



北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

## 第二章 理想光学系统

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

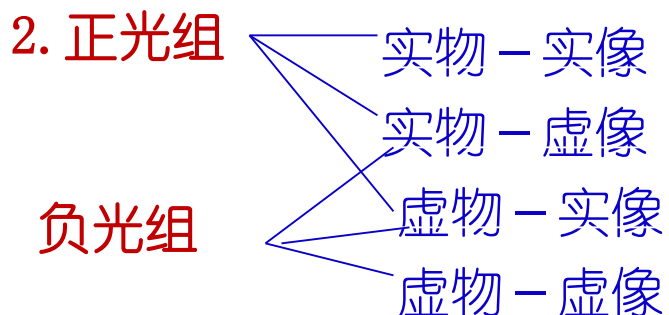
- 理想光学系统与共线成像理论
- 理想光学系统的基点和基面
- 理想光学系统的物像关系
- 理想光学系统的放大率
- 理想光学系统的组合
- 透镜



## 第三节 理想光学系统的物像关系

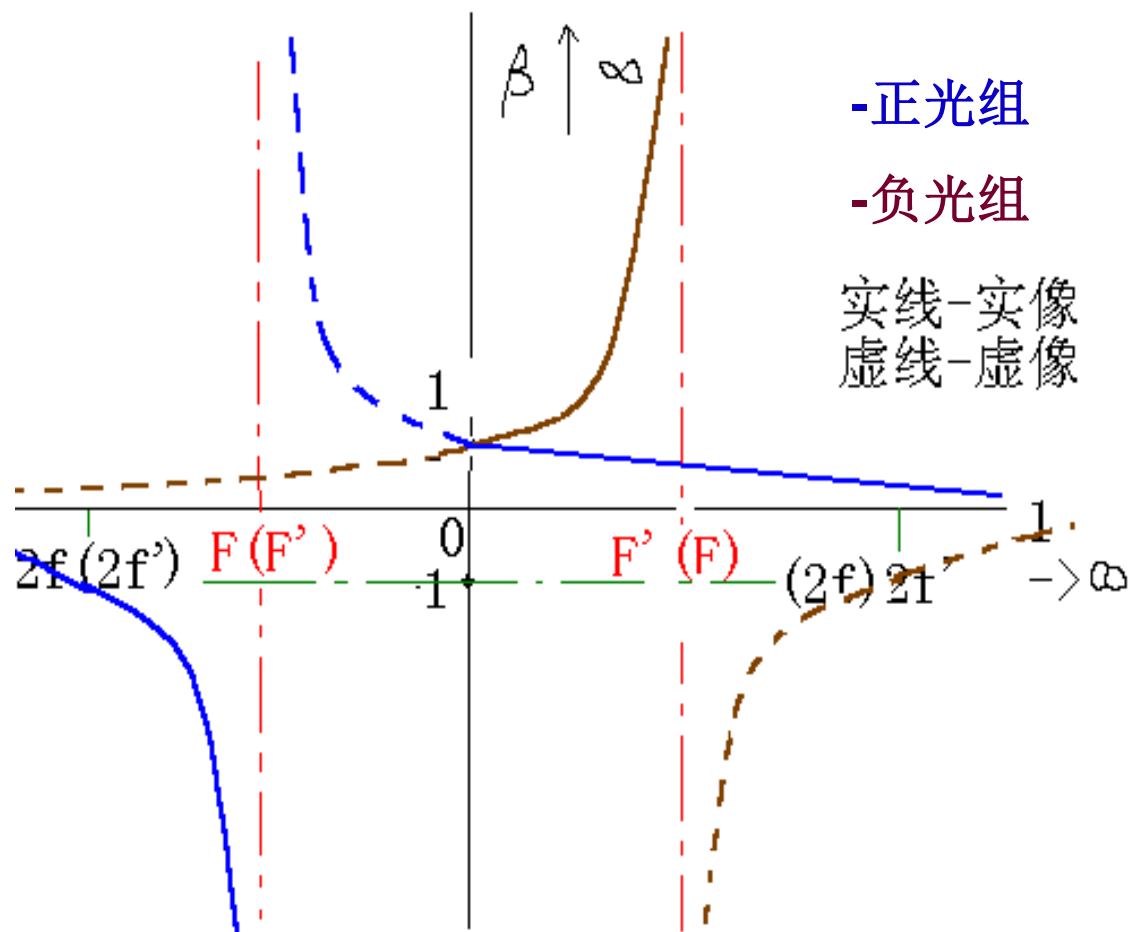
### 一、图解法求像

总结：1. 两条基本光线：平行于光轴（入）出射, 过焦点（入）出射  
一条辅助直线（并非实际存在）利用焦平面性质  
利用主平面性质





