应用光学

Applied Optics

任课教师：陈 瑞

电子邮箱：chenr229@mail.sysu.edu.cn

助教安排：柳夏、石福隆

答疑时间：周四下午2:30-3:30，爪哇堂307

中山大学 物理学院

2021-1

第一章 小结

20210908-3

- 光波，波面
- 光源，点光源，
- 发光体和发光点
- 光线、光束、像散光束

基本概念

以光线为基础用几何方法研究光在介质中的传播规律。

- 光的直线传播定律
- 光的独立传播定律
- 反射和折射定律
- 光的可逆原理

光线传播基本定律

第一章几何光学基本定律

聚焦前沿：广义斯涅耳定律

成像概念

- 光学系统
- 光学成像
- 物、像基本概念
- 完善成像条件

全反射应用

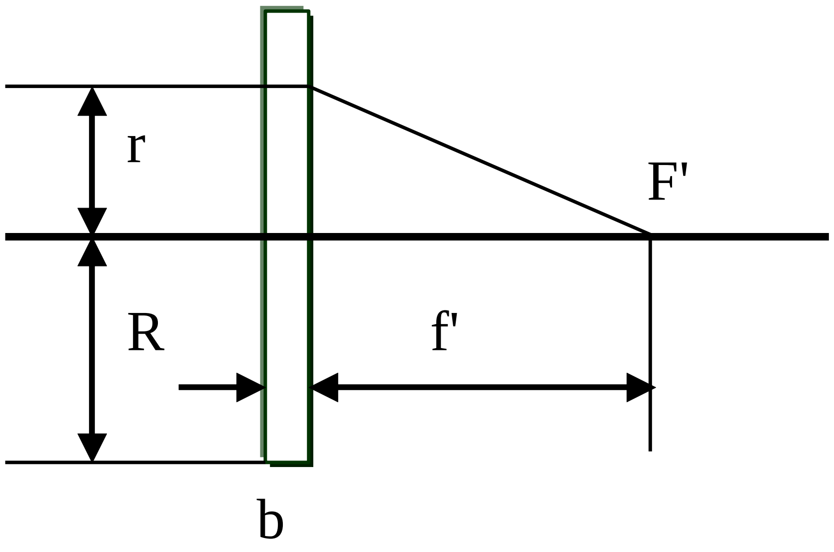
- 全反射棱镜、光纤
- 测量材料折射率
- 指纹传感器
- …………

费马原理

- 光是沿着光程为极值（极大、极小或常量）的路径传播的。1679年
- 光程定义，费马原理是从光程的角度阐述光的传播规律

第一章 几何光学基本定律及成像概念

例：如图所示，有一半径为R、厚度为b的圆板,由折射率沿径向变化的材料构成，中心处的折射率为n_0，边缘处的折射率为n_R，试问：圆板的折射率以何种规律变化时，在近轴条件下平行于主光轴的光线将聚焦？此时的焦距为多少？



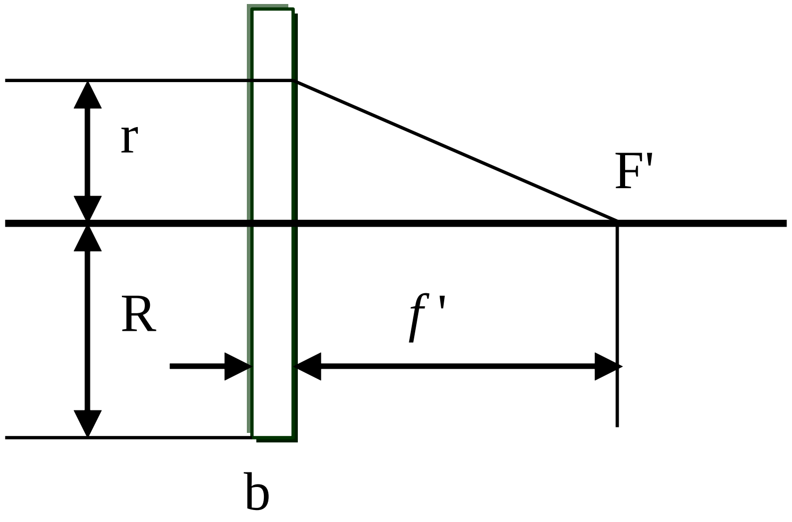
解：如图示，离轴r的光程为：$$n_r b + \sqrt{f'^2 + r^2} = A$$

即：

$$n_r b + f'\sqrt{1 + r^2/f'^2} = A \approx n_r b + \frac{1}{2}\frac{r^2}{f'} + f'$$

解：

$$n_r b + f'\sqrt{1+r^2/f'^2} = A \approx n_r b + \frac{1}{2}\frac{r^2}{f'} + f'$$



其中A为常数，与轴上光线的光程比较，得

$$n_r b + \frac{1}{2}\frac{r^2}{f'} + f' = A \xrightarrow{r=R} n_R b + \frac{1}{2}\frac{R^2}{f'} + f' = n_0 b + f' \quad \text{故} \quad f' = \frac{R^2}{2(n_0 - n_R)b}$$

$$n_r b + \frac{1}{2}\frac{r^2}{f'} + f' = n_0 b + f' \Rightarrow n_r = n_0 - \frac{r^2}{2bf'} = n_0 - \frac{r^2(n_0 - n_R)}{R^2}$$

第二章 球面和球面系统

球面不仅是光学系统的基本面型，而且由球面和球面系统引出的近轴概念是理想光学系统产生的基本原理。

主要内容

- 2.1 几何光学基本符号规则
- 2.2 单个折射球面成像
- 2.3 反射球面
- 2.4 共轴球面系统

第二章 球面和球面系统

球面不仅是光学系统的基本面型，而且由球面和球面系统引出的近轴概念是理想光学系统产生的基本原理。

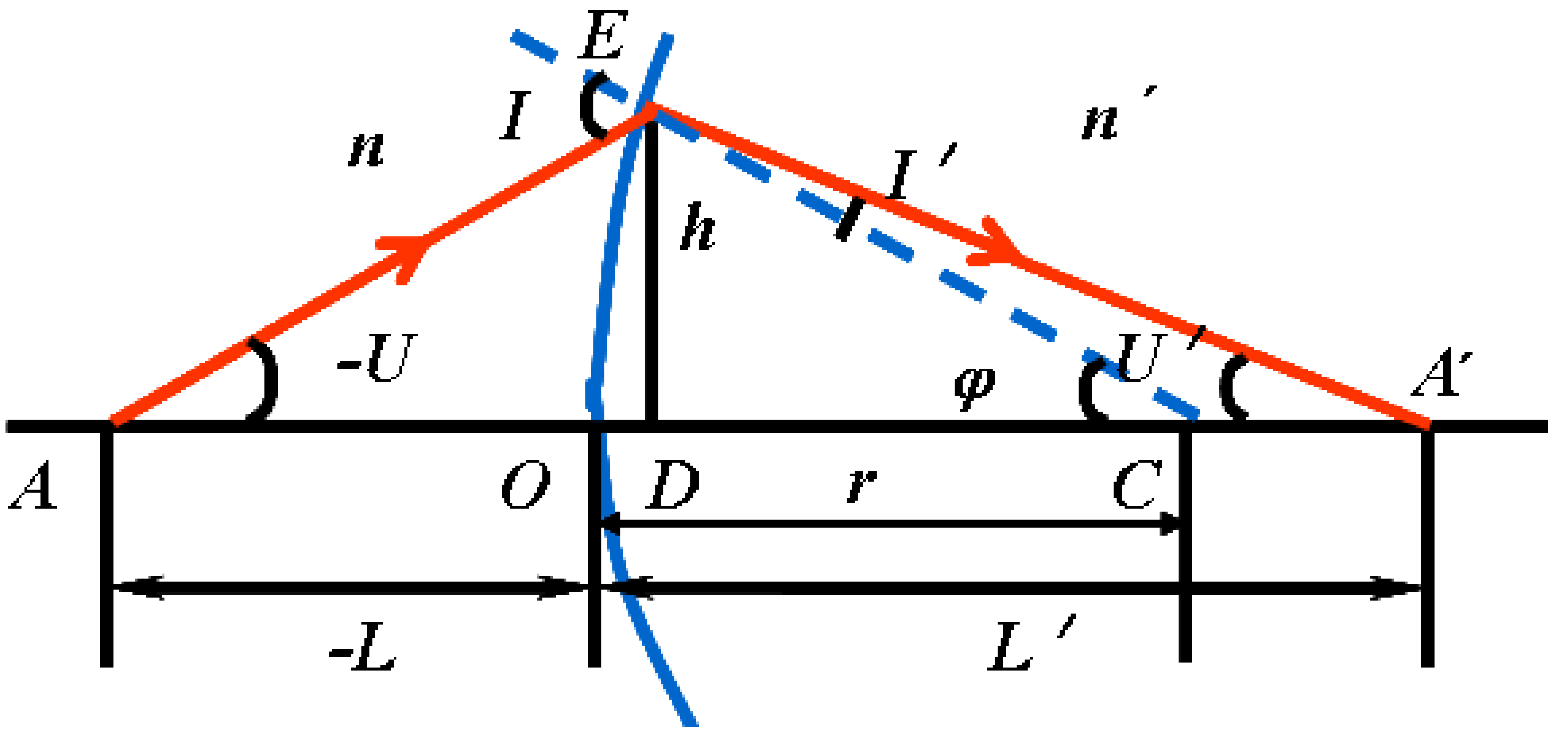
主要内容

- 2.1 几何光学基本符号规则
- 2.2 单个折射球面成像
- 2.3 反射球面
- 2.4 共轴球面系统

2.1 几何光学基本符号规则

一、基本概念

光线经球面
折射的光路

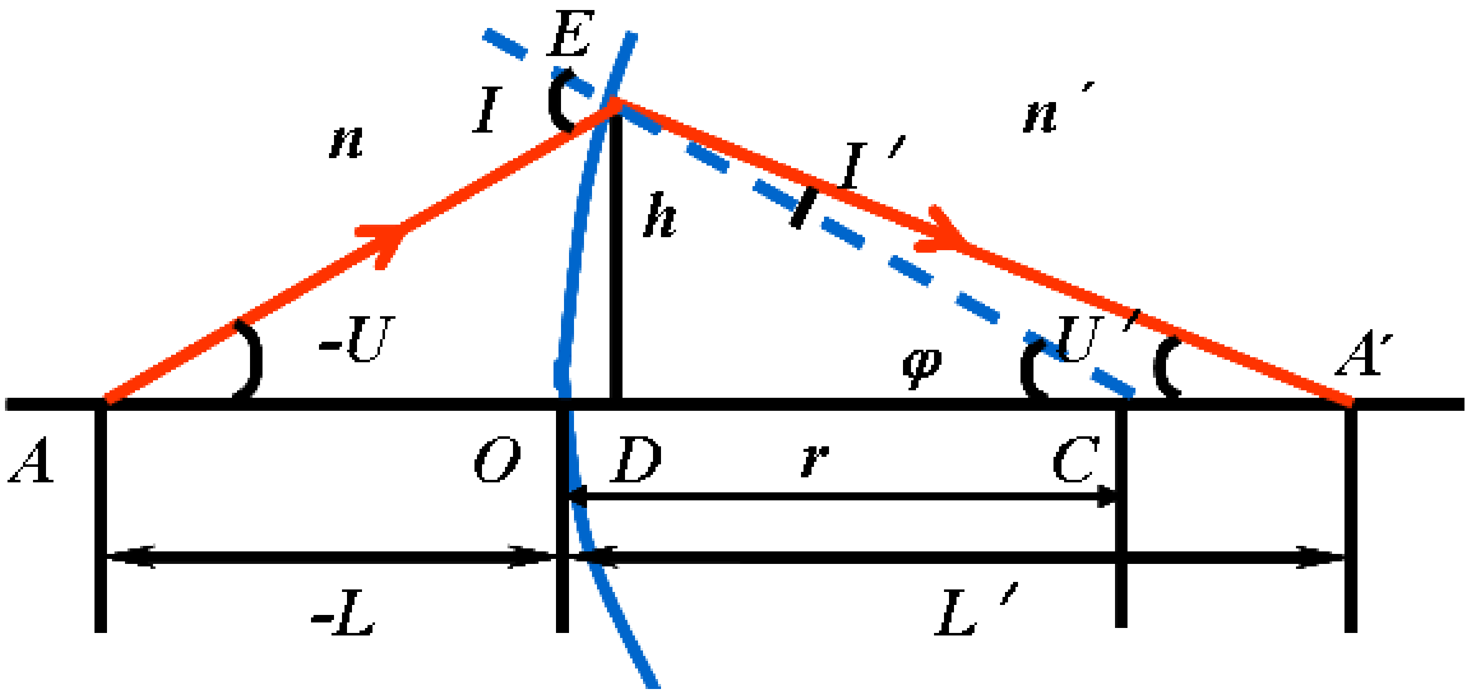


- **光轴**：若光学系统由球面组成，球心位于同一直线上，则称为**共轴球面系统**，这条直线为该光学系统的**光轴**。实际上，光学系统的光轴是系统的对称轴；
- **子午面**：通过物点和光轴的截面；

