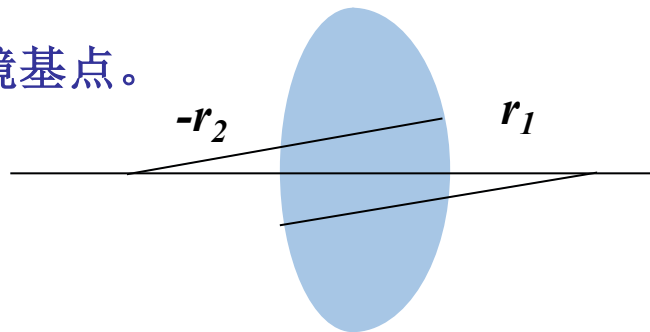


练习题

例： $r_1 = 15 \text{ cm}$, $r_2 = -10 \text{ cm}$, $d = 3 \text{ cm}$, $n = 1.5$ 求透镜基点。



练习题

例： $r_1 = 15 \text{ cm}$, $r_2 = -10 \text{ cm}$, $d = 3 \text{ cm}$, $n = 1.5$ 求透镜基点。

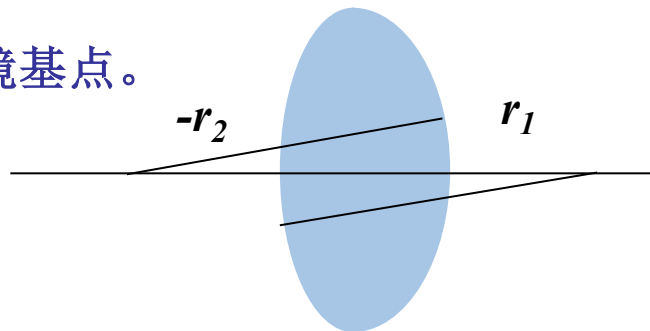
解： $f_1 = \frac{r_1}{1-n} = -30 \text{ cm}$ $f_2 = \frac{nr_2}{n-1} = -30 \text{ cm}$

$$f_1' = \frac{nr_1}{n-1} = 45 \text{ mm} \quad f_2' = \frac{r_2}{1-n} = 20 \text{ cm}$$

$$\Delta = d - f_1' + f_2 = -72 \text{ cm}$$

$$f = \frac{f_1 f_2}{\Delta} = -12.5 \text{ cm} \quad f' = -\frac{f_1' f_2'}{\Delta} = 12.5 \text{ cm}$$

$$l_H = -f' \frac{d}{f_2} = 1.25 \text{ cm} \quad l'_H = -f' \frac{d}{f_1'} = -0.83 \text{ cm}$$

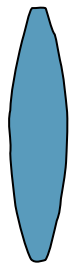


透镜

透镜

▲ 由两个折射面包围一种透明介质做成的光学元件。

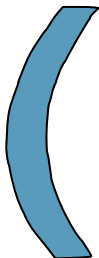
▲ 正透镜 $\varphi = \frac{n'}{f'} > 0$ 中心厚，边缘薄



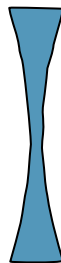
双凸



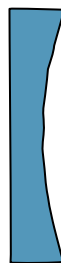
单凸



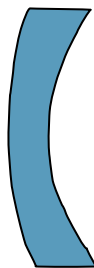
正弯月



双凹



单凹

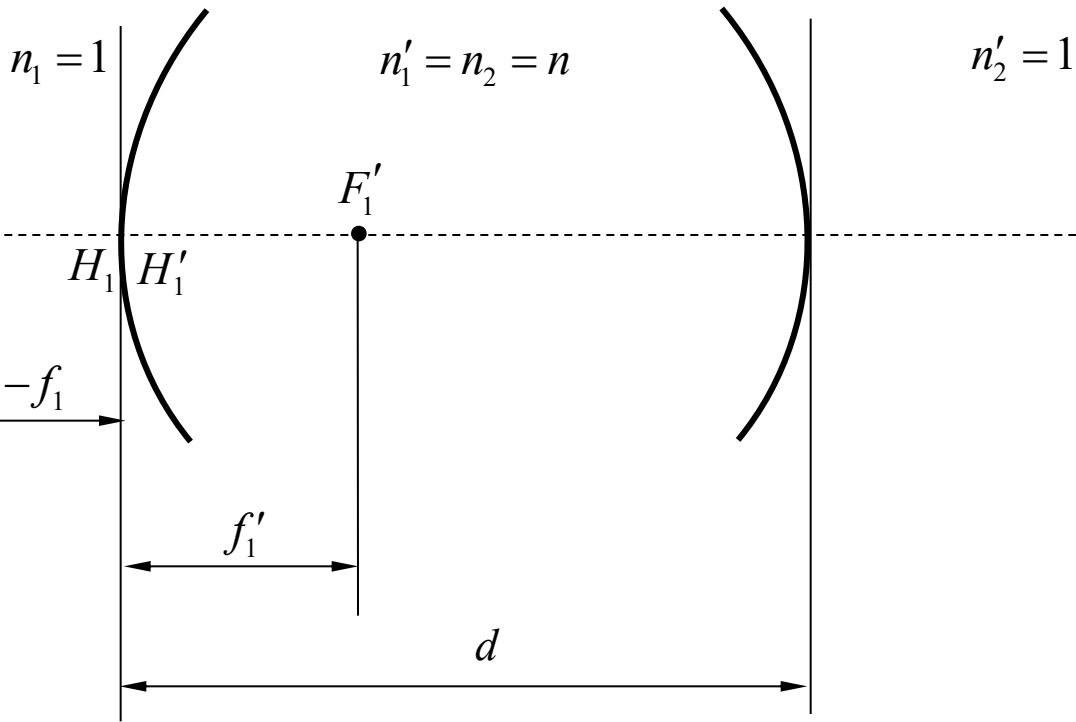


负弯月

▲ 负透镜 $\varphi = \frac{n'}{f'} < 0$ 中心薄，边缘厚

(焦距)

透镜的参数



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

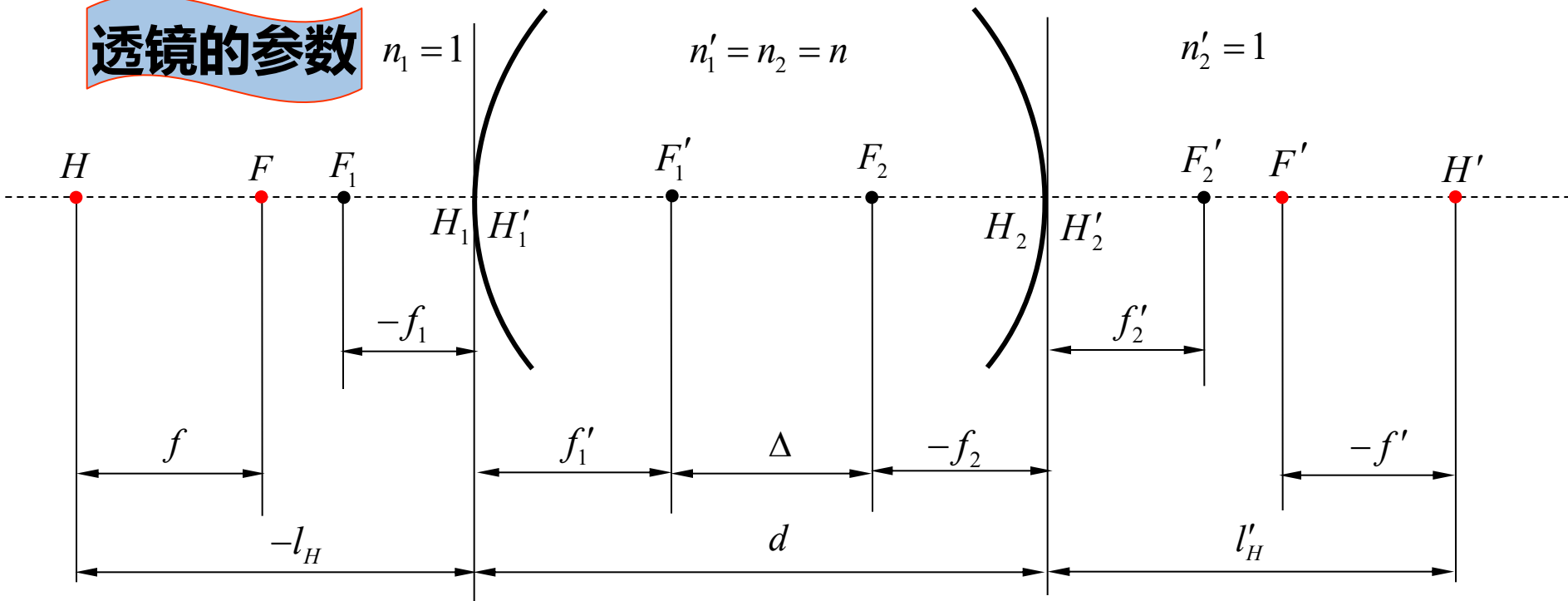
$$f_1 = -\frac{r}{n - 1}$$

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

$$f'_1 = \frac{nr}{n - 1}$$

(焦距)

