

第三章 几何光学仪器原理

(Principles of Optical Instruments)

§ 3.2 助视光学仪器的放大本领

Amplifying Power of Typoscope

一、视角放大率 放大本领的概念

视角的概念：

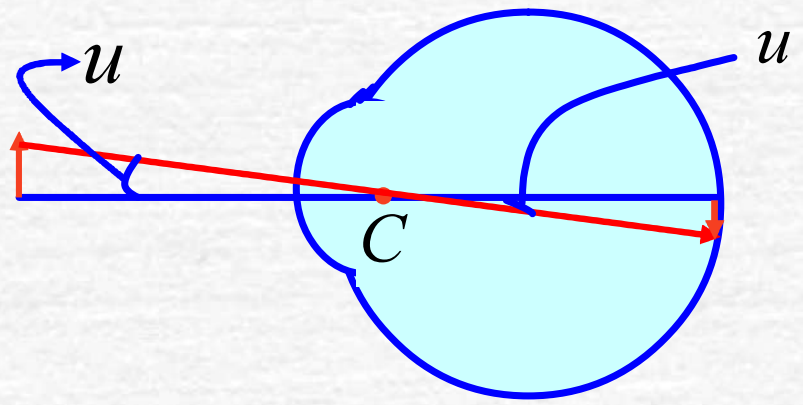
物体或物体经过光学系统所成的像对人眼光学系统节点所张的角，称为**视角**。



聊城大学

物理科学与信息工程学院

因为单球面折射系统的节点与其曲率中心重合。所以物体对简化眼的折射球面曲率中心的张角，即为视角。



放大本领：使用助视光学仪器时物体所成的像对人眼的张角 U' 与不使用仪器时物体对人眼的张角 U 之比。

$$M = \frac{U'}{U}$$



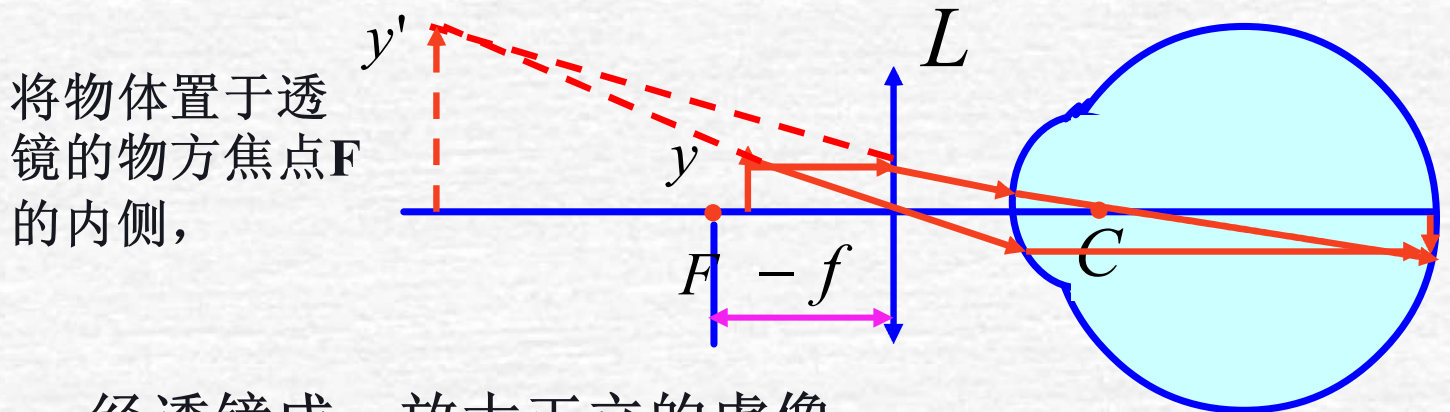
聊城大学

物理科学与信息工程学院

注意：助视仪器的放大本领与角放大率不同。放大本领中的 U 与 U' 是两种不同情况下的视角；而角放大率中的 u 与 u' 表示一对共轭光线的倾角。

二、放大镜

最简单的放大镜就是一个焦距很短的会聚透镜，如图。



经透镜成一放大正立的虚像。



聊城大学

物理科学与信息工程学院

为了便于观察，通常使虚像位于明视距离处。
虚像对人眼的视角近似为

$$U' = \frac{y'}{-s'} \approx \frac{y}{-f} = \frac{y}{f'}$$

若不用透镜而将物体置于明视距离处，物体对人眼的视角为：

$$U = \frac{y}{25}$$

则放大镜的放大本领为：

$$M = \frac{U'}{U} = \frac{25}{f'}$$



聊城大学

物理科学与信息工程学院

$$M = \frac{U'}{U} = \frac{25}{f'}$$

由上式可见，放大镜的焦距越短，则放大本领越高，但由于受到成像质量的限制，简单放大镜的放大本领多在 $3\times\sim 10\times$ 之间。

如果采用复式放大镜（两个以上透镜构成的），则可以减小像差，放大本领可达到 $20\times$ 左右。



聊城大学

物理科学与信息工程学院



放大鏡



聊城大学

物理科学与信息工程学院

二、目镜

目镜也是放大视角用的仪器。通常放大镜用来直接放大实物，而目镜则用来放大其它光具组所成的像。

通常对目镜的要求除了较高的放大率外，还要有较大的视场角和尽可能矫正各种像差。为此，目镜通常由两个或多个透镜组成。

面向物体的透镜称为**场镜**；靠近眼睛的透镜称为**接目镜**。



聊城大学

物理科学与信息工程学院

目镜的适当位置常装一个带有叉丝或刻度尺的透明分划板，以测量物镜所成像的长度或提高测量精度。

最重要而且用途最广的目镜有两种：
惠更斯目镜和冉斯登目镜。



1. 惠更斯目镜

它是由荷兰科学家惠更斯于1703年设计的。它由两个同种材料的平凸透镜组成。

两个透镜都是凸面向着物镜，场镜的焦距等于接目镜焦距的3倍。两镜间隔 d 等于接目镜焦距的2倍。



聊城大学

物理科学与信息工程学院

$$f_1' = 3a, \quad f_2' = a$$

$$d = 2a$$

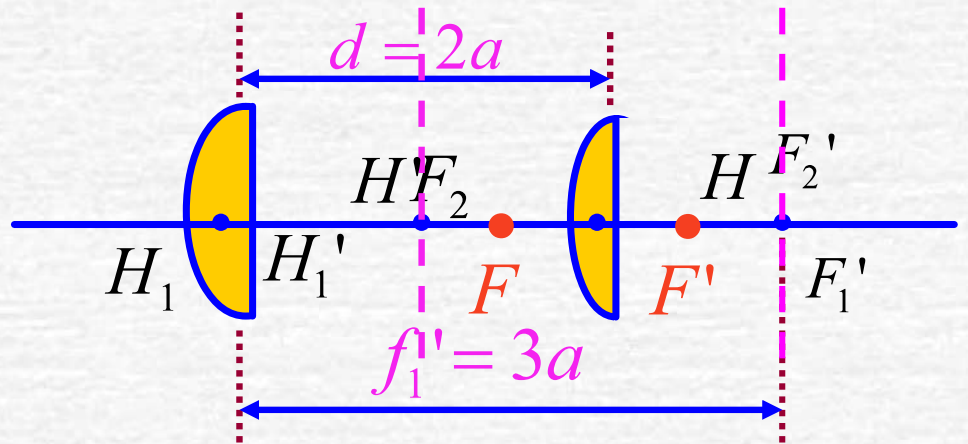
$$\Delta = F_1' F_2 = -2a \quad f' = \frac{3}{2}a \quad f = -\frac{3}{2}a$$

