§2.1 有关成像的基本概念

光学系统的成像是几何光学的主要问题。

- i° 许多光线集中表现为光束

  若光束中各光线本身或其延长线交于同一点，则称之为同心光束。我们谈到的点光源和平行光线均是同心光束（平行光交于无穷远）。
- ii° 光学系统一般由若干反射和折射面构成

成像：若同心光束以O为中心，经光线系统后转化为另一同心光束以O′为中心。可以说O成像于O′；O为物点，O′为像点；其中O′若是会聚光束的交点，则称为实像点，若是发散光束的延长线交点，则称为虚像点。

- iii° 物点O亦分为实物点和虚物点

  相对光线系统而言，称发散同心光束之交点为实；会聚同心光束之交点为虚。

- iv° 一般光线系统均不具同心性

 同心光束经过光线系统后不能严格成像于一点。以后谈到的光学系统成像均是有条件的近似。

 平面镜成像是严格成像的例子。

- v° 虚、实像均能被人眼看到，但只有实像能用屏幕接收。
- vi° 物点和像点互称为共轭点（conjugate points）

根据光路可逆性，若把物点O移至像点O′处，则通过光线系统，用反向光入射，O′将成像于O处。

- vii° 相对光学系统，物点组成的空间叫物方（物空间）；像点组成的空间叫像方（像空间）
- viii° 物点O与像点O′之间的各光线的光程均相等，称为物像之间的等光程原理。它是费马原理中光程为常数的一个例子。

反射物像等光程的例子

- 虚光程的定义*：折射率属于光线实际属于的一方，光线的反向延长线为虚路径，取负号。
- 光程的逻辑仍然保持不变：光程为加和。

椭球反射面
抛物反射面*
双曲反射面*
平面反射面*

均可以完美地成像
(赵凯华)P44

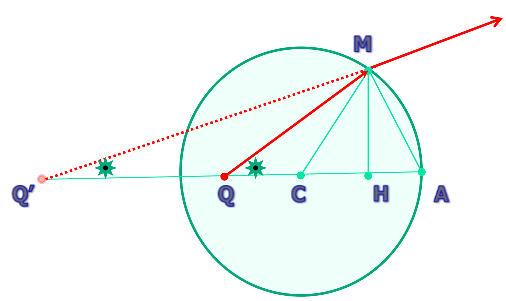
折射物像等光程的例子

- **齐明点**

$$n > n'$$

$$\overline{QC} = \frac{n'}{n} r$$

$$\overline{Q'C} = \frac{n}{n'} r$$



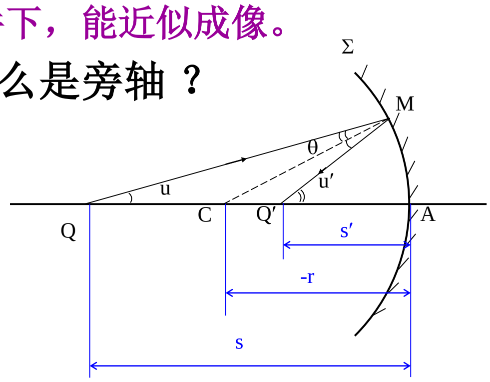
本节课的概要

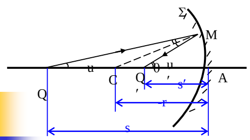
- 光学系统
- 虚光程描述性定义
- 成像；成像的费马原理具体表述
- （完美）反射成像实例
- （完美）折射成像实例
- 具体应用实例之一——齐明点

§2.2 球面旁轴成像

前面所述，一般光学系统均不具同心性，球面也不例外，不能严格/完美成像，但在旁轴条件下，能近似成像。

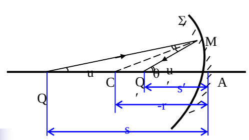
- 1. 什么是旁轴 ？





§2.2 球面旁轴成像

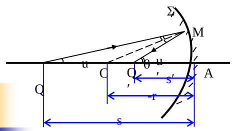
- 如图，一球面镜Σ，圆心为C，过C作一直线交Σ于A，A为Σ面之中点，称CA为主光轴（或主轴）。
- 在主轴附近与主轴夹角较小（<5°）的光线叫旁轴光线，或近轴光线。
- 绝大多数光学系统都是由一系列球形折射或反射面组成，在近轴条件下的成像为主要应用中的成像系统。