透镜的参数



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

$$f_2 = -\frac{nr}{1 - n}$$

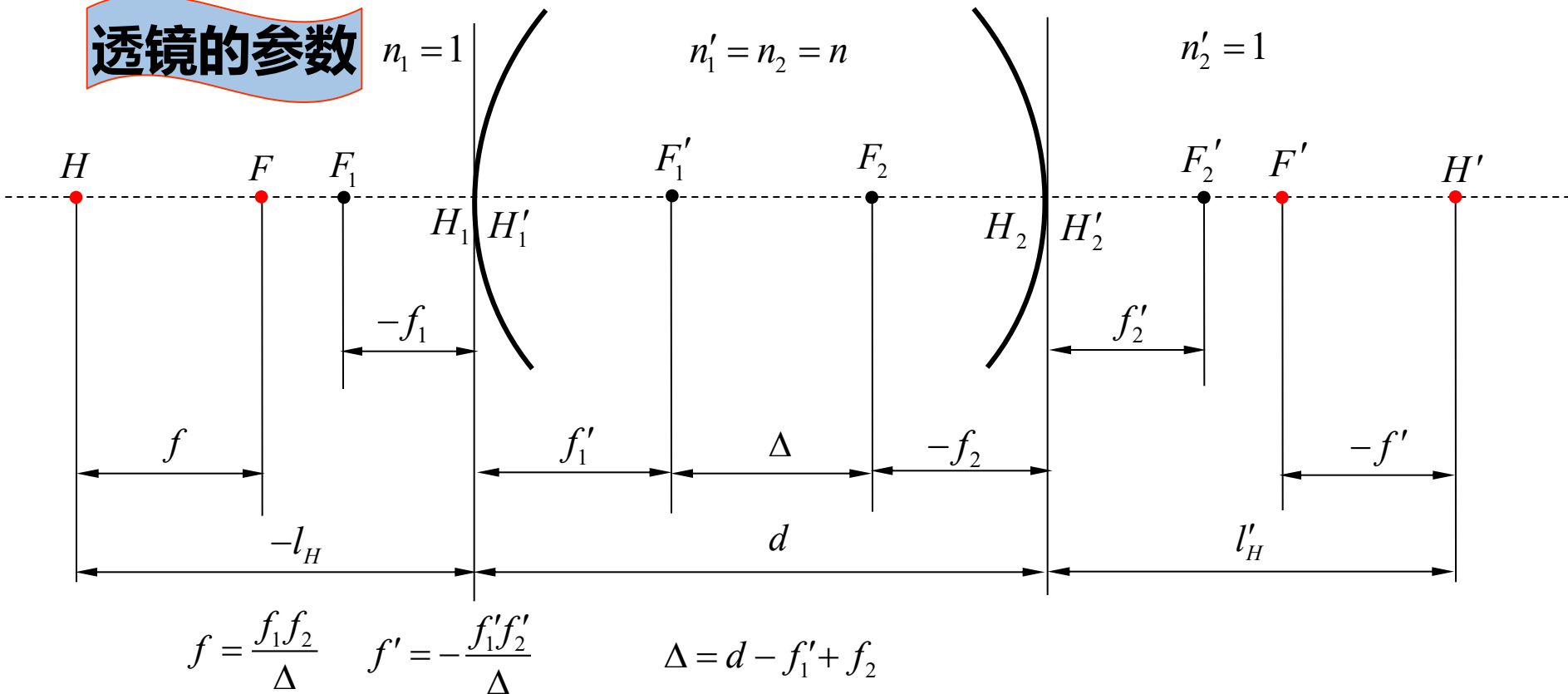
$$\Delta = d - f_1' + f_2$$

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

$$f_2' = \frac{r}{1 - n}$$

(焦距)

透镜的参数



(焦距)

$$\Delta = \frac{n(r_2 - r_1) + (n-1)d}{n-1}$$

$$f = -\frac{nr}{n' - n} \quad f_1 = -\frac{r}{n-1} \quad f_2 = -\frac{nr}{1-n} \longrightarrow f = \frac{f_1 f_2}{\Delta}$$

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

$$f' = \frac{n'r}{n' - n} \quad f'_1 = \frac{nr}{n-1} \quad f'_2 = \frac{r}{1-n} \longrightarrow f' = -\frac{f'_1 f'_2}{\Delta}$$

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

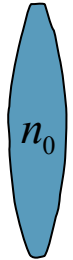
$$f' = -f$$

(焦距、光焦度)

*说明

(1) 仅仅适用于折射率为 n 的透镜放置于空气中。

(2) 薄透镜: 透镜的中心厚度与透镜的曲率半径或者焦距相比很小。

$$f = -\frac{n}{\frac{n_0 - n}{r_1} + \frac{n' - n_0}{r_2}} \quad \begin{array}{c} n \\ \text{ } \\ n' \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{ } \\ n_0 \end{array}$$
$$f' = \frac{n'}{\frac{n_0 - n}{r_1} + \frac{n' - n_0}{r_2}}$$


▲ 光焦度

$$\varphi = \frac{n'}{f'} = \frac{1}{f'} = (n-1)(\rho_1 - \rho_2) + \frac{(n-1)^2}{n} d \rho_1 \rho_2$$

$$\rho_1 = \frac{1}{r_1}$$
$$\rho_2 = \frac{1}{r_2}$$

(主点)

▲主点位置

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

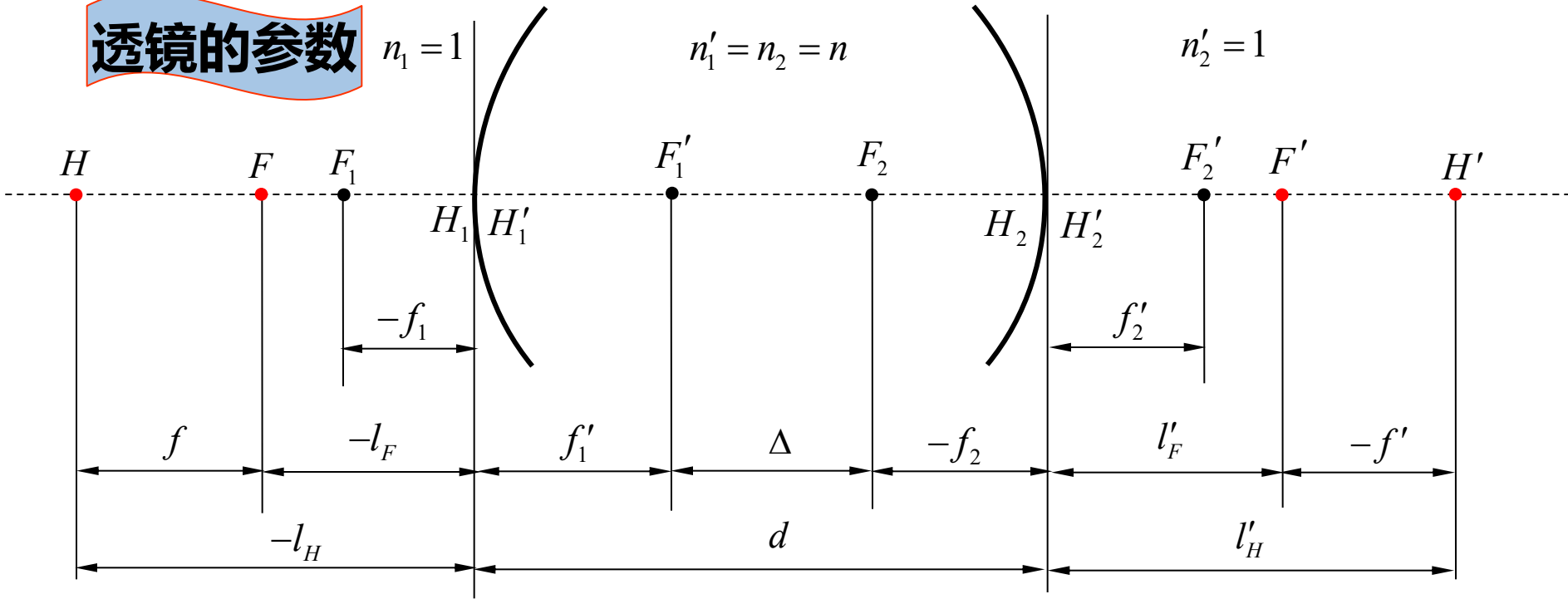
$$l'_H = -\frac{dr_2}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d}$$

$$l_H = -f' \frac{d}{f_1}$$

$$l_H = -\frac{dr_1}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d}$$

球面透镜(焦距)

透镜的参数



$$f'_1 = \frac{nr}{n-1}$$

$$f'_2 = \frac{n'r}{n'-n}$$

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

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

$$f_2 = -\frac{nr}{1-n}$$

厚透镜(双凸)

