



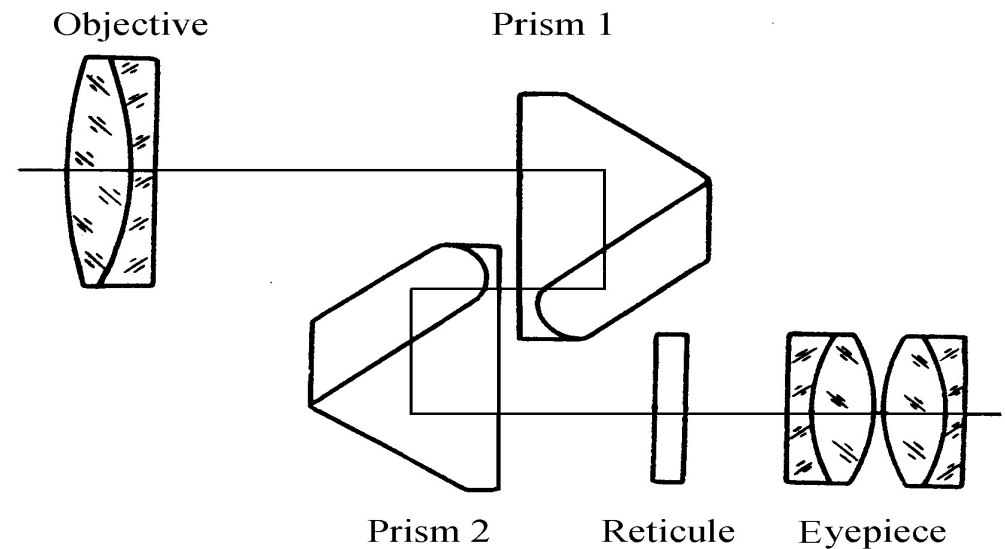
第14讲 理想光学系统的组合



在光学系统应用中，经常把两个或两个以上的光学系统组合在一起使用。在计算和分析一个复杂的光学系统时，为了方便起见，通常将一个光学系统分成若干部分，分别进行计算，最后再把它们组合在一起。