$$p' = -a \quad p = 3a$$

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

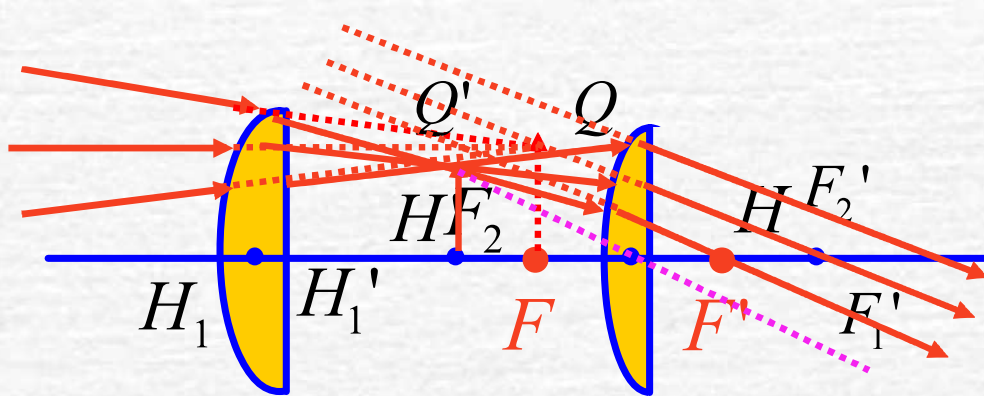
$$p' = \frac{f_2' d}{\Delta}$$

$$p = -\frac{f_1' d}{\Delta}$$



聊城大学

物理科学与信息工程学院



由物镜射来的会聚光束成像于 Q 处，对场镜来说， Q 应当作虚物，由场镜成像于 Q' 处。

若最后再经接目镜折射成像于无限远处，则可调节物镜的距离，使 Q' 恰好落在接目镜的物方焦平面 F_2 上，在这种情况下， Q 是在整个目镜物方焦平面 F 上。

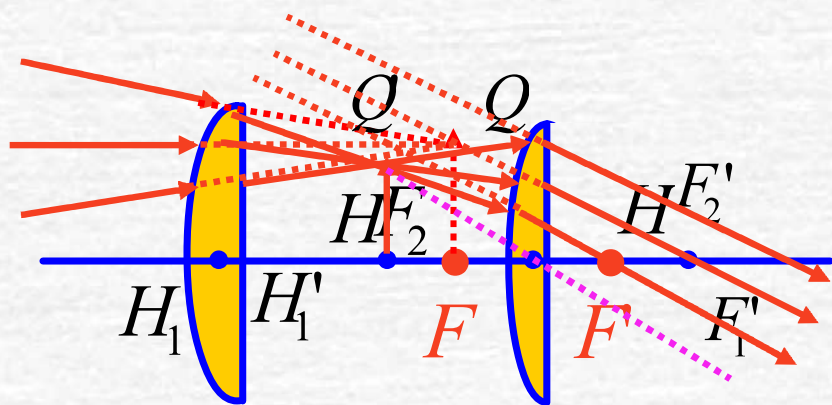
若欲装配叉丝或刻度尺，应装在何处？



聊城大学

物理科学与信息工程学院

应装在 Q' 处，使叉丝的像和物的像在视网膜上同时成像。不过由于叉丝仅由接目镜成像，场镜的消色差作用对它没有影响。



由此可见，惠更斯目镜不宜用在测量仪器中，常用于显微镜和望远镜等观察仪器中。

惠更斯目镜的视场相当的大，视角可达 40° ，在 25° 范围内更清晰。

由于入射到惠更斯目镜上的物是虚物，在两透镜之间，所以惠更斯目镜不能当作放大镜观察实物。



聊城大学

物理科学与信息工程学院

2. 冉斯登目镜

冉斯登 (J. Ramsden 1735-1800) 是英国科学家，于1783年设计了该种目镜。

