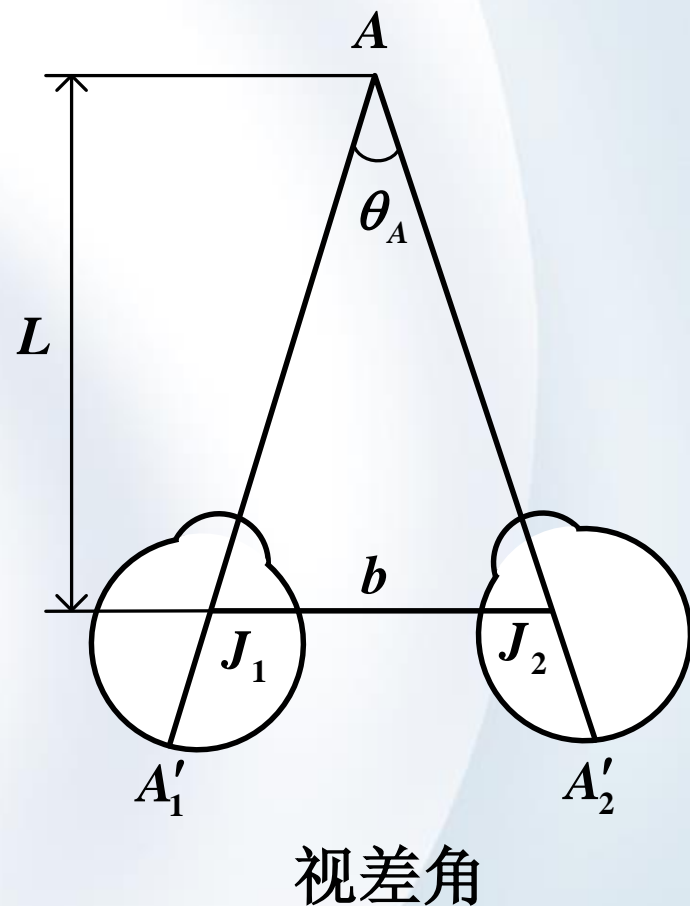
晶状体两表面不对称, 则使细光束的两个主截面的光线不交于一点, 即两主截面的远点距也不相同, 视度 $R_1 \neq R_2$

用柱面或双心柱面透镜校正



## 五、空间深度感觉和双眼立体视觉

- 双目立体视觉：判断距离
- 两眼**视轴**对准A点，两视轴之间夹角 $\theta_A$ 称为**视差角**；
- 物距L不同，视差角不同，眼球肌肉紧张程度不同，辨别物体远近
- **视觉基线**：两眼节点 $J_1$ 和 $J_2$ 连线，长度为b
- **视差角**： $\theta_A = b / L$

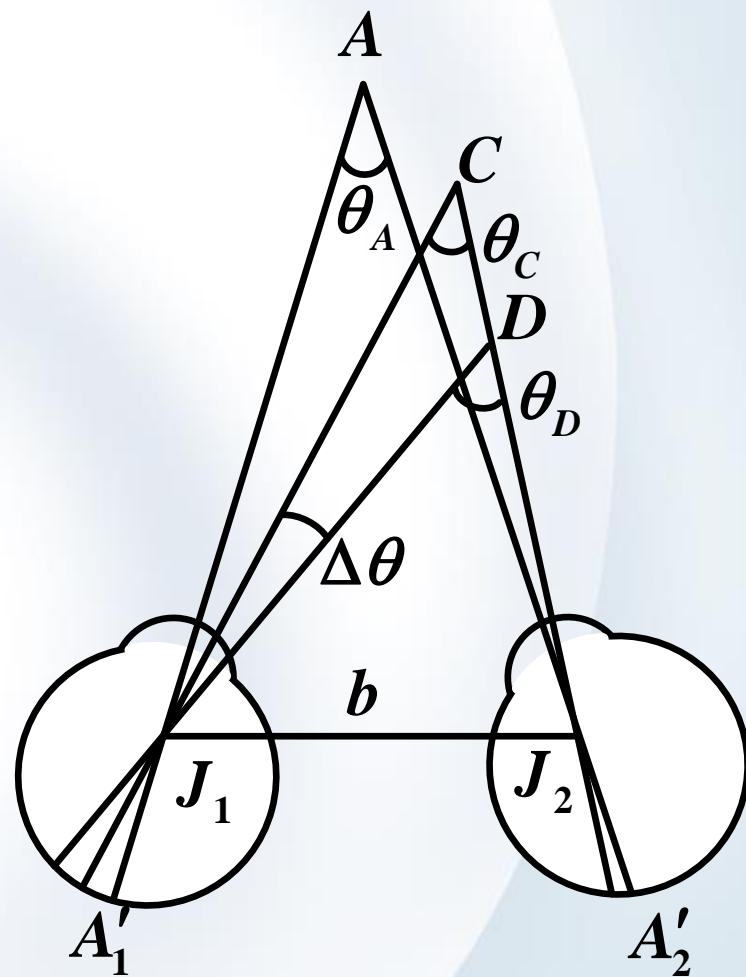


- ✓ 不同距离的物体对应不同视差角，其差异 $\Delta\theta$ 称为**立体视差**，简称**视差**

$$\Delta\theta = \theta_D - \theta_C$$

- ✓ 人眼能感觉到 $\Delta\theta$ 的极限值 $\Delta\theta_{\min}$ 称为**体视锐度**，

$$\Delta\theta_{\min} \approx 10''$$



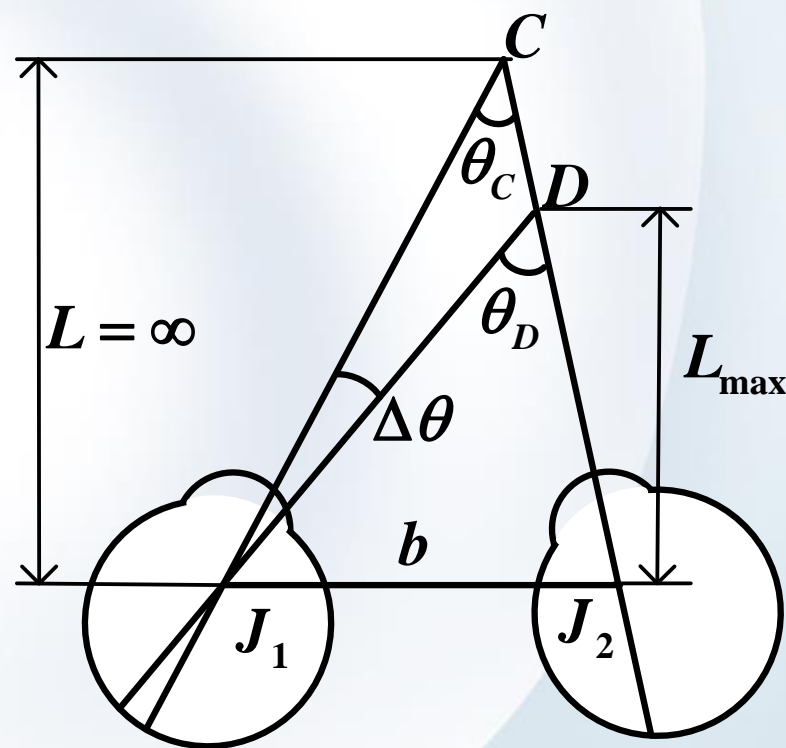


- ✓ 物体在无限远时视差角 $\theta = 0$ ，另在某一有限距离 $L_{max}$ 处 $\theta = 10''$ ，则两者的立体视差角 $\Delta\theta = 10'' = \Delta\theta_{min}$ ，人眼能分辨距离 $L_{max}$ 处与无穷远的距离差别，且 $L_{max}$ 为人眼能分辨远近的最大距离，叫做**立体视觉半径**

$$L_{max} = \frac{b}{\Delta\theta_{min}}$$

$b$ 取62mm  $\Rightarrow$

$$L_{max} = \frac{62mm}{\pi \frac{10''}{180 \times 60 \times 60}} \approx 1200m$$



► 立体视觉阈 $\Delta L$ : 双眼能分辨两点间的最短深度距离

$$\theta_A = \frac{b}{L} \Rightarrow \Delta L = \frac{\Delta\theta L^2}{b}$$

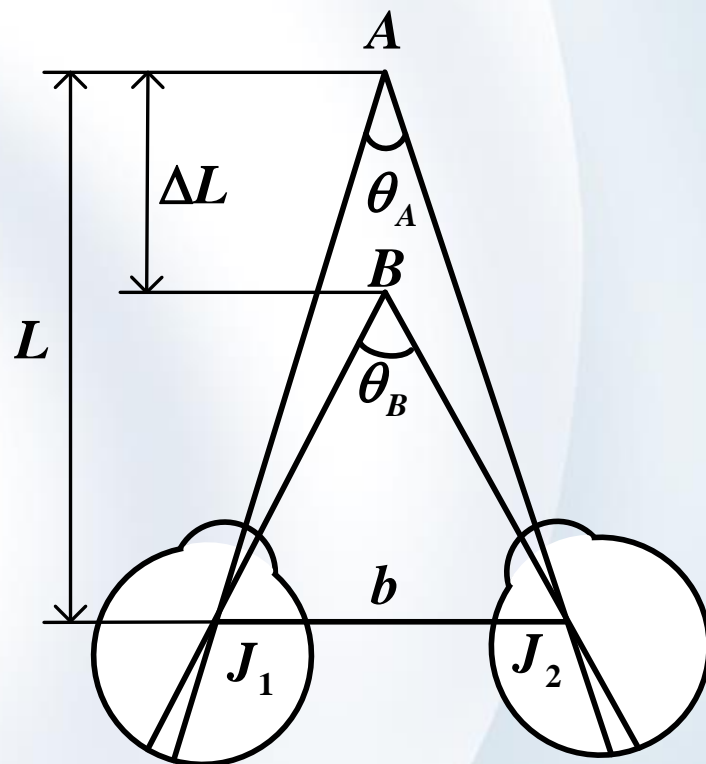
$$b = 62\text{mm}, \Delta\theta_{\min} = 10'' = 0.00005$$

$$\Rightarrow \Delta L = 8 \times 10^{-4} L^2$$

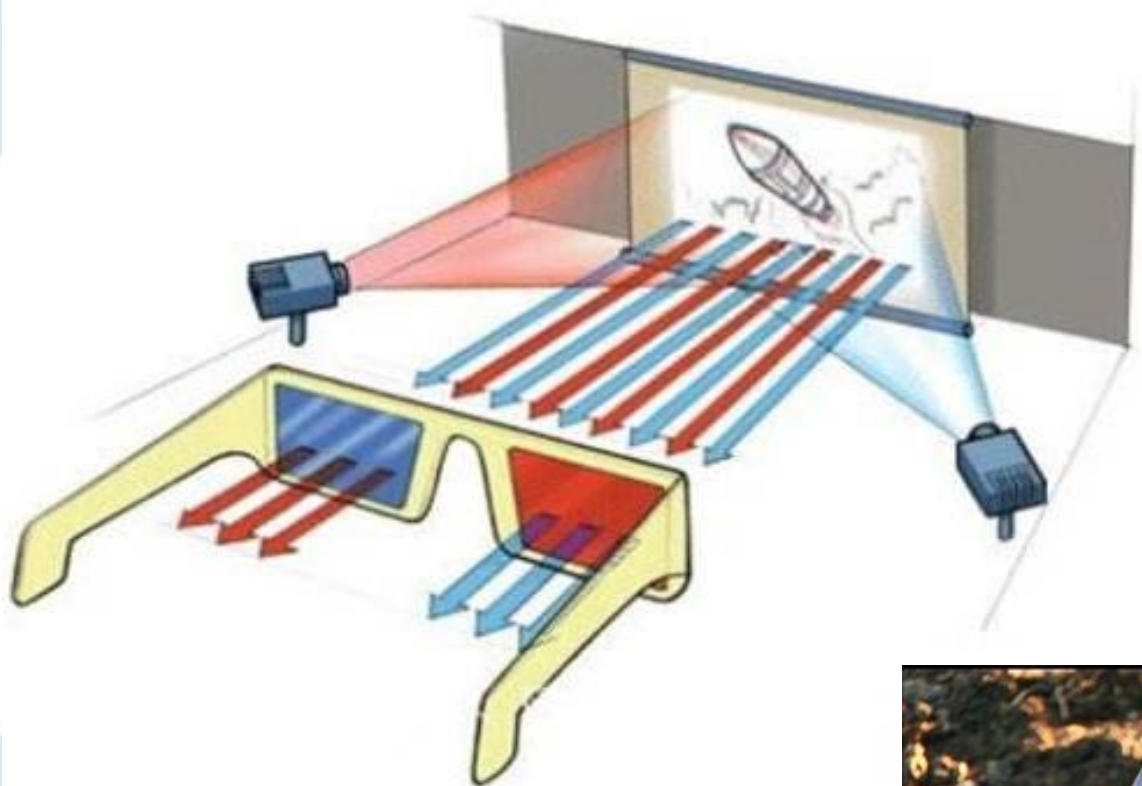
$$L = 100\text{m}, \Delta L = 8\text{m}$$

$$L = 0.25\text{m}, \Delta L = 0.05\text{mm}$$

若通过双目光学系统（双目望远镜、双目显微镜）来增大基线 $b$ 或减少 $\Delta\theta_{\min}$ ，则可以增大体视半径和减少立体视觉误差。

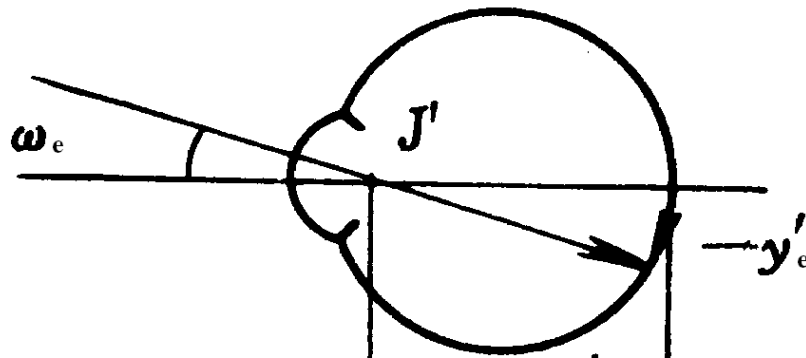


# 3D电影



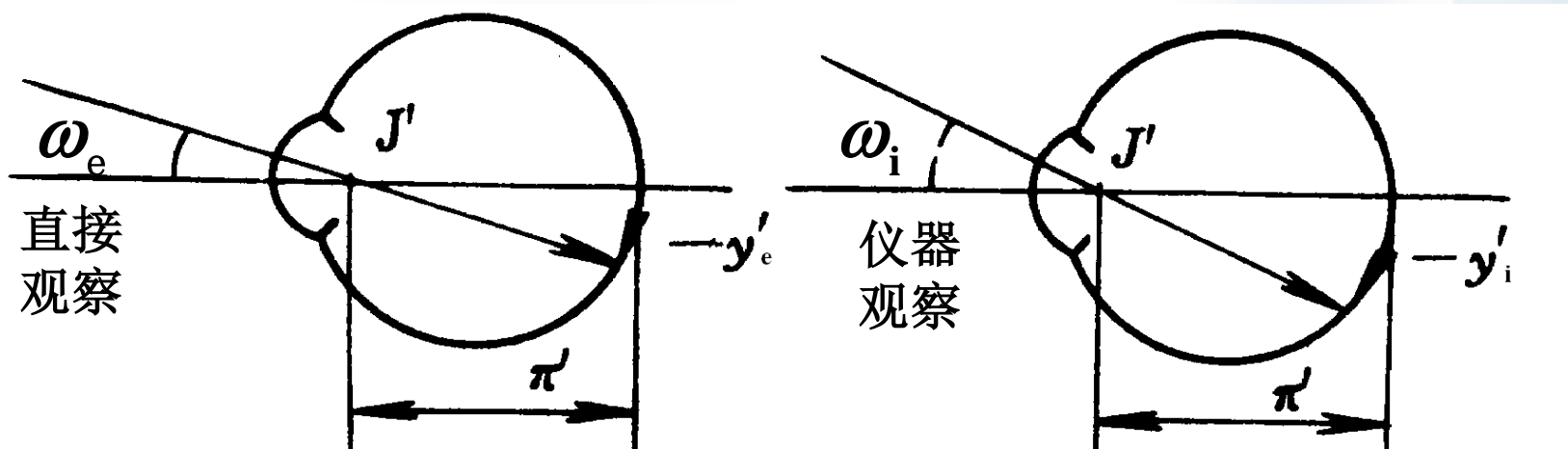


## 六、目视光学仪器的基本工作原理



- ◆ 物体通过目视光学仪器后，其像对人眼的张角大于人眼直接观察物体时对人眼的张角。
- ◆ 目视光学仪器的放大率用**视觉放大率**表示。

## ◆ 目视光学仪器的视觉放大率：



$\pi'$ ：人眼像方节点到视网膜的距离

视觉放大率：
$$\Gamma = \frac{y'_i}{y'_e} = \frac{\pi' \tan \omega_i}{\pi' \tan \omega_e} = \frac{\tan \omega_i}{\tan \omega_e}$$

$y'_i$ ：通过仪器观察时视网膜上的像高

$y'_e$ ：直接观察时视网膜上的像高



## ◆对目视光学仪器的要求：

1) 扩大视角

2) 成像在无限远（出射平行光）  
或成像在明视距离处

以下按目视光学仪器成像在无限远处分析





- ◆ 生理医学研究表明，人眼的瞳孔直径可以根据外界的光照度进行调节，其调节范围通常为 C。  
A. 2~15mm    B. 0.5~8mm    C. 2~8mm    D. 1~10mm
  
- ◆ 200 度的近视眼，应该佩戴的眼镜的焦距为 (C)  
A. -200 mm  
B. 200 mm  
C. -500 mm  
D. 500 mm
  
- ◆ 一个人近视程度是-2D，眼睛的调节范围是8D，则此人的近点距离是： C  
A. -0.5m    B. -0.125m    C. -0.1m    D. -0.17m

◆ 小明是一名大三的学生，他的近视程度是-2D（屈光度），调节范围是8D，求：

- (1) 远点距离；（2分）
- (2) 其近点距离；（2分）
- (3) 配戴100度近视镜，求该镜的焦距；（2分）
- (4) 戴上该近视镜后，求看清的远点距离；（3分）
- (5) 戴上该近视镜后，求看清的近点距离。（3分）

解：..... ①  $R = \frac{1}{l_r} = -2 \cdots (1/m) \leftarrow$

.....  $\therefore l_r = -0.5m \text{ (2分)} \leftarrow$

②  $A = R - P, \cdot A = 8D, R = -2D \leftarrow$

.....  $\therefore P = R - A = -2 - 8 = -10D \leftarrow$

.....  $l_p = \frac{1}{P} = -\frac{1}{10} = -0.1m \cdots (2分) \leftarrow$

③  $D = \frac{1}{f'} \cdots \therefore f' = -1m \text{ (2分)} \leftarrow$

④  $R' = R - D = -1D \leftarrow$

.....  $l'_R = -1m \text{ (2分)} \leftarrow$

⑤  $A = R' - P', \cdot A = 8D, \cdot R' = -1D \leftarrow$

$\leftarrow$

$P' = R' - A = -9D \leftarrow$

.....  $l'_P = -\frac{1}{9} = -0.11m \text{ (2分)} \leftarrow$



## 二、放大鏡

通过放大镜观察物体时，  
虚像对人眼的张角为  $\omega'$

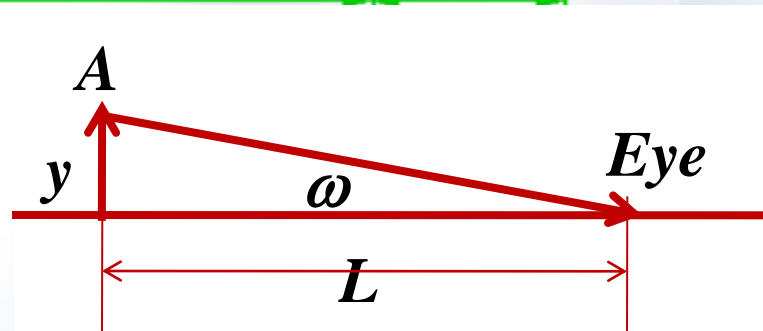
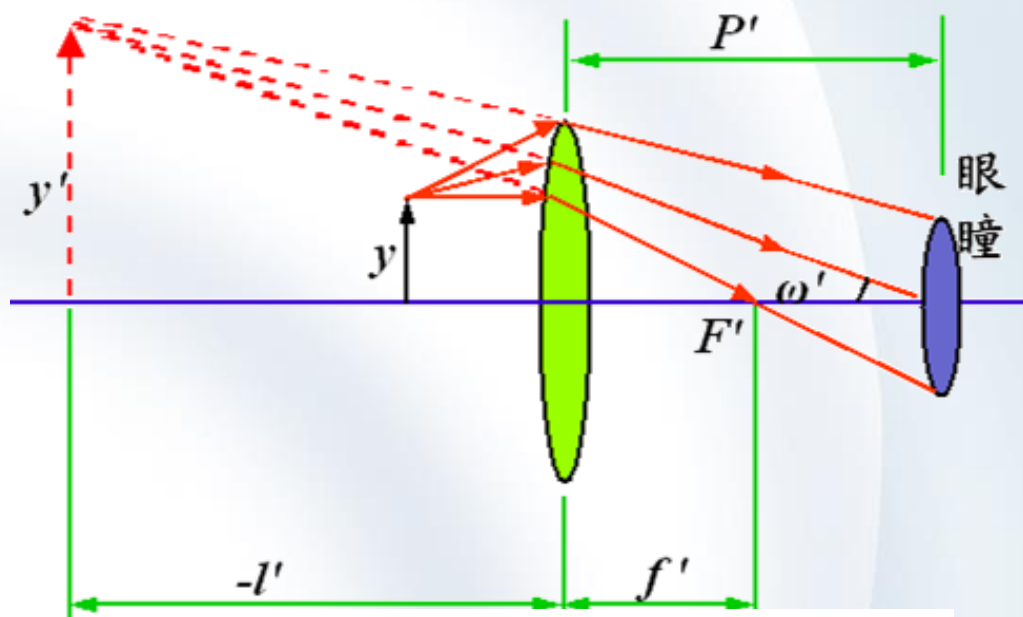
$$\tan \omega' = \frac{y'}{P' - l'}$$

