

§2.4 单球面成像与单薄透镜成像(2.1, 2.2, 2.3)

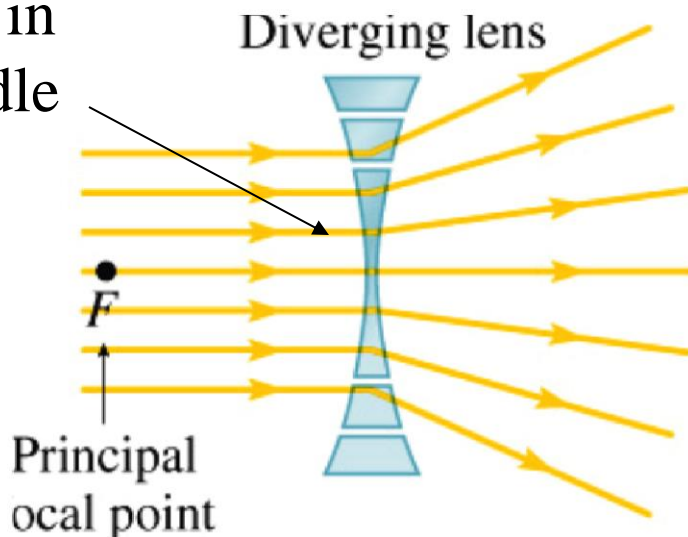
单薄透镜成像 (2.3)

- * **什么是薄透镜??**

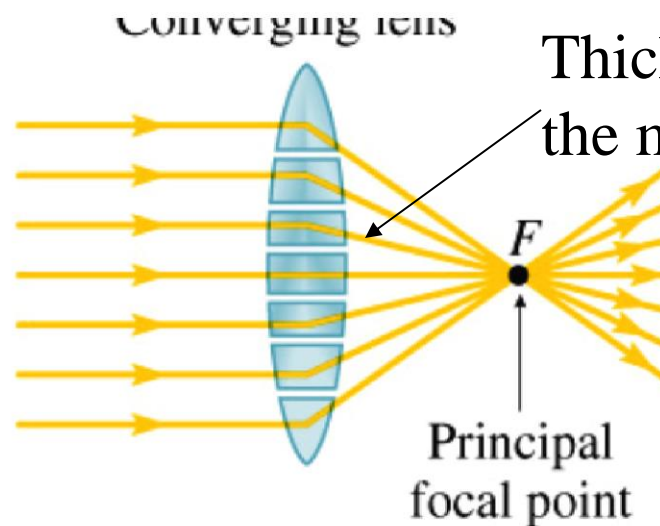
- * 透镜由两个共轴折射球面组成，分凸凹两类。凡中央部分比边缘部分厚者，叫凸透镜；凡中央部分比边缘部分薄者，叫凹透镜。
- * 当镜面中央厚度与曲率半径之比可忽略时，称为薄透镜。
- * 两曲率中心的连线叫主轴。
- * 在薄透镜中，由于厚度可忽略，两折射球面的顶点重合，叫光心。

