



# 应用光学

# Applied Optics

任课教师：陈瑞

电子邮箱：[chenr229@mail.sysu.edu.cn](mailto: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



# 应用光学课程

复习

## 应用光学

### 几何光学

- 几何光学基本定律
- 球面和平面系统
- 平面和平面系统
- 理想光学系统
- 系统中光束的限制
- 光能及其传播计算

### 像差理论

- 轴上点像差 - 球差
- 轴外点像差
- 色像差
- 波像差
- 光线追迹

### 光学系统

- 典型光学系统
- 现代光学系统
- 眼睛
- 显微系统
- 望远系统
- 摄影摄像与放映系统



# 典型光学系统

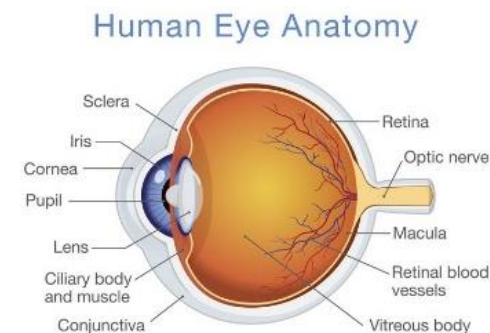
视觉是我们最重要的感觉，但是**眼睛**的视觉能力并不是无限的；  
传统的光学仪器就是人眼能力的**延伸**。

光学系统

微观方向的延伸：**放大镜、显微镜**

宏观方向的延伸：**望远镜**

时间方向的延伸：**照相机、摄影摄像机**





# 显微系统基本原理

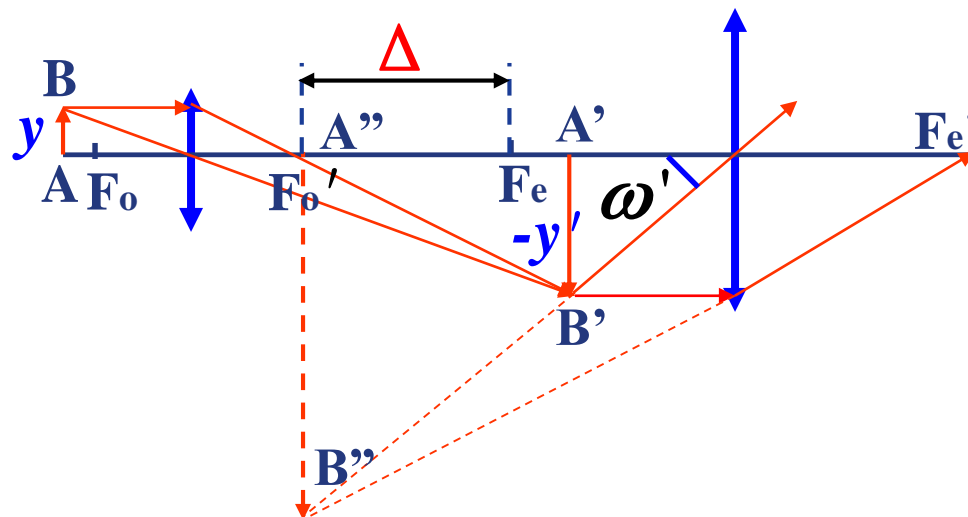
复习

对于正常眼，A'B'成像于目镜物方焦平面时，观察最为舒适。此时有：

$$M = \frac{\tan \omega'}{\tan \omega} = \frac{y'/f_e'}{y/D} = \frac{y'}{y} \frac{250}{f_e'} = \beta \frac{250}{f_e'}$$

$$\beta = -\frac{x'}{f_o'} = -\frac{\Delta}{f_o'}$$

$$M = \beta \frac{250}{f_e'} = -\frac{\Delta}{f_o'} \frac{250}{f_e'} = \frac{250}{f'}$$



光学筒长：物镜后焦点与目镜前焦点之间的距离  $F_o'F_e$ ；

显微镜相当于一个复杂的放大镜。



## 第十四章 望远系统

望远镜是一种用于观察远距离物体的目视光学仪器，能够把物方很小的物体张角按照一定的倍率放大，使之在像空间具有较大的张角，使本来无法由肉眼看清或分辨的物体变得清楚可见或明晰可辨。

### 主要内容

- 14.1 望远系统发展历史
- 14.2 望远系统基本特性
- 14.3 伽利略和开普勒望远镜
- 14.4 望远镜的转像系统
- 14.5 望远镜的物镜和目镜 (自学)
- 14.6 望远镜的尺寸计算



## 第十四章 望远系统

望远镜是一种用于观察远距离物体的目视光学仪器，能够把物方很小的物体张角按照一定的倍率放大，使之在像空间具有较大的张角，使本来无法由肉眼看清或分辨的物体变得清楚可见或明晰可辨。

### 主要内容

- 14.1 望远系统发展历史
- 14.2 望远系统基本特性
- 14.3 伽利略和开普勒望远镜
- 14.4 望远镜的转像系统
- 14.5 望远镜的物镜和目镜
- 14.6 望远镜的尺寸计算





# 14.1 望远系统发展历史

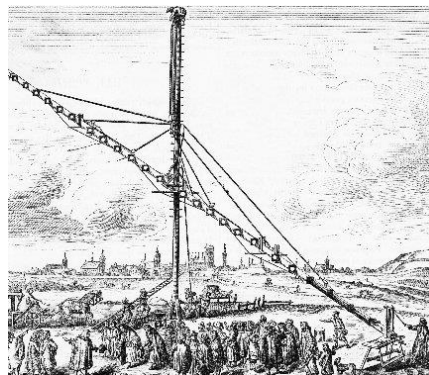
<https://interestingengineering.com/a-brief-history-of-the-telescope-from-1608-to-gamma-rays>



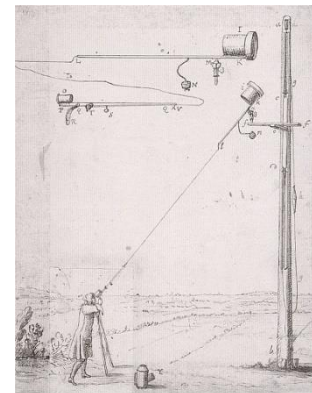
1608年, Hans Lippershey 发明折射式望远镜



1609年, Galileo改进折射式望远镜, 第一台天文望远镜



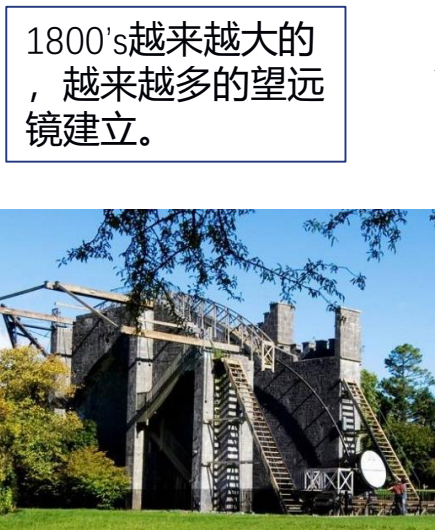
1611年, Kepler 发明了开普勒望远镜, 采用了不同的结构



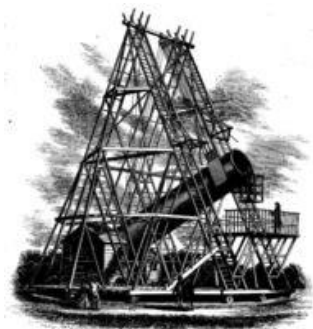
1655年, Huygens 设计了自己的望远镜, 并发现了土星的卫星 (Titan)



1668年, Newton发明了反射式望远镜, 无色散, 易于构建, 大视场



1800's越来越大的, 越来越多的望远镜建立。



1793年, Herschel改进反射式望远镜, 提高了反射率。



1721年, Hadley改进了牛顿的模型, 提高天文上应用的精度



<https://www.britannica.com/biography/Hans-Lippershey>



# 14.1 望远系统发展历史



1917年，胡克望远镜(Hooker Telescope)在美国加利福尼亚的威尔逊山天文台建成，口径为100英寸(约254cm)。正是使用这座望远镜，哈勃(Edwin Hubble)发现了宇宙正在膨胀的惊人事实。



1937年，第一台射电望远镜在贝尔电话实验室诞生



1963年，阿雷西博射电望远镜(Arecibo Radio Telescope) 350米口径



2016年9月建成的中国天眼(FAST),成为世界最大单口径的望远镜 (500米口径)

最灵敏的射电望远镜是阿雷西博射电望远镜2.25倍。

1990年，Hubble太空望远镜由“发现者”号航天飞机发射成功







# 14.1 望远系统发展历史

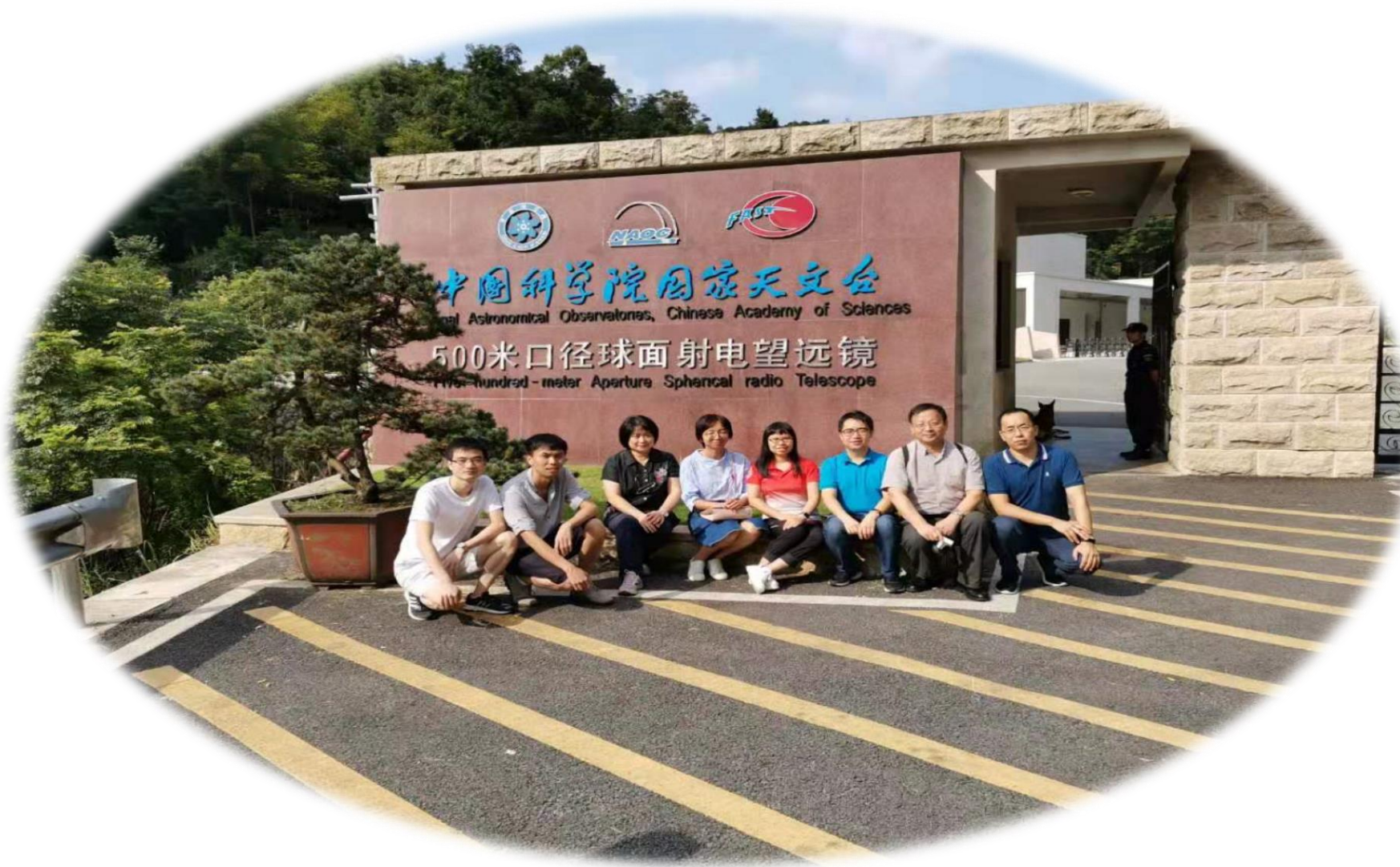
## 誉侃万里行——贵州FAST研学



天眼FAST（FAST—Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope，500米口径球面射电望远镜）



