

第2章 理想光学系统 与实际光学系统

本章重点:

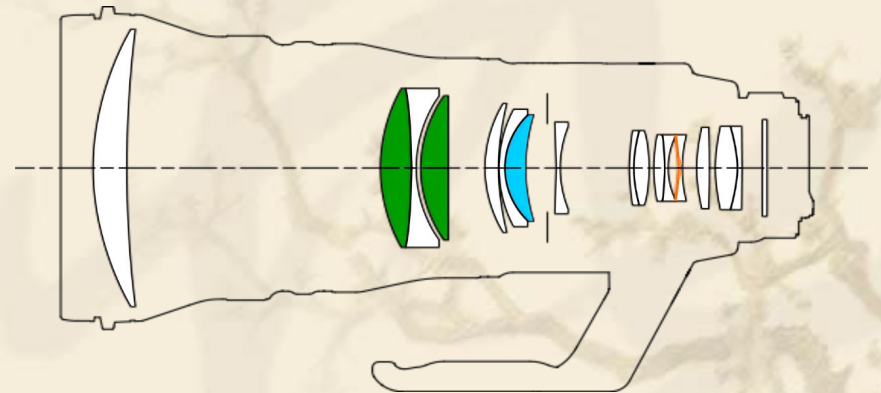
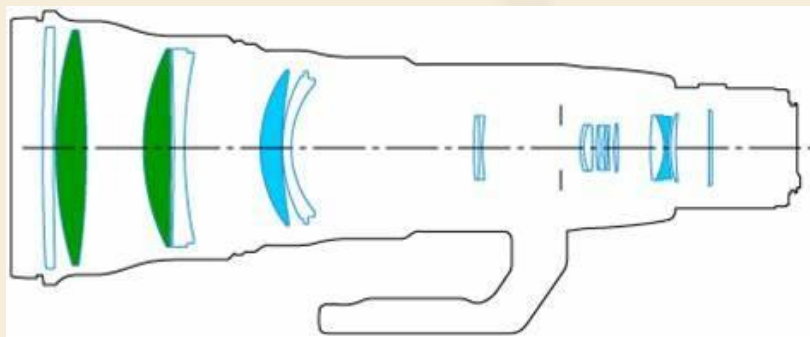
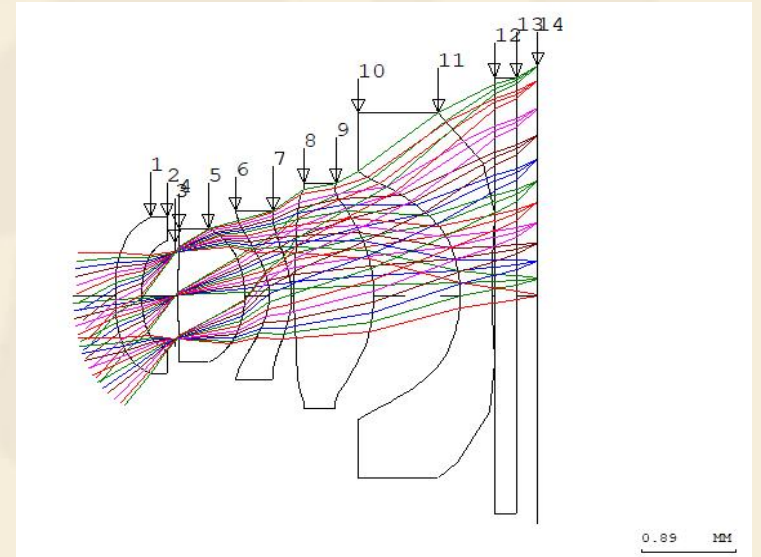
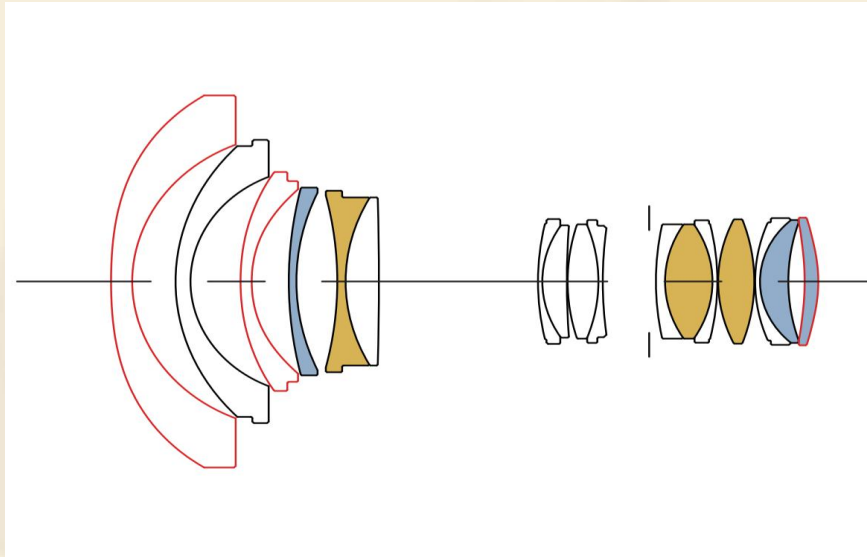
理想光学系统的成像过程及成像特点

实际光学系统中的光束限制、光线像差









§ 2.1 理想光学系统的基本特性、基点和基面

一、理想光学系统的基本特性

- 1、**理想光学系统**：能对任意宽空间内的点以任意宽的光束完善成像的光学系统。
- 2、**完善成像**的原始定义：
点成点像；线成线像；平面成平面像。
- 3、**高斯光学**：共轴理想光学系统的成像理论在1841年由高斯建立，称之为高斯光学。
- 4、**意义**：作为衡量实际光学系统成像质量的标准；实际光学系统设计的初始计算的依据。

二、理想光学系统的基点和基面

1、焦点和焦面

像方焦点 F' :

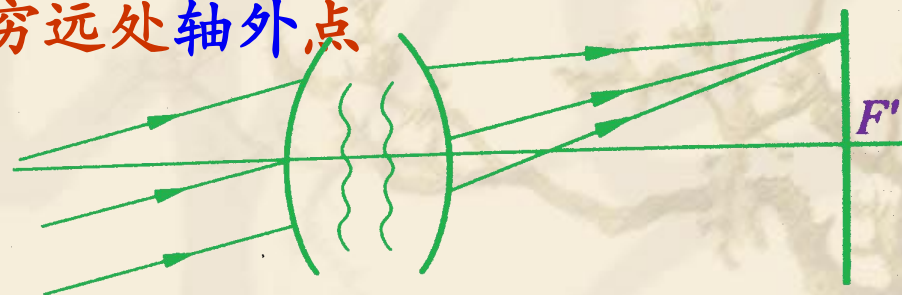
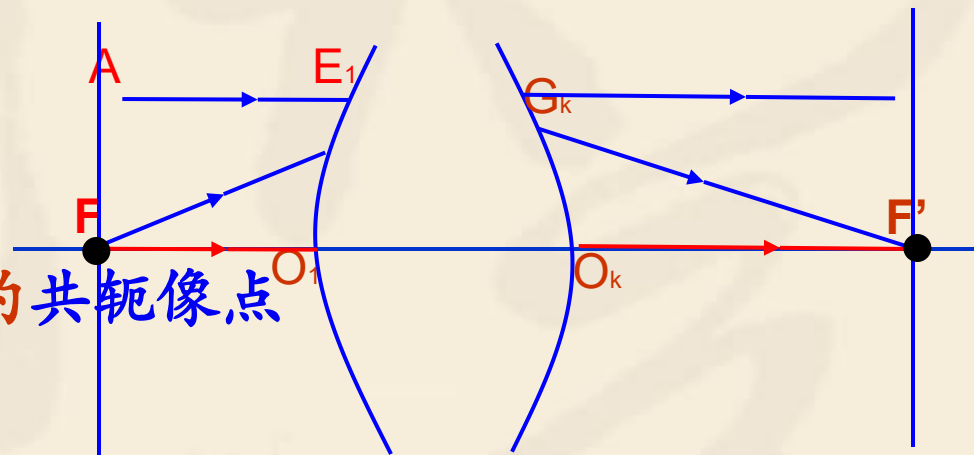
无穷远轴上的物点所对应的共轭像点

物方焦点 F :

无穷远轴上的像点所对应的共轭物点

像方焦平面，物方焦平面

焦平面上其他点，对应共轭无穷远处轴外点



注意：两焦点不共轭，焦平面也一样

2、主点和主平面

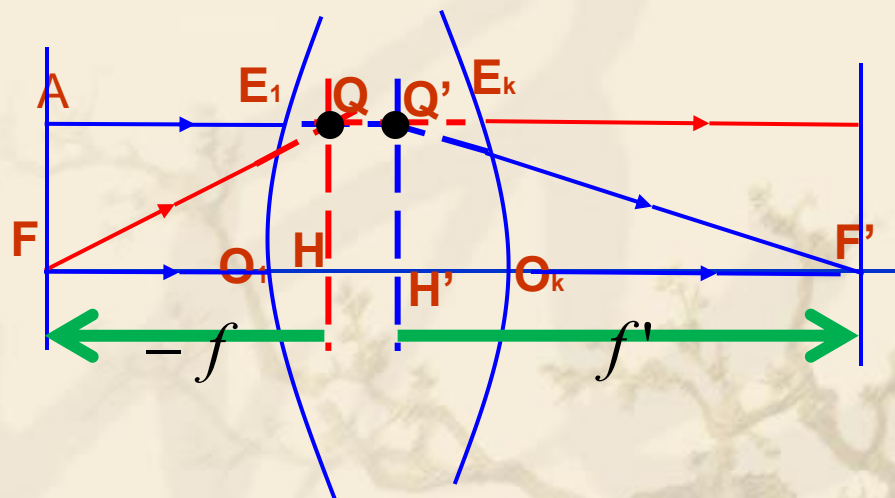
- ❖ **主平面**：一对垂轴放大率为+1的共轭面称为主平面。包括物方主平面 QH 和像方主平面 $Q'H'$
- ❖ **主点**：物方主点 H ，像方主点 H'
- ❖ 主点和主平面彼此之间是共轭的。
- ❖ 物方焦距和像方焦距

$$f = HF, f' = H'F'$$

$$f' = \frac{h}{\tan u'}, \quad f = \frac{h}{\tan u}$$

主点和焦点构成基点，
主面和焦平面构成基面。

基点、基面可确定（描述）一个理想光学组（系统）。



§ 2.2 理想光学系统的物像关系

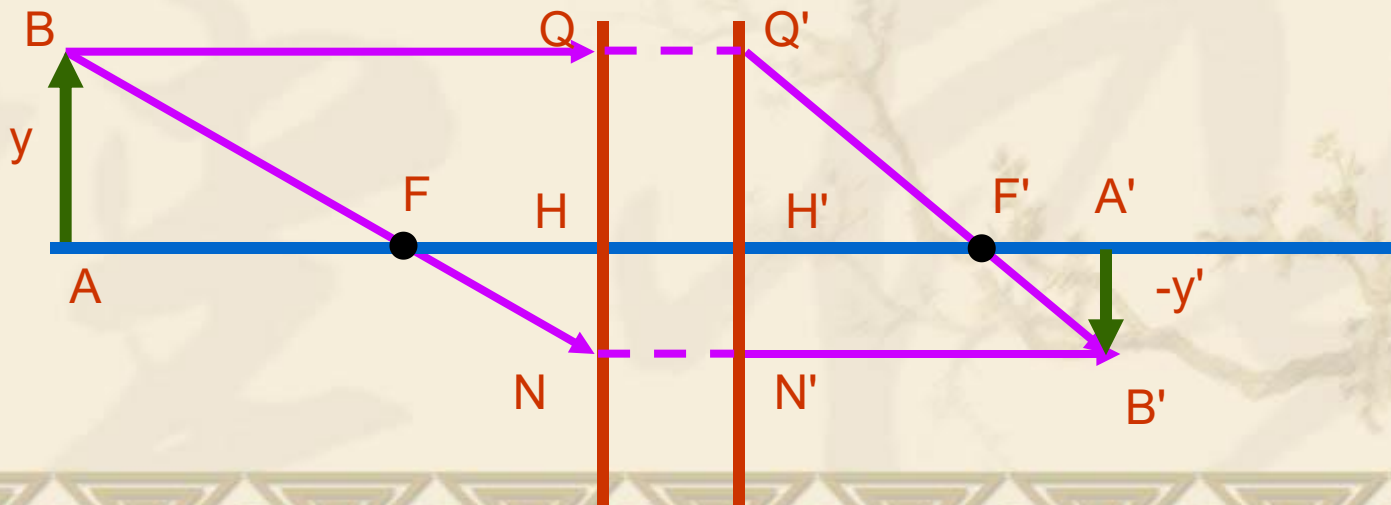
一、图解法求像

总方法：三条特殊光线（第1章）+平行光线共轭焦平面上的点（焦平面的性质）+水平（平行于光轴）过主面间（主平面的性质）

已知主点和焦点，求成像的例子

1.已知物AB、不指定光线：

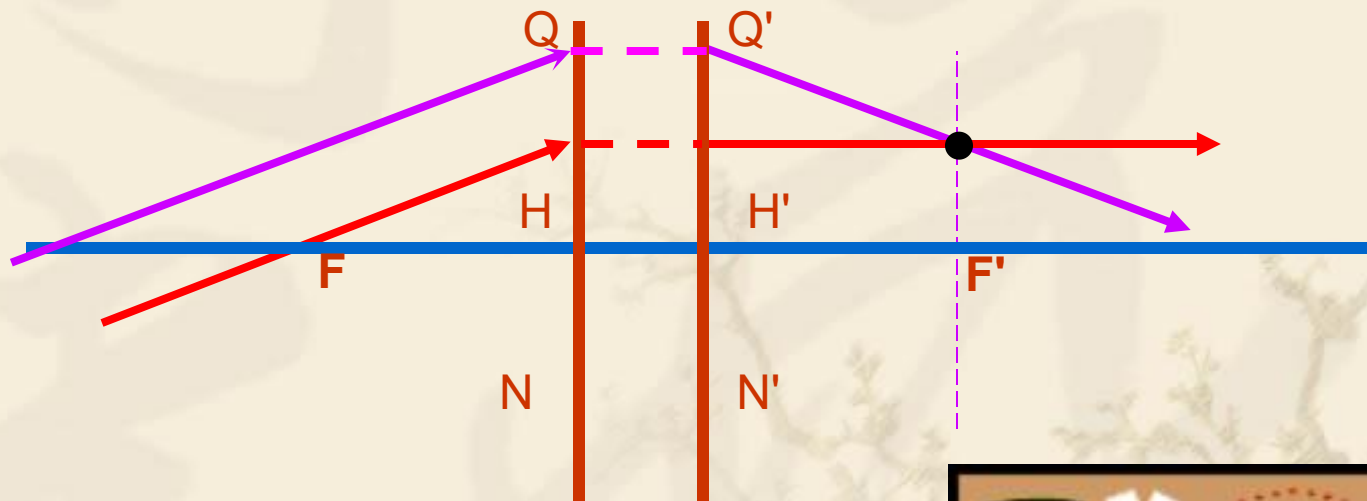
过B点作两条入射光线，一条平行于光轴，另一条过物方焦点。
如图所示：



2、任意（指定）光线的出射方向的两种求解方法

- ❖ 过物方焦点作一条与任意光线平行的辅助光线，任意光线与辅助光线所构成的斜平行光束经光学系统折射后应会聚于像方焦平面上一点，这一点可由辅助光线的出射线平行于光轴确定。

总方法：三条特殊光线（第1章）+平行光线共轭焦平面上的点+水平过主面间



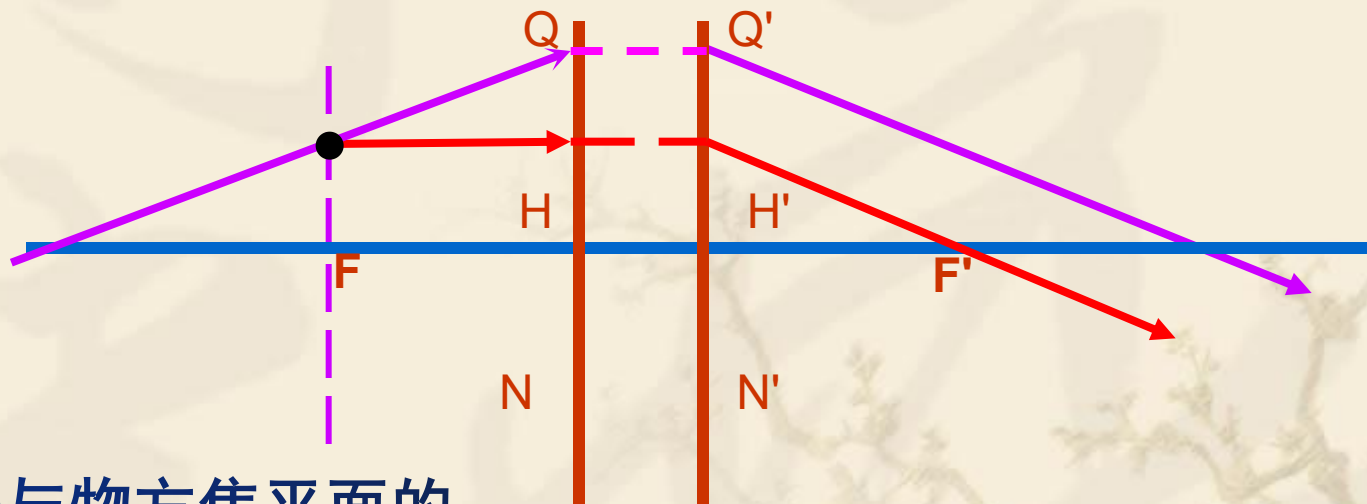
过物方焦点作辅助光线



§ 2.2 理想光学系统的物像关系--图解法

- ❖ 另一种方法是认为任意光线是由物方焦平面上一点发出光束中的一条。为此，过任意光线与物方焦平面交点作一条平行于光轴的辅助线，其出射线必过像方焦点。由于任意光线的出射线平行于辅助线的出射线，即可求得任意光线的出射线方向。

