



大学物理
第十九章

第十九章

第十九章 几何光学



勘误:

- (1). P132: “三、薄透镜作图法” 应为
“四、薄透镜作图法”.
- (2). P133例题19.2, 第三行“左侧18cm” 应为
“左侧21cm”.
- (3). P139习题1, “焦距为15mm” 应为
“焦距为15cm”.
- (4). P139习题3的参考答案 应为
(1) 285.5mm, (2) 665.5mm.
- (5). P139习题4, 缺少条件(物镜焦距), 无法做, 删去.
- (6). P139习题5, 参考答案 应为 $m=100$.



§ 19.1 几何光学基本定律

大学物理

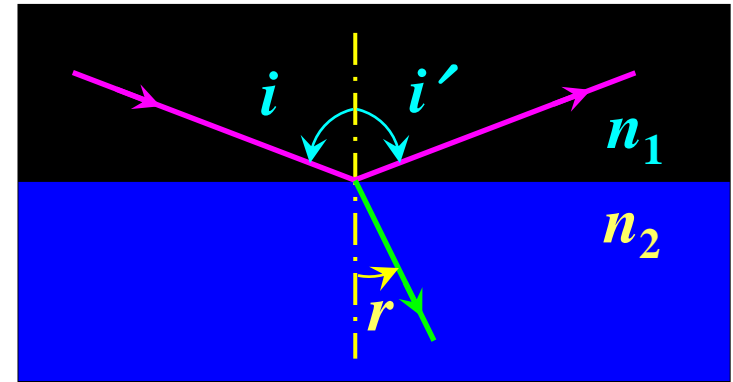
一、几何光学的基本定律

1. 直线传播定律

2. 反射定律 $i=i'$

3. 折射定律 $n_1 \sin i = n_2 \sin r$

折射率越大, 角度越小



二、费马原理(最小时间原理)

光沿着光程为极值的路径传播

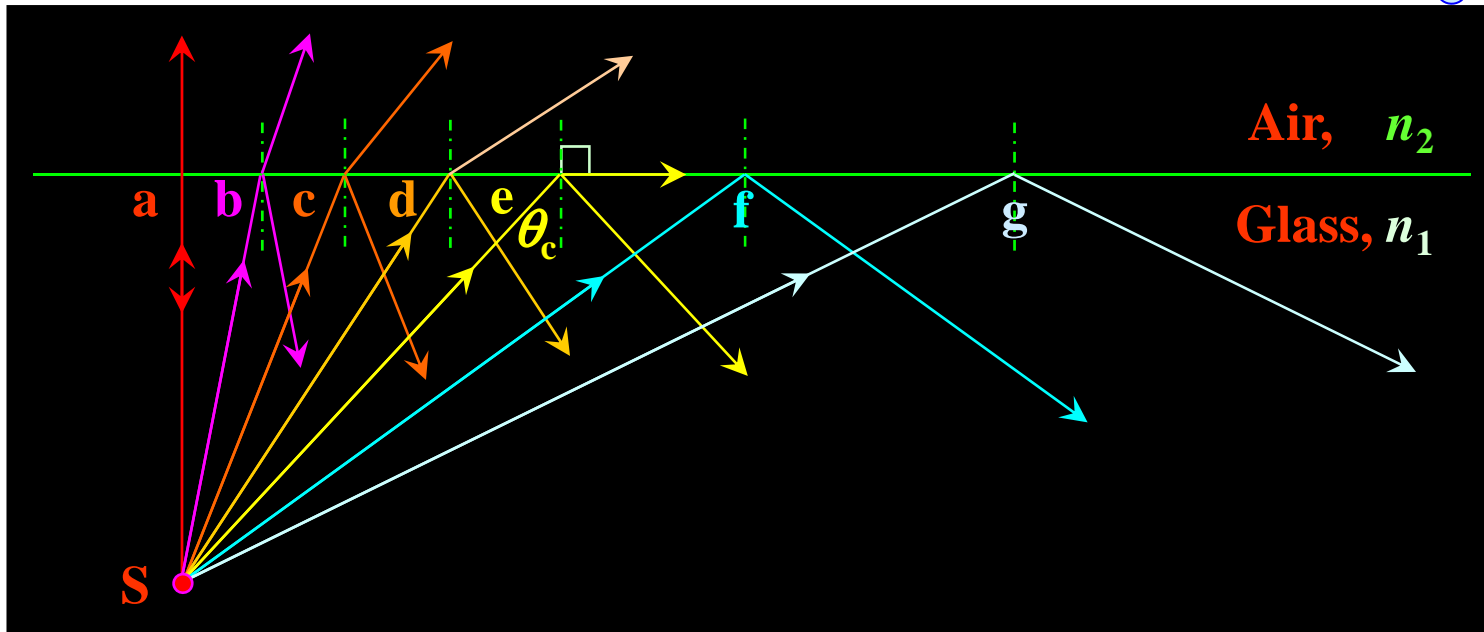
光学性质均匀的介质中 **光程** $l = nr$

不均匀的介质中 $dl = n(r)dr$ $l = \int_A^B n(r)dr$

费马原理数学式 $\delta \int_A^B n(r)dr = 0$



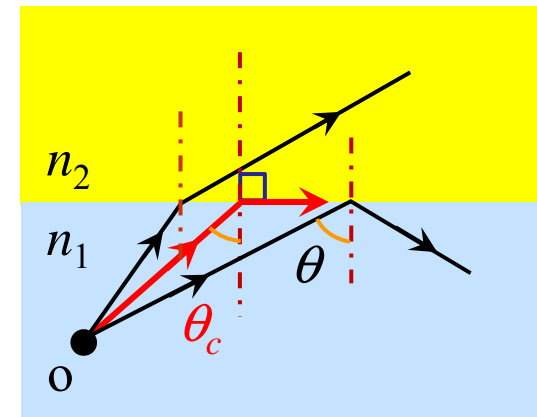
§ 19.2 全内反射



当光从光密介质 n_1 进入光疏介质 n_2 ,
入射角 $r > \theta_c$ (临界角)时, 出现全反射.