## 14.1 望远系统发展历史









# 14.1 望远系统发展历史

## 一. 望远系统发展历史

### 科学目标

- 1、FAST有能力将中性氢观测延伸至宇宙边缘，重现宇宙早期图像。
- 2、能用一年时间发现数千颗脉冲星，建立脉冲星计时阵，参与未来脉冲星自主导航和引力波探测。
- 3、主导国际甚长基线干涉测量网，获得天体超精细结构。
- 4、进行高分辨率微波巡视，检测微弱空间信号。
- 5、参与地外文明搜寻。
- 6、参与子午链工程，提高非相干散射雷达双机系统性能。
- 7、将深空通讯能力延伸至太阳系外缘行星，将卫星数据接收能力提高100倍。

### 应用目标

- 1、空间飞行器的测控与通讯
- 2、脉冲星计时阵和自主导航
- 3、非相干散射雷达接收系统
- 4、高分辨率微波巡视

### 技术指标

- 1、球反射面：半径 - 300m,口径 - 500m
- 2、有效照明口径：300m
- 3、焦比：0.467
- 4、天空覆盖：天顶角 40°
- 5、工作频率：70MHz - 3GHz
- 6、灵敏度(L波段)：2000





## 第十四章 望远系统

望远镜是一种用于观察远距离物体的目视光学仪器，能够把物方很小的物体张角按照一定的倍率放大，使之在像空间具有较大的张角，使本来无法由肉眼看清或分辨的物体变得清楚可见或明晰可辨。

### 主要内容

- 14.1 望远系统发展历史
- 14.2 望远系统基本特性
- 14.3 伽利略和开普勒望远镜
- 14.4 望远镜的转像系统
- 14.5 望远镜的物镜和目镜
- 14.6 望远镜的尺寸计算



## 14.2 望远系统的基本特性

### 一. 望远系统光学原理

❖ 目视光学仪器的两个要求：

- **扩大视角和出射平行光；**

❖ 显微镜是将近物成像于无限远，望远镜使无限远物体成像在无限远，所以望远镜是一个**无焦系统**；

❖ 由于是**无焦系统**，物镜的像方焦点和目镜的物方焦点应重合，光学（筒长）间隔  $\Delta = 0$ 。

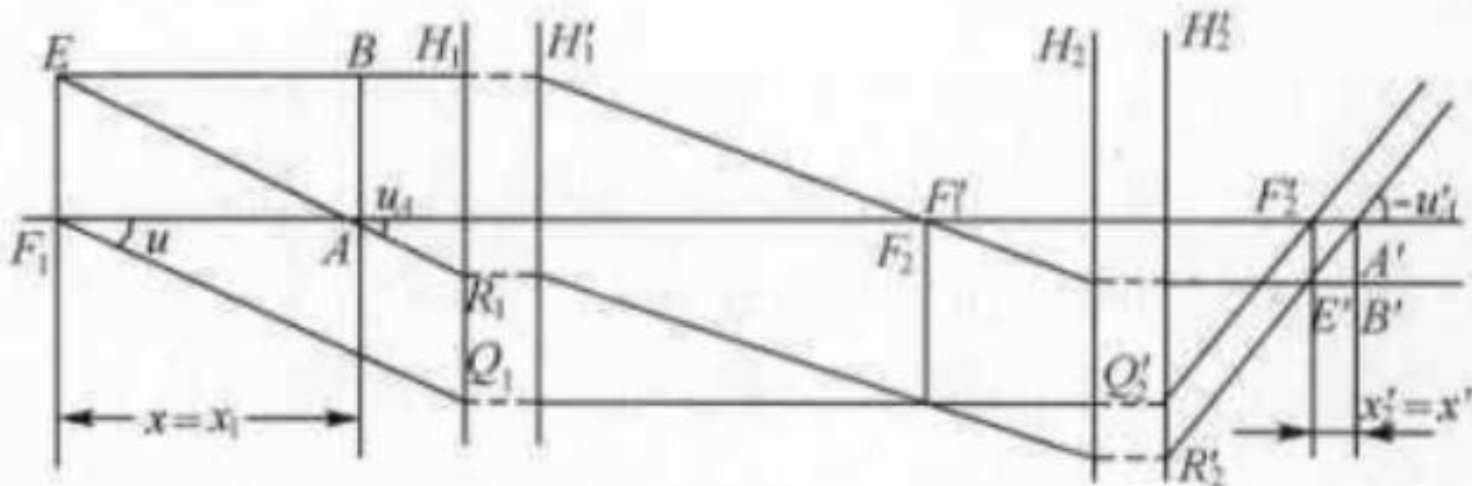
❖ **望远系统：** 使入射的平行光束能够保持平行射出的光学系统称为**望远系统**或**望远镜**；



## 14.2 望远系统基本特性

### 一. 望远系统光学原理

- 如图所，物点A相对于原点 $F_1$ 的位置为 $x_1$ ，A经系统所成的像 $A'$ 相对于原点 $F_2'$ 的位置为 $x_2'$ 。



应用牛顿公式:  $x_1 x_1' = f_1 f_1' \quad x_2 x_2' = f_2 f_2' \quad \xrightarrow{x_1' = x_2} \quad x_2' = \frac{f_2 f_2'}{f_1 f_1'} x_1$

放大率:  $\beta = -\frac{x'}{f'} = -\frac{f}{x} \quad \longrightarrow \quad \beta = \beta_1 \beta_2 = \frac{-x_1'}{f_1'} \times \frac{-f_2}{x_2} = \frac{f_2}{f_1'}$



## 14.2 望远系统的基本特性

### 一. 望远系统光学原理

轴向放大率:

$$\alpha = \frac{dx'_2}{dx_1} = \frac{f_2 f'_2}{f_1 f'_1}$$

$$x'_2 = \frac{f_2 f'_2}{f_1 f'_1} x_1$$

角向放大率:  $\gamma = \frac{\tan u'}{\tan u} = -\frac{yf}{y'f'} = -\frac{f}{f'} \frac{1}{\beta}$

$$\longrightarrow \gamma = \frac{\tan u'}{\tan u} = \frac{f_1}{f'_2}$$

$$\beta = \frac{f_2}{f'_1} \quad f' = -\frac{f'_1 f'_2}{\Delta} \quad f = \frac{f_1 f_2}{\Delta}$$

望远镜总在空气中应用:  $f'_1 = -f_1, \quad f'_2 = -f_2,$

$$\longrightarrow \beta = -\frac{f'_2}{f'_1}, \quad \alpha = \beta^2, \quad \gamma = -\frac{f'_1}{f'_2}$$

- 望远镜系统的放大率仅由系统的两个光组的焦距所决定;
- 物像位置不影响放大率。





## 14.2 望远系统的基本特性

### 一. 望远系统光学原理

- 望远镜系统一般不单独用作成像系统，而是与眼睛联用，以扩大眼睛对远处物体的洞察能力。
- 从无穷远物体上各点发出并进入望远系统的平行光束，经过系统后仍为**平行光束**。
- 正常眼的光学系统正好将这些平行光束会聚于视网膜上，形成无穷远物体的像。





## 14.2 望远系统的基本特性

### 一. 望远系统光学原理

- 请问若有近视，用望远镜观察远方物体时是否需要把眼镜取下？
  1. 需要
  2. 不需要
  3. 都可以

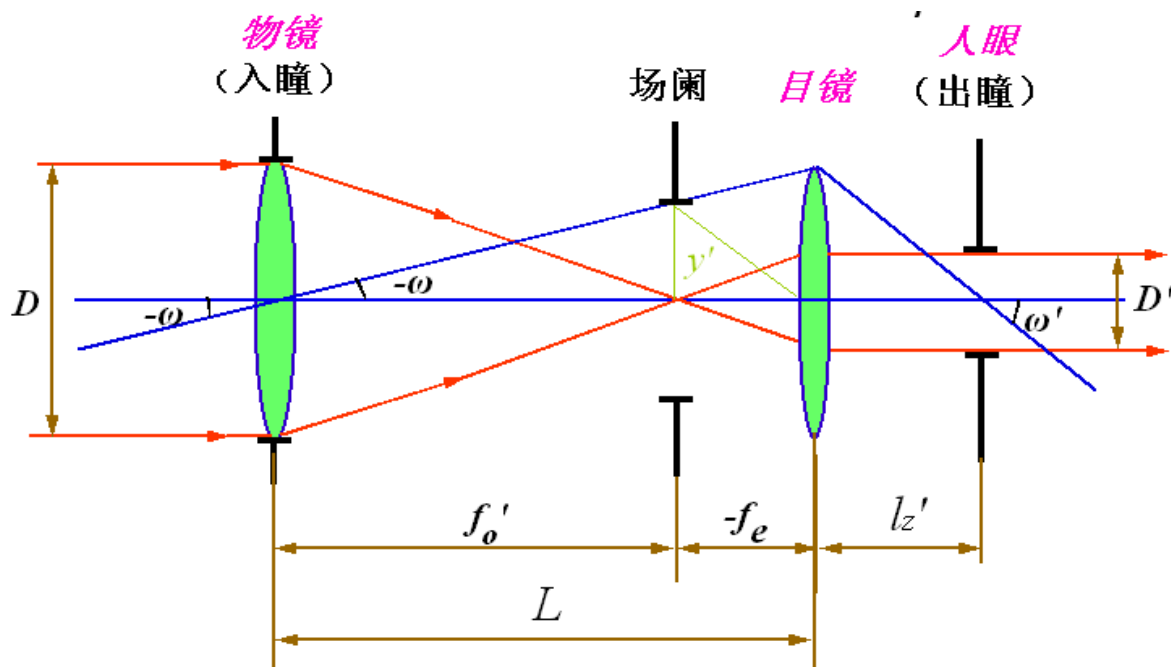


## 14.2 望远系统的基本特性

### 二. 望远系统的视觉放大率

- **视觉放大率**：望远镜的视觉放大率是远处物体经系统所成的像对眼睛的张角的正切与该物体直接对眼睛张角的正切之比 $M$ ：

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{\tan \omega_{\text{仪}}}{\tan \omega_{\text{眼}}} = \frac{\tan u'}{\tan u} \\
 &= \gamma = -\frac{f_o'}{f_e'} \\
 &= \frac{1}{\beta} = -\frac{D}{D'}
 \end{aligned}$$





