

第一章 几何光学基本定律

1. 已知真空中的光速 $c=3 \times 10^8 \text{m/s}$, 求光在水 ($n=1.333$)、冕牌玻璃 ($n=1.51$)、火石玻璃 ($n=1.65$)、加拿大树胶 ($n=1.526$)、金刚石 ($n=2.417$) 等介质中的光速。

解:

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{3 \times 10^8}{n}$$

则当光在水中, $n=1.333$ 时, $v=2.25 \text{ m/s}$,

当光在冕牌玻璃中, $n=1.51$ 时, $v=1.99 \text{ m/s}$,

当光在火石玻璃中, $n=1.65$ 时, $v=1.82 \text{ m/s}$,

当光在加拿大树胶中, $n=1.526$ 时, $v=1.97 \text{ m/s}$,

当光在金刚石中, $n=2.417$ 时, $v=1.24 \text{ m/s}$ 。

2. 一物体经针孔相机在屏上成一60mm大小的像,若将屏拉远50mm,则像的大小变为70mm,求屏到针孔的初始距离。

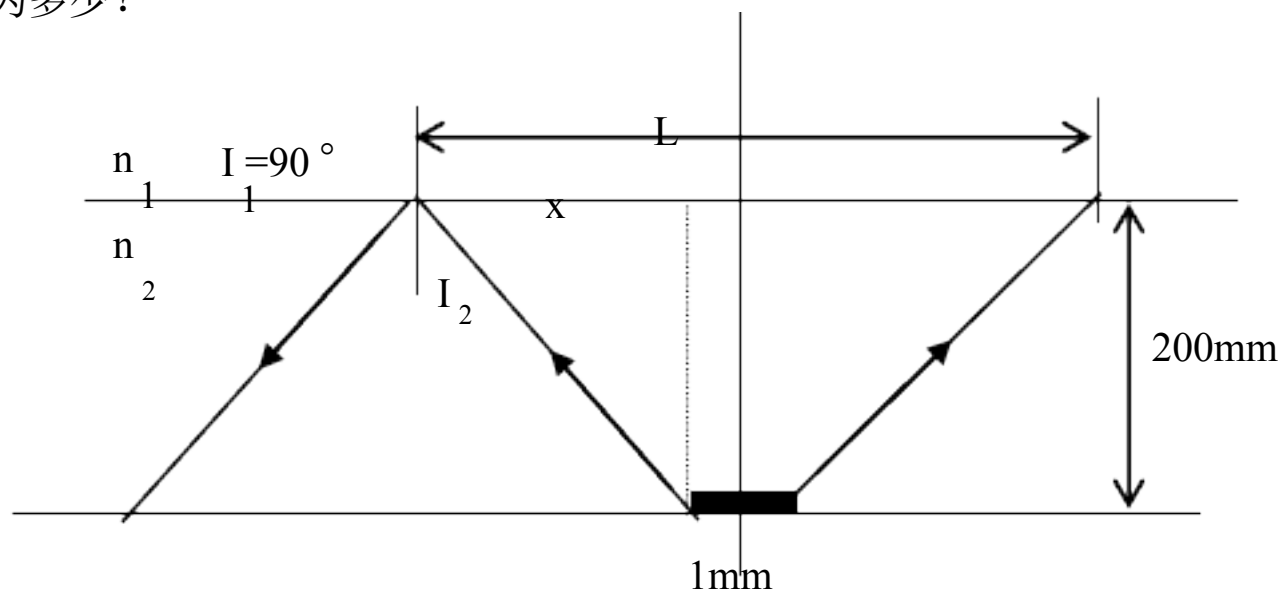
解: 在同种均匀介质空间中光线直线传播, 如果选定经过节点的光线则方向不变, 令屏到针孔的初始距离为 x , 则可以根据三角形相似得出:

$$\frac{60}{70} = \frac{x}{x+50}$$

, 所以 $x=300\text{mm}$

即屏到针孔的初始距离为 300mm。

3. 一厚度为 200mm 的平行平板玻璃 (设 $n=1.5$), 下面放一直径为1mm 的金属片。若在玻璃板上盖一圆形的纸片, 要求在玻璃板上方任何方向上都看不到该金属片, 问纸片的最小直径应为多少?