透镜分类 Lens classification

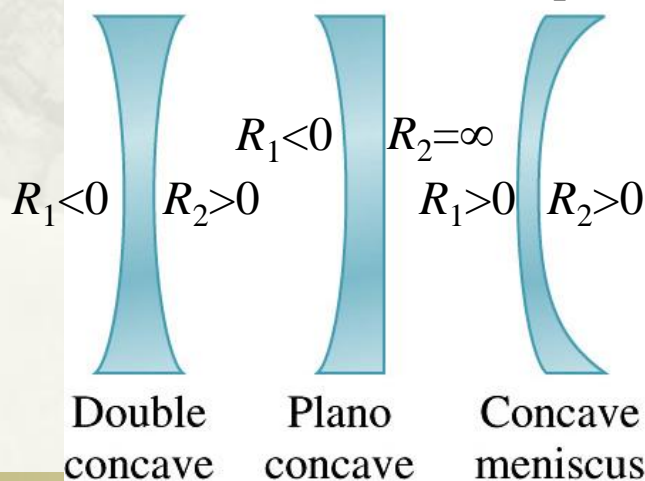
Thinner in the middle



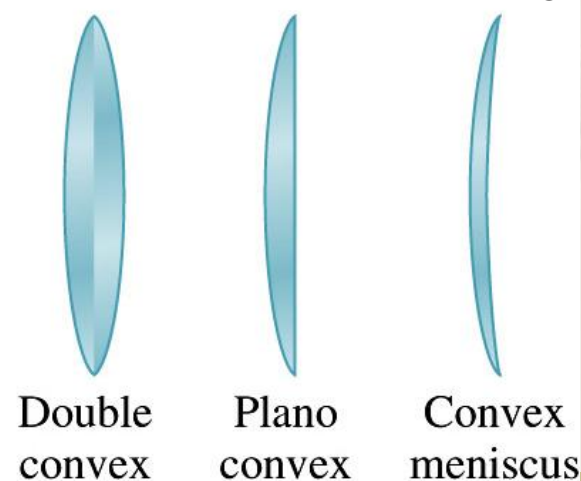
Thicker in the middle



Diverging lenses (positive)



Converging lenses (negative)