2.1 几何光学基本符号规则

一、基本概念

光线经球面
折射的光路



O：顶点(Vertex)；　C：球面曲率中心。

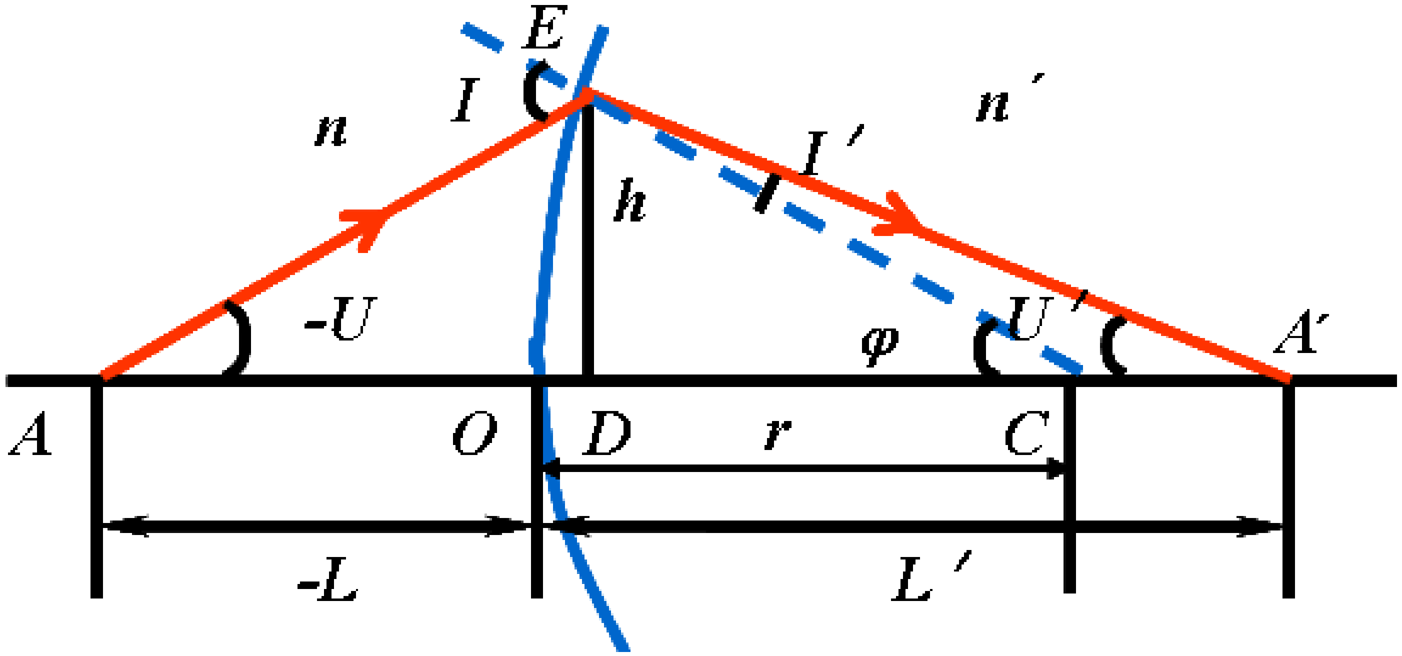
OE：球面，也是两种介质 n 与 n' 　的分界面；　OC：球面曲率半径，　r。

AE与 A’E：入射光线与出射光线；　h *or* DE：光线投射高度。

2.1 几何光学基本符号规则

一、基本概念

光线经球面折射的光路



物方截距：物点A在光轴上，其到顶点的距离OA，用*L*表示。

物方倾斜角（或孔径角）：入射光线与光轴的夹角，用*U*表示

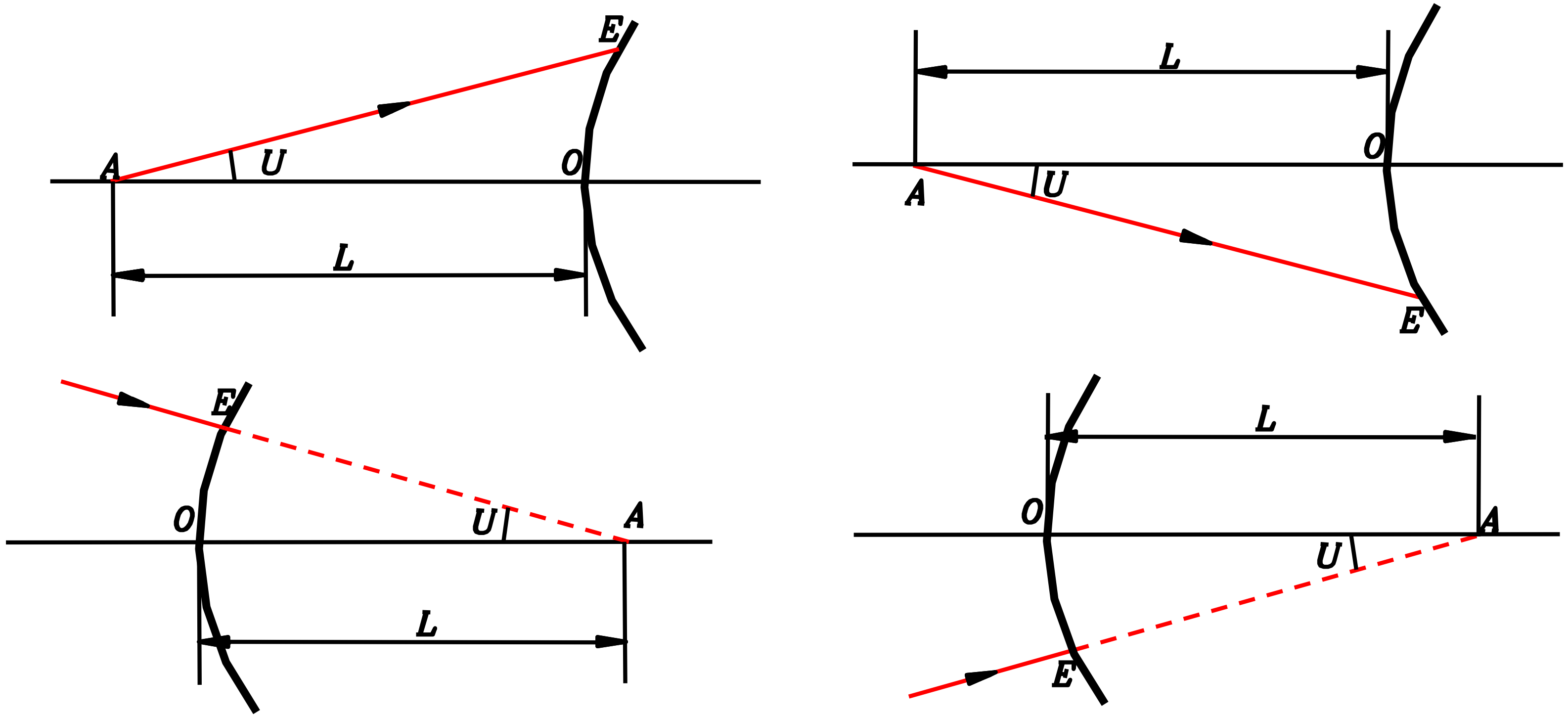
像方截距：顶点O到折射光线与光轴的焦点的距离，用*L′*表示。

像方倾斜角（或孔径角）：折射光线与光轴的夹角，用*U′*表示

2.1 几何光学基本符号规则

一、基本概念

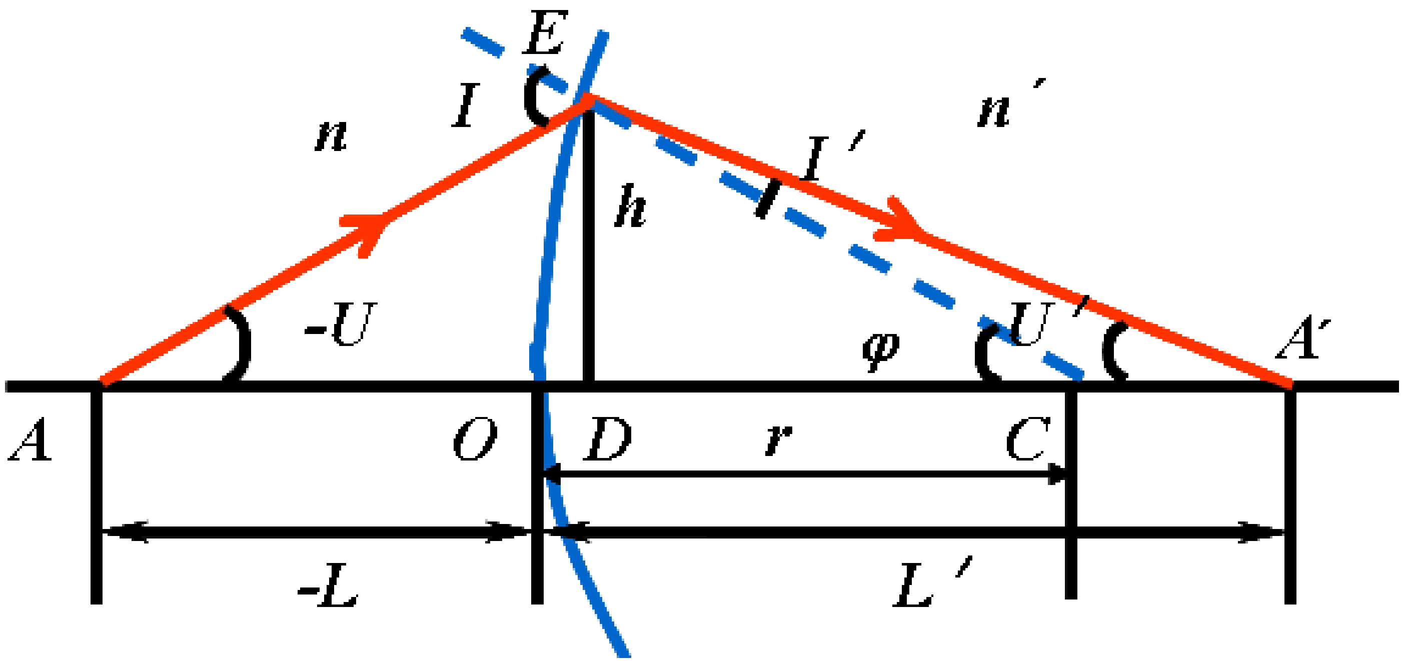
只知道无符号的参数，光线可能有四种情况。要确定光线的位置，仅有参量是不够的，还必须对符号作出规定。