本讲任务：

**由两个已知的光学系统，
求它们的组合系统的成
像性质。**





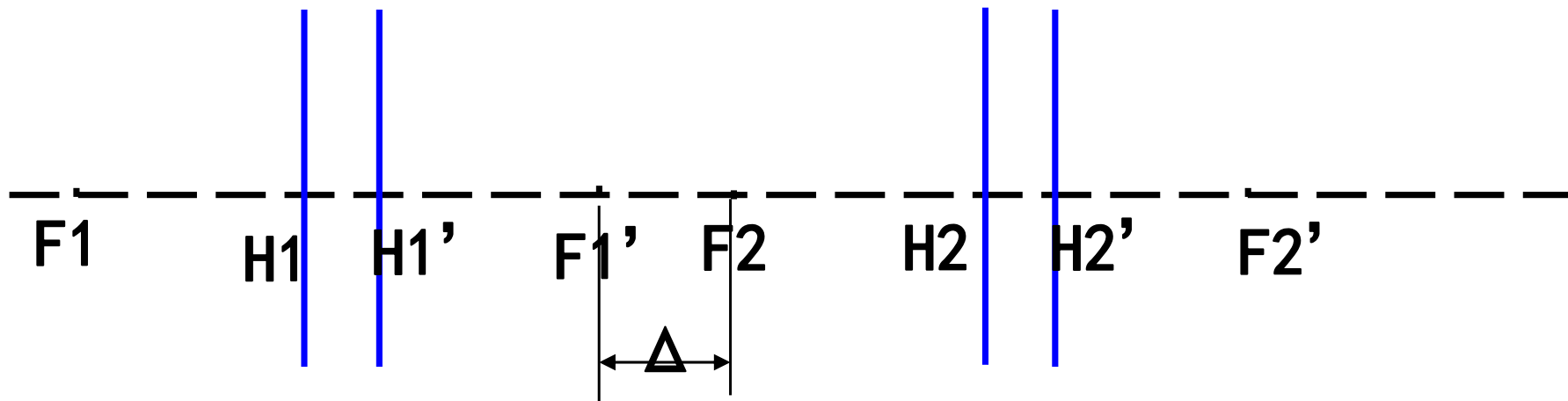
一. 焦点位置公式

假定：两分系统的焦距分别为 f_1 、 f_1' 和 f_2 、 f_2' 。

两分系统间的相对位置用第一系统的像方焦点 F_1' 到第二系统的物方焦点 F_2 的距离 Δ 表示。

符号规则为：

Δ ——以 F_1' 为起点，计算到 F_2 ，由左向右为正。

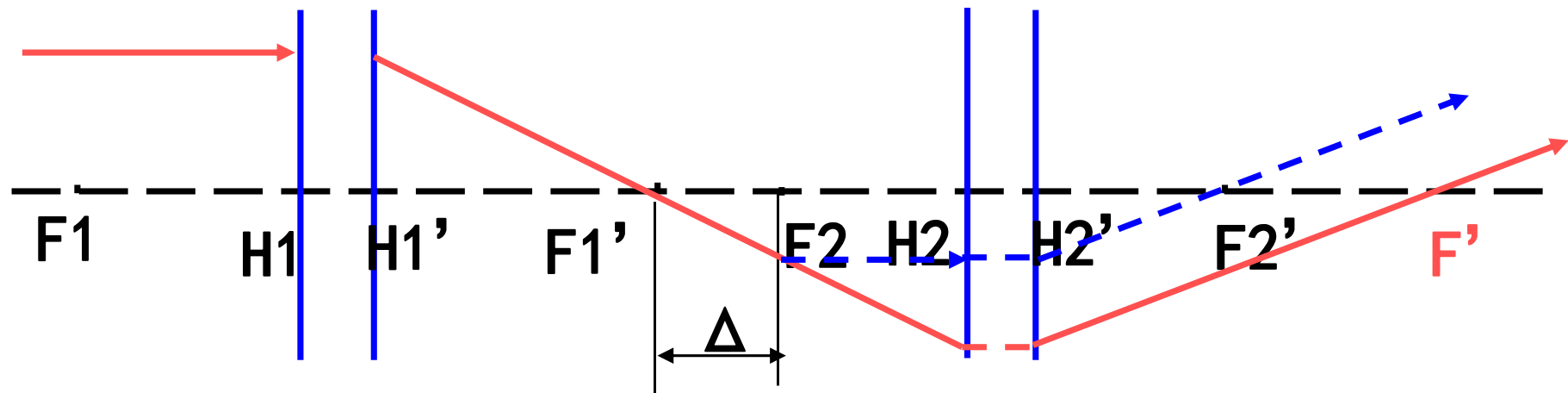




1、像方焦点 F' 的位置