## 14.2 望远系统的基本特性

### 二. 望远系统的视觉放大率

$$M = \frac{\tan \omega_{\text{仪}}}{\tan \omega_{\text{眼}}} = \frac{\tan u'}{\tan u} = \gamma = -\frac{f'_o}{f'_e} = \frac{1}{\beta} = -\frac{D}{D'}$$

- 望远镜系统的**视觉放大率**是物镜焦距与目镜焦距之比;
- 当目镜焦距一定时, 视觉放大率大要求物镜焦距长, 导致筒长增大;
- 当像方视场角一定时, 放大率越大, 物方视场越小;
- 出瞳要与眼瞳匹配, 当放大率大时入瞳增大导致镜筒增大;
- 物镜的焦距总是正的, 如果目镜也为正值, 则 $M < 0$ , 眼睛看到的是**倒像**, 如**开普勒望远镜**;
- 如果目镜为负值, 则 $M > 0$ , 眼睛看到的是**正像**, 如**伽利略望远镜**。



## 14.2 望远系统的基本特性

### 三. 望远镜的分辨率和工作放大率

- 望远镜的入瞳直径为D时，能分辨的远处两点对入瞳中心的最小张角为：

$$\phi'' = \frac{140''}{D}$$

- 为了充分利用物镜的分辨率，望远镜应把此角度放大到能为眼睛所分辨的程度，因此，

$$M \phi'' = M \frac{140''}{D} \geq 60'' \quad \longrightarrow \quad M \geq \frac{D / \text{mm}}{2.3} \quad \boxed{\text{正常放大率}}$$



- 望远镜的正常放大率就是望远镜的出瞳直径为2.3mm时候的视觉放大率。



## 第十四章 望远系统

望远镜是一种用于观察远距离物体的目视光学仪器，能够把物方很小的物体张角按照一定的倍率放大，使之在像空间具有较大的张角，使本来无法由肉眼看清或分辨的物体变得清楚可见或明晰可辨。

### 主要内容

- 14.1 望远系统发展历史
- 14.2 望远系统基本特性
- 14.3 伽利略和开普勒望远镜
- 14.4 望远镜的转像系统
- 14.5 望远镜的物镜和目镜
- 14.6 望远镜的尺寸计算