直接观察时:  $\tan \omega = \frac{y}{L_{\text{明}}}$

$$\Gamma = \frac{\tan \omega'}{\tan \omega} = \frac{y' L_{\text{明}}}{y(P' - l')}$$

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

$$\Rightarrow \Gamma = \frac{f' - l'}{P' - l'} \times \frac{L_{\text{明}}}{f'}$$



## ◆ 讨论:

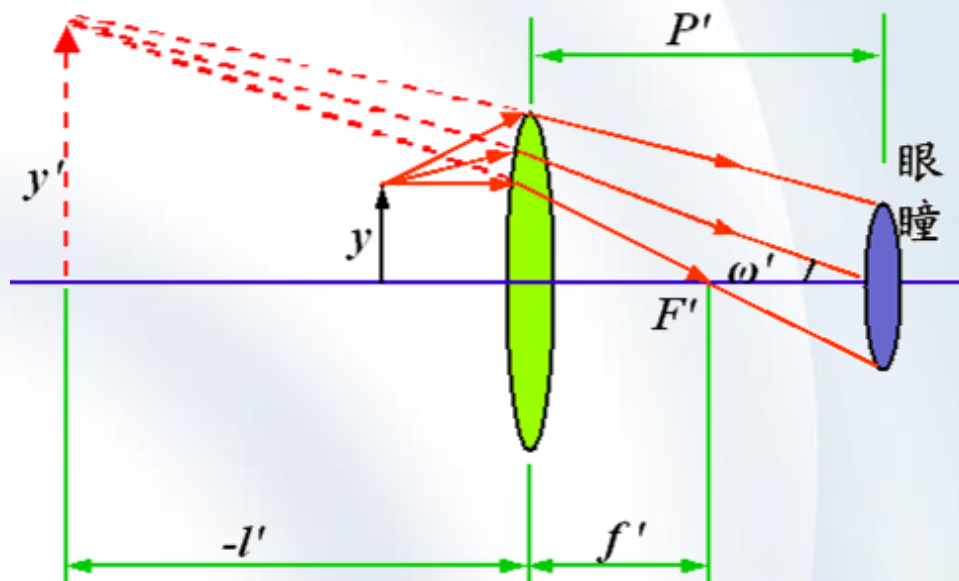
$$\Gamma = \frac{f' - l'}{P' - l'} \times \frac{L_{\text{明}}}{f'}$$

➤  $l' = \infty$  时,  $\Gamma_0 = \frac{L_{\text{明}}}{f'} = \frac{250(\text{mm})}{f'(\text{mm})}$

➤ 正常眼, 使放大镜虚像位于人眼明视距离处,  $P' - l' = L_{\text{明}}$

$$\Gamma = 1 - \frac{l'}{f'} = 1 - \frac{P' - L_{\text{明}}}{f'} = \frac{250}{f'} + 1 - \frac{P'}{f'}$$

➤ 若眼睛紧靠着放大镜, 即  $P' \approx 0$ ,  $\Gamma = \frac{250}{f'} + 1 = \Gamma_0 + 1$



## ◆ 光束限制和线视场

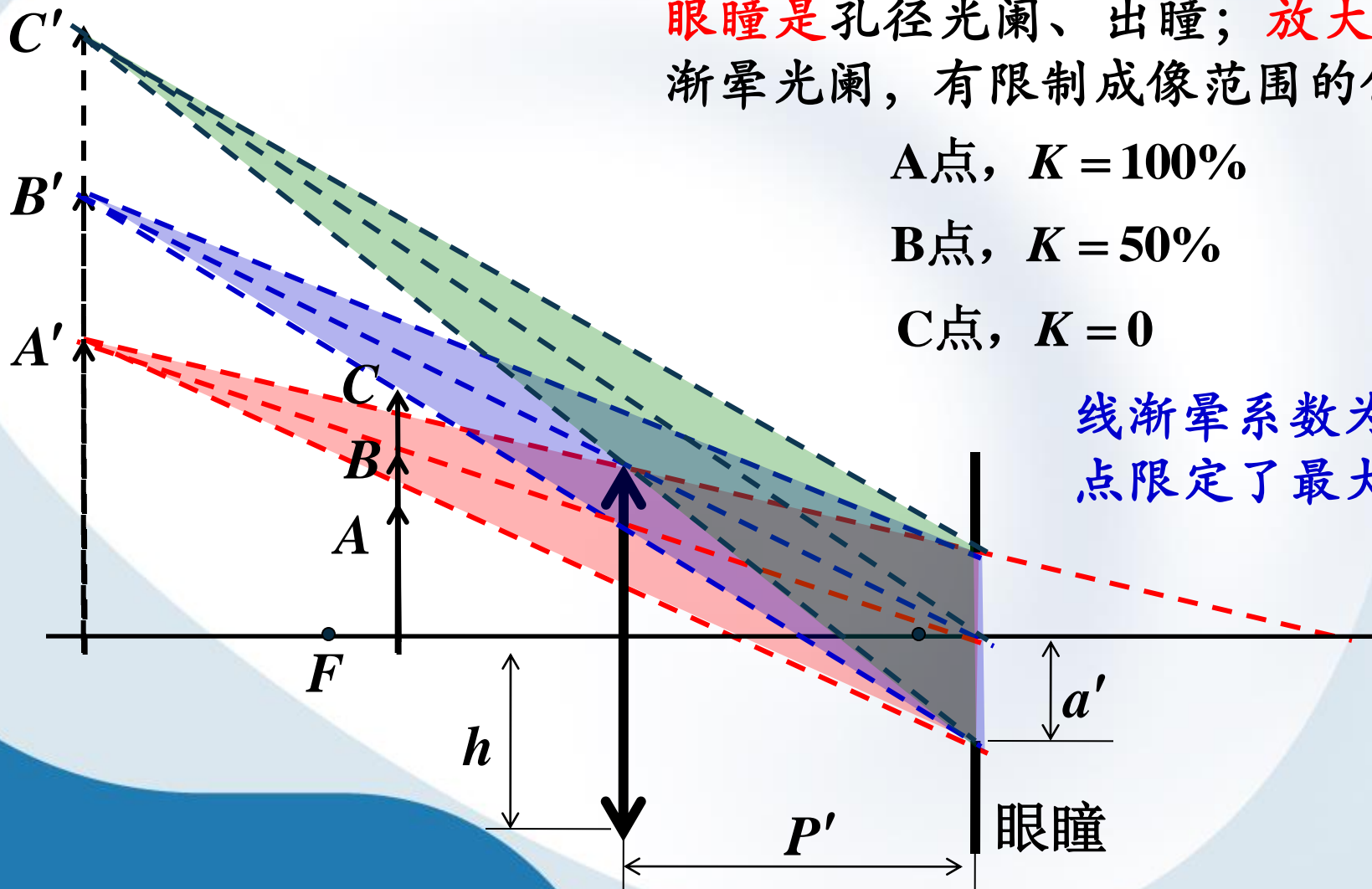
放大镜和眼瞳一起考虑光束限制问题：  
**眼瞳**是孔径光阑、出瞳；**放大镜框**是  
渐晕光阑，有限制成像范围的作用

A点,  $K = 100\%$

B点,  $K = 50\%$

C点,  $K = 0$

线渐晕系数为0的C  
点限定了最大视场



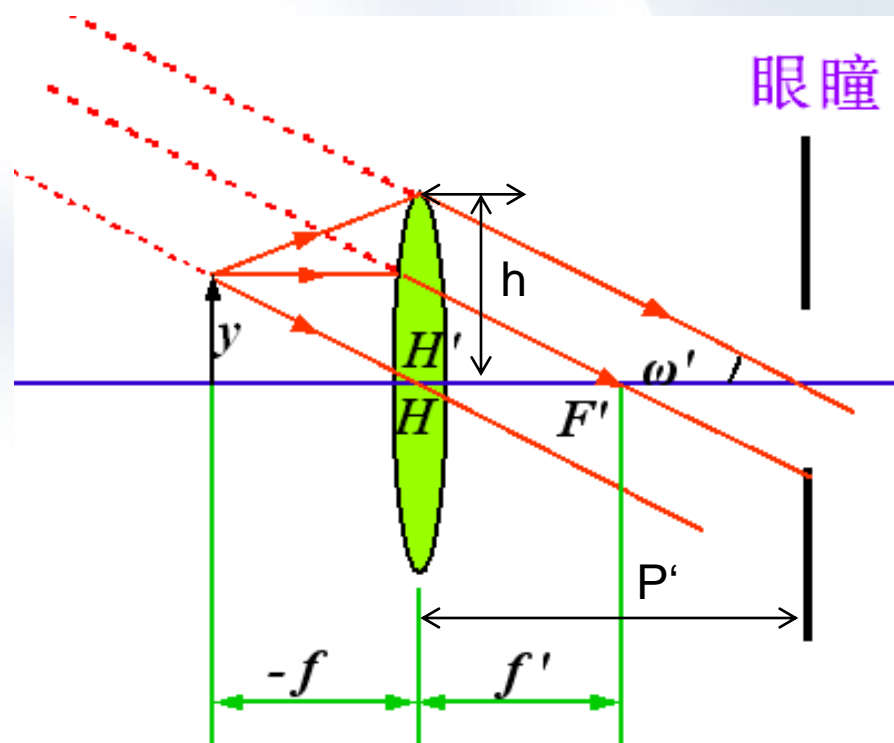


## ◆ 光束限制和线视场

- 放大镜用于观察近距离小物体，视场通常用物方线视场  $2y$  表示。
- 当物面放在放大镜前焦平面，像平面在无限远，则50%渐晕的线视场为

$$\left. \begin{aligned} 2y &= 2f' \tan \omega' \\ \Gamma_0 &= L_{\text{明}} / f' = 250 / f' \\ \tan \omega' &= h / P' \end{aligned} \right\} \Rightarrow 2y = \frac{500h}{\Gamma_0 P'} (mm)$$

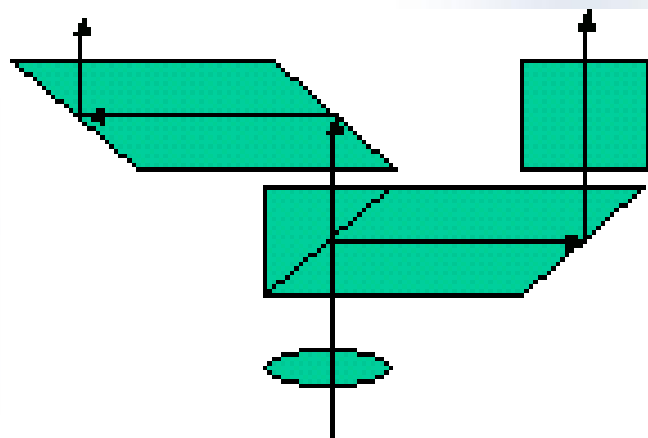
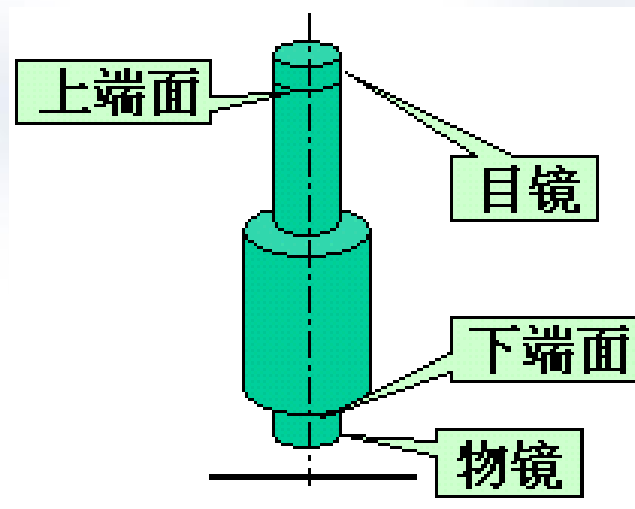
放大倍率越大，线视场越小（观察物的范围越小）。





# 三、显微镜

◆ **物镜**通过转换器旋转式接到镜筒的下端面；**目镜**以插入式接镜筒的上端面



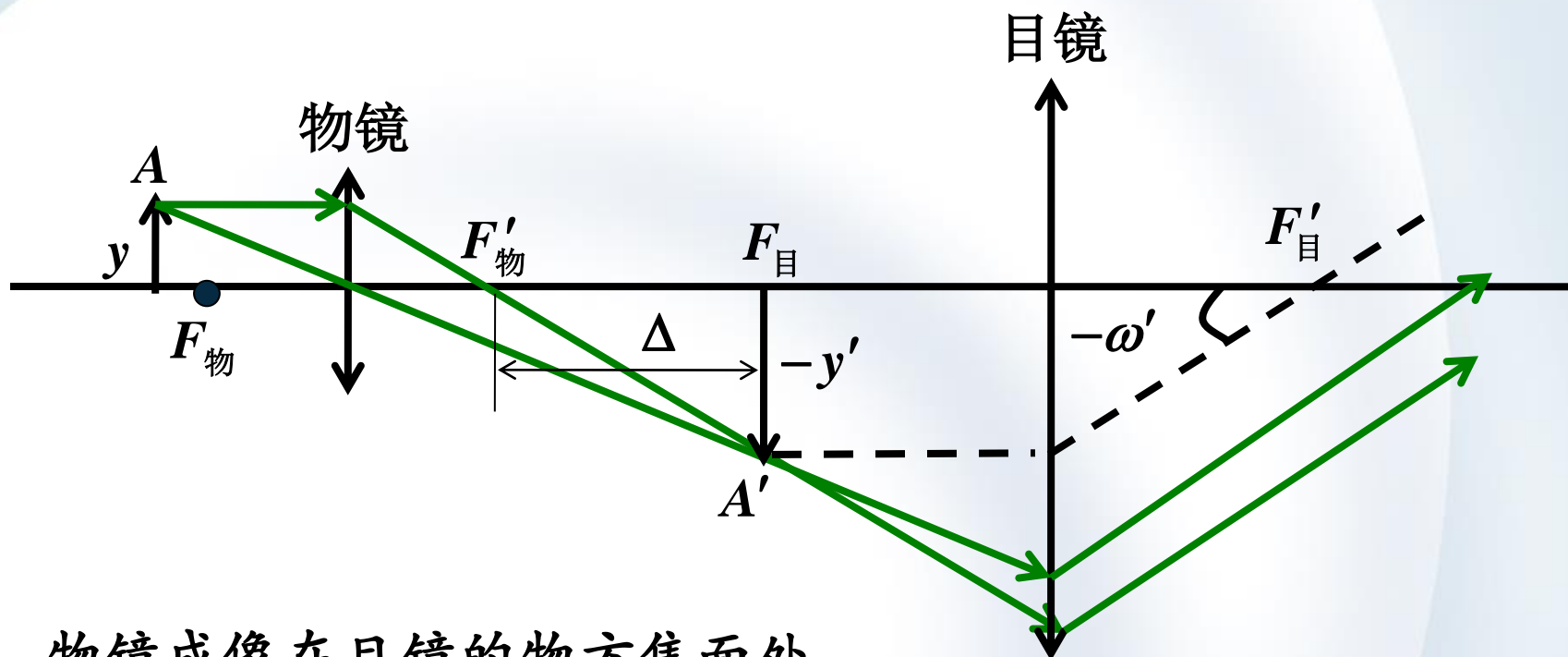
双目镜筒通过  
加**反射棱镜**和  
**平行平板**实现



## ◆ 主要技术参数:

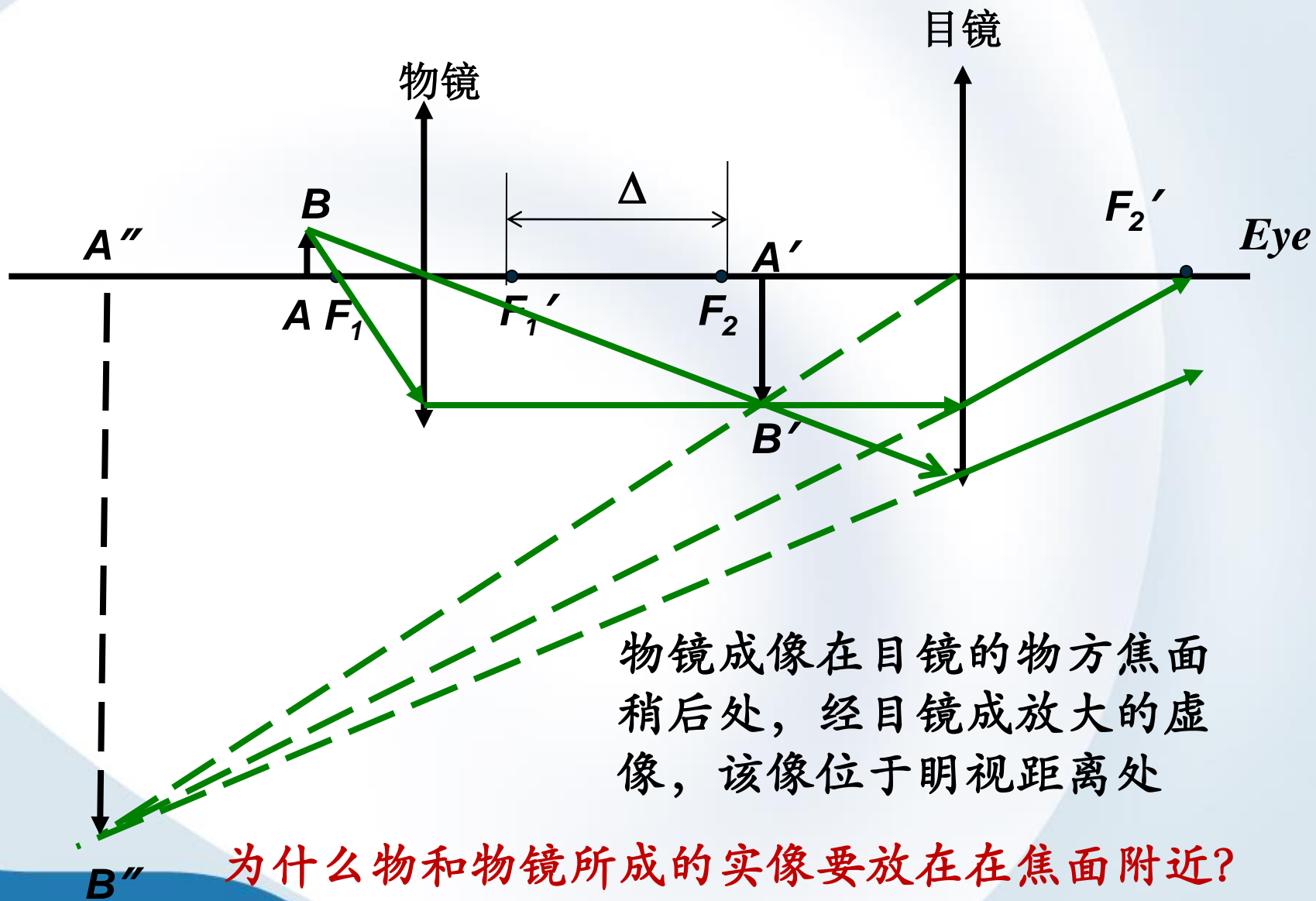
- 视放大率
- 线视场
- 出瞳直径
- 工作距离

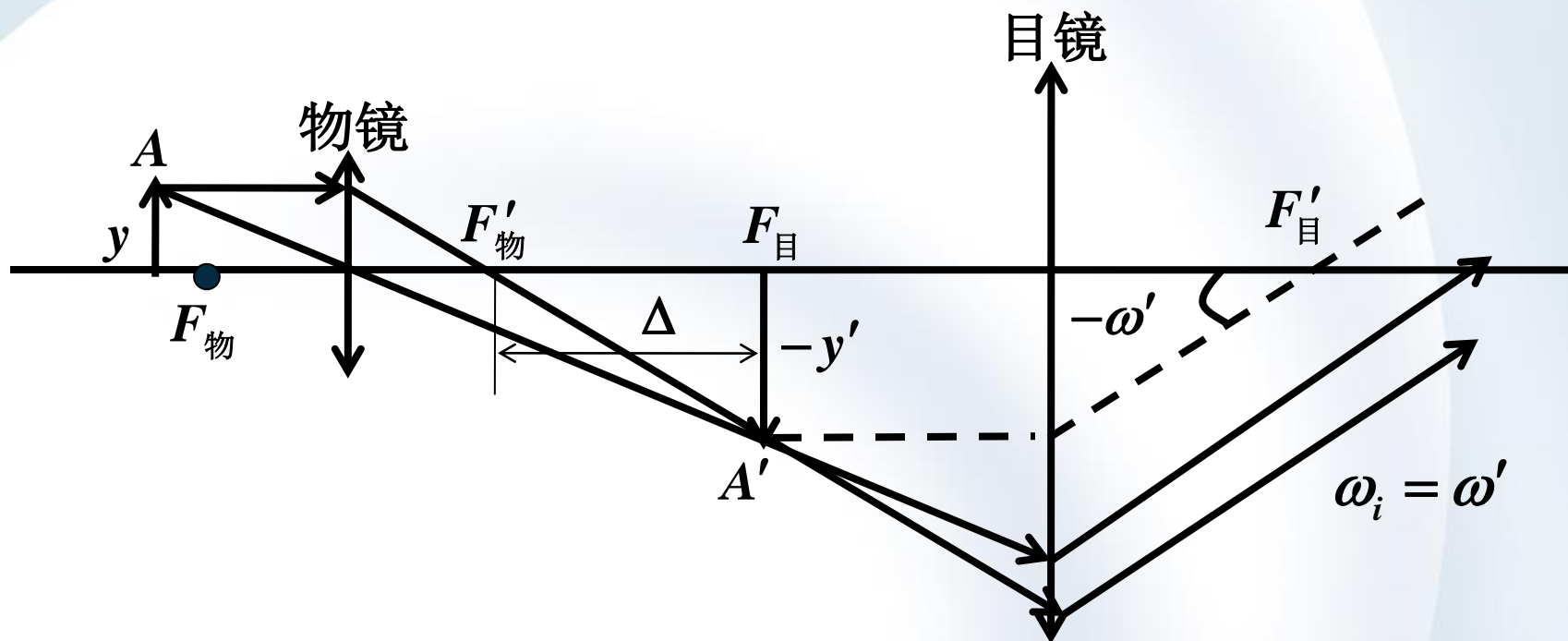




物镜成像在目镜的物方焦点处

- ◆ 显微镜由（短焦距）物镜、目镜组成，**光学筒长 $\Delta$** （物镜物方焦点与目镜像方焦点的距离）较大。





通过显微镜观察时:  $\tan \omega_i = \frac{y'}{f'_目}$

$$\beta_{物} = \frac{y'}{y} = -\frac{\Delta}{f'_物} \Rightarrow y' = -\frac{\Delta}{f'_物} y$$