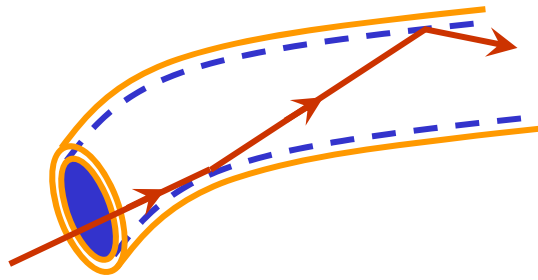
$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ \quad n_1 > n_2$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad n_1 > n_2$$



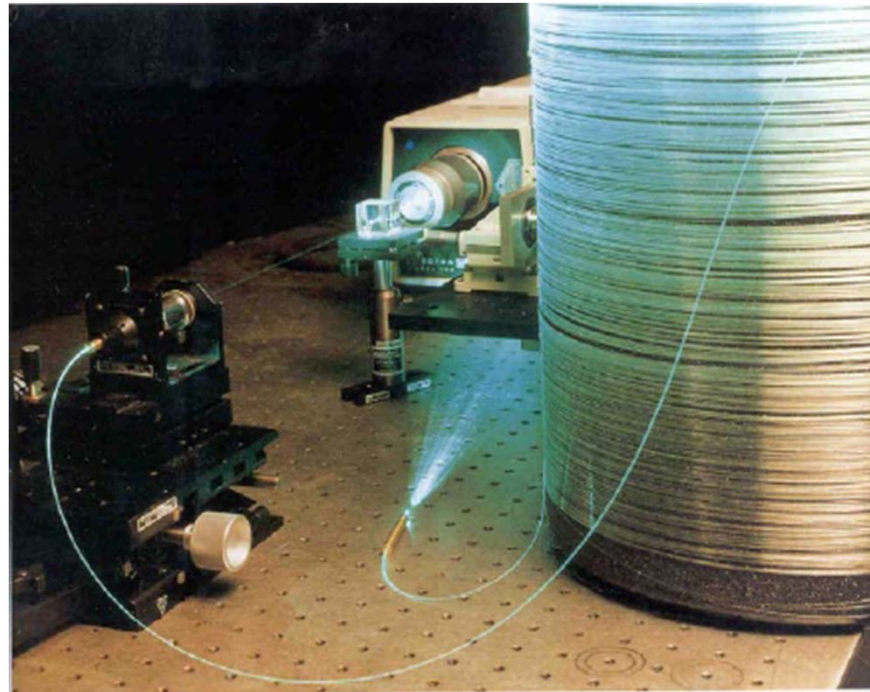


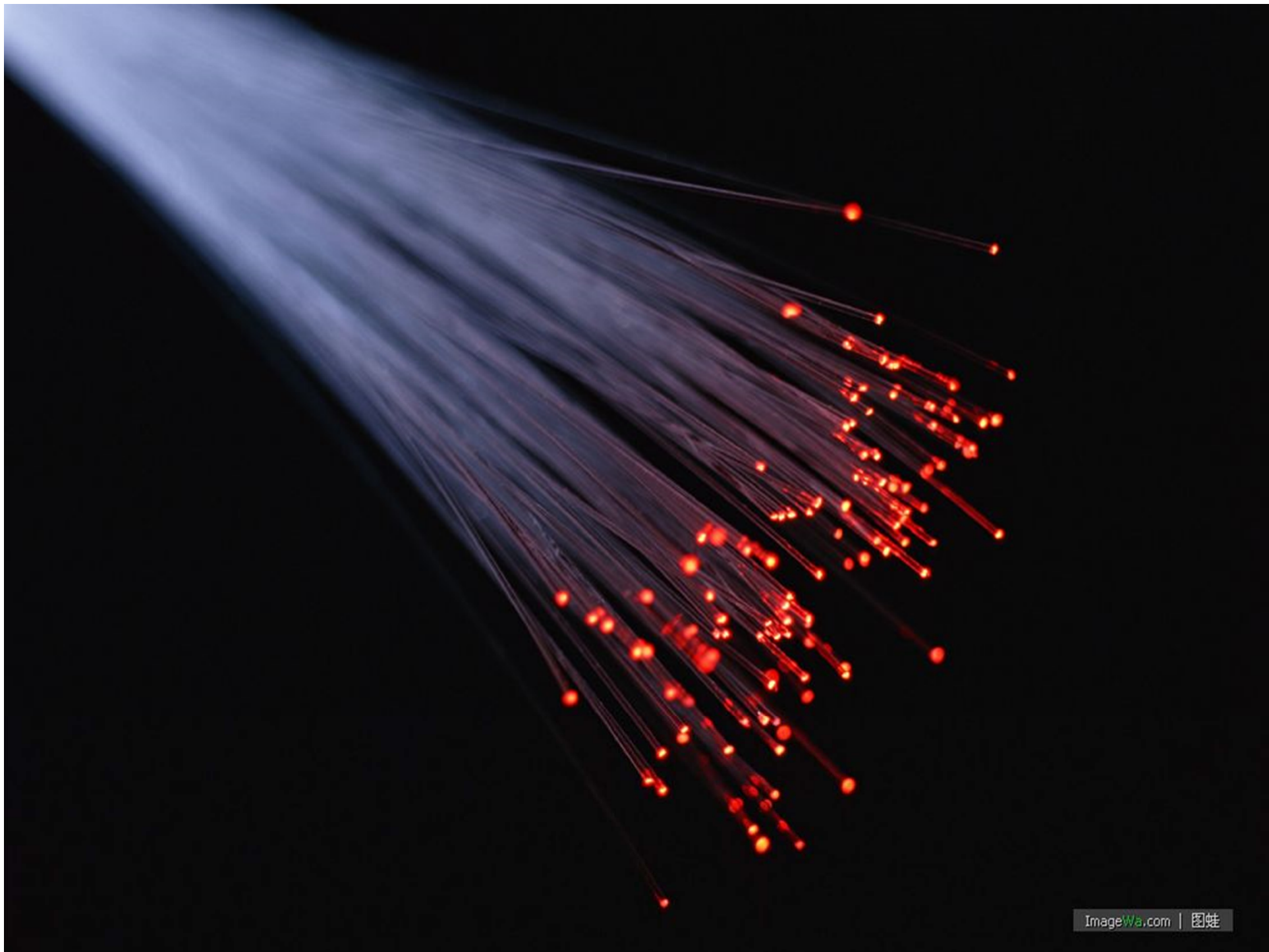
光纤(光导纤维)