## 14.3 伽利略和开普勒望远镜

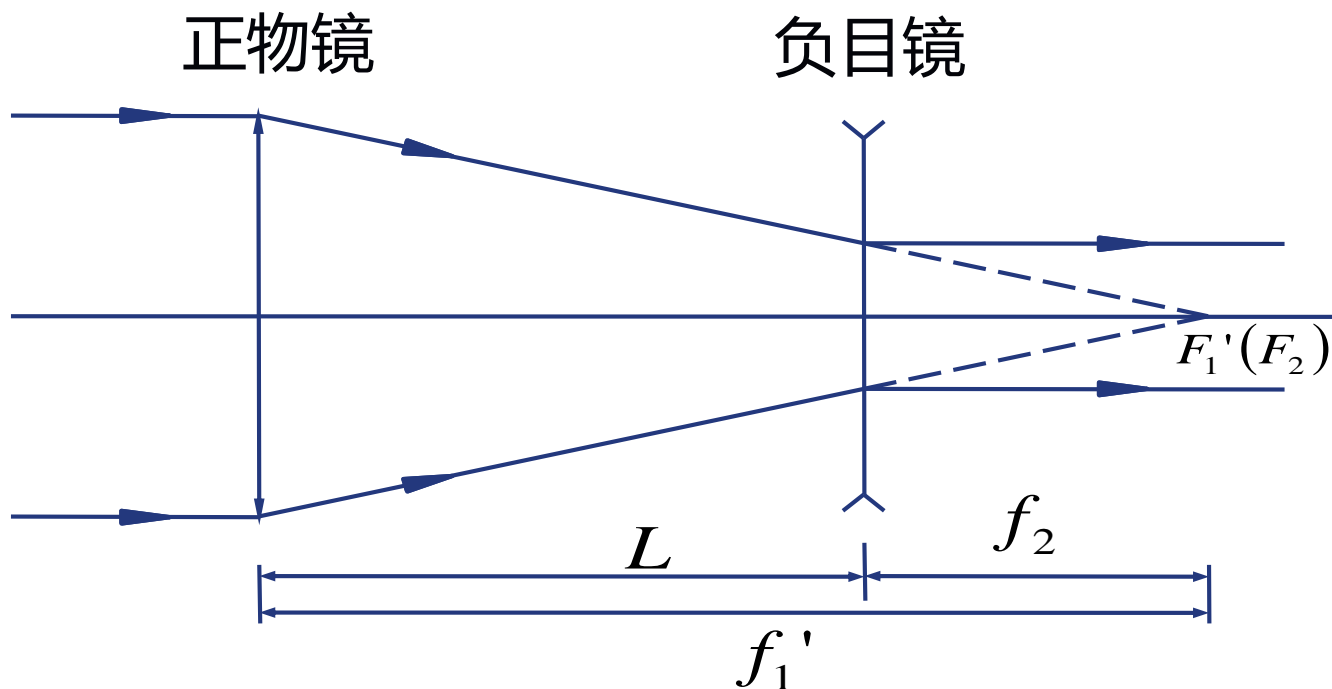
### 一. 伽利略望远镜



伽利略1609年创制，用它发现了木星的卫星而得名。

## 14.3 伽利略和开普勒望远镜

### 一. 伽利略望远镜



- 筒长短、体积小、重量轻等

- 系统长度：

$$L = f_1' - f_2 = f_1' + f_2'$$

- 无中间实像面，无法安装分划板，不能直接作为瞄准和精确定位之用。
- 能成正立像，用于低倍率，如观剧镜。

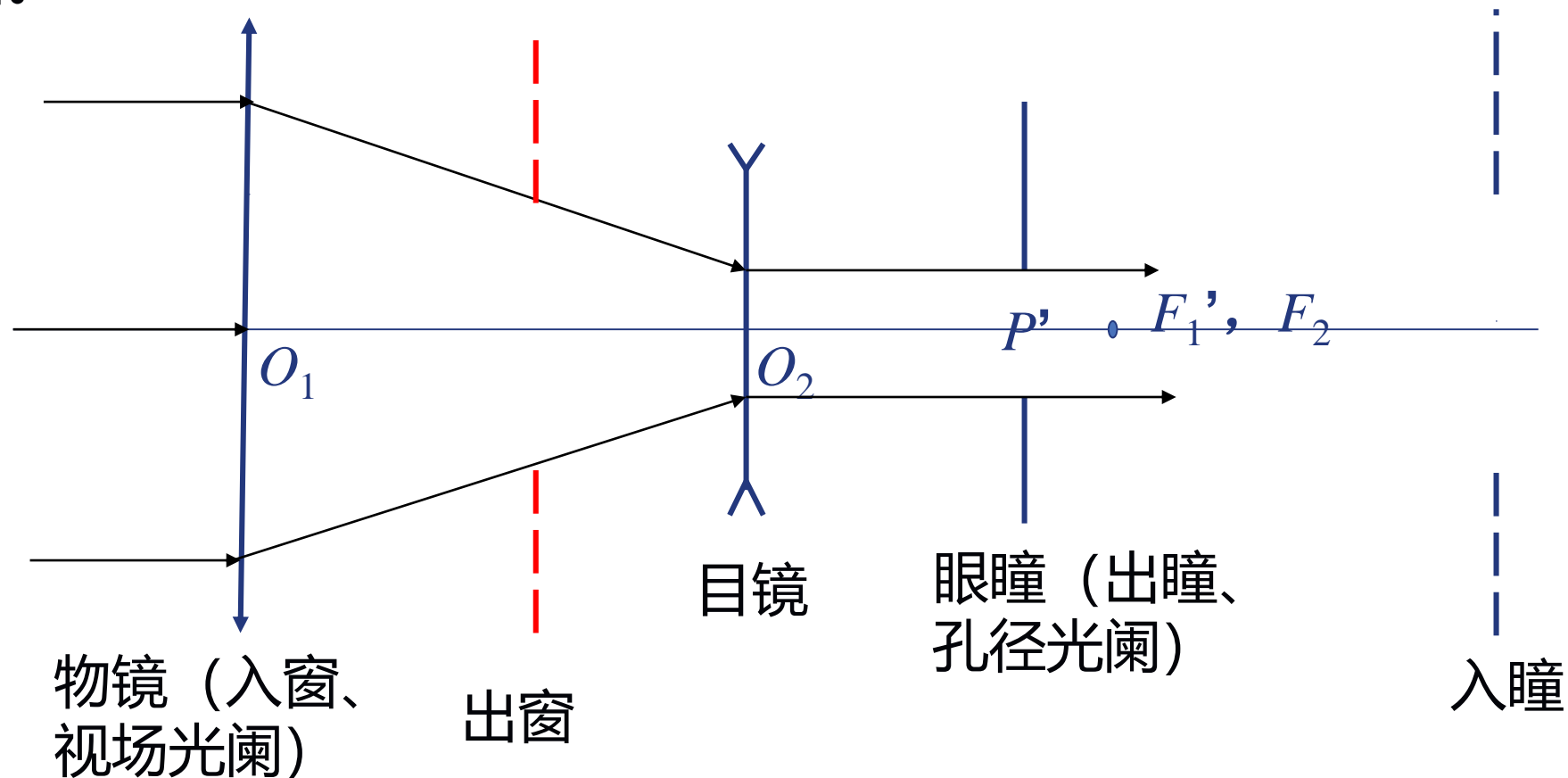




## 14.3 伽利略和开普勒望远镜

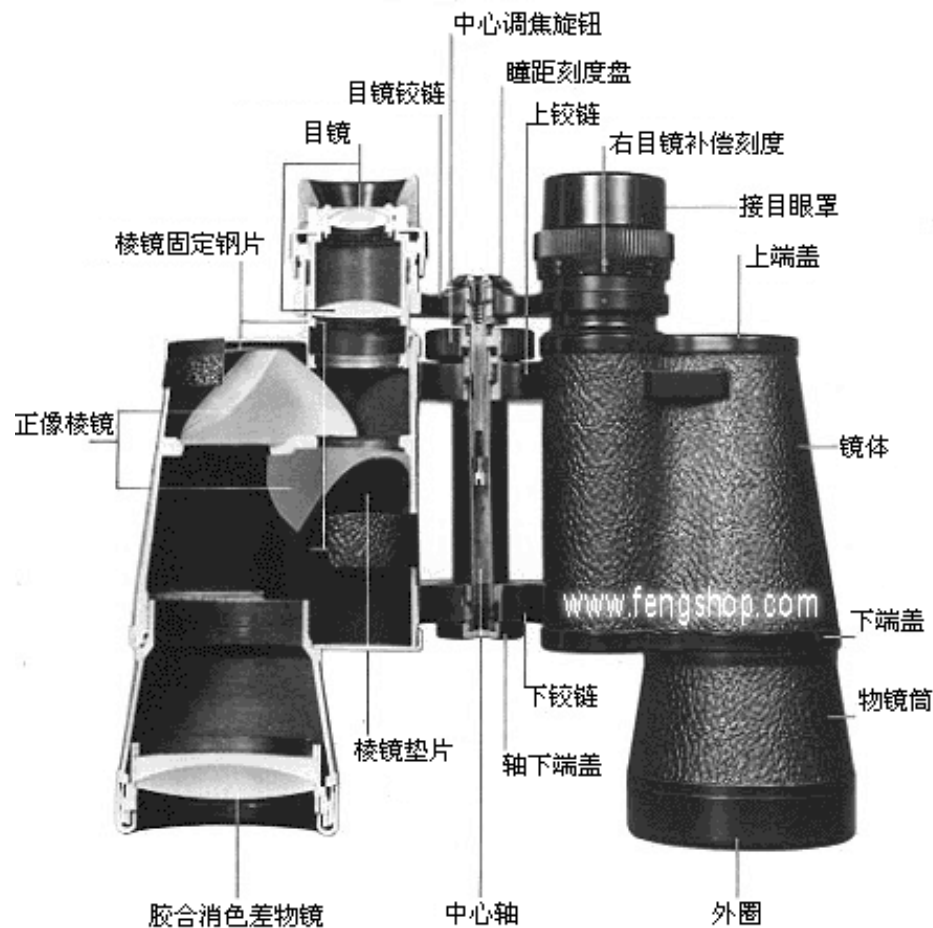
### 一. 伽利略望远镜

**光束限制：** 眼瞳为孔径光阑，同时也是出瞳；物镜框是视场光阑，同时也是入窗。



## 14.3 伽利略和开普勒望远镜

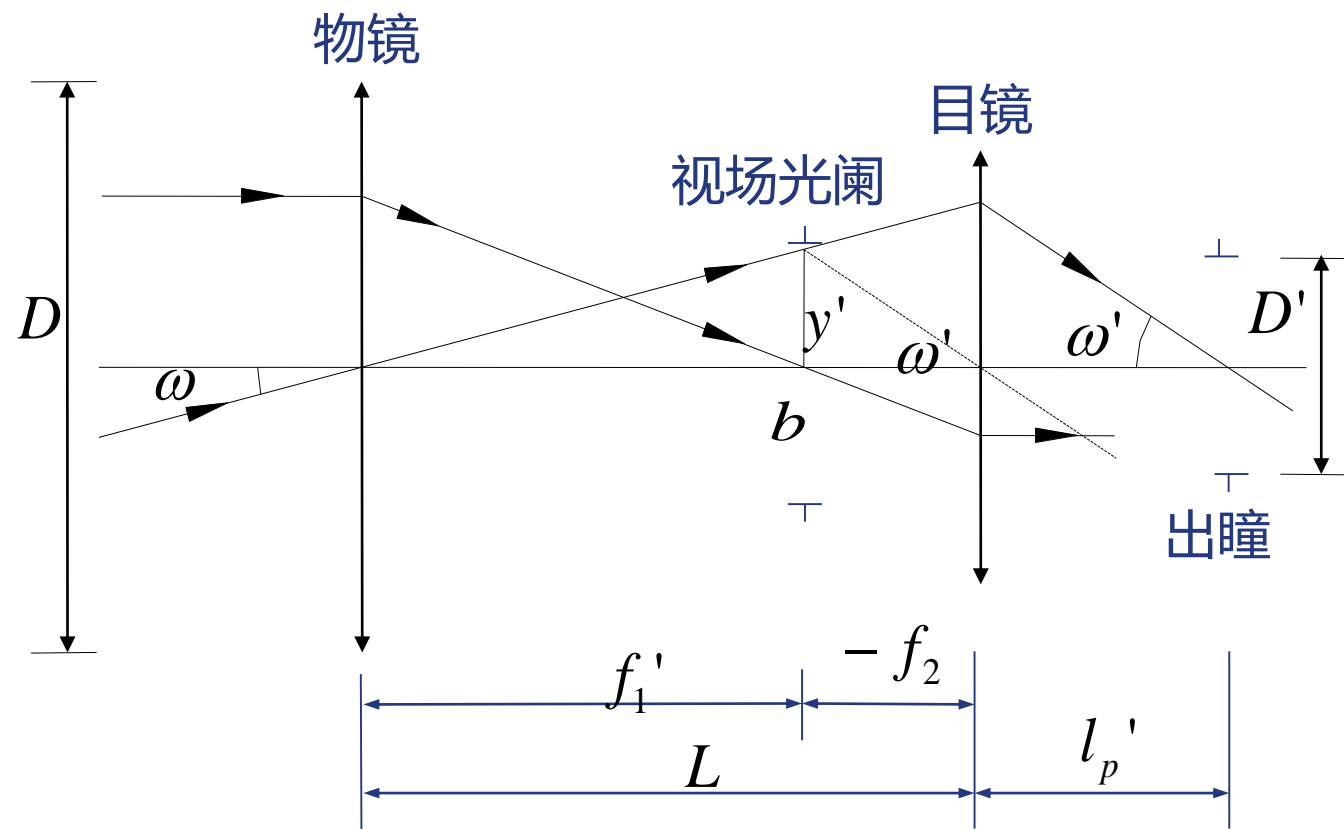
### 二. 开普勒望远镜



1611年，德国天文学家开普勒用两片双凸透镜分别作为物镜和目镜，使放大倍数有了明显的提高。

# 14.3 伽利略和开普勒望远镜

## 二. 开普勒望远镜



- 组成：由正物镜与正目镜组成。

- 系统长度：

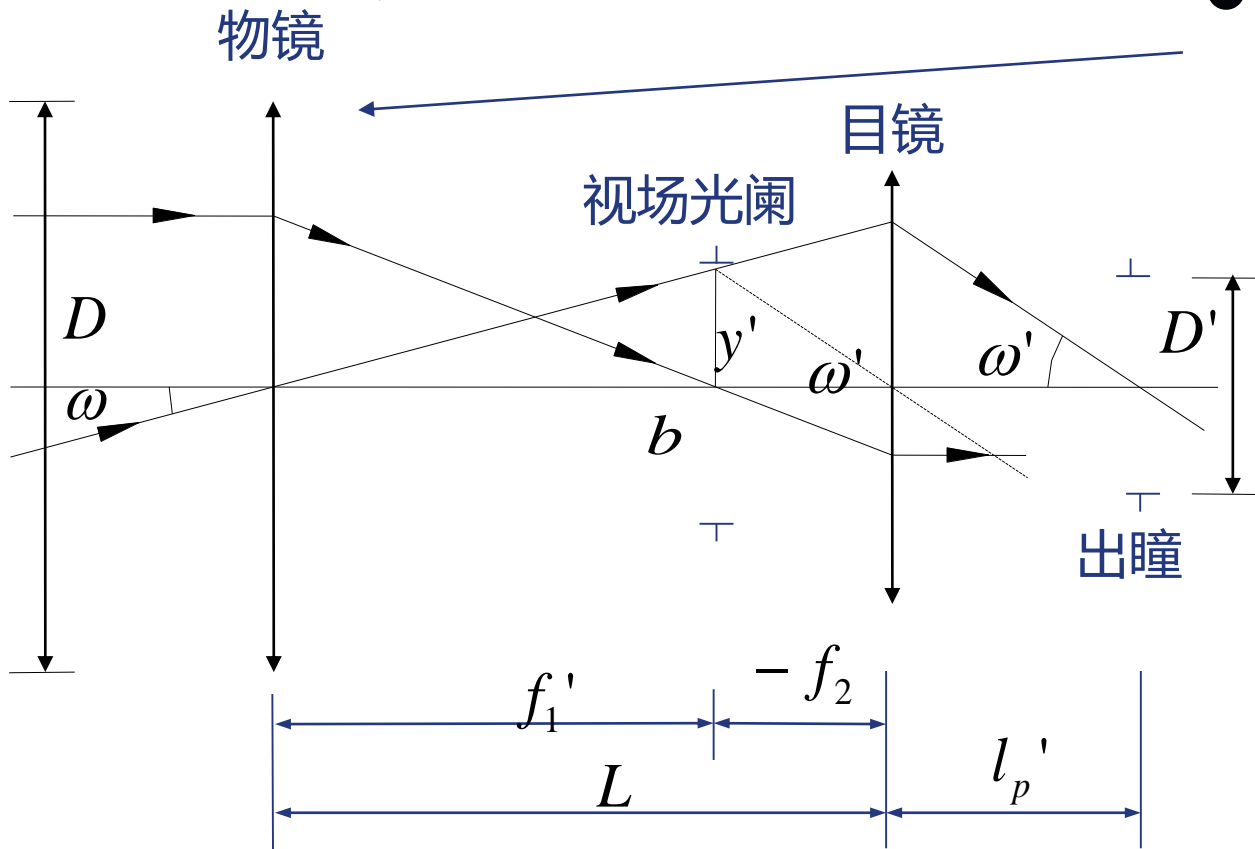
$$L = f_1' - f_2 = f_1' + f_2'$$

$$\begin{aligned} b &= 2f_1' \tan \omega \\ &= 2f_2 \tan \omega' \end{aligned}$$

- 视场：视场光阑设在其公共焦平面上，设b为视场光阑直径，也为分划板位置。

# 14.3 伽利略和开普勒望远镜

## 二. 开普勒望远镜



- 入瞳直径与物镜口径相等，即孔径光阑、入瞳为物镜框。

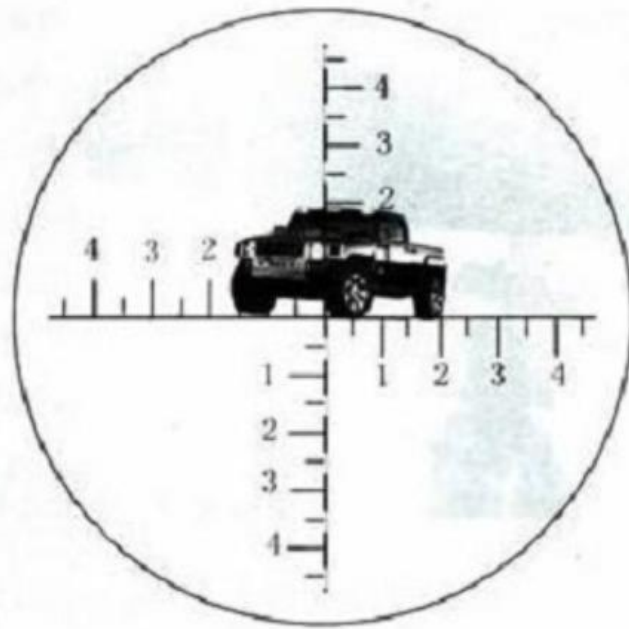
$$M = \frac{\tan \omega'}{\tan \omega} = -\frac{f_1'}{f_2'} = \frac{D}{D'}$$