$$\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = \frac{n' - n}{R}$$

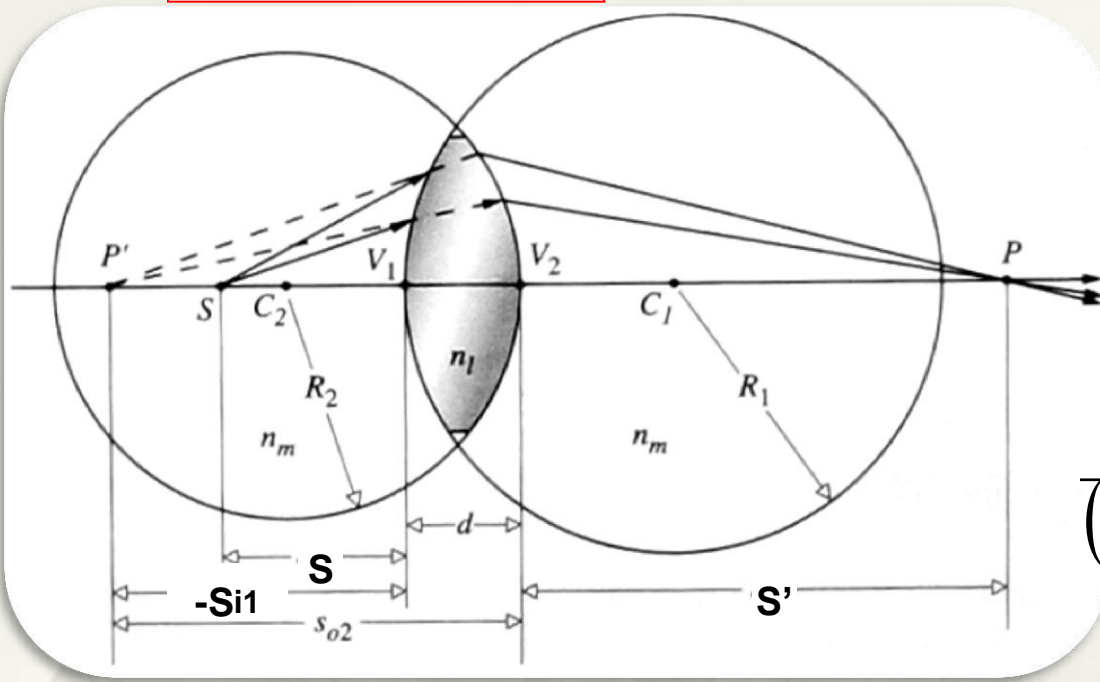
单一薄透镜物象关系：焦距公式

对于第一个球面：

$$\frac{n_m}{s} + \frac{n_l}{s_{i1}} = \frac{n_l - n_m}{R_1}$$

第二个球面

$$\frac{n_l}{(-s_{i1} + d)} + \frac{n_m}{s'} = \frac{n_m - n_l}{R_2}$$



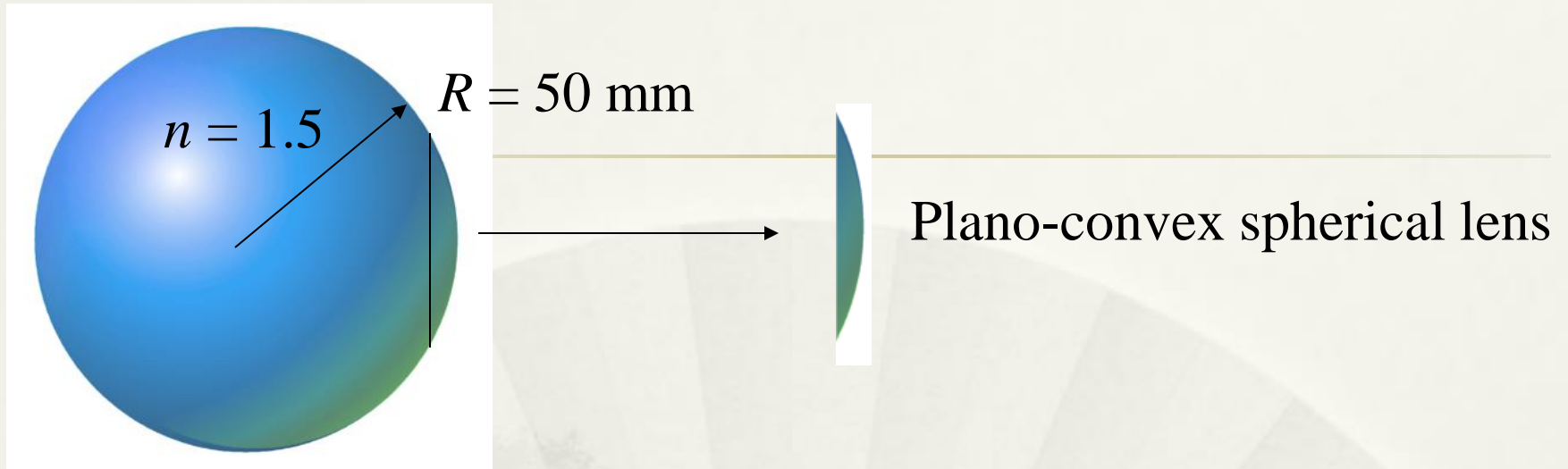
两个式子相加，并引入如下假设： $n_m=1$ (air) and $d \rightarrow 0$:

磨镜者公式
(Lensmaker formula)

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = (n_l - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = P$$

P为薄透镜的光焦度

课堂练习



What is a focal length of this lens?

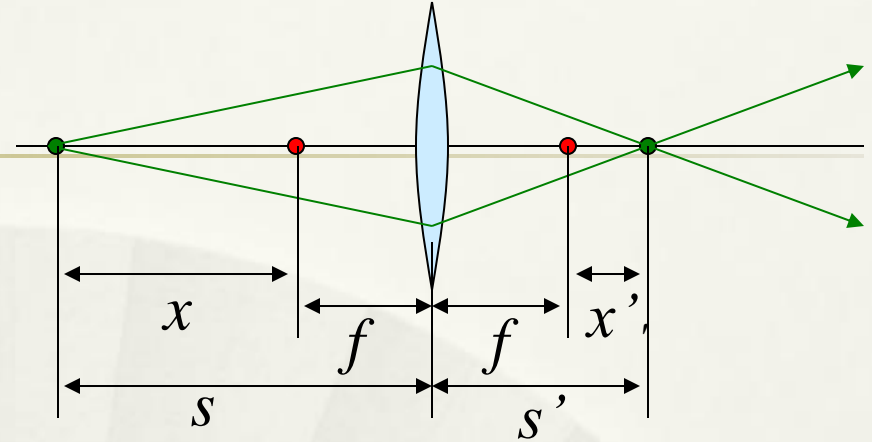
Solution

$$\frac{1}{f} = (n_l - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = (1.5 - 1) \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{-50 \text{ mm}} \right) = 1/100 \text{ mm}$$

$$f = 100 \text{ mm}$$

单一薄透镜物象关系：焦距公式的各种形式

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = (n_l - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$



Find focal lengths ($s \rightarrow \infty$, or $s' \rightarrow \infty$) \rightarrow
 $f = f' \equiv f$