§2.2 球面旁轴成像

- 2. 符号规则
  - 为了从一具体情况出发导出物像的一般关系，必须对有关参量规定一套符号规则。设入射光从左到右。
  - i° 物点Q到顶点A的距离QA称为物距，用s表示。

    实物，s > 0，虚物，s < 0。 （左正右负）



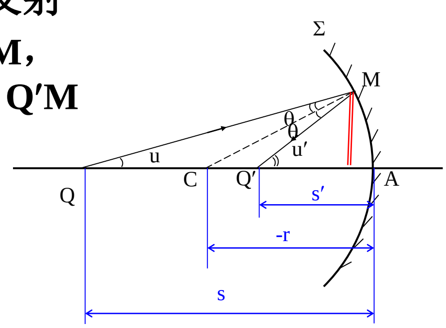
§2.2 球面旁轴成像

- ii° 像点Q′到A的距离Q′A称为像距，用s′表示。

  实像，s′ > 0，虚像，s′ < 0。
  对反射镜，　左正右负；
  对折射镜，　左负右正。
- iii° 对于曲率半径r，则圆心C相对顶点A，左负右正。
- iv° 在光路图中，标绝对值。

§2.2 球面旁轴成像

- 3. 光在单球面上的反射
  - 从Q引一近轴光交于M，QM与主轴夹角为u，Q′M与QA夹角u′。

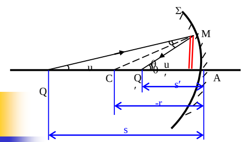


正弦定理：

QC/sinθ = MC/sinu

Q′C/sinθ = MC/sinu′

∴ QCsinu = Q′Csin u′



§2.2 球面旁轴成像

其中 **QC = s-(-r) = s+r**

Q′C = -r-s′

对于傍轴近似， **sinu = tgu = MA/QA**

sinu′ = tgu′ = MA/Q′A

代入并整理得，

$$\frac{s+r}{s} = \frac{-r-s'}{s'}$$

即

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

似曾相识？？？

具体成像情况讨论

- **i °　对于平行光入射，s = ∞，**
  这时，s′ = -r/2。这个像点称为像方焦点，
  记为F′。（第二，后焦点）
- **ii °　反之，若s = -r/2，则**
  s′ = ∞。由光路可逆性可知，出射为平行光。
  因此，s = -r/2的点又称物方焦点，
  记为F。（第一，前焦点）

- **iii° 焦点到A的距离称为焦距，物方焦距f 和像方焦距f′ 定义如下：**

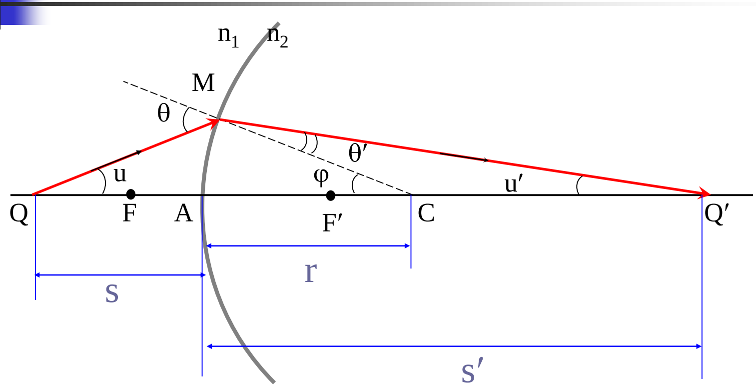
$$f = \lim_{s' \to \infty} s \qquad f' = \lim_{s \to \infty} s'$$

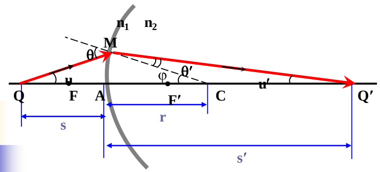
对于反射球面， **f = f′ =-r/2**

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

若**r**→∞，则**s = s′**。这就是平面镜成像的情况。

4. 光在单球面上的折射





§2.2 球面旁轴成像

如图 $\theta = u + \varphi$

$\theta' = \varphi - u'$

由近轴近似： $u = tgu = MA/s$

$u' = tgu' = MA/s'$， $\varphi = MA/r$

由折射定律： $n_1 \sin\theta = n_2 \sin\theta'$ （即$n_1\theta = n_2\theta'$）

得：

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

由f，f′的定义：

§2.2 球面旁轴成像

$$f = \lim_{s' \to \infty} s = \frac{n_1 r}{n_2 - n_1} \qquad f' = \lim_{s \to \infty} s' = \frac{n_2 r}{n_2 - n_1}$$