- 放大倍率越大，系统越长，视场越小；
- D一定时，高倍率对应小的出瞳直径。
- 出瞳位置在目镜像方焦点之后很靠近的地方，眼瞳与出瞳重合，实现光瞳衔接。

## 14.3 伽利略和开普勒望远镜

### 二. 开普勒望远镜

- 开普勒望远镜系统有 中间实像面，可安装分划板；



- 开普勒望远镜所成的像为倒像，在需要正像的系统中，必须附加棱镜或透镜转像系统而导致系统变得复杂。



## 第十四章 望远系统

望远镜是一种用于观察远距离物体的目视光学仪器，能够把物方很小的物体张角按照一定的倍率放大，使之在像空间具有较大的张角，使本来无法由肉眼看清或分辨的物体变得清楚可见或明晰可辨。

### 主要内容

- 14.1 望远系统发展历史
- 14.2 望远系统基本特性
- 14.3 伽利略和开普勒望远镜
- **14.4 望远镜的转像系统**
- 14.5 望远镜的物镜和目镜
- 14.6 望远镜的尺寸计算



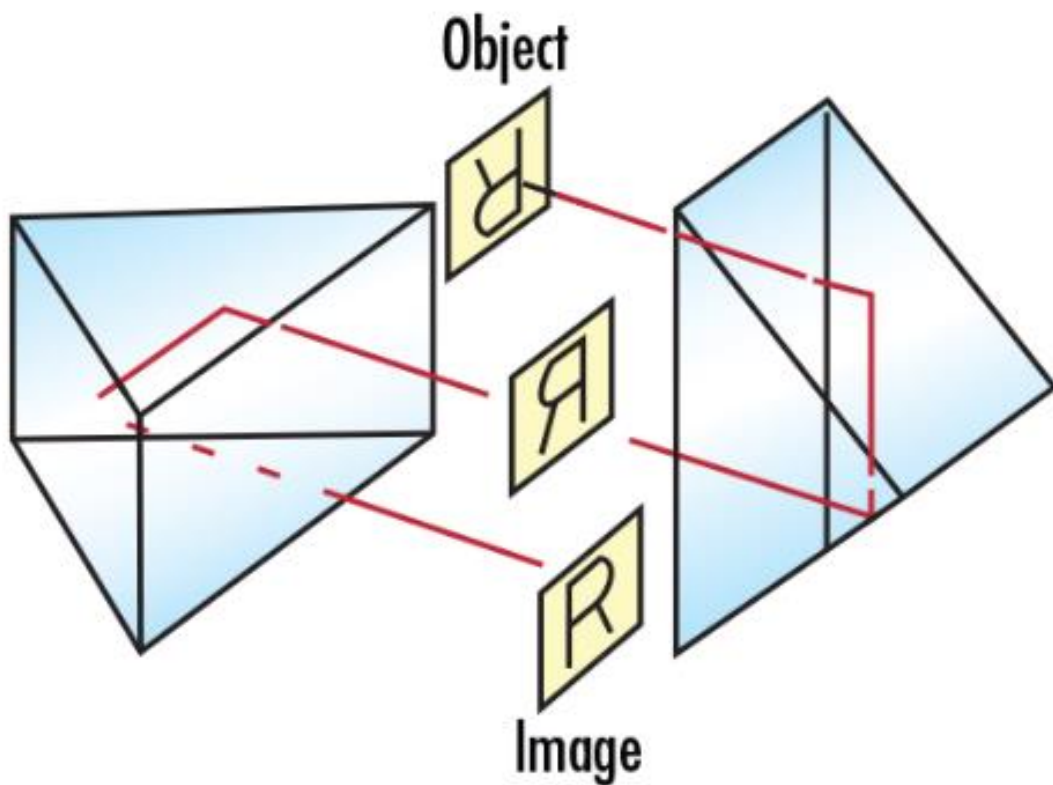


## 3.4 反射棱镜

### 复合棱镜

棱镜组合系统也可用做倒像系统

复习



普罗型棱镜系统  
(Porro prism)

Figure 4: Fixed 180° Rotation with a Porro System



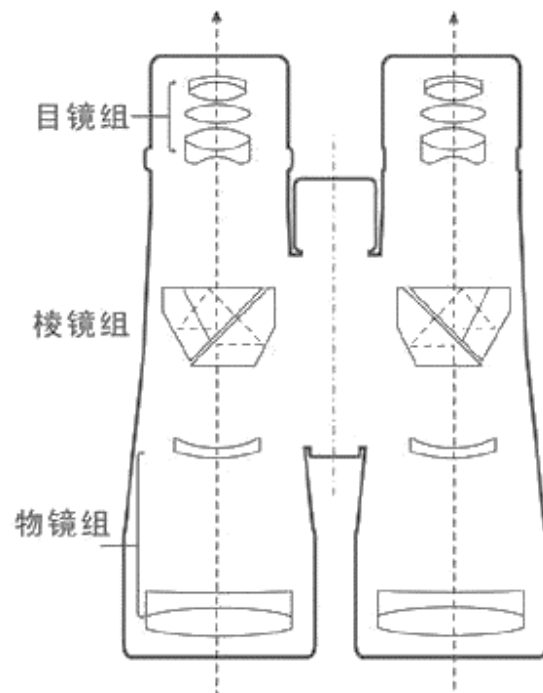
## 3.4 反射棱镜

复习

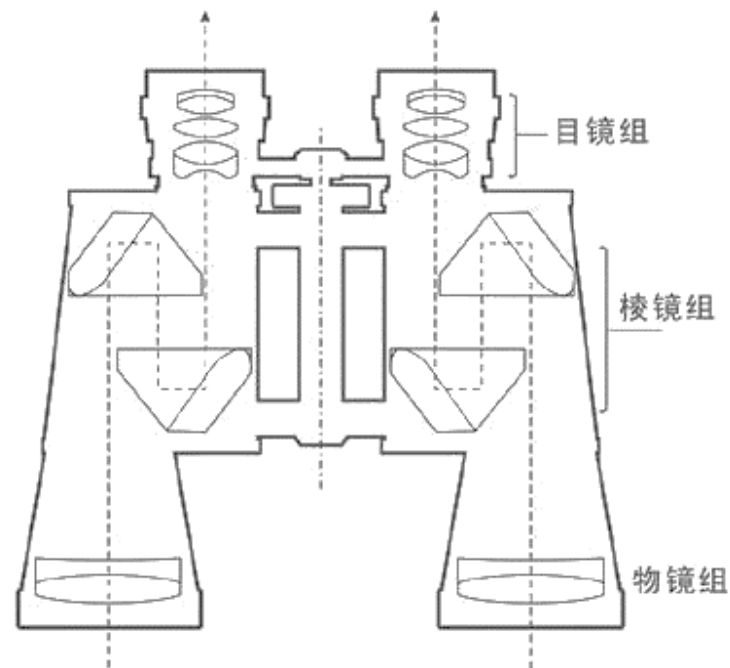
### 复合棱镜



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

## 14.4 望远镜的转像系统

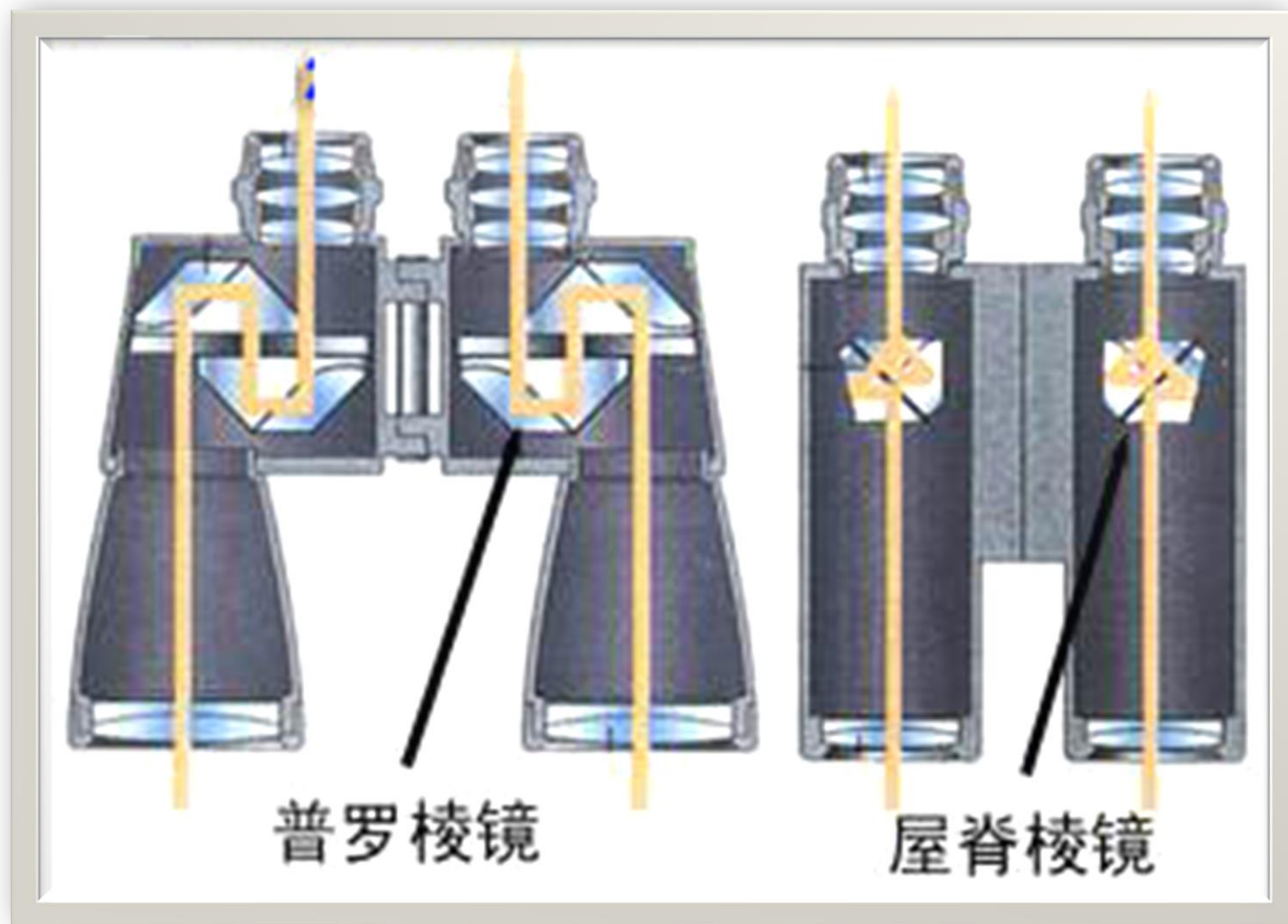
- 观察用和大部分瞄准用的望远镜需要对物体成正像；
- 伽利略望远镜虽然能够成正像，但是没有中间实像平面和只能有很低的倍率而没有使用意义；
- 实际中应用的望远镜更多的是利用转像系统使得倒像转成正像的开普勒望远镜；
- 转像系统分为**棱镜系统**和**透镜系统**；