总方法：三条特殊光线（第1章）+平行光线与焦平面上的点+水平过主面间

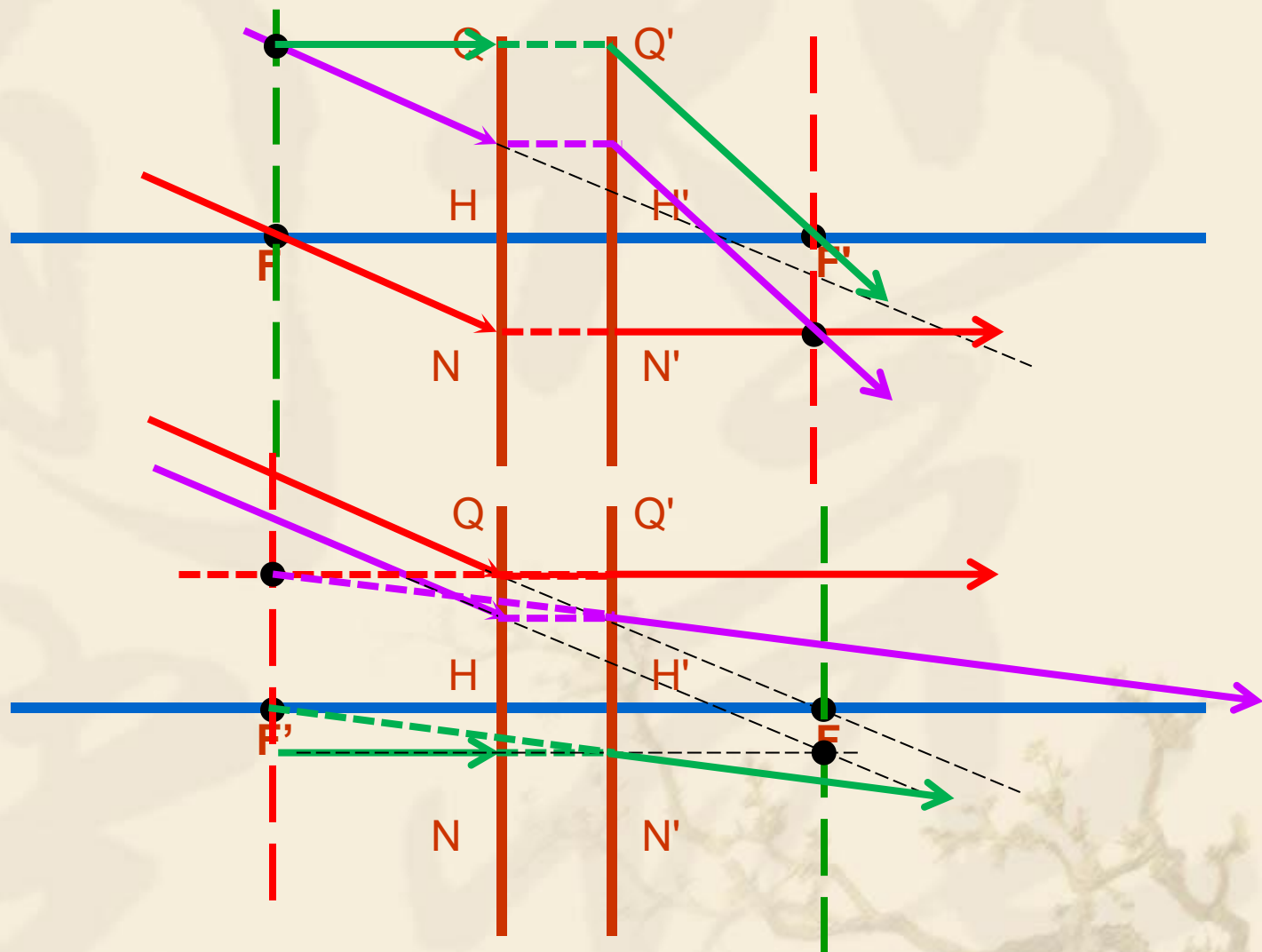


过任意光线与物方焦平面的交点作平行于光轴的辅助光线

§ 2.2 理想光学系统的物像关系--图解法

❖ 例题：
求以下
理想光
组的出
射光线

总方法：三条
特殊光线（第
1章）+平行光
线与焦平面上的
点+水平过
主面间

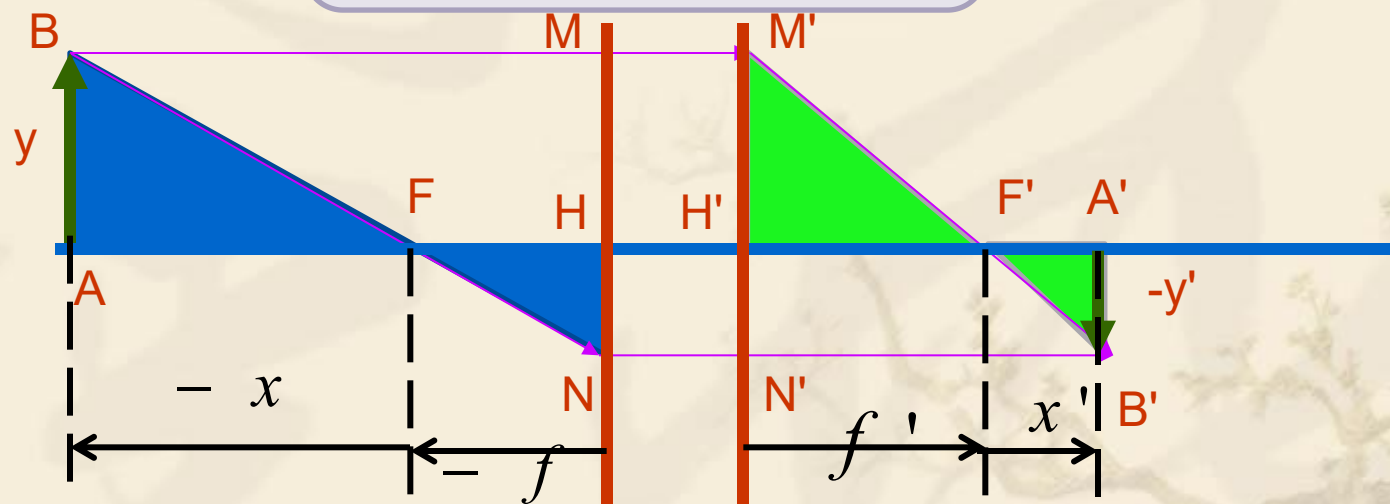




二、解析法求像

1、牛顿公式：以焦点为坐标原点计算物距和像距的物像关系(焦物距、焦像距)：

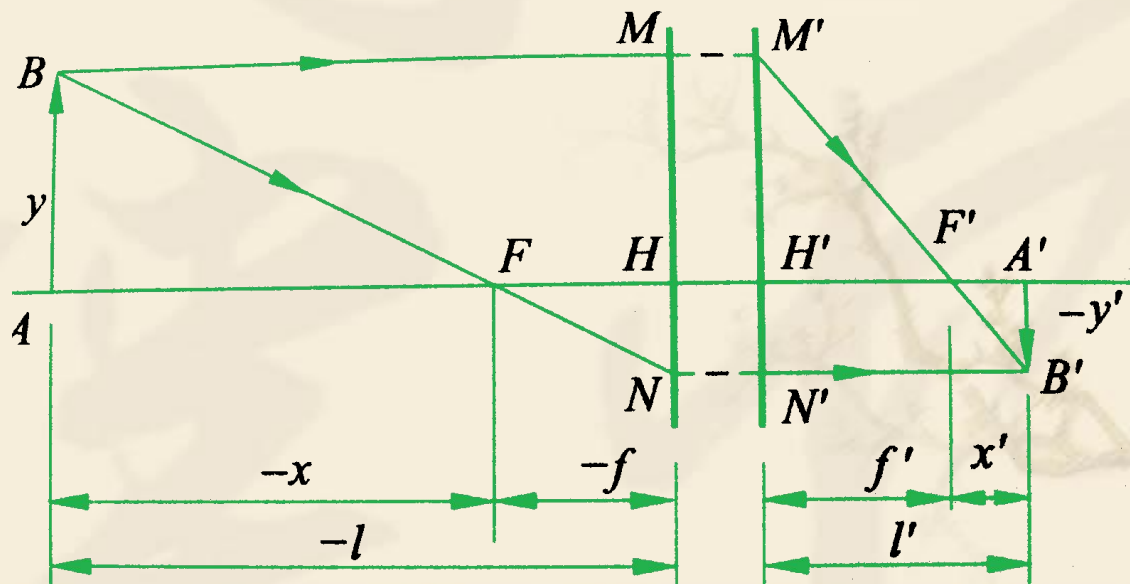
$$xx' = ff'$$



2、高斯公式

以主点为坐标原点计算物距和像距的物像公式。

$$\therefore \begin{cases} x = l - f \\ x' = l' - f' \end{cases} \quad \therefore \frac{f'}{l'} + \frac{f}{l} = 1$$





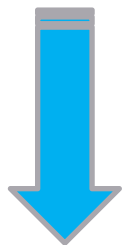
3、物方焦距与像方焦距间的关系

$$(x + f)\tan u = h = (x' + f')\tan u'$$



$$x = -\frac{y}{y'}f; x' = -\frac{y'}{y}f'$$

$$yf \tan u = -y' f' \tan u'$$



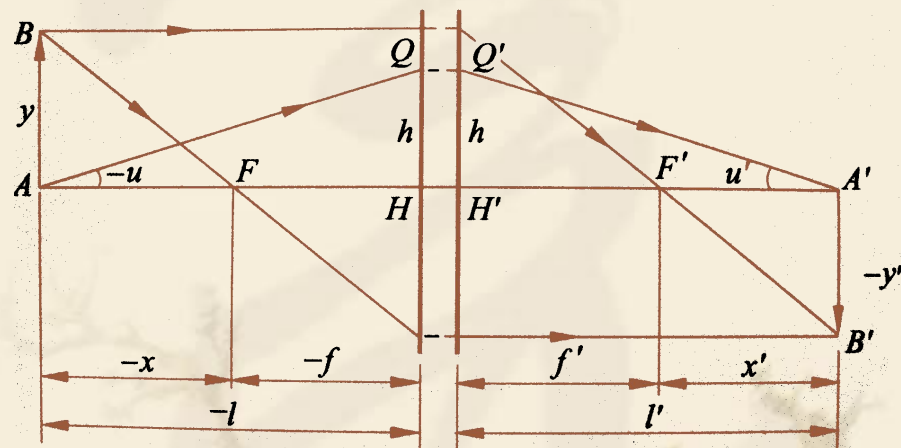
$$\tan u = u; \tan u' = u'$$

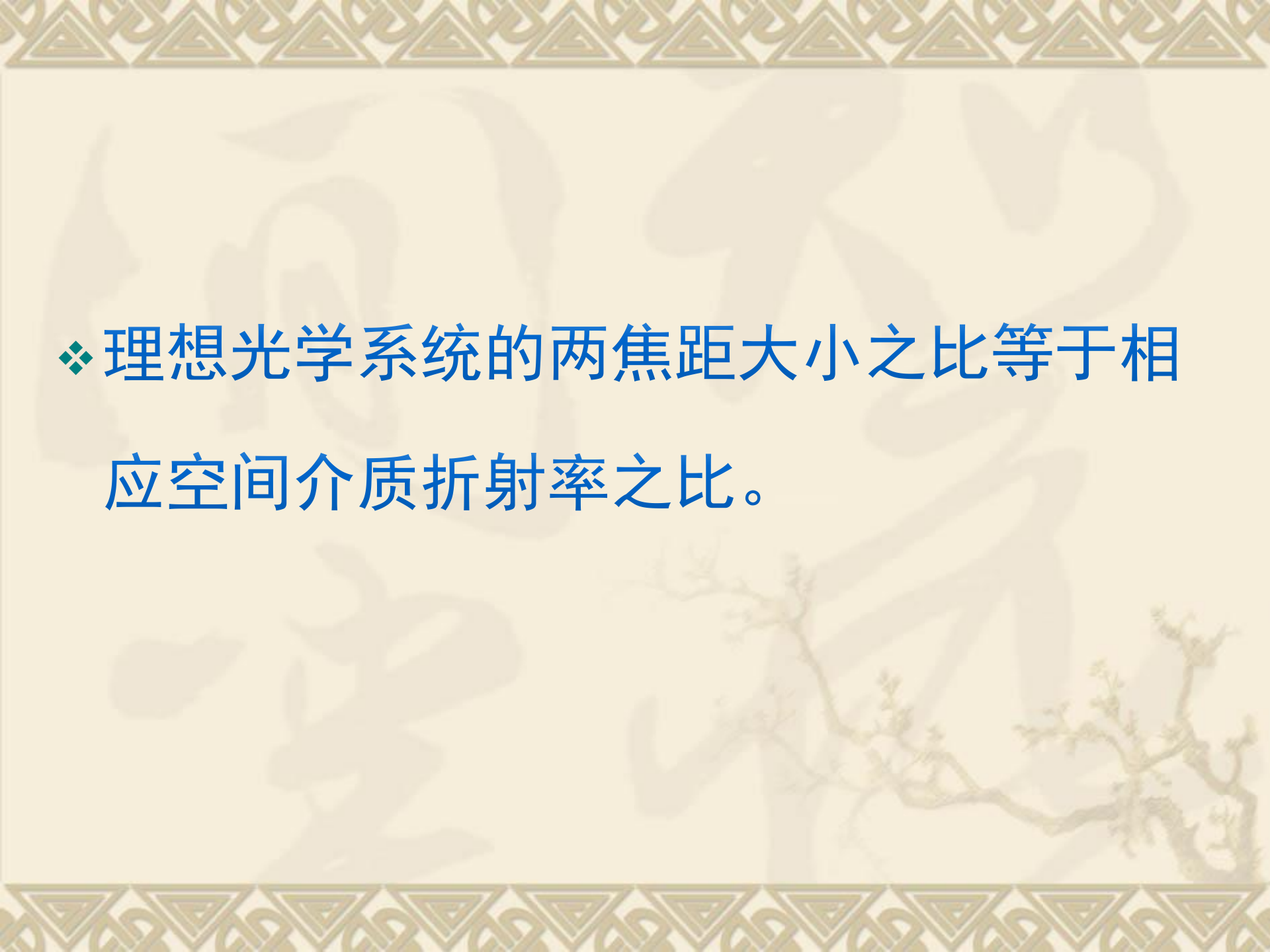
$$yfu = -y' f' u'$$



$$nuy = n'u'y'$$

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





❖ 理想光学系统的两焦距大小之比等于相应空间介质折射率之比。



3、物方焦距与像方焦距间的关系

重要公式：

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

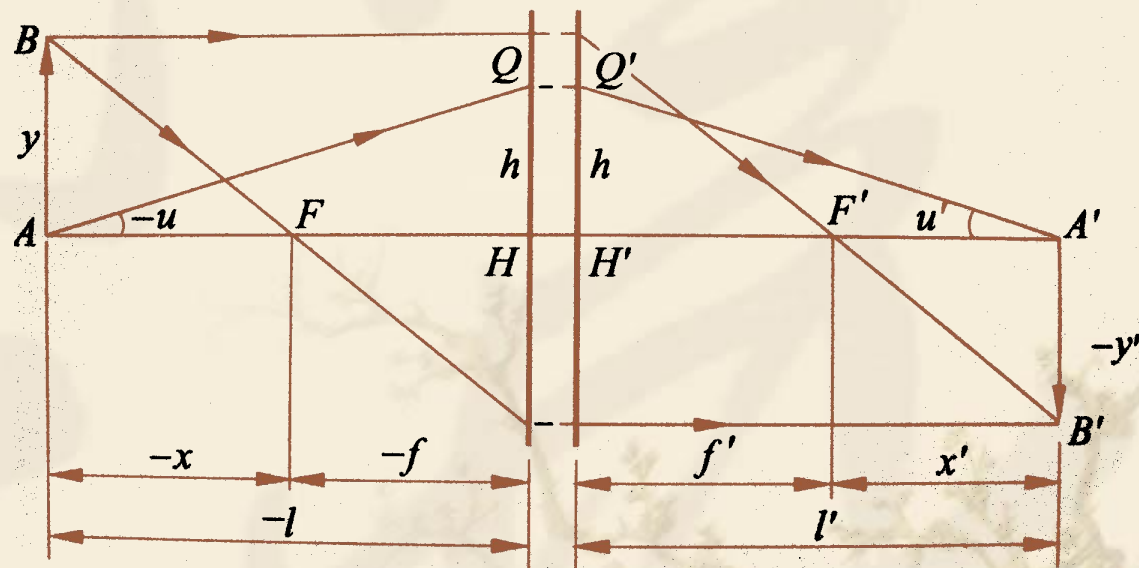
由此有：

牛顿公式：

$$xx' = -f^2$$

高斯公式：

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



4、理想光学系统的拉亥公式： $ny \tan u = n'y' \tan u'$

❖ 例1 有一理想光学系统位于空气中，其光焦度为 $\varphi = 10D$ ，当焦物距 $x = -100\text{mm}$ 时，试求像的位置。

❖ 例2 有一理想薄透镜（物像方主面重合）位于空气中，其光焦度为 $\varphi = -10D$ ，当物体位于透镜前 100mm 处时，试求像的位置。

§ 2.3 理想光学系统的放大率

一、放大率

1、垂轴放大率

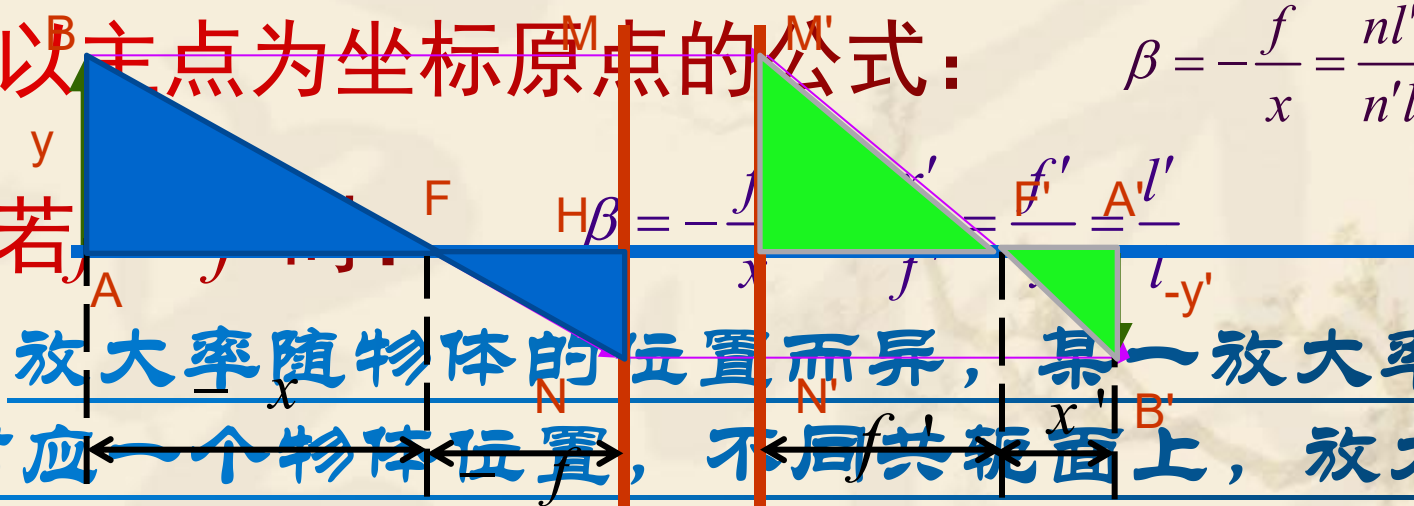
(1) 焦点为原点的公式：

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

(2) 以主点为坐标原点的公式：

$$\beta = -\frac{f}{x} = \frac{n'l'}{n'l}$$

(3) 若



放大率随物体的位置而异，某一放大率只对应一个物体位置，不同共轭面上，放大率是不同的。

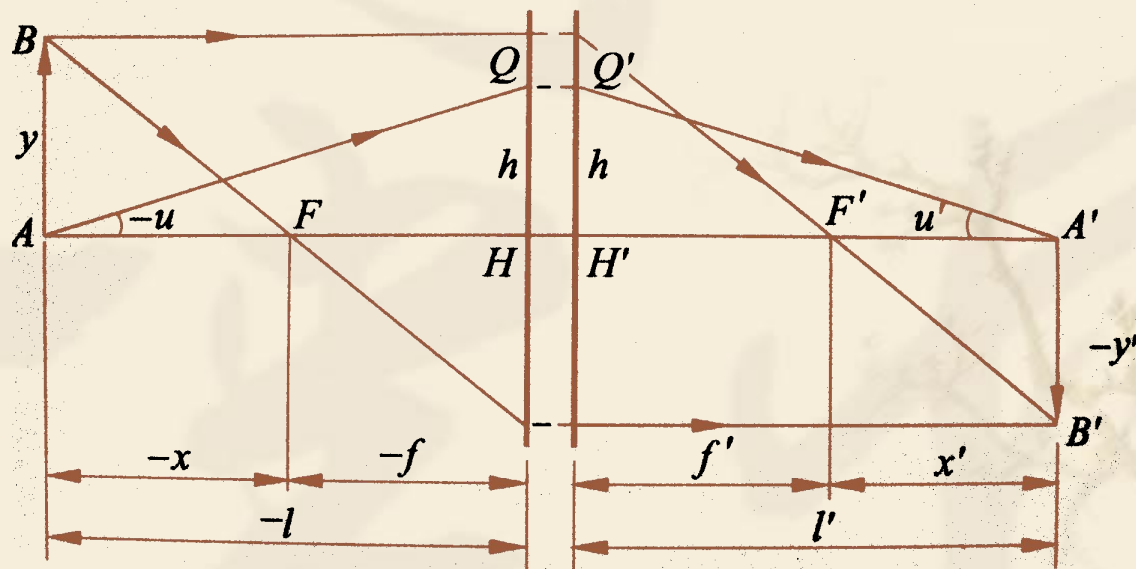
2、轴向放大率

(1) 定义:

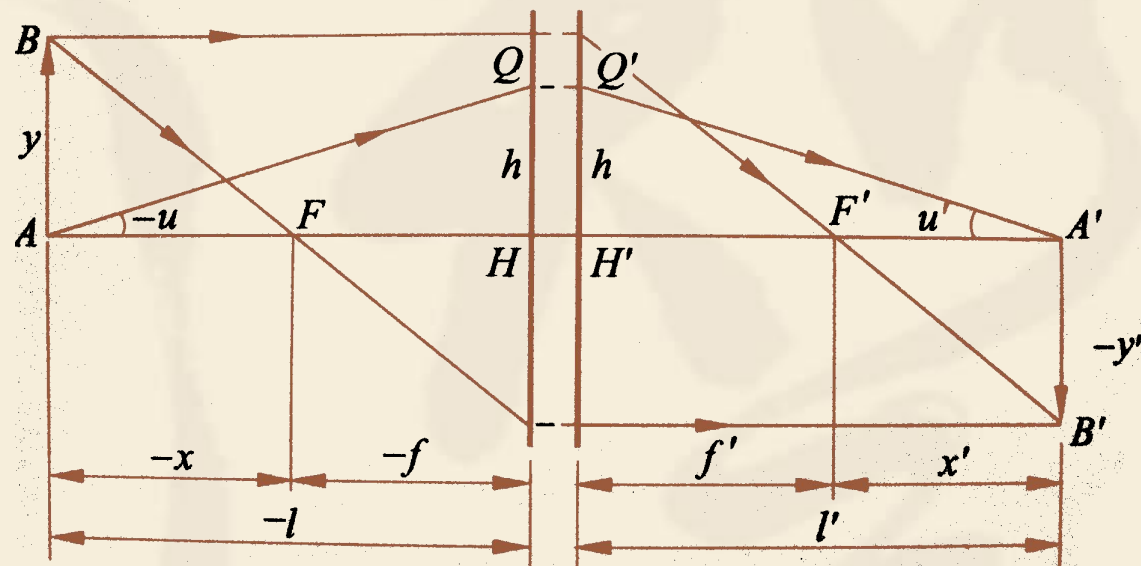
$$\alpha = \frac{dx'}{dx}$$

(2) 推导式:

$$\alpha = -\frac{x'}{x} = -\beta^2 \frac{f'}{f} = \frac{n'}{n} \beta^2$$



§ 2.3 理想光学系统的放大率



3、角放大率

(1) 定义式: $\gamma = \frac{\tan u'}{\tan u}$

(2) 推导式: $\gamma = \frac{l}{l'} = \frac{ny}{n'y'} = \frac{n}{n'\beta}$

4、三种放大率的关系 $\alpha\gamma = \beta$



作业：
P77-78的2-2、2-6题



二、节点和节平面

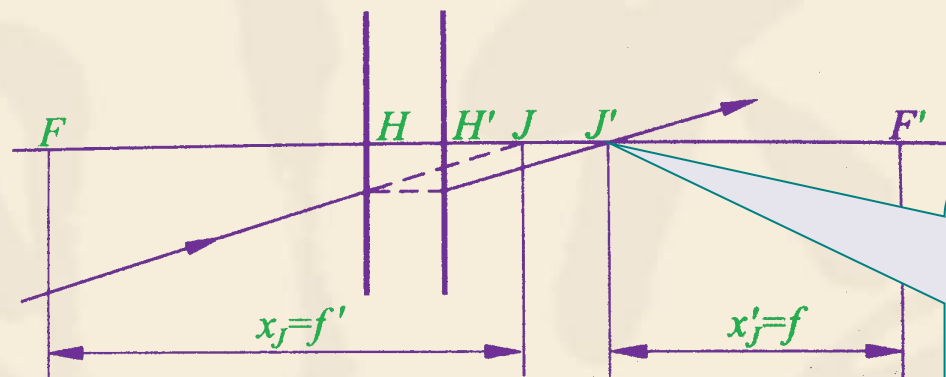
1、定义：光轴上角放大率为+1的一对共轭点称为节点。

（过节点的入射光线经过系统后出射方向不变）

2、物方节点和像方节点（J和J'）

3、物方节平面和像方节平面

二、节点和节平面



如果光学系统处于同一介质中，节点和主点重合

$$\gamma = \frac{n}{n'} \frac{1}{\beta} \quad \frac{f'}{f} = -\frac{n'}{n} \quad \rightarrow \quad \beta = -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f'} \quad \begin{cases} x_J = f' \\ x'_J = f \end{cases}$$

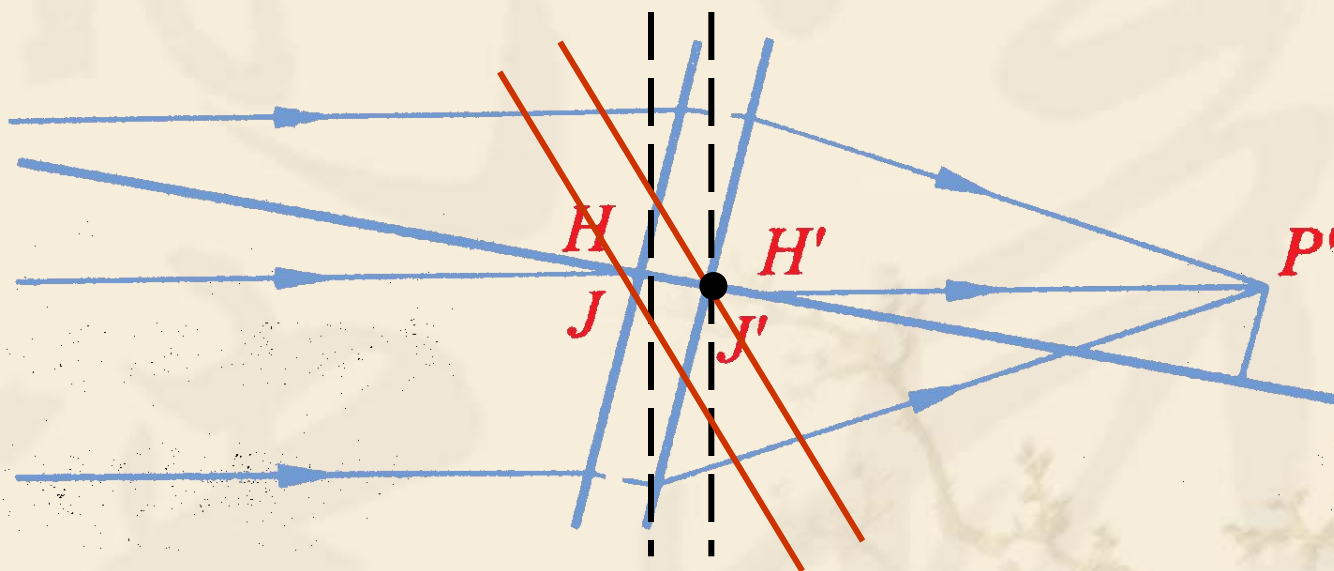
节点，节平面，焦点，焦平面，主点和主平面
称为理想光学系统的**基点**和**基面**。

❖ 思考题：

- ❖ 理想光学系统的节平面上除了节点外的其他点有何性质？

利用过节点的共轭光线彼此平行的特性，
可以用来测定光学系统的基点位置。

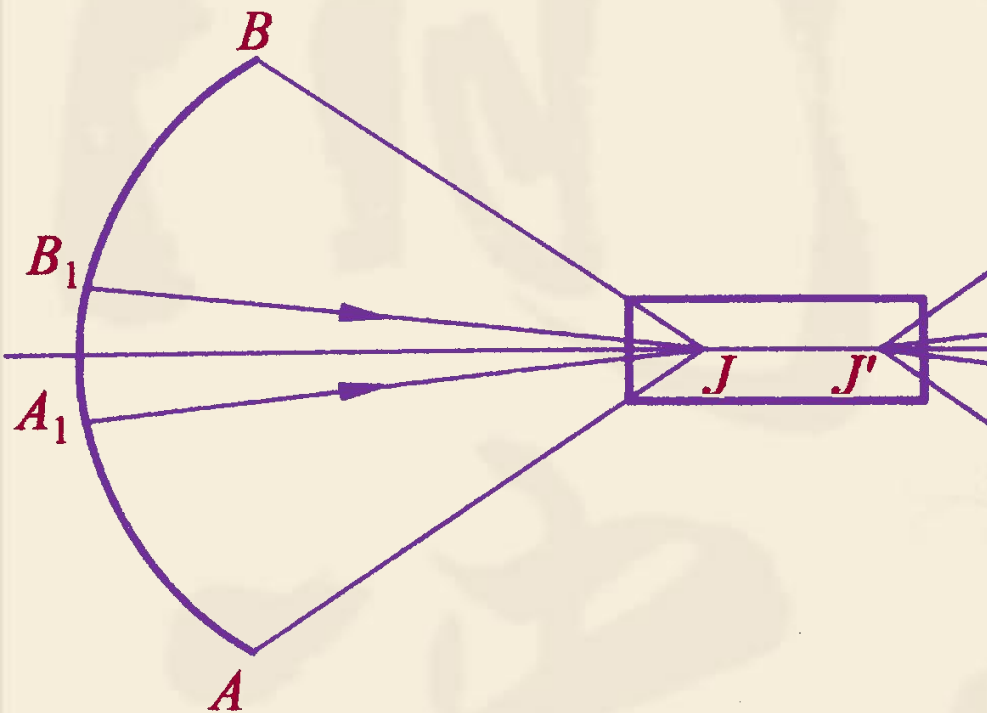
❖ 例一如图所示：



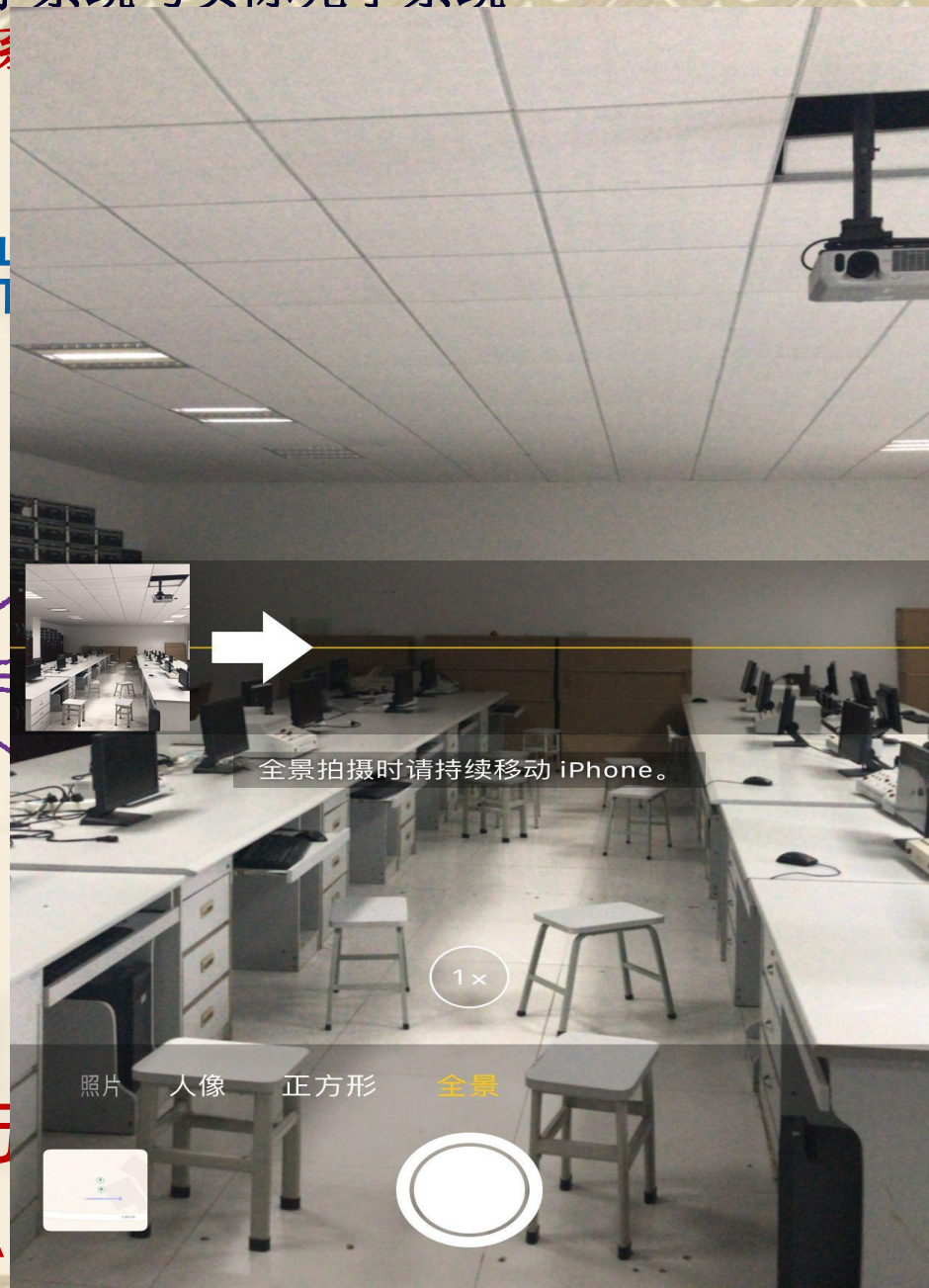
节点位置的测定

例二如图所示

❖ 用于拍摄大型团体照片



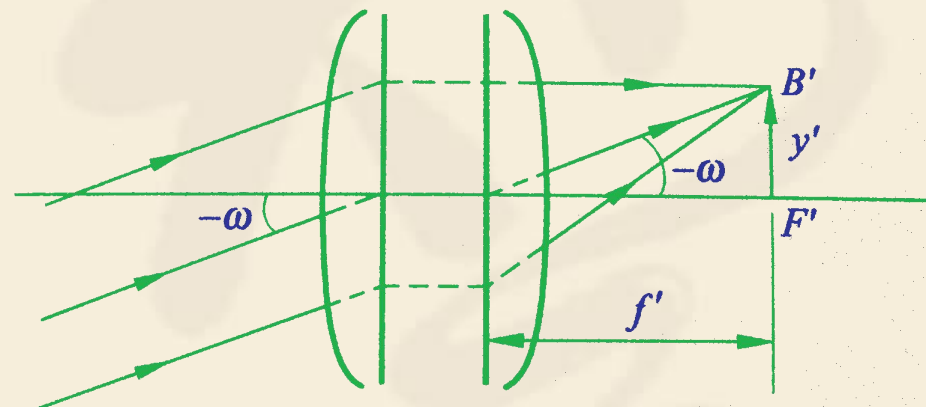
❖ 当物镜的转轴通过像方质点，当物镜转动时，A



三、用平行光管测定焦距的原理

❖ 测量公式：

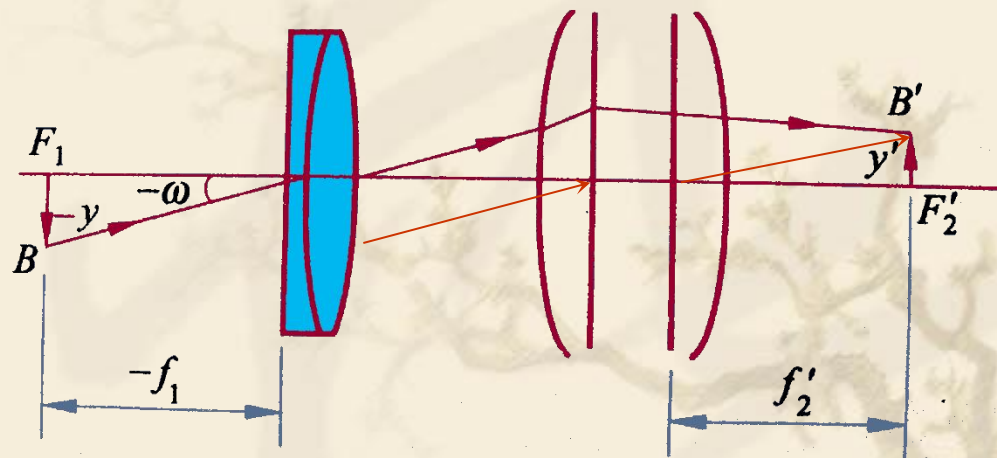
$$y' = -f' \tan \omega$$



无限远物体的理想像高

❖ 测量装置右图所示

$$f_2' = f_1 \frac{y'}{y}$$

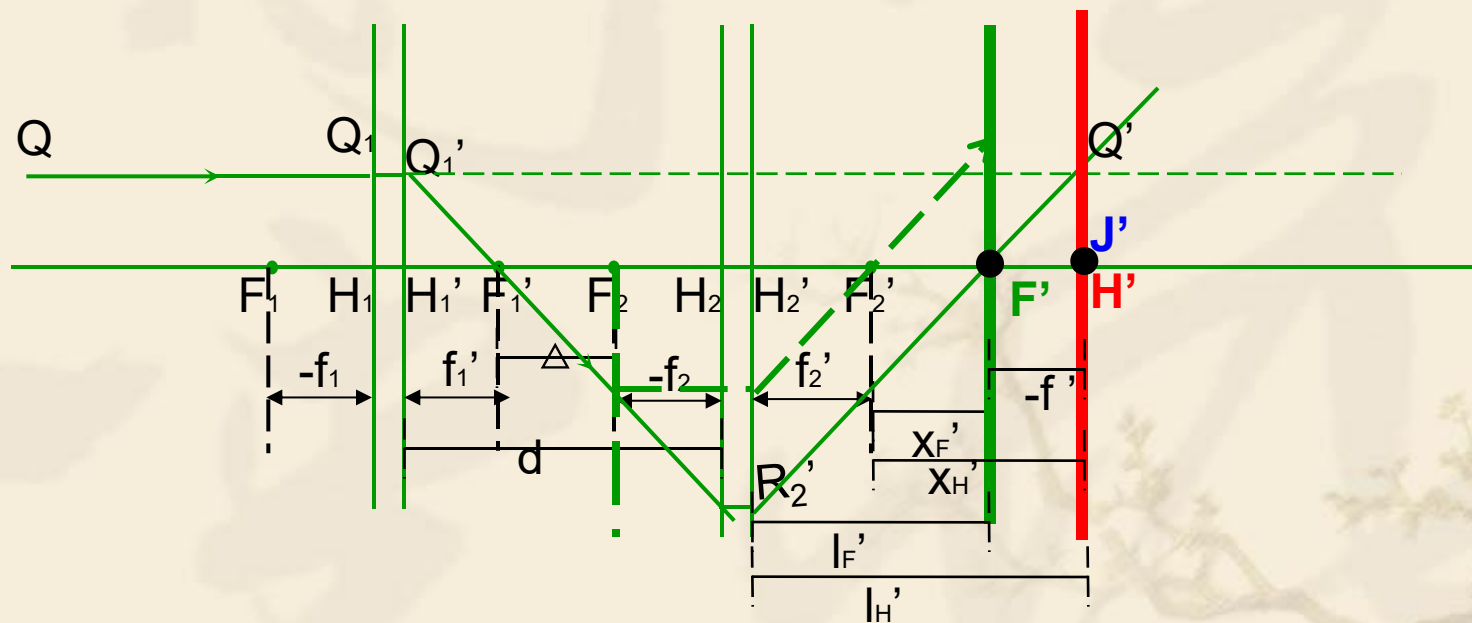


焦距测量原理

§ 2.4 理想光学系统的组合

一、双光组组合

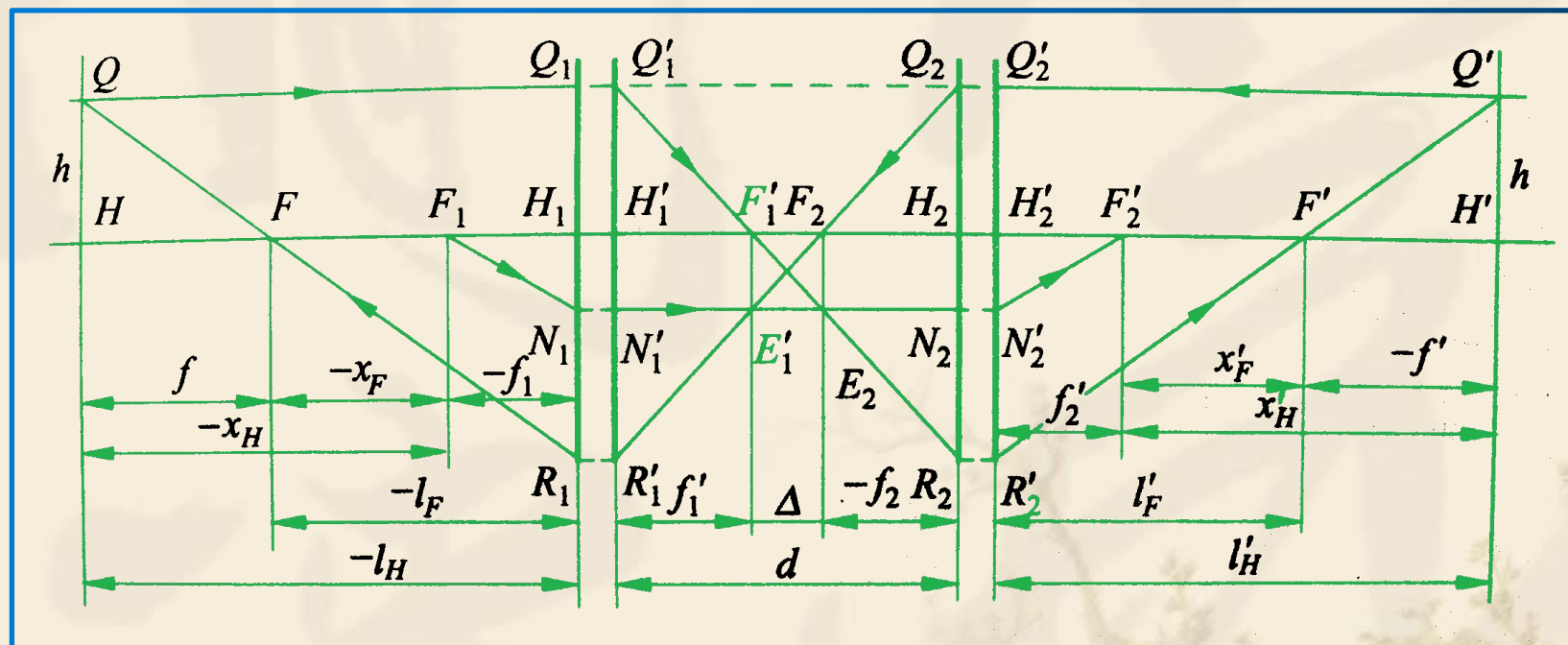
1、作图法确定光组组合的基点(焦点、主点、节点)