## 理想光学系统的放大率特性曲线

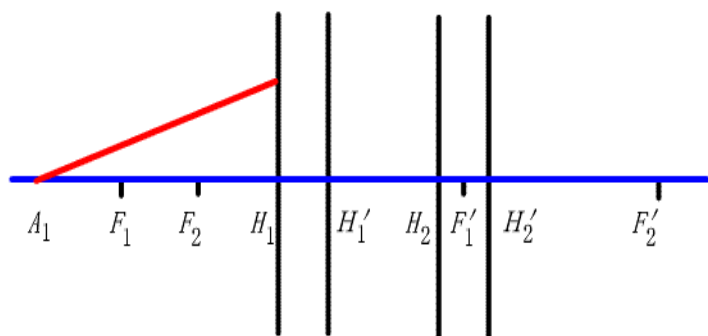




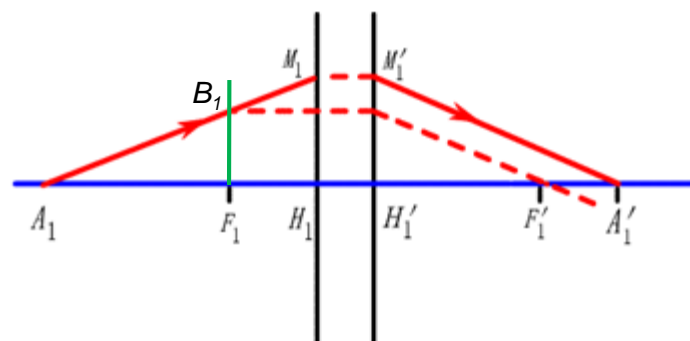
## 第三节 理想光学系统的物像关系

### 一、图解法求像

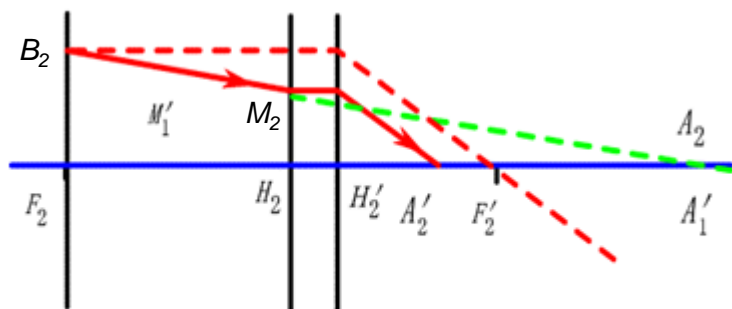
轴上物点，经两个光组成像



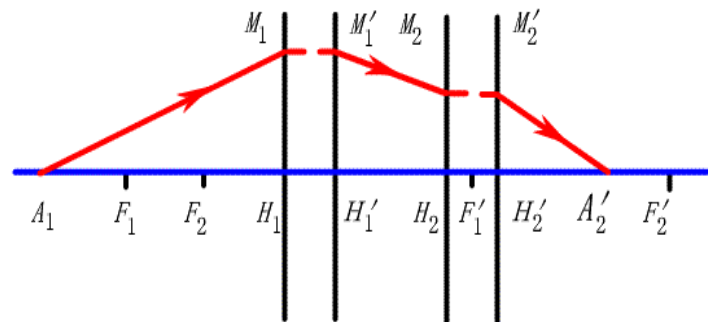
a)



b)



c)



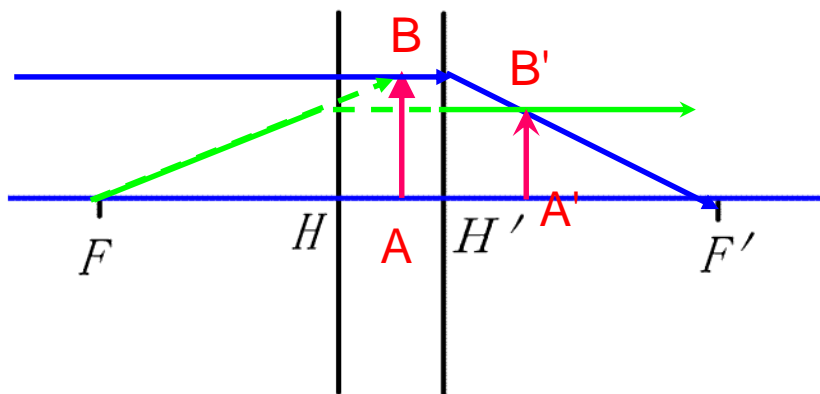
d)



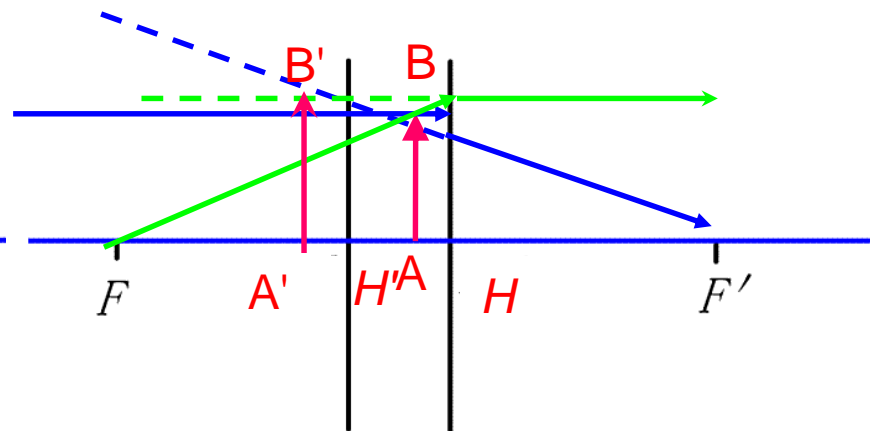
## 第三节 理想光学系统的物像关系

### 一、图解法求像

例：作图法求图中AB的像A'B'