它是由两个材料相同的、焦距相等的平凸透镜组成，凸面相对，平面向外，两镜间距 d 等于每一透镜焦距的 $2/3$ 。

因此 $\Delta = 2/3 f_1' - 2 f_1' = -4/3 f_1'$

$$f' = -f = \frac{3}{4} f_1'$$

$$p = 0.5 f_1'$$

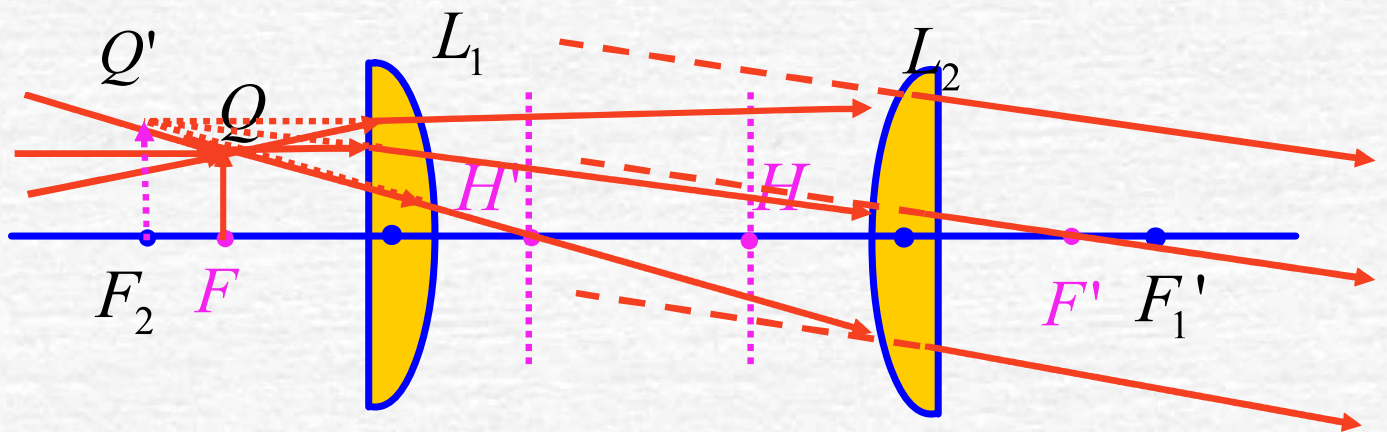
$$p' = -0.5 f_1'$$



聊城大学

物理科学与信息工程学院

各基点的位置如图所示



由物镜射来的会聚光束在场镜前 Q 处成一实像，再由场镜折射，在 Q' 处成一虚像。

若最后再经接目镜折射成像于无限远处，则可调节物镜的距离，使 Q' 恰好落在接目镜的物方焦平面 F_2' 上，在这种情况下， Q 是在整个目镜物方焦平面 F 上。

若欲装配叉丝或刻度尺，应装在何处？

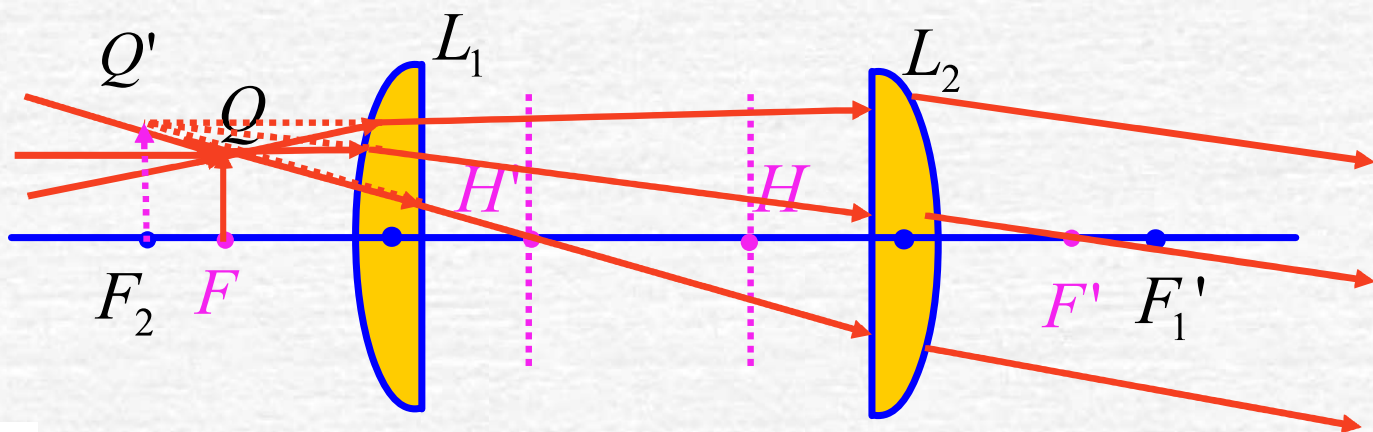
聊城大学

物理科学与信息工程学院



叉丝应装在整个系统的物方焦平面 F 上。此时叉丝或刻度尺与物镜的实像经目镜系统同样放大，就能准确地测量像的长度和位置。因此常用于测量仪器中。

由图可以看出，冉斯登目镜既可用于观察物镜成的实像，也可像放大镜一样的观察实物。





聊城大学

物理科学与信息工程学院

三、显微镜

目镜的放大本领一般不超过“ $20\times$ ”，有时不能满足要求。欲进一步提高放大本领，就要用组合的光具组构成放大镜，这种放大镜称为显微镜。它是用来观察微小物体或物体的细微部分。