$\Rightarrow \tan \omega_i = -\frac{\Delta}{f'_物 f'_目} y$

## 1) 视放大率

人眼直接观察时:  $\tan \omega_e = \frac{y}{-l} = \frac{y}{250}$

$$\tan \omega_i = -\frac{\Delta}{f'_{\text{物}} f'_{\text{目}}} y$$

$$\Rightarrow \Gamma = \frac{\tan \omega_i}{\tan \omega_e} = \frac{-\Delta}{f'_{\text{物}} f'_{\text{目}}} \frac{250}{f'_{\text{目}}} = \beta_{\text{物}} \cdot \Gamma_{\text{目}}$$

显微镜的组合焦距:  $f' = -\frac{f'_{\text{物}} f'_{\text{目}}}{\Delta}$

$$\Rightarrow \Gamma = \frac{250}{f'}$$



- ◆ 例：已知显微镜目镜 $\Gamma=15$ ，问它的焦距为多少？物镜 $\beta=-2.5$ ，共轭距 $L=180\text{mm}$ ，求其焦距及物方和像方截距。问显微镜总放大率为多少，总焦距为多少？

解：

$$\Gamma_{\text{目}} = \frac{250}{f'_{\text{目}}} = 15 \Rightarrow f'_{\text{目}} = \frac{50}{3}(\text{mm})$$

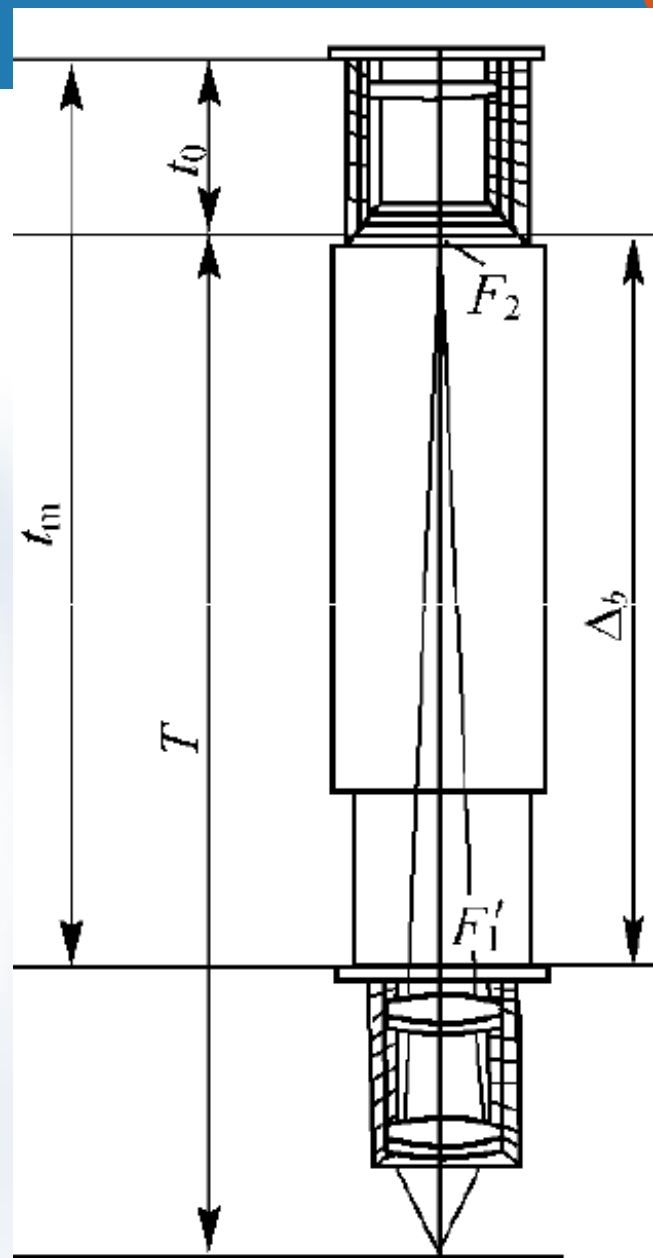
$$\left. \begin{array}{l} \beta_{\text{物}} = \frac{l'}{l} = -2.5 \\ l' - l = 180 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} l = 51.43(\text{mm}) \\ l' = 128.57(\text{mm}) \end{array} \right\} \Rightarrow f'_{\text{物}} = 36.73(\text{mm})$$
$$\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f'_{\text{物}}}$$

$$\text{总放大率 } \Gamma = \beta_{\text{物}} \Gamma_{\text{目}} = -2.5 \times 15 = -37.5$$

$$\text{总焦距 } f' = \frac{250}{\Gamma} = -6.67(\text{mm})$$

## ◆ 显微镜设计中的规定参数：

- **物像共轭距**：显微镜物镜从物平面到像平面的距离。各国通用标准约等于195mm
- **机械筒长**：把显微镜的物镜和目镜取下后，所剩的镜筒长度，我国规定为160mm
- 常用的**物镜倍率**：4×、10×、40×和100×
- 常用的**目镜倍率**：5×、10×和15×



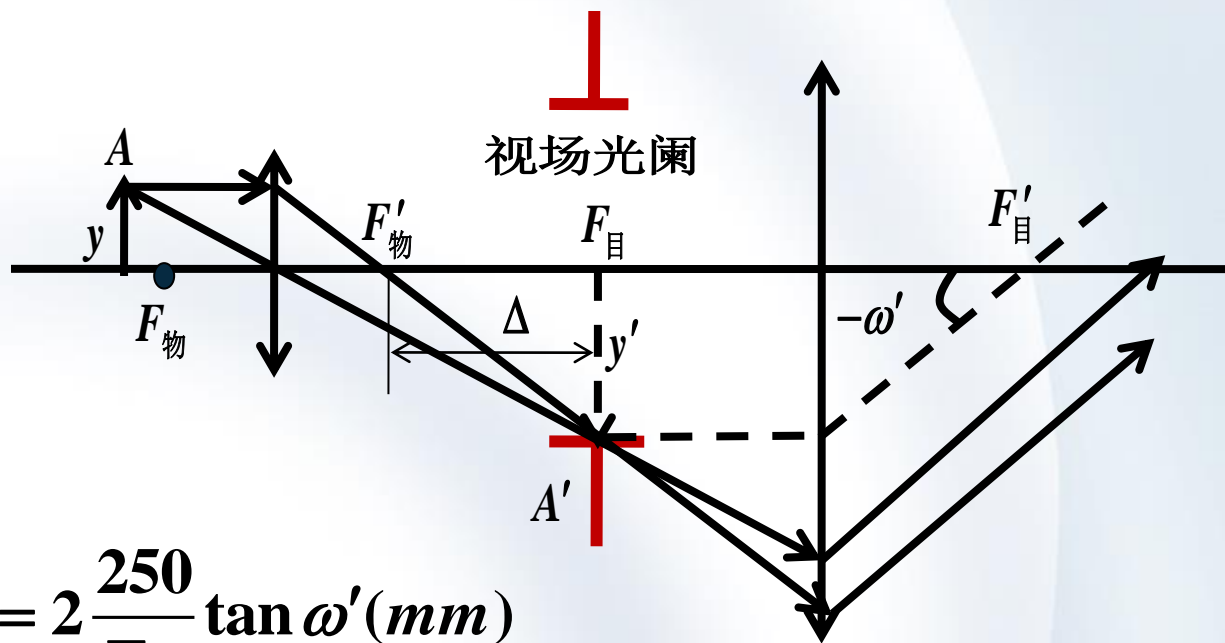
## 2) 线视场

$D$ : 视场光阑直径

$$\text{线视场: } 2y = \frac{D}{\beta_{\text{物}}}$$

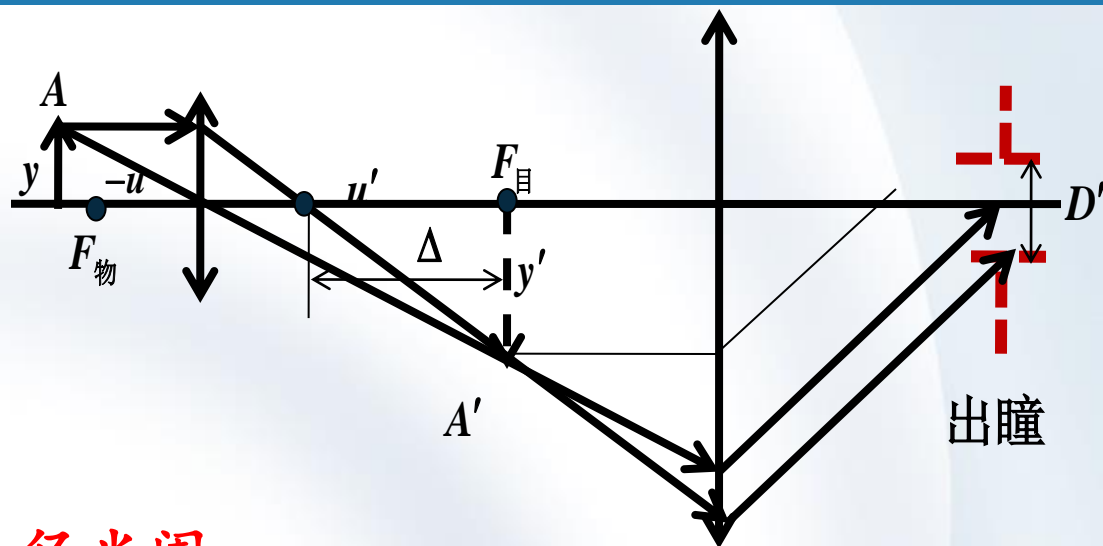
$$D = 2y' = 2f'_{\text{目}} \tan \omega' = 2 \frac{250}{\Gamma_{\text{目}}} \tan \omega' (mm)$$

$$\Rightarrow 2y = \frac{D}{\beta_{\text{物}}} = \frac{500 \tan \omega'}{\beta_{\text{物}} \Gamma_{\text{目}}} = \frac{500 \tan \omega'}{\Gamma} (mm)$$



选定目镜后（即 $2\omega'$ 一定），显微镜的视觉放大率越大，其在物空间的线视场越小（能观察的物面越小）。

### 3) 出瞳直径



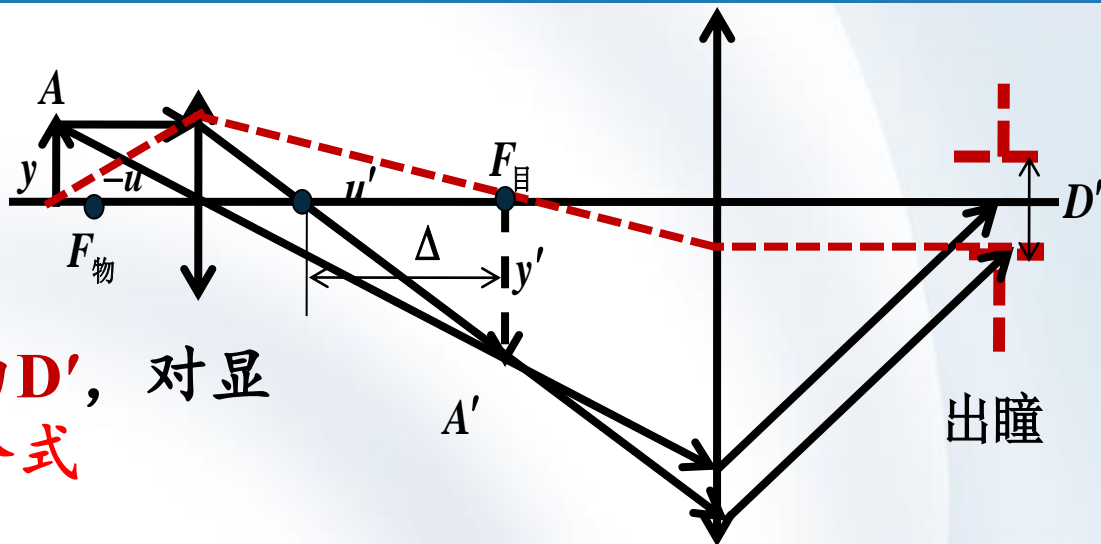
◆ 普通显微镜物镜框是孔径光阑

✓ 复杂物镜是以最后镜组的镜框为孔径光阑

✓ 测量显微镜，一般在物镜的像方焦平面上设置专门的光阑（远心光路）

◆ 出瞳位置在目镜像方焦点稍后处，人眼瞳有可能与之重合

◆ 显微镜的出瞳直径一般小于眼瞳直径



- ◆ 设显微镜的出瞳直径为  $D'$ ，对显微镜物镜，应用拉赫公式

$$\left. \begin{aligned} yn \sin u &= y' n' \sin u' \\ \sin u' &\approx \operatorname{tg} u' = \frac{D'}{2} / f_{\text{目}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow D' = 2f_{\text{目}} \sin u' \stackrel{n'=1}{=} 2f_{\text{目}} \frac{y}{y'} n \sin u$$

$$NA = n \sin u$$

显微镜物镜的数值孔径

$NA$ 、 $\beta_{\text{物}}$ ——显微镜的重要参数

$$= 2f_{\text{目}} \frac{f_{\text{物}}}{\Delta} n \sin u$$

$$= 2 \frac{250}{\Gamma} n \sin u = 500 \frac{NA}{\Gamma} (mm)$$

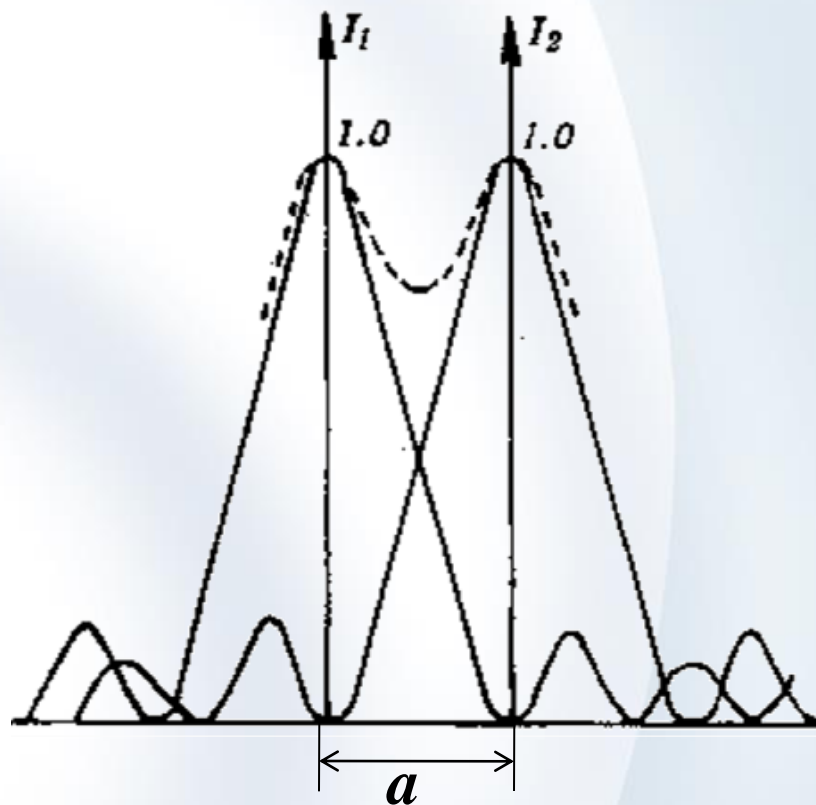
## 4) 分辨率

显微镜物镜像平面上两个像点恰能分辨的最短距离（即显微镜分辨率） $\sigma'$ 为：

物面上最小分辨距离：

$$\sigma = \frac{0.61\lambda}{n \sin u} = \frac{0.61\lambda}{NA}$$

**瑞利判断：**两个相邻像点之间的间隔等于爱里斑的半径 $a$ 时，则能被光学系统分辨。





➤道威判断：两相邻像点之间的两衍射斑中心距为 $0.85a$ 时，则能被光学系统分辨（倾斜照明，对不发光物体的分辨率）

$$\sigma = \frac{0.85a}{\beta_{\text{物}}} = \frac{0.5\lambda}{NA}$$

➤通常以道威判断给出光学系统的目视衍射分辨率，或称作理想分辨率



$$\sigma = \frac{a}{\beta_{\text{物}}} = \frac{0.61\lambda}{n \sin u} = \frac{0.61\lambda}{NA} \quad \text{或} \quad \sigma = \frac{0.85a}{\beta_{\text{物}}} = \frac{0.5\lambda}{NA}$$

讨论：

①  $\sigma \propto \lambda$ ，分辨能力随波长的减小而提高

②  $\sigma \propto \frac{1}{NA}$ ，分辨能力随数值孔径的增大而提高，

要求u大、n大

- 波长一定时，显微镜的分辨率仅取决于物镜的数值孔径。
- 目镜仅仅把物镜分辨的像放大，即使目镜放大率很高，也不能把物镜不能分辨的物体细节看清





➤ 距离为 $\sigma$ 的两个点不仅应通过物镜被分辨，而且要通过整个显微镜被放大，能被眼睛分辨。显微镜能分辨，但放大倍数不够，眼睛不能分辨显微镜的像，称为**放大不足**。

➤ **思考：显微镜的放大率是否越大越好？**

➤ 由于衍射效应， $\sigma$ 由 $\lambda$ 、NA决定，放大率增大并不能减小 $\sigma$ ，称**无效放大**。



取人眼分辨角为 $2'\sim 4'$ ，显微镜成像于明视距离250mm处

$$250 \times 2 \times \frac{\pi}{180 \times 60} \leq \sigma' \leq 250 \times 4 \times \frac{\pi}{180 \times 60}$$

$$\sigma' = \Gamma \sigma, \quad \sigma = \frac{0.5\lambda}{NA}, \quad \text{得}$$

$$250 \times 2 \times 0.00029 \leq \frac{0.5\lambda}{NA} \Gamma \leq 250 \times 4 \times 0.00029$$

$$\lambda = 555\text{nm}, \quad 523NA \leq \Gamma \leq 1046NA$$

$$\text{近似为: } 500NA \leq \Gamma \leq 1000NA$$

满足上式的放大率称为显微镜的**有效放大率**

$NA=1.5$ ，显微镜的最高有效放大率为1500倍。



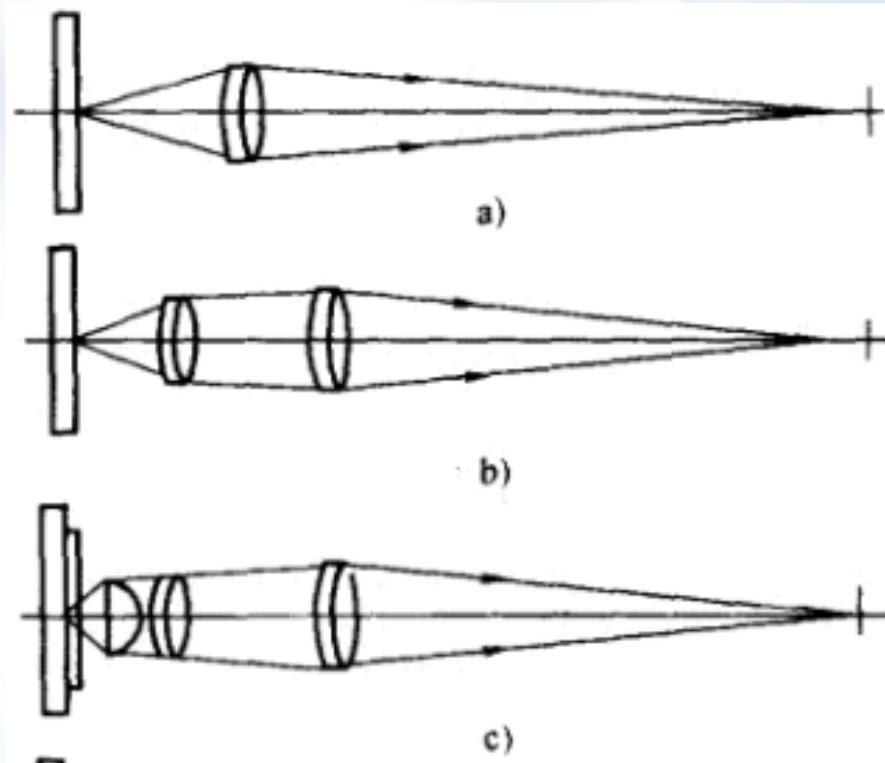
◆ 显微物镜上标注：170mm/0.17；40/0.65

- 适合于机械筒长170mm
- 物镜是对玻璃厚度 $d=0.17\text{mm}$ 的玻璃盖板校正像差的
- 放大率为 $40\times$
- 数值孔径为0.65

◆ 例：显微镜数值孔径0.65，有效放大率为（ $325\times \sim 650\times$ ），若物镜为 $40\times$ ，在 $5\times$ 、 $10\times$ 、 $15\times$ 或 $25\times$ 的目镜中应该选用（ $10\times$ 或 $15\times$ ）；若用（ $25\times$ ），则导致无效放大。

## ◆ 显微镜的物镜

- a) 低倍物镜，由双胶合物镜组成， $\beta=3\times\sim 6\times$ ， $NA=0.1\sim 0.15$
- b) 中倍物镜，由两组双胶合透镜组成，称为里斯特物镜， $\beta=8\times\sim 10\times$ ， $NA=0.25\sim 0.3$
- c) 高倍物镜，在里斯特物镜前加一半球透镜，其第二面为齐明面，半球透镜使里斯特物镜的孔径角增加 $n^2$ 倍。这种物镜称作“阿米西”物镜， $\beta=40\times$ ， $NA=0.65$