## 14.4 望远镜的转像系统

### 一. 棱镜转像系统

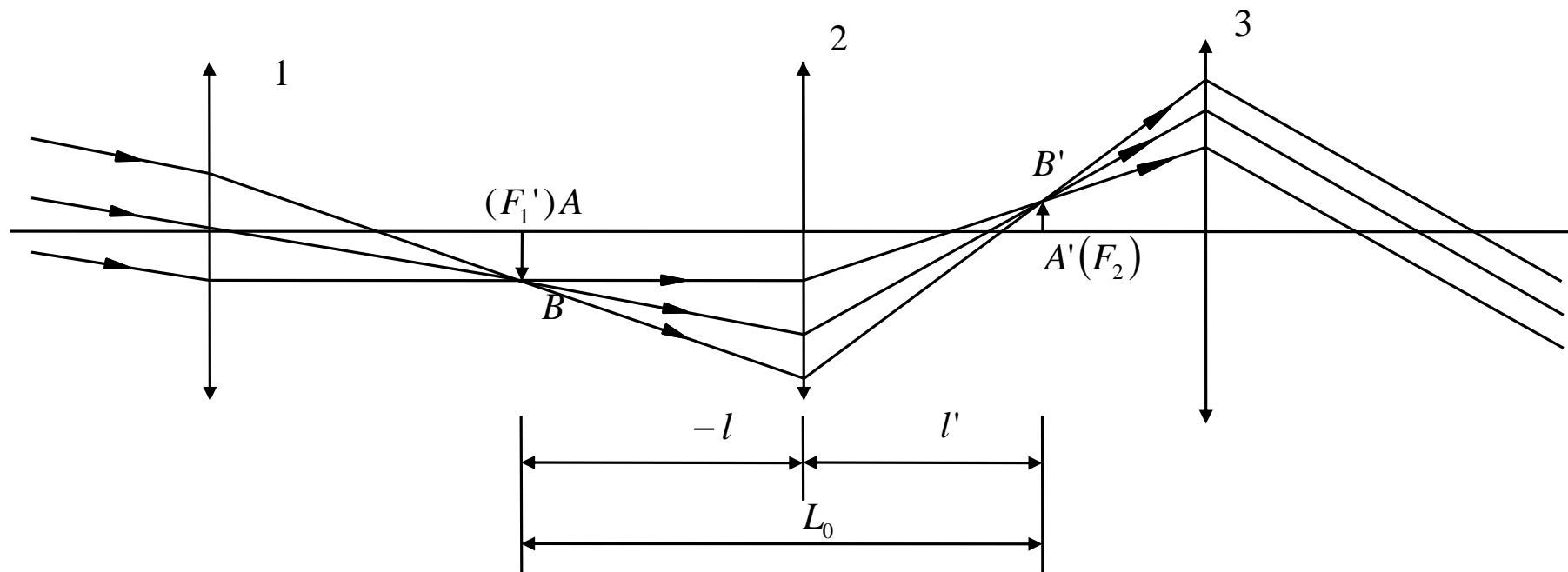
- 要求望远镜系统的筒长较短且结构紧凑时应用。



## 14.4 望远镜的转像系统

### 二. 透镜转像系统

- 透镜转像系统使得镜筒长度大为增加，适宜在需有长镜筒的场合下使用。



转像系统把倒像 $AB$ 变成正像 $A'B'$ 。转像系统的物面即是物镜的像方焦平面，像面即是目镜的物方焦平面。



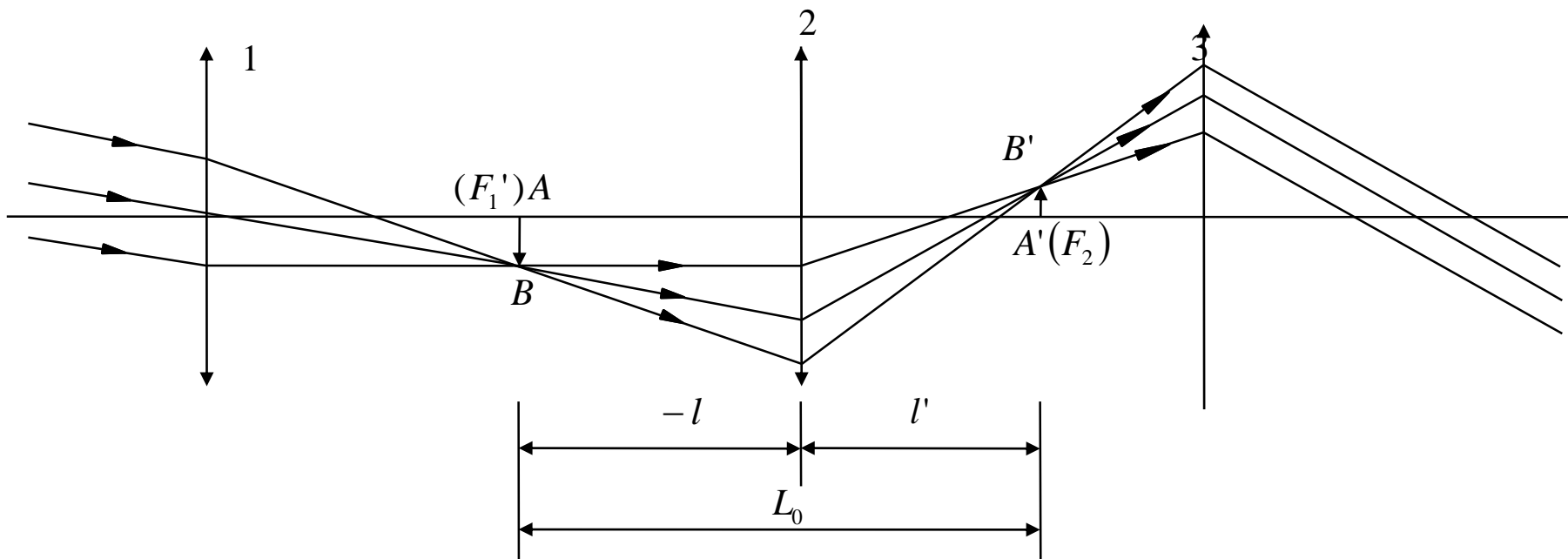


## 14.4 望远镜的转像系统

### 二. 透镜转像系统

由于转像系统的增加，光学长度增加，其增加量为 $L_0$

物体AB和像A'B'距转像系统的透镜的距离分别为 $-l$ 和 $l'$ ，则增加量 $L_0=l'-l$ 。

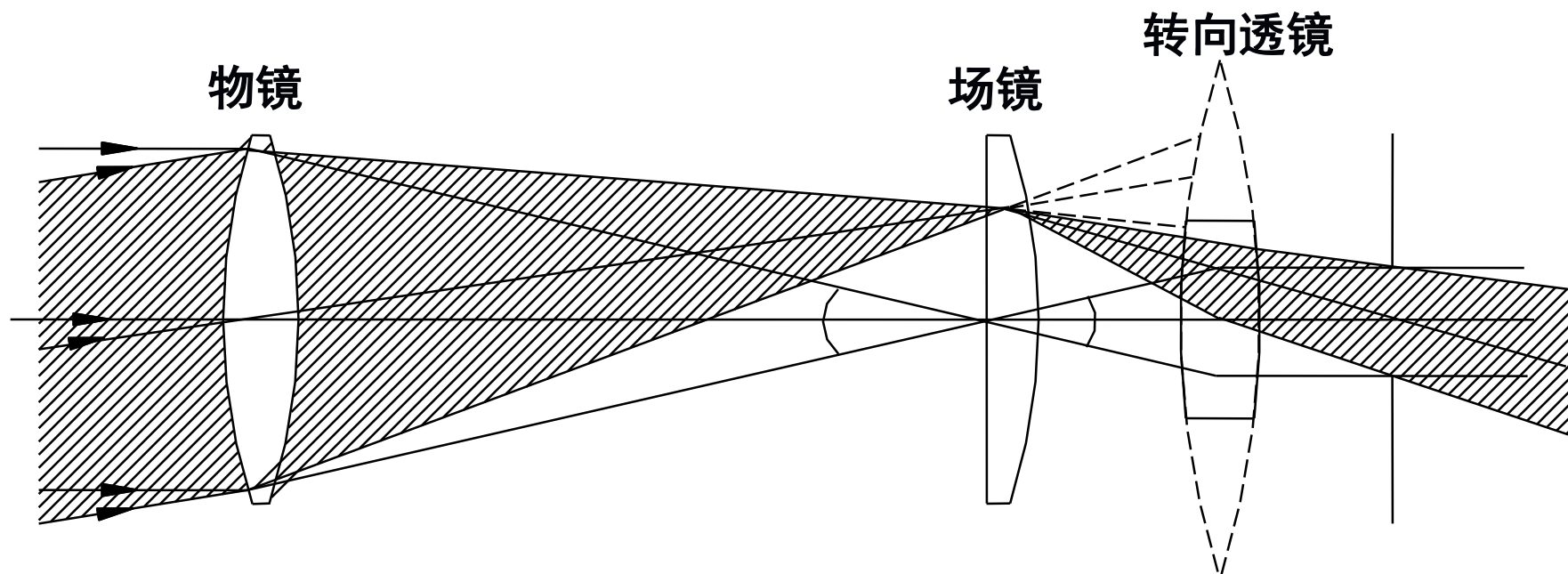




# 14.4 望远镜的转像系统

## 二. 透镜转像系统

- **场镜**：在具有转像系统的光学系统中，为使通过物镜后的轴外斜光束折向转像系统以减小转像系统的横向尺寸在物镜的像平面或其附近增加的透镜。
- 在设计带有场镜的望远系统时，令一次像成像在场镜的物方主平面上，所以场镜的像和其像方主平面重合，且 $\beta=+1$ 。



作用：

(1)聚光作用；

(2)可以修正部分场曲和畸变。



## 第十四章 望远系统

望远镜是一种用于观察远距离物体的目视光学仪器，能够把物方很小的物体张角按照一定的倍率放大，使之在像空间具有较大的张角，使本来无法由肉眼看清或分辨的物体变得清楚可见或明晰可辨。

### 主要内容

- 14.1 望远系统发展历史
- 14.2 望远系统基本特性
- 14.3 伽利略和开普勒望远镜
- 14.4 望远镜的转像系统
- **14.5 望远镜的物镜和目镜（自学）**
- 14.6 望远镜的尺寸计算



## 14.5 望远镜的物镜和目镜

### 一. 望远镜的物镜

物镜的三个重要特性：相对孔径、焦距与视场角。

(1)相对孔径 $A$ :  $A = \frac{D}{f'}$

决定物镜的结构复杂程度以及像面的光照度。

(2)焦距 $f'$ ：决定外形尺寸

(3)视场角 $2\omega$ ：决定观察范围



## 14.5 望远镜的物镜和目镜

### 一. 望远镜的物镜

- 一般而言，望远镜物镜的视场较小；
  - 大地测量望远镜：视场1-2度；
  - 天文望远镜：视场是以分记的；
  - 低倍率的观察望远镜：视场也在10度以下；
- 为了保证分辨率和主观亮度，物镜的焦距和相对孔径相对较大，可认为是**长焦距，小视场中等孔径**系统；
- 因此，望远镜物镜只需要对**轴上点**校正**色差、球差和对近轴点校正彗差，轴外像差**不予考虑，相对结构比较简单。