(a)



(b)



### 三、节点、节平面

➤ 节点定义：  $\gamma = +1$  的一对共轭点。用  $J, J'$  表示。

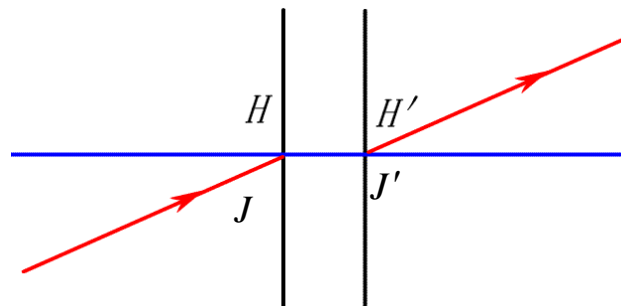
$$\gamma = \frac{u'}{u} = \frac{l}{l'} = \frac{n}{n'} \frac{1}{\beta}$$

★ 物理意义：过节点的入射光线经系统后出射方向不改变。

★ 特例：  $n = n'$

$$\gamma = \frac{1}{\beta}$$

$$\gamma = +1 \Leftrightarrow \beta = +1$$



$n = n'$ : 节点与主点重合  
节平面和主平面重合

$n \neq n'$  节点、节平面位置 ??????

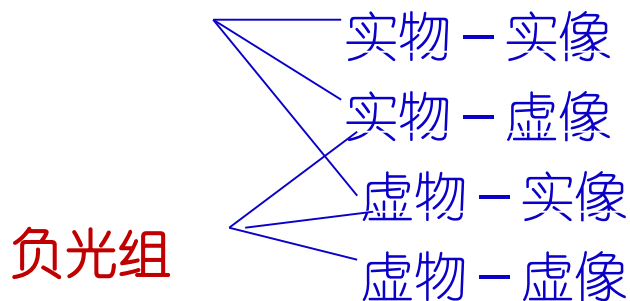


## 第三节 理想光学系统的物像关系

### 一、图解法求像

总结：1. 三条基本光线：平行于光轴（入）出射，过焦点（入）出射  
过节点（入）出射  
一条辅助直线（并非实际存在）利用焦平面性质  
利用主平面性质

#### 2. 正光组







## 一、图解法求像

### 小组讨论：

1. 分组；
2. 领取题目，组内讨论；
3. 小组派出代表讲解，每位代表至多讲解1题；其他小组成员可以补充意见；
4. 其他小组成员质疑；
5. 由其他小组给出对此次讲评的评价。