由两种介质构成同轴圆柱体，多股光纤做成光缆常用于通信。

主要特点：损耗低、频带宽、容量大、抗干扰能力强、保真度高等。







几何光学成像 { 反射光的成像 透射光的成像

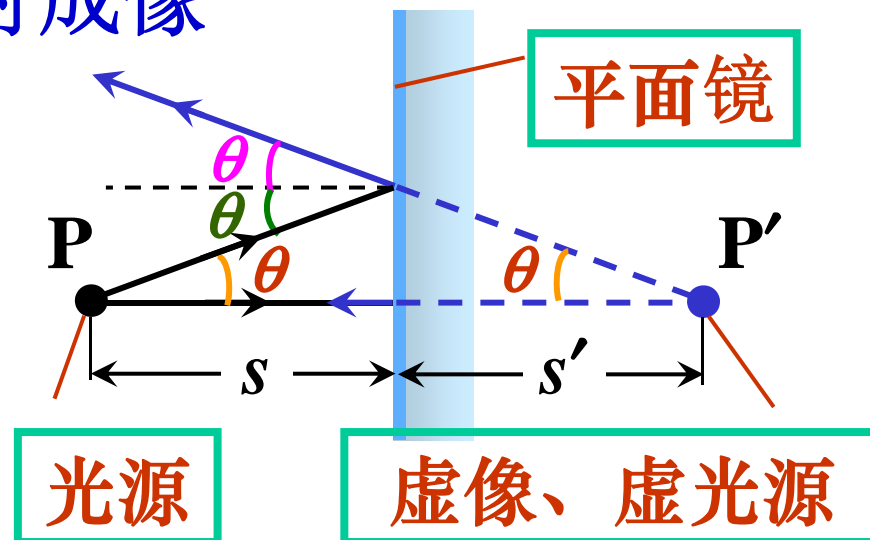
大学物理

§ 19.3 反射成像

一、平面镜反射成像

P' 是光源 P 的像
物距等于像距

$$s = -s'$$

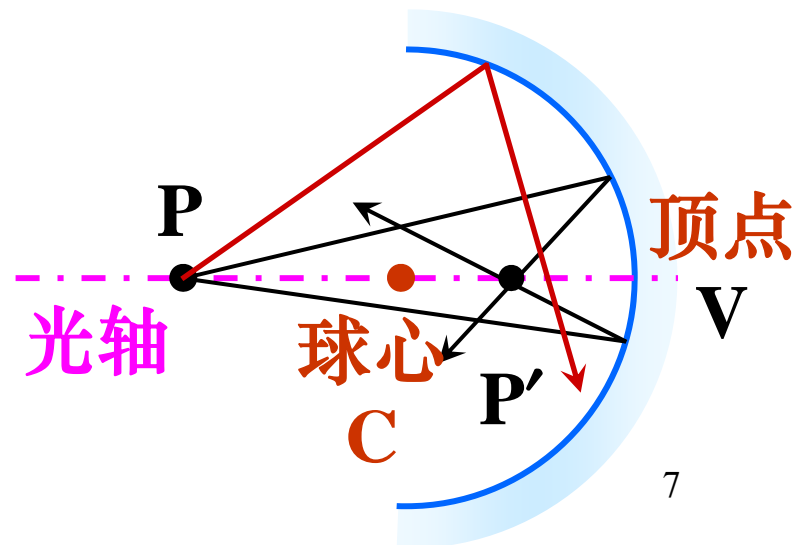


二、球面镜反射成像

光轴: 光源 P 与球心 C 的连线

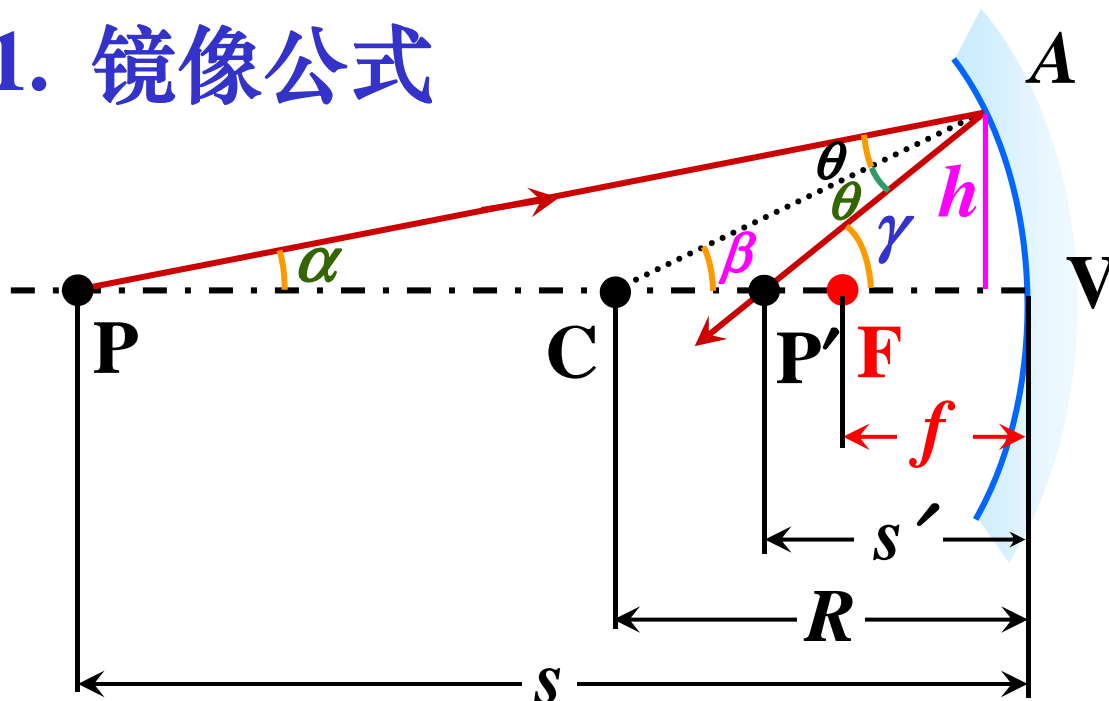
实像 P' : 近轴光线形成

球面像差: 非近轴光线引起





1. 镜像公式



几何关系

$$\beta = \alpha + \theta$$

$$\gamma = \beta + \theta$$

消去 θ

$$\alpha + \gamma = 2\beta$$

近轴光线

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \approx h/s \\ \beta \approx h/R \\ \gamma \approx h/s' \end{array} \right.$$

镜像公式

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$