同理，反向入射，可作出物方的相应基点、基面和描述线段。

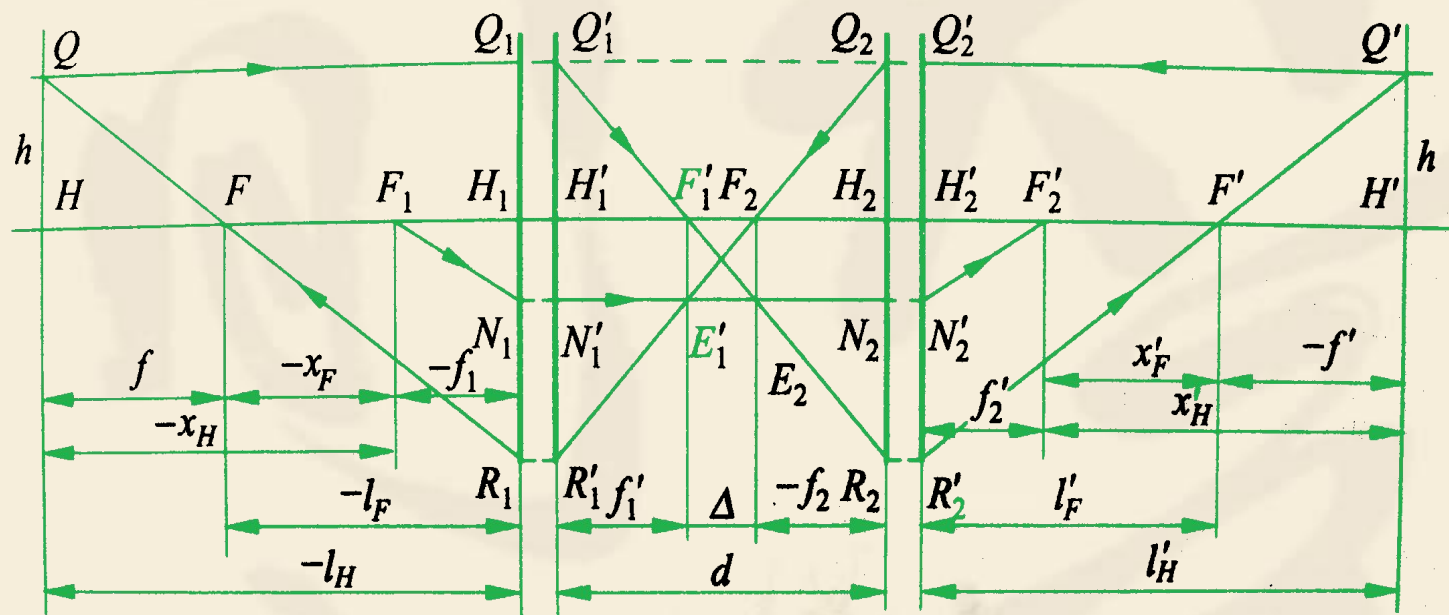
一、双光组组合

2、组合示意图



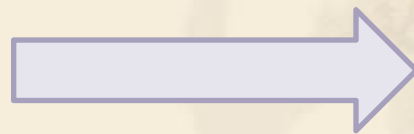
双光组组合图

3、焦点位置公式



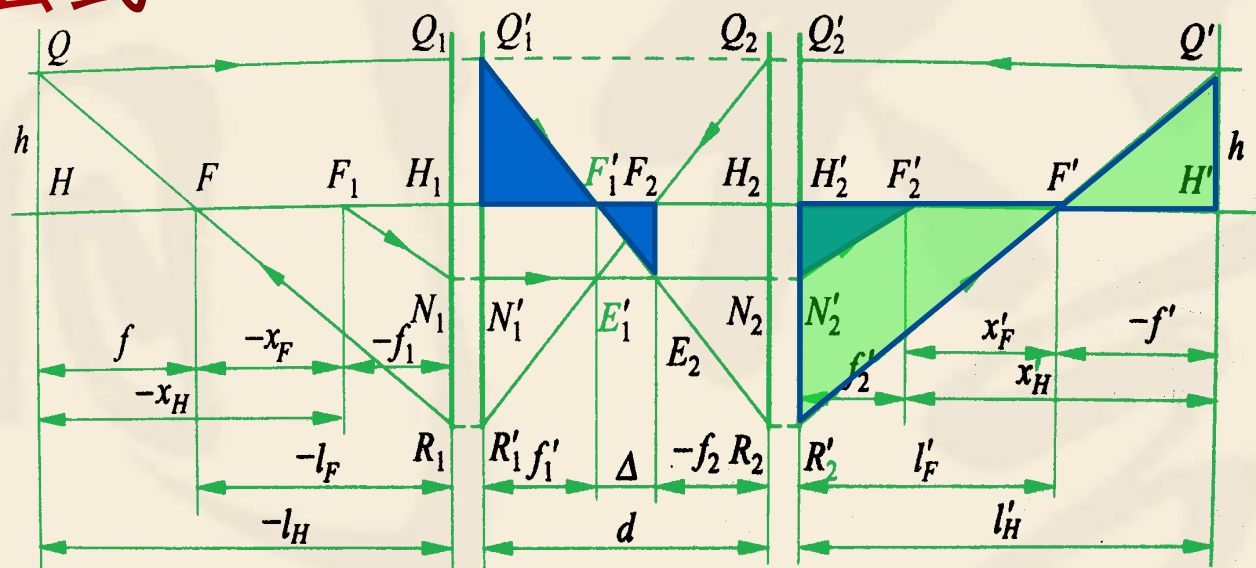
双光组组合图

$$\left. \begin{aligned} x_F' &= -\frac{f_2 f_2'}{\Delta} \\ x_F &= \frac{f_1 f_1'}{\Delta} \end{aligned} \right\}$$



$$\left. \begin{aligned} l_F' &= f_2' \left(1 - \frac{f_2}{\Delta} \right) \\ l_F &= f_1 \left(1 + \frac{f_1'}{\Delta} \right) \end{aligned} \right\}$$

4、焦距公式

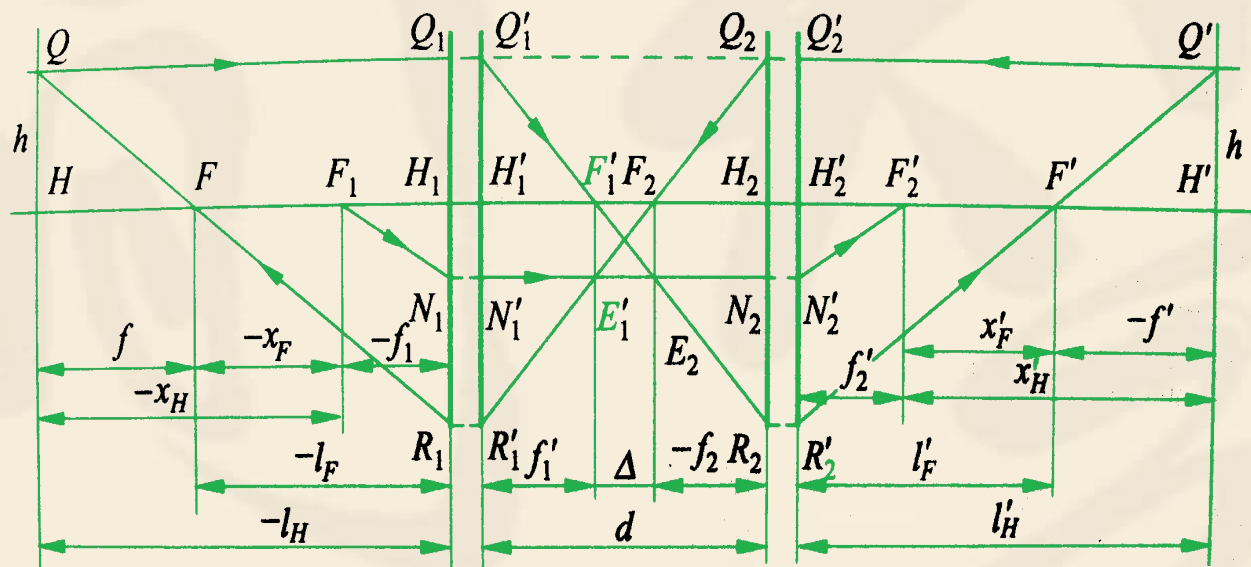


双光组组合图

$$\begin{aligned}
 -\frac{f'}{f_2} &= \frac{Q'H'}{H_2N_2} \Rightarrow f' = -\frac{f_1f_2}{\Delta} \\
 \frac{f_1}{\Delta} &= \frac{Q_1H_1}{F_2E_2} \Rightarrow f = \frac{f_2f_1}{\Delta} \\
 \Delta &= d - f'_1 + f_2 \\
 f' &= \frac{f'_1f'_2}{f'_1 - f'_2 - d} \\
 f' &= \frac{f'_1f'_2}{f'_1 + f'_2 - d}
 \end{aligned}$$

光焦度: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 - d\varphi_1\varphi_2$

4、焦距公式



双光组组合图

$$\left. \begin{aligned} l'_F &= f'_2 \left(1 - \frac{f_2}{\Delta} \right) \\ l_F &= f_1 \left(1 + \frac{f'_1}{\Delta} \right) \end{aligned} \right\}$$

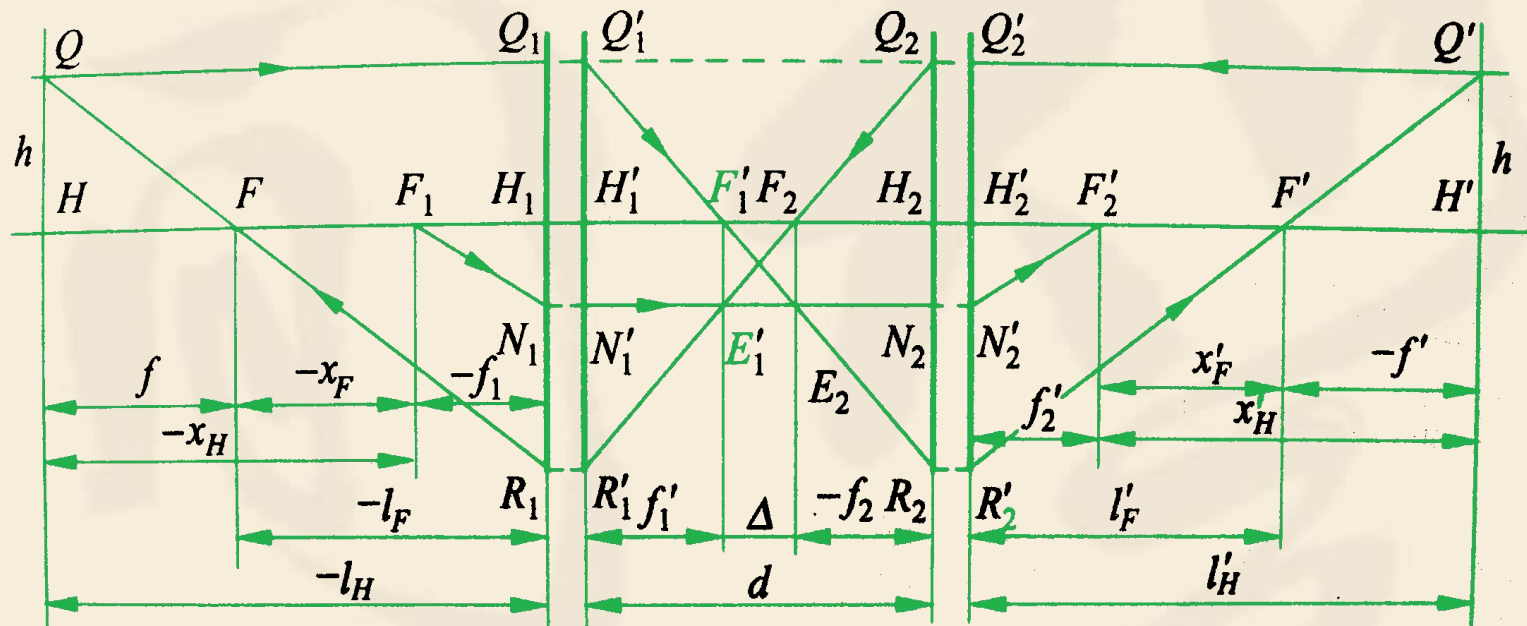
$$f' = -\frac{f'_1 f_2}{\Delta}$$

$$\Delta = d - f'_1 + f_2$$

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

$$\left. \begin{aligned} l'_F &= f' \left(1 - \frac{d}{f'_1} \right) \\ l_F &= f \left(1 - \frac{d}{f_2} \right) \end{aligned} \right\}$$

§ 2.4 理想光学系统的组合—双光组



双光组组合图

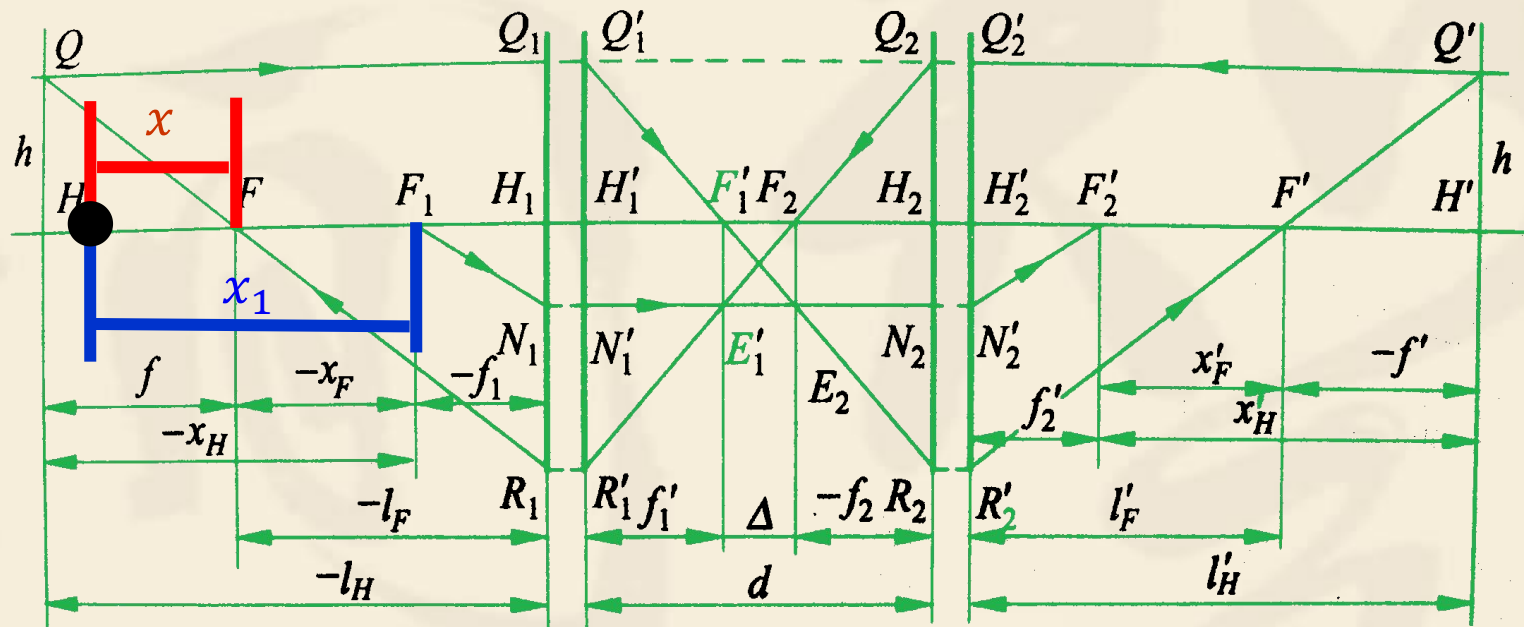
5、主点位置公式：

$$\Delta = d - f'_1 + f_2$$

$$\left. \begin{aligned} x'_H &= x'_F - f' \\ x_H &= x_F - f \\ l'_H &= x'_H + f'_2 = l'_F - f' \\ l_H &= x_H + f_1 = l_F - f \end{aligned} \right\} \begin{aligned} x'_F &= -\frac{f_2 f'_2}{\Delta} \\ x_F &= \frac{f_1 f'_1}{\Delta} \end{aligned} \xrightarrow{\quad} \left. \begin{aligned} x'_H &= \frac{f'_2 (f'_1 - f_2)}{\Delta} \\ x_H &= \frac{f_1 (f'_1 - f_2)}{\Delta} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} l'_H &= -f' \frac{d}{f'_1} \\ l_H &= f \frac{d}{f_2} \end{aligned}$$

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

§ 2.4 理想光学系统的组合—双光组



双光组组合图

6、合成光组的垂轴放大率：

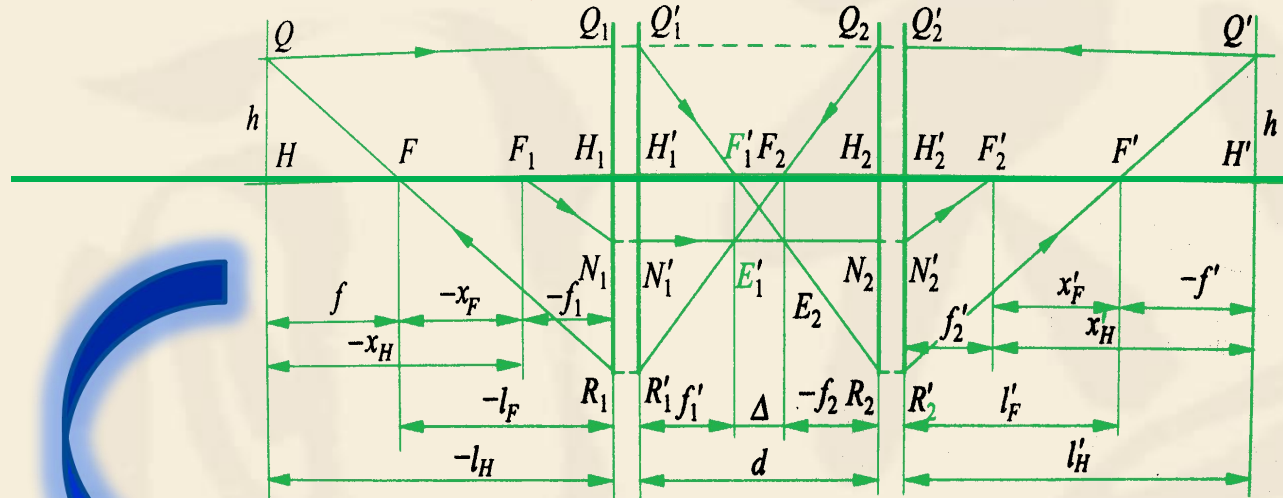
$$\beta = -\frac{f}{x} = \frac{f_1 f_2}{f_1 f'_1 - x_1 \Delta}$$