先找出像方焦点 F' 。

对于第二个光学系统， F_2' 和 F' 是一对共轭点



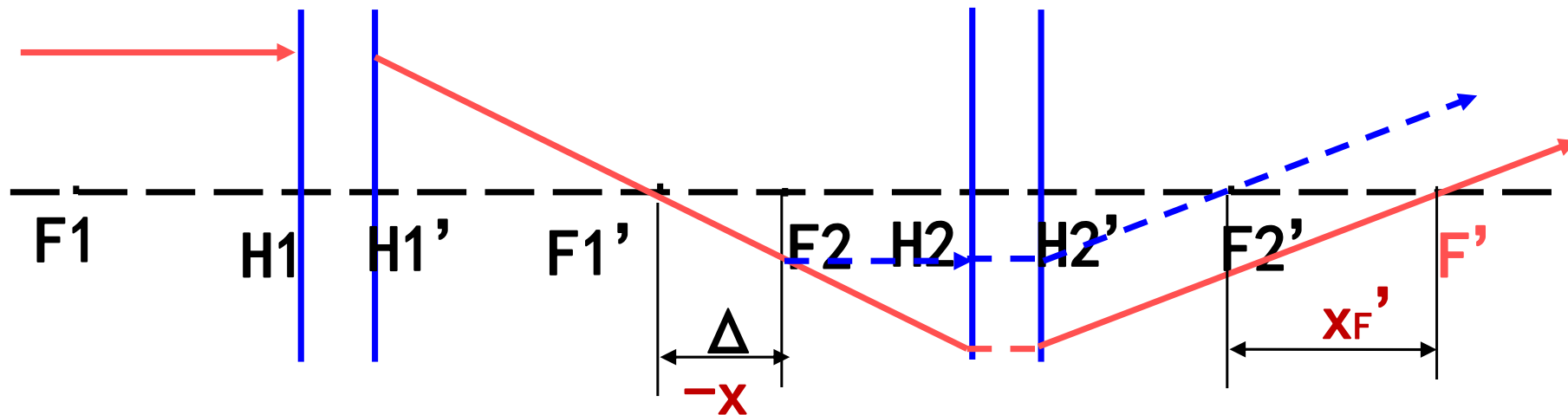


牛顿公式 $xx' = f_2 f_2'$

x : 以 F_2 为起点计算到 F_1' , $x = -\Delta$

x' : 由 F_2' 到 F' 的距离。为了区别, 用 x'_F 表示。

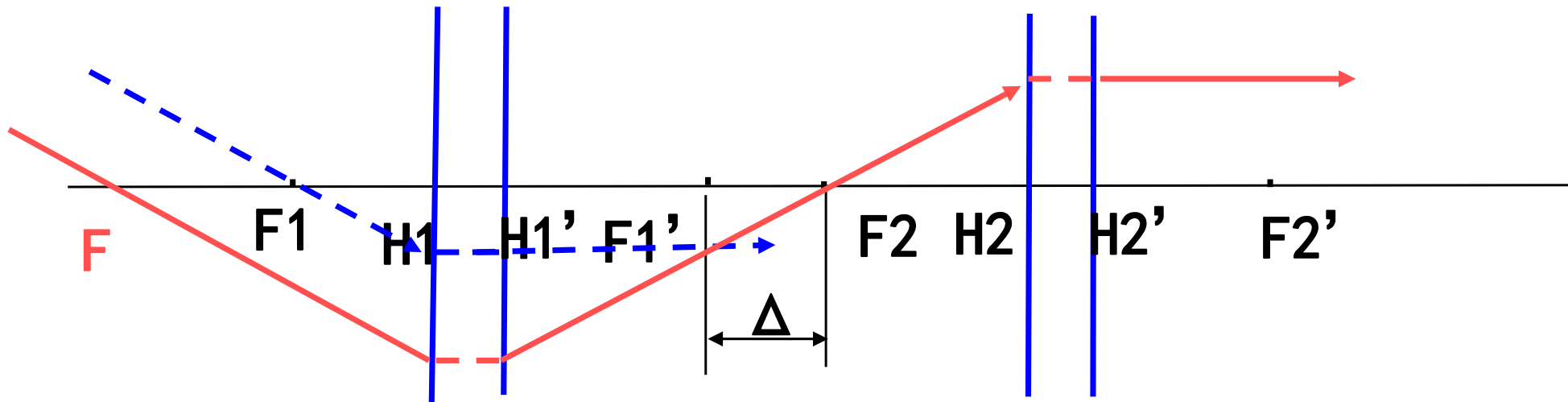
将以上关系代入牛顿公式, 得 $x'_F = -\frac{f_2 f_2'}{\Delta}$