(1) 焦点F、焦距f: $s \rightarrow \infty$ 时, $s' = f = R/2$
 $s = f = R/2$ 时, $s' \rightarrow \infty$

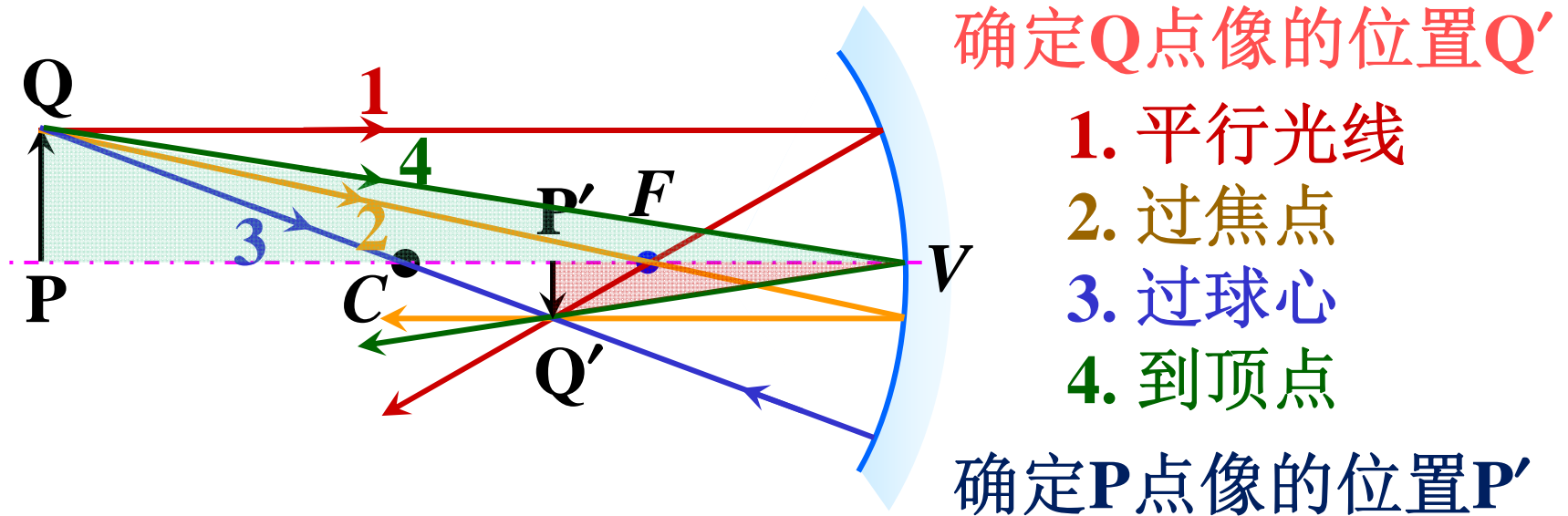
(2) 凹面镜、凸面镜 (f, R 为负) 都成立

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



2. 作图法 横向放大率

作图法: 用4条光线确定像的位置



像的性质: 正、倒立; 实、虚像; 放大、缩小

横向放大率: 垂直光轴方向上
像与物的线度之比

$$m = \frac{P'Q'}{PQ} = -\frac{s'}{s}$$

因为通过V点的光线入射角等于反射角



三、符号法则

大学
物理

1. **物距**: 物与入射光线在界面的**同侧**, s 为**正**, **实物**;
反之, s 为负, 虚物.
2. **像距**: 像与出射光线在界面的**同侧**, s' 为**正**, **实像**;
反之, s' 为负, 虚像.
3. **曲率半径** R : 曲率中心 C 与**出射光线**在界面的**同侧**,
 R 为**正**, 反之 R 为负.
4. **焦距** f : F_1 与**入射光**、 F_2 与**出射光线**在界面的**同侧**,
 f 为**正**, 反之 f 为负.
5. **横向线段**: 垂直于光轴的横向线段, **光轴上方为正**,
光轴下方为负.