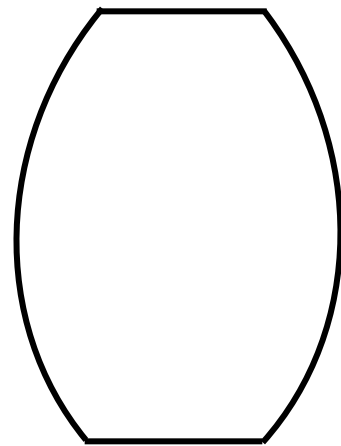
▲问题：放置于空气中的双凸透镜，是会聚透镜还是发散透镜？

$$f' = -\frac{f_1' f_2'}{\Delta} = \frac{n r_1 r_2 < 0}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + (n-1)d]}$$

> 0
 < 0
 $= \infty$

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

$$l_H = -\frac{dr_1}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d}$$



$$r_1 > 0 \quad r_2 < 0$$

▲问题：放置于空气中的双凸透镜，是会聚透镜还是发散透镜？

$$r_1 > 0 \quad r_2 < 0$$

$$f' = -\frac{f_1' f_2'}{\Delta} = \frac{n r_1 r_2 < 0}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + (n-1)d]} > 0$$

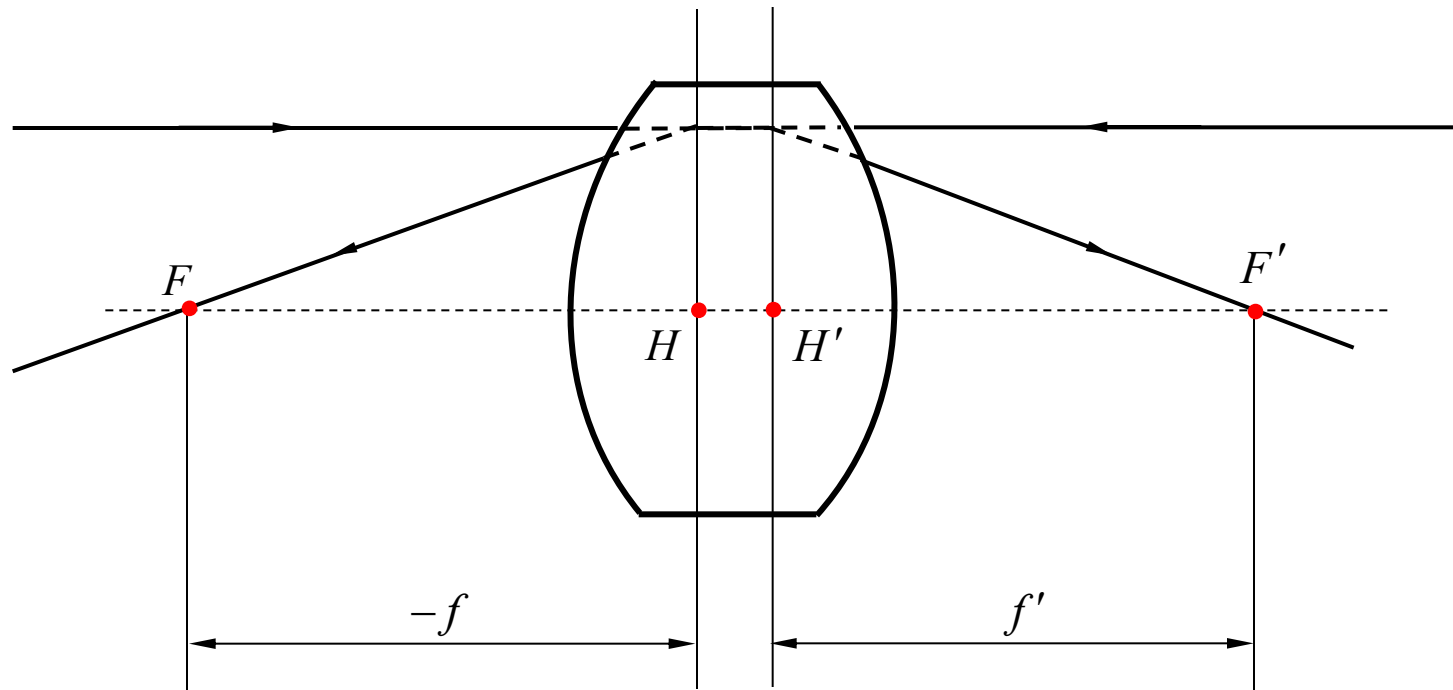
$$l_H' = -\frac{dr_2}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} < 0$$

$$l_H = -\frac{dr_1}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} > 0$$

*说明

$$(1) \text{ 当 } d < \left| \frac{n(r_2 - r_1)}{n-1} \right|$$

(1) 当 $d < \left| \frac{n(r_2 - r_1)}{n-1} \right|$ $f' > 0$ $l'_H < 0$ $l_H > 0$



▲问题：放置于空气中的双凸透镜，是会聚透镜还是发散透镜？

$$r_1 > 0 \quad r_2 < 0$$

$$f' = -\frac{f_1' f_2'}{\Delta} = \frac{nr_1 r_2 < 0}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + (n-1)d]} = \infty \quad \Delta = 0$$

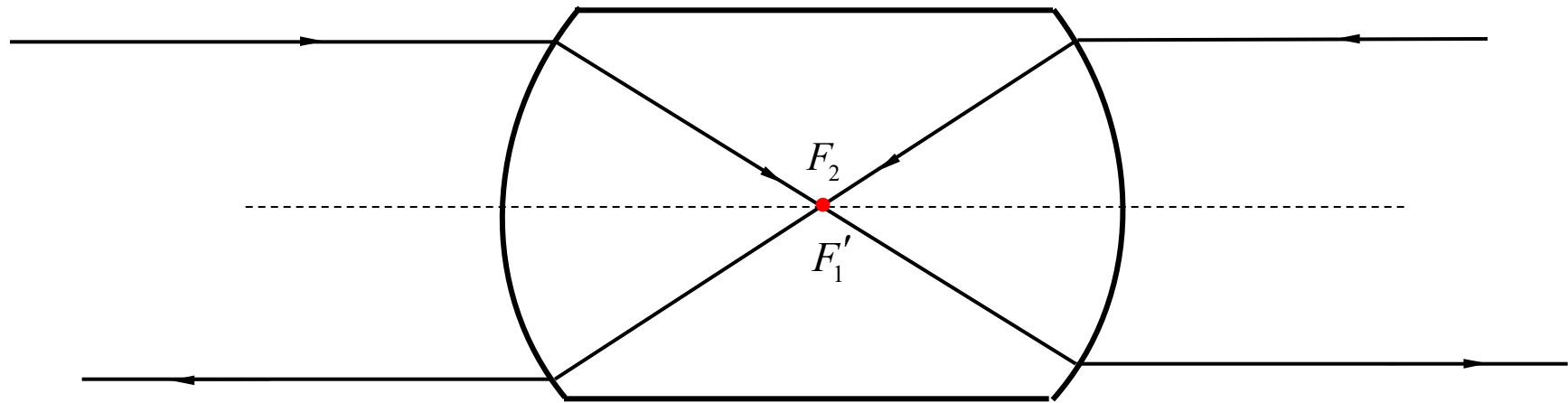
$$l_H' = -\frac{dr_2}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} = \infty$$

$$l_H = -\frac{dr_1}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} = -\infty$$

*说明

$$(2) \text{ 当 } d = \left| \frac{n(r_2 - r_1)}{n-1} \right|$$

(2) 当 $d = \left| \frac{n(r_2 - r_1)}{n-1} \right|$ $f' = \infty$ $l'_H = \infty$ $l_H = -\infty$ $\Delta = 0$



▲问题：放置于空气中的双凸透镜，是会聚透镜还是发散透镜？

$$r_1 > 0 \quad r_2 < 0$$

$$f' = -\frac{f_1' f_2'}{\Delta} = \frac{n r_1 r_2 < 0}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + (n-1)d]} < 0$$