光线是有方向的，因此，不同方向的光线会有不同的符号。

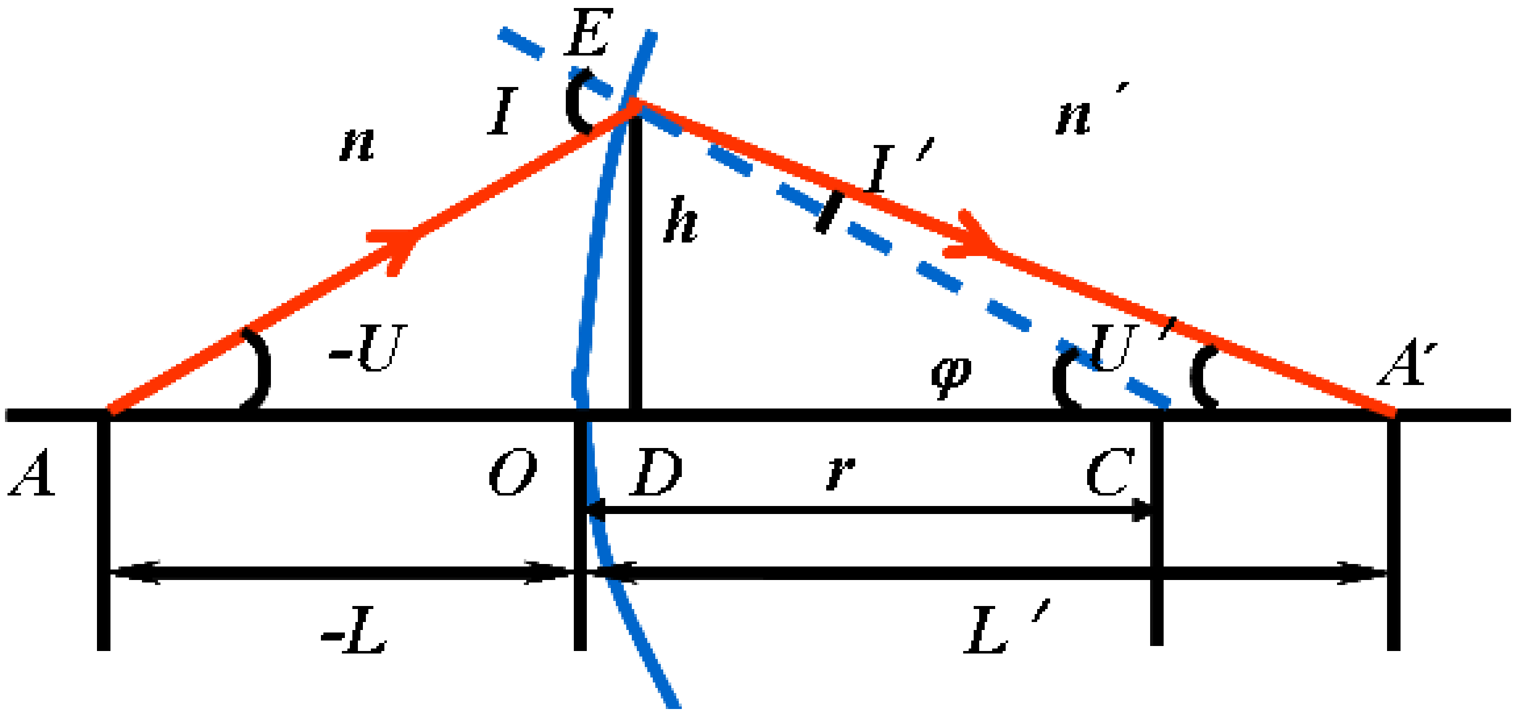
2.1 几何光学基本符号规则

二、符号规则



- 光线传播方向：
  自左向右为正；
- 线段
  - 沿轴线段：以o为原点，原点出发的线段与传播方向相同为正，相反为负；
  - 垂轴线段：如h，光轴之上为正，光轴之下为负；
  - 球面曲率半径：球心在球面顶点的右方为正，反之为负

二、符号规则

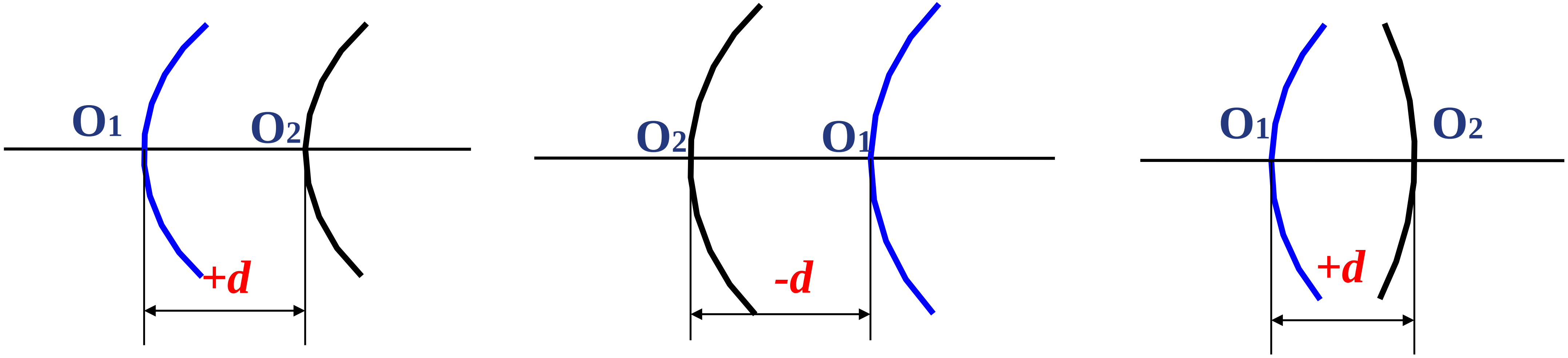


- **角度：**
  - 光线与光轴的夹角：光轴转向光线，-U 和U′ ；
  - 光线与法线的夹角：光线转向法线，I 和 I'；
  - 光轴与法线的夹角：光轴转向法线，φ .