### 整体评价：

请你们写下：

1. 你最欣赏讲评小组的哪些方面？哪部分的讲解对你触动最深、理解最有帮助？
2. 你给出讲评小组的改进建议有哪些？



## 第三节 理想光学系统的物像关系

### 二、解析法求像

已知：物点坐标

求：像点坐标

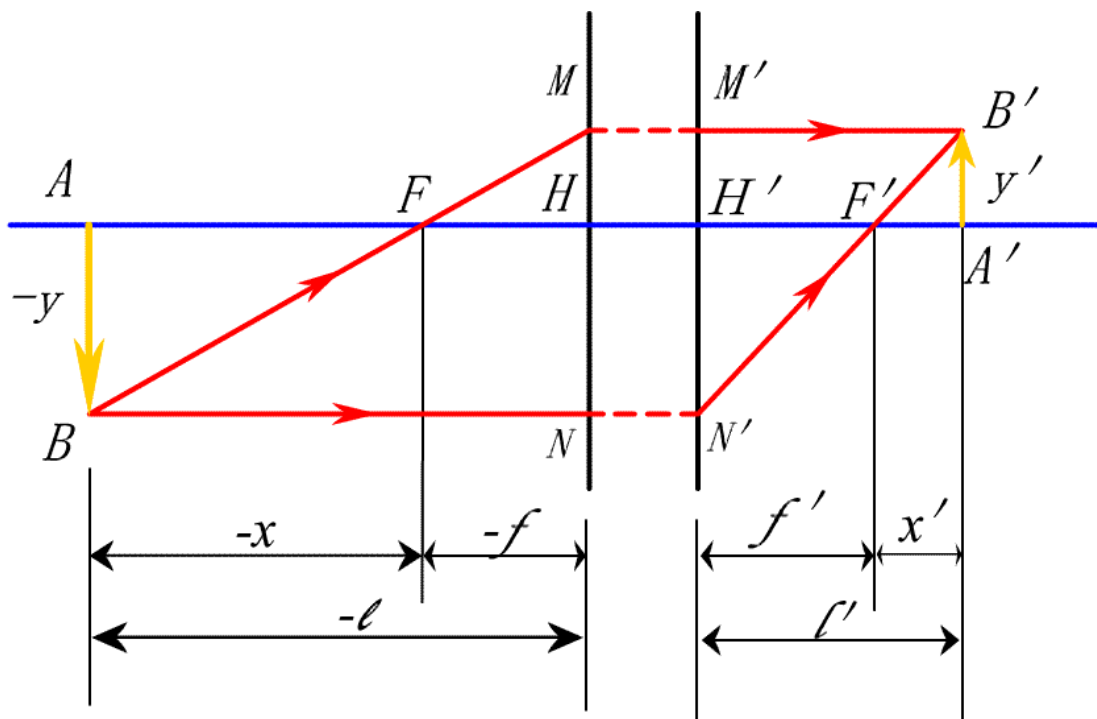
坐标系的确定：

① 以焦点为坐标原点

牛顿公式

② 以主点为坐标原点

高斯公式



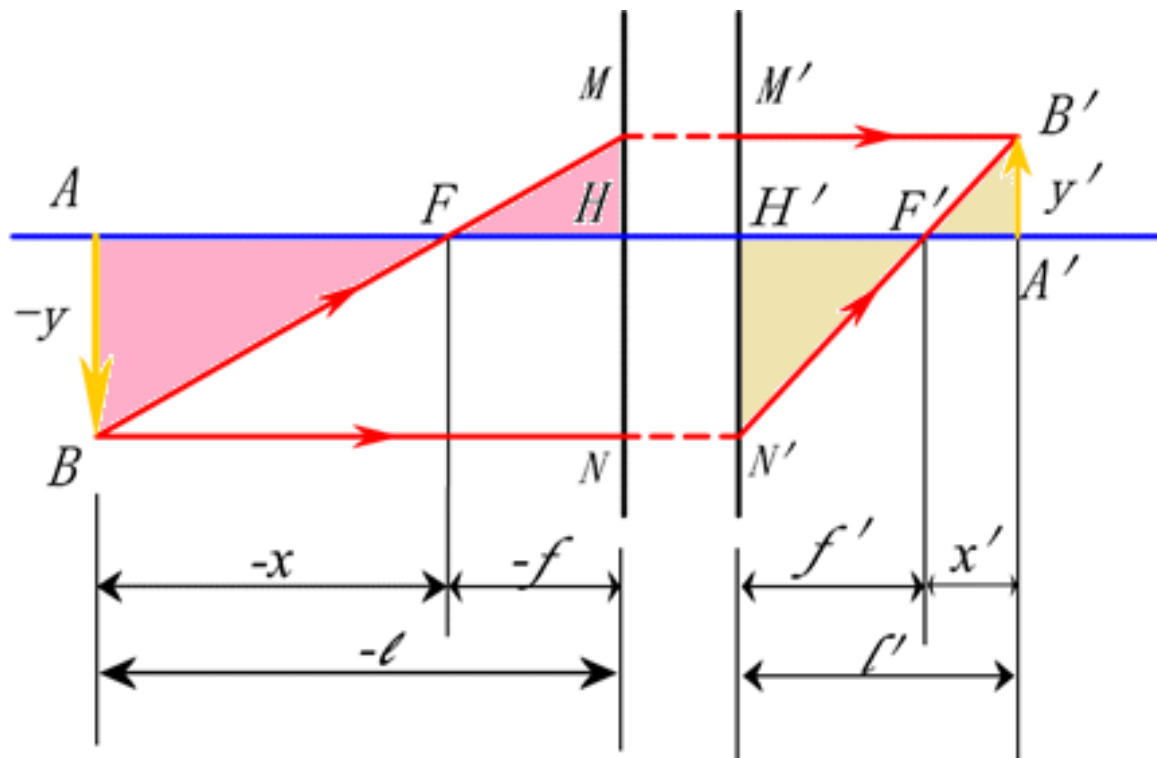
注意符号规则



## 第三节 理想光学系统的物像关系

### 二、解析法求像

#### 1、以光学系统的焦点为原点



## 第三节 理想光学系统的物像关系

### 二、解析法求像

#### 1、以光学系统的焦点为原点

由 $\triangle BAF \sim \triangle FHM$ ,  $\triangle B'A'F' \sim \triangle N'H'F'$ 得