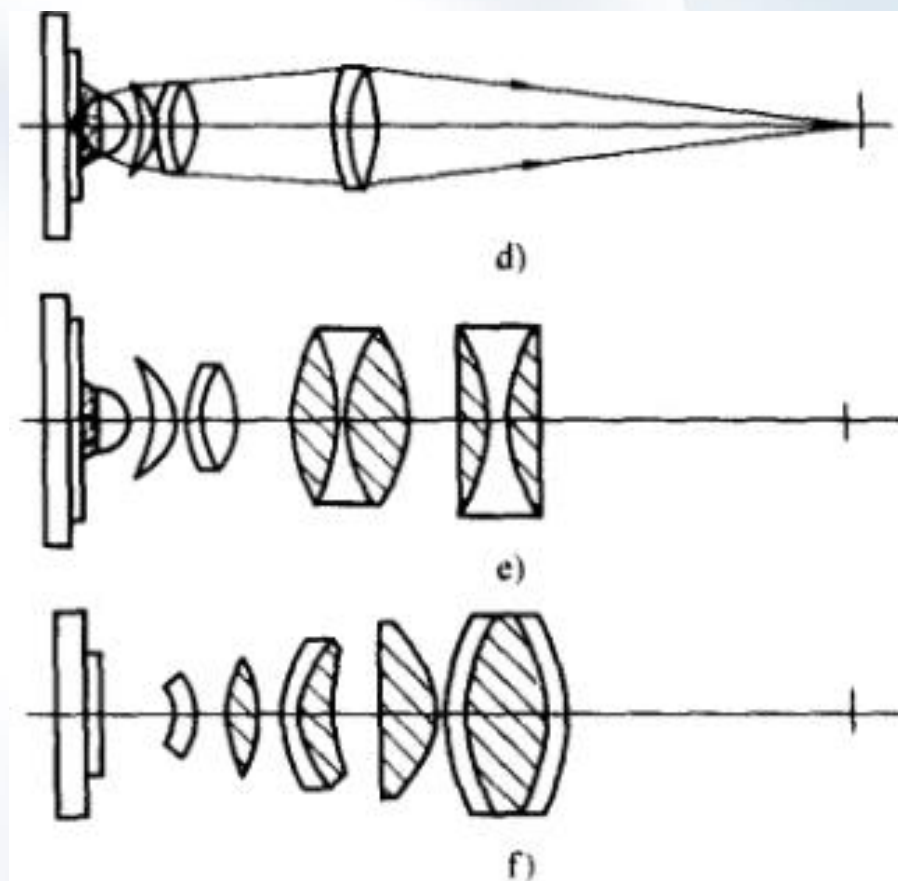


## ◆ 显微镜的物镜

d) 浸液物镜，在阿米西物镜中再加一个同心齐明透镜，称作阿贝浸液物镜， $\beta=90\sim 100\times$ ， $NA=1.25\sim 1.4$ 。在玻璃盖片和物镜前片之间浸液（折射率为 $n$ ），可使数值孔径提高 $n$ 倍。

e) 复消色差物镜，有阴影线的透镜，是由特殊材料萤石制成， $\beta=90\times$ ， $NA=1.3$

f) 平视场复消色差物镜， $\beta=40\times$ ， $NA=0.85$





◆ 有一显微镜，数值孔径为0.8，目镜的放大率为 $10\times$ ，为了使线视场尽量大，物镜的放大率选多少最合适：（ B ）

- A.  $10\times$
- B.  $40\times$
- C.  $80\times$
- D.  $100\times$



- ◆ 显微镜镜筒上通常会把镜头的放大倍率、数值孔径、工作距、镜头结构等参数标注出来。关于这些参数，以下说法错误的是：     B    。
  - A. 显微镜的数值孔径越大分辨率越高
  - B. 显微镜物镜的放大倍率越大分辨率越高
  - C. 放大倍率较大的显微镜物镜结构更复杂
  - D. 显微镜放大倍率越大线视场越小
  
- ◆ 目视光学仪器的视角放大率是否可以设计得无限大？为什么？
  - 答：不可以，还要受到人眼分辨率的限制。

- ◆ 假设我们想用两个正透镜制成一个显微镜（适合正常人眼放松时看），两透镜焦距均为25mm。若物体放置在距离物镜27mm位置处，那么两个透镜应该相距多远？此时该显微镜预计可获得的视觉放大率是多少？（这两个正透镜均可看成薄透镜）

解：对物镜应用牛顿公式， $xx' = f_o f_o' = -f_o'^2$ ，

$x = -2\text{mm}$ ，求得  $x' = -312.5\text{mm}$ ；（3分）

要求适合正常人眼放松时看，则物体经物镜所成像应该位于目镜的物方焦点上。

所以两个透镜之间的距离  $l = 25 + 25 + 312.5 = 362.5\text{mm}$ 。（2分）

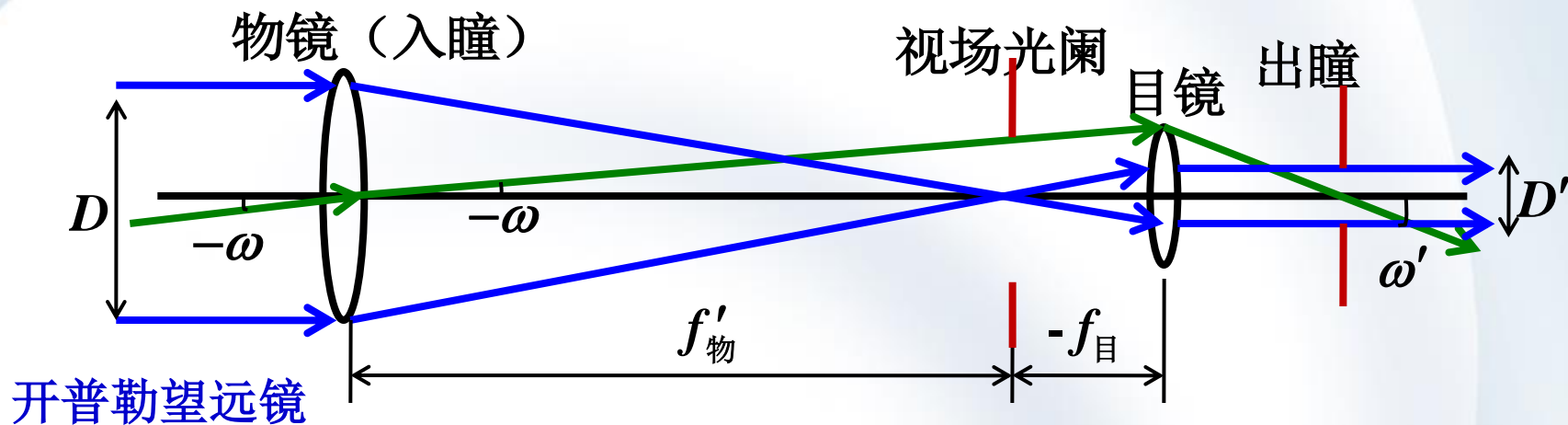
视放大率  $\Gamma = \beta \Gamma_e$ （2分）

$$\beta = -\frac{f_o}{x} = -\frac{-25}{-2}$$
$$\Gamma_e = \frac{250}{f_e'} = \frac{250}{25} \quad (3 \text{ 分})$$
$$\Gamma = -125$$



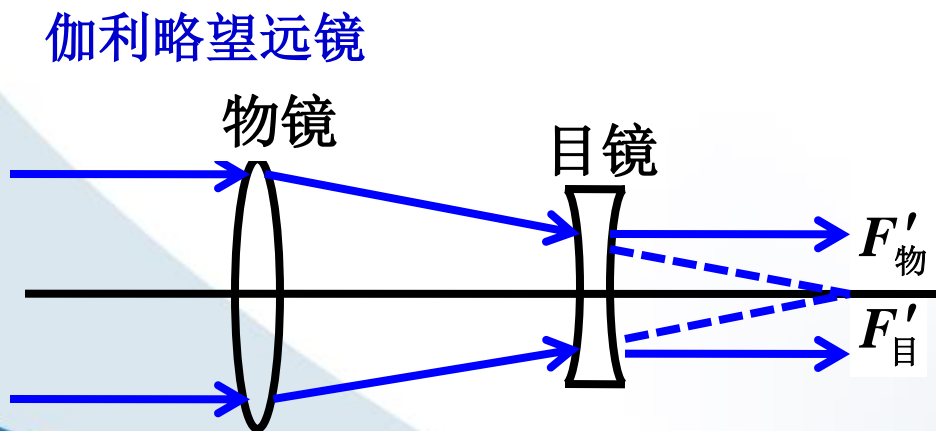


## 四、望远镜系统

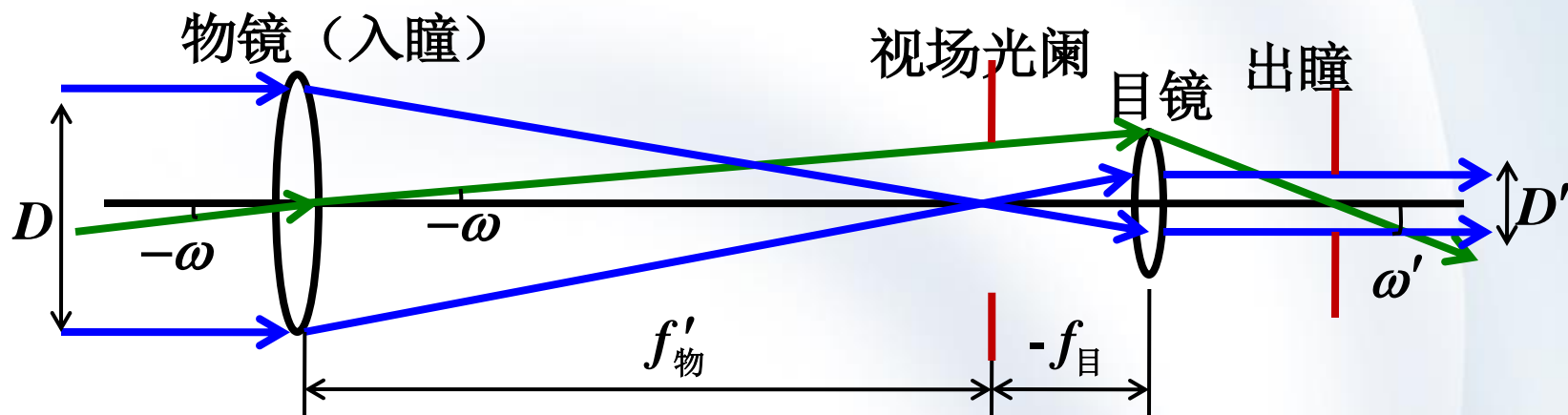


目视光学仪器的要求：  
扩大视角；出射平行光

望远镜是一个无焦系统，  
物镜的象方焦点和目镜  
的物方焦点应重合，光  
学间隔  $\Delta=0$

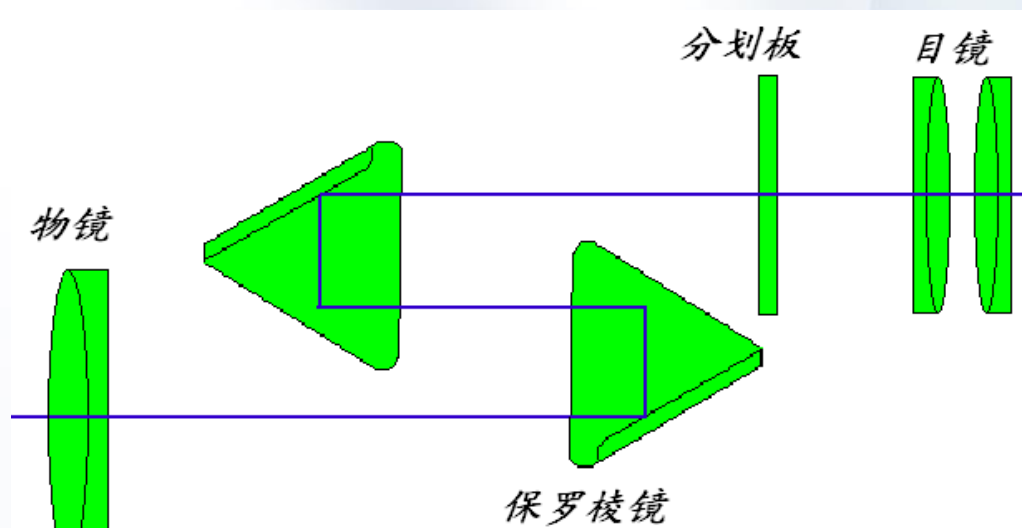


## ◆开普勒望远镜



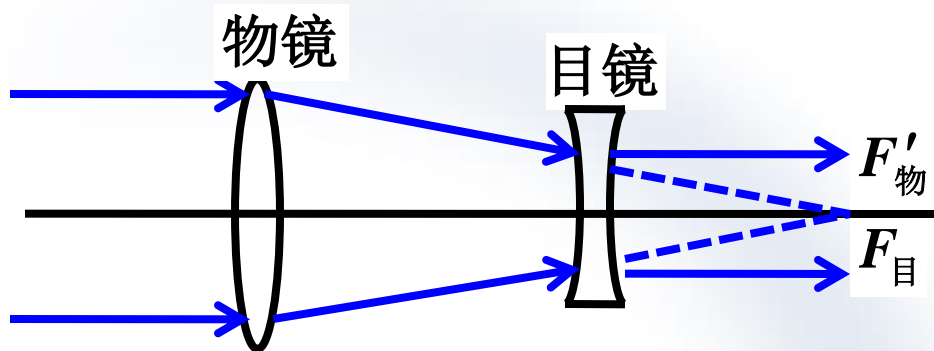
- 物镜和目镜都是正透镜
- 筒长较长，有实像面，可加分划板测量

成像的方向？ 倒像



加入棱镜转向系统的军用望远镜

## ◆ 伽利略望远镜



- 物镜：正透镜；目镜：负透镜
- 结构紧凑，筒长短，较为轻便，光能损失少，并且使物体呈正立的像。但是由于没有中间实像，不能安装分划板，因而不能用来瞄准和定位



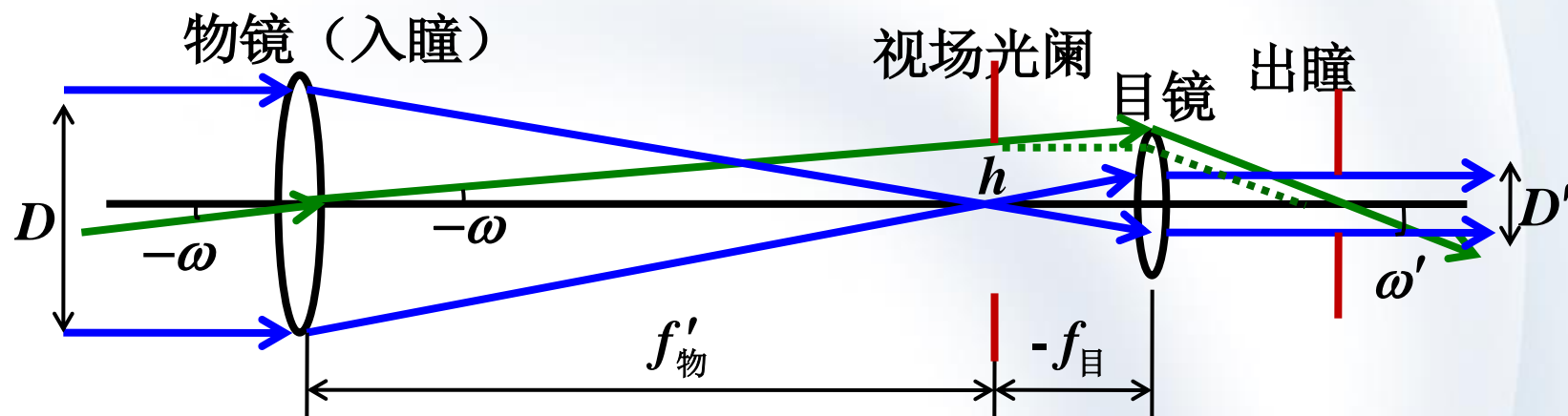
伽利略望远镜	开普勒望远镜
$f'_{\text{目}} < 0$	$f'_{\text{目}} > 0$
$y'_{\text{物}}$ 为虚像	$y'_{\text{物}}$ 为实像
镜筒短: $L = f'_{\text{物}} - f_{\text{目}}$	镜筒长: $L = f'_{\text{物}} - f'_{\text{目}}$
望远镜成正像	望远镜成倒像
一般用作扩束	望远, 但需加倒像系统



## 1) 望远镜系统的主要技术指标:

- 视放大率
- 视场角
- 出瞳直径
- 出瞳距离
- 分辨率

## ◆视放大率



视放大率:  $\Gamma = \frac{\text{tg} \omega'}{\text{tg} \omega} = \gamma = \frac{h / f'_目}{-h / f'_物} = -\frac{f'_物}{f'_目} = -\frac{D}{D'} = \frac{1}{\beta}$

$\Gamma = \frac{\text{tg} \omega'}{\text{tg} \omega} \approx \frac{60''}{\alpha} \Rightarrow \text{仪器视角分辨率: } \alpha = \frac{60''}{\Gamma}$



$$\text{瞄准仪器瞄准误差: } \begin{cases} \Delta\alpha = -\frac{60''}{\Gamma} \text{ 压线瞄准} \\ \Delta\alpha = -\frac{10''}{\Gamma} \text{ 叉线或双线瞄准} \end{cases}$$

$$\text{衍射分辨率: } \alpha = \frac{1.22\lambda}{D} (\text{rad}) \stackrel{\lambda=555\text{nm}}{=} \frac{140''}{D}$$

$$\text{视角分辨率} = \text{衍射分辨率时: } \frac{60''}{\Gamma} = \frac{140''}{D}$$

$$\Rightarrow \text{望远镜有效放大率: } \Gamma_{\text{有效}} = \frac{D}{2.3}$$

$\Gamma_{\text{实际}} > \Gamma_{\text{有效}}$  时, 并不能看清更多细节



## ◆分辨率

➤ 理想望远系统分辨率  $\alpha = \frac{1.22\lambda}{D}$   $D$ : 入瞳直径

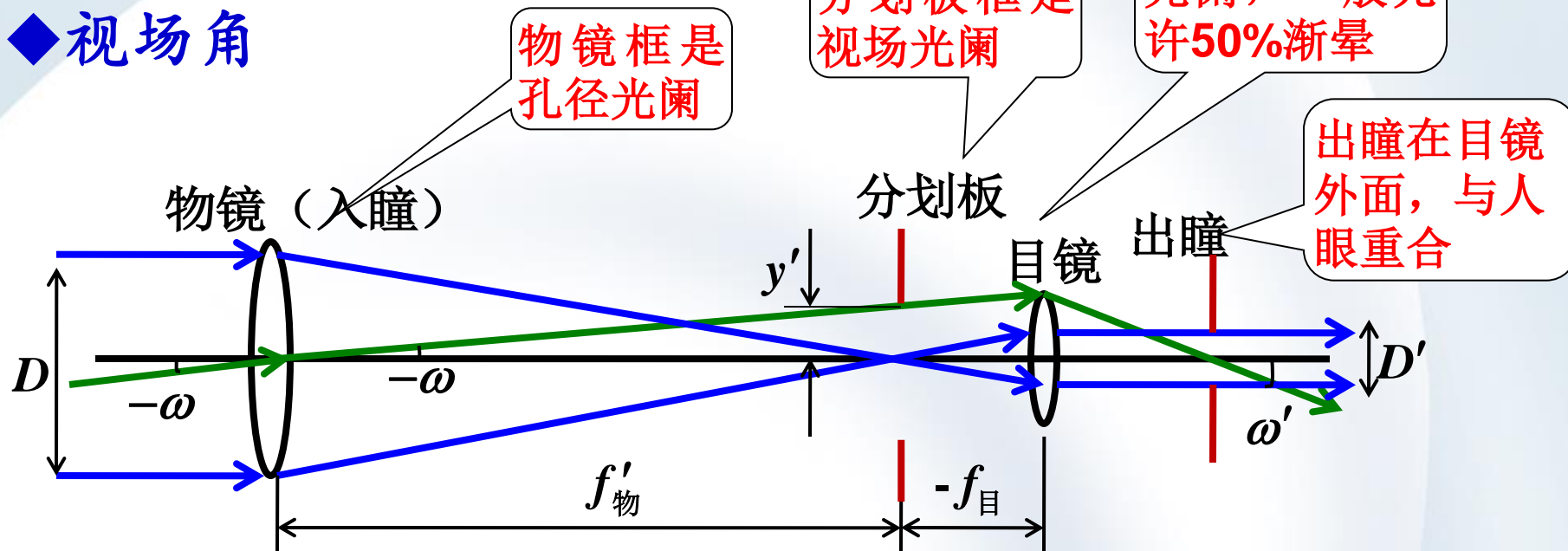
➤ 实际仪器:  $\alpha = K \frac{140''}{D}$   $K = 1.05 \sim 2$

✓ 入射光瞳直径 $D$ 越大, 极限分辨率越高。

➤ 视觉放大率和分辨率的关系:  $\alpha = \frac{60''}{\Gamma}$

望远镜的视放大率越大, 它的分辨精度就越高

## ◆视场角



$$\tan \omega = \frac{y'}{f'_{\text{物}}}; \omega \text{ 物方视场角}; y' \text{ 分划板 (视场光阑) 半径}$$

开普勒望远镜的视场 $2\omega$ 一般不超过 $15^\circ$ 。观察时，必须使眼瞳位于系统的出瞳处，才能观察到望远镜的全视场。

$$2\omega' \approx 40^\circ \sim 70^\circ$$

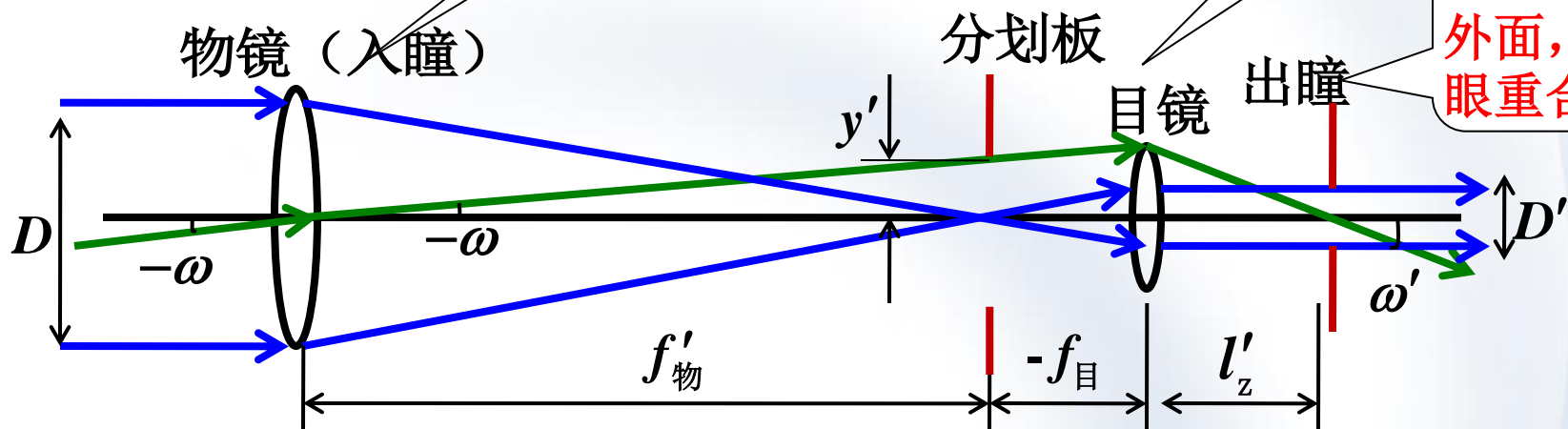
## ◆ 出瞳直径

物镜框是  
孔径光阑

分划板框是  
视场光阑

目镜框是渐晕  
光阑，一般允  
许50%渐晕

出瞳在目镜  
外面，与人  
眼重合



为了适应仪器在非静止状态下使用，出瞳直径  $\geq$  眼瞳直径  
白天、黄昏使用， $D'=4\text{mm}$ ；夜间使用， $D'=8\text{mm}$ ；

## ◆ 出瞳距离 $l'_z$

$l'_z \geq 6\text{mm}$ ；军用， $l'_z \geq 20\text{mm}$

## ◆ 望远镜的物镜

➤ 物镜的光学特性：焦距  $f'_{\text{物}}$ 、相对孔径  $D/f'_{\text{物}}$ 、视场  $2\omega$

### 1) 焦距 $f'_{\text{物}}$

$$\Gamma = -\frac{f'_{\text{物}}}{f'_{\text{目}}} \quad \text{或} \quad f'_{\text{物}} = -\Gamma f'_{\text{目}}$$

物镜的焦距是目镜焦距的 $\Gamma$ 倍，通常首先确定目镜的焦距。根据视放大率 $\Gamma$ 即可由上式求出物镜焦距。

## ◆ 望远镜的物镜

2) 相对孔径  $\Gamma = \frac{1}{\beta} = \frac{D}{D'}$  或  $D = \Gamma D'$

➤  $D/f_{\text{物}}$  称为物镜的相对孔径。D: 入瞳直径

➤ 为什么不直接用光束口径，而采用相对孔径来代表望远物镜的光学特性??