2.1 几何光学基本符号规则

二、符号规则

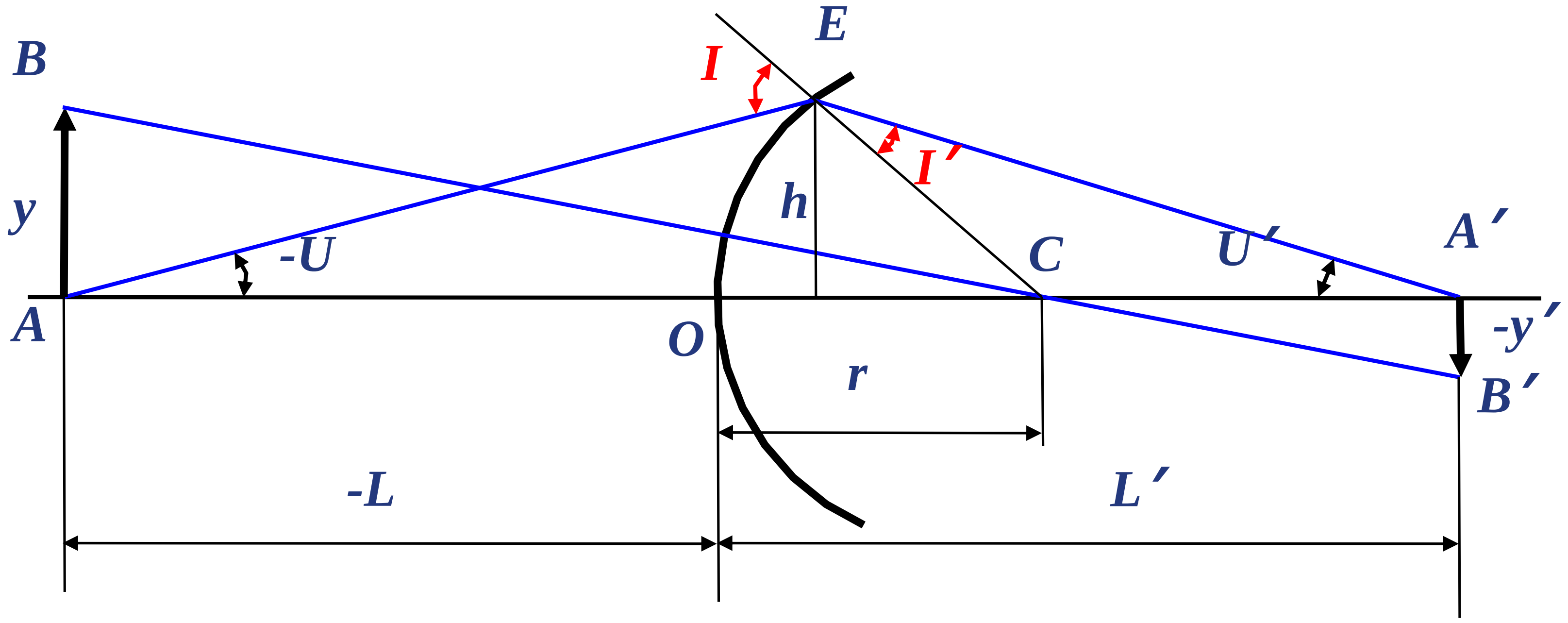
- 球面间隔：用 d 表示，以前一个球面的顶点为原点，向右为正，向左为负。



- 在折射系统中总为正，在反射和折反系统中才有为负的情况

二、符号规则

- 物体AB通过球面成像符号规则图



- 符号规则是人为规定的，需要从始至终遵守一种规则，才能导出正确结果。

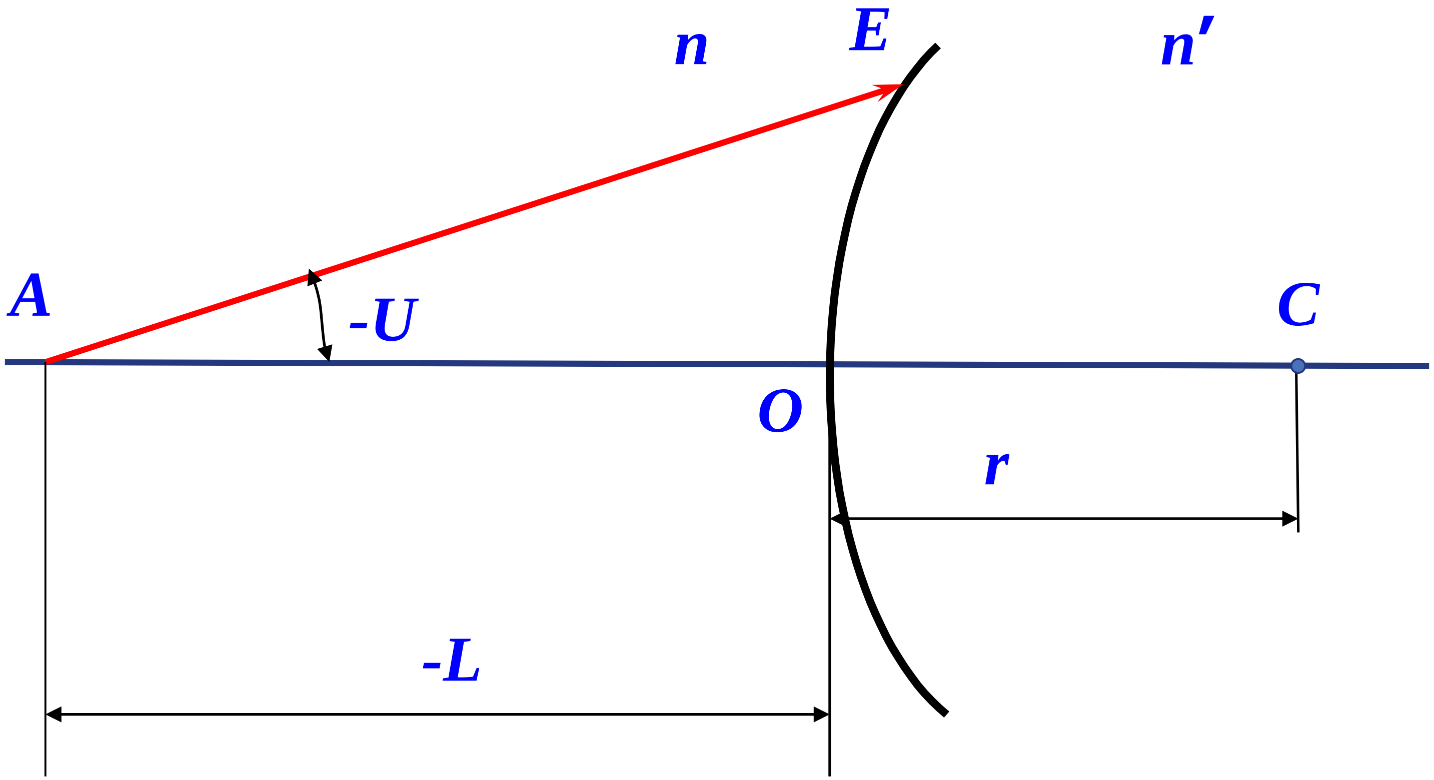
第二章 球面和球面系统

球面不仅是光学系统的基本面型，而且由球面和球面系统引出的近轴概念是理想光学系统产生的基本原理。

主要内容

- 2.1 几何光学基本符号规则
- 2.2 单个折射球面成像
- 2.3 反射球面
- 2.4 共轴球面系统

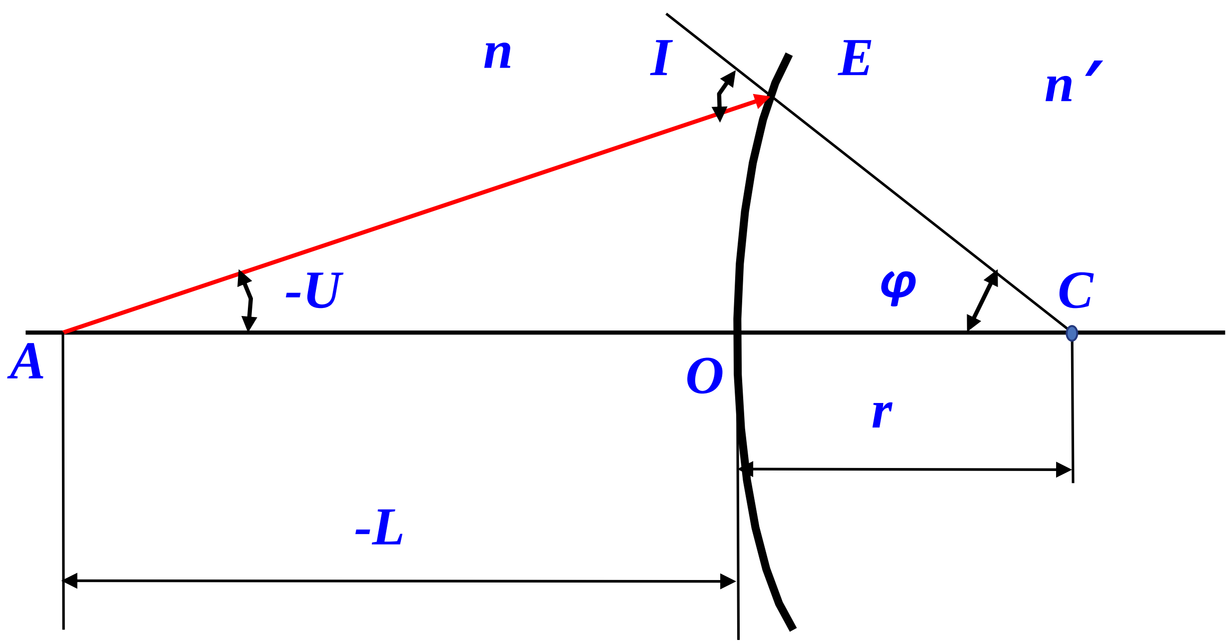
一、光路计算



当折射球面结构参数 r , n , n' 给定时，只要知道 L 和 U ，就可求 L' 和 U'

2.2 单个折射球面成像

一、光路计算



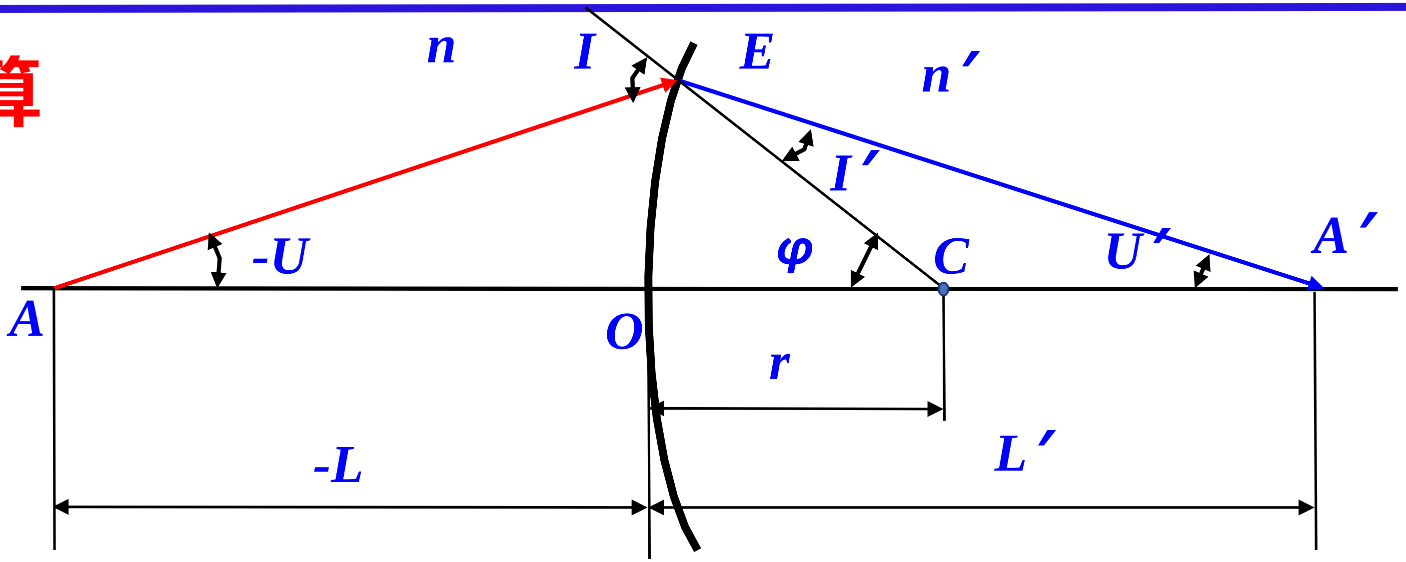
$$\frac{\sin\left(180^\circ - I\right)}{\overline{AC}} = \frac{\sin\left(-U\right)}{r}$$

$$\frac{\sin I}{-L+r} = \frac{-\sin U}{r}$$

$$\sin I = \frac{L-r}{r}\sin U$$

1. 连接*CE*， △*AEC*中， −*L*＋*r* = *AC*，并由正弦定理可得：

一、光路计算



2. 由E点作出射光线， 由折射定律得：$\sin I' = \dfrac{n}{n'} \sin I$ 　I' 的大小；

3. 由图可知 $\varphi = U + I = U' + I'$ ➡ $U' = U + I - I'$

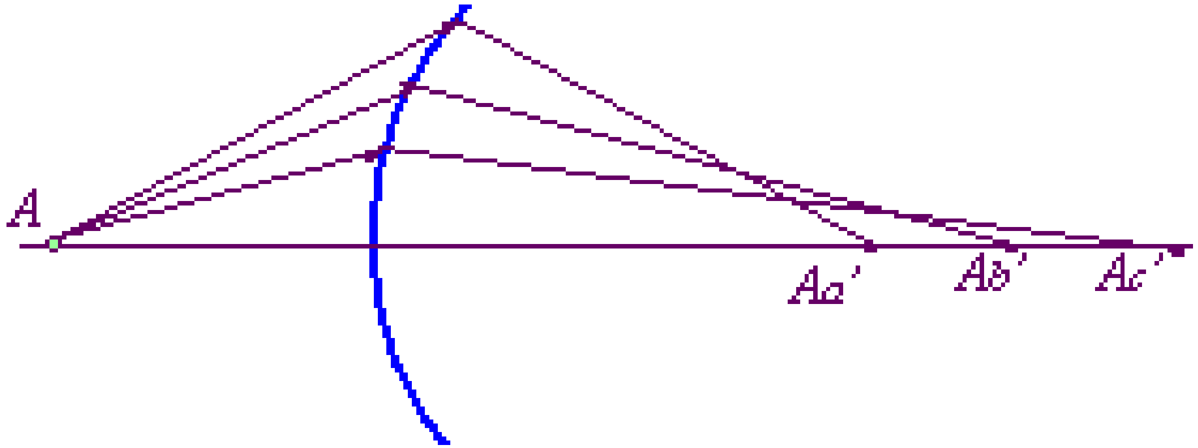
4. 在$\triangle EA'C$中，$CA' = L' - r$, 由正弦定理，可得：

$$\frac{L' - r}{\sin I'} = \frac{r}{\sin U'} \Rightarrow L' = r\left(1 + \frac{\sin I'}{\sin U'}\right)$$

2.2 单个折射球面成像

一、光路计算

$$
\begin{cases}
\sin I = \dfrac{L-r}{r}\sin U \\
\sin I' = \dfrac{n}{n'}\sin I \\
U' = U + I - I' \\
L' = r\left(1+\dfrac{\sin I'}{\sin U'}\right)
\end{cases}
$$



- 由公式可知，L'是U的函数。不同 U 的光线经折射后不能相交于一点，即 物点 ➡ 像斑
- 单个折射球面对轴上物点成像是不完善的，这种成像缺陷称为像差，是以后将会讨论到的球差。

2.2 单个折射球面成像

二、近轴光学（Paraxial optics）

$$\begin{cases} \sin I = \dfrac{L-r}{r}\sin U \\[2ex] \sin I' = \dfrac{n}{n'}\sin I \\[2ex] U' = U + I - I' \\[2ex] L' = r\left(1+\dfrac{\sin I'}{\sin U'}\right) \end{cases} \xrightarrow[\sin\theta \approx \theta]{\text{角度}\theta\text{很小}} \begin{cases} i = \dfrac{l-r}{r}u \\[2ex] i' = \dfrac{n}{n'}i \\[2ex] u' = u + i - i' \\[2ex] l' = r\left(1+\dfrac{i'}{u'}\right) \end{cases}$$

$$\sin = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \cdots$$

2.2 单个折射球面成像

二、近轴光学（Paraxial optics）

$$l' = r\left(1+\frac{i'}{u'}\right) \Rightarrow \boxed{\begin{aligned} i' &= \frac{l'-r}{r}u' \\ i &= \frac{l-r}{r}u \end{aligned}}$$

$$n'i' = ni$$

$$n\frac{u(l-r)}{r} = n'\frac{u'(l'-r)}{r}$$

物方参量　　像方参量

$$\boxed{nu(l-r) = n'u'(l'-r)}$$

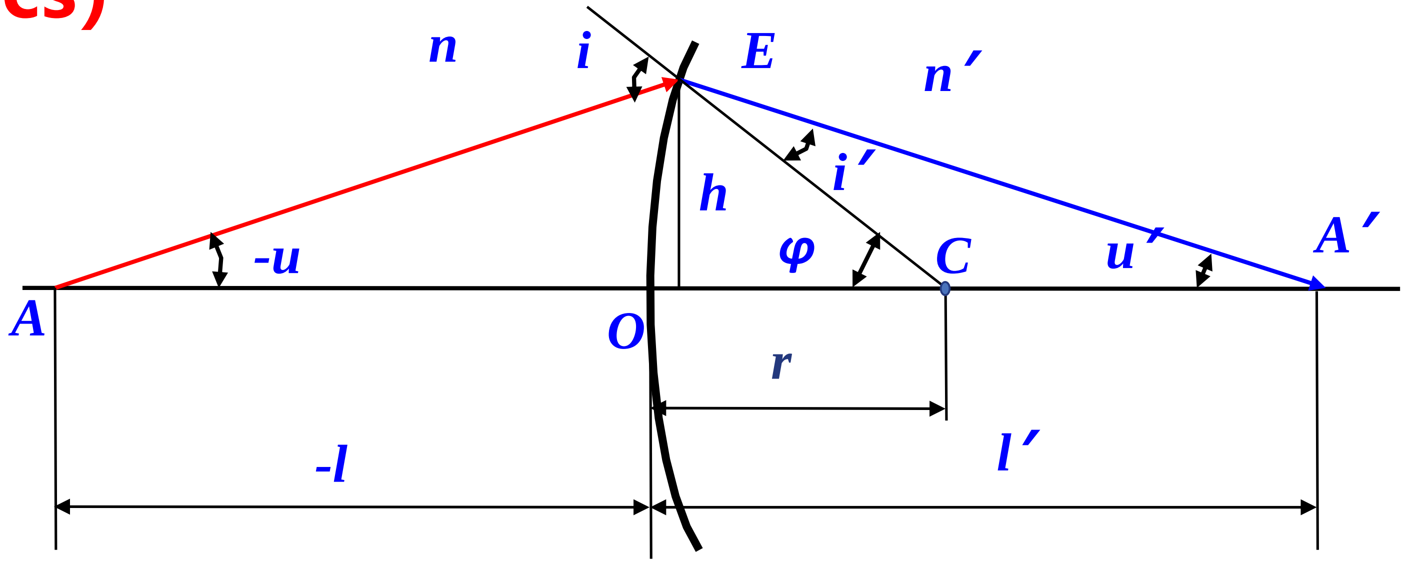
2.2 单个折射球面成像

二、近轴光学（Paraxial optics）

对于近轴光而言，

$$lu = l'u' = h = r\varphi$$

$$nu\left(l - r\right) = n'u'\left(l' - r\right)$$



$$\Rightarrow \boxed{\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n'-n}{r}} \Rightarrow \Phi = \frac{n'-n}{r}$$