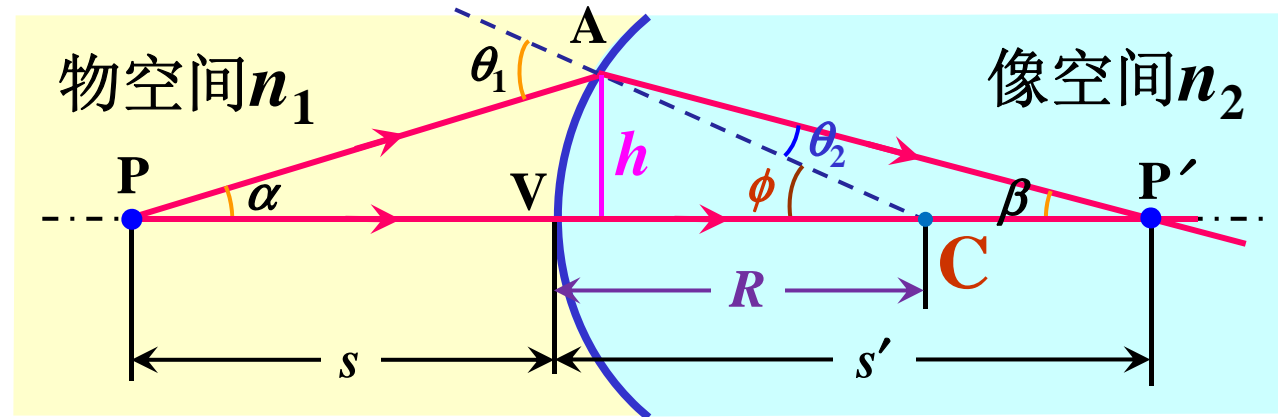


大学物理

§ 19.4 单球面折射成像

第十九章

物空间
像空间



折射定律 $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ 近轴光线 $n_1 \theta_1 = n_2 \theta_2$

几何关系 $\phi = \theta_2 + \beta \rightarrow \theta_2 = \phi - \beta \quad \theta_1 = \alpha + \phi$

$$n_1(\alpha + \phi) = n_2(\phi - \beta)$$

$$n_1 \alpha + n_2 \beta = (n_2 - n_1) \phi$$

近轴光线 $\alpha \approx \frac{h}{s} \quad \phi \approx \frac{h}{R} \quad \beta \approx \frac{h}{s'}$

成像公式
高斯公式

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

单球面折射
成像公式

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

第一焦距 f_1

$$s = f_1, s' = \infty$$

第一焦点或
物方焦点 F_1

物方焦距

$$\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{\infty} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

$$f_1 = \frac{n_1}{n_2 - n_1} R$$

第二焦距 f_2

$$s = \infty, s' = f_2$$

第二焦点或
像方焦点 F_2

像方焦距

$$\frac{n_1}{\infty} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

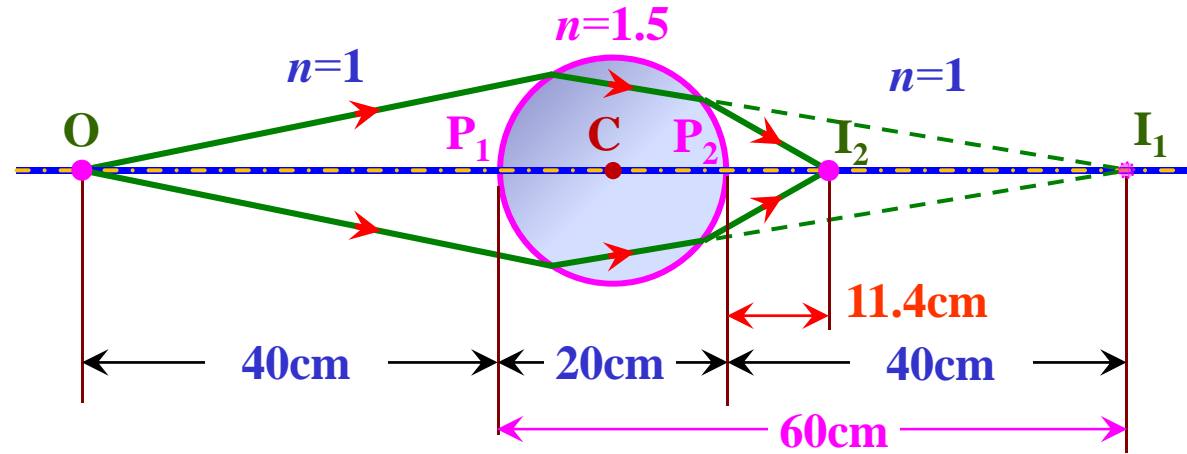
$$f_2 = \frac{n_2}{n_2 - n_1} R$$

$$f_1 \neq f_2$$





例：一玻璃球($n=1.5$)半径为10厘米,点光源放在球面前40厘米处,求近轴光线通过玻璃球后所成的像.



解：

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R} \quad \frac{1}{40} + \frac{1.5}{s'_1} = \frac{1.5 - 1}{10}$$

$$s'_1 = 60 \text{ (cm)} \quad s_2 = d + (-s'_1) = 20 + (-60) = -40 \text{ (cm)}$$

$$\frac{1.5}{-40} + \frac{1}{s'_2} = \frac{1 - 1.5}{-10}$$

$$s'_2 = 11.4 \text{ (cm)}$$



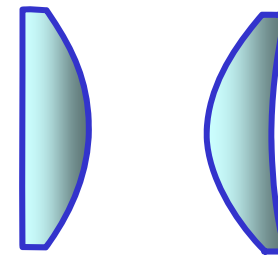
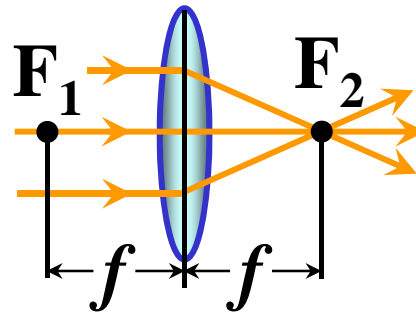
§ 19.5 薄透镜

透镜： 由两个球面构成的光学器件.