2、物方焦点F的位置

组合系统的物方焦点F和第二个系统的 F_2 对第一个系统共轭，可应用牛顿公式 $xx' = f_1 f_1'$

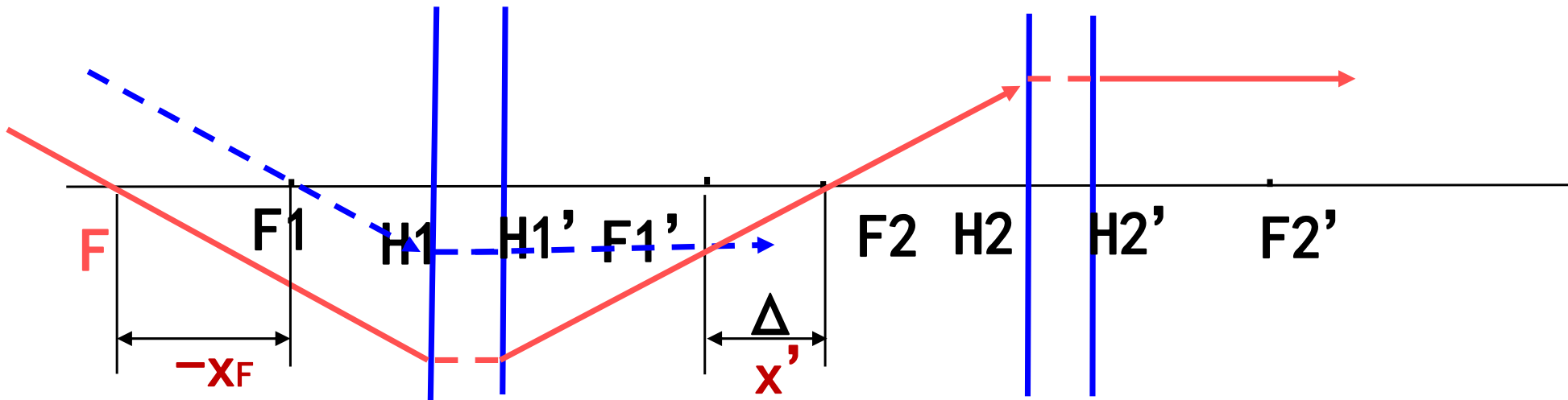




从图得知 $x' = \Delta$

x : 由 F_1 到 F 的距离, 用 x_F 表示

组合系统的物方焦点 F 的位置: $x_F = \frac{f_1 f_1'}{\Delta}$



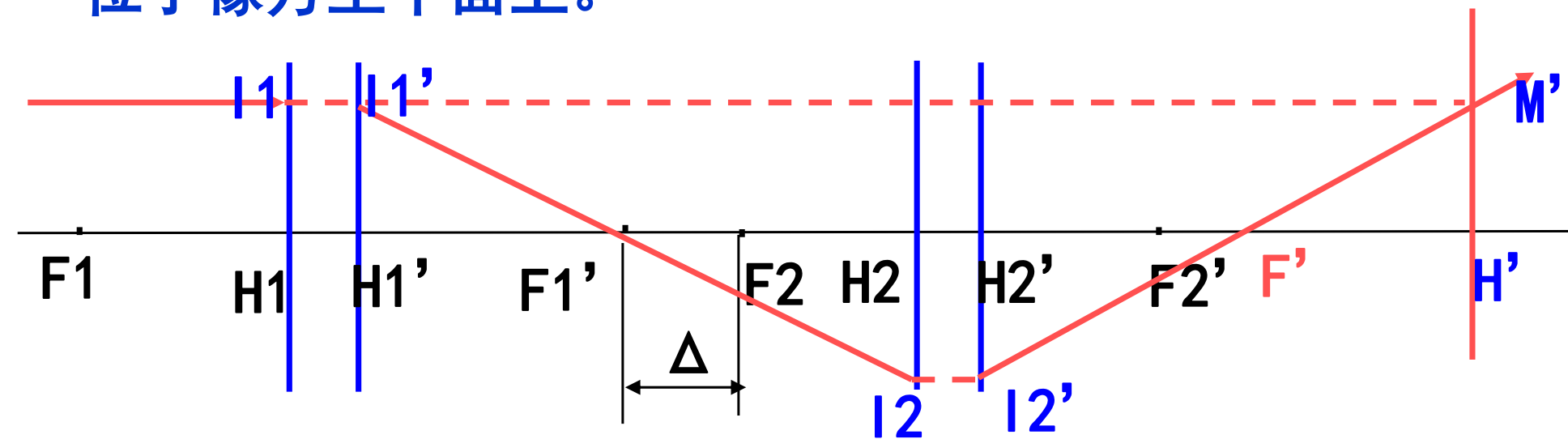