光焦度（单位：屈光度D）

- 折射球面的光焦度表征系统屈折光线的本领，数值越大，屈折越厉害，正值为会聚，负值为发散。

2.2 单个折射球面成像

二、近轴光学（Paraxial optics）

物像位置公式：$$\frac{n'}{l'}-\frac{n}{l}=\frac{n'-n}{r}$$

l' 与 u 无关

阿贝不变量Q：$$n\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{l}\right)=n'\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{l'}\right)=Q$$

折射前后夹角关系：$$n'u'-nu=\frac{h(n'-n)}{r}$$

- 近轴近似成像条件下，单折射球面系统可保持光束的同心性；
- 近轴细光束成的完善像称为高斯像（Gaussian Image）；
- 近轴光学也称高斯光学，研究近轴区成像性质和规律的光学。

二、近轴光学（Paraxial optics）

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

其它概念

- 像方焦点, 像方焦距(后焦距) $l\to-\infty, f'=l'=\dfrac{rn'}{n'-n}$

- 物方焦点, 物方焦距(前焦距) $l'\to\infty, f=l=-\dfrac{rn}{n'-n}$

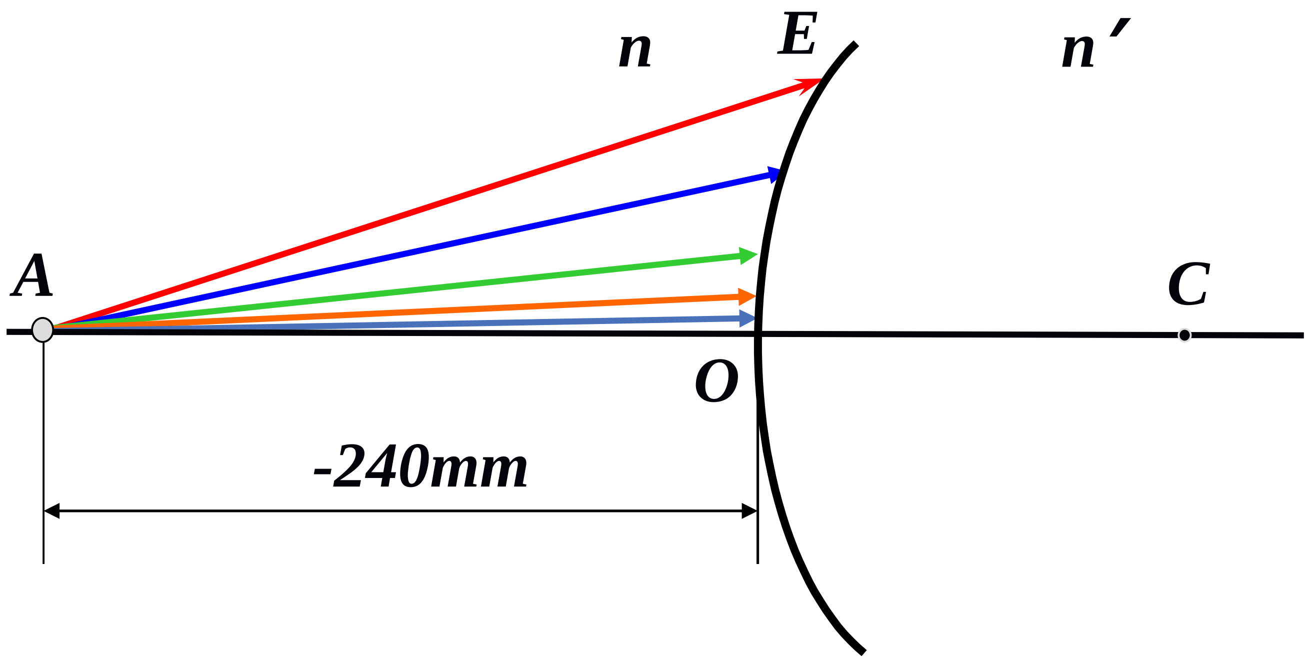
- 高斯像面: 物平面靠近光轴很小的垂轴平面

- 近轴区 paraxial region：靠近光轴能以细光束成完善像的小区域

3-P16-17，4-P18-19

2.2 单个折射球面成像

例：已知一折射球面其r =46.52mm，n =1， n' =1.52。轴上点A的截距L=-260mm，由它发出一同心光束，今取U为-0.1°、-0.5°、-1°、-2°、-3°的五条光线，分别求它们经折射球面后的光路。（即求像方截距L'和像方倾斜角U'）



2.2 单个折射球面成像

$$\begin{cases} \sin I = \dfrac{L-r}{r}\sin U, \sin I' = \dfrac{n}{n'}\sin I \\ U' = U + I - I', \quad L' = r(1+\dfrac{\sin I'}{\sin U'}) \end{cases}$$

r **= 46.52mm，** ***n*** **= 1**

n**’ = 1.52，** ***L*** **= -260 mm**

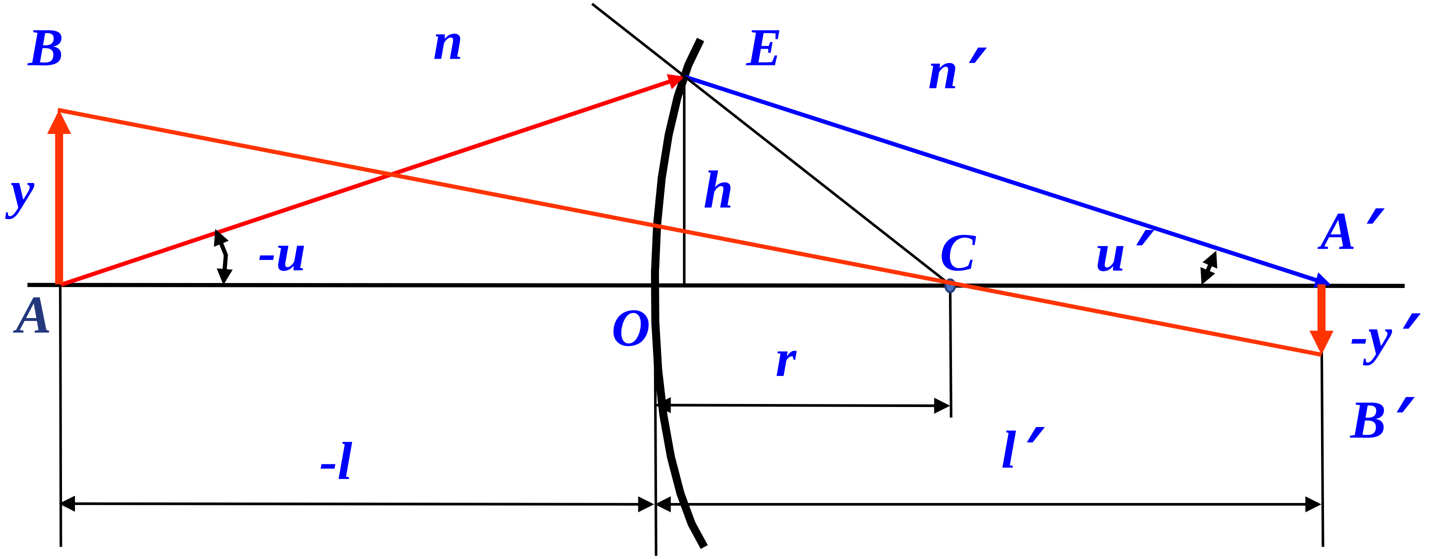
- **U= -0.1°: U’= 0.1254° L’=207.3020mm**
- **U= -0.5°: U’= 0.6284° L’=206.9871m**
- **U= -1°: U’= 1.2645° L’=206.0041mm**
- **U= -2 °: U’= 2.5929° L’=202.0876mm**
- **U= -3 °: U’= 4.0593° L’=195.6111mm**

光路追迹: 通过公式来计算光线实际光路的过程.。

2.2 单个折射球面成像

三、物像大小关系

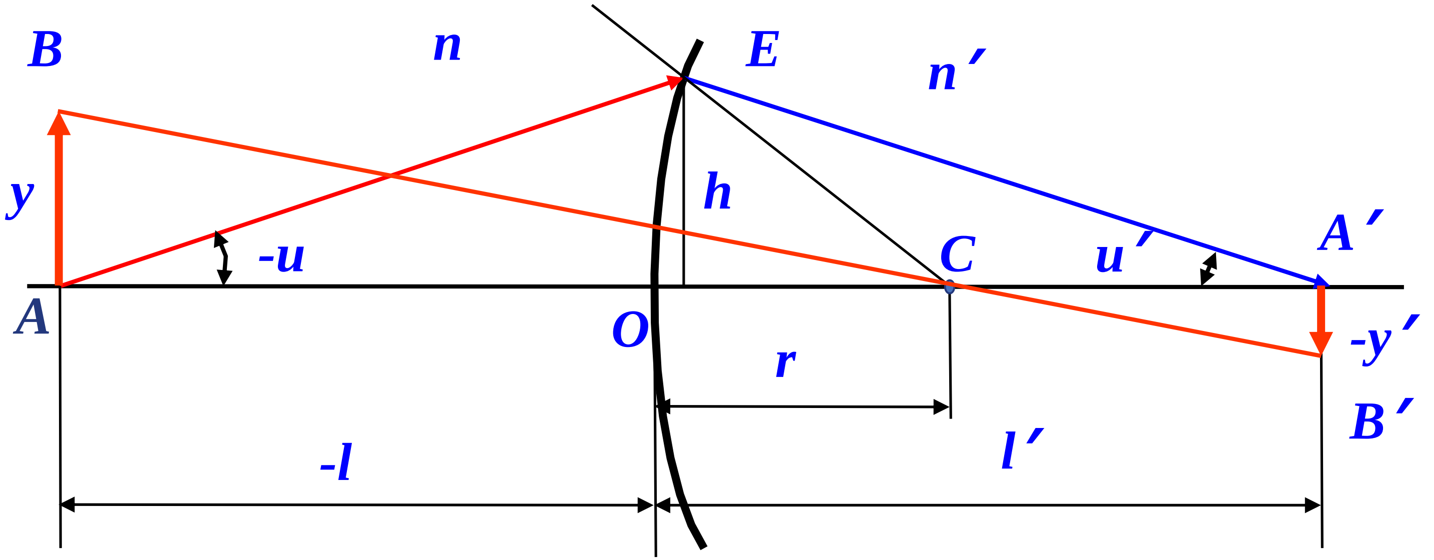
轴上的点成像只需知道**位置**即可，但如果是有一定大小的物体经球面成像后，不仅需要获得位置，还需要知道成像的**大小、虚实、倒正**。