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

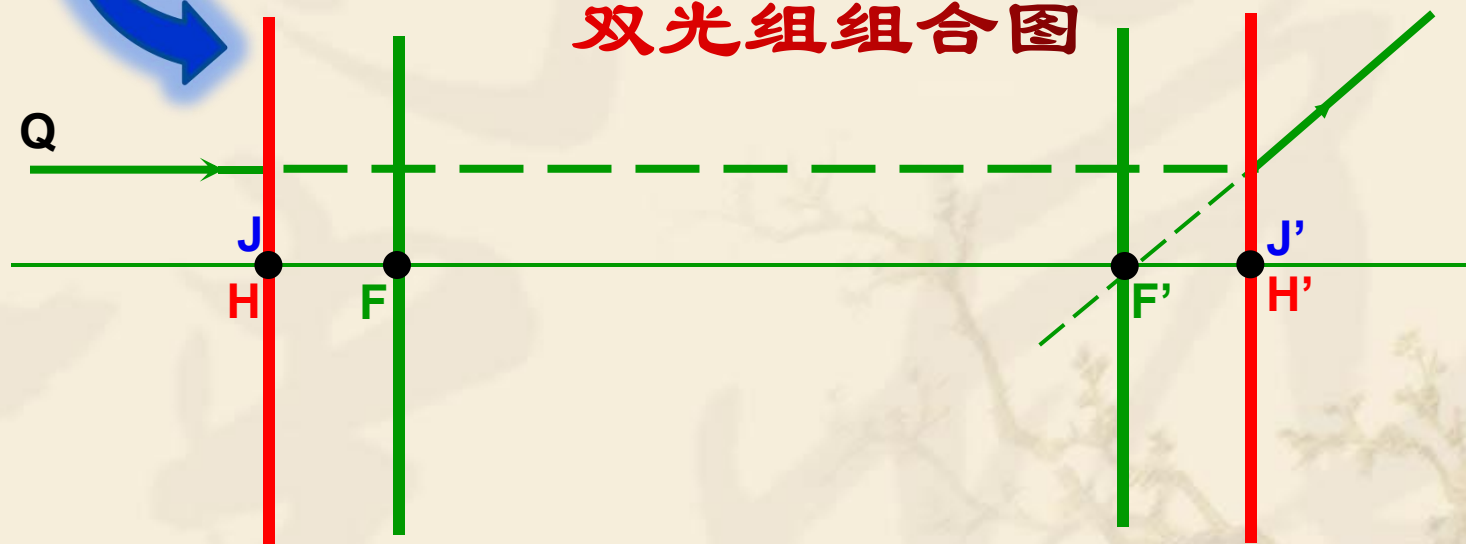
$$x = x_1 - x_F$$

$$x_F = \frac{f_1 f'_1}{\Delta}$$

§ 2.4 理想光学系统的组合—双光组



双光组组合图



由此，可回归单光组，用牛顿或高斯公式求解物像关系。

例 题

❖ 位于空气中的两个薄透镜（物像方主点重合），其参数为 $f_1'=90\text{mm}$ ， $f_2'=60\text{mm}$ ， $d=50\text{mm}$ ，求：

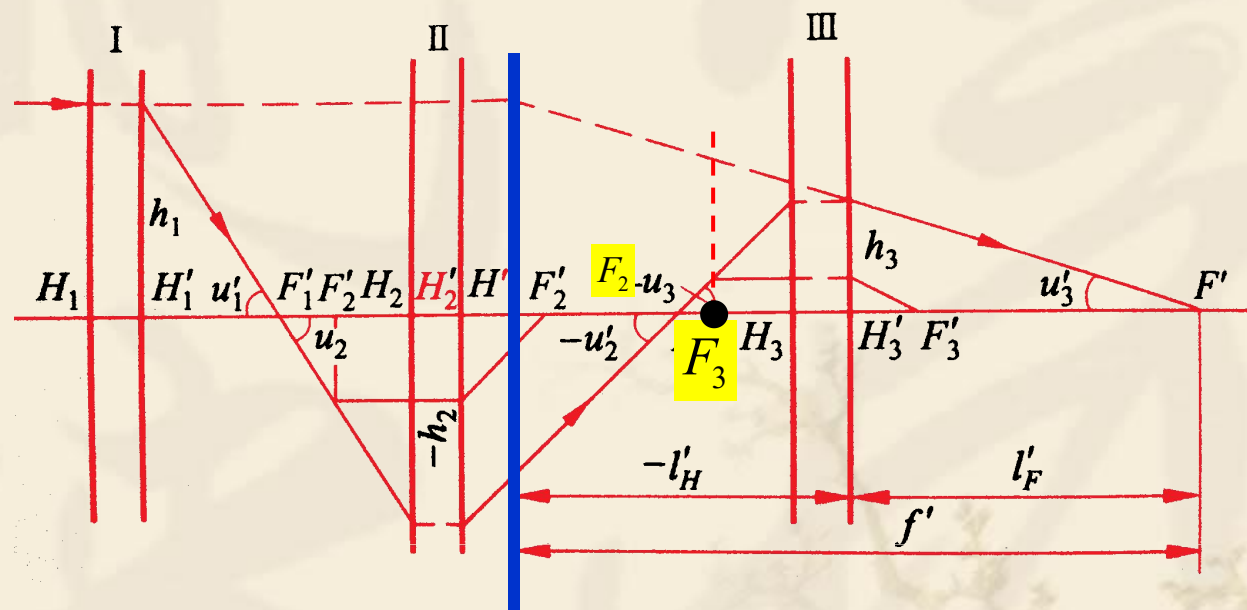
（1）组合系统的焦距并详细描述组合后的基点位置；

（2）若有一物点A位于第1光组前15mm，则经过整个光学系统之后，像的位置如何？

$$\left. \begin{aligned} l'_F &= f_2' \left(1 - \frac{f_2}{\Delta} \right) \\ l_F &= f_1' \left(1 + \frac{f_1'}{\Delta} \right) \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} l'_H &= -f' \frac{d}{f_1'} \\ l_H &= f \frac{d}{f_2} \end{aligned} \right\}$$

二、多光组组合

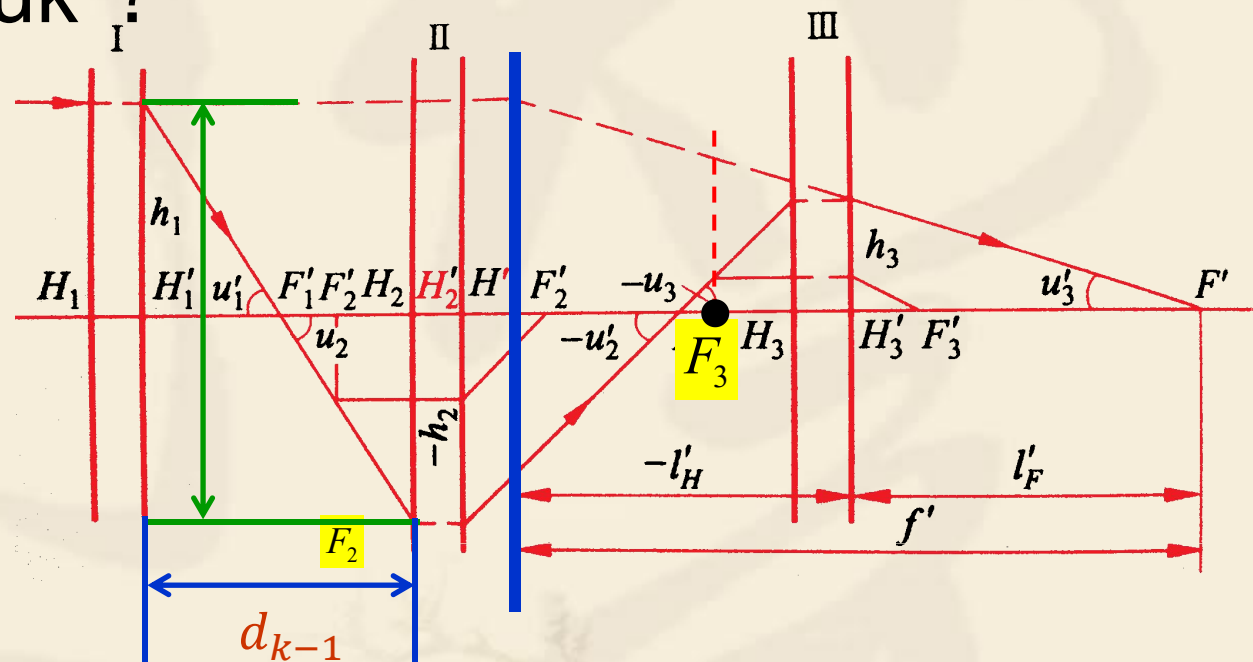
❖ 1、正切计算法



$$l_F' = \frac{h_k}{\tan u_k'} \quad f' = \frac{h_1}{\tan u_k'}$$

❖ 求出 h_k 和 u_k'

❖ 如何求出 h_k 和 u_k' ?



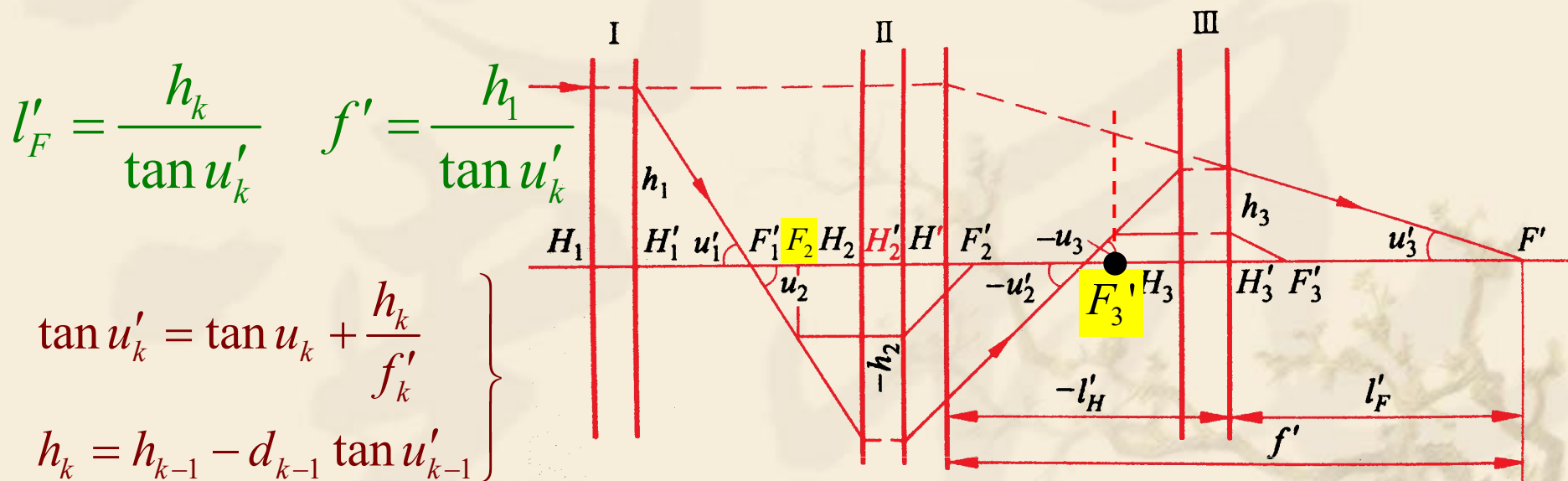
$$\left. \begin{aligned} \tan u_k' &= \tan u_k + \frac{h_k}{f_k'} \\ h_k &= h_{k-1} - d_{k-1} \tan u_{k-1}' \end{aligned} \right\}$$

❖ 为计算方便，
❖ 通常取初始值

$$u_1 = 0, h_1 = f_1'$$

例题

❖ 例 位于空气中的三个理想光组，其参数分别为 $f_1' = 100\text{mm}$, $d_1 = 10\text{mm}$, $f_2' = -50\text{mm}$, $d_2 = 20\text{mm}$, $f_3' = 50\text{mm}$ 。求组合系统的像方焦距和像方基点位置。



§ 2.5 球面与球面系统的基点和基面

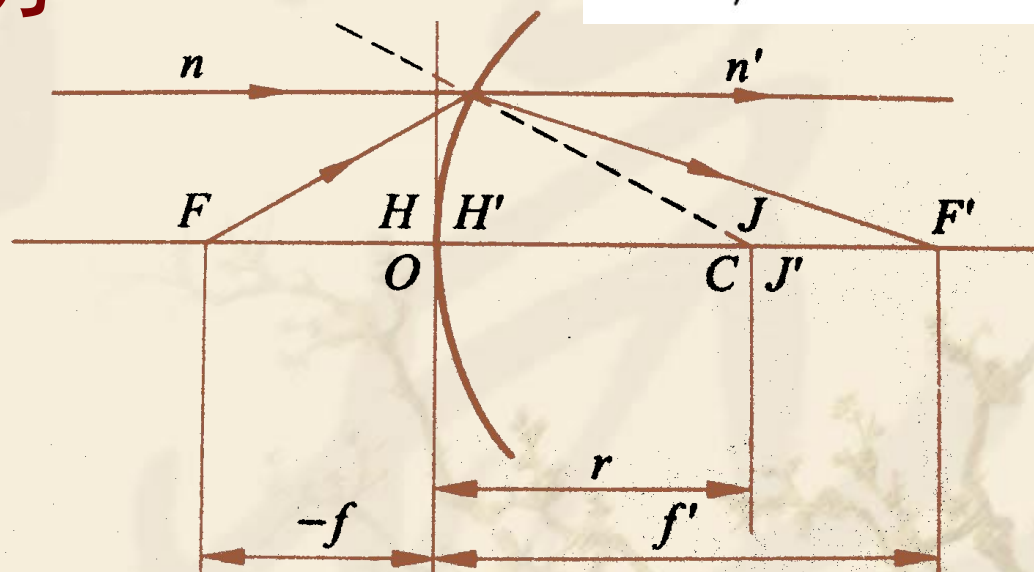
一、单个折射球面的主点

1、物方主点H，像方主点H'和球面顶点O相重合，而且物方和像方主平面切于球面顶点O。

$$\beta = \frac{nl'_H}{n'l_H} = 1$$

$$n'l_H - nl'_H = \frac{n' - n}{r} l_H l'_H$$

$$\frac{n' - n}{r} l_H l'_H = 0$$



单个折射球面的基点与基面

$$f_1 = -\frac{r_1}{n-1}, \quad f'_1 = \frac{nr_1}{n-1}$$

$$f_2 = \frac{nr_2}{n-1}, \quad f'_2 = -\frac{r_2}{n-1}$$

二、单透镜的基点与基面

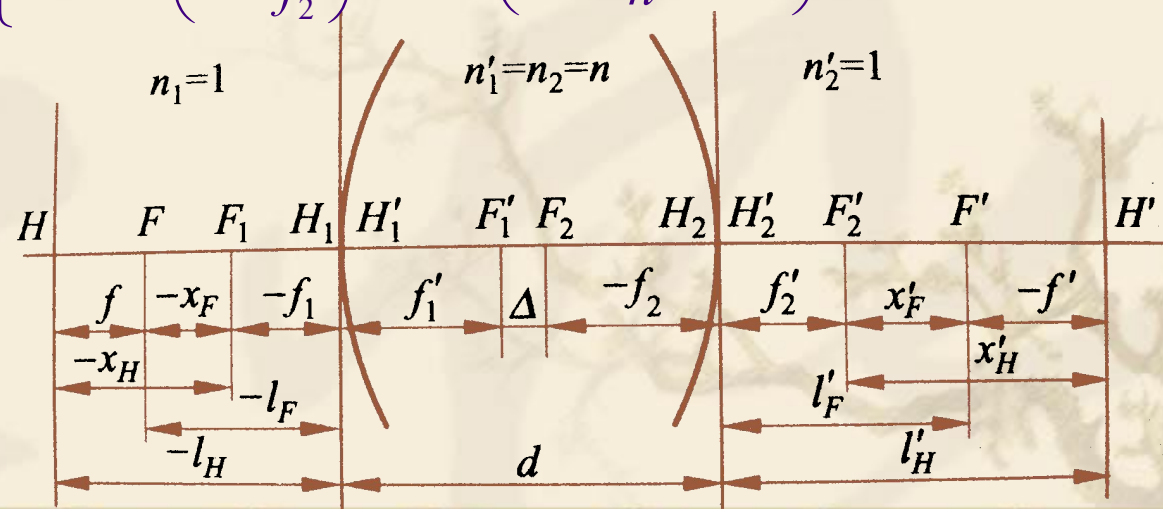
1、透镜的焦距: $f' = -f = -\frac{f'_1 f'_2}{\Delta} = \frac{nr_1 r_2}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + (n-1)d]}$

2、光焦度: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 - \frac{d}{n} \varphi_1 \varphi_2$

3、焦点位置:
$$\begin{cases} l'_F = f' \left(1 - \frac{d}{f'_1} \right) = f' \left(1 - \frac{n-1}{n} d \rho_1 \right) \\ l_F = f' \left(1 + \frac{d}{f_2} \right) = -f' \left(1 + \frac{n-1}{n} d \rho_2 \right) \end{cases}$$

4、主点位置:

$$\begin{cases} l'_H = \frac{-dr_2}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \\ l_H = \frac{-dr_1}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \end{cases}$$



各种透镜的基点位置具体分析

$$f' = -f = -\frac{f_1' f_2'}{\Delta} = \frac{nr_1 r_2}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + (n-1)d]}$$

$$\begin{cases} l_H' = \frac{-dr_2}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \\ l_H = \frac{-dr_1}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \end{cases}$$

❖ 双凸透镜

当 $d < n(r_1 - r_2)/(n-1)$ 时, $f' > 0$

透镜是会聚的,

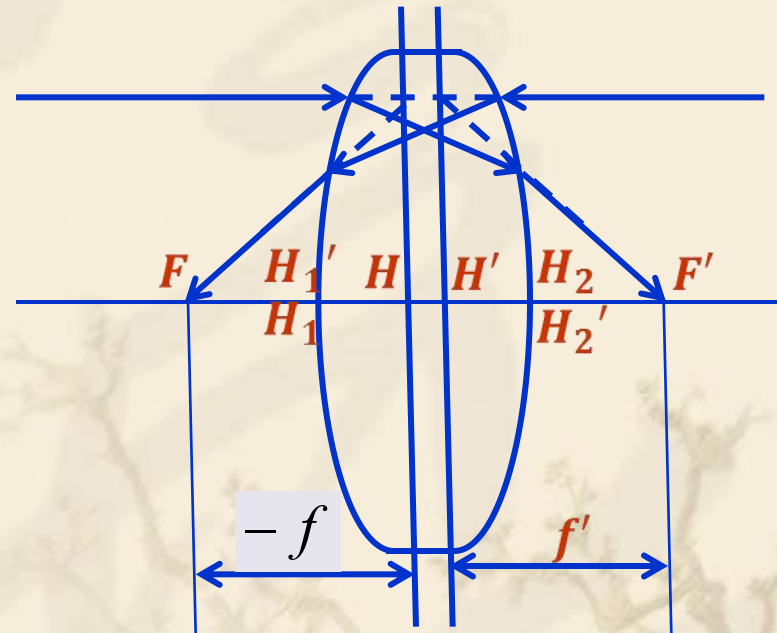
两主平面总位于透镜内部;

当 $d = n(r_1 - r_2)/(n-1)$ 时, $f' = \infty$,

相当于一个望远镜系统;