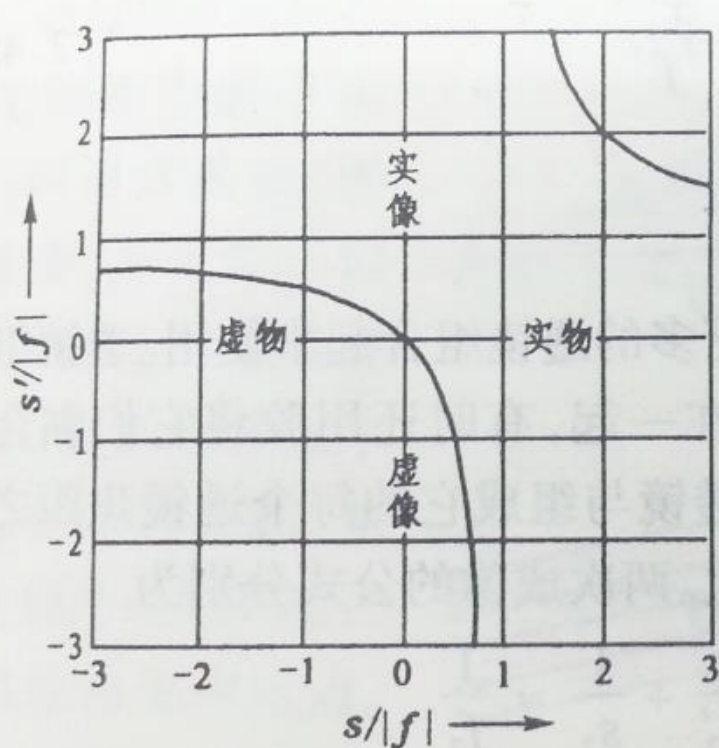
$$\frac{1}{f} = (n_l - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

高斯Gaussian lens formula:

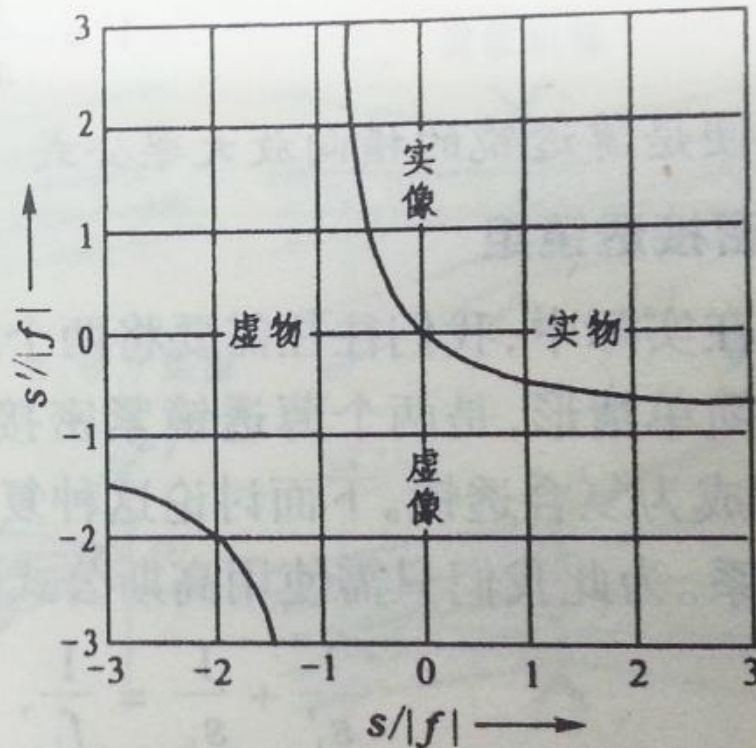
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

牛顿形式Newtonian form: $x x' = f^2$
(注意x的符号, 参考规则3,4)