✓ 相对孔径  $\approx 2U_{\text{max}}'$  .

✓ 相对孔径越大， $U_{\text{max}}'$  越大，像差也就越大，为了校正像差，物镜的结构复杂化。相对孔径代表物镜复杂化的程度



## ◆ 望远镜的物镜

### 3) 视场

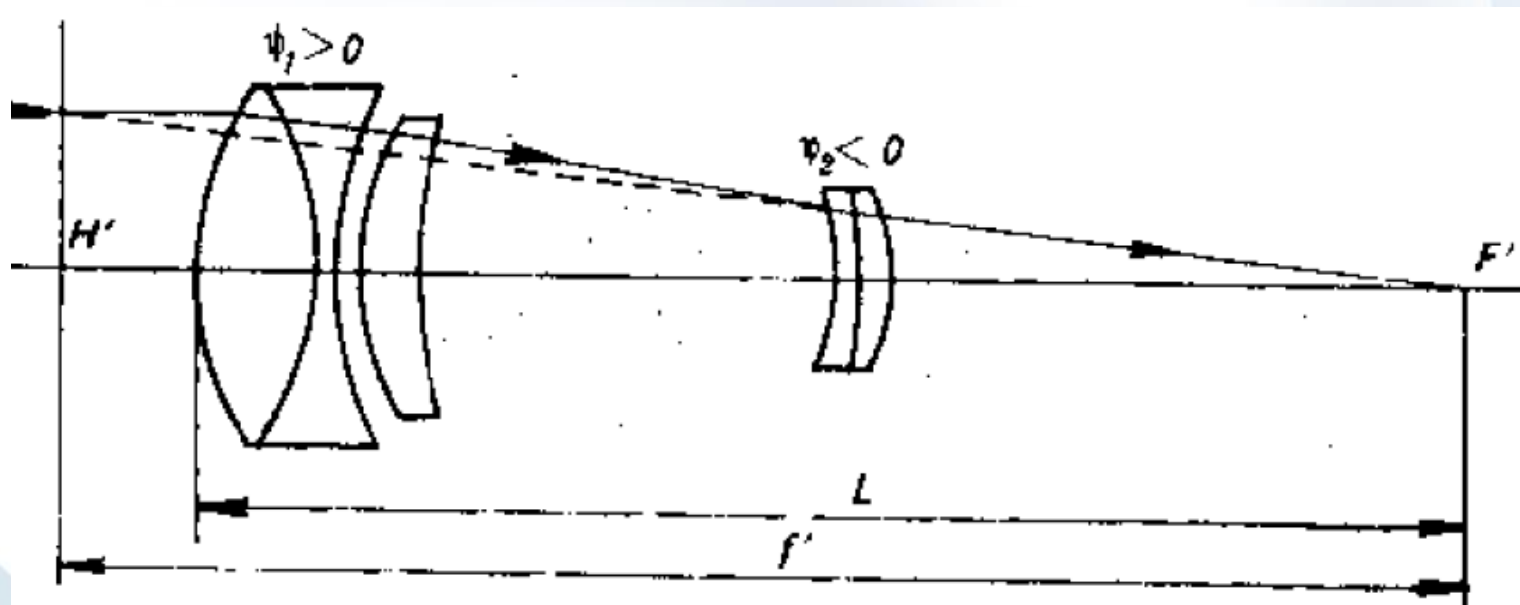
系统所要求的视场，也就是物镜的视场

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\operatorname{tg} \omega'}{\Gamma}$$

- $\omega'$  即目镜的视场角。
- 一般望远物镜的视场都不大，通常不超过  $10^\circ \sim 15^\circ$
- 常用的目镜视场角  $40^\circ \sim 50^\circ$

## ◆ 常用物镜结构:

### 1) 折射式望远物镜

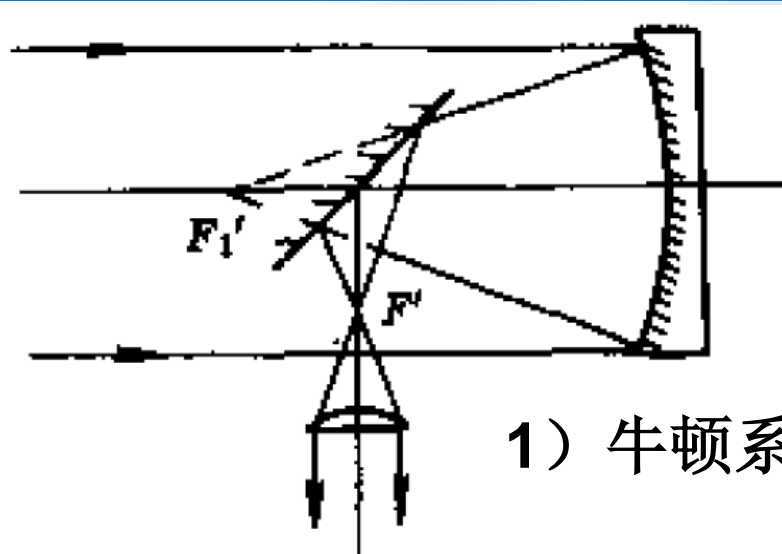


摄远物镜

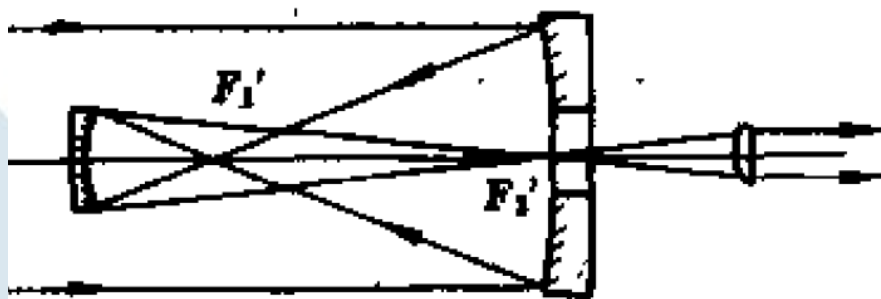
机械筒长  $< f'$ ，缩短望远镜筒长，适合高倍率望远镜焦距很长的需要。视场较大。

## ◆ 常用物镜结构:

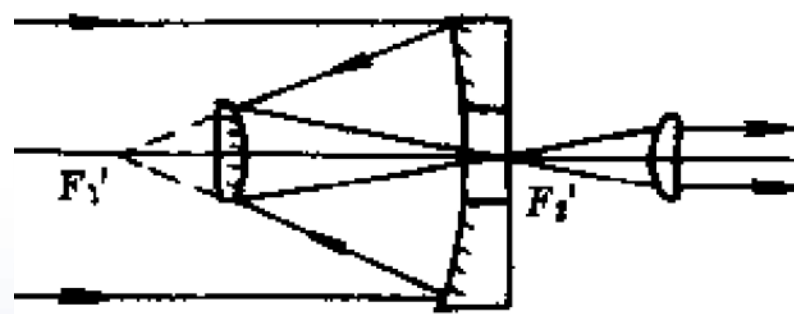
### 2) 反射式望远镜物镜



1) 牛顿系统



2) 格里高里系统



3) 卡塞格林系统

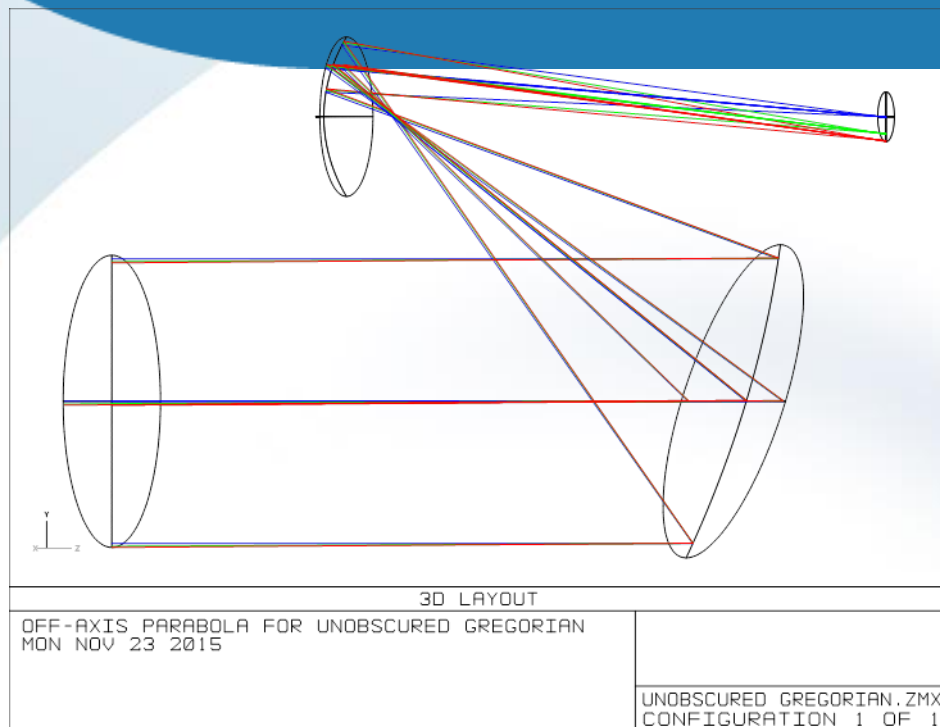




## ➤反射式望远镜物镜优点：

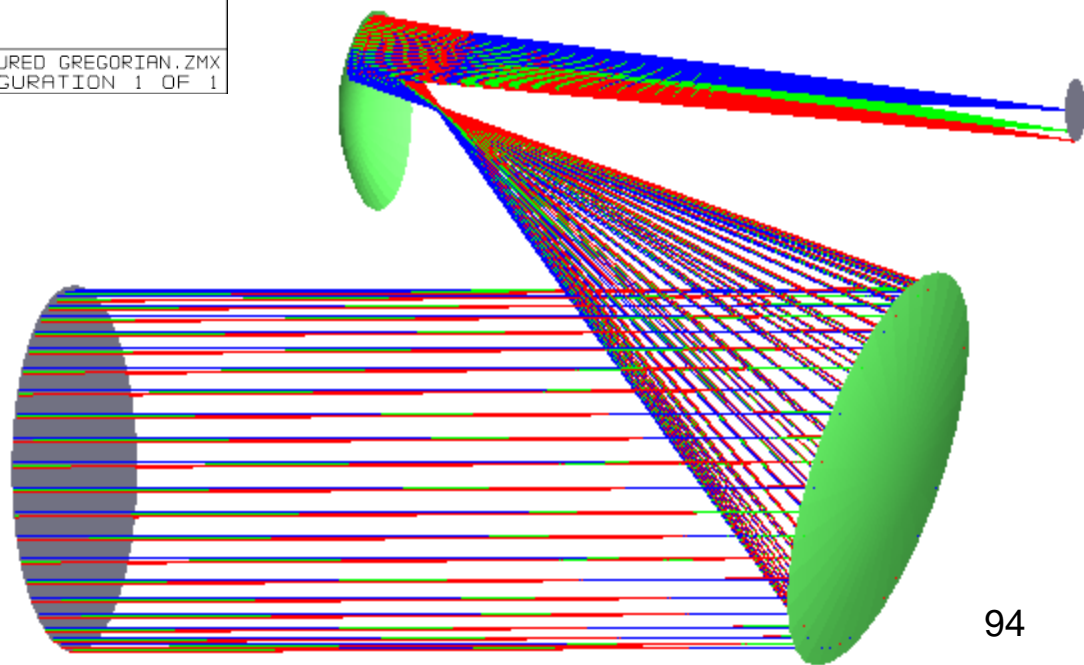
- ✓重量轻
- ✓没有色差，各种波长的光所成像严格一致
- ✓可以在紫外到红外很大波长范围内工作
- ✓对玻璃材料在光学性能上没有特殊要求，反射镜的材料比透镜的材料容易制造，特别对大口径零件更是如此

- 大口径望远镜都采用反射式，在天文望远镜中应用十分广泛
- 反射表面磨制要求很高，需经常重新镀反射面及部件组装、校正的困难，反射系统在科普望远镜中应用受到限制



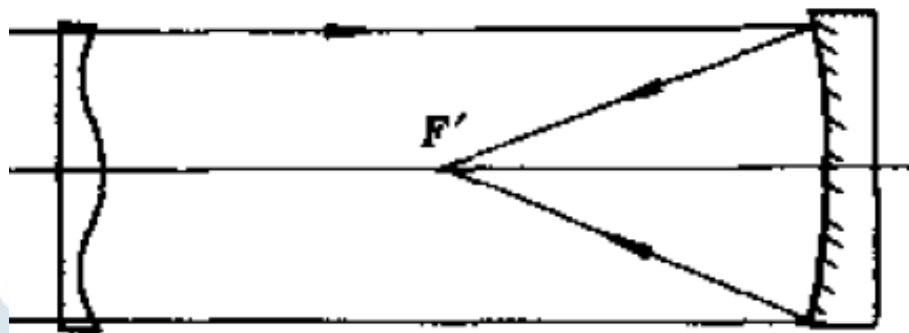
## 反射式望远镜

### 格里高利望远镜

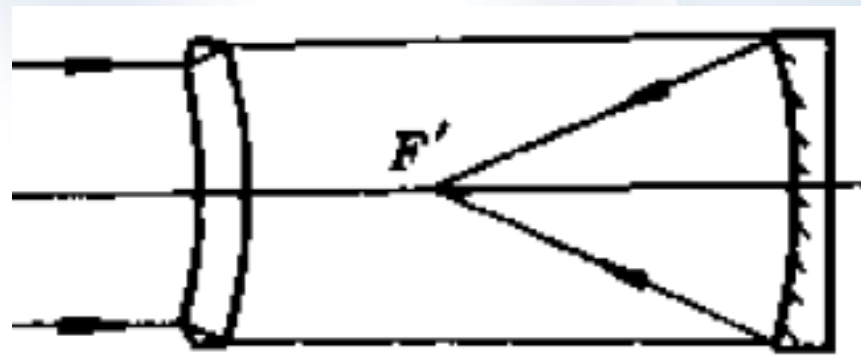


## ◆ 常用物镜结构

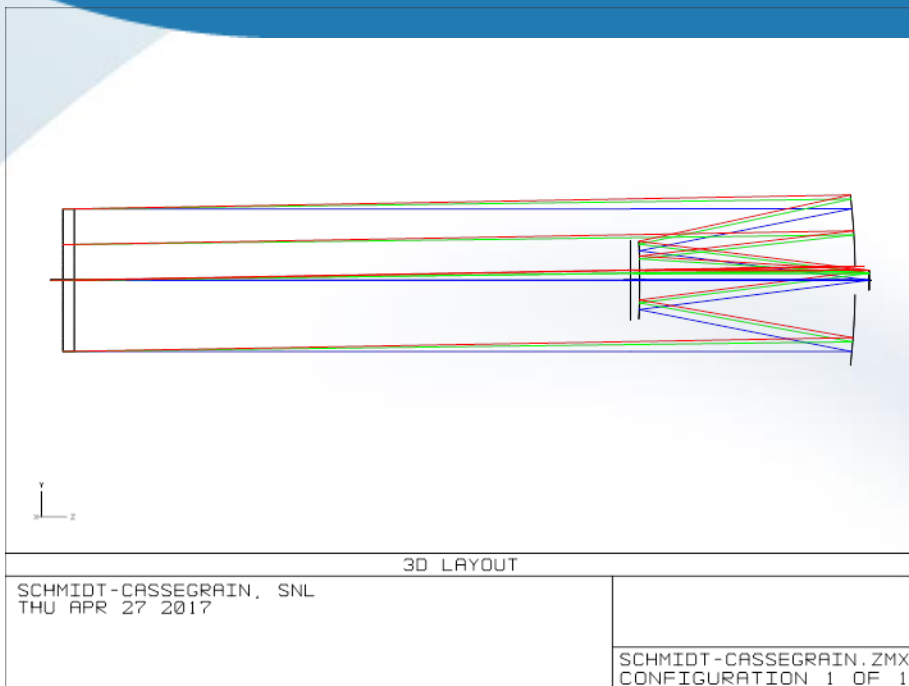
### 3) 折反式望远镜物镜



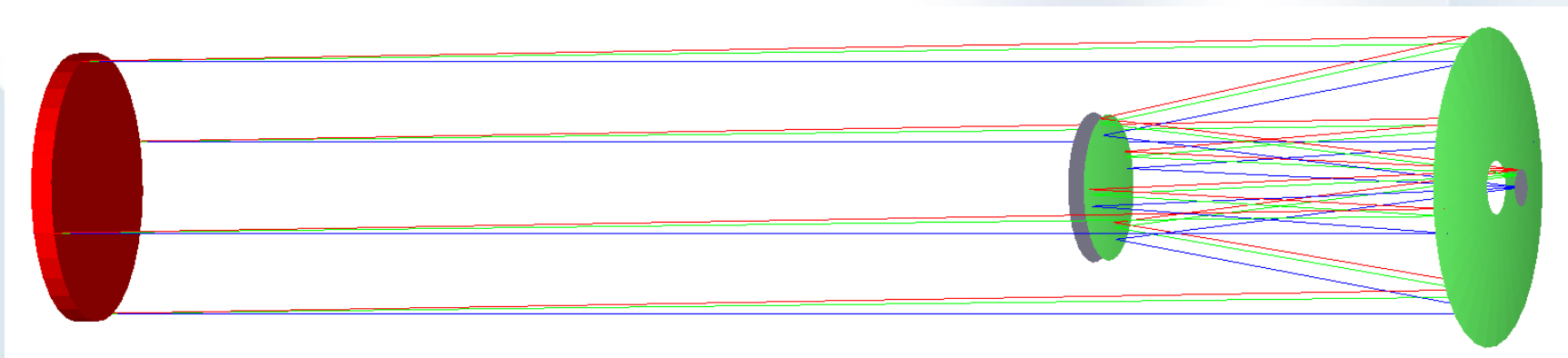
**1) 斯密特物镜：**在球面反射镜的球心上，放置一块非球面校正板，矫正球差和彗差