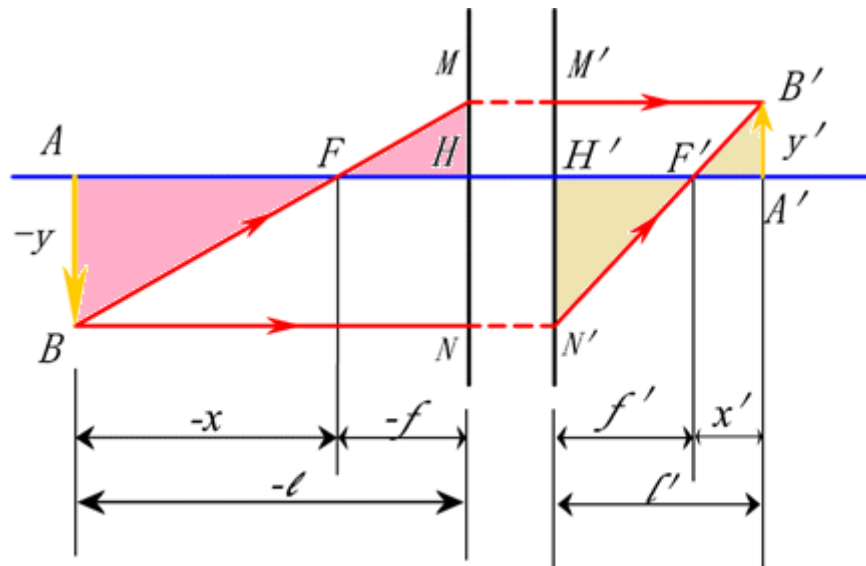
$$\frac{y'}{-y} = \frac{-f}{-x}$$

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

牛顿公式：

$$xx' = ff'$$

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





## 第三节 理想光学系统的物像关系

### 二、解析法求像

#### 2、以光学系统的主点为原点

牛顿公式：

$$xx' = ff'$$

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

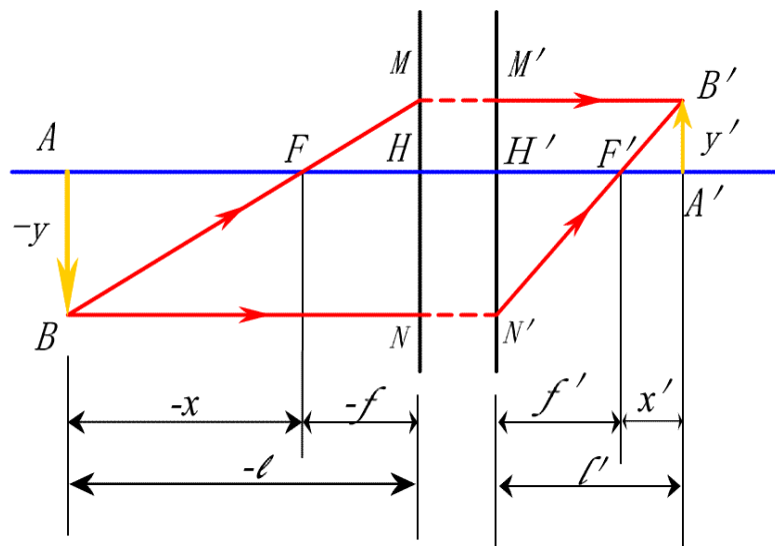
$$\Rightarrow x = l - f \quad x' = l' - f'$$