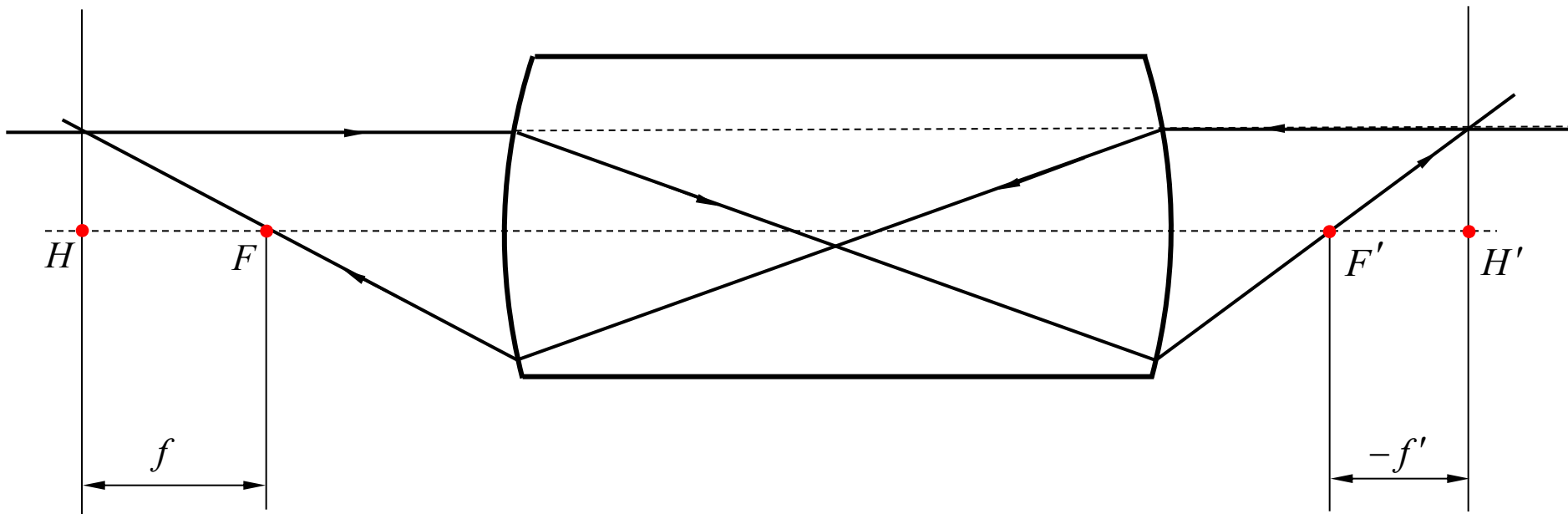
$$l_H' = -\frac{dr_2}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} > 0$$

$$l_H = -\frac{dr_1}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} < 0$$

*说明

$$(3) \text{ 当 } d > \left| \frac{n(r_2 - r_1)}{n-1} \right|$$

$$(3) \text{ 当 } d > \left| \frac{n(r_2 - r_1)}{n - 1} \right| \quad f' < 0 \quad l'_H > 0 \quad l_H < 0$$



▲问题：放置于空气中的双凸透镜，是会聚透镜还是发散透镜？ $r_1 > 0$ $r_2 < 0$

$$f' = -\frac{f'_1 f'_2}{\Delta} = \frac{n r_1 r_2 < 0}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + (n-1)d]} > 0$$

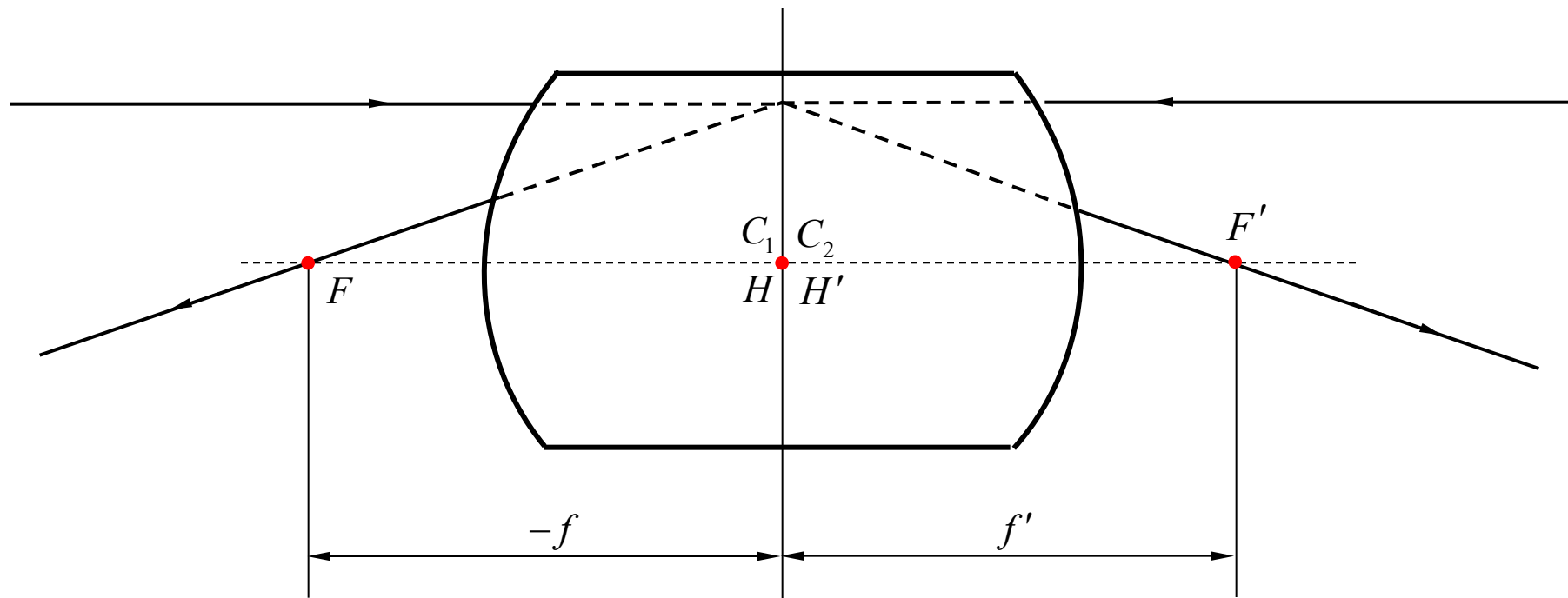
$$l'_H = -\frac{dr_2}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} = r_2$$

$$l_H = -\frac{dr_1}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} = r_1$$

*说明

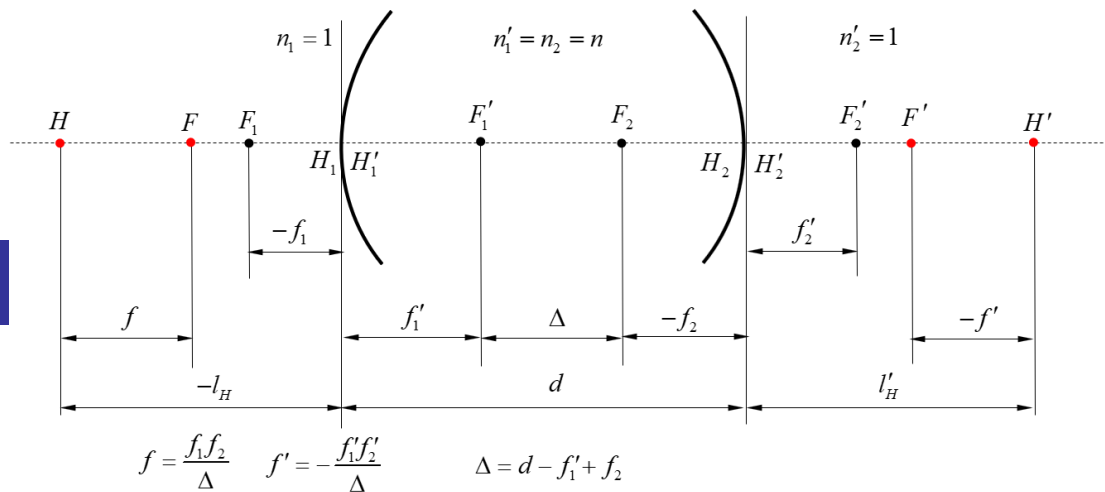
(4)当 $d = r_1 - r_2$

(4) 当 $d = r_1 - r_2$ $f' > 0$ $l'_H = r_2$ $l_H = r_1$



注意原点的定义

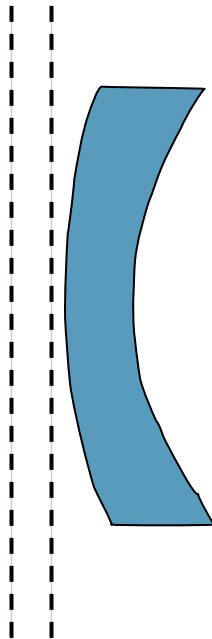
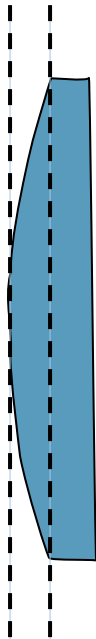
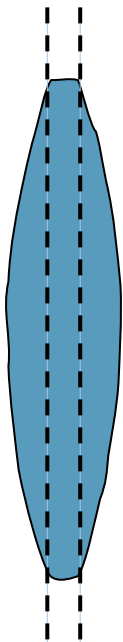
原点在前；从原点到参量点



牛顿参量 (以焦点为原点) 和 **高斯参量** (以主点为原点)