当 $d > n(r_1 - r_2)/(n-1)$ 时, $f' < 0$,

透镜是发散的。非常厚, 一般不采用这种结构



各种透镜的基点位置具体分析

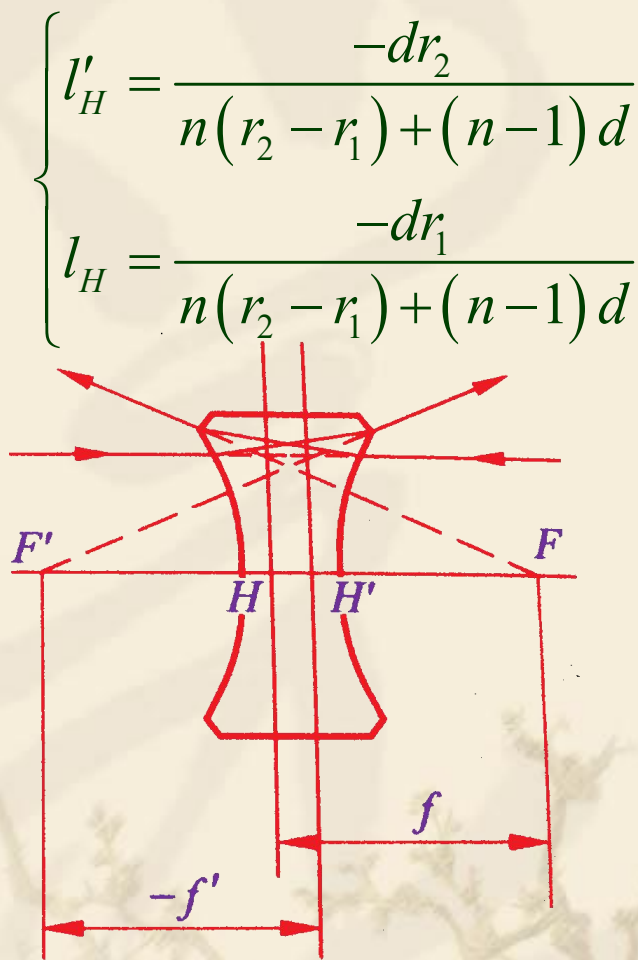
$$f' = -f = -\frac{f_1' f_2'}{\Delta} = \frac{nr_1 r_2}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + (n-1)d]}$$

❖ 双凹镜

不管 r_1 , r_2 , d 为何值, 恒有 $f' < 0$, 透镜是发散的。

两主平面也总位于透镜内部

如右图所示



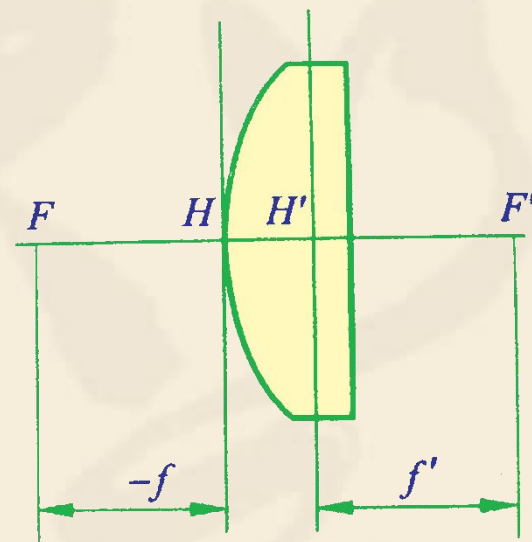
双凹镜

❖ 平凸透镜

由于 $r_1 > 0$, $r_2 = \infty$, 所以:

$$f' = -f = \frac{r_1}{n-1} > 0$$

$$l'_H = -\frac{d}{n}, l_H = 0$$



平凸透镜

$$f' = -f = -\frac{f'_1 f'_2}{\Delta} = \frac{n r_1 r_2}{(n-1) [n(r_2 - r_1) + (n-1)d]}$$

$$\begin{cases} l'_H = \frac{-dr_2}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \\ l_H = \frac{-dr_1}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \end{cases}$$

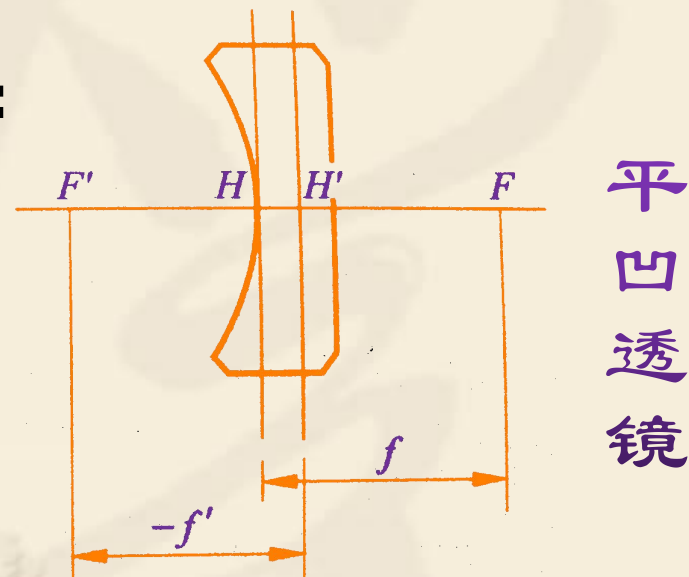
❖ 平凹透镜

由于有： $r_1 < 0$, $r_2 = \infty$, 所以：

$$f' = \frac{r_1}{n-1}$$

$$l'_H = -\frac{d}{n}, l_H = 0$$

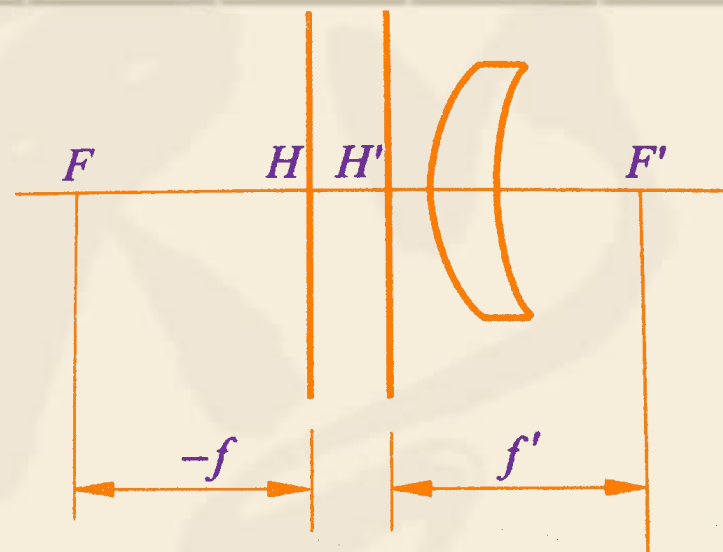
$$f' = -f = -\frac{f'_1 f'_2}{\Delta} = \frac{nr_1 r_2}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + (n-1)d]}$$



$$\begin{cases} l'_H = \frac{-dr_2}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \\ l_H = \frac{-dr_1}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \end{cases}$$

❖ 弯月形凸透镜

恒有 $f' > 0$ ，两个主平面位于远离曲率中心处，如右图所示。



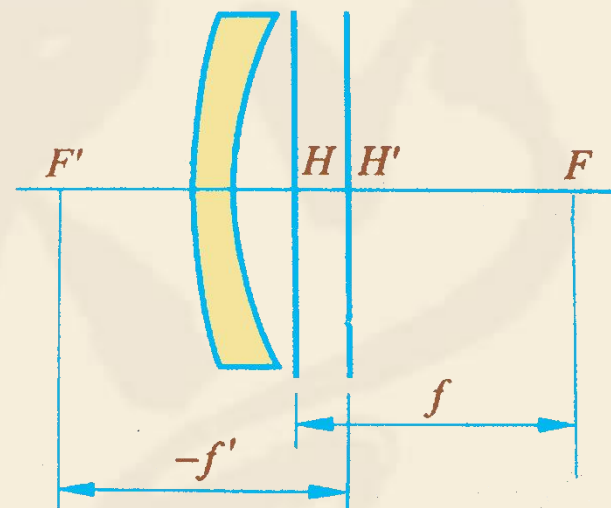
弯月形凸透镜

$$f' = -f = -\frac{f_1' f_2'}{\Delta} = \frac{n r_1 r_2}{(n-1) [n(r_2 - r_1) + (n-1)d]}$$

$$\begin{cases} l_H' = \frac{-dr_2}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \\ l_H = \frac{-dr_1}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \end{cases}$$

❖ 弯月形凹透镜

它与双凸透镜相似。其如右图所示，两半径值差别较小时，能获得给定正光焦度。



弯月形凹透镜

$$f' = -f = -\frac{f'_1 f'_2}{\Delta} = \frac{n r_1 r_2}{(n-1) [n(r_2 - r_1) + (n-1)d]}$$

$$\begin{cases} l'_H = \frac{-dr_2}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \\ l_H = \frac{-dr_1}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \end{cases}$$

$$f' = -f = -\frac{f'_1 f'_2}{\Delta} = \frac{nr_1 r_2}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + (n-1)d]}$$

$$\begin{cases} l'_H = \frac{-dr_2}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \\ l_H = \frac{-dr_1}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \end{cases}$$

作业：
P78的2-11题

三、薄透镜和薄透镜组

1、薄透镜（透镜厚度为零的透镜称为薄透镜）

(1) 主平面和球面顶点重合

$$l'_H = l_H = 0$$

(2) 焦距：

$$f' = -f = \frac{1}{\varphi} = \frac{1}{(n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)}$$

(3) 光焦度：

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 - \frac{d}{n} \varphi_1 \varphi_2$$

2、薄透镜组

(1) 光焦度：

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 - \cancel{d \varphi_1 \varphi_2}$$

透镜间距

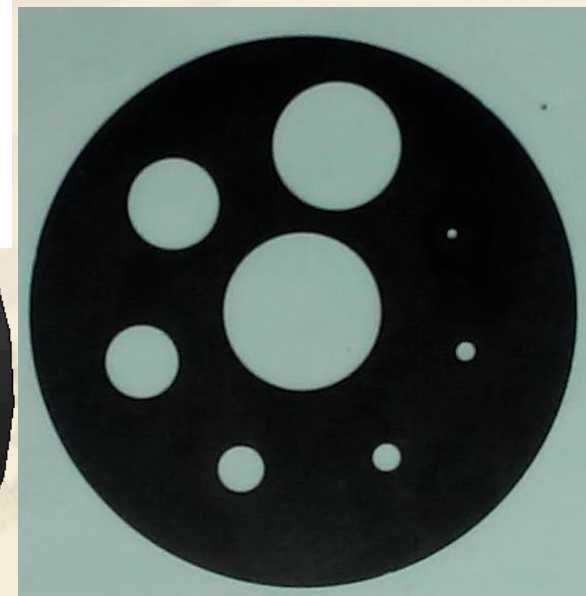
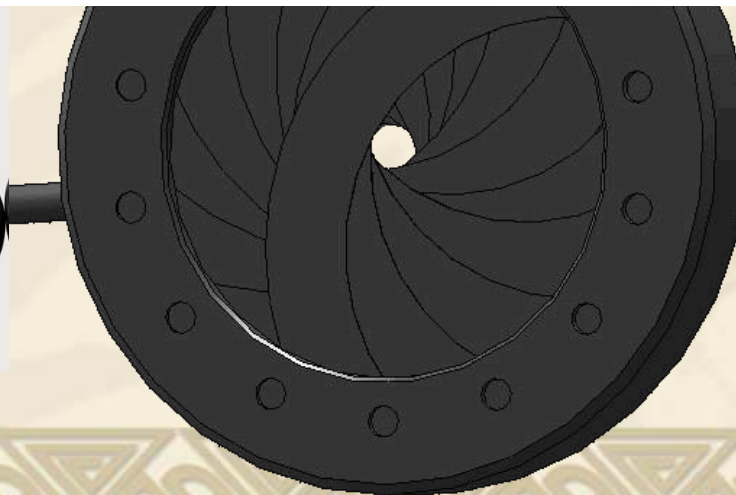
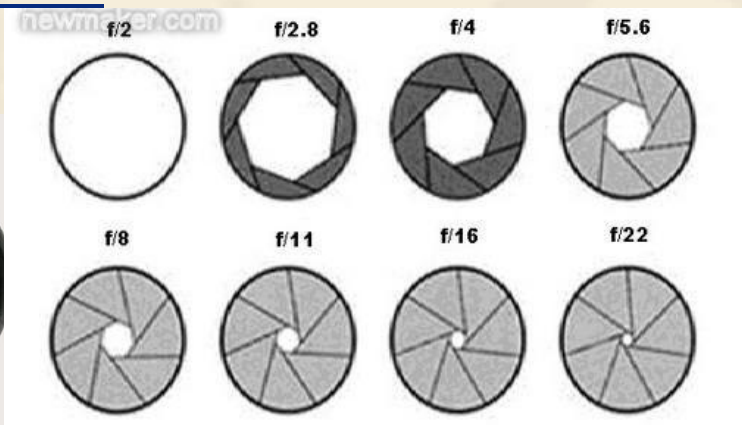
(2) 主点位置：