最简单的显微镜是由两组透镜构成的，一组为焦距很短的物镜，另一组为目镜。物镜和目镜一般都由两个或多个透镜构成，作用相当于一个会聚透镜。

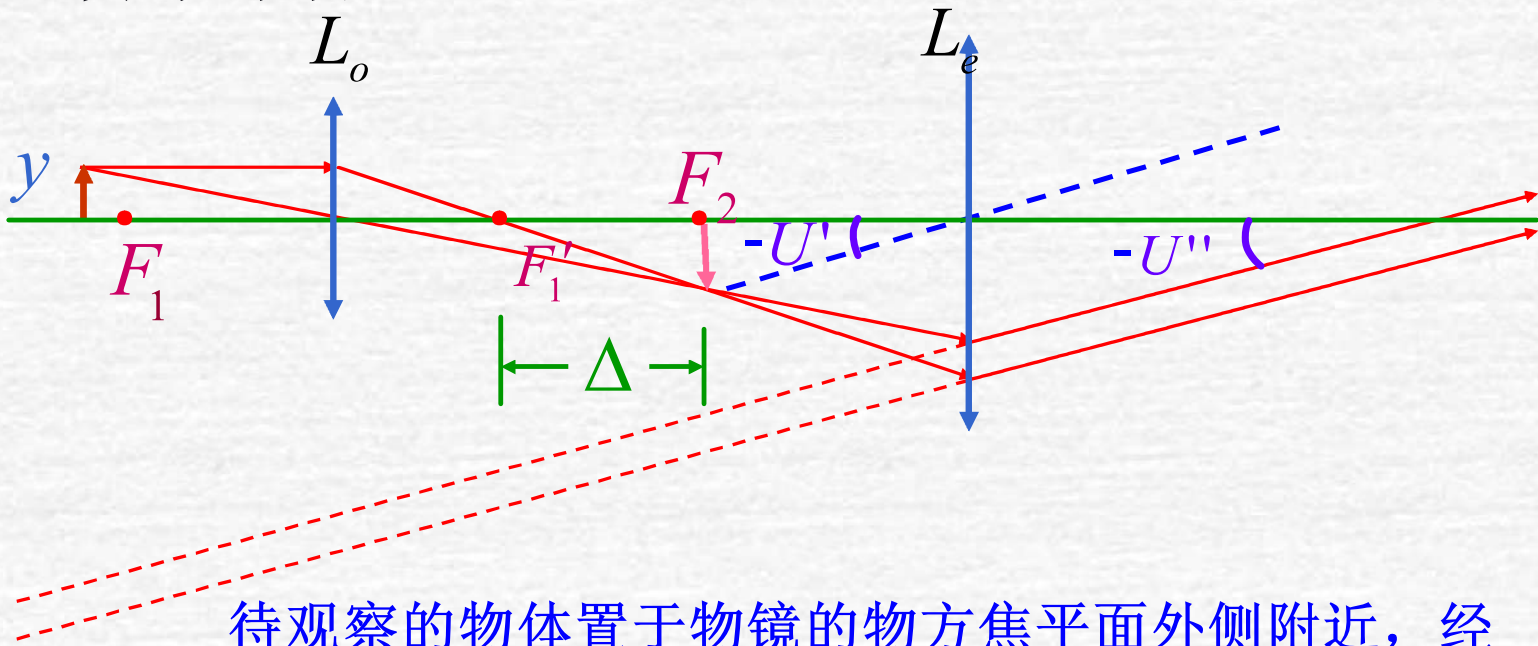


聊城大学

物理科学与信息工程学院

1. 显微镜的光路图

为简单起见，显微镜的物镜和目镜分别以单独的一块会聚透镜来表示。如图



待观察的物体置于物镜的物方焦平面外侧附近，经物镜成实像于目镜物方焦平面上或内侧附近，再经目镜放大，在明视距离与无限远之间成一放大的虚像。

2. 显微镜的放大本领

设物镜和目镜的焦距分别为 f_o' 和 f_e' 。根据显微镜光路结构特点要求：

$$f_o' \ll \Delta \quad f_e' \ll 25\text{cm}$$

显微镜的放大率定义为

$$M = \frac{\text{像对人眼瞳孔的张角}}{\text{明视距离处的物对人眼的张角}} = \frac{U''}{U}$$

U 是眼睛直接观察物体时的视角：有 $U = \frac{y}{25}$

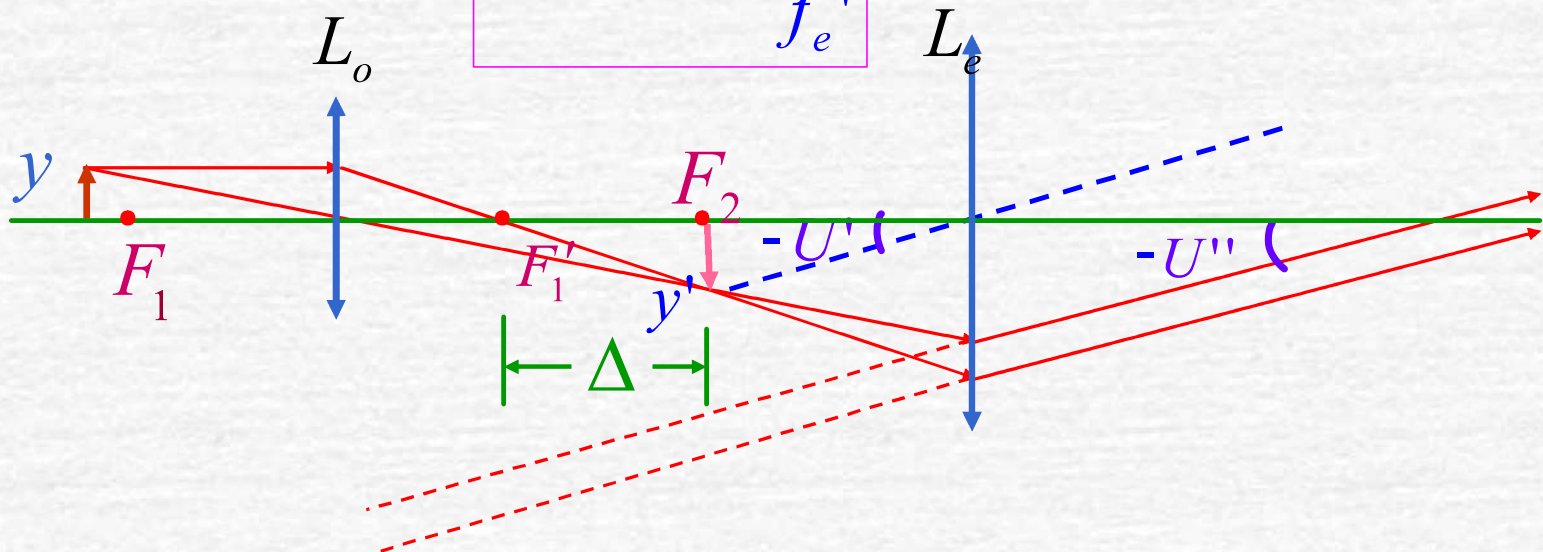


聊城大学

物理科学与信息工程学院

U'' 是显微镜最后虚像 y'' 对眼睛的视角，有：

$$U'' \approx U' = \frac{y'}{f_e'}$$



因此，显微镜的放大本领为：

$$M = \frac{U''}{U} = \frac{y'}{y} \cdot \frac{25}{f_e'} = \beta_o M_e$$



聊城大学

物理科学与信息工程学院

因为 $x_o' = \Delta$ 故有 $\beta_o = -\frac{x_o'}{f_o'} = -\frac{\Delta}{f_o'}$

$$M = -\frac{25\Delta}{f_o' f_e'} = \frac{25}{f'}$$

其中 $f' = -\frac{f_o' f_e'}{\Delta}$

由上式可见，**M**是负值，负号表示显微镜成倒立的像。

物镜和目镜的焦距越短，二者的光学间隔越大，则显微镜的放大本领也就越高。

通常显微镜配备可更换的几个不同倍率的物镜和目镜。在每个物镜或目镜上均标有“10×”、“20×”等字样。选择不同的物镜和目镜相组合，二者倍率的乘积即为整个显微镜的放大本领。