$$n_1 \sin I_1 = n_2 \sin I_2$$

$$\sin I_2 = \frac{1}{n_2} = 0.66666$$

$$\cos I_2 = \sqrt{1 - 0.66666^2} = 0.745356$$

$$x = 200 * \operatorname{tg} I_2 = 200 * \frac{0.66666}{0.745356} = 178.88$$

$$L = 2x + 1 = 358.77 \text{ mm}$$

4. 光纤芯的折射率为 n_1 ，包层的折射率为 n_2 ，光纤所在介质的折射率为 n_0 ，求光纤的数值

孔径（即 $n_0 \sin I_1$ ，其中 I_1 为光在光纤内能以全反射方式传播时在入射端面的最大入射角）。

解：位于光纤入射端面，满足由空气入射到光纤芯中，应用折射定律则有：

$$(1) \quad n_0 \sin I_1 = n_1 \sin I_2$$

而当光束由光纤芯入射到包层的时候满足全反射，使得光束可以在光纤内传播，则有：

$$\sin(90^\circ - I_2) = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

由（1）式和（2）式联立得到 n_0 。

5. 一束平行细光束入射到一半径 $r=30\text{mm}$ 、折射率 $n=1.5$ 的玻璃球上，求其会聚点的位置。如果在凸面镀反射膜，其会聚点应在何处？如果在凹面镀反射膜，则反射光束在玻璃中的会聚点又在何处？反射光束经前表面折射后，会聚点又在何处？说明各会聚点的虚实。

解：该题可以应用单个折射面的高斯公式来解决，

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

设凸面为第一面，凹面为第二面。

① 首先考虑光束射入玻璃球第一面时的状态，使用高斯公式：

$$\text{由 } \frac{n_1'}{l_1'} - \frac{n_1}{l_1} = \frac{n_1' - n_1}{r_1}, \quad n_1' = 1.5, \quad r_1 = 30, \quad n_1 = 1, \quad l_1 = \infty$$

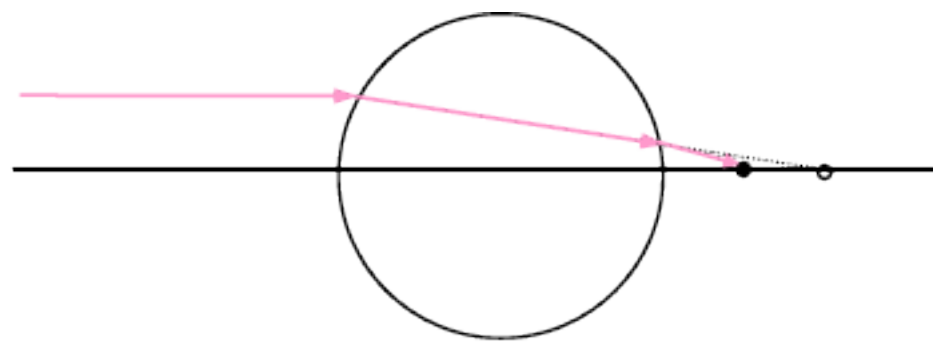
$$\text{得到: } l_1' = 90 \text{ mm}$$

对于第二面， $d = 60 \text{ mm}$ ， $l_2 = l_1' - d = 90 - 60 = 30 \text{ mm}$

$$\text{由 } \frac{n_2'}{l_2'} - \frac{n_2}{l_2} = \frac{n_2' - n_2}{r_2}, \quad n_2 = 1, \quad n_2' = 1.5, \quad r_2 = -30, \quad l_2 = 30$$