二. 焦距公式

焦点位置确定后，只要求出焦距，主平面的位置便随之确定。

1、像方焦距

平行光轴入射的光线和出射光线的延长线的交点 M' ，一定位于像方主平面上。



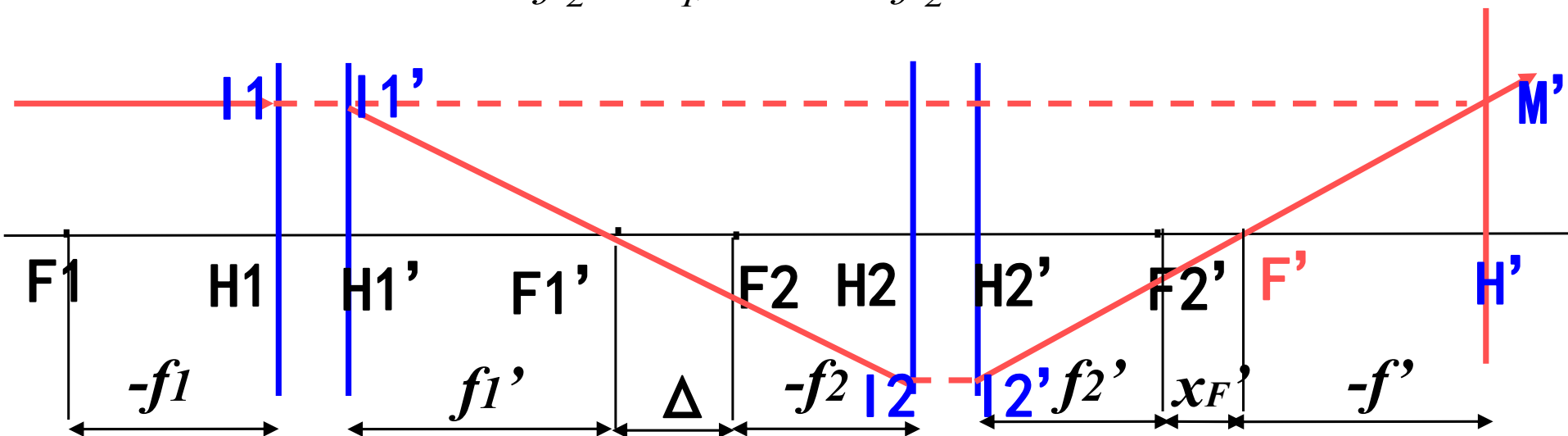


由 $\triangle M'F'H' \sim \triangle I_2'H_2'F'$, $\triangle I_2'H_2'F'_1 \sim \triangle I_1'H_1'F_1'$,