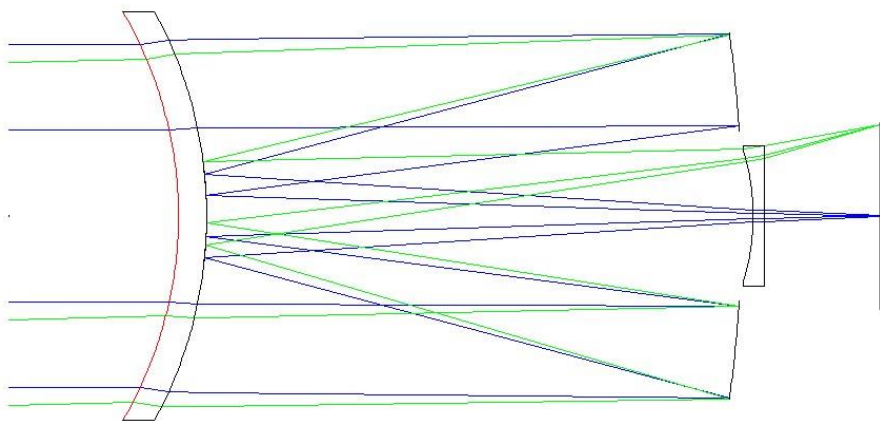


**2) 马克苏托夫物镜：**放置由两个球面构成的弯月形透镜，选择合适的弯月透镜的参数和位置，可以同时校正球差和彗差。

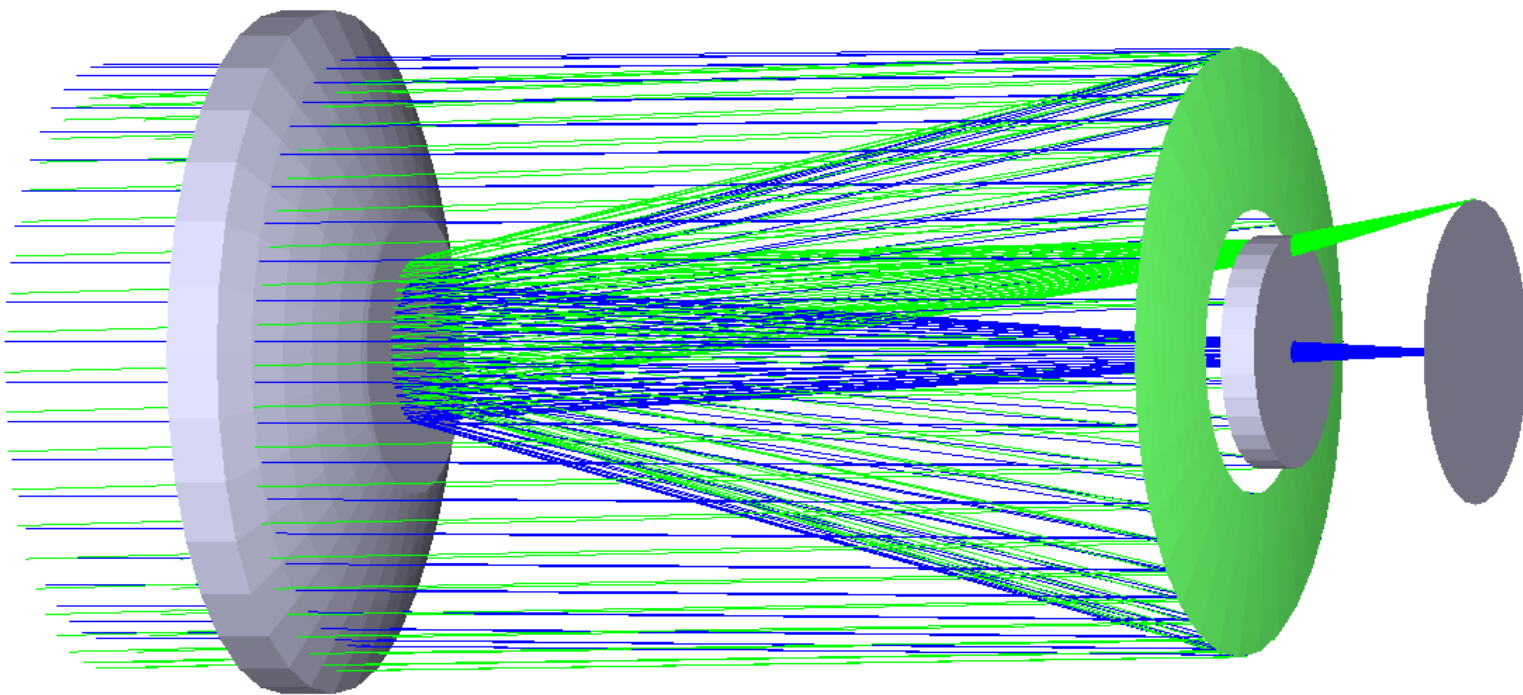


## 施密特-卡塞格林望远镜

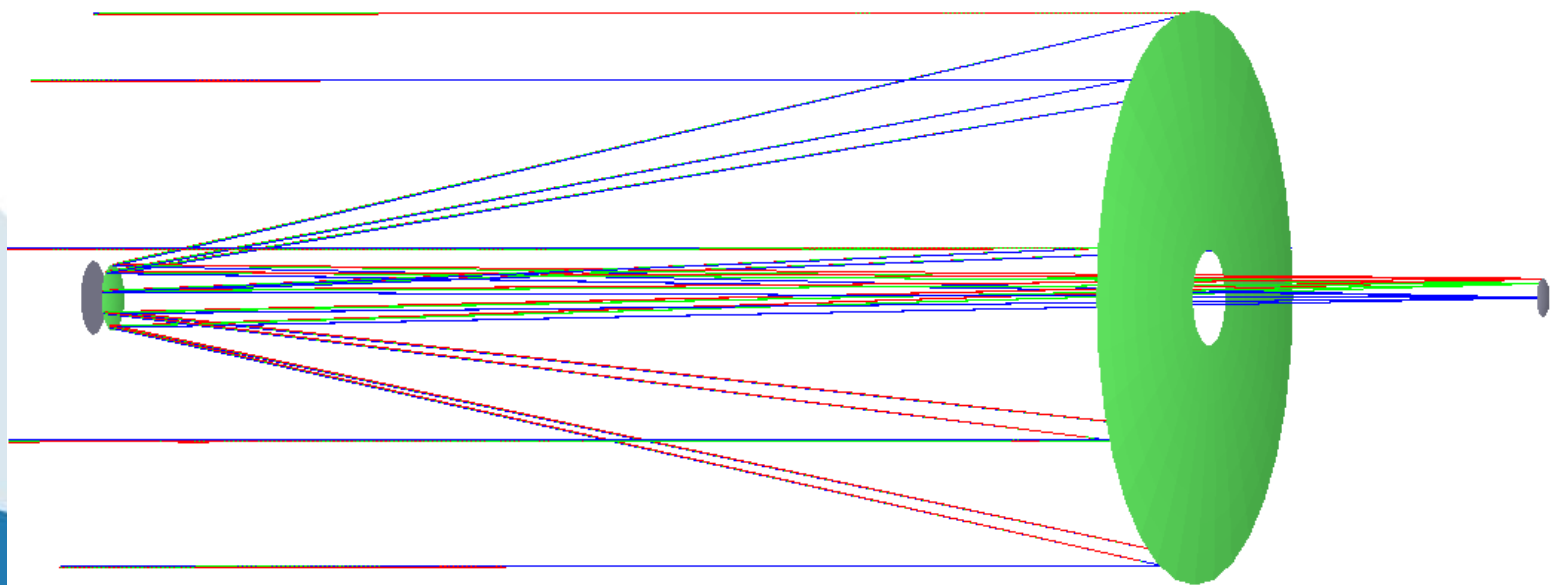
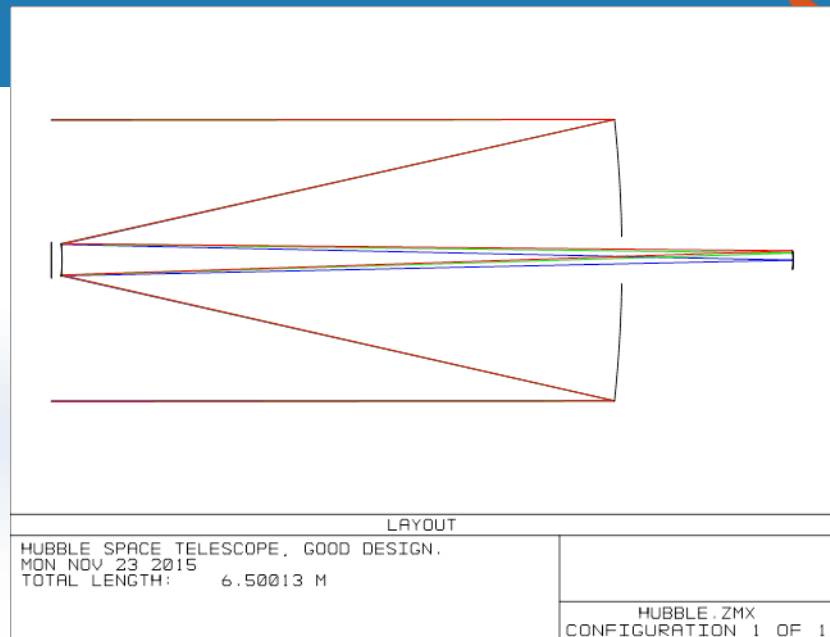




## 马克苏托夫望远镜



**哈勃望远镜：**卡塞格林式反射系统，由两个双曲面反射镜组成，一个是口径**2.4米**的主镜、另一个是装在主镜前约**4.5米**处的副镜，口径**0.3米**。

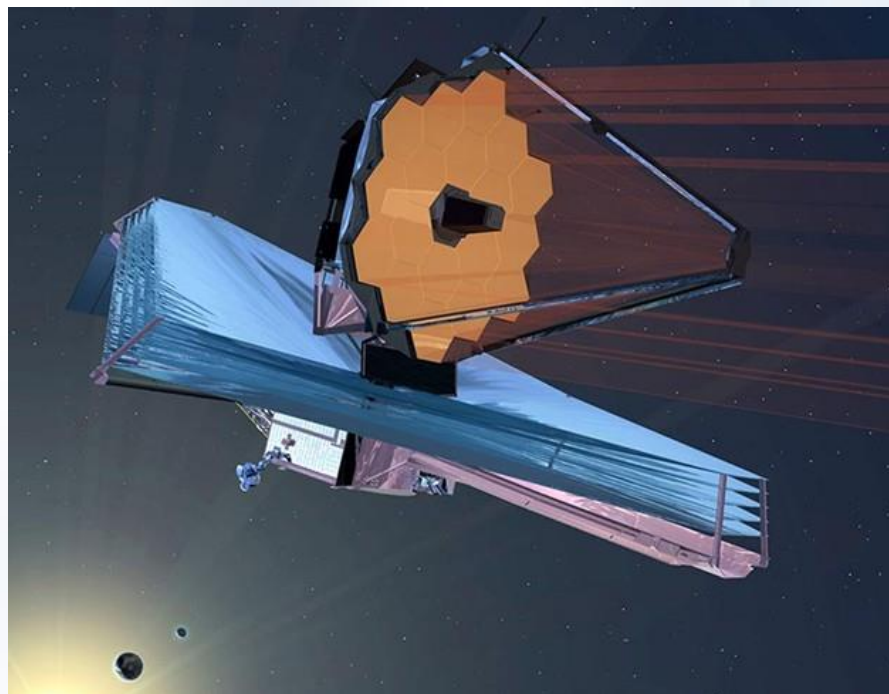


1990年，**“哈勃”望远镜**：

没有大气湍流的干扰，清晰度是地面天文望远镜的**10**倍以上，同时，图像和光谱具有极高的稳定性和可重复性。

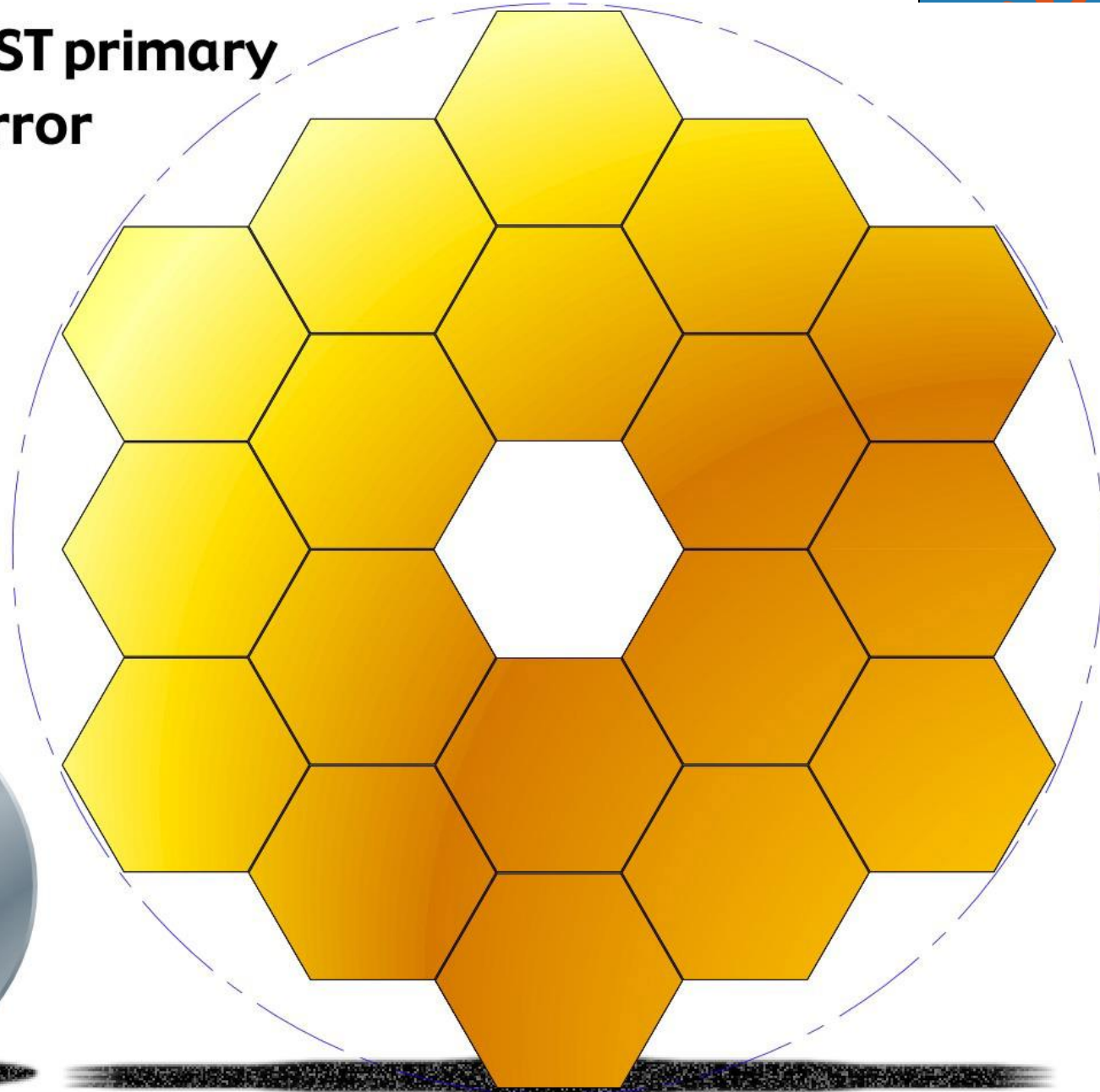


美国NASA “下一代太空望远镜”：  
“詹姆斯·韦伯太空望远镜”

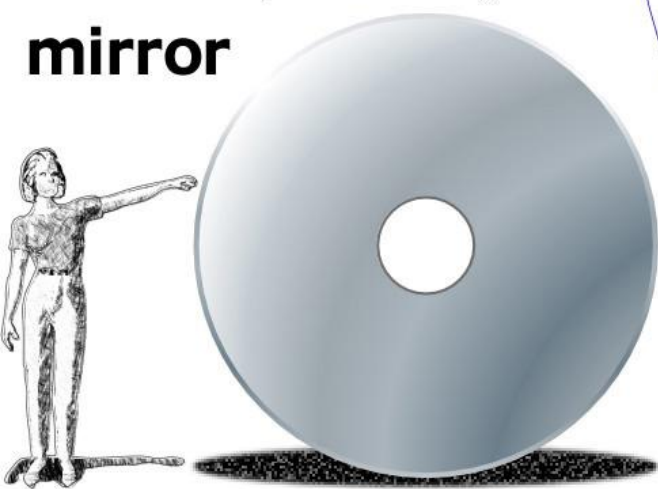




**JWST primary  
mirror**



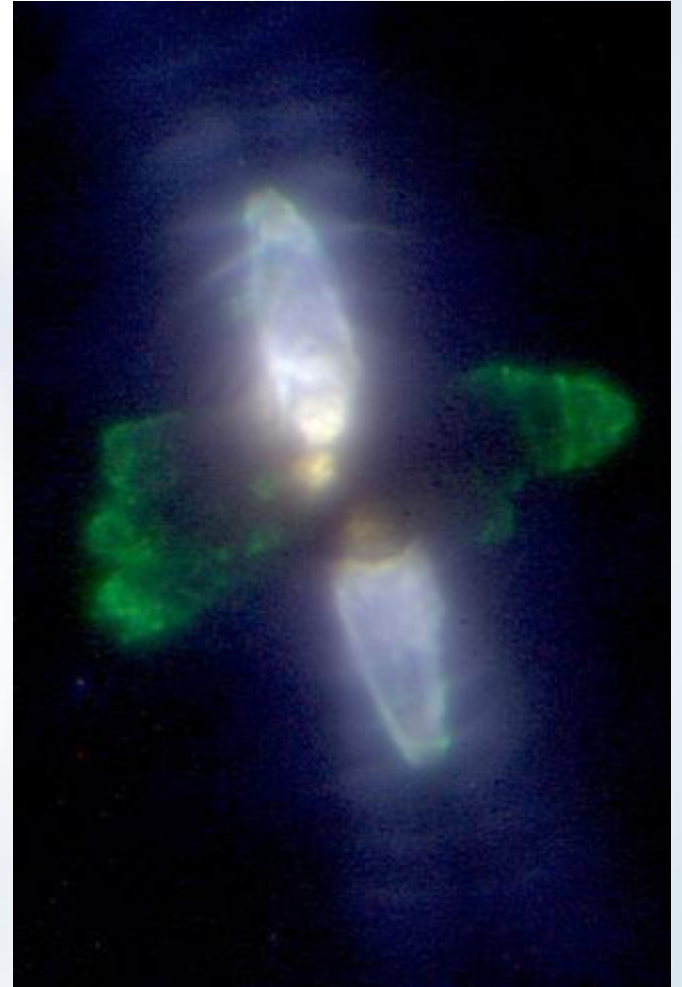
**Hubble primary  
mirror**

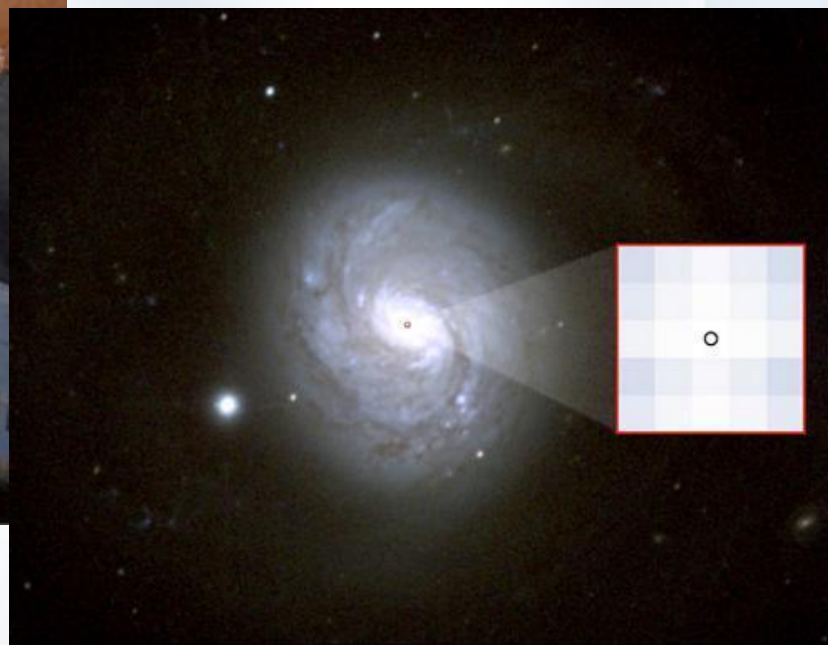






凯克望远镜(Keck I & II)