$$l'_H = -f' \frac{d}{f_1} \quad l_H = f \frac{d}{f_2}$$

§ 2.7 光学系统中的光束限制

光阑：光学系统中用来限制光束的透镜边框（系统内所有元器件的边界），或者特别设计的一些带孔的金属薄片。

光阑的内孔边缘就是限制光束的光孔。



§ 2.7 光学系统中的光束限制

一、光阑及其作用

所有光学系统必有

1、孔径光阑（孔阑）：它是限制轴上物体成像光束立体角的光阑。（决定了入射的孔径角）

2、视场光阑（视阑）：它是限制物平面上或物空间中最大成像范围的光阑。二者必有一

3、渐晕光阑：以减小轴外像差为目的。

4、消杂光光阑：限制那些从视场外射入系统的光。
通常都有，形式多样

§ 2.7 光学系统中的光束限制

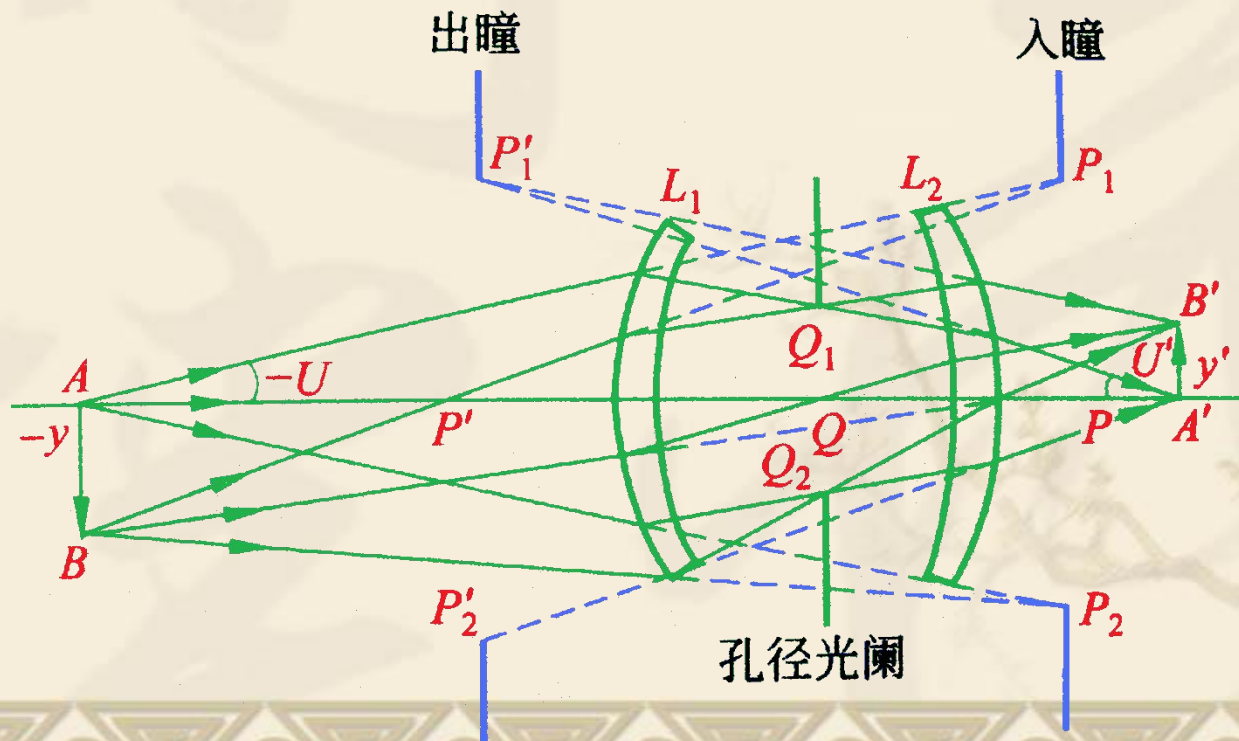
更好理解的定义：入射光瞳和出射光瞳

孔径光阑通过它前面系统所成的像称为入射光瞳；

孔径光阑通过它后面系统所成的像称为出射光瞳。

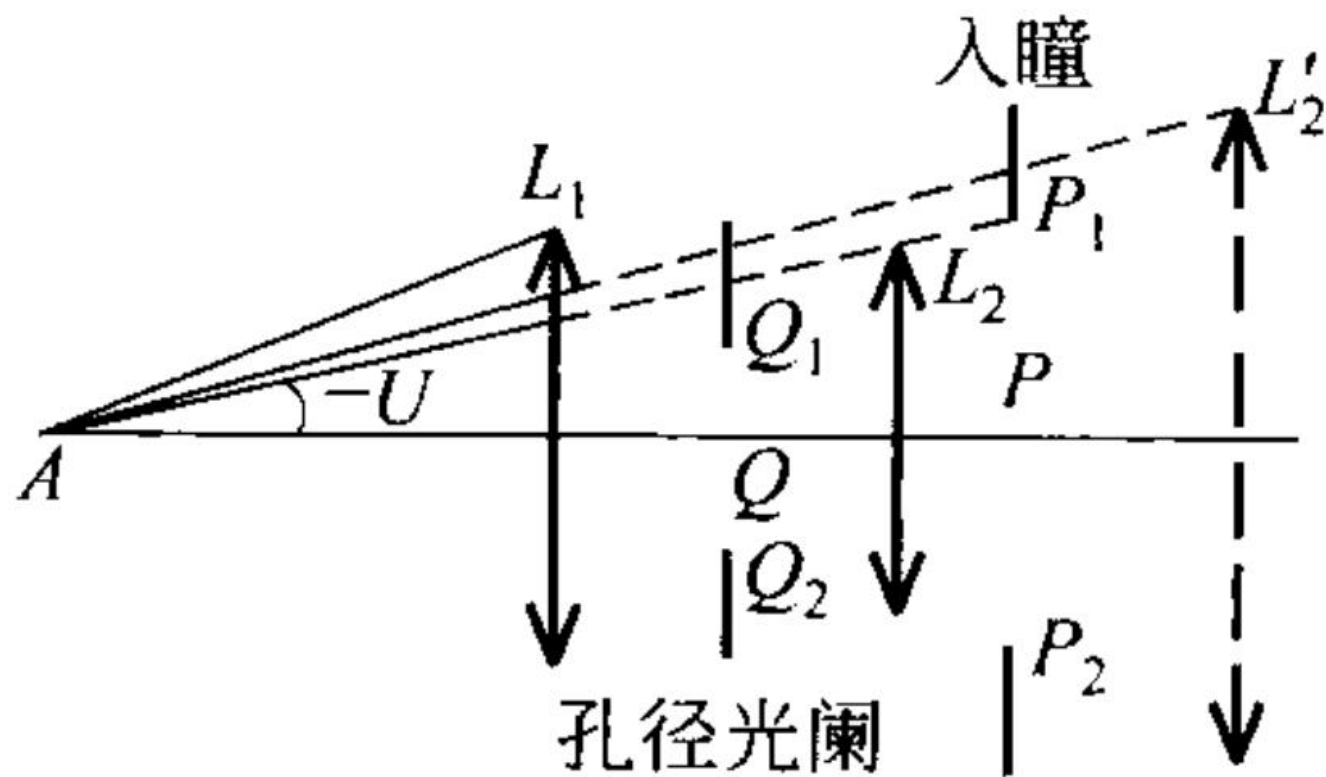
孔径光阑在物空间所成的像称为入射光瞳。

孔径光阑在像空间所成的像称为出射光瞳。

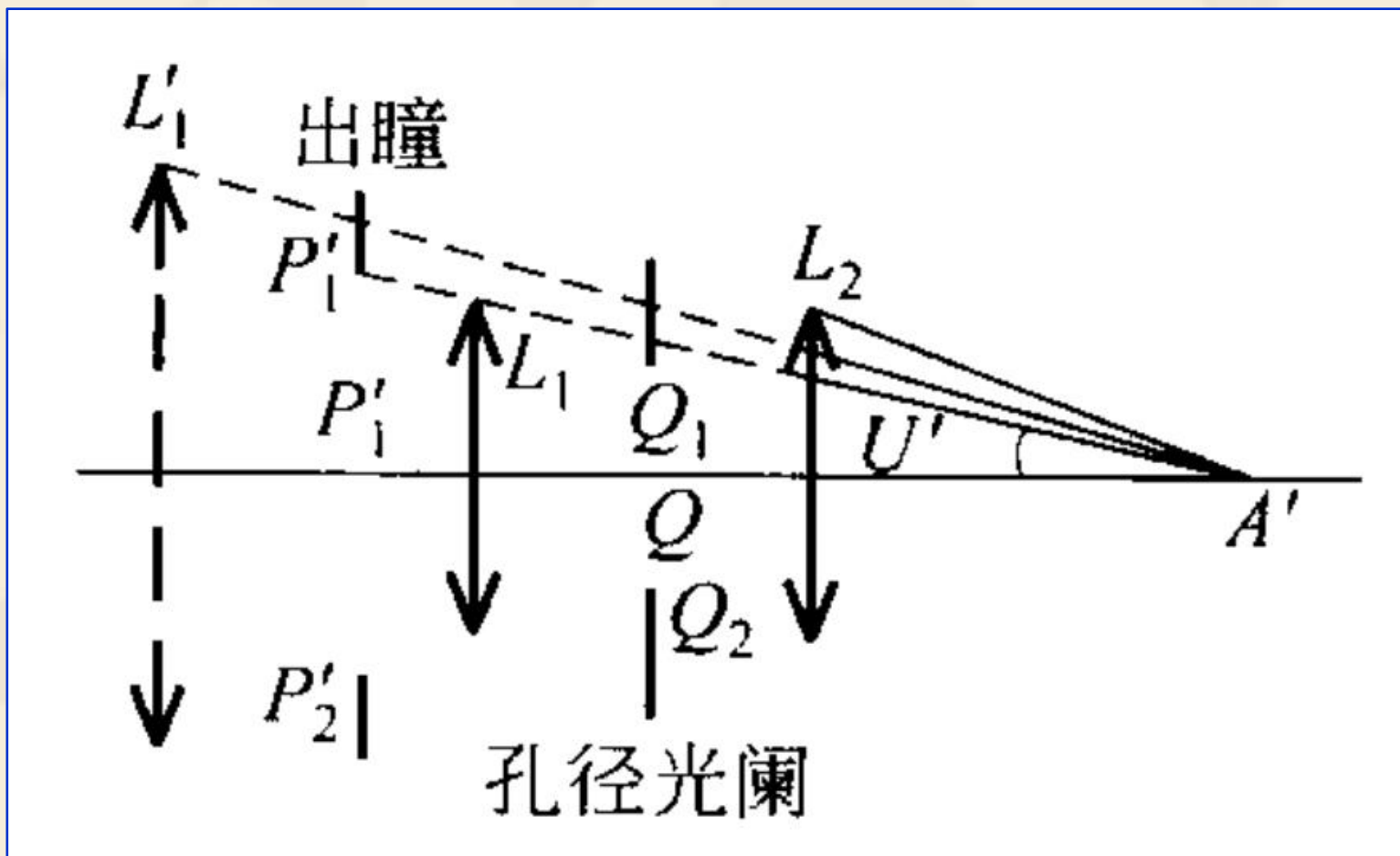


三
阑
系
统

入瞳



出瞳

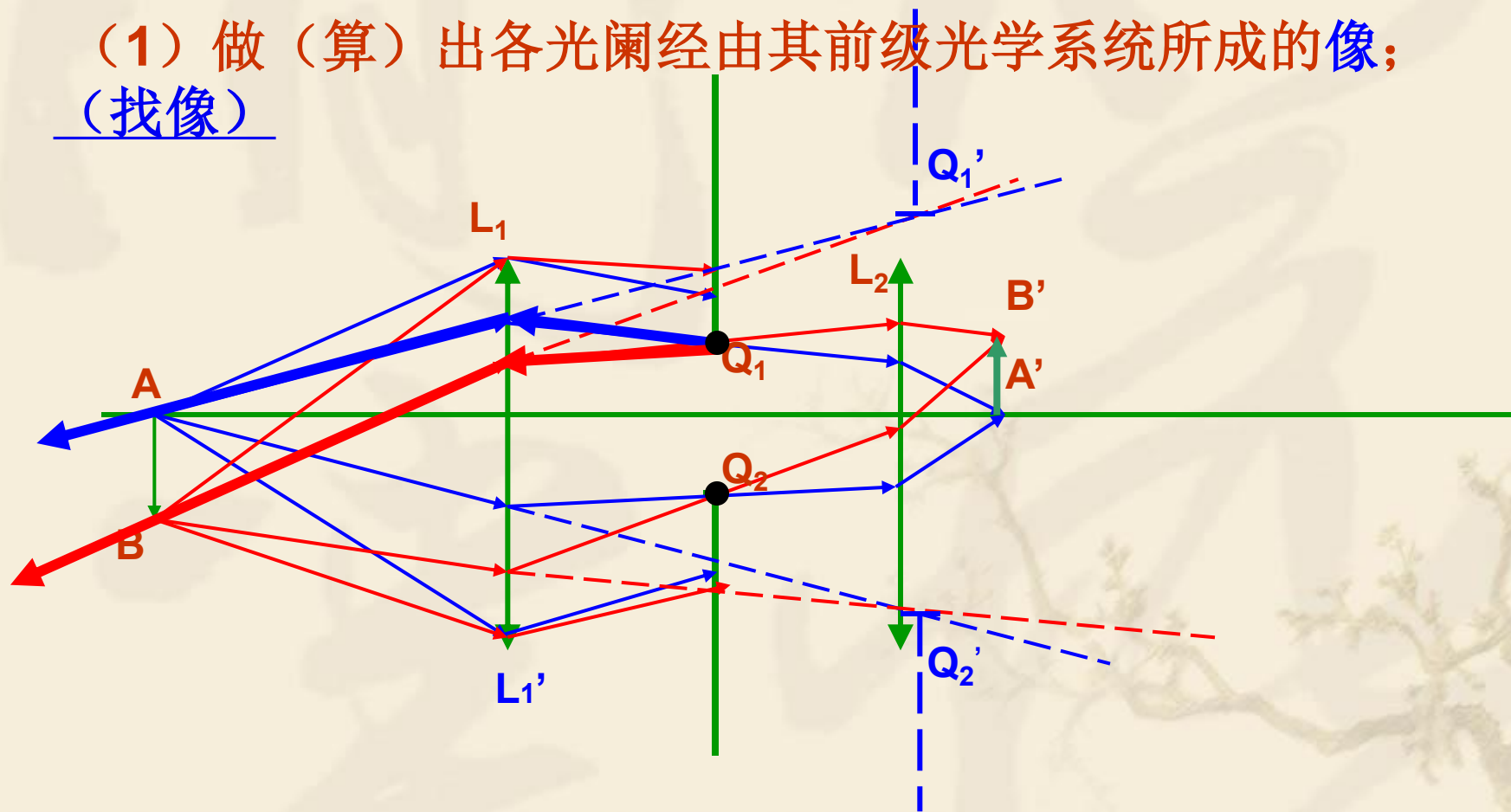


§ 2.7 光学系统中的光束限制

确定入（出）瞳的方法步骤：

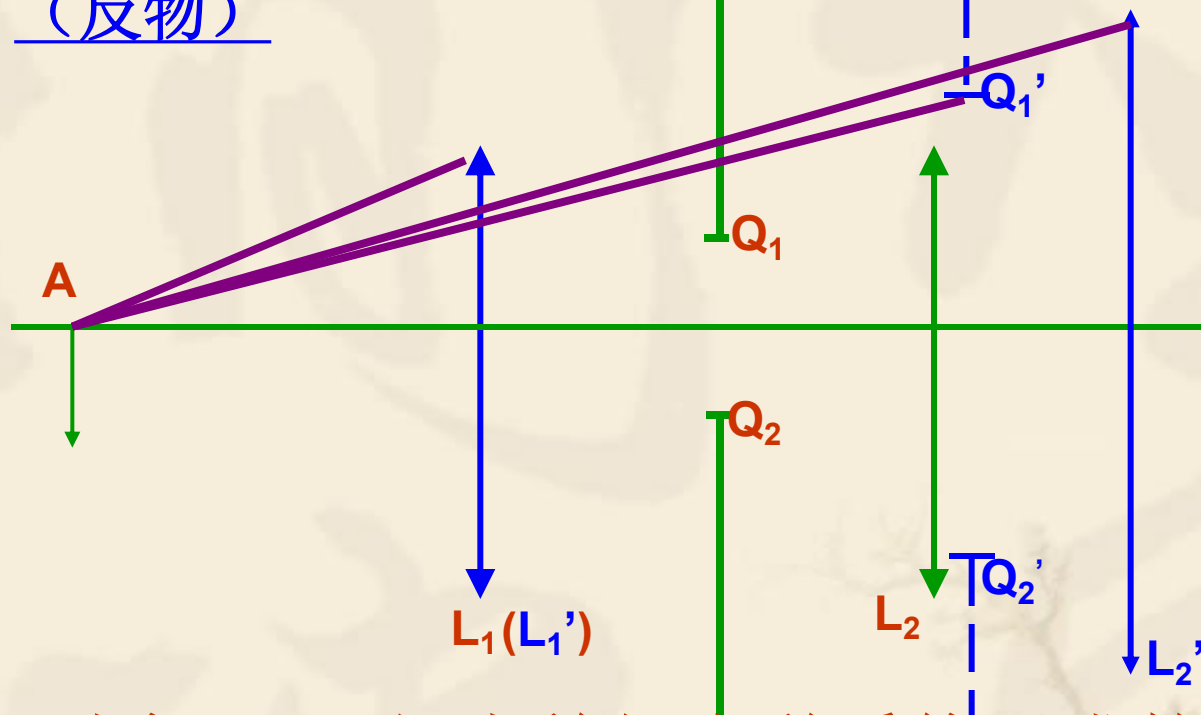
1. 找出哪一个光阑是孔径光阑：轴上物点对各光阑经由其前级光学系统所成像的张角最小的那个光阑

(1) 做（算）出各光阑经由其前级光学系统所成的像；
(找像)



(2) 做出轴上物点对各像的张角； (连像比角)

(3) 张角最小的像对应的物（光阑）即为孔径光阑；
(反物)



(出瞳方法同理，只是求后级光学系统形成的像)

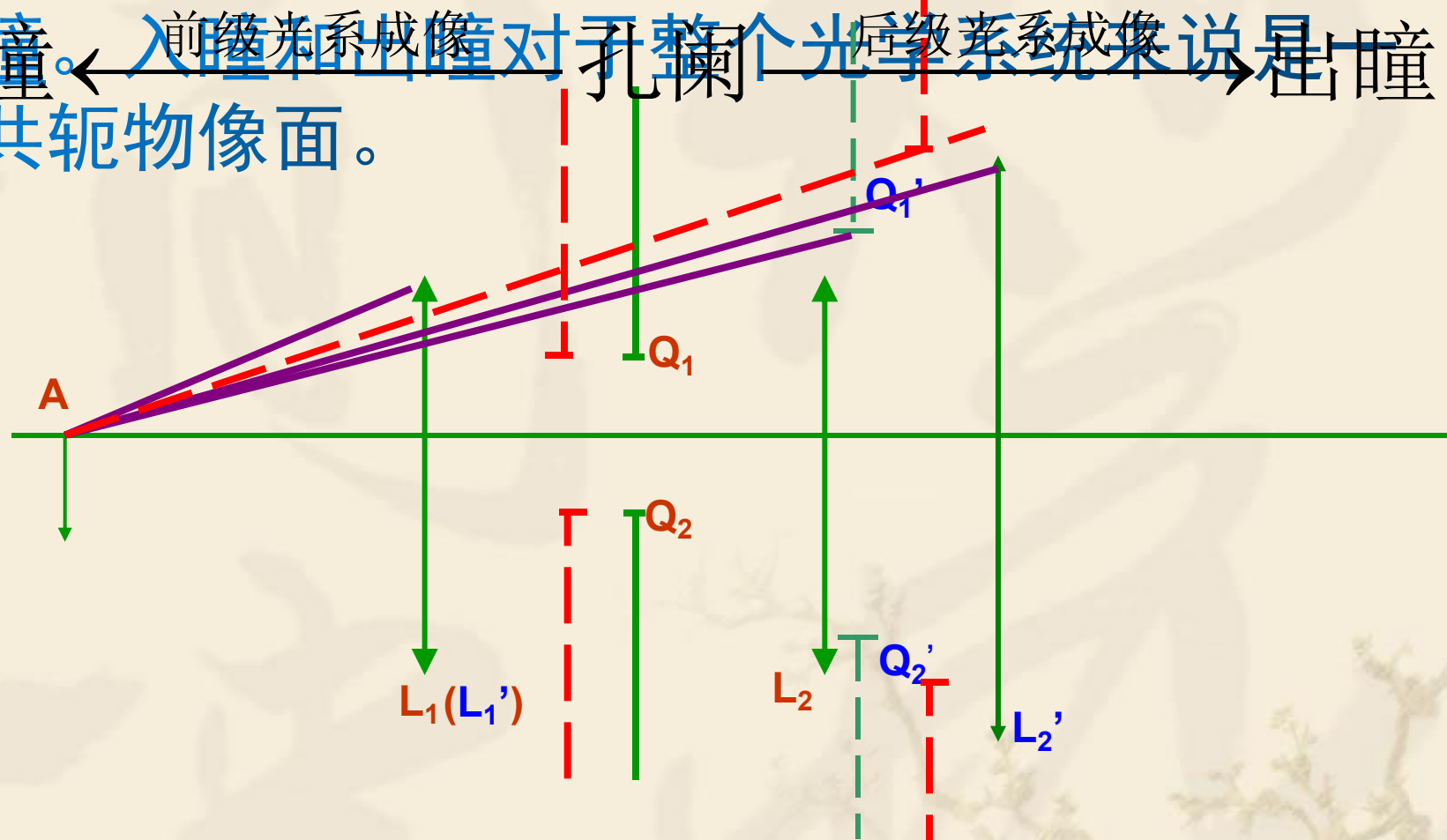
光阑 Q_1Q_2 经由前级光学系统形成的像 $Q_1'Q_2'$ 对物点 A 的张角最小,所以, 光阑 Q_1Q_2 为孔径光阑

2. 找出入瞳：光阑 Q_1Q_2 经由前级光学系统形成的像 $Q_1'Q_2'$ 为入瞳



§ 2.7 光学系统中的光束限制——孔阑、入（出）瞳

入射光瞳通过整个光学系统所成的像就是出射光瞳。
入瞳和出瞳对于整个光学系统来说是共轭物像面。



光学系统中的孔阑只是对一定的物体或光阑位置而言，如果物体或光阑位置发生变化，原来的孔阑就失去意义（即另一个光阑可能变为系统的孔阑）。

例题

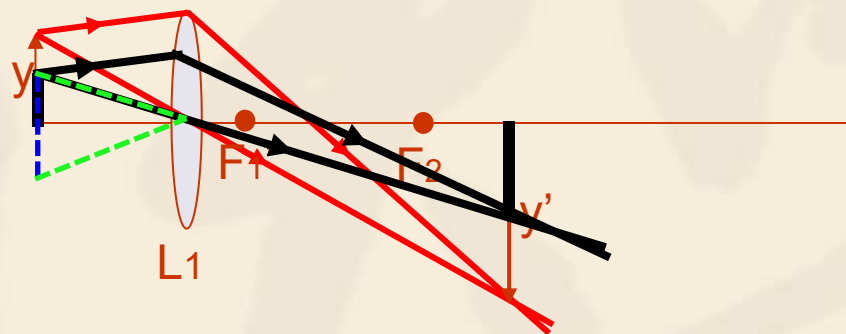
作业：
P78的2-16题

若有一焦距为 20 mm ，口径 $D_1 = 30\text{ mm}$ 的正透镜 L_1 ，其前 30 mm 处有一物点 A ，透镜后 30 mm 处放置一口径为 $D_2 = 20\text{ mm}$ 的通光孔，试求出此光学系统的入瞳位置及入瞳大小；若通光孔位置往前挪动 15 mm ，此系统的入瞳又如何变化？

- (1) 做（算）出各光阑经由其前级光学系统所成的像； （找像）
- (2) 做出轴上物点对各像的张角； （连像比角）
- (3) 张角最小的像对应的物（光阑）即为孔径光阑； （反物）

入瞳 $\xleftarrow{\text{前级光系成像}}$ 孔阑 $\xrightarrow{\text{后级光系成像}}$ 出瞳

三、视场光阑



- 1、系统中决定物平面上或物空间中成像范围的光阑，称为视场光阑。
- 2、如果系统有接收面，则接收面的大小直接决定了物平面上有多大的成像范围，视场光阑所决定的视场有清晰的视场边界。
- 3、由视场光阑限制的视场可以由长度来量度（线视场），也可以用角度来量度（视场角）。

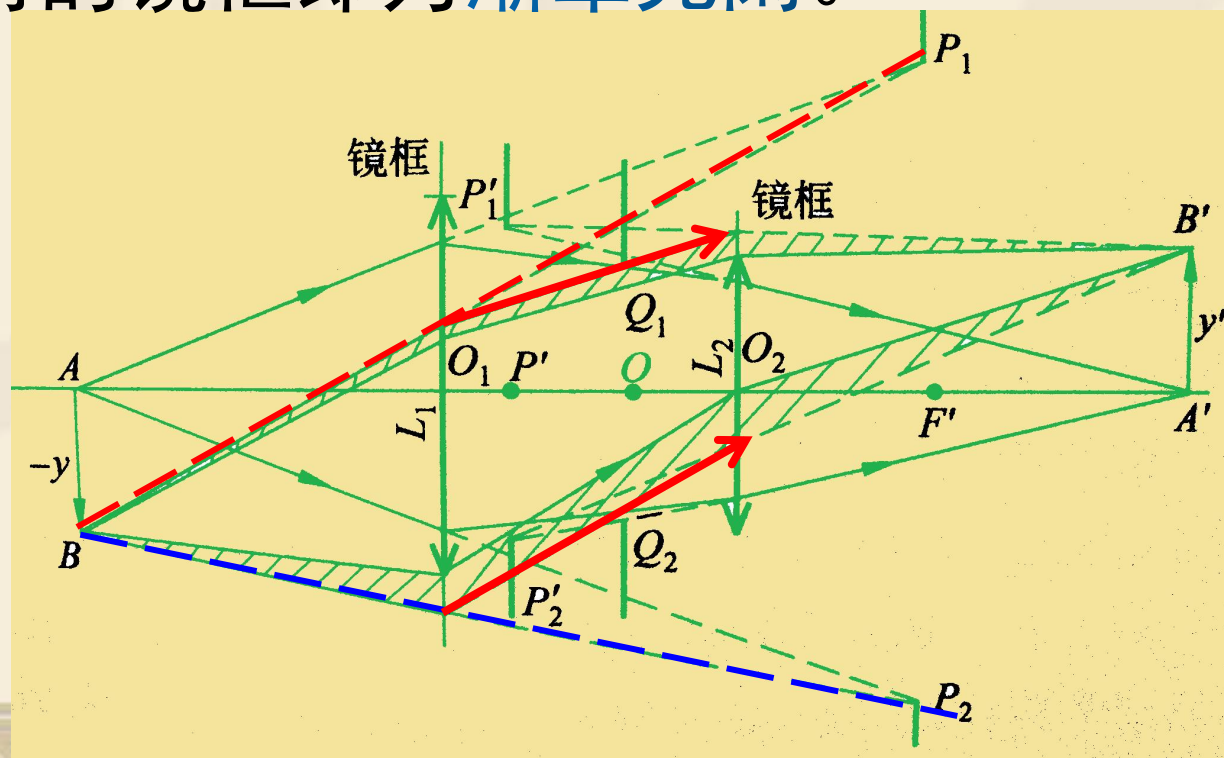
几个概念

- ❖ 主光线：通过入瞳中心的光线。
- ❖ 物方视场角：物方视场上下边缘对入瞳中心的张角，或者物方视场上下边缘主光线的夹角
- ❖ 像方视场角：像方视场上下边缘对出瞳中心的张角，或者像方视场上下边缘主光线的夹角