薄透镜的物像关系相图



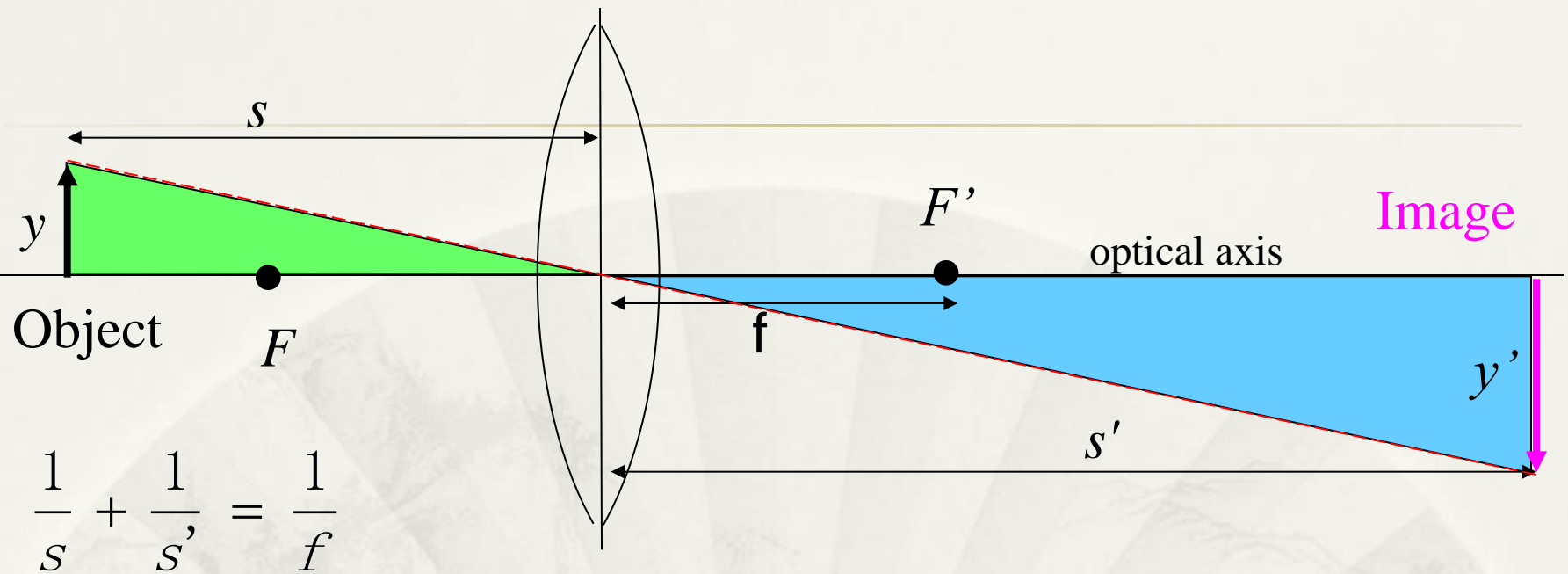
a 凸透镜



b 凹透镜

图 2 - 13 薄透镜的物像关系

单一薄透镜物象关系：横向放大率



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

绿色和蓝色三角形相似

例子: $f=10\text{ cm}$, $s=15\text{ cm}$

$$\frac{1}{15\text{cm}} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{10\text{cm}} \longrightarrow$$

$$s' = 30\text{ cm} \quad V = -\frac{30\text{cm}}{15\text{cm}} = -2$$

横向放大率

$$V \equiv \frac{y_i}{y_o} = -\frac{s_i}{s_o}$$

\uparrow
 T = transverse

$V > 0$: 正立; < 0 : 倒立
 $|V| > 1$: 放大; < 1 : 缩小

课题练习

2-18. 一凸透镜的焦距为 12 cm, 填充下表中的空白, 并作出相应的光路图。

物距 s/cm	-24	-12	-6.0	0	6.0	12	24	36
像距 s'/cm	8	6	4	0	-12	∞	24	18
横向放大率 V	1/3	1/2	2/3	1	2	$-\infty$	-1	-1/2
像的虚实	实	实	实	—	虚	实	实	实
像的正倒	正	正	正	正	正	倒	倒	倒

2-19. 一凹透镜的焦距为 12 cm, 填充下表中的空白, 并作出相应的光路图。

物距 s/cm	-24	-12	-6.0	0	6.0	12	24	36
像距 s'/cm	-24	∞	12	0	-4	-6	-8	-9
横向放大率 V	-1	∞	2	1	2/3	1/2	1/3	1/4
像的虚实	虚	实	实	—	虚	虚	虚	虚
像的正倒	倒	正	正	正	正	正	正	正