## 第十四章 望远系统

望远镜是一种用于观察远距离物体的目视光学仪器，能够把物方很小的物体张角按照一定的倍率放大，使之在像空间具有较大的张角，使本来无法由肉眼看清或分辨的物体变得清楚可见或明晰可辨。

### 主要内容

- 14.1 望远系统发展历史
- 14.2 望远系统基本特性
- 14.3 伽利略和开普勒望远镜
- 14.4 望远镜的转像系统
- 14.5 望远镜的物镜和目镜
- **14.6 望远镜的尺寸计算**



## 14.6 望远镜的尺寸计算

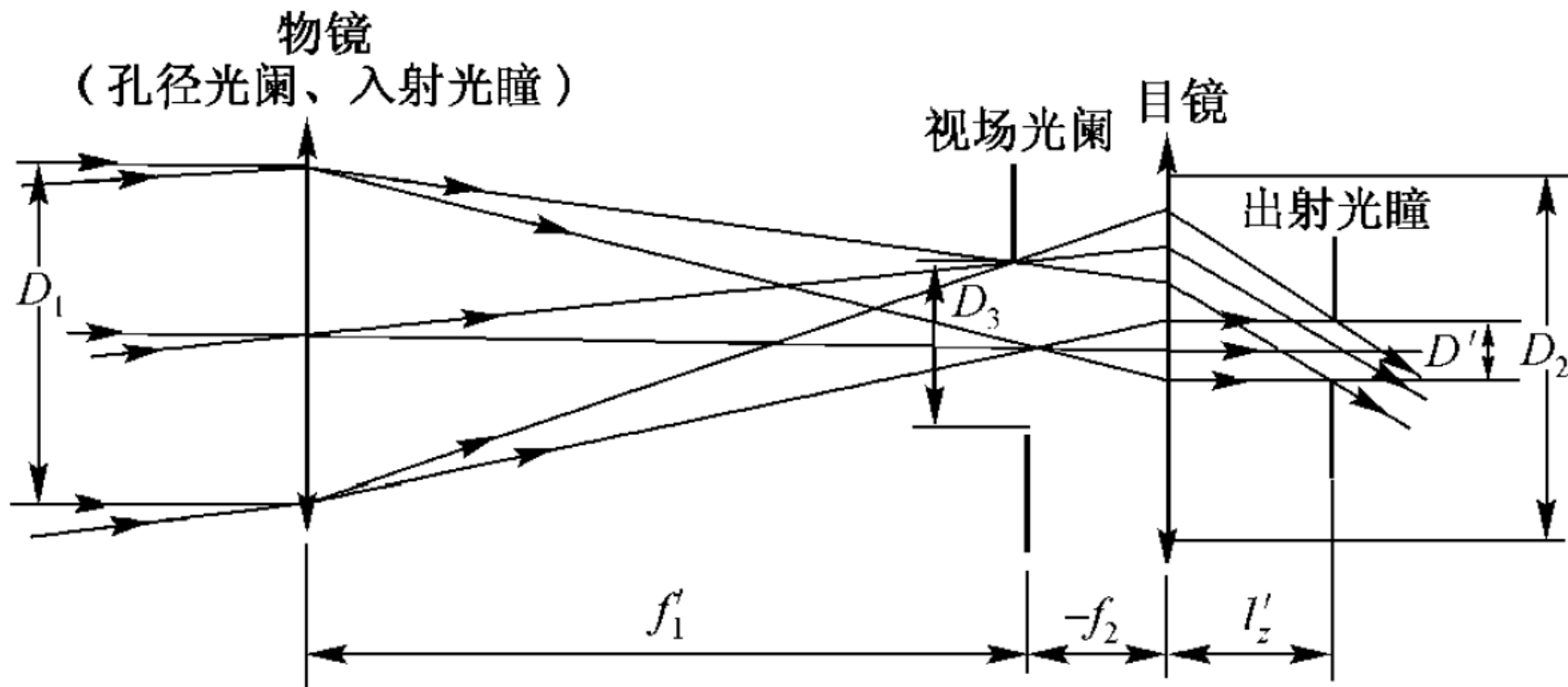
- 根据使用要求来确定光学系统整体结构尺寸的设计过程称为**光学系统的外形尺寸计算**；
- 外形尺寸计算要确定的结构：
  - ✓ 光学系统的组成、
  - ✓ 各透镜组的焦距、
  - ✓ 相对位置、
  - ✓ 横向尺寸及轴向尺寸。



## 14.6 望远镜的尺寸计算

### 一. 物镜和目镜组成的望远系统

- 天文望远镜的结构，物镜和目镜之间不设转像系统，开普勒望远镜就是其中的例子。



# 14.6 望远镜的尺寸计算

## 一. 物镜和目镜组成的望远系统

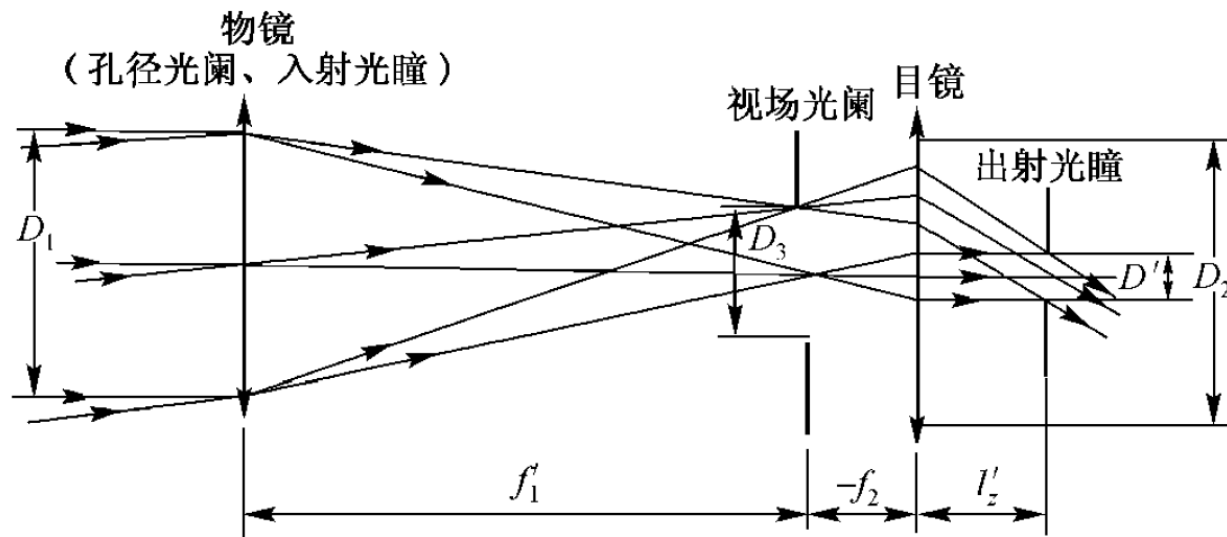
- 计算一个镜筒长为：

$$L = f_1' + f_2' = 250mm$$

视觉放大率为  $M = -24\times$

视场角为  $2\omega = 1^\circ 40'$

的开普勒望远镜的外形尺寸。



- 物镜和目镜的焦距：

$$L = f_1' + f_2' = 250mm$$

$$M = -f_1' / f_2' = -24\times$$



$$f_1' = 240mm$$

$$f_2' = 10mm$$

- 物镜的通光口径  $D_1$ ：如果正常放大率为24，对应的孔径为：

$$D_1 = 2.3M = 2.3 \times 24 = 55.2mm$$

但一般而言，为防止眼睛疲劳，视觉放大率往往选大一点，比如1.5倍，则：正常放大率为16倍，因此此时的通光口径  $D_1$ ：

$$D_1 = 2.3M = 2.3 \times 16 = 36.8mm$$



# 14.6 望远镜的尺寸计算

## 一. 物镜和目镜组成的望远系统

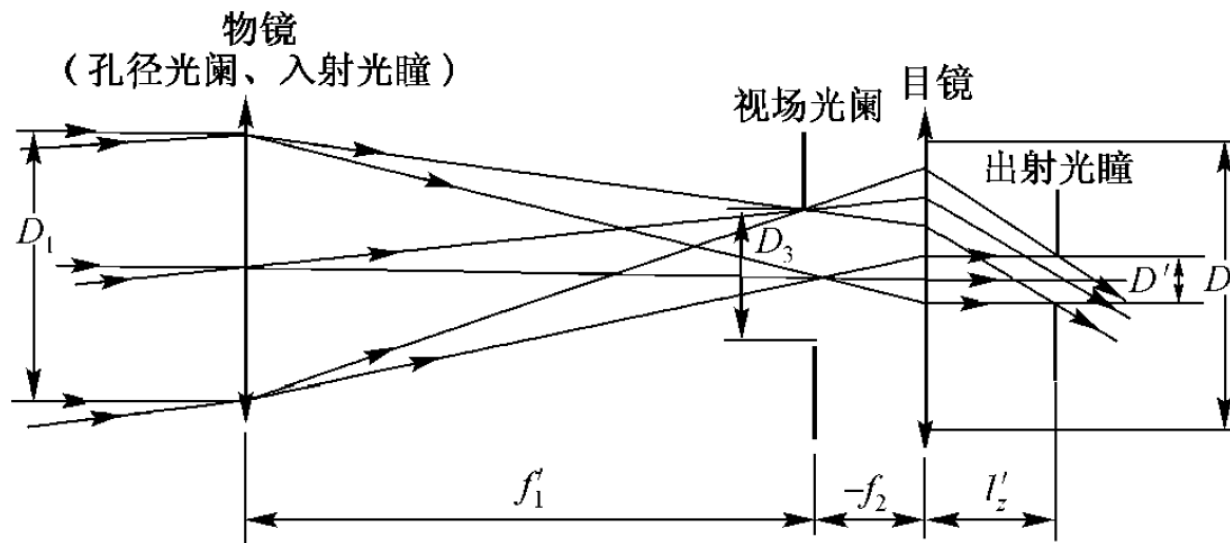
- 计算一个镜筒长为:

$$L = f_1' + f_2' = 250mm$$

视觉放大率为  $M = -24\times$

视场角为  $2\omega = 1^\circ 40'$

的开普勒望远镜的外形尺寸。



- 出射光瞳直径 $D_2$ :

$$D' = D_1 / M = 36.8 / 24 = 1.53mm$$

- 视场光阑的直径:

$$D_3 = 2f_1' \tan \omega = 2 \times 240 \times \tan 50' = 6.98mm$$

- 目镜的视场角:

$$\tan \omega' = M \times \tan 50' = 0.34909 \quad \Rightarrow \quad 2\omega' = 38^\circ 29'$$