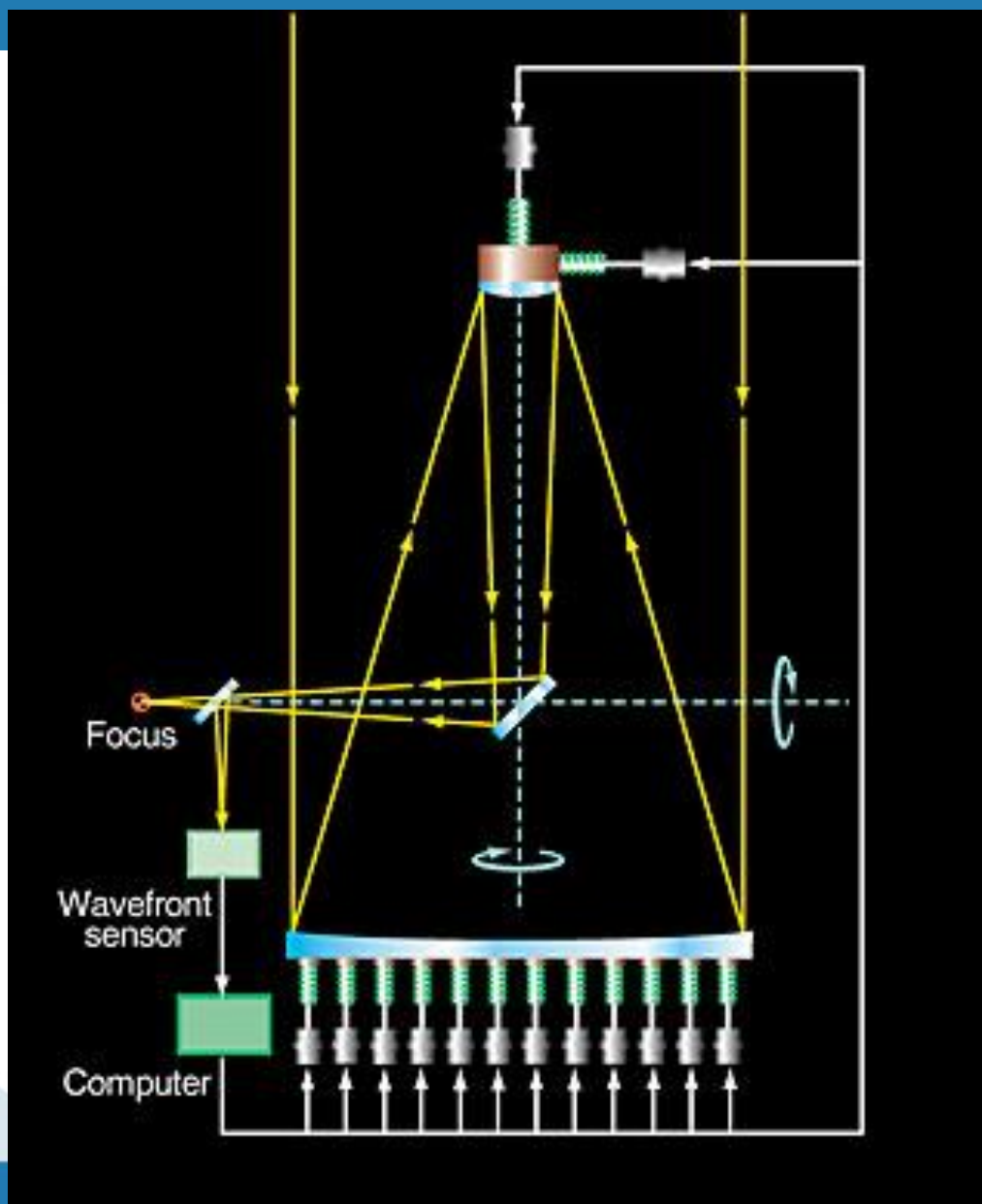




欧洲南方天文台甚大望远镜VLT



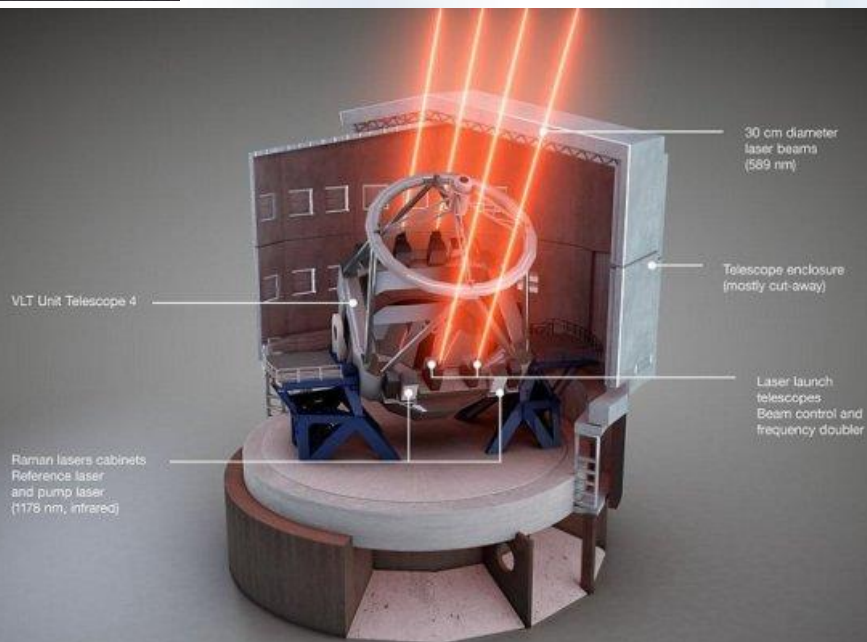





The VLT



© ESO/F. Kamphues



© ESO/F. Kamphues

- 
- ◆ 哈勃空间望远镜 (Hubble Space Telescope) 有一个直径为 2.4m 的主镜, 假定该主镜工作在衍射极限。我们想采用该望远镜来读取俄罗斯卫星表面上的文字, 若 1.0cm 的分辨率可满足该要求, 那么俄罗斯卫星距离哈勃空间望远镜有多远?

解:  $\sigma = 0.01m$

望远镜的分辨率

$$\phi = \frac{\sigma}{l} = \frac{0.01}{l} \quad (2 \text{ 分})$$

$$\phi = \frac{a}{f_o'} = \frac{0.61\lambda}{n' \sin u' f_o'} = \frac{0.61\lambda}{D/2} = \frac{140''}{D} \quad (2 \text{ 分})$$

由上面两式可解得

$$l = 35.8(km) \quad (1 \text{ 分})$$



# 五、目镜



相当于放大镜，属于短焦距中等孔径大视场系统

◆ **作用**：将物镜所成的像再放大从而成像在无穷远或明视距离处

◆ **光学特性**主要有三个：

➤ 像方视场角： $2\omega'$

➤ 相对出瞳距： $P'/f'_{\text{目}}$

➤ 工作距离： $l_F$





## 1) 目镜视场

- $\text{tg}\omega' = \Gamma \text{tg}\omega$
- 目镜的视场取决于望远镜的视觉放大率和物方视场角
- 当目镜的视场一定时，增大望远镜的视放大率必然减小整个系统的视场

## 2) 出瞳距：出瞳到目镜后表面的距离，视仪器要求而定

- 出瞳直径：出瞳位于目镜的后焦平面附近，直径一般为2-4 mm
- 相对出瞳距：出瞳距与目镜焦距之比  $P'/f'_{\text{目}}$

## 3) 工作距：目镜第一面的顶点到目镜物方焦平面的距离

## ◆视度调节

为使目视光学仪器能适应各种不同视力的人使用，可以改变目镜的前后位置，使仪器所成的像不再位于无穷远，而是位于目镜前方或后方一定距离上，以适应近视或远视眼的需要

因此，工作距离要大于视度调节的深度。

视度调节的范围一般在 $\pm 5D$

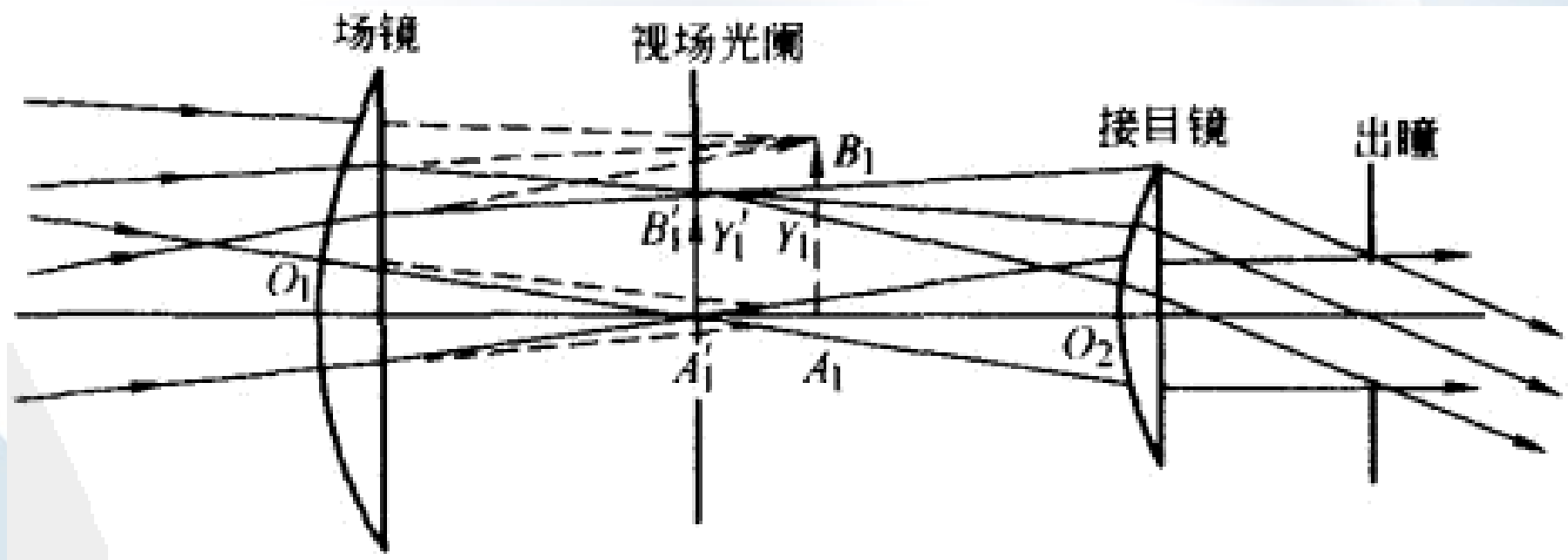
$$x = \frac{\pm 5 f_{\text{目}}'^2}{1000mm}$$

目镜相对视场光阑（分划板）的移动量



# 几种典型的目镜

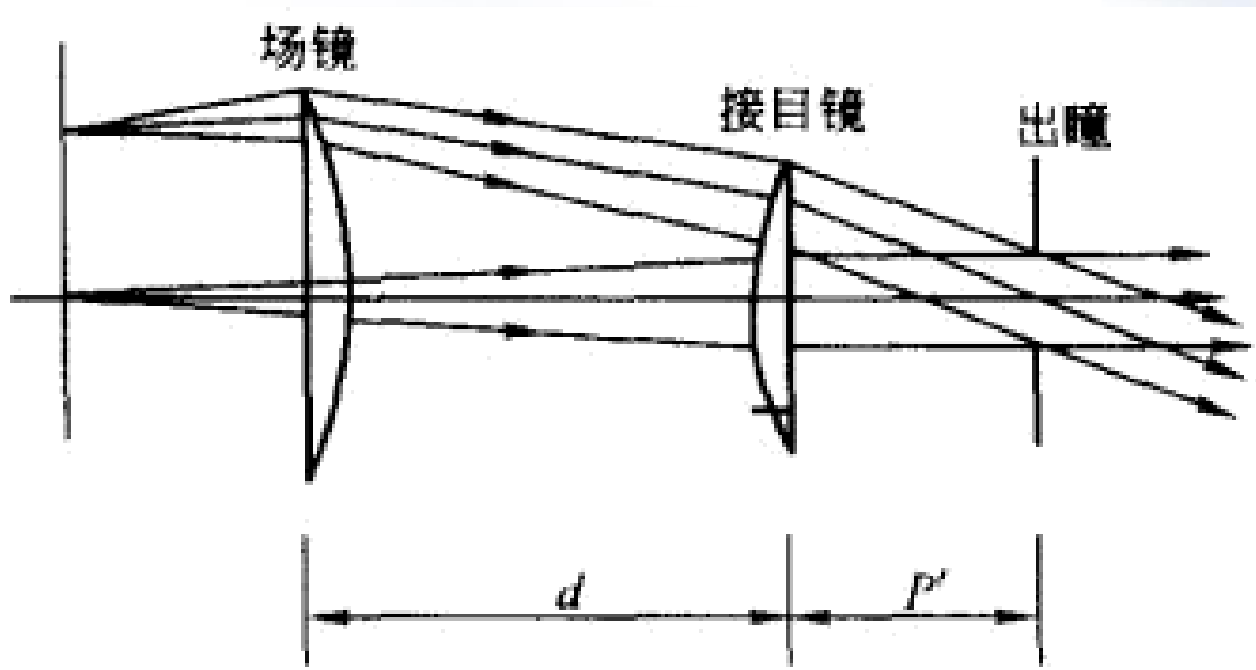
## (1) 惠更斯目镜



惠更斯目镜的视场角 $2\omega'=40^\circ\sim 50^\circ$ ，相对出瞳距约 $P'/f_e'\approx 1/3$ ，焦距 $\geq 15\text{mm}$ 。



## (2) 冉斯登目镜

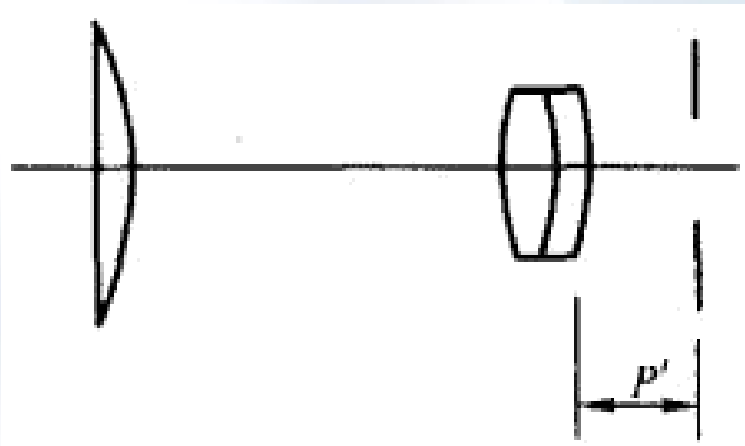


冉斯登目镜，其场镜向接目镜移近，使物镜的像平面移出目镜，可以设置分划板。冉斯登目镜的视场角 $2\omega'=30^\circ\sim 40^\circ$ ，相对出瞳距约 $P'/f_e'\approx 1/3$ 。



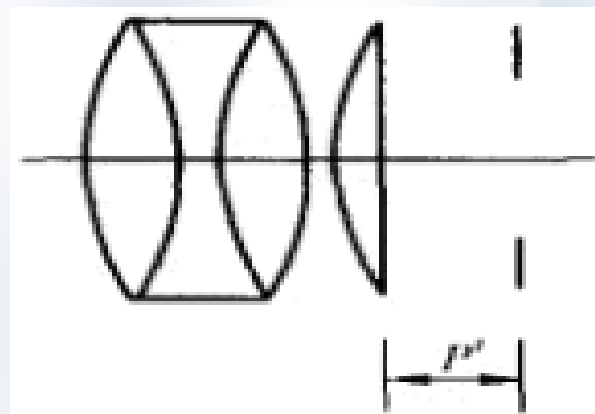
### (3) 凯涅尔目镜

$2\omega' = 45^\circ \sim 50^\circ$ ,  $P'/f' \approx 1/2$ , 出瞳靠近目镜。目镜总长度约  $1.25f'$ 。



### (4) 无畸变目镜

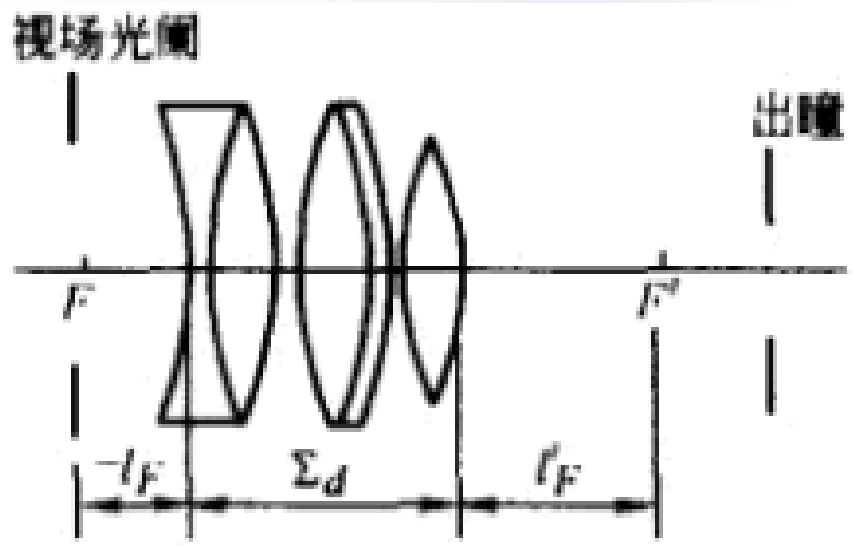
畸变小，适用于测量仪器。光学特性为  $2\omega' = 48^\circ$ ,  $P'/f' \approx 0.8$ , 在  $40^\circ$  视场时的相对畸变为  $3\% \sim 4\%$ 。





### (5) 长出瞳距目镜

军用仪器对出瞳距的要求：22~25mm；视场为 $2\omega' = 50^\circ$ 。



还有对称目镜、广角目镜、超广角目镜等



# 六、光学系统外形尺寸的计算



## ◆ 望远镜外形尺寸的计算

### ➤ 系统的要求

- ✓ 系统的光学性能和技术条件
- ✓ 系统的外形、体积
- ✓ 系统的稳定性，牢固性，和可调整性
- ✓ 对系统成像质量的要求





## ◆ 望远镜外形尺寸的计算

### ➤ 系统设计步骤

- ✓ 第一阶段为初步设计阶段，通常叫外形尺寸计算  
根据对仪器提出的要求，如光学特性，外形，重量以及有关技术条件等，确定系统的组成，各组员的焦距，各组员的相对位置和横向尺寸等
- ✓ 第二阶段为像差设计阶段  
根据第一阶段的设计结果，通过光路计算，运用像差理论和自动设计方法，确定系统的结构参数，如曲率半径，厚度以及所用的材料等等，使系统的成象质量满足使用要求



## ◆ 光学系统外形尺寸计算的主要内容

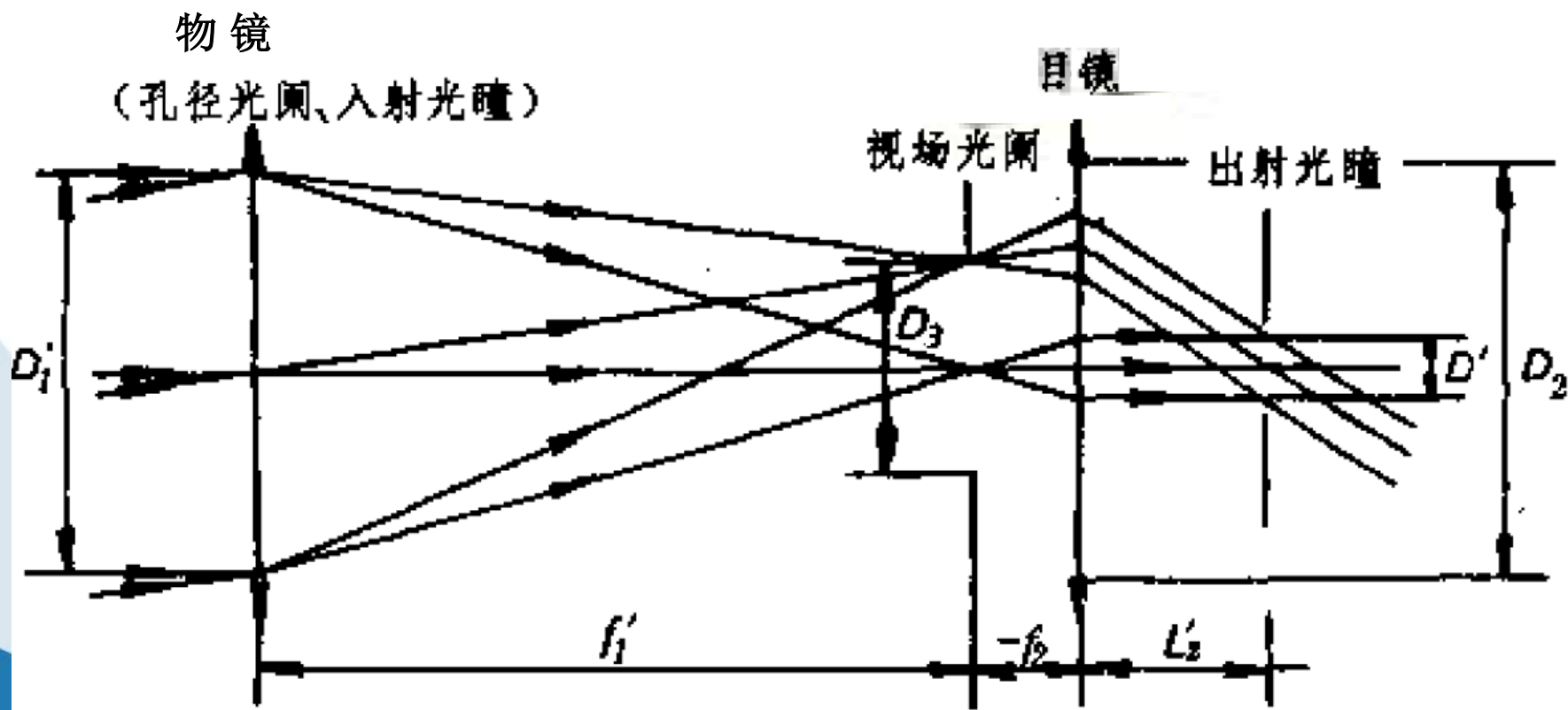
1. 根据上述光学特性和外形、提及的要求，拟定光学系统的结构原理图
2. 确定每个透镜组的光学参数，如焦距，相对孔径，视场角等。同时确定各个透镜组的相互间隔
3. 选择系统成像光束位置，并计算每个透镜的通光口径
4. 根据成像质量和光学特性的要求，选定系统中每个透镜组的型式

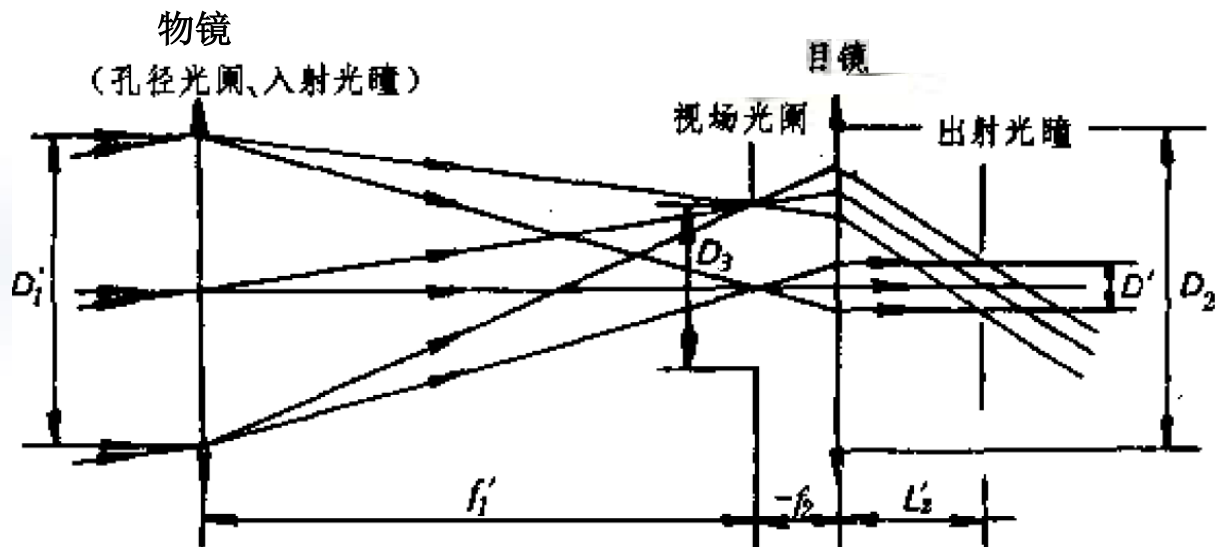
注：在初步设计中不考虑像差，完全根据理想光学系统公式进行计算

# 练习：



设计一个简单开普勒望远系统的外形尺寸。该系统由物镜、目镜组成，均为正透镜，成倒像。物镜像平面设视场光阑，要求镜筒长度 $L=175\text{mm}$ ，放大率 $\Gamma=-6\times$ ，视场角 $2\omega=7^\circ$ ，出瞳直径 $D'=4\text{mm}$