单一薄透镜物象关系：作图法

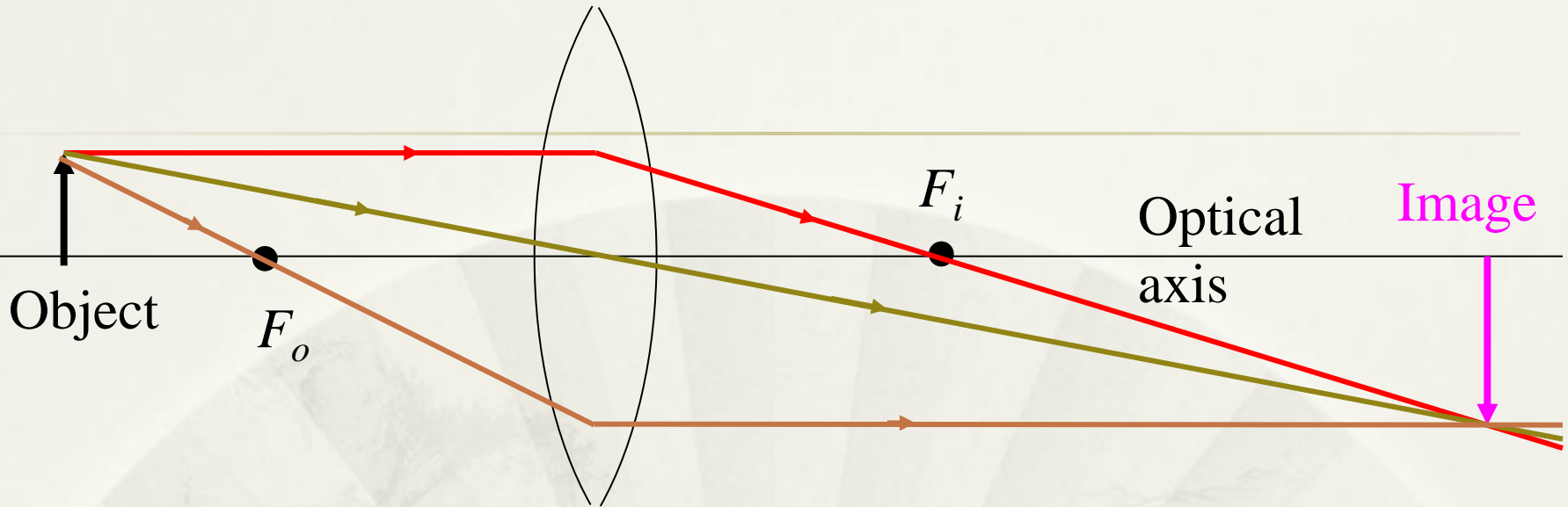
对于已知薄透镜的焦距时，可采用作图法。对轴外物点P，可选择下列三对共轭光线中的任意两对。

过光心的入射光 P_0 ，出射时仍按原方向传播；

平行于主轴的入射光，出射时过像方焦点 F' ；

过物方焦点 F 的入射光，出射时平行于主轴。

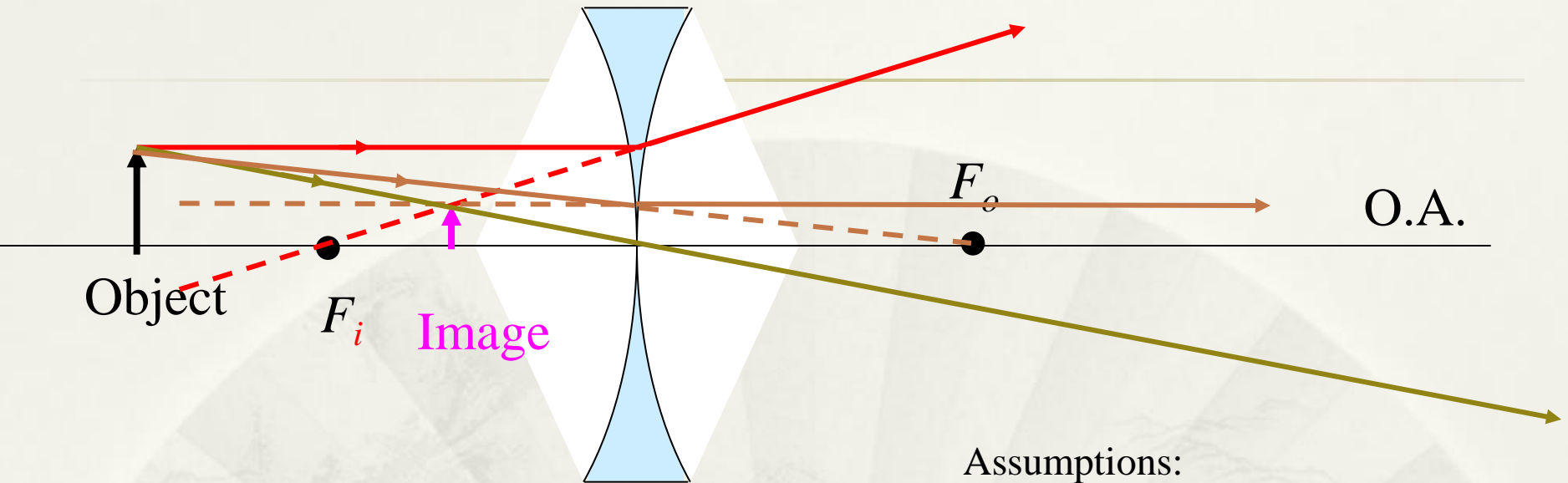
例子1 凸透镜



- 1) Rays **parallel** to principal axis pass through focal point F_i .
- 2) Rays through **center** of lens are not refracted.
- 3) Rays **through** F_o emerge parallel to principal axis.