可得：

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

- 这个普遍的物像公式，称为高斯（Gauss）物像公式。
- 备注：球面反射公式亦包括其中。

- **s、s′物距和像距也可以从F、F′算起，用x、x′表示。**

- 符号法则如下：

  对x，若Q在F之左，$x > 0$；Q在F之右，$x < 0$。

  对x′，若Q′在F′之左，$x' < 0$；Q′在F′之右，$x' > 0$。

∴ $x = s - f$,　$x' = s' - f'$

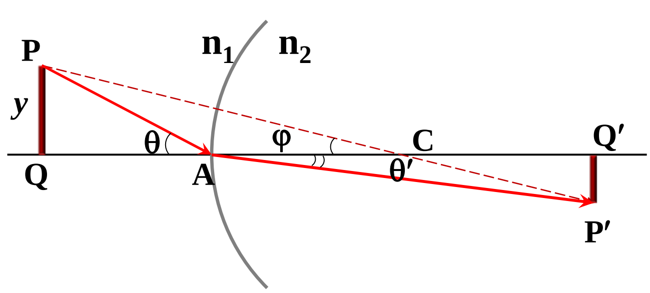
- 则高斯公式为：

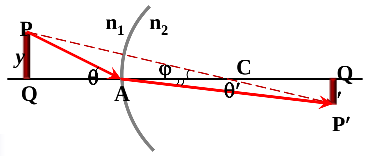
  $$xx' = ff'$$

  称为牛顿公式。

§2.2 球面旁轴成像

5. 近轴物点成像





§2.2球面旁轴成像

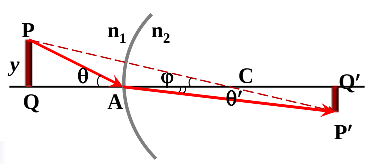
物点位于主轴上的成像情况，前面已述。

- 若将主轴绕C转动φ角后，Q→P，Q′→P′

  由对称性可知，P、P′是一对共轭点。

  ∵ φ角很小，PQ可看成是垂直于主轴的线段。

- PQ所在之平面也可看成是垂直于主轴之平面，称之为物平面，用π表示。同样地，有P′Q′所在之平面π′，称之为像平面。
- π，π′互为共轭平面。



§2.2 球面旁轴成像

设PQ长为y；PQ′长为y′。

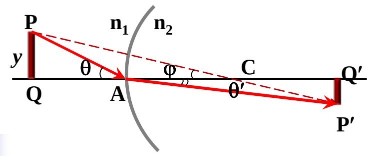
- 符号法则规定：上离主轴为正；下离主轴为负。
- 定义横向放大率V为： $V = y'/y$