物方参量以第一光组的物方基点为原点；像方参量以第二光组的像方基点为原点

几种常见透镜主点



平面镜

平面镜成像特征

▲ 完善像

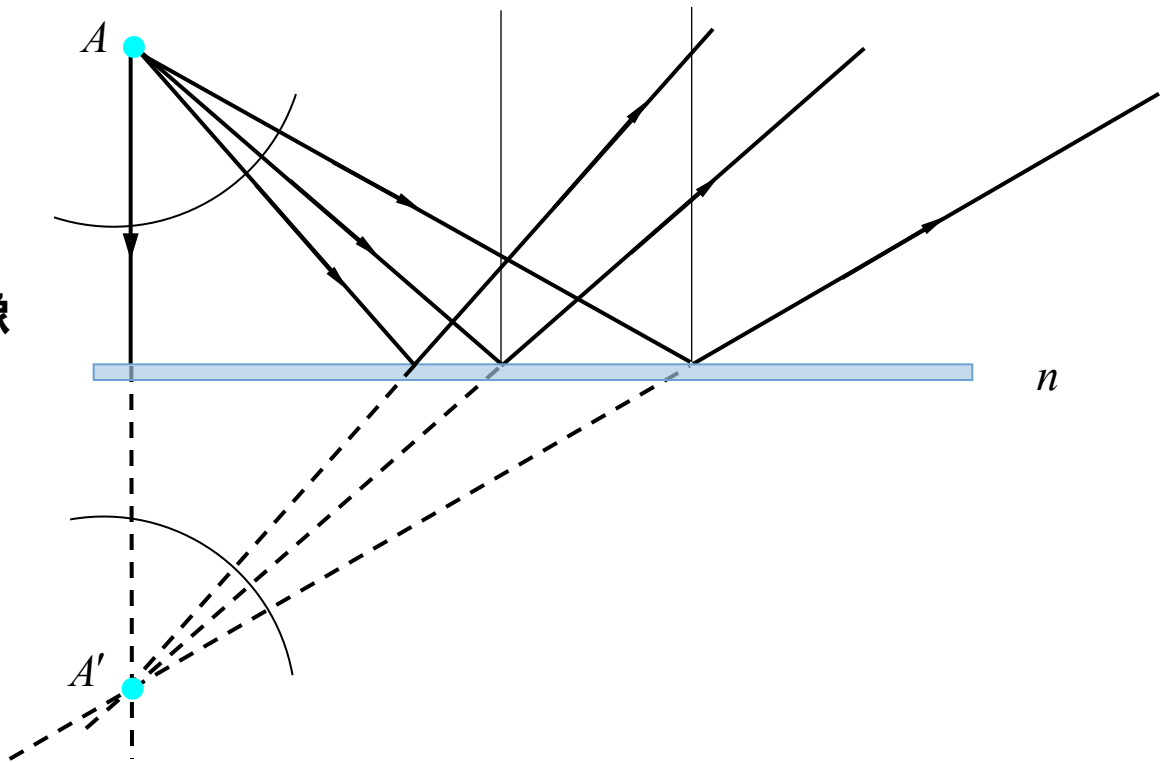
▲ 物像大小相等，正像，虚像

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

$$n' = -n \quad \longrightarrow \quad l' = -l$$

$$r = \infty$$

$$\beta = \frac{nl'}{n'l} \quad \longrightarrow \quad \beta = 1$$



平面镜

平面镜成像特征

- ▲ 完善像
- ▲ 物像大小相等，正像，虚像
- ▲ 镜像：物像上下一致，
左右大小颠倒

平面镜

平面镜成像特征

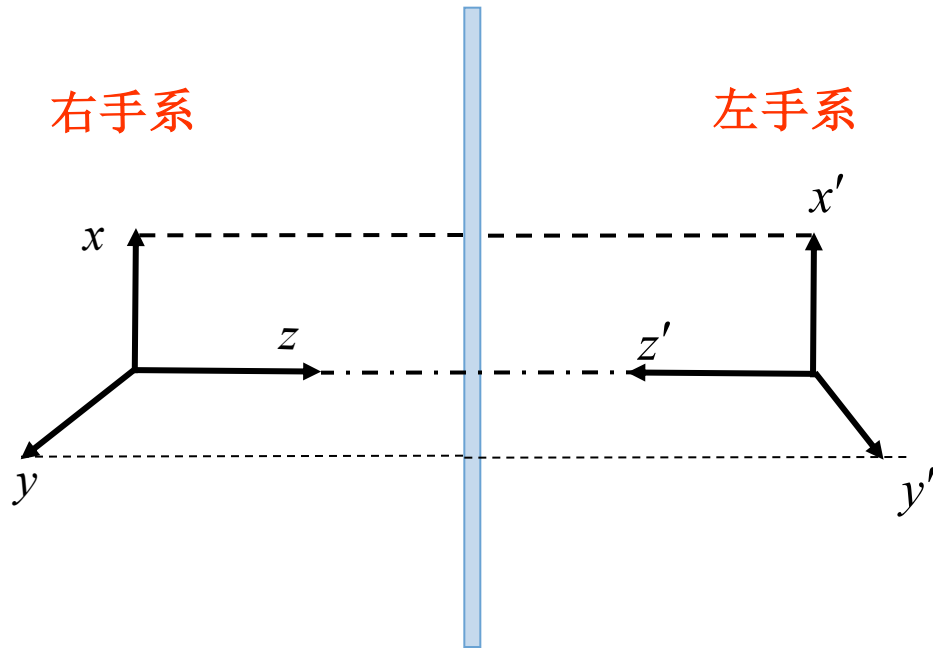
▲ 完善像

▲ 物像大小相等，正像，虚像

▲ 镜像：物像上下一致，
左右大小颠倒

奇数次反射：镜像；

偶数次反射：一致像。



几何光学-基本概念和公式复习

1. 基本定义

2. 几何光学基本定律

直线传播

独立传播

反射、折射定律

光路可逆

3. 光程与费马原理

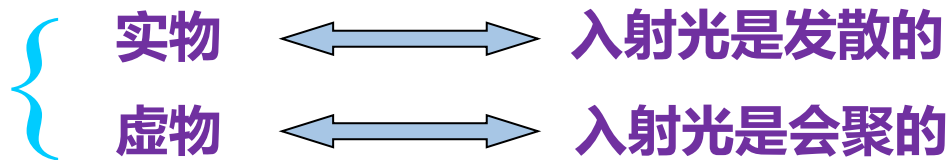
光线传播的几何路程与光线所在媒质的折射率的乘积为**光程**。

光传播的实际路径是使光程取极值(极小值、极大值或稳定值)。

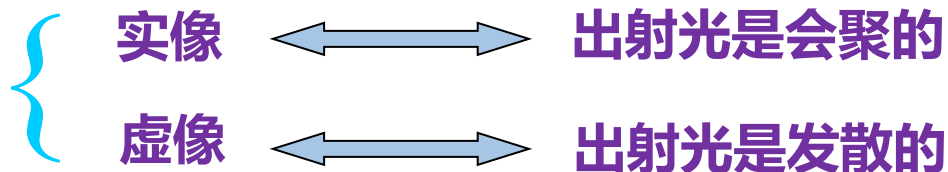
几何光学-基本概念和公式复习

4. 物象关系

物点：入射到光具组的光束的会聚点。 (物空间)



像点：从光具组出射的光束的会聚点。 (像空间)