四、望远镜

顾名思义，望远镜是用来观察远处物体的助视光学仪器。它是由物镜和目镜组成的。

物镜用反射镜的称为**反射式望远镜**。物镜用透镜的称为**折射式望远镜**。

物镜通常情况下，口径较大、焦距较长。目镜是会聚透镜的称为**开普勒望远镜**；目镜是发散透镜的称为**伽利略望远镜**。



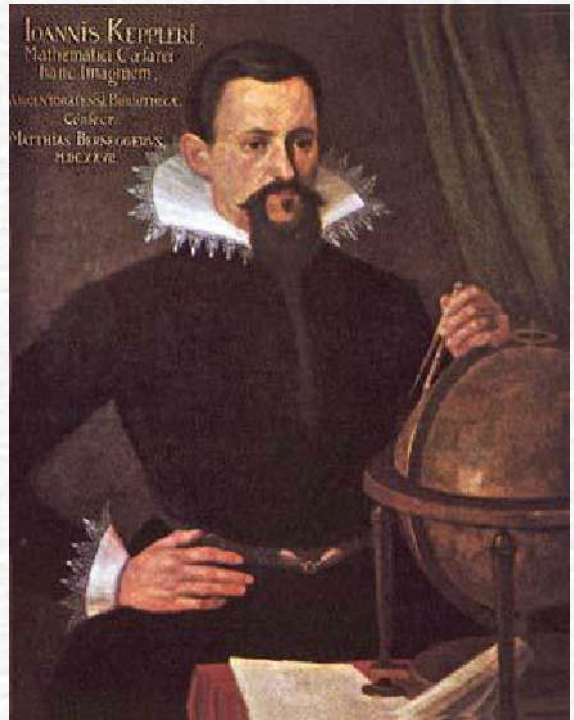
聊城大学

物理科学与信息工程学院

21

1. 开普勒望远镜

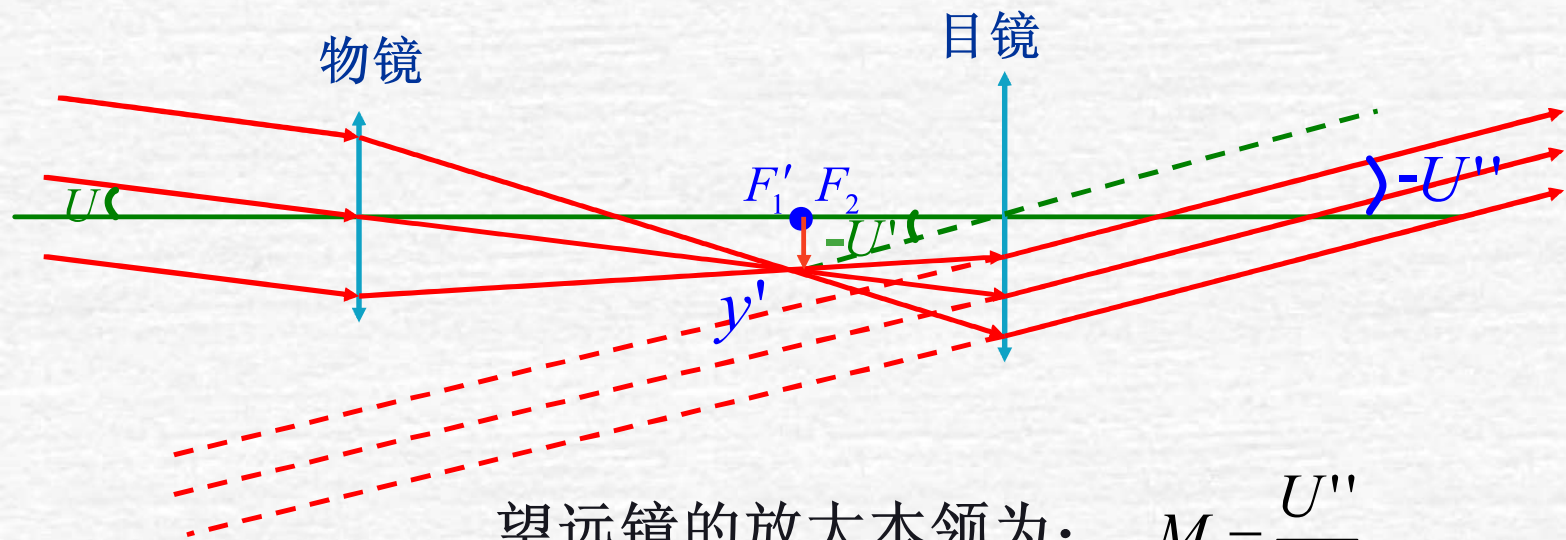
德国天文学家开普勒（Johannes Kepler, 1571-1630）于1611年首先提出，由两个会聚透镜分别作为物镜和目镜构成望远镜。因此称为开普勒望远镜。



聊城大学

物理科学与信息工程学院

物镜的像方焦点 F_0' 和目镜的物方焦点 F_e 重合。远处的物体射来的平行光束，经物镜后会聚于 F_0' 处，成一倒立缩小的实像，因 F_e 与 F_0' 重合，故再经目镜成像于无穷远处，为一放大倒立的虚像。眼睛经过望远镜看到的即为此虚像。