$$\Rightarrow lf' + l'f = ll'$$

高斯公式：

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

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





## 第三节 理想光学系统的物像关系

### 二、解析法求像

#### 2、以光学系统的主点为原点

★ 特例：物像空间介质相同

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

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

$$f' = -f$$

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

$$\beta = \frac{l'}{l}$$

★ 问题：

与第一章单个折射/反射球面的成像公式有何区别？



## 第三节 理想光学系统的物像关系

### 三、由多个光组组成的理想光学系统的成像

#### 1、各光组间相对位置的表示

★ 光学间隔（焦点间隔）

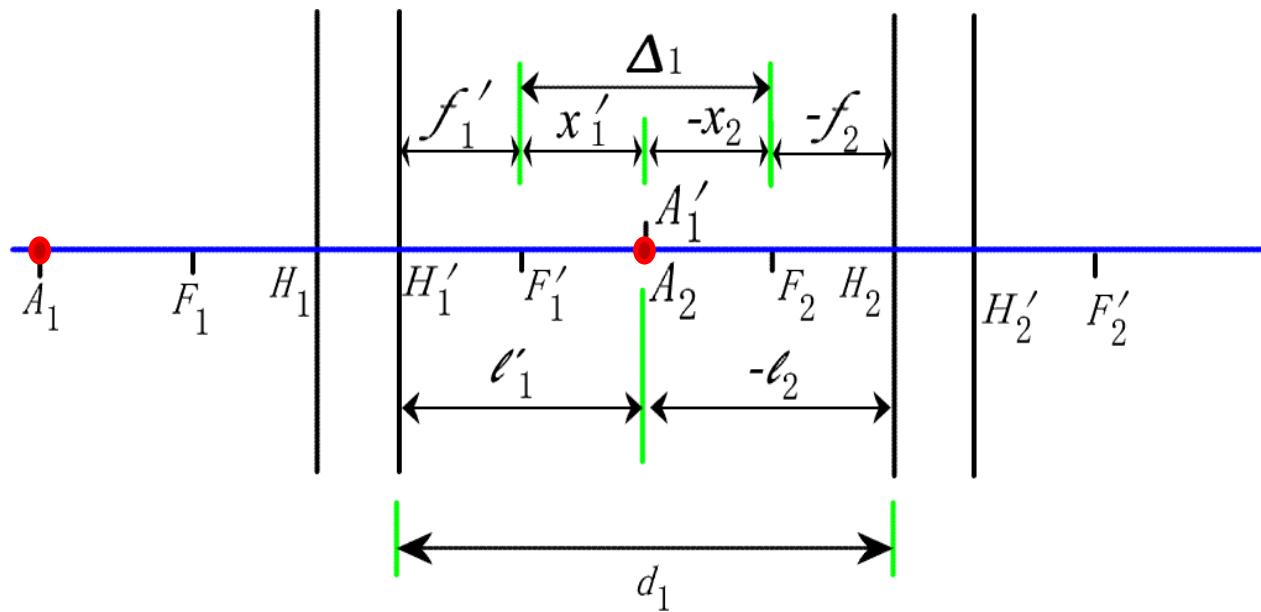
$$l_2 = l'_1 - d_1$$

$$x_2 = x'_1 - \Delta_1$$

$$\Delta_1 = d_1 - f'_1 + f_2$$

★ 主面间隔

$$d_1$$

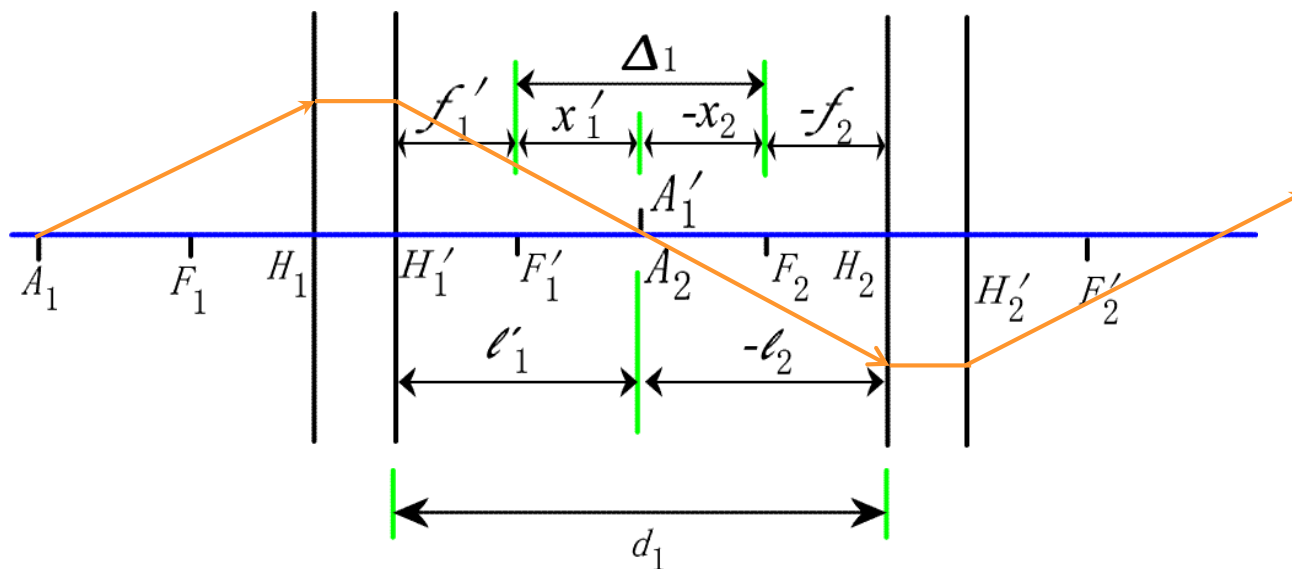




## 第三节 理想光学系统的物像关系

### 三、由多个光组组成的理想光学系统的成像

#### 2、多个光组的过渡关系和放大率



★ 第  $i$  个光组

$$l_i = l'_{i-1} - d_{i-1}$$

$$x_i = x'_{i-1} - \Delta_{i-1}$$

$$\Delta_i = d_i - f'_i + f_{i+1}$$

★ 共  $k$  个光组

$$y_i = y'_{i-1} \rightarrow$$

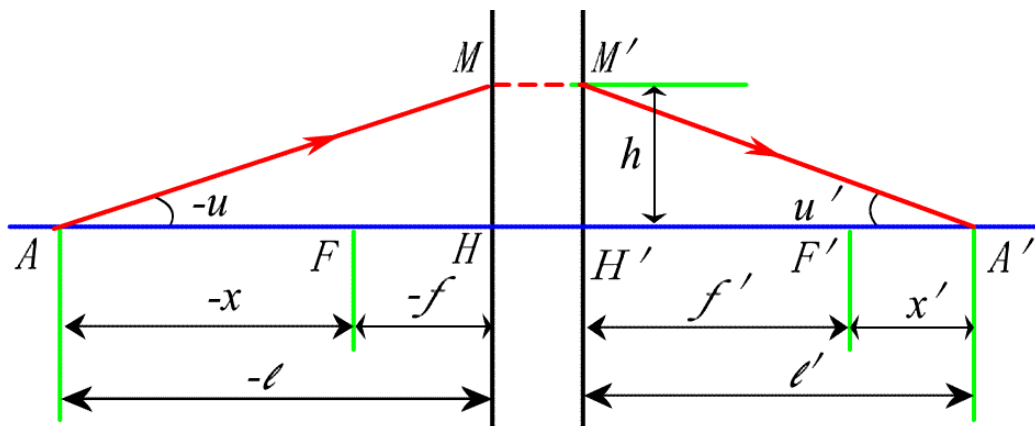
$$\beta = \frac{y'_k}{y_1} = \frac{y'_1}{y_1} \frac{y'_2}{y_2} \dots \frac{y'_k}{y_k} = \beta_1 \beta_2 \dots \beta_k$$





## 第三节 理想光学系统的物像关系

### 四、理想光学系统两焦距之间的关系



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

$$xx' = ff'$$

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

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