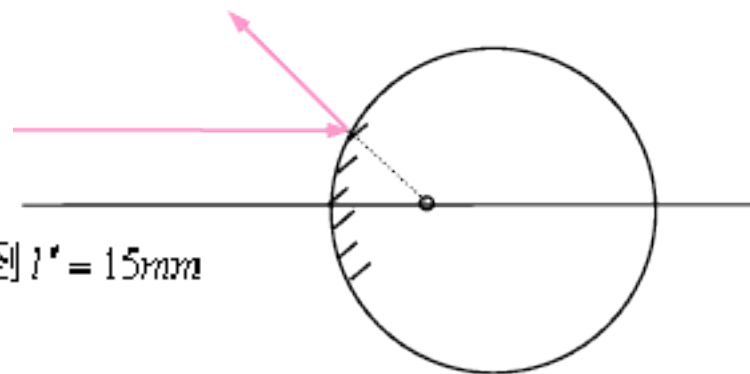
$$\text{得到: } l_2' = 15 \text{ mm}$$

会聚点位于第二面后 15mm 处。



(2) 将第一面镀膜，就相当于凸面镜

$$\text{由 } \frac{1}{l'} + \frac{1}{l} = \frac{2}{r}, \quad l = \infty \quad \text{得到 } l' = 15\text{mm}$$



像位于第一面的右侧，只是延长线的交点，因此是虚像。

还可以用 β 正负判断：

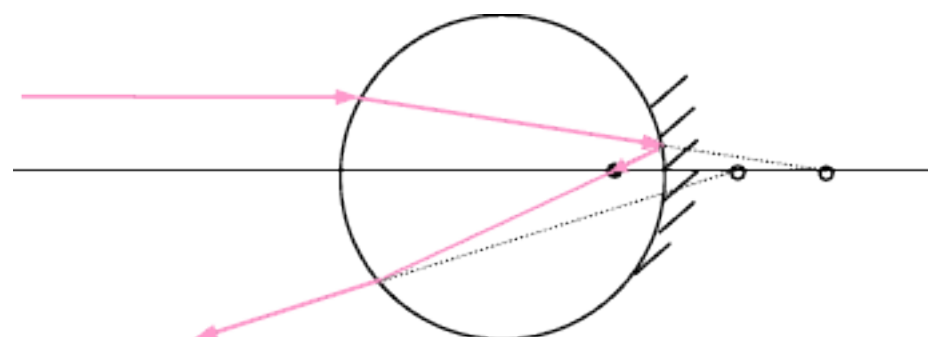
$$\beta = \frac{nl'}{n'l} = -\frac{15}{-\infty} > 0, \quad \text{实物成虚像。}$$

(3) 光线经过第一面折射： $l' = 90\text{mm}$, $l_2 = 30$, 虚像
第二面镀膜，则：

$$\frac{1}{l_2'} + \frac{1}{l_2} = \frac{2}{r_2}, \quad l_2 = 30, \quad r_2 = -30$$

得到：

$$l_2' = -10\text{mm}$$



像位于第二面前 10mm 处。

$$\beta = \frac{l_2'}{l_2} = \frac{1}{3} > 0 \quad \text{与物虚实相反，对于第二面，物虚，所以为实像。}$$

(4) 在经过第一面折射

$$l_3 = 60 - 10 = 50\text{mm}, \quad n_3 = 1.5, \quad n_2 = 1, \quad r = 30, \quad \frac{n_3}{l_3'} - \frac{n_2}{l_3} = \frac{n_3 - n_2}{r}$$

$$\text{得到: } l_3' = 75\text{mm}$$

最后像位于第一面后 75mm,

$$\beta = \frac{n_3 l_3'}{n_2 l_3} = \frac{1.5 \times 75}{50} > 0,$$

物像相反为虚像。

6. 一直径为 400mm，折射率为 1.5 的玻璃球中有两个小气泡，一个位于球心，另一个位于 $1/2$ 半径处。沿两气泡连线方向在球两边观察，问看到的气泡在何处？如果在水中观察，看到的气泡又在何处？