望远镜的放大本领为： $M = \frac{U''}{U}$



聊城大学

物理科学与信息工程学院

U 是不用仪器时物体的视角，由于物体在远处，故物体对眼睛的张角 U 与它对物镜的张角相同，所以：

$$U = -\frac{y'}{f_o'}$$

U' 是使用仪器时像 y'' 对眼睛的张角 U'' ，与它对目镜的张角 U' 相同。

$$U'' = U' = \frac{y'}{f_e'}$$

因此

$$M = \frac{U'}{U} = -\frac{f_o'}{f_e'}$$

由此可见，物镜的焦距 f_o' 越长，目镜焦距 f_e' 越短，则望远镜的放大本领就越高。

由于 $f_o' > 0$ ， $f_e' > 0$ ，所以 M 为负值，表示开普勒望远镜成倒立的像。

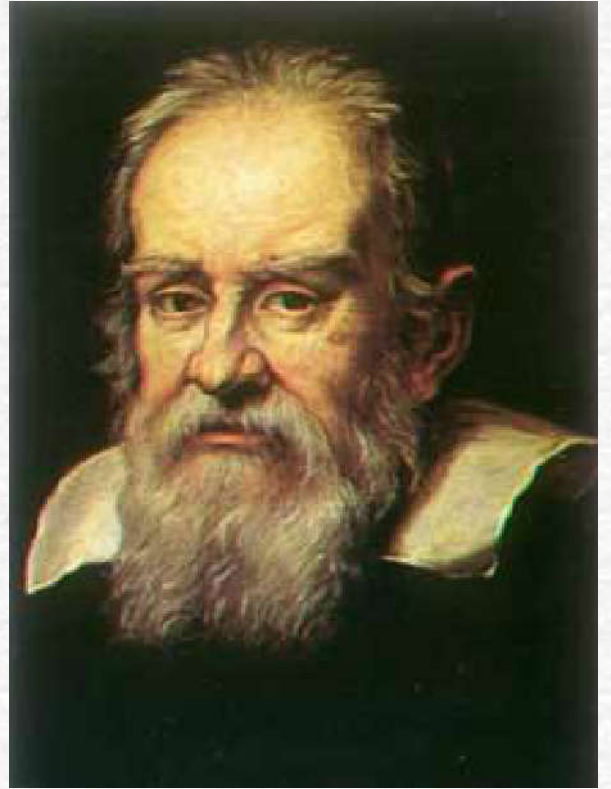


聊城大学

物理科学与信息工程学院

2. 伽利略望远镜

伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642)是意大利著名数学家、天文学家、物理学家、哲学家，是首先在科学实验的基础上融合贯通了数学、天文学、物理学三门科学的科学巨人。他于1609年首先发明了这种望远镜。



聊城大学

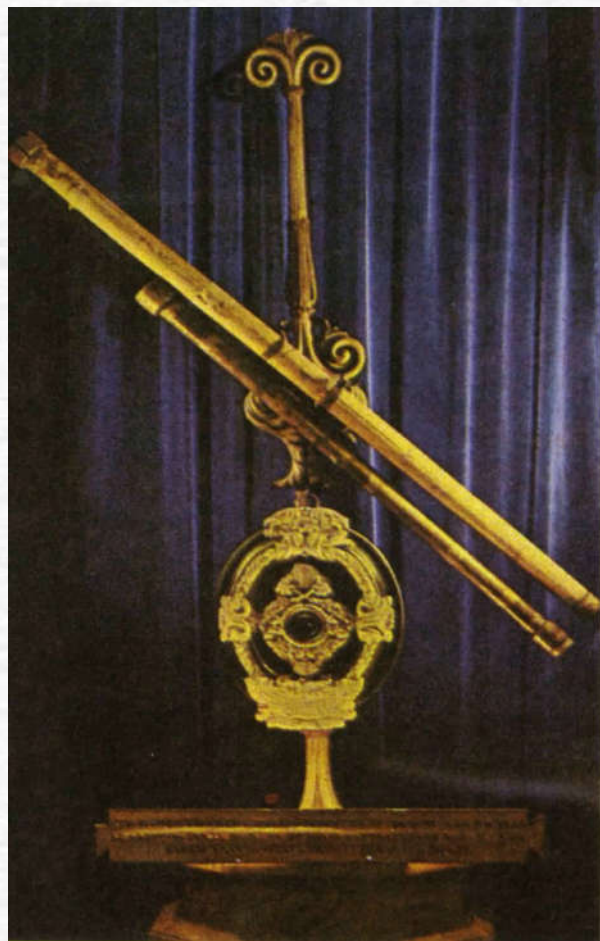
物理科学与信息工程学院

25

伽利略望远镜的特点是：发散透镜作为目镜，同样物镜的像方焦距与目镜的物方焦距重合。

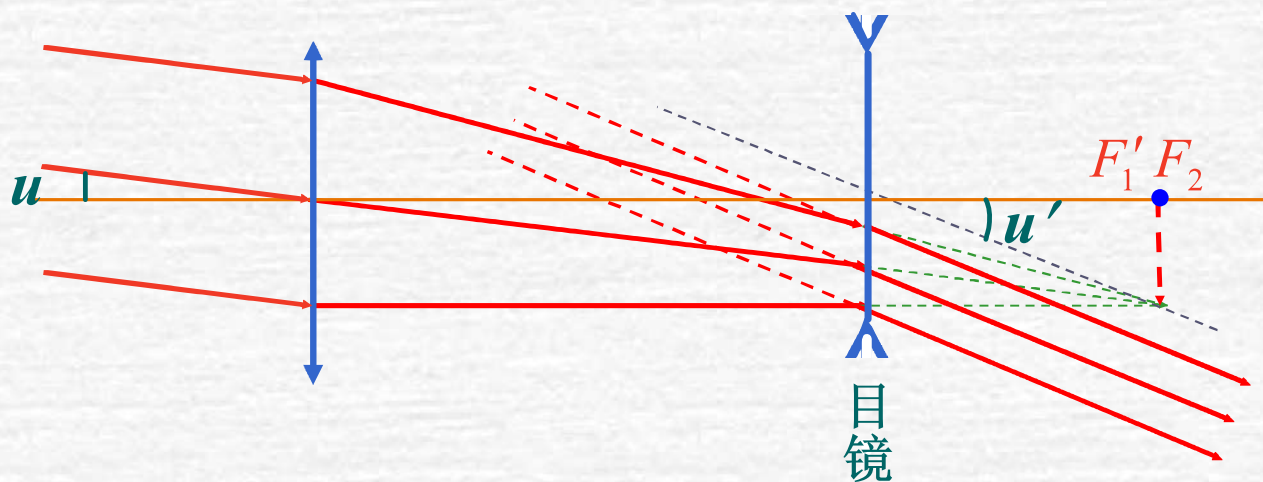


伽利略做落体实验的比萨斜塔



聊城大学

物理科学与信息工程学院



同样可以证明：伽利略望远镜的放大本领为：

$$M = \frac{U'}{U} = -\frac{f_o'}{f_e'}$$

由于 $f_o' > 0$, $f_e' < 0$, 所以M为正值, 表示伽利略望远镜成正立的像。



聊城大学

物理科学与信息工程学院

开普勒望远镜与伽利略望远镜二者之间的区别：

- (1) 开普勒望远镜成倒立的像，伽利略望远镜成正立的像。
- (2) 伽利略望远镜的视场较小，而开普勒望远镜的视场则较大。
- (3) 开普勒望远镜目镜的物方焦平面在镜筒内部，在该处可以放置叉丝或刻度尺，而伽利略望远镜不能配分划板。
- (4) 若二者的物镜和目镜焦距的绝对值分别相等，则开普勒望远镜的镜筒较长，伽利略望远镜的镜筒较短。