有 $M'H'/H_2'I_2' = F'H'/H_2'F' = (-f')/(f_2' + x_F')$

$$I_1'H_1'/H_2'I_2' = H_1'F_1'/F_1'H_2' = f_1'/\Delta - f_2'$$

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

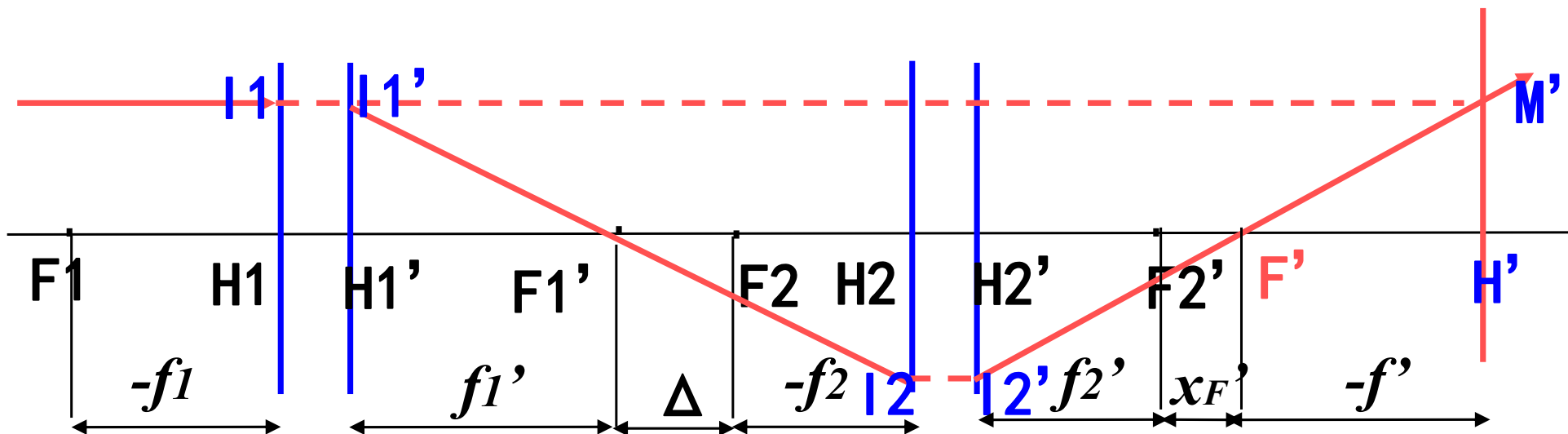




$$f' = \frac{-f_1'}{\Delta - f_2} \left(f_2' - \frac{f_2 f_2'}{\Delta} \right) = \frac{-f_1'}{\Delta - f_2} \cdot \frac{f_2'(\Delta - f_2)}{\Delta}$$

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

其中： $\Delta = d - f_1' + f_2$



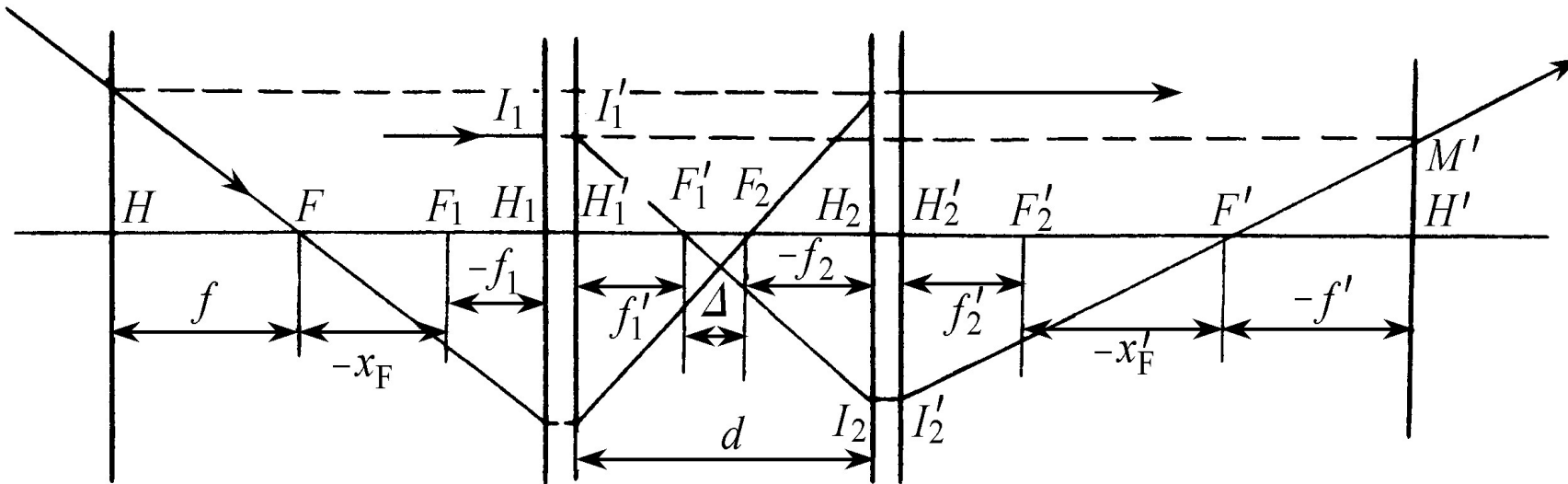


2、物方焦距

直接应用物方和像方焦距的关系得出。

设组合系统物空间折射率为 n_1 ，子系统1、2之间为 n_2 ，像空间为 n_3 ，

$$f = -f' \frac{n_1}{n_2} = \frac{f_1' f_2'}{\Delta} \frac{n_1}{n_2} \quad f_1' = -f_1 \frac{n_2}{n_1} \quad f_2' = -f_2 \frac{n_3}{n_2} \quad \Rightarrow \quad f = \frac{f_1 f_2}{\Delta}$$