P17

2.2 单个折射球面成像

三、物像大小关系



横向放大率β：　$$\beta = y'/y = \frac{l'-r}{l-r} = \frac{nl'}{n'l}$$

轴向放大率α：　$$\alpha = dl'/dl$$

角度放大率γ　$$\gamma = u'/u$$

三、物像大小关系

轴向放大率α：

轴向放大率表示光轴上一对共轭点沿轴向移动量之间的关系。定义为物点沿光轴作微小移动 ***dl*** 时，所引起的像点移动量 ***dl′*** 与 ***dl*** 之比，用***α***表示。

$$\alpha = \frac{dl'}{dl}$$

P17

三、物像大小关系

轴向放大率α：　　物像关系：$\dfrac{n'}{l'}-\dfrac{n}{l}=\dfrac{n'-n}{r}$

$$\Rightarrow \frac{d}{dl}\frac{n'-n}{r}=0=\frac{d}{dl}\left(\frac{n'}{l'}-\frac{n}{l}\right)=\frac{d}{dl}\frac{n'}{l'}-\frac{d}{dl}\frac{n}{l}$$

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

$$\Rightarrow \left(\frac{d}{dl'}\frac{n'}{l'}\right)\frac{dl'}{dl}-\frac{d}{dl}\frac{n}{l}=0 \Rightarrow -\frac{n'}{l'^2}\frac{dl'}{dl}+\frac{n}{l^2}=0$$

$$\alpha=\frac{dl'}{dl}=\frac{nl'^2}{n'l^2}=\frac{n'}{n}\left(\frac{nl'}{n'l}\right)^2=\frac{n'}{n}\beta^2$$

P17

三、物像大小关系

轴向放大率α讨论： $\alpha = \frac{n'}{n}\beta^2$

- 折射球面的轴向放大率恒为正，说明物点沿轴向移动时，像点沿光轴同方向移动。

- 轴向与垂轴放大率不等，空间物体成像时要变形，立方体放大后不再是立方体。折射球面不可能获得与物体相似的立体像。

- 公式应用条件：近轴

三、物像大小关系

角度放大率γ

在近轴区内，角放大率定义为一对共轭光线与光轴夹角即像方孔径角u'与物方孔径角u的比值，用γ表示：

$$\gamma = \frac{u'}{u} = \frac{l}{l'}$$

$$h = l'u' = lu$$

2.2 单个折射球面成像

三、物像大小关系

横向放大率β：
$$\beta=\frac{y'}{y}=\frac{l'-r}{l-r}=\frac{nl'}{n'l}$$

轴向放大率α：
$$\alpha=\frac{dl'}{dl}=\frac{nl'^2}{n'l^2}=\frac{n'}{n}\left(\frac{nl'}{n'l}\right)^2=\frac{n'}{n}\beta^2$$

角度放大率γ：
$$\gamma=\frac{u'}{u}=\frac{l}{l'}=\frac{n}{n'}\cdot\frac{n'l}{nl'}=\frac{n}{n'}\frac{1}{\beta}$$

适用于任何系统 $\alpha\gamma=\beta$

2.2 单个折射球面成像

三、物像大小关系

拉氏公式及拉赫不变量（Lagrange invariant）

$$\alpha\gamma=\frac{n'}{n}\beta^2\cdot\frac{u'}{u}=\beta \Rightarrow \frac{n'}{n}\beta\cdot\frac{u'}{u}=1 \Rightarrow \boxed{\frac{n'}{n}\frac{y'}{y}\frac{u'}{u}=1}$$

拉赫不变量: $\boxed{nyu=n'y'u'=J}$

J 称为**拉赫不变量**或**传递不变量**，可以利用这一性质，在物方参数固定后，通过改变u'来控制y'的大小，也就是可以通过控制**像方孔径角**来控制**横向放大率**。

三、物像大小关系

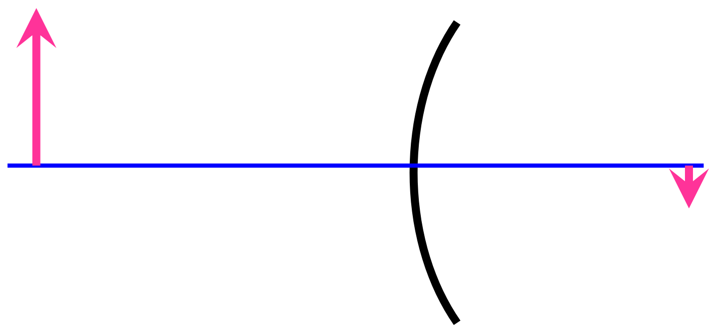
例：已知一个球面折射介面的结构参数：r=36.48mm, n=1, n’=1.5163 l = –240mm, y=20mm，求β, y’（横向放大率与像的大小）。

解： 首先求l’，利用物像关系公式：
$$\frac{n'}{l'}-\frac{n}{l}=\frac{n'-n}{r}$$

$$\Rightarrow \quad l' = n' \Big/ \left(\frac{n}{l} + \frac{n'-n}{r} \right)$$

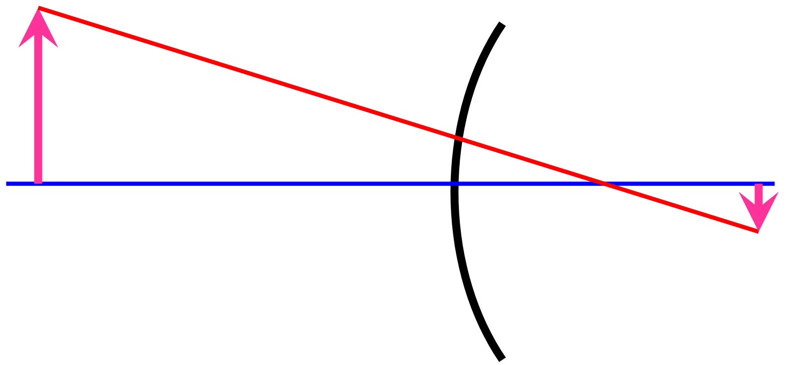
$$= 1.5163 \Big/ \left(\frac{1}{-240} + \frac{1.5163-1}{36.48} \right)$$

$$= 151.838 mm$$



2.2 单个折射球面成像

三、物像大小关系



解：

$$\beta=\frac{nl'}{n'l}=\frac{1\times 151.838}{1.5163\times\left(-240\right)}=-0.4172$$

$$y'=\beta\cdot y=-0.4172\times 20=-8.3448mm$$

β<0: 倒立、实像、两侧，
且 | β | <1→**缩小的像**

Notes： β> 0, 成正立像且物像虚实相反。

β< 0, 成倒立像且物像虚实相同。

| β |>1 放大，| β |<1 缩小

2.2 单个折射球面成像

近轴光学基本公式的作用：

近轴光学公式只适于近轴区域，有什么用?

- 作为衡量实际光学系统成像质量的标准。用近轴光学公式计算的像，称为实际光学系统的理想像。
- 近似表示实际光学系统所成像的位置和大小。
- 后续把近轴光学公式扩大应用到任意空间

球面不仅是光学系统的基本面型，而且由球面和球面系统引出的近轴概念是理想光学系统产生的基本原理。

主要内容

2.3 反射球面

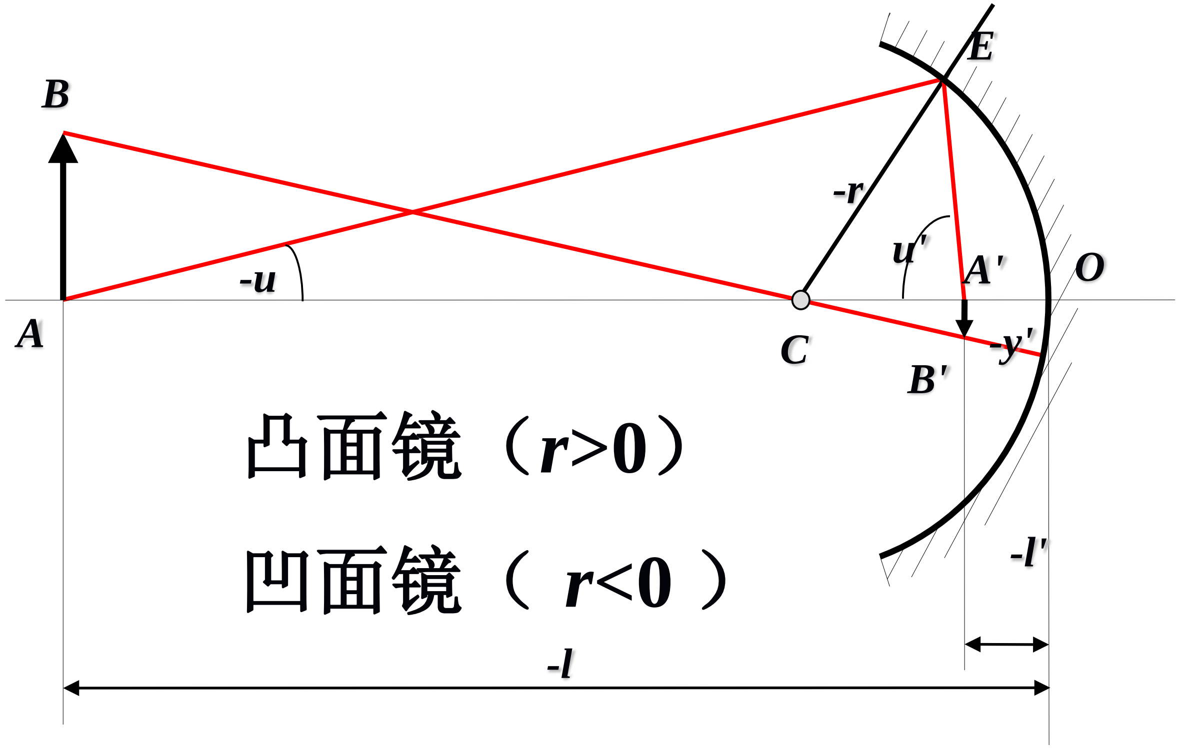
反射定律是折射定律在n′ = -n时的特殊情况。

物像位置公式:

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

$$n'=-n$$

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



凸面镜（r>0）

凹面镜（ r<0 ）

2.3 反射球面

反射定律是折射定律在n′ =-n时的特殊情况。

横向放大率β： $\beta=\dfrac{y'}{y}=\dfrac{nl'}{n'l}=-\dfrac{l'}{l}$

轴向放大率α： $\alpha=\dfrac{n'}{n}\left(\dfrac{nl'}{n'l}\right)^2=-\beta^2$

角度放大率γ： $\gamma=\dfrac{n}{n'}\dfrac{1}{\beta}=-\dfrac{1}{\beta}$

拉赫不变量： $yu=-y'u'=J$

球面反射镜的$\alpha<0$

表明物体沿光轴移动时，像总是与物体移动相反的方向移动。

2.3 反射球面

反射定律是折射定律在n′ = -n时的特殊情况。

- 当物体位于球面反射镜的球心时： $l = l' = r$

- 得到球心处的倍率：

$$\beta = -1$$

$$\alpha = -1$$

$$\gamma = 1$$

- 反射光线和入射光线间的夹角为π，即通过球心的光线被反射镜原路反射回来

2.3 反射球面

例：一球面镜半径r=-100mm,求β=0，-0.1，-0.2，-1，1，5，10，∝ 时的物距与像距。

解：因*r* =－100*mm*，*n'*=-*n*

$$由：\beta = \frac{l'}{l} = 0 \qquad \frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n'-n}{r} \qquad \frac{1}{l'} + \frac{1}{l} = \frac{2}{r} \Rightarrow \frac{1}{l'} = \frac{2}{-100}$$

$$\Rightarrow \quad \therefore l = \infty, \quad l = -50mm$$

$$由：\beta = \frac{l'}{l} = -0.1 \qquad \frac{1}{l'} + \frac{1}{l} = \frac{2}{r} \Rightarrow \frac{9}{l} = \frac{2}{-100}$$

$$\Rightarrow \quad \therefore l = 450, \quad l' = -45$$

例：一球面镜半径r=-100mm,求β＝0 ，-0.1 ，-0.2 ，-1 ，1 ，5，10，∝ 时的物距与像距。

解：因*r* =－100*mm*，*n'*=-*n*

由：$\beta=-0.2 \quad \Rightarrow \quad l=200, \quad l'=-40$

由：$\beta=-1 \quad \Rightarrow \quad l=100, \quad l'=-100$

由：$\beta=1 \quad \Rightarrow \quad l=-100, \quad l'=-100$

由：$\beta=5 \quad \Rightarrow \quad l=40, \quad l'=200$

由：$\beta=10 \quad \Rightarrow \quad l=45, \quad l'=450$

由：$\beta=\infty \quad \Rightarrow \quad l=50, \quad l'=\infty$

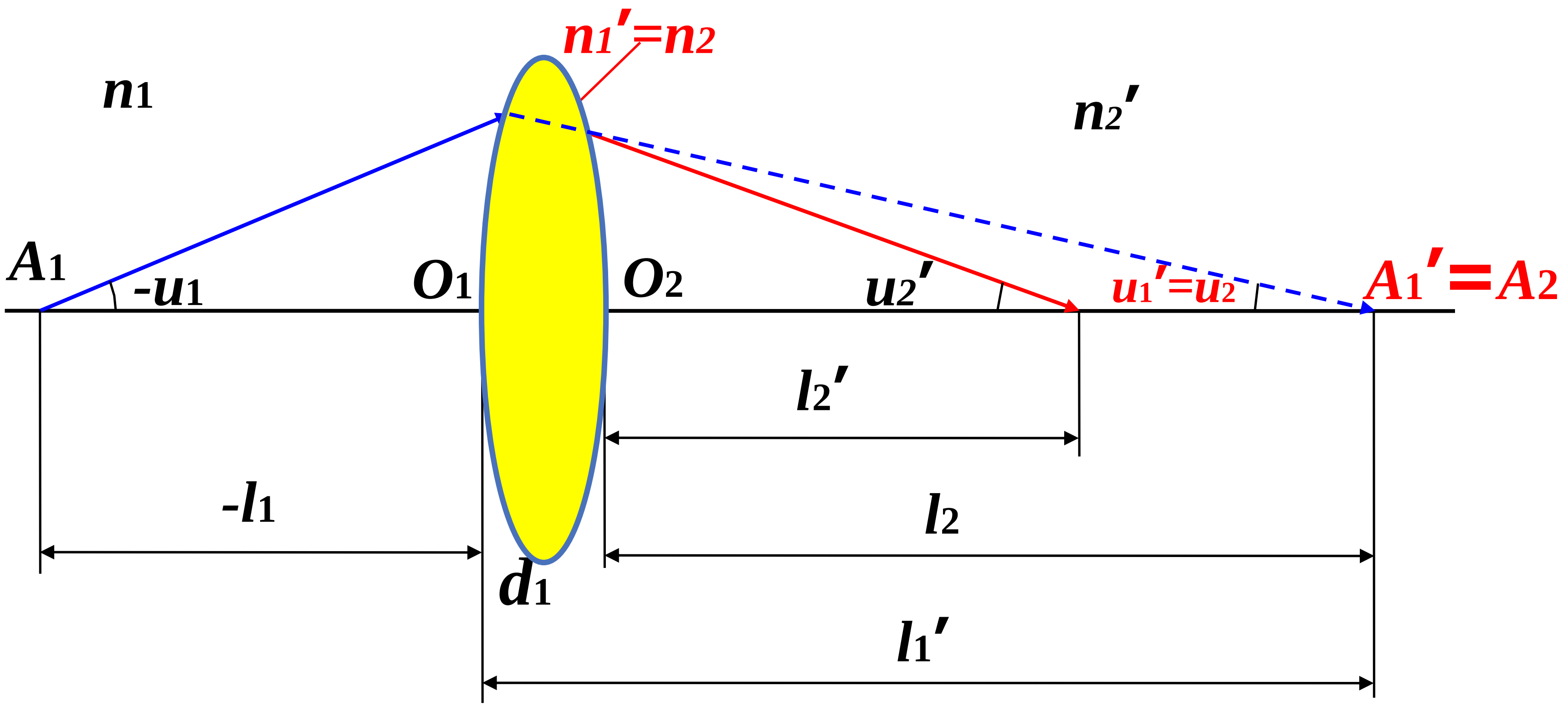
球面不仅是光学系统的基本面型，而且由球面和球面系统引出的近轴概念是理想光学系统产生的基本原理。

主要内容

- 2.1 几何光学基本符号规则
- 2.2 单个折射球面成像
- 2.3 反射球面
- 2.4 共轴球面系统

一、转面公式

由两个折射面组成的透镜，$n_1, n_2, n'_1, n'_2, r_1, r_2, d_1$ 均已知。

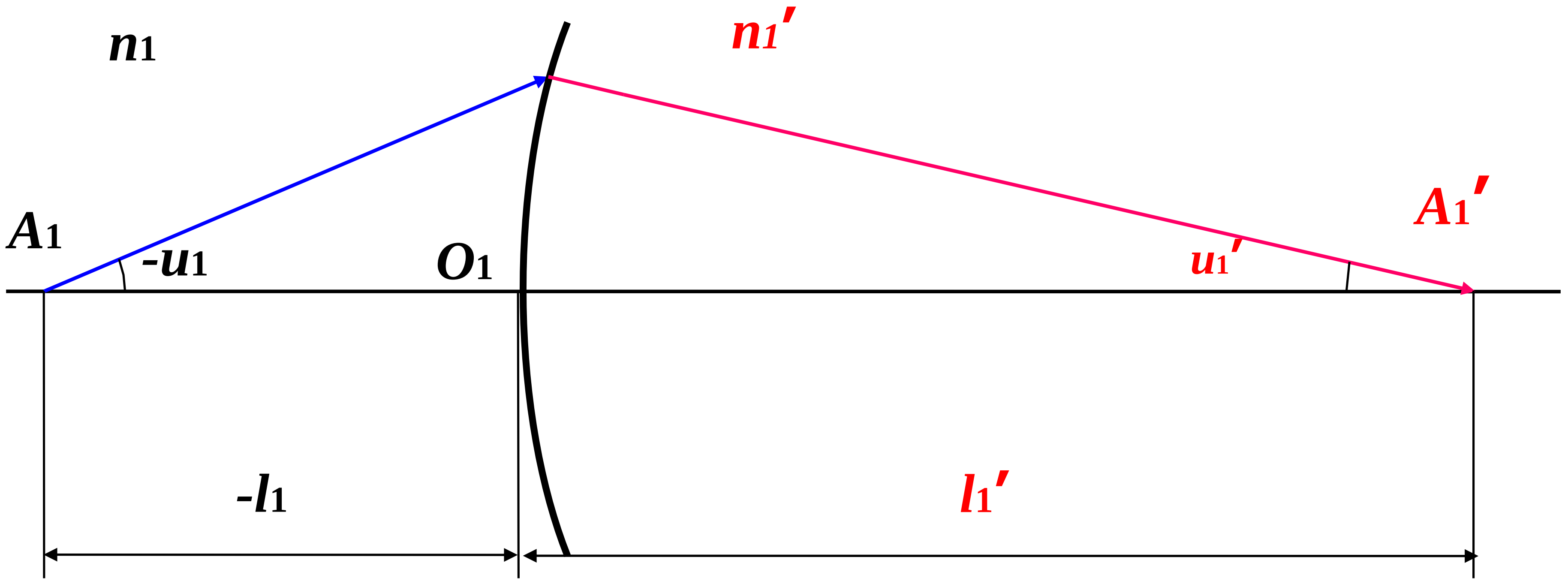


现在已知 l_1 和 u_1，要求l_2' 和 u_2'

2.4 共轴球面系统

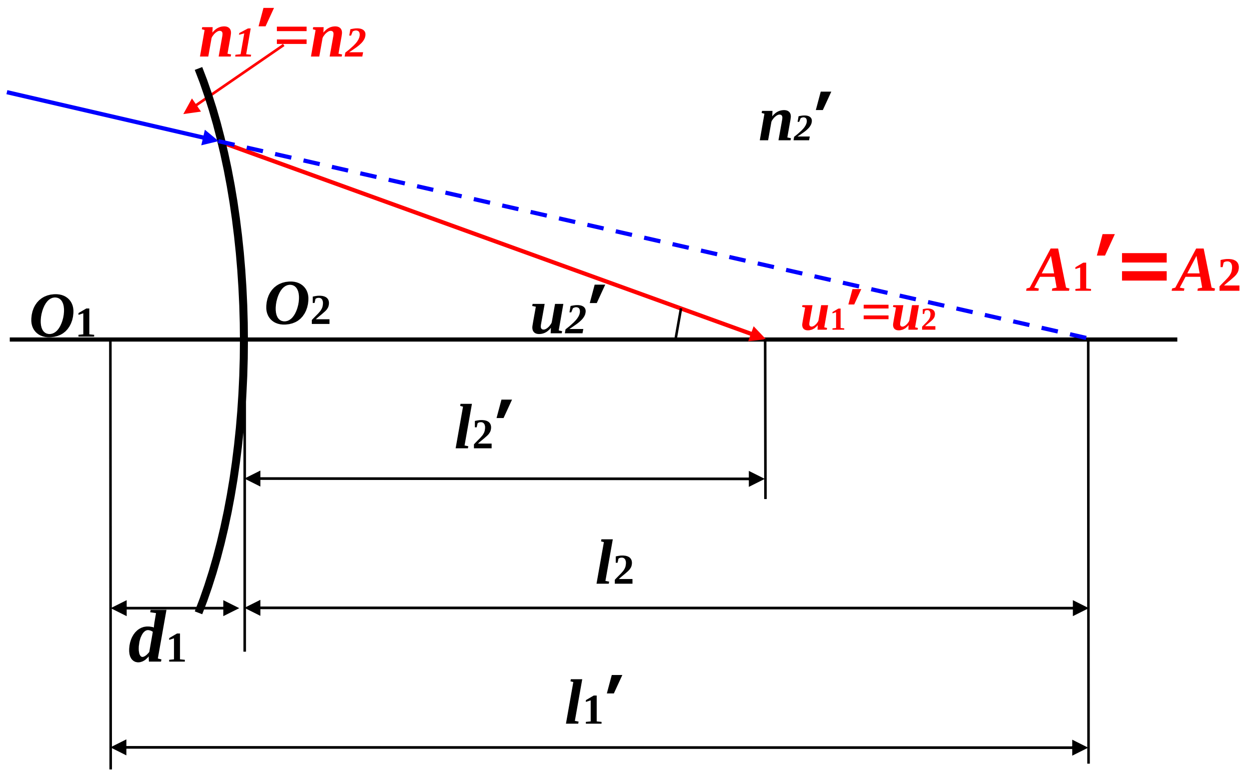
一、转面公式

1. 应用物像关系公式算出光线经第一个折射面后的像方截距 l'_1 和孔径角 $u_1{}'$



一、转面公式

2. 将第一个面的出射光线作为第二个面的入射光线，再利用物像关系公式求解最终的 l'_2和u_2'