3. 反射式望远镜

由于反射镜能反射的光谱范围比较广，而且不会产生色差，当反射镜的形状合适时又能矫正球差，并且大孔径的反射镜又比大孔径的透镜容易制造，所以大型的天文望远镜的物镜都是用孔径大的反射镜制成的，这种望远镜称为反射式望远镜。

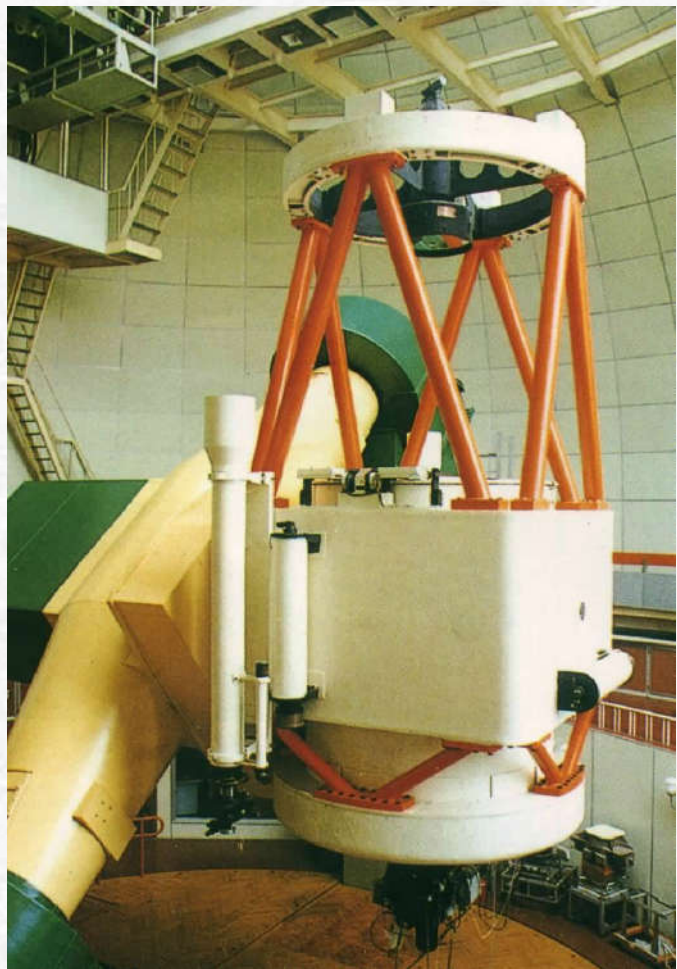


聊城大学

物理科学与信息工程学院

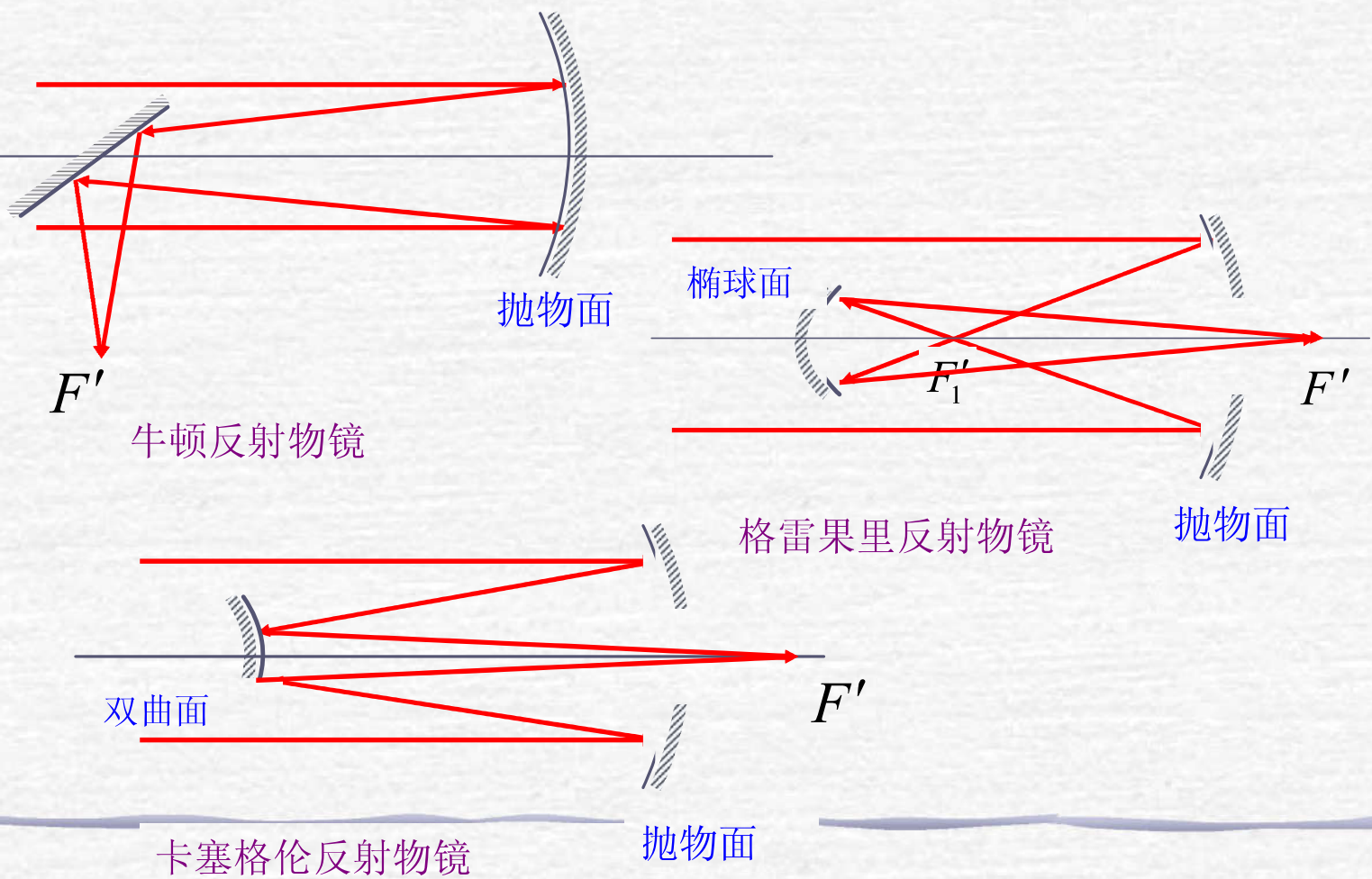


牛顿手制的反射式望远镜



北京天文台2.16米的
反射式望远镜

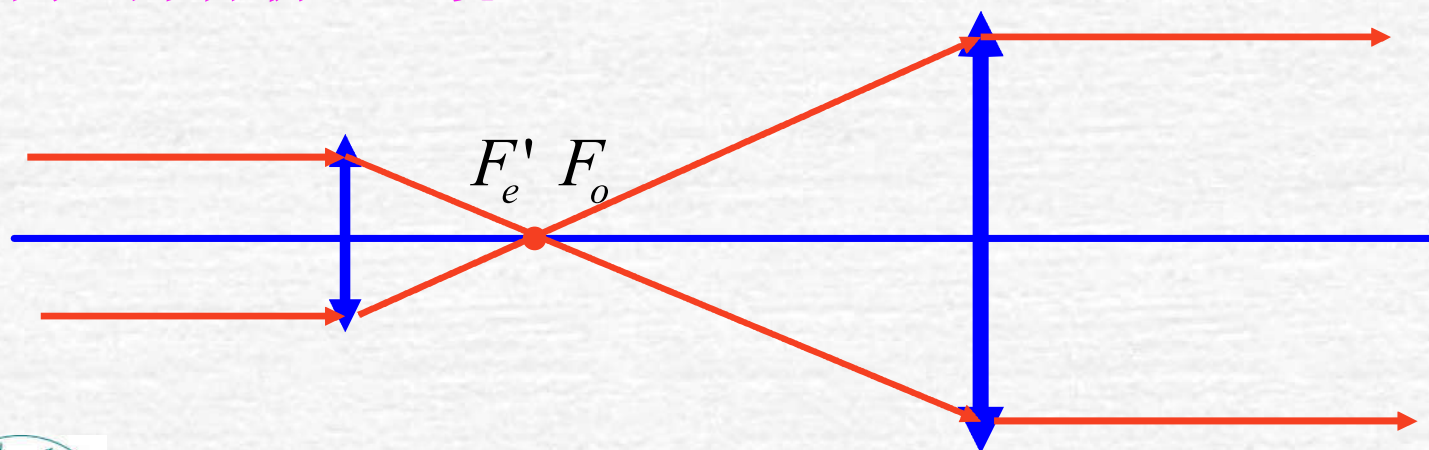
几种反射式望远镜光路图：



4. 激光扩束器