  因此，$V > 0$，正立；$V < 0$，倒立。

  $V > 1$，放大；$V < 1$，缩小。

  ∵ $\theta = PQ/QA = y/s$

  $\theta' = P'Q'/Q'A = -y'/s'$



又 ∵ $\theta n_1 = \theta' n_2$

∴ $n_1 y/s = -n_2 y'/s'$

$V = y'/y = -(n_1 s')/(n_2 s)$

- 对于球面反射镜，可以证明：

  $V = -s'/s$

- 若成像系统由一系列反射或折射球面组成，则系统总的横向放大率为：

  $V = V_1 \cdot V_2 \cdot V_3 \cdots\cdots$；$V_i$为各单球面的横向放大率。

今天的课程就到这里。。。

成像*****

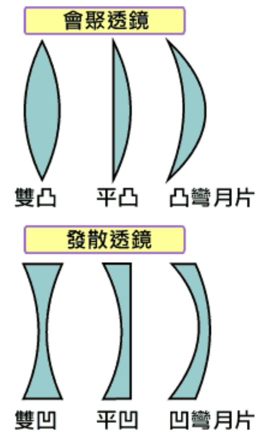
反射 折射

球面 傍轴

反射　折射

§2.3 薄透镜

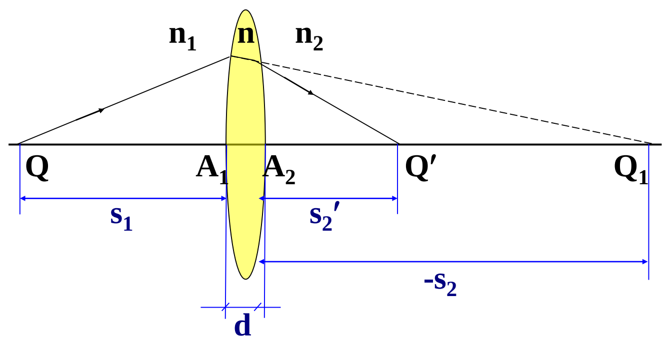
- 薄透镜由两个共轴折射球面组成，分凸凹两类。凡中央部分比边缘部分厚者，叫凸透镜；凡中央部分比边缘部分薄者，叫凹透镜。

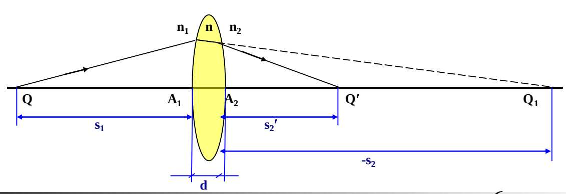


坐标规定

- 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。

■ 1. 成像公式





- 如图，由成像公式可知，

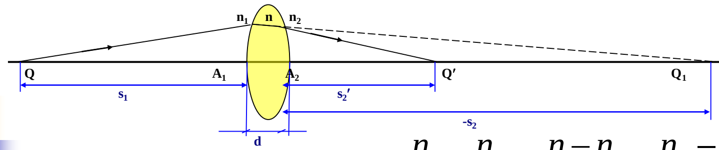
$$\begin{cases} \dfrac{n_1}{s_1}+\dfrac{n}{s_1'}=\dfrac{n-n_1}{r_1} \\ \dfrac{n}{-s_2}+\dfrac{n_2}{s_2'}=\dfrac{n_2-n}{r_2} \end{cases}$$

对于薄透镜，$d\approx 0$， $\therefore\ s'_1\approx s_2$

$\therefore$

$$\frac{n_1}{s_1}+\frac{n_2}{s_2'}=\frac{n-n_1}{r_1}+\frac{n_2-n}{r_2}\equiv P$$

- **P称为光焦度。它是聚光本领的一种表现。**



$$\frac{n_1}{s_1}+\frac{n_2}{s_2'}=\frac{n-n_1}{r_1}+\frac{n_2-n}{r_2}\equiv P$$

- 引入焦距f、f ′，

$$f=\lim_{s'\to\infty}s=\frac{n_1}{\dfrac{n-n_1}{r_1}+\dfrac{n_2-n}{r_2}}$$

$$f'=\lim_{s\to\infty}s'=\frac{n_2}{\dfrac{n-n_1}{r_1}+\dfrac{n_2-n}{r_2}}$$

∴ $f/f' = n_1/n_2$

∴ $f/s_1 + f'/s_2 = 1$ 即高斯成像公式。

横向放大率

$$V=V_1\cdot V_2=-\frac{n_1s_1'}{ns_1}\cdot\left(-\frac{ns_2'}{n_2(-s_1')}\right)=-\frac{n_1s_2'}{n_2s_1}$$