转面公式

$$u_2 = u_1';$$

$$l_2 = l_1' - d_1;$$

$$n_2 = n_1'$$

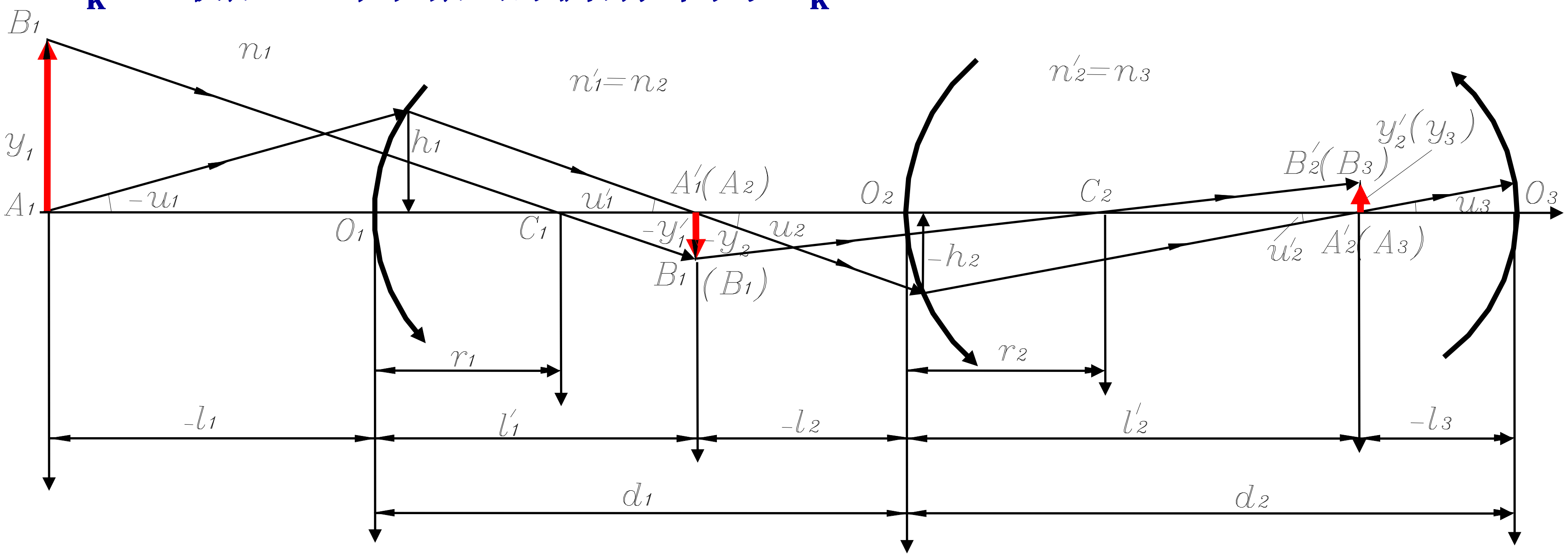
一、转面公式

假设有 *k* 个折射球面，给定以下光学系统的结构参数：

（1）每个球面的曲率半径 r_1，r_2……r_k

（2）各球面间隔 d_1，d_2……d_{k-1}

（3）每个球面间介质折射率 n_1，$n'_1= n_2$， $n'_2= n_3$ …… $n'_{k-1}= n_k$，最后一个面后的折射率为n'_k.



一、转面公式

前一个面的像空间就是后一个面的物空间。

$$
\begin{cases}
n_2 = n'_1, n_3 = n'_2 \ldots\ldots n_k = n'_{k-1} \\
u_2 = u'_1, u_3 = u'_2, \ldots\ldots u_k = u'_{k-1} \\
l_2 = l'_1 - d_1, l_3 = l'_2 - d_2 \ldots\ldots l_k = l'_{k-1} - d_{k-1} \\
y_2 = y'_1, y_3 = y'_2 \ldots\ldots y_k = y'_{k-1}
\end{cases}
$$

上述公式为共轴球面系统近轴光线计算的转面公式，它对于宽光束成像也适用，只需将小写字母 u 和 l 换成大写即可。

一、转面公式

将公式

$$\begin{cases} u_2 = u'_1, u_3 = u'_2, \ldots\ldots u_k = u'_{k-1} \\ l_2 = l'_1 - d_1, l_3 = l'_2 - d_2 \ldots\ldots l_k = l'_{k-1} - d_{k-1} \end{cases}$$

两式中对应项相乘，可得：

$$l_k u_k = l'_{k-1} u'_{k-1} - d_{k-1} u'_{k-1}$$

由于：

$$l_k u_k = h_k$$

$$h_k = h_{k-1} - d_{k-1} u'_{k-1}$$

这就是光线高度转面公式 的一般形式，在计算时如u_1 和 h_1 已知，则可算出 h_k 和 u'_k

二、拉赫不变量

由第一面，有拉赫公式 $y_1 \cdot n_1 \cdot u_1 = y_1' \cdot n_1' \cdot u_1' = J$

同样第二面，有 $y_2 \cdot n_2 \cdot u_2 = y_2' \cdot n_2' \cdot u_2' = J$

而 $y_1' \cdot n_1' \cdot u_1' = y_2 \cdot n_2 \cdot u_2$

所以有 $y_1 \cdot n_1 \cdot u_1 = y_1' \cdot n_1' \cdot u_1' = y_2 \cdot n_2 \cdot u_2 \ldots\ldots = y_k' \cdot n_k' \cdot u_k' = J$

这说明，拉赫不变量不仅对于一个面的物像空间，而且对于整个系统的每一个面都是不变量。

利用这一点，我们可以对计算结果进行检验

三、放大倍率

横向放大率 $$\beta = \frac{y_k'}{y_1}$$

由于 $y'_1=y_2$, $y'_2=y_3$……上式可以写成：

$$\beta = \frac{y_k'}{y_1} = \frac{y_1'}{y_1}\frac{y_2'}{y_2}\cdots\cdots\frac{y_k'}{y_k} = \beta_1\beta_2\cdots\cdots\beta_k$$

整个系统的横向放大率是各个折射面放大率的乘积.

三、放大倍率

横向放大率 $\beta_k = \dfrac{n_k l_k'}{n_k' l_k}$

$$\beta = \frac{n_1 \cdot l_1' \cdot l_2' \ldots\ldots l_k'}{n_k' \cdot l_1 \cdot l_2 \ldots\ldots l_k}$$

由拉赫公式

$$y_1 \cdot n_1 \cdot u_1 = y_1' \cdot n_1' \cdot u_1' = y_2 \cdot n_2 \cdot u_2 \ldots\ldots = y_k' \cdot n_k' \cdot u_k' = J$$

还可得到：$\beta = \dfrac{y_k'}{y_1} = \dfrac{n_1 u_1}{n_k' u_k'}$

三、放大倍率

轴向放大率 $\alpha = \dfrac{dl_k'}{dl_1}$ 对转面的一般公式进行微分后，可得:

$$dl_2 = dl_1', dl_3 = dl_2', \ldots\ldots dl_k = dl'_{k-1}$$

$$\alpha = \frac{dl_k'}{dl_1} = \frac{dl_1'}{dl_1} \cdot \frac{dl_2'}{dl_2} \cdots \frac{dl_k'}{dl_k} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \cdots \alpha_k$$

说明整个光学系统的轴向放大率是各个折射面放大率的乘积

将 $\alpha = \dfrac{n'}{n}\beta^2$ 代入还可得到: $\alpha = \dfrac{n_k'}{n_1}\beta^2$

三、放大倍率

角度放大率 $$\gamma = \frac{u_k'}{u_1}$$

根据转面的一般公式可变换为：
$$\gamma = \frac{u_k'}{u_1} = \frac{u_1'}{u_1} \cdot \frac{u_2'}{u_2} \cdots \frac{u_k'}{u_k} = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdots\cdots \gamma_k$$

将 $\gamma = \frac{n}{n'} \frac{1}{\beta}$ 代入可得：
$$\gamma = \frac{n_1}{n_k'} \frac{1}{\beta}$$

三者关系 $$\gamma \cdot \alpha = \beta$$

2.4 共轴球面系统

成像计算中有两种方法:

方法1： 对每一面用追迹公式

$$i = \frac{l-r}{r}u$$

$$i' = \frac{n}{n'}i$$

$$u' = u + i - i'$$

$$l' = r(1 + \frac{i'}{u'})$$

及转面公式 $$\begin{cases} u_2 = u'_1, u_3 = u'_2, \ldots\ldots u_k = u'_{k-1} \\ l_2 = l'_1 - d_1, l_3 = l'_2 - d_2 \ldots\ldots l_k = l'_{k-1} - d_{k-1} \end{cases}$$

成像计算中有两种方法：

方法2： 对每一面应用物像位置公式

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

及转面公式

$$l_2=l'_1-d_1, l_3=l'_2-d_2 \ldots\ldots l_k=l'_{k-1}-d_{k-1}$$

当只关心物像位置且折射面很少时，用方法2较为方便。如需知道一些中间量且折射面较多时，多采用方法1。

第二章 球面和球面系统

球面不仅是光学系统的基本面型，而且由球面和球面系统引出的近轴概念是理想光学系统产生的基本原理。

主要内容

- 2.1 几何光学基本符号规则
- 2.2 单个折射球面成像
- 2.3 反射球面
- 2.4 共轴球面系统

第二章 小结

球面是光学系统的基本面型，由球面和球面系统引出的近轴概念是理想光学系统产生的基本原理。

第二章 球面和球面系统

反射球面成像
- 物像位置公式
- 放大倍率
- ....

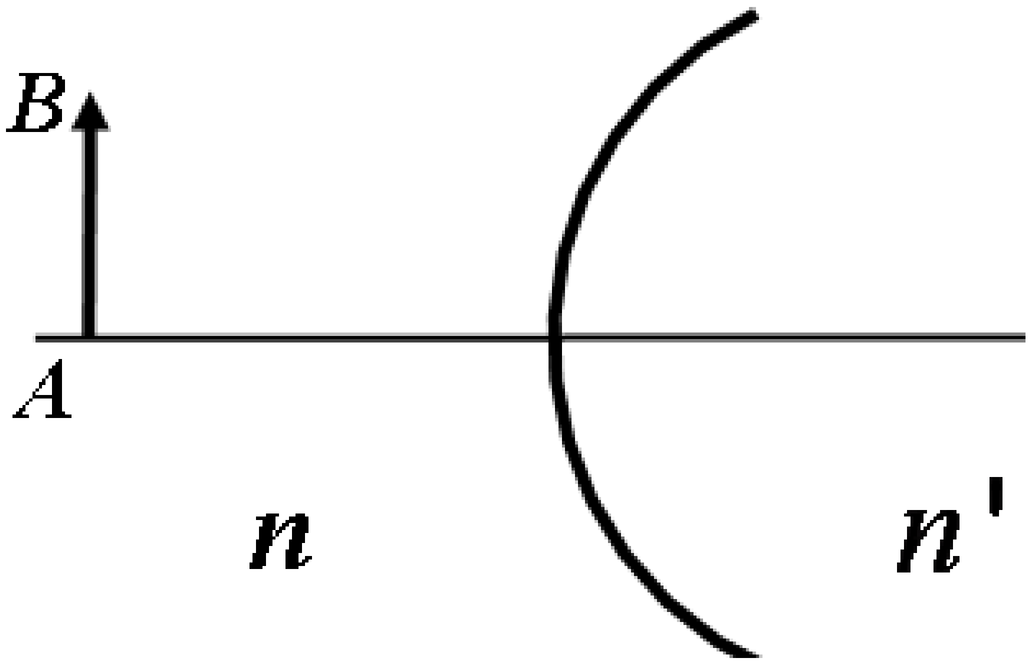
单个折射球面成像
- 光路计算
- 近轴光学
- 物像大小关系
- 拉赫不变量

共轴球面系统
- 转面公式
- 放大倍率
- 拉赫不变量
- 成像计算方法

第一次作业

第一次作业：上交时间2021年9月15日， 星期三

题目1：如图，高15*mm*的物AB位于折射球面前150*mm*处，球面半径为30*mm*，物方为空气，像方介质折射率为1.5，求像的位置、大小、正倒和虚实。



第一次作业

第一次作业：上交时间**2021**年**9**月**15**日， 星期三

题目2：如图所示，有一正弯月型薄透镜，两个表面的曲率半径r_1=–200*mm*，r_2=–150*mm*。透镜材料的折射率n=1.5。今在r_2的凸面镀银，在r_1的左方400*mm*处的光轴上置一高为10*mm*的物体，求最后成像的位置和大小。

(题目中的假设是该透镜为一薄透镜，即d = 0)