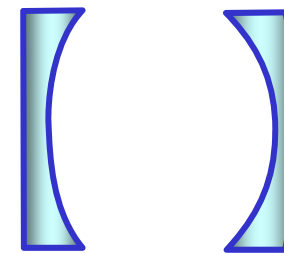
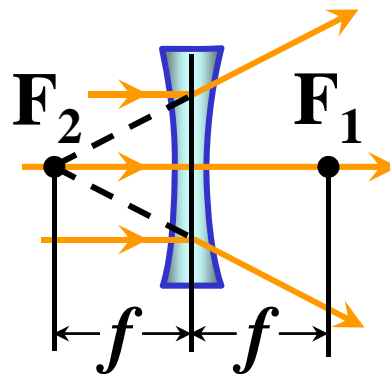
薄透镜： 厚度可以忽略的透镜.

一、正透镜和负透镜

会聚透镜
正透镜

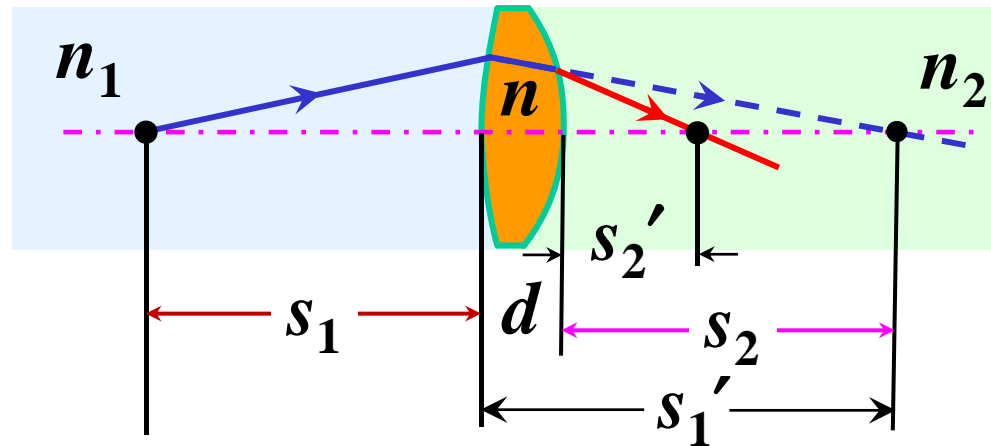


发散透镜
负透镜





二、薄透镜成像公式



$$\frac{n_1}{s_1} + \frac{n}{s_1'} = \frac{n-n_1}{R_1}$$

$$\frac{n}{s_2} + \frac{n_2}{s_2'} = \frac{n_2-n}{R_2}$$

设 $s_2 = d + (-s_1') \approx -s_1'$, $n_1 = n_2 = n_0$, $s_1 = s$, $s_2' = s'$

1. 磨镜者公式

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{n-n_0}{n_0} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

注意: R_1 和 R_2 的符号由符号规则确定!



2. 焦距 f 第一焦距 f_1
 第二焦距 f_2

$$s = f_1, s' = \infty$$

$$s = \infty, s' = f_2$$

$$f = f_1 = f_2 = \left[\frac{n - n_0}{n_0} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \right]^{-1}$$

3. 透镜成像高斯公式

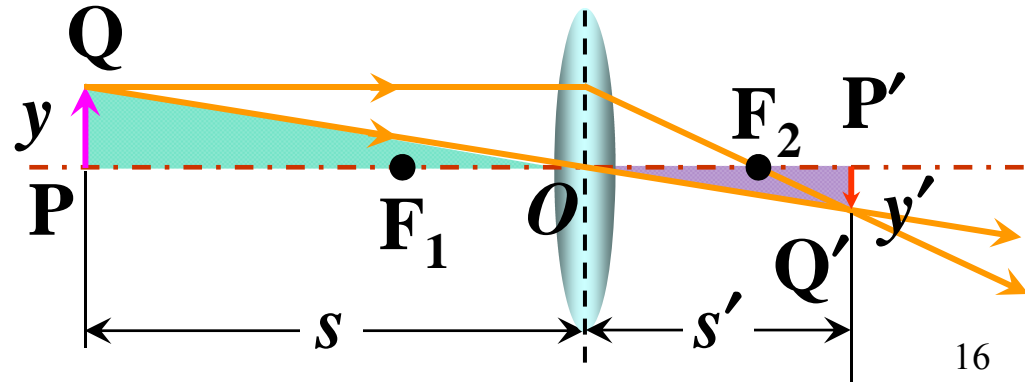
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