- **同样，牛顿公式亦可证明： $xx' = ff'$**

  则： $V = -f/x = -x'/f'$

对于空气中的薄透镜，有$n_1 = n_2 = 1$，因而有$f = f'$

则高斯公式为： $1/s + 1/s' = 1/f$

$$V = -s'_2/s_1 = -f/x = -x'/f'$$

- **高斯公式中的s、s′、f关系可用诺模图(图6-3)表示出来。**

2. 作图法

对于已知薄透镜的焦距时，可采用作图法。

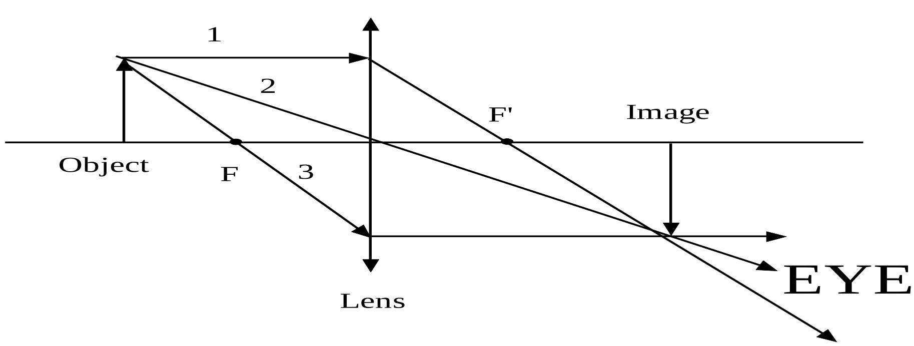
- i° 对轴外物点**P**，可选择下列三对共轭光线中的任意两对。

1) 过光心的入射光**PO**，出射时仍按原方向传播；

2) 平行于主轴的入射光，出射时过像方焦点**F′**；

3) 过物方焦点**F**的入射光，出射时平行于主轴。

- ii° 对于轴上的物点**P**，有两种方法作图可求出其像点**P′**。
- **a)** 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′**。

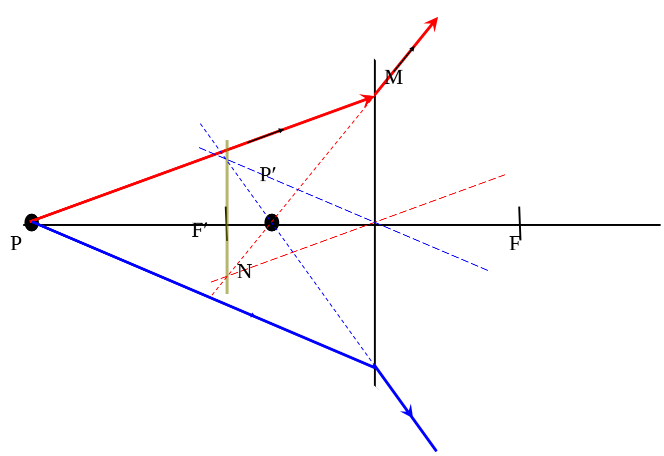


利用焦平面作图

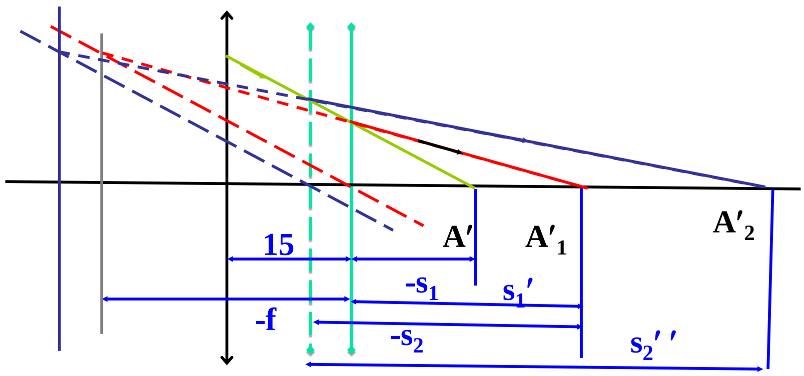
- 焦平面：过焦点且垂直于主轴的平面。因焦点的不同，分为物方焦平面和像方焦平面。

- 焦平面的性质：
  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PO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。

- 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于N；
- 3) 连接MN，即为出射光，其交于主轴P′即为像点。



- 某物通过一凸透镜在镜后30cm处成一实像A′。今在凸透镜后15cm处放一焦距为30cm的凹镜，最后成像何处？
- 若将凹镜前推至距凸镜10cm处，像又在何处？



解： 由成像公式， $1/s + 1/s' = 1/f$

得：$1/s' = 1/f - 1/s = 1/30$

$\therefore\ s' = 30$ cm

$V = -s'/s = 2$

若前推5cm，则： $s_1 = -20$cm

同样计算可得， $s'_1 = 60$cm

$V = 3$

- 这个系统通过稍变凹镜位置而改变了成像的大小，是一变焦系统。

透镜和镜头

- 透镜经过适当的组合设计制作镜头
- 经典天塞镜头*
- 现代民用摄影镜头*
- 军用摄影相机系统*