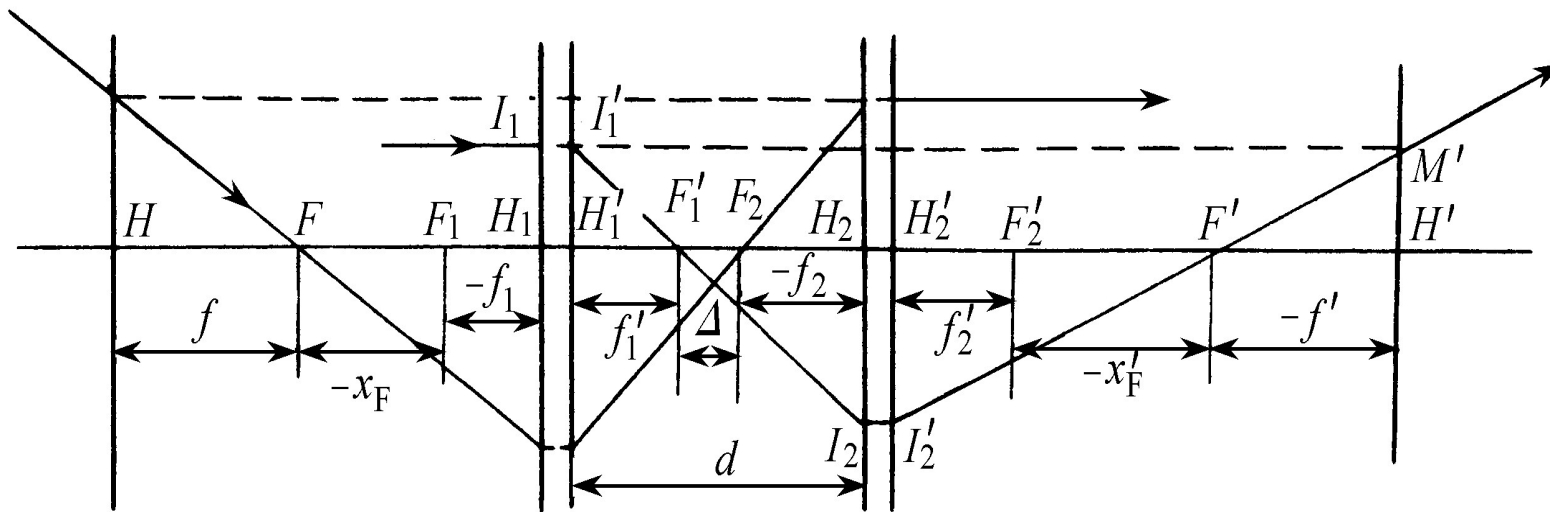


3、另一种形式表示的公式

两个系统间的相对位置有时用两个主平面之间的距离 d 表示。

d : 以第一个系统的像方主点 H_1' 为起点, 计算到第二个系统的物方主点 H_2' , 由左向右为正。

$$d = f_1' + \Delta - f_2 \quad \text{或者} \quad \Delta = d - f_1' + f_2$$





代入上面的焦距公式，得

$$\frac{1}{f'} = \frac{-\Delta}{f_1' f_2'} = \frac{1}{f_2'} - \frac{f_2}{f_1' f_2'} - \frac{d}{f_1' f_2'}$$

将 $\frac{f_2}{f_2'} = -\frac{n_2}{n_3}$ 代入上式，公式两边同乘以 n_3 ，得

$$\frac{n_3}{f'} = \frac{n_2}{f_1'} + \frac{n_3}{f_2'} - \frac{n_3 d}{f_1' f_2'} = -\frac{n_1}{f}$$



当两个系统位于同一种介质（例如空气）中时，
有 $n_1=n_2=n_3$ ，得

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{f_1'} + \frac{1}{f_2'} - \frac{d}{f_1' f_2'}$$

Φ ：光焦度，像方焦距的倒数， $\Phi = 1/f'$ 。

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 - d\varphi_1\varphi_2$$

当两个光学系统主平面间的距离 d 为零，即在密接薄透镜组的情况下：

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$$