$$l \tan U = h = l' \tan U'$$

$$(x + f) \tan U = (x' + f') \tan U'$$

$$fy \tan U = -f'y' \tan U'$$

★近轴小角度:  $fyu = -f'y'u'$

★ 共轴球面系统  
的拉赫公式:

近轴区

$$nyu = n'y'u'$$

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



## 第三节 理想光学系统的物像关系

### 四、理想光学系统两焦距之间的关系

$$fy \tan U = -f'y' \tan U'$$

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

★ 理想光学系统的拉赫公式： $ny \tan U = n'y' \tan U'$

★ 理想光学系统两焦距之间关系的一般形式：

$$\frac{f'}{f} = (-1)^{k+1} \frac{n'}{n} \quad (\text{反射面的个数为} k)$$

每反射一次，  
介质折射率的  
符号改变一次。

当  $n = n'$   $f' = (-1)^{k+1} f$

- 1) 折射系统以及包含偶数个反射面的系统，物方焦距和像方焦距异号；
- 2) 折射系统以及包含奇数个反射面的系统，物方焦距和像方焦距同号。



## 第三节 理想光学系统的物像关系

### 五、光学系统的光焦度、折光度和光束的会聚度

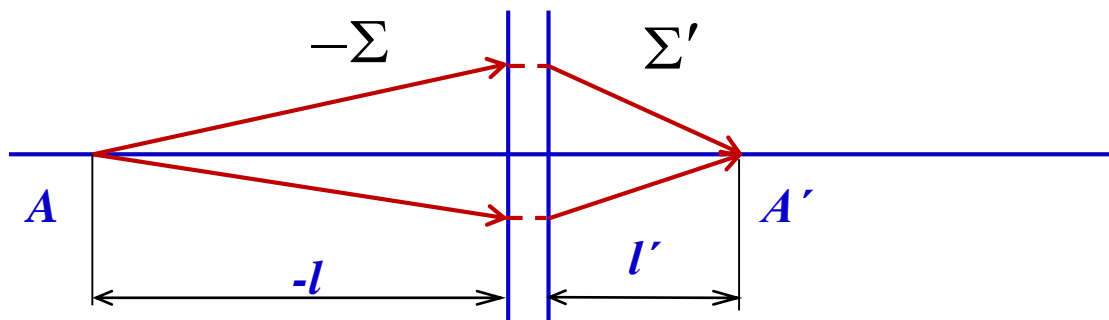
$$\frac{f'}{f} = -\frac{n'}{n}$$

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

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

$$\Sigma' - \Sigma = \Phi$$

一对共轭点的光束会聚度之差等于光学系统的光焦度。





## 第三节 理想光学系统的物像关系

### 五、光学系统的光焦度、折光度和光束的会聚度

$\Sigma < 0$  光束是发散的

$\Sigma > 0$  光束是汇聚的

$\Phi = \Sigma' - \Sigma > 0$  对光束起汇聚作用；反之发散作用。

光焦度是光学系统汇聚本领或发散本领的数值表示。短焦距的光学系统具有大的光焦度。

$$n' = n = 1$$

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

单位：折光度（在空气中焦距为正值1m的光焦度）（眼睛：屈光度）



例题1. 已知:  $f' > 0$      $f' = -f$      $l = 2f'$      $y$   
求:  $l'$ ,  $\beta$

物像关系式的应用——解应用题

步骤:

- 1: 写出已知条件和要求解的问题
- 2: 尽可能画出图形
- 3: 正确标注图形
- 4: 推导公式
- 5: 求解结果

例题1. 已知:  $f' > 0$      $f' = -f$      $l = 2f'$      $y$

求:  $l', \beta$

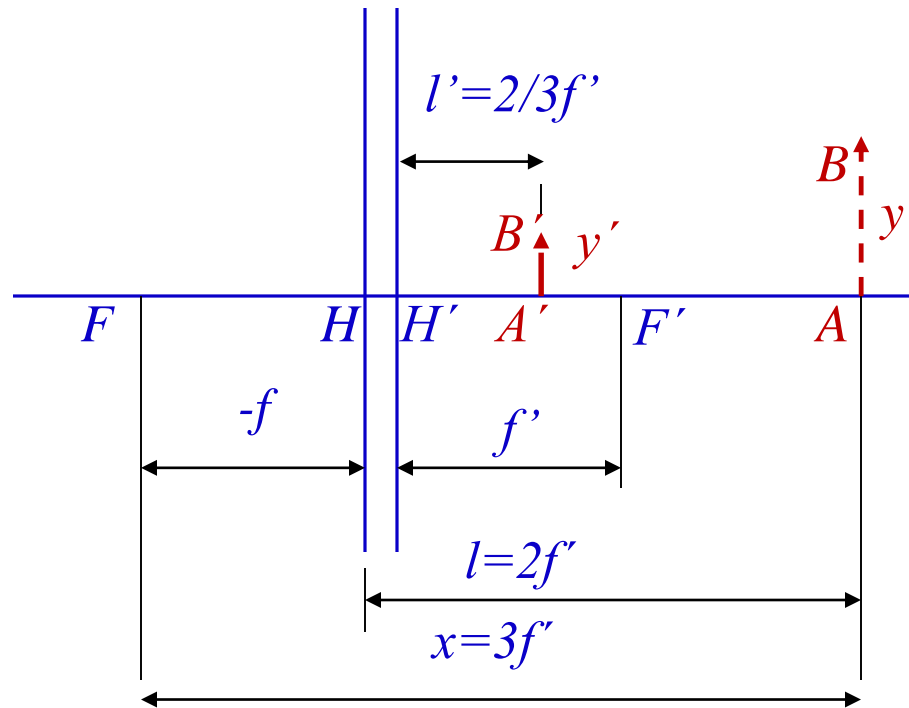
$$\frac{f'}{l'} + \frac{f}{l} = 1$$

$$\frac{f'}{l'} + \frac{-f'}{2f'} = 1 \quad l' = \frac{2}{3} f'$$

$$\beta = -\frac{fl'}{f'l} = \frac{l'}{l} = \frac{2/3f'}{2f'} = \frac{1}{3}$$

$$xx' = ff'$$

$$x = 3f' \quad 3f'x' = -f'^2 \quad x' = -1/3f' \quad \beta = -\frac{f}{x} = \frac{f'}{3f'} = \frac{1}{3}$$





**例题.** 显微镜物镜放大率为0.5，焦距 $f' = -f = 200$ ，试求：工作距离（物平面到物镜的距离）以及物像之间的距离。



**例题.** 显微镜物镜放大率为0.5，焦距  $f' = -f = 200$ ，试求：工作距离（物平面到物镜的距离）以及物像之间的距离。

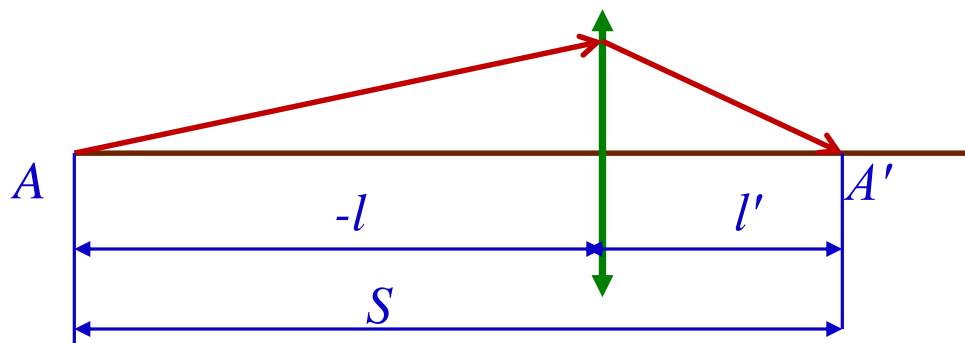
$$\frac{f'}{l'} + \frac{f}{l} = 1$$

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

$$\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{200}$$

$$\beta = \frac{-fl'}{f'l} = \frac{l'}{l} = -0.5$$

$$l = -600 \quad l' = 300 \quad S = -l + l' = 900$$







**例题.** 天像仪太阳放映系统用改变可变光阑直径大小的方法实现连续改变太阳的大小。可变光阑最小口径为0.6毫米，要求在天幕上对应的像直径为19.4毫米，天幕离放映系统距离为15米，求放映系统的焦距和光阑位置。

$$f' = -f \quad \frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f'} \quad \frac{1}{15000} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f'} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{19.4}{0.6} = -32.3 = \frac{l'}{l} = \frac{15000}{l} \quad (2)$$

$$l = \frac{15000}{-32.3} = -463.92 \quad f' = 450$$



1. 作业课后习题2, 3, 4, 5, 6。
2. 请提前预习“2.4节”。