§ 2.7 光学系统中的光束限制

四、渐晕光阑、入射窗和出射窗

- ❖ 问题的来由：系统中没有实像面，也没有中间实像面，此时不存在视场光阑。
- ❖ 轴外点光束被镜框部分拦掉，称为渐晕。
- ❖ 此时的镜框即为渐晕光阑。



渐晕光阑

§ 2.7 光学系统中的光束限制

- ❖ 渐晕光阑通过它前面的光学系统在整个光学系统的物空间的所成像称为入（射）窗。
- ❖ 通过后面的光学系统的像空间所成的像称为出（射）窗。
- ❖ 入窗和出窗对整个系统共轭。
- ❖ 渐晕的形成过程（下图所示）



渐晕光阑在物空间的像

入瞳

像面照度下降, 视场无清晰边界

A

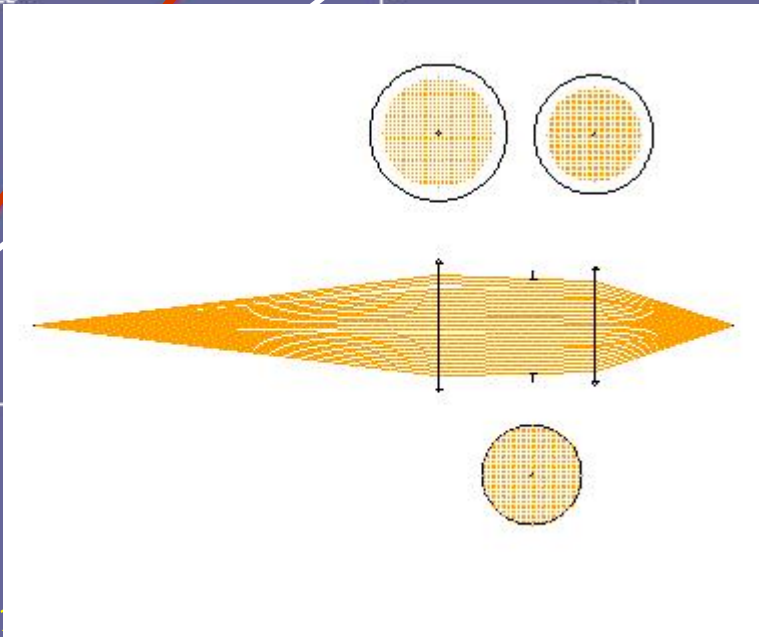
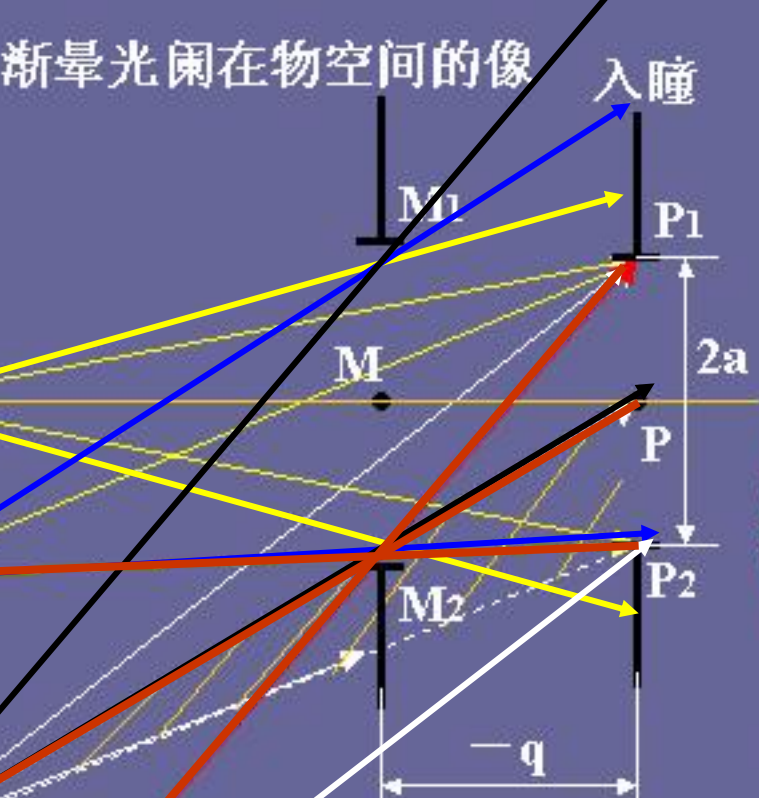
B1

B2

B3

物平面

物平面上各
充满入瞳的

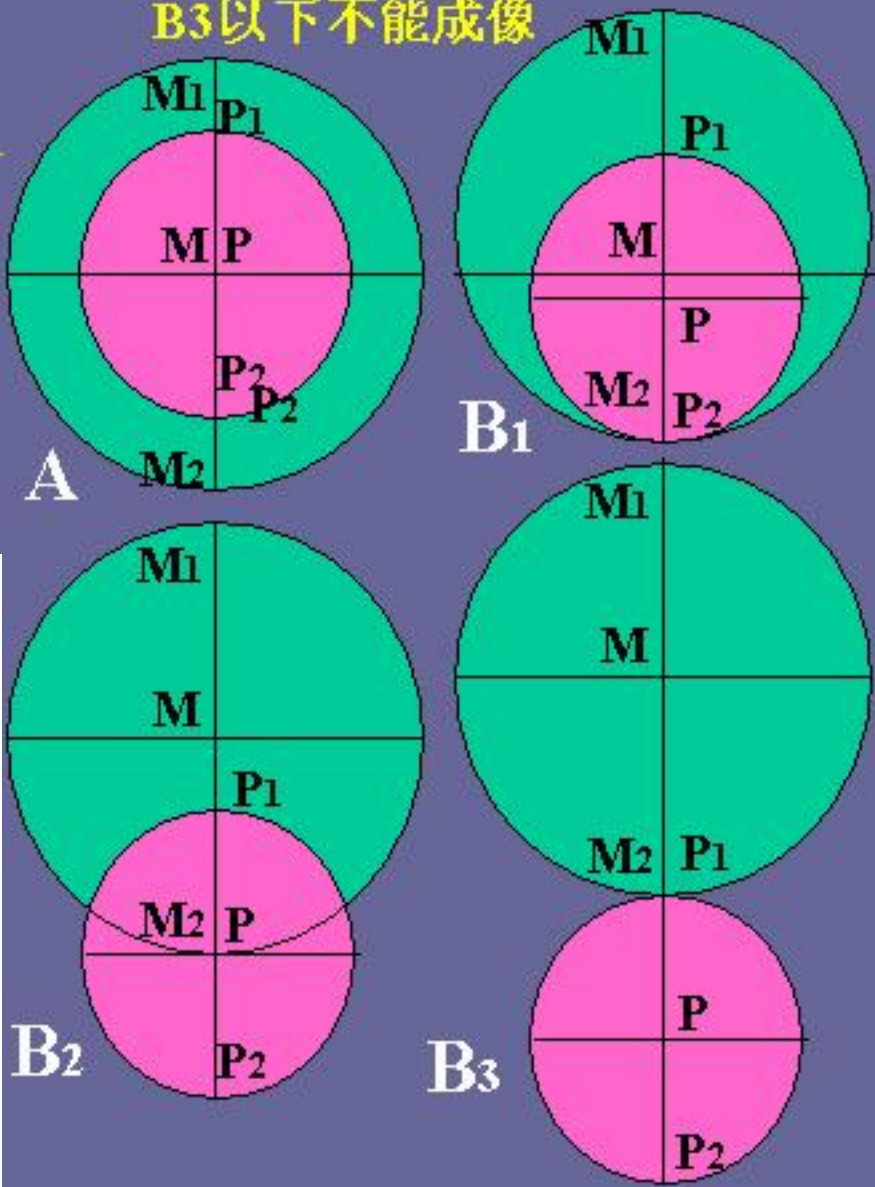


B1发出的光束都不被拦

B2发出的光束主光线以下被拦

B3发出的只有一条光线通过

B3以下不能成像



§ 2.7 光学系统中的光束限制

五、消杂光光阑

遮光罩实物

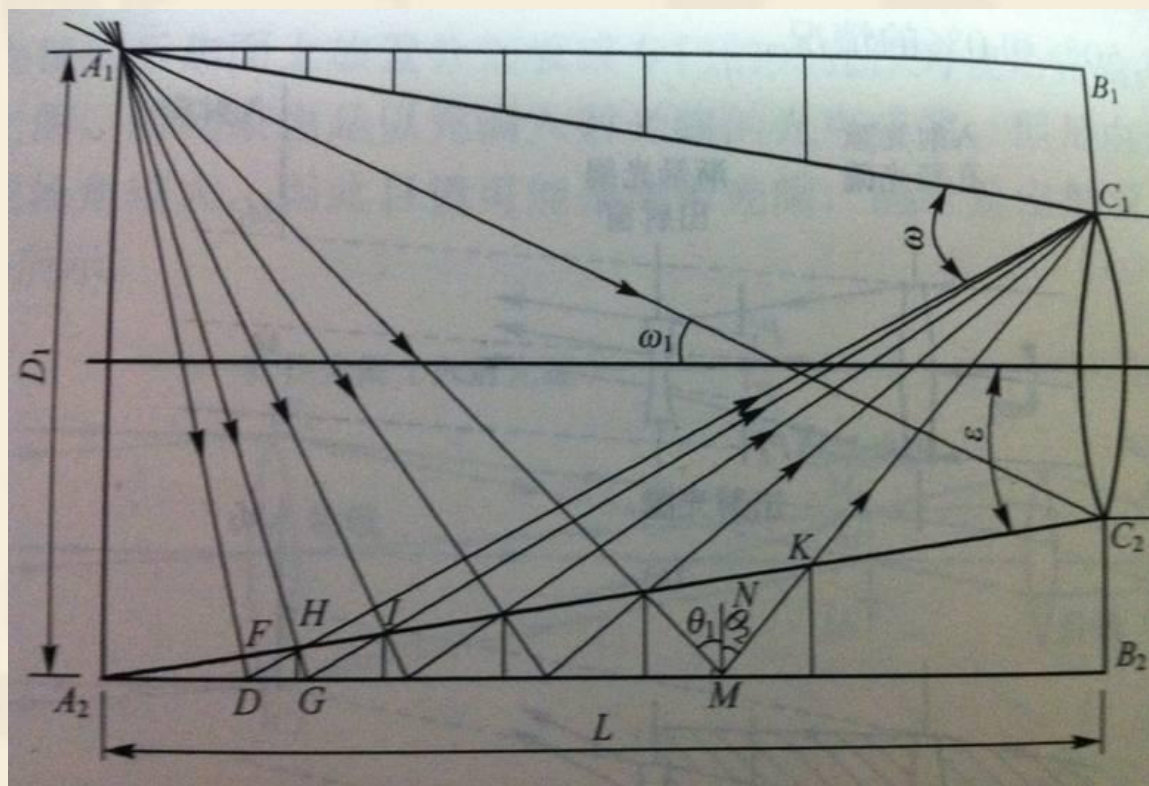


www.fuji.com.tw

§ 2.7 光学系统中的光束限制

五、消杂光光阑

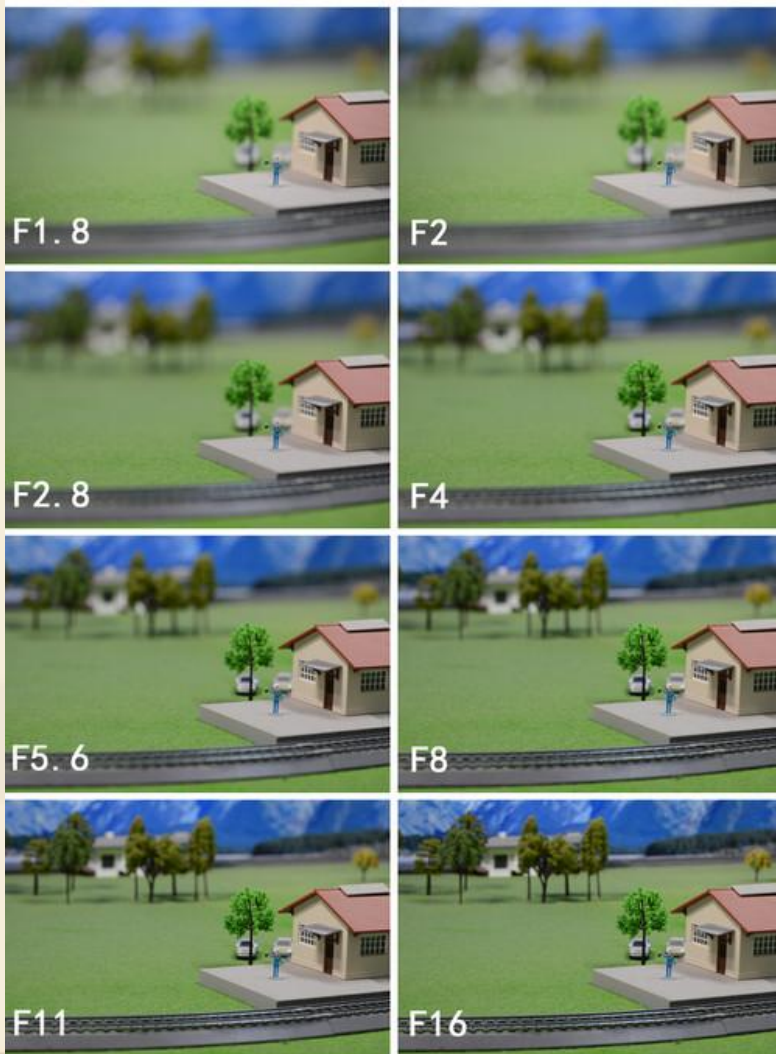
遮光罩设计原理图：



光学系统的景深

你的数码相机频道 da-168.com

各档光圈景深对比



光学系统的景深



Mamiya 645 Pro TL + A 150/2.8 @ f/2.8, 1/125s, Agfa RSX II

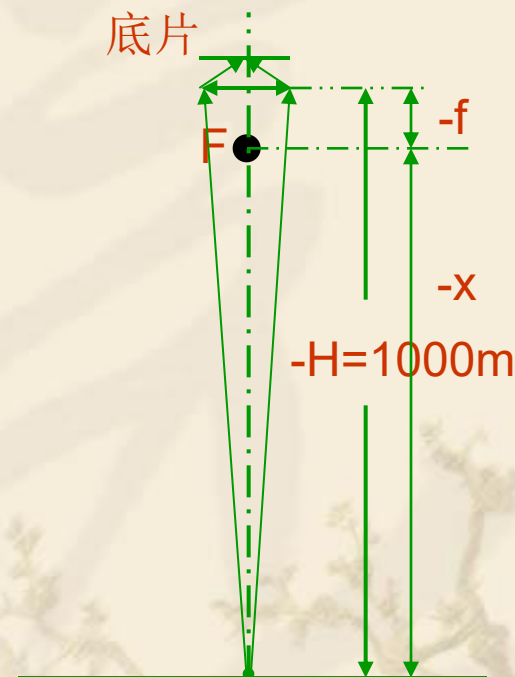


Mamiya 645 Pro TL + A 150/2.8 @ f/22, 1/2s, Agfa RSX I



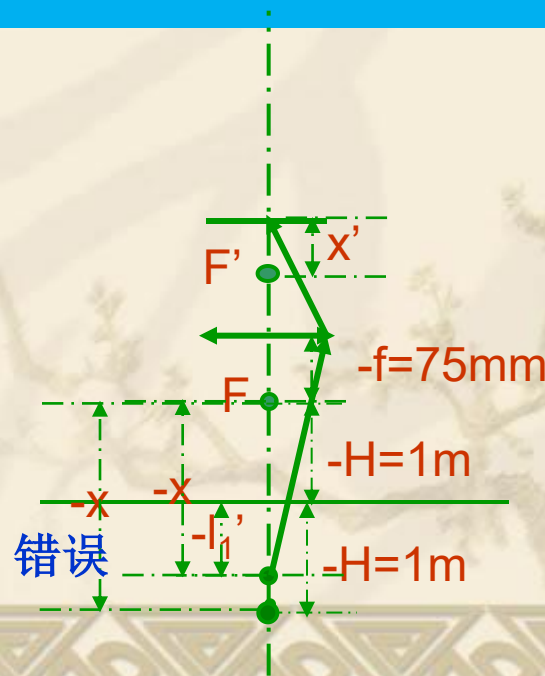
例题

- ❖ 例2-1 航空摄影机在飞行高度 $H=1000\text{m}$ 时，得到像物比例为 $1:5000$ ，且成倒立像，则镜头的焦距应是多大？

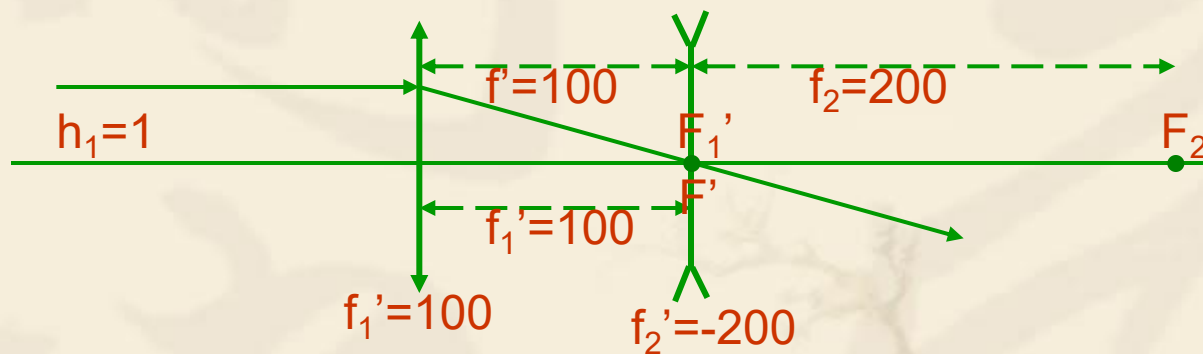


例题

- ❖ 例2-2 离水面1m深处有一条鱼，先用 $f'=75\text{mm}$ 的照相物镜拍摄该鱼，照相物镜的物方焦点离水面1m。试求（1）垂轴放大率为多少？（2）照相底片应离照相物镜像方焦点 F' 多远？



- ❖ 已知由一正薄透镜和一负薄透镜组成的合成光组，焦距分别为 $f_1'=100\text{mm}$, $f_2'=-200\text{mm}$, 入射平行光线在第一透镜主面上的高度为 $h_1=1\text{mm}$, 在第二透镜主面上的高度 $h_2=0$, 求其合成光组的合成焦距等于多少？



- ❖ 一薄透镜 $f_1'=100\text{mm}$ 和另一薄透镜 $f_2'=50\text{mm}$ 组合，组合焦距为 100mm ，求两透镜的相对位置和组合系统的主点位置。

其他例题

- ❖ 有一理想光学系统位于空气中，其光焦度为 $\varphi = 10D$
当焦物距 $x = -100\text{mm}$ ，物高为 $y = 40\text{mm}$ 时，试求像的位置和大小，以及轴向放大率和角放大率。
- ❖ 位于空气中的两个薄透镜，其参数为
 $f_1' = 90\text{mm}$ ， $f_2' = 60\text{mm}$ ， $d = 50\text{mm}$ ，求组合系统的焦距和基点位置。

其他例题

- ❖ 位于空气中的三个薄透镜，其参数分别为 $f_1' = 100\text{mm}$ ， $d_1 = 10\text{mm}$ ， $f_2' = -50\text{mm}$ ， $d_2 = 20\text{mm}$ ， $f_3' = 50\text{mm}$ 。求组合系统的像方焦距和像方基点位置。