4. 横向放大率 m

$$\Delta QPO \sim \Delta Q'P'O$$

$$m = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$

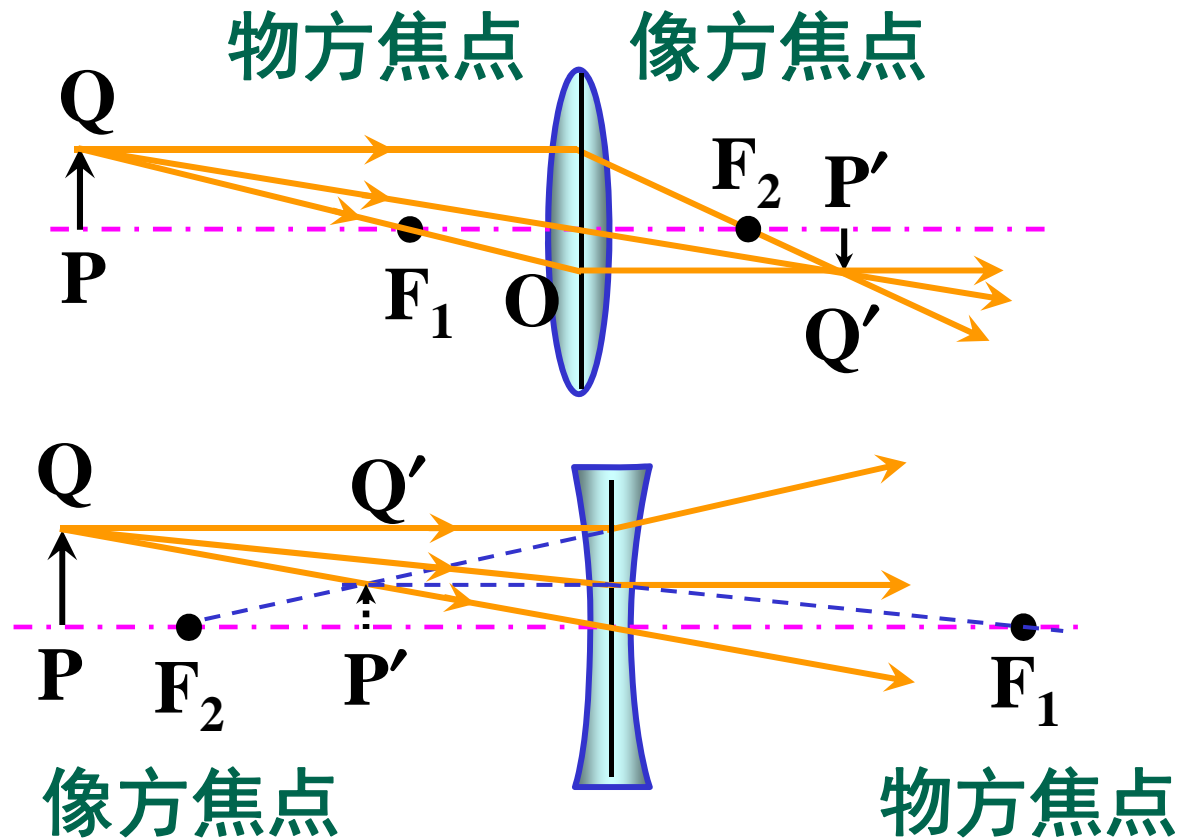
$s, s' > 0$ 时
 为倒立像





三、薄透镜作图法

利用三条主光线：①平行光线；
②过透镜中心的光线；
③过第一焦点的光线



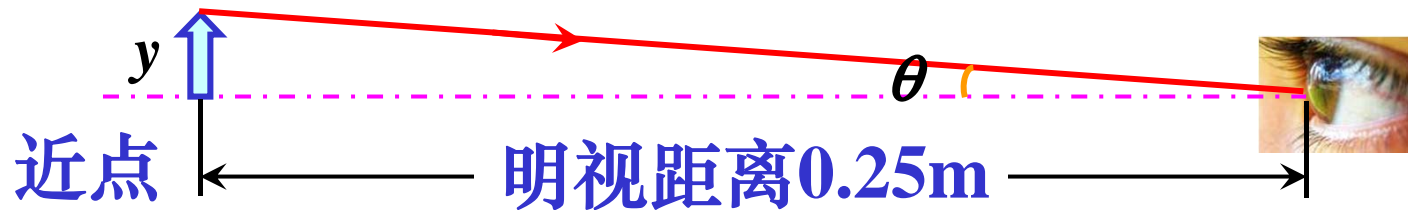


§ 19.6 光学器件

一. 放大镜

人眼的视力: $0.25\text{m} \sim \infty$

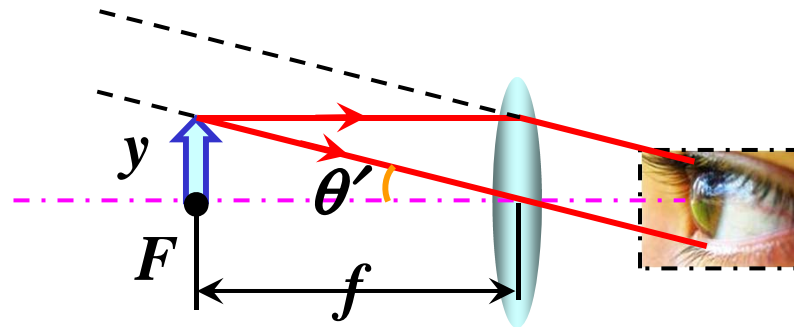
单个正透镜是最简单的放大镜, 用于放大物对人眼的张角.