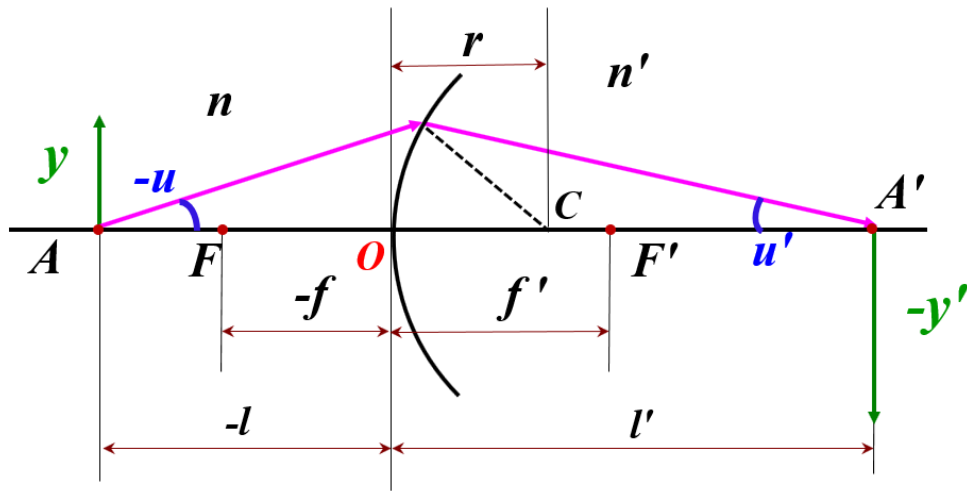
几何光学-基本概念和公式复习

5. 完善像

□ 若一个物点对应的一束同心光束，经光学系统后仍为同心光束，该光束的中心即为该物点的完善像点。

□ 完善像点的集合就是完善像；

6. 符号规则



几何光学-基本概念和公式复习

7.单球面近轴成像关系

单球面成像公式

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

折射球面

$$\frac{1}{l'} + \frac{1}{l} = -\frac{2}{r}$$

反射球面

单球面物、像方焦距

$$f = \frac{-nr}{n' - n}, f' = \frac{n'r}{n' - n}$$

折射球面

$$f = f' = -\frac{r}{2}$$

反射球面

几何光学-基本概念和公式复习

7.单球面近轴成像关系

□ 垂轴放大倍率

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{nl'}{n'l}$$

□ 轴向放大倍率

$$\alpha = \frac{dl'}{dl} = \frac{nl'^2}{n'l^2} = \frac{n'}{n} \beta^2$$

□ 角放大倍率

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

$$\alpha = \frac{n'}{n} \beta^2 \quad \alpha \cdot \gamma = \beta$$

□ 拉赫不变量

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

几何光学-基本概念和公式复习

8.理想光学系统

能够对**任意宽空间**内的**任意点**以**任意宽光束**成完善像的系统。

□ 确定一切物点的条件

- 已知光学系统的两对共轭面的位置及放大倍率。
- 已知光学系统的两对共轭点，一对共轭面的位置及放大倍率。

几何光学-基本概念和公式复习

8.理想光学系统

主点

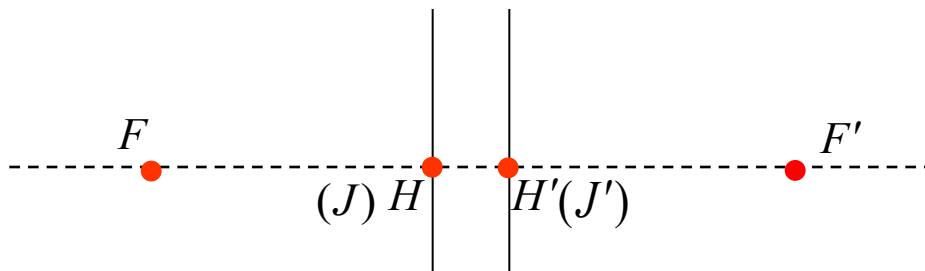
- 两个主点共轭 $\beta=1$
- 两主平面上的任一对等高点共轭

焦点

- 两焦点不共轭
- 焦点从主点量起

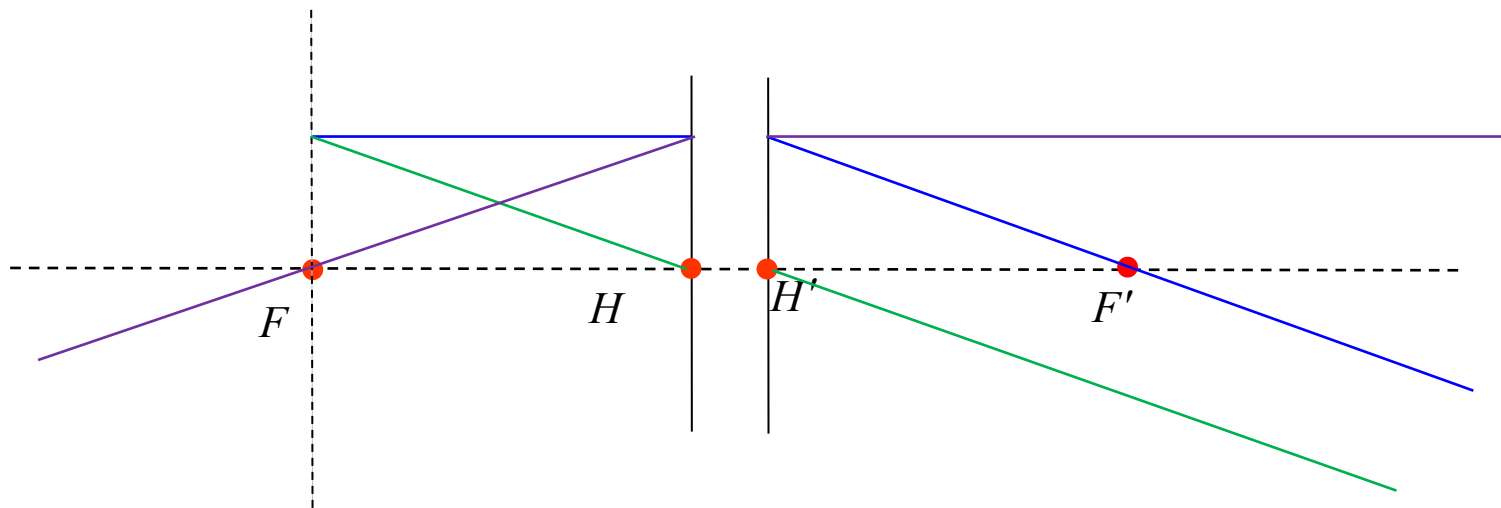
节点

- 两个节点共轭 $\gamma=1$
- 当成像系统的两边介质相同时，节点主点重合



几何光学-基本概念和公式复习

8.共轴理想光学系统 作图法



几何光学-基本概念和公式复习

8.共轴理想光学系统 解析法

□ 高斯公式

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

□ 牛顿公式

$$xx' = ff'$$

□ 焦距关系

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

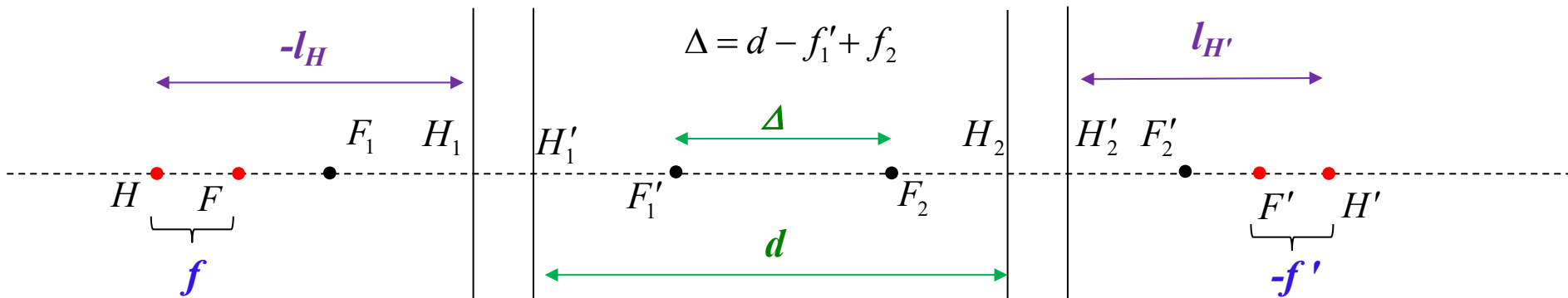
$$\begin{aligned}\beta &= \frac{nl'}{n'l} = -\frac{fl'}{f'l} \\ &= -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f'}\end{aligned}$$

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

$$\gamma = \frac{u'}{u} = -\frac{f}{f'} \cdot \frac{1}{\beta}$$

几何光学-基本概念和公式复习

9.共轴理想光学系统组合



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

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

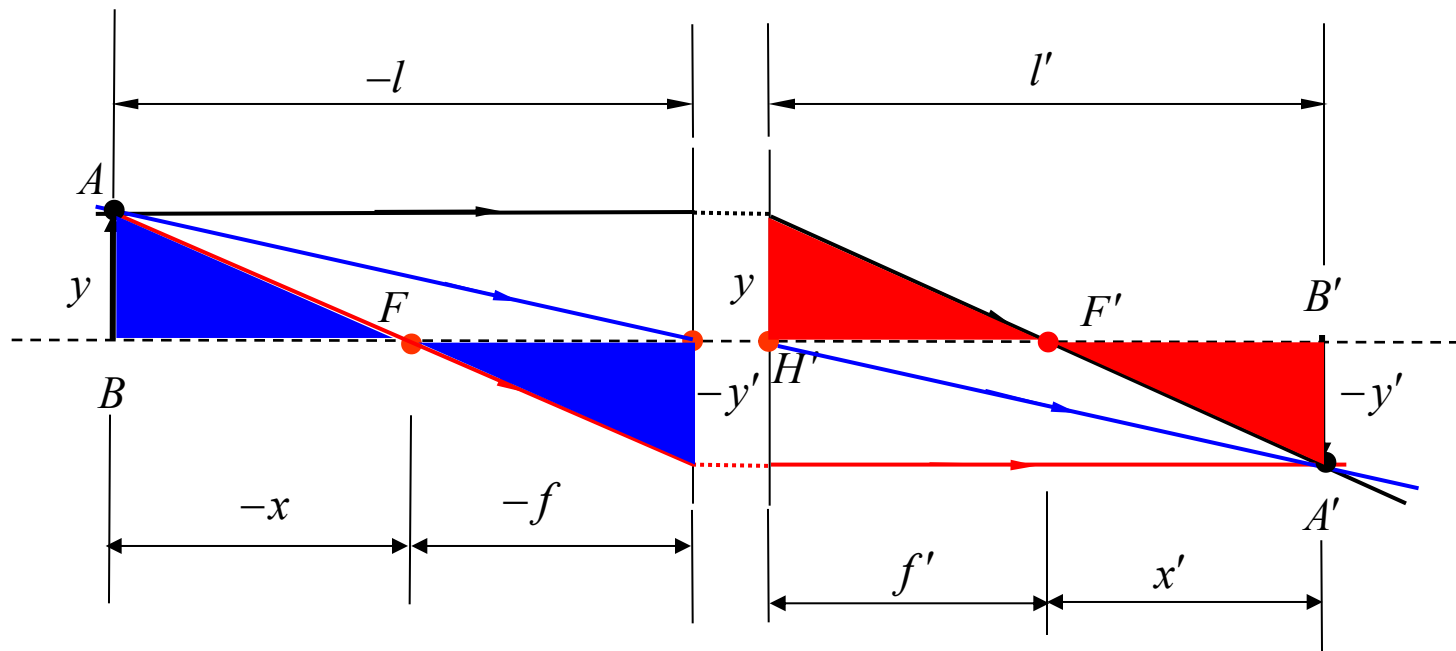
$$l'_H = -f' \frac{d}{f_1} = f_2 \frac{d}{\Delta}$$