有些激光器发出的光束直径很小。而有时希望获得一束直径比较宽的激光束。如果使激光器发出的光束经过一个高质量的倒置望远镜，便可实现扩束。如图

倒置开普勒望远镜

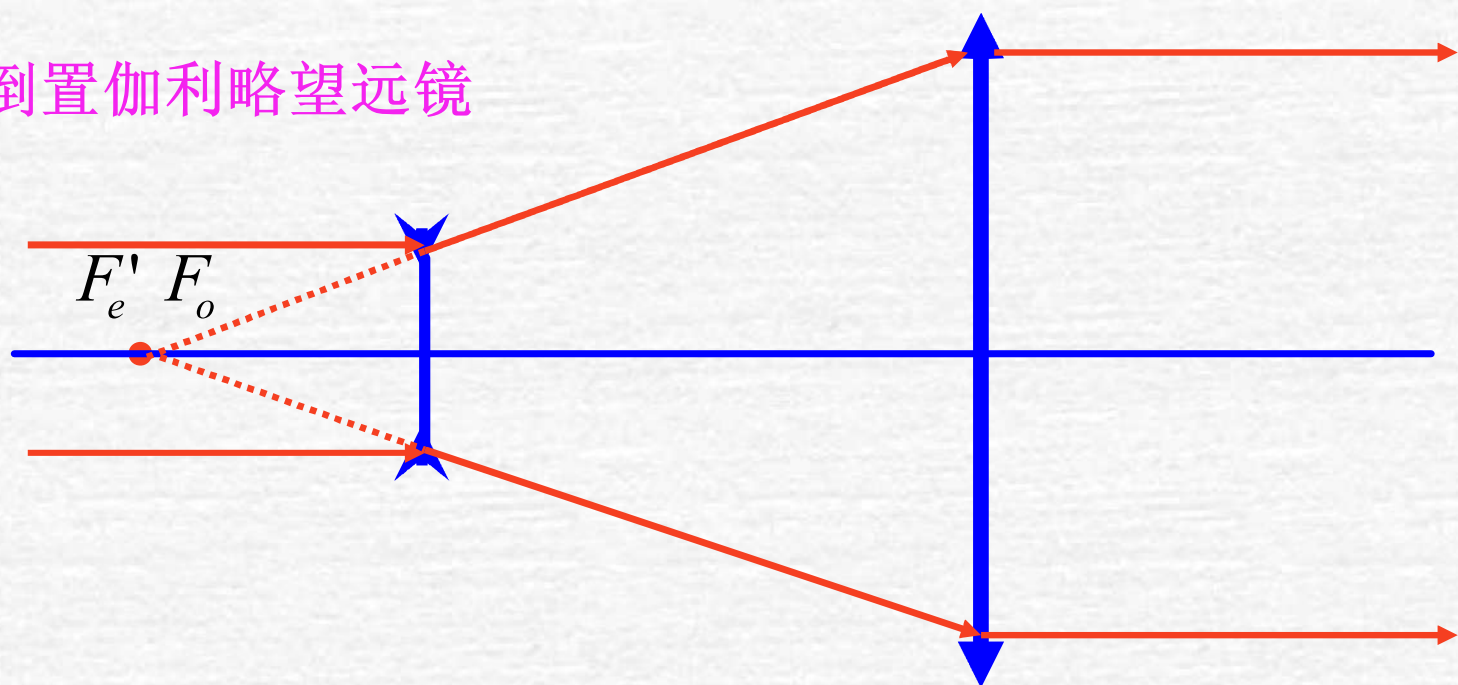


聊城大学

物理科学与信息工程学院

32

倒置伽利略望远镜



注意：若将倒置的开普勒望远镜作为激光扩束器使用，功率大的激光束经目镜会聚后，焦点处的光强将会非常强，有可能使空气电离，产生危险。若用倒置的伽利略望远镜作为激光扩束器，由于 F_e 是虚焦点，没有光束的实际会聚点，故不会有此危险。





上海**25**米的射电望远镜



乌鲁木齐**25**米的射电望远镜

本节结束