$$y = 0.25 \tan \theta = f \tan \theta' \approx f \theta' = 0.25 \theta$$

$$m_{\theta} = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{0.25}{f}$$

角放大率

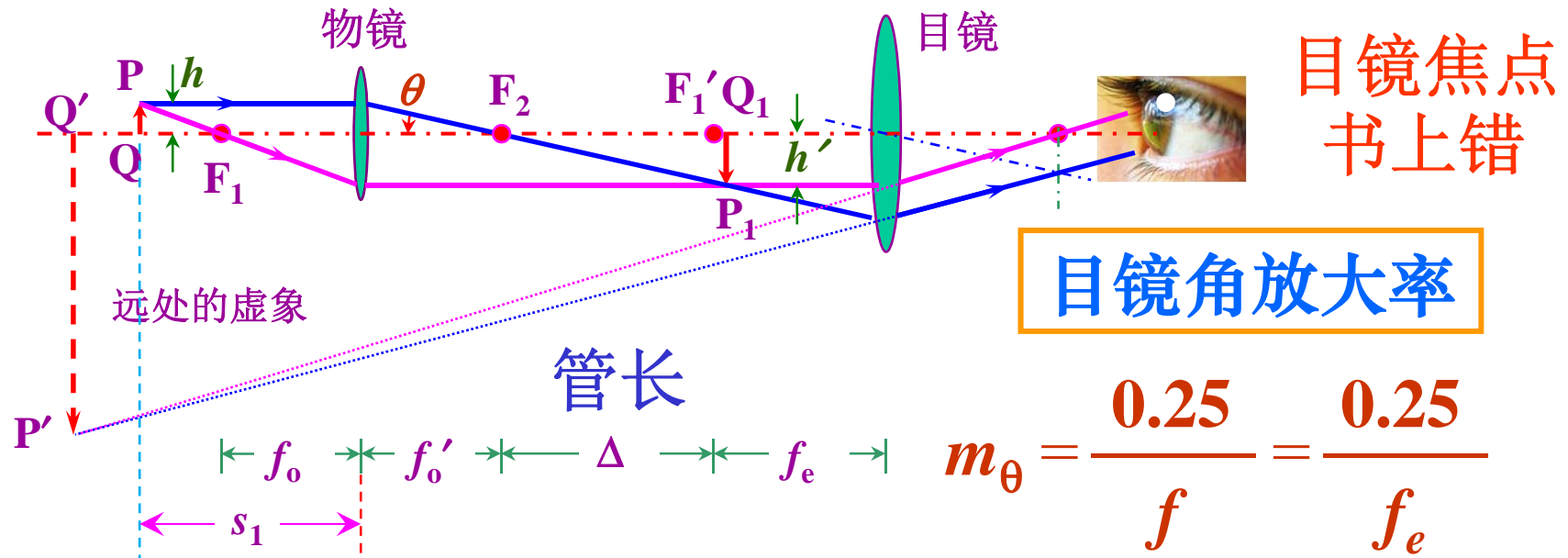




二. 显微镜

可获得较大的放大率以观察微小物体透镜系统。

大学物理



物镜横向放大率

$$m = -\frac{s'_1}{s_1} \approx -\frac{f_o + \Delta}{s_1} \approx -\frac{S}{f_o}$$

显微镜放大率

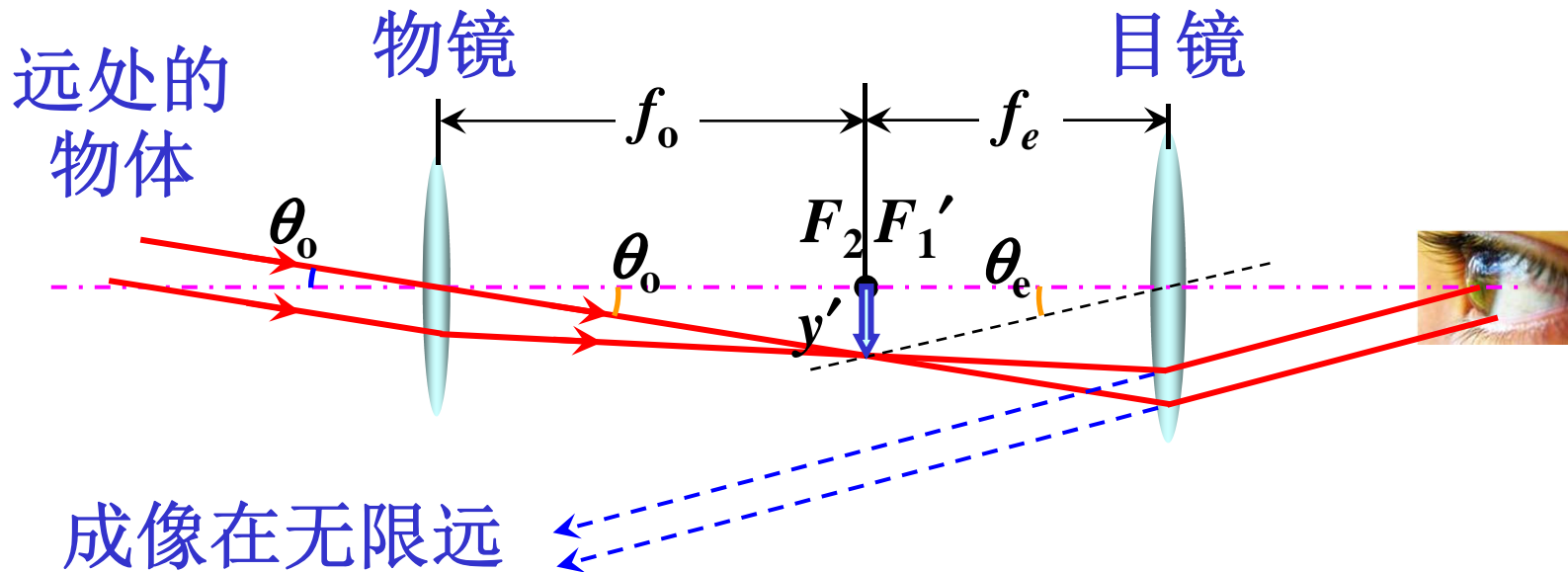
$$M = m \times m_{\theta} = -\frac{0.25S}{f_o f_e}$$

事实上 s_1 与 f_o 的差距还是比较大的, $S = f_o + \Delta$



三. 望远镜

物镜第二焦点 F_2 与目镜第一焦点 F_1' 重合.
远处物体的平行光线经物镜在焦点 F_2 处成倒立实像, 经目镜后于无限远处成倒立虚像.



$$\theta_o = -y'/f_o$$

$$\theta_e = y'/f_e$$

角放大率

$$m_\theta = \frac{\theta_e}{\theta_o} = -\frac{f_o}{f_e}$$



大学
物理
结束

第十九章

第十九章结束