几何光学-练习题

练习：共轭面上的垂轴放大率

1、主平面 $\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f'}$

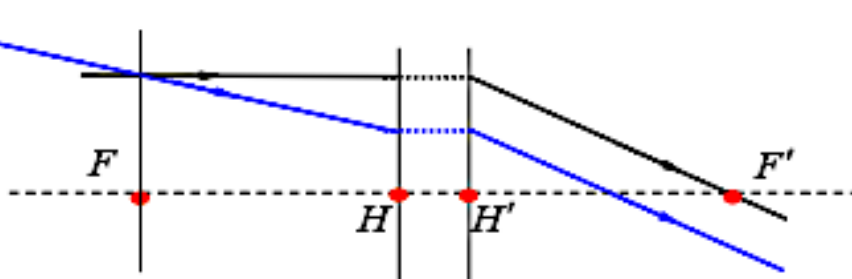
$x_H = -f \quad x'_H = -f' \quad \beta = +1$



练习：共轭面上的垂轴放大率

2、焦平面(物方) $\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f'}$ $x_H = 0$ $x'_H = \infty$ $\beta = \pm\infty$

表示：物方焦平面上有限的物高成像为无限大的像，且位于无限远处



思考： $\pm$ 什么含义？ 正立、倒立

提示：位于焦点的两侧之物，其成像的特点？

练习：共轭面上的轴向放大率

1、主平面

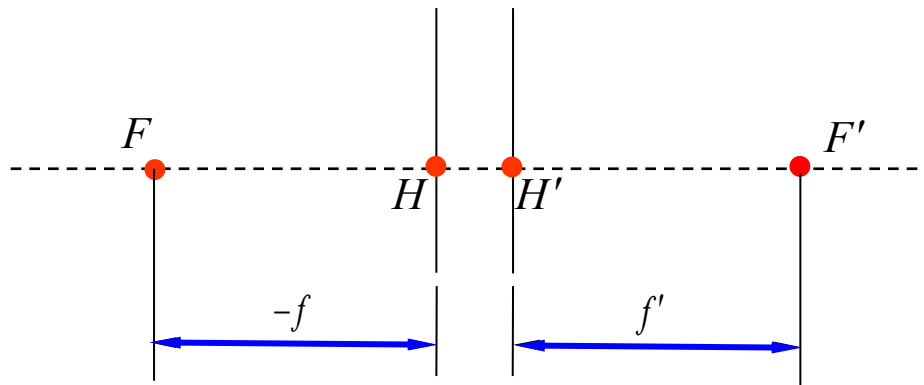
$$\alpha = \frac{dx'}{dx} = -\frac{x'}{x} = -\frac{x'}{f'} \cdot \frac{f}{x} \cdot \frac{f'}{f} = -\beta^2 \cdot \frac{f'}{f}$$

$n = n'$

$\longrightarrow$

$$\alpha = \beta^2 = 1$$

思考：意义是什么？

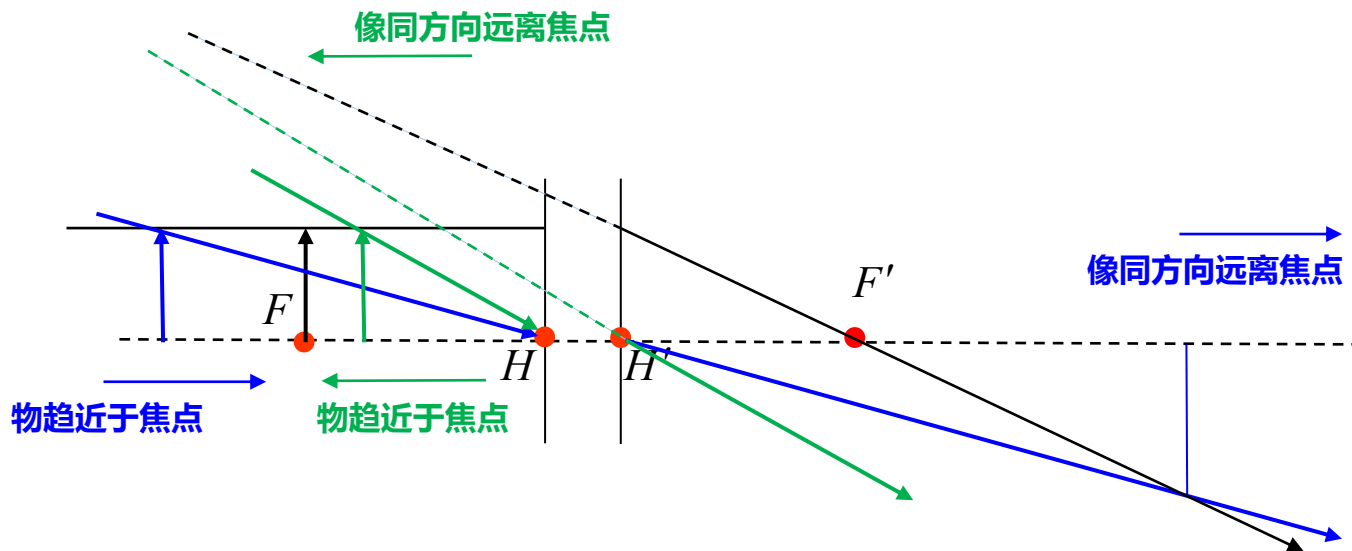


练习：共轭面上的轴向放大率

2、焦平面（物方） $\alpha = \beta^2 = +\infty$

思考： ∞ 什么含义？

表示：物在物方焦平面附近做很小的位移，其像发生无限大的位移



练习：共轭面上的**轴向**放大率

3、找寻

$$\alpha = \frac{dx'}{dx} = -\frac{x'}{x} = 1$$

$$xx' = ff'$$



$$x = \pm\sqrt{|ff'|}$$

$$x' = \mp\sqrt{|ff'|}$$

思考：意义是什么？

表示：物在 $x = \pm\sqrt{ff'}$ 附近移动**很小**的距离，其像也发生**相等距离**的移动

思考： $f=f'$ 时？什么情况

练习：共轭面上的角放大率

1、主平面 $\frac{y'}{y} = \frac{nu}{n'u'}$

$$\gamma = \frac{u'}{u} = \frac{ny}{n'y'} = \frac{n}{n'} \cdot \frac{1}{\beta} = \frac{n}{n'} \quad \xrightarrow{n = n'} \quad \gamma = 1$$

表示：系统物像空间位于同一介质中，节点与主点重合。

练习：共轭面上的角放大率

2、焦平面（物方）

$$\gamma = \frac{u'}{u} = \frac{ny}{n'y'} = \frac{n}{n'} \cdot \frac{1}{\beta}$$

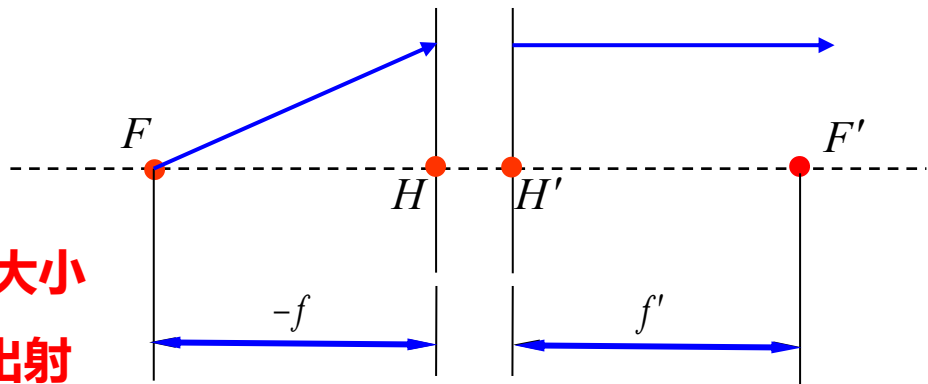
$$\frac{f}{f'} = -\frac{n}{n'}$$

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

$$\gamma = \frac{x}{f'} = \frac{f}{x'}$$

思考： $x = 0$ 时，物在何处？ 此时 $\gamma = ?$

表示： 由物方焦点发出的与光轴成有限大小角度的光线，经过系统后平行于主光轴出射



练习：共轭面上的角放大率

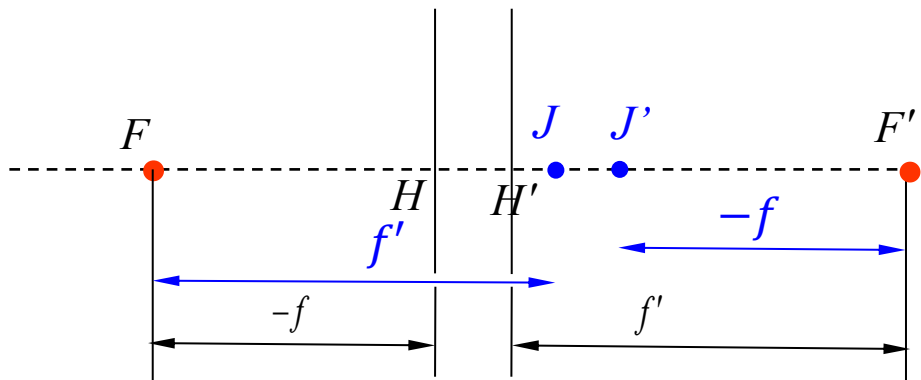
3、找寻 $\gamma = 1 = \frac{x}{f'} = \frac{f}{x'}$