上图：倒立放大实像 Inverted, Enlarged, and Real Image

例子2 凹透镜



Assumptions:

- paraxial monochromatic rays
- thin lens

Principal rays:

- 1) Rays **parallel** to principal axis appear to come from focal point F_i .
- 2) Rays through **center** of lens are not refracted.
- 3) Rays **toward** F_o emerge parallel to principal axis.

上图：正立缩小虚像 Upright, Reduced, and Virtual Image

单一薄透镜物象关系：作图法

对于轴上的物点P，有两种方法作图可求出其像点P'

将P点移离主轴（垂直），求出像点后再将像点移回主轴上即得P'。

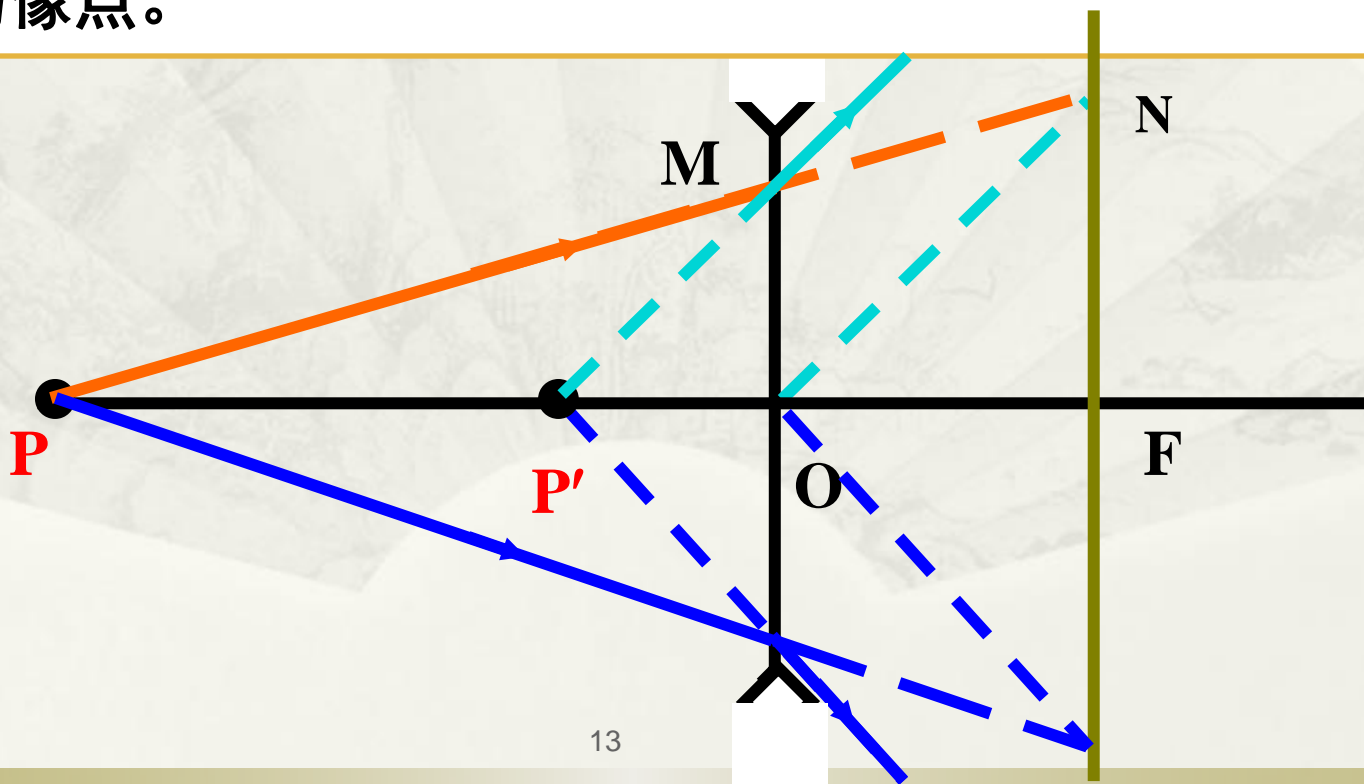
利用焦平面作图。

- 所谓**焦平面**，即是过焦点且垂直于主轴的平面。因焦点的不同，分为物方焦平面和像方焦平面。
- **焦平面的性质（参考教材P51图2-15）：**
物方焦平面上任一点P发出的光经过薄透镜后，出射光必为平行光，**方向为P0方向**；
任意角度入射的平行光，出射时必汇聚于像方焦平面上一点（光路可逆）。