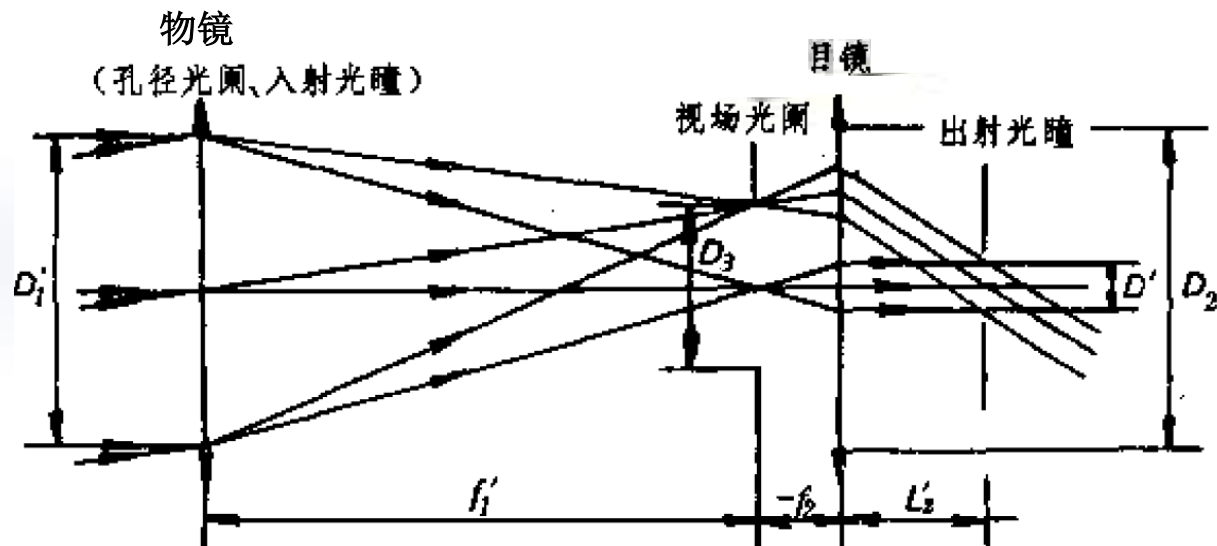
①求物镜、目镜焦距

$$\left. \begin{aligned} f'_{\text{物}} + f'_{\text{目}} &= L = 175 \\ -\frac{f'_{\text{物}}}{f'_{\text{目}}} &= \Gamma = -6 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} f'_{\text{物}} = 150(\text{mm}) \\ f'_{\text{目}} = 25(\text{mm}) \end{cases}$$

②求物镜通光孔径 $D_1$ :  $\Gamma = -\frac{D_1}{D'} \Rightarrow D_1 = -\Gamma D' = 6 \times 4 = 24(\text{mm})$

③分划板（视场光阑）直径

$$D_3 = 2f'_{\text{物}} \tan \omega = 2 \times 150 \times \tan 3.5^\circ = 18.3(\text{mm})$$



#### ④像方视场角 $\omega'$

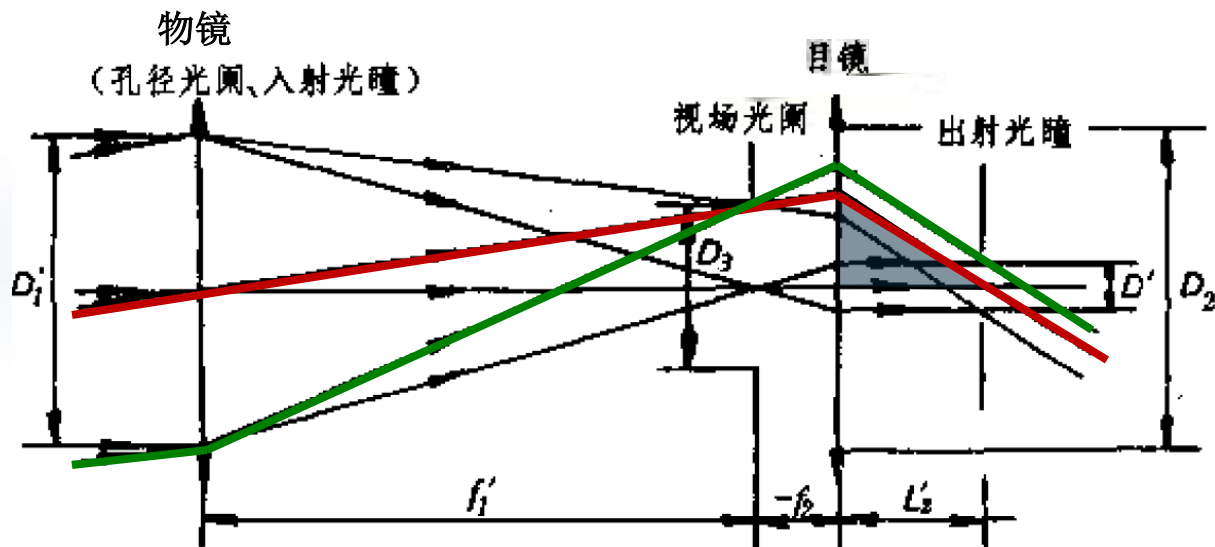
$$\tan \omega' = \Gamma \tan \omega = 6 \times \tan 3.5^\circ = 0.366$$

$$2\omega' = 40^\circ 12'$$

#### ⑤出瞳距(目镜后表面到出瞳的距离, 目镜看作薄透镜处理)

由  $xx' = ff'$ , 对目镜有:  $(-f'_{\text{物}})(l'_z - f'_{\text{目}}) = f_{\text{目}}f'_{\text{目}}$

$$l'_z = f'_{\text{目}} + \frac{f_{\text{目}}f'_{\text{目}}}{-f'_{\text{物}}} = 25 + \frac{-25 \times 25}{-150} = 29.17(\text{mm})$$



## ⑥目镜通光孔径

$$D_2 = D' + 2l'_z \tan \omega' = 4 + 2 \times 29.17 \times 0.366 = 25.35(\text{mm})$$

## ⑦视度调节量:

设调节  $\pm 5$  屈光度, 
$$x = \frac{\pm 5 f_{\text{目}}'^2}{1000} = \frac{\pm 5 \times 25^2}{1000} = \pm 1.25(\text{mm})$$

## ⑧选取物镜和目镜的结构

物镜相对孔径  $\frac{D}{f'} = \frac{24}{150} < \frac{1}{4}$ ,  $2\omega = 7^\circ$ , 可采用双胶合物镜

$2\omega' = 40^\circ 12'$ , 可选凯涅尔目镜等



◆ 设某显微镜系统物镜和目镜均为薄透镜，物镜共轭距195mm、放大倍率为-10倍，配以10倍目镜，当正常眼睛观察时成像于无穷远，镜筒内有分划板，其通光直径为18mm，物镜框为孔径光阑，物方数值孔径为0.2。求：

- (1) 物镜的焦距 $f_1'$ ；(3分)
- (2) 能看到的物方线视场 $2y$ ；(3分)
- (3) 物到物镜的距离 $l_1$ ；(3分)
- (4) 物镜的通光直径 $D_1$ ；(3分)
- (5) 目镜到出瞳的距离 $l_p'$ 和出瞳的直径 $D'$ ；(4分)
- (6) 系统的像方视场角 $2\omega'$ ；(3分)
- (7) 无渐晕时目镜的通光直径 $D_2$ ；(3分)
- (8) 当200度的近视眼观察时，应移动哪个透镜，向物方还是向眼睛方向移动？移动多少距离？(3分)

(1)  $\beta = -10 = l'_{\text{物}}/l_{\text{物}}$ ,  $-l'_{\text{物}} - l_{\text{物}} = 195\text{mm}$ , 由薄透镜成像公式可得  $f'_{\text{物}} = 16.1\text{mm}$ 。

(2)  $2y = D_{\text{分}}/10 = 1.8\text{mm}$ 。

(3)  $l_1 = -l_{\text{物}} = 17.73\text{mm}$ 。

(4)  $D' = \frac{500NA}{\Gamma} = \frac{500 \times 0.2}{10 \times 10} = 1\text{mm}$ 。.....  $\Gamma = \frac{250}{f'} \Rightarrow f' = -2.5\text{mm}$ 。

$f' = -\frac{f'_o f'_e}{\Delta} = -2.5 \Rightarrow f'_e = 25\text{mm}$ 。.....  $\frac{D'}{D_{\text{物}}} = \frac{f'_e}{l'_{\text{物}}} \Rightarrow D_{\text{物}} = 7.1\text{mm}$ 。

(5)  $\frac{1}{l'_{\text{目}}} - \frac{1}{l_{\text{目}}} = \frac{1}{f_e} \Rightarrow l'_{\text{目}} = 28.5\text{mm}$ 。.....  $D' = 1\text{mm}$ 。

(6)  $\frac{D_{\text{分}}}{D'_{\text{目}}} = \frac{177.3}{177.3 + 25} \Rightarrow D'_{\text{目}} = 20.5\text{mm}$ 。.....  $\tan W' = \frac{D'_{\text{目}}}{2l'_{\text{目}}} \Rightarrow 2W' = 39.6^\circ$ 。

(7)  $D_{\text{目}} = D'_{\text{目}} + D' = 21.5\text{mm}$ 。

(8)  $X = \frac{2f_e'^2}{1000} = 1.25\text{mm}$ 。故应将目镜远离眼睛移动  $1.25\text{mm}$ 。



# 练习：



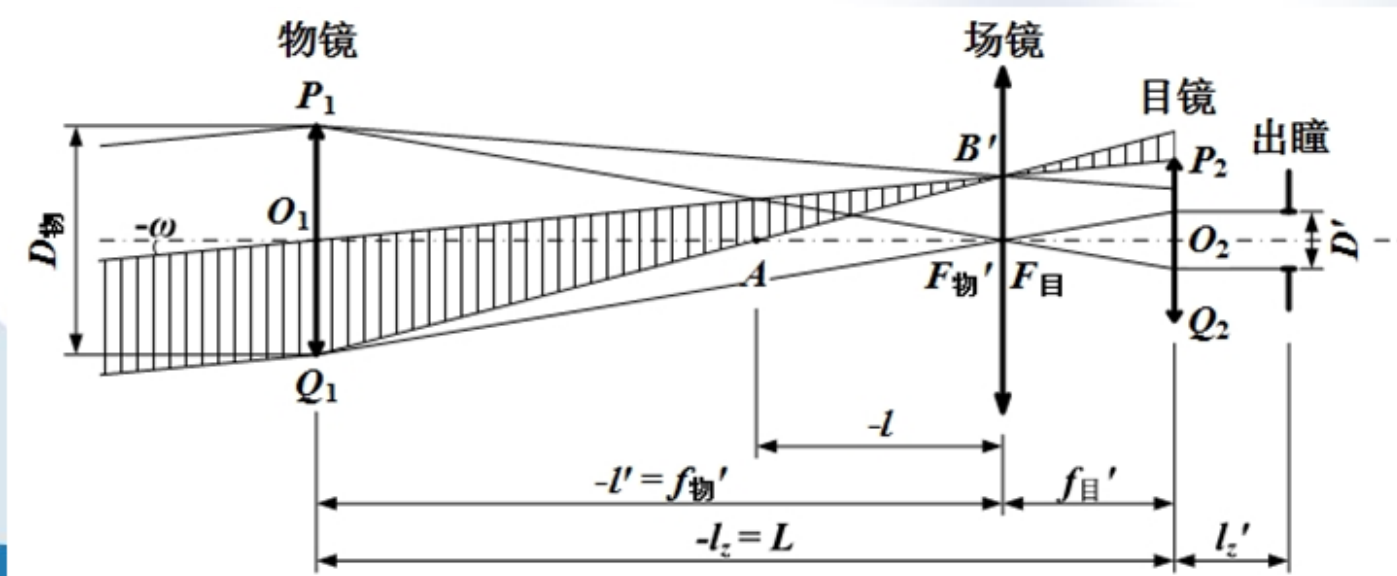
◆一个开普勒望远镜，视放大率 $\Gamma=-5\times$ ，物方视场角 $2\omega=10^\circ$ ，出瞳直径 $D'=5\text{mm}$ ，物镜和目镜之间距离 $L=120\text{mm}$ 。假定孔径光阑与物镜边框重合，由于目镜口径的限制，轴外边缘视场的线渐晕系数 $k=0.5$ 。求：

①物镜焦距和目镜焦距；（6分）

②物镜通光孔径和目镜通光孔径；（6分）

③出射光瞳离目镜的距离；（3分）

④在不增加目镜口径的情况下若要消除渐晕，需在中间像平面处加场镜，则场镜的焦距等于多少时刚好能够消除渐晕？（5分）





→ ①·根据望远系统视放大率公式及开普勒望远镜结构可知。

$$\begin{cases} \Gamma = -\frac{f'_{\text{物}}}{f'_{\text{目}}} = -5 & \rightarrow 2 \text{ 分} \\ L = f'_{\text{物}} + f'_{\text{目}} = 120 & \rightarrow 2 \text{ 分} \end{cases} \quad \text{联立解得} \quad \begin{cases} f'_{\text{物}} = 100 \text{ mm} & \rightarrow 1 \text{ 分} \\ f'_{\text{目}} = 20 \text{ mm} & \rightarrow 1 \text{ 分} \end{cases}$$

②·根据望远系统视放大率 $\Gamma$ 与入瞳、出瞳的关系 $\Gamma = \frac{D}{D'}$  → 2 分。

求得物镜通光孔径（即入瞳直径）为。

$$D_{\text{物}} = \Gamma \times D' = -5 \times 5 = -25 \text{ mm} \quad \rightarrow 1 \text{ 分。}$$

负号表示系统成倒像。

根据图中几何关系可得 $K = 0.5$ 时的目镜通光口径。

$$\begin{aligned} D_{\text{目}} &= 2L \tan \omega & \rightarrow 2 \text{ 分} \\ &= 2 \times 120 \times \tan 5^\circ \\ &\approx 21 \text{ mm} & \rightarrow 1 \text{ 分} \end{aligned}$$



③·出射光瞳是孔径光阑（即物镜边框）经目镜所成的像，其中，

$$l_z = -L = -120 \text{ mm}, \quad f'_{\text{目}} = 20 \text{ mm} \quad \rightarrow \mathbf{2 \text{ 分}}$$

由物像位置关系公式  $\frac{1}{l'_z} - \frac{1}{l_z} = \frac{1}{f'_{\text{目}}}$  可求得， $l'_z = 24 \text{ mm}$ ，即出射光瞳在目镜后方 24 mm 处。

$\rightarrow \mathbf{1 \text{ 分}}$

④·在不增加目镜口径的情况下，在中间像平面处加场镜，使光线 $Q_1B'$ 与光线 $B'P_2$ 共轭，即可刚好消除渐晕。此时，相当于点 $A$ 和点 $O_1$ 互为物像共轭。 → 1 分

根据图中几何关系可知

$$\frac{F_{\text{目}}B'}{O_1Q_1} = \frac{F_{\text{目}}A}{O_1A} \quad \rightarrow 1 \text{ 分}$$

其中，

$$F_{\text{目}}B' = f'_{\text{物}} \tan \omega \approx 8.75 \text{ mm}$$

$$O_1Q_1 = \frac{D_{\text{物}}}{2} = 12.5 \text{ mm}$$

$$F_{\text{目}}A = -l$$

$$O_1A = -l' + l = f'_{\text{物}} + l = 100 + l$$

$$\frac{8.75}{12.5} = \frac{-l}{100 + l} \quad \rightarrow 1 \text{ 分}$$

$$\text{解得 } l = -\frac{700}{17} \text{ mm。} \quad \rightarrow 1 \text{ 分}$$

代入物像位置关系公式 $\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f'_{\text{场}}}$ ，可求得

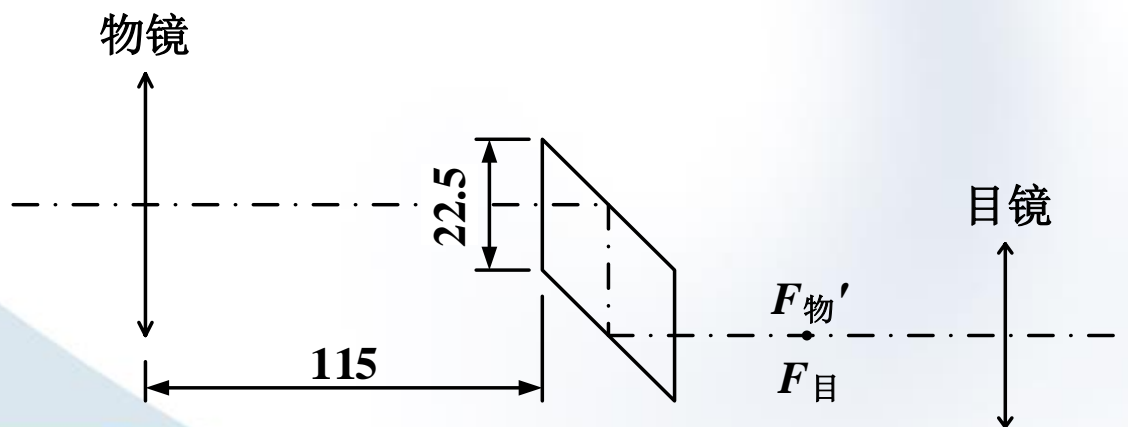
$$f'_{\text{场}} = 70 \text{ mm} \quad \rightarrow 1 \text{ 分}$$

# 练习：



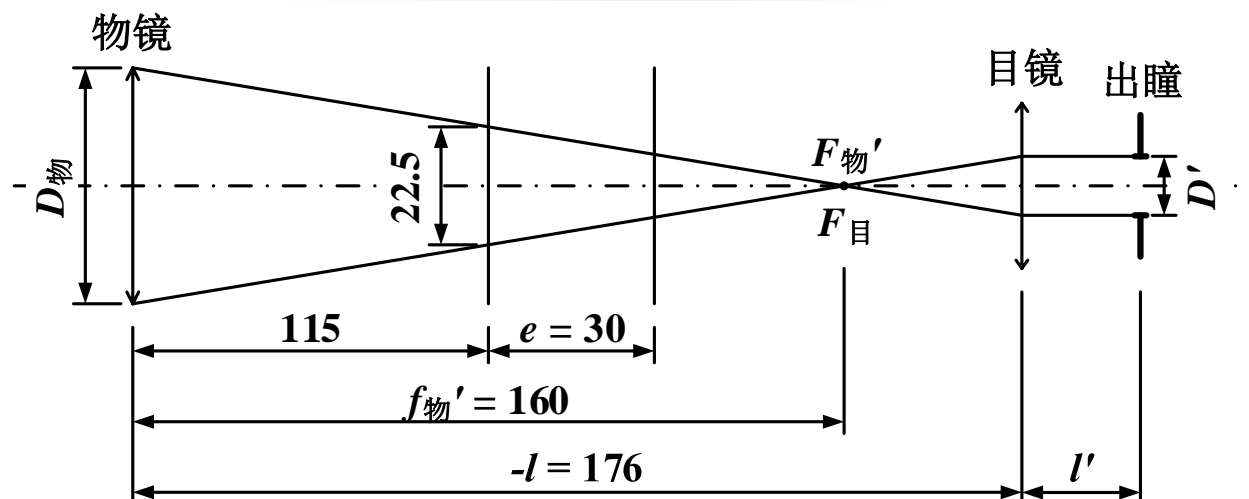
- ◆ 如图所示为开普勒望远镜系统和斜方棱镜组合而成的10倍望远系统。物镜焦距160mm。若孔径光阑位于物镜框上，物镜的焦距，斜方棱镜入射面到物镜距离为115 mm，轴向（与光轴平行）光束在棱镜上的通光口径 $D=22.5$  mm（斜方棱镜展开厚度 $L=2D$ ， $n=1.5$ ），求：

1. 目镜的焦距；
2. 目镜离棱镜出射面的距离；
3. 物镜的口径；
4. 出射光瞳的直径；
5. 出射光瞳离目镜的距离。



①→ 根据望远系统的视放大率公式  $\Gamma = -\frac{f'_{\text{物}}}{f'_{\text{目}}}$ ，得

$$f'_{\text{目}} = -\frac{f'_{\text{物}}}{\Gamma} = -\frac{160}{-10} = 16 \text{ mm}$$



斜方棱镜展开后的平行平板厚度为  $L = 2D = 2 \times 22.5 = 45 \text{ mm}$ 。

则等效空气层厚度为  $e = \frac{L}{n} = \frac{45}{1.5} = 30 \text{ mm}$ 。

所以，目镜离棱镜出射表面的距离为  $176 - 115 - e = 31 \text{ mm}$ 。



③→根据图中几何关系……  $\frac{D_{\text{物}}}{22.5} = \frac{160}{160-115}$ ，求得  $D_{\text{物}} = 80 \text{ mm}$ 。

④→根据望远系统视放大率  $\Gamma$  与入瞳及出瞳的关系……  $\Gamma = \frac{D}{D'}$ ，

求得出瞳直径为……  $D' = \frac{D_{\text{物}}}{\Gamma} = \frac{80}{-10} = -8 \text{ mm}$ 。

负号表示系统成倒像。

⑤→出射光瞳是孔径光阑即物镜边框经目镜所成的像，其中

$$l = -176 \text{ mm}, \quad f'_{\text{目}} = 16 \text{ mm}$$

由物像位置关系公式……  $\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f'_{\text{目}}}$ ，

可求得  $l' = 17.6 \text{ mm}$ ，即出射光瞳在目镜后方 17.6 mm 处。



## ◆ 本章小结：

- 掌握典型光学系统的视角放大率
- 放大镜、显微系统、望远镜系统的工作原理、典型结构及基本参数；
- 理解望远镜的外形尺寸计算程序；