- 镜目距离(牛顿公式):

$$l_z' = f_2' + \frac{f_2 f_2'}{-f_1'} = 10.42mm$$

## 14.6 望远镜的尺寸计算

### 一. 物镜和目镜组成的望远系统

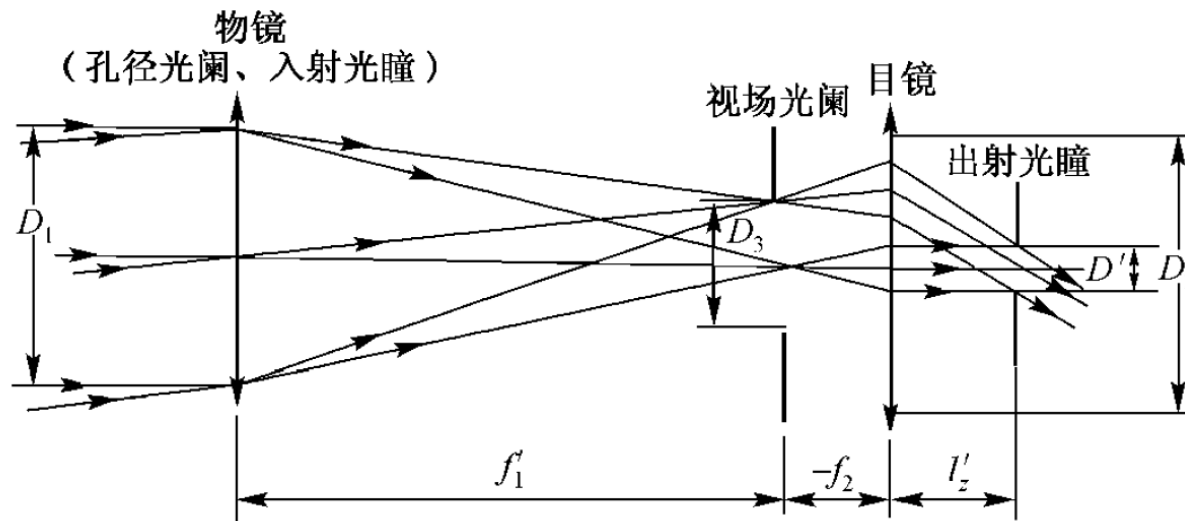
- 计算一个镜筒长为：

$$L = f_1' + f_2' = 250mm$$

视觉放大率为  $M = -24\times$

视场角为  $2\omega = 1^\circ 40'$

的开普勒望远镜的外形尺寸。



- 目镜的通光口径  $D_2$

$$D_2 = D' + 2l_z' \tan \omega' = 1.53 + 2 \times 10.42 \times 0.34909 = 8.805mm$$

- 选择物镜和目镜的结构，根据上述光学数据，选择物镜为双胶合的结构，目镜为凯涅尔目镜的结构。



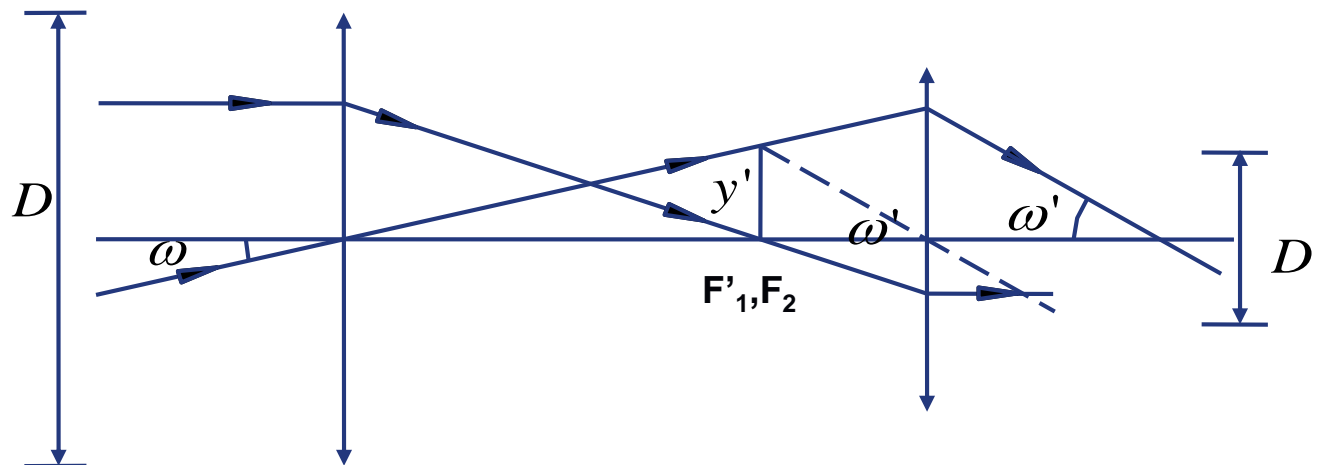
## 14.6 望远镜的尺寸计算

---

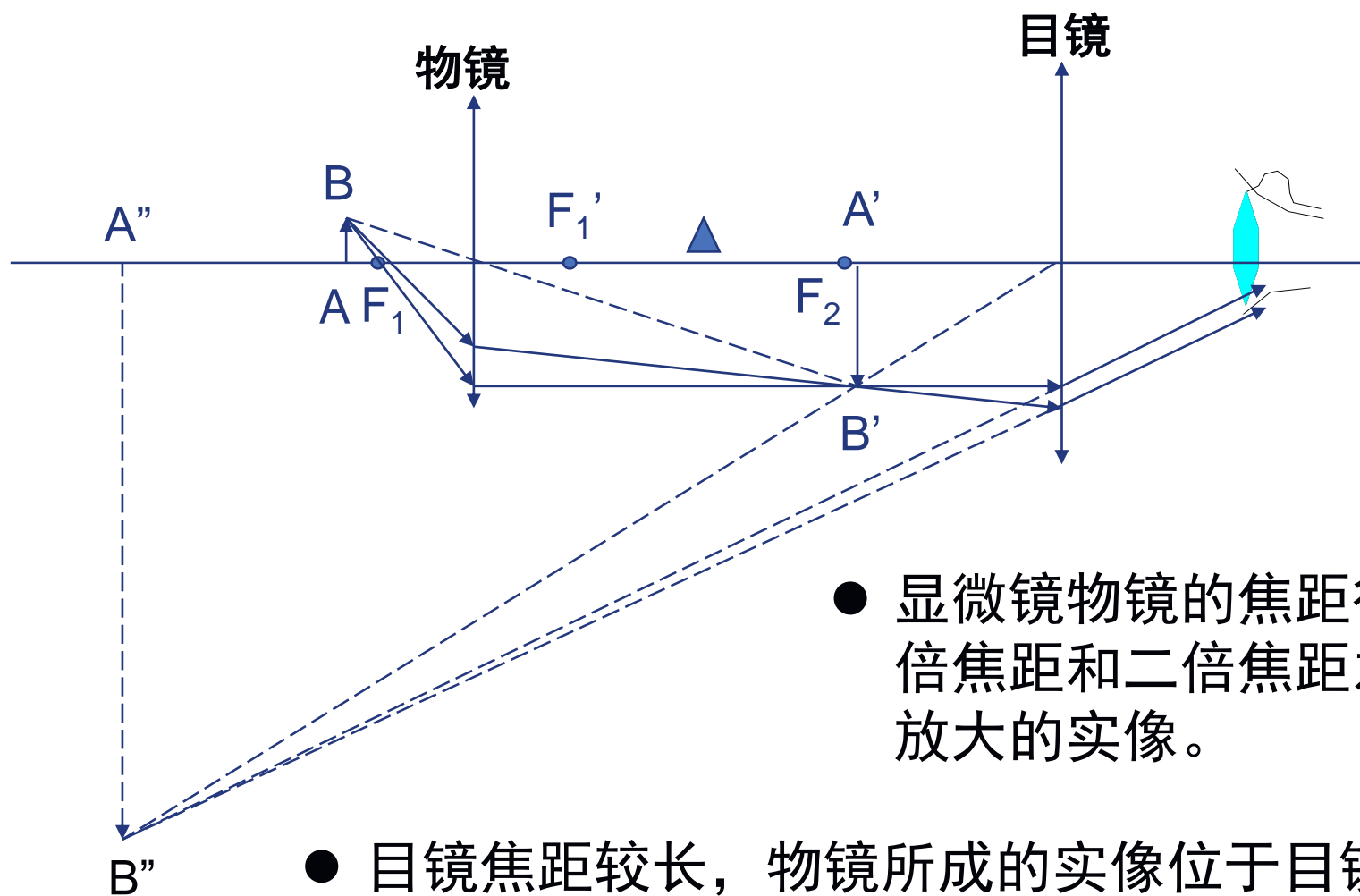
### 三. 带有透镜转像系统的望远系统

❖ p213-p215 自学

## 望远镜：



- 物镜把来自远处景物的光线，汇聚成倒立缩小实像，相当于把远处景物缩小后移近到成像的地方。
- 该像离眼睛很近，并放大了视角。这样远处的景物仿佛近在眼前一样。



- 显微镜物镜的焦距很短，被观察物处在物镜一倍焦距和二倍焦距之间，此时在镜筒中成倒立放大的实像。
- 目镜焦距较长，物镜所成的实像位于目镜的一倍焦距之内，目镜相当于一个放大镜，再次放大，镜筒外便形成了经过放大的物体的虚象。





## 14.6 望远镜的尺寸计算

### ❖ 第四次作业：20211222上交

- ❖ 1. 一台显微镜物镜的垂轴放大率为 $\beta = -3\times$ ，数值孔径 $NA=0.1$ ，共轭距 $L=180\text{mm}$ ，物镜框是孔径光阑，目镜焦距为 $f_e' = 25\text{mm}$ ，求
  - ❖ 1) 显微镜的视觉放大率；
  - ❖ 2) 求出射光瞳直径和镜目距离；
  - ❖ 3) 斜入射照明时，波长为 $550\text{nm}$ ，求显微镜的分辨率；
  - ❖ 4) 求物镜通光孔径。
- ❖ 2. 有一个开普勒望远镜，物镜焦距为 $300\text{mm}$ ，目镜焦距为 $30\text{mm}$ ，中间加入一个由两块透镜组成的-1倍的转像系统，透镜焦距分别为 $200\text{mm}$ 和 $300\text{mm}$ ，间隔为 $250\text{mm}$ 。该系统的物方孔径角为 $2\omega=4^\circ$ ，在物镜的像方焦平面上有一场镜，在目镜的物方焦平面上有一分划板，物镜的通光口径为 $60\text{mm}$ ，是系统的入瞳。假设所有的透镜均为薄透镜，求：
  - ❖ 1) 系统的像方视场角；
  - ❖ 2) 场镜的直径和分划板的直径；
  - ❖ 3) 如果在第一块转像透镜后 $100\text{mm}$ 出设一个光阑，且使主光线通过其中心，求光阑距物镜的距离和整个镜筒长度。
  - ❖ 4) 画出该望远镜的结构和光路图（包括主光线、上光线和下光线）



# 第十四章 望远系统

## 发展历史

- 发展历史

## 望远系统基本特性

- 光学原理
- 视觉放大率
- 分辨率和工作放大率
- 主观亮度

## 伽利略和开普勒望远镜

- 伽利略望远镜
- 开普勒望远镜

## 第十四章 望远系统

## 转像系统

- 棱镜转像系统
- 透镜转像系统

## 物镜和目镜（自学）

- 物镜
- 目镜

## 望远镜尺寸计算

- 物镜和目镜组成的望远系统
- 带有棱镜系统
- 带有透镜系统