单一薄透镜物象关系：作图法

凹透镜例子（物方焦面法）

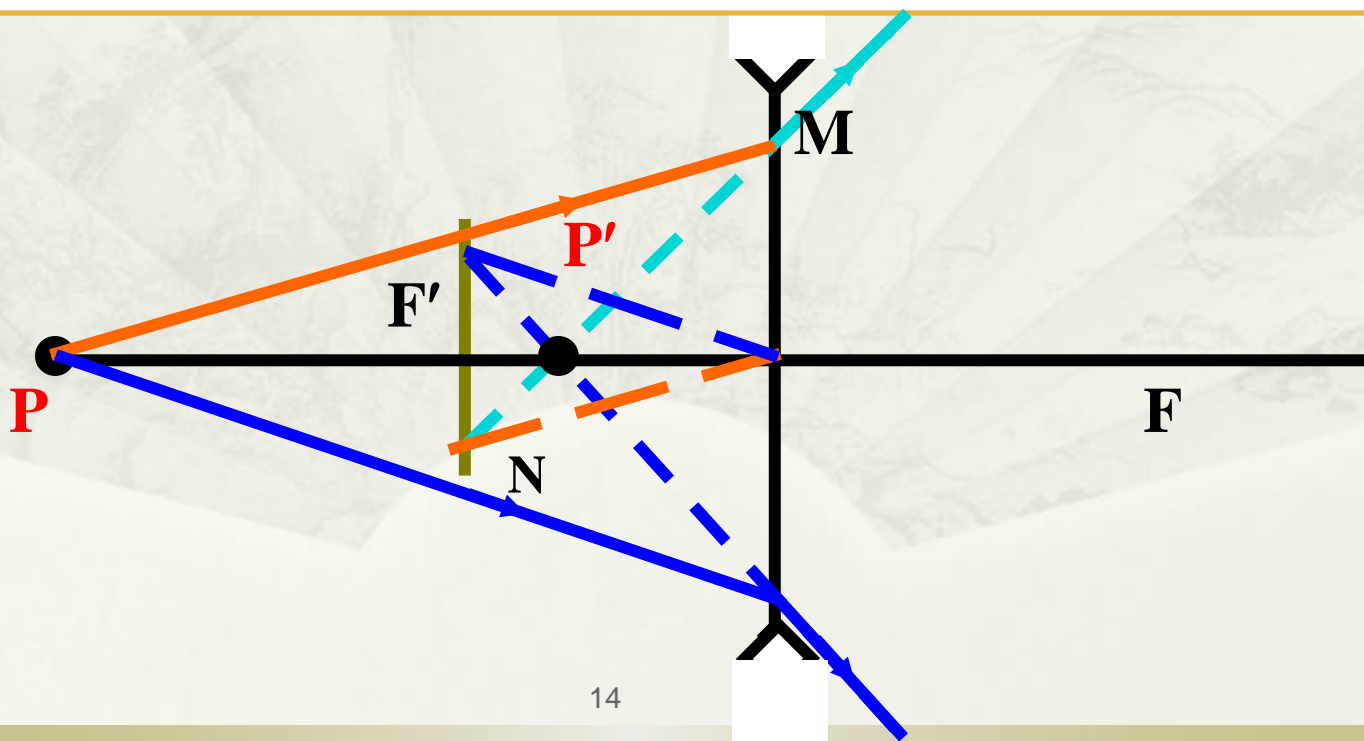
1. 任作一条光线**PM**；
2. 延长至物方焦平面F于N, 连接ON；
3. 过M做一与ON的平行线即为出射光，其交于主轴P'即为像点。



单一薄透镜物象关系：作图法

凹透镜例子（像方焦面法）

1. 任作一条光线**PM**；
2. 过光心作一与PM的平行线交像方焦平面 F' 于N；
3. 连接**MN**，即为出射光，其交于主轴**P'**即为像点。



Homework 3 (due date Mar 16)

- * 教材
- * 思考题P93 2-5
- * 习题P95 2-10, 2-22, 2-23