$x_J = f'$ 表示：物方节平面的位置

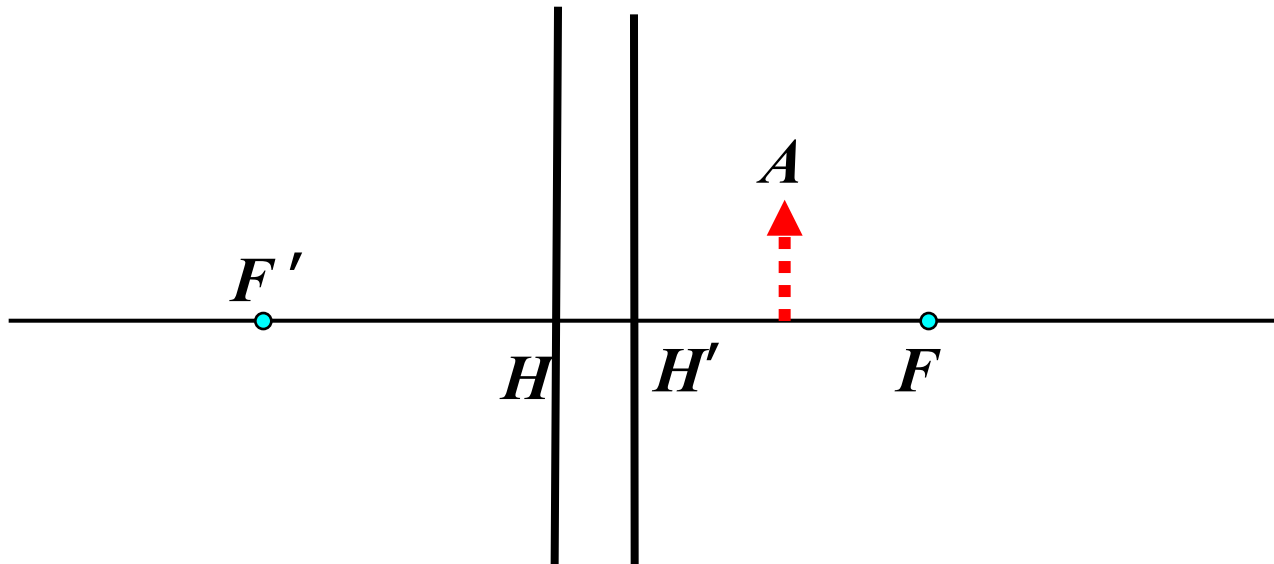
$f' > 0$ 表示：物方节平面在物方焦点的右侧

$x'_J = f$ 表示：像方节平面的位置

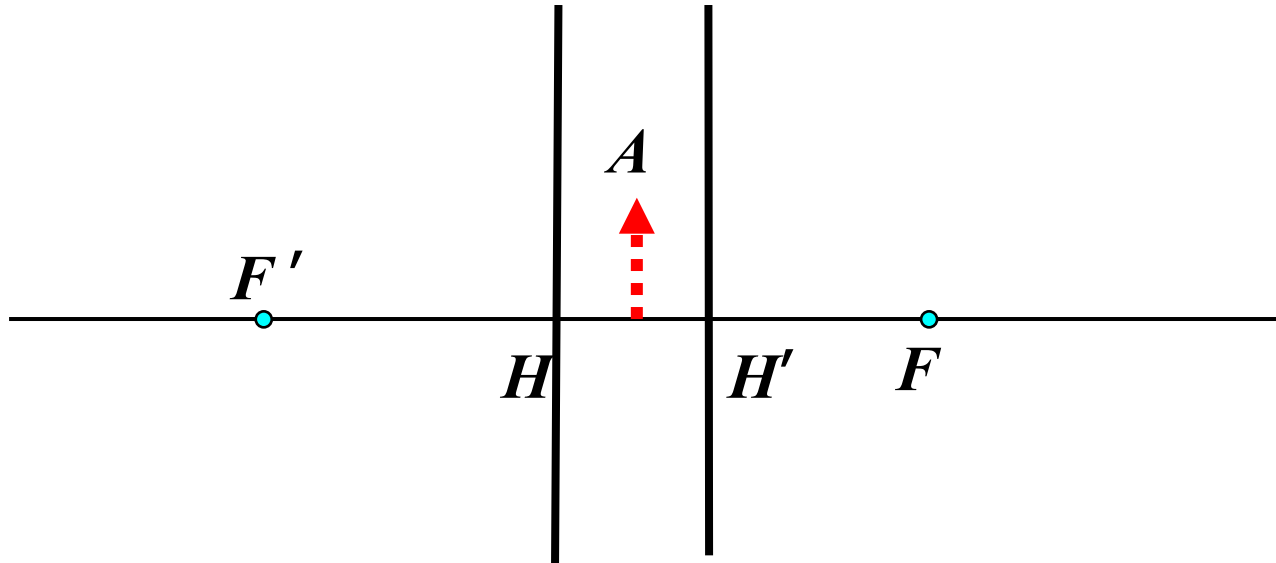
$f < 0$ 表示：像方节平面在像方焦点的左侧



练习题

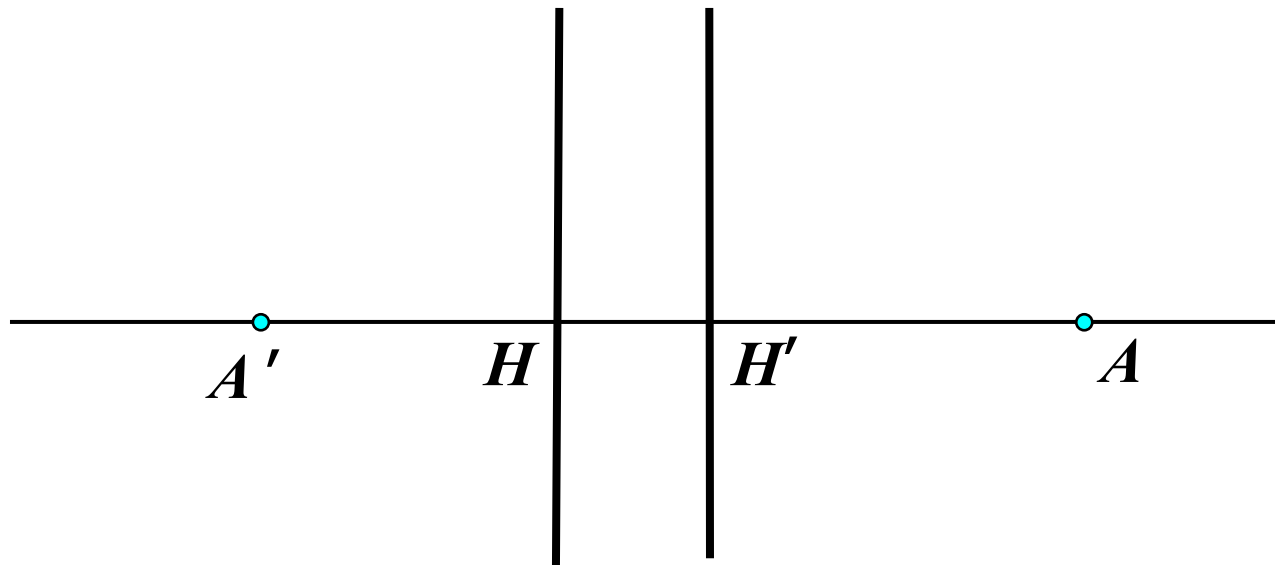


练习题



练习题

已知主平面和一对共轭点，找出系统的焦点



练习题

电影放映机镜头的焦距 $f' = 120 \text{ mm}$, 影片画面尺寸 22 (高) $\times$ 16 (宽) mm, 幕布大小为 $6.6 \times 4.8 \text{ m}$, 问电影机应放置离幕布多远处?

如果放映机要放置在幕布前 50 m 处, 应使用多大的焦距的镜头?