解：

设一个气泡在中心处，另一个在第二面和中心之间。

(1) 从第一面向第二面看

$$\text{中心气泡: } \frac{n' - n}{r} = \frac{1 - 1.5}{200} = -\frac{0.5}{200} = -\frac{1}{400}$$

$$\text{得到: } l' = -400$$

(2) 从第二面向第一面看

$$\text{1/2 半径处气泡: } \frac{n' - n}{r} = \frac{1 - 1.5}{100} = -\frac{0.5}{100} = -\frac{1}{200}$$

$$\text{得到: } l' = 30$$

(3) 在水中

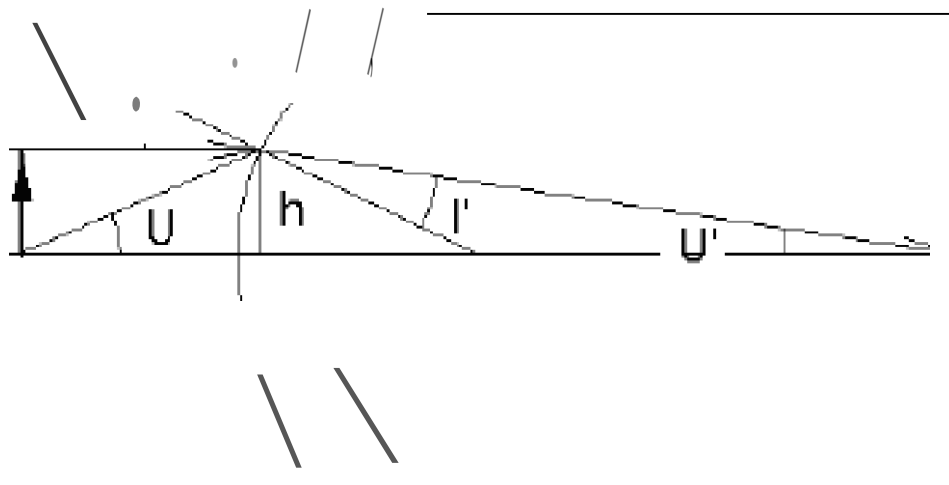
$$\text{中心气泡对第一面成像: } \frac{n' - n}{r} = \frac{1.5 - 1}{200} = \frac{0.5}{200} = \frac{1}{400}$$

得到: $l' = 400$

$$\text{1/2 半径处气泡对第一面成像: } \frac{n' - n}{r} = \frac{1.5 - 1}{100} = \frac{0.5}{100} = \frac{1}{200}$$

$$l = -200 \text{ 得到: } l' = -200$$

7. 有一平凸透镜 $r_1 = 100\text{mm}$, $r_2 = \infty$, $d = 300\text{mm}$, $n = 1.5$, 当物体在 U 时, 求高斯像的位置 l' 。在第二面上刻一十字丝, 问其通过球面的共轭像在何处? 当入射高度 $h = 10\text{mm}$, 实际光线的像方截距为多少? 与高斯像面的距离为多少?



解:

(1) $l = \infty$

$$\text{平行光先经第一面成像, } \frac{n' - n}{r} = \frac{1.5 - 1}{100} = \frac{0.5}{100} = \frac{1}{200}$$

$$\text{得到: } l' = 300$$

即物经第一面成像于平凸面后

对于平面, $l = 0$ 得到 $l' = 0$ 即像为其本身

$$(2) \frac{n' - n}{r} = \frac{1.5 - 1}{100} = \frac{0.5}{100} = \frac{1}{200}$$

$$\frac{1 - 1.5}{l} = \frac{1 - 1.5}{-300} \text{ 得到: } l = \infty$$

即焦面处产生的光经第二面成像于无穷远处, 为平行光出射

(3) 当入射高度为 10mm 时:

$$\sin I = \frac{h}{r}$$

$$\sin I' = \frac{n}{n'} \sin I$$

$$\text{得到: } L' = 299.398$$

$$\Delta d = L' - l' = -0.7$$

$$U' = U + I - I'$$

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

8. 一球面镜半径 $r = -100\text{mm}$, 求 $\beta = 0, -0.1\times, -0.2\times, -1\times, 1\times, 5\times, 10\times, \infty$ 时的物距和象距。

解: (1)

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

(2) 同理,

$$\beta = \frac{l'}{l} = 0$$

$$\text{得到 } \begin{matrix} l = \infty \\ l' = -50 \end{matrix}$$

$$r = -100$$

$$n = -n'$$

$$\beta = -0.1 \text{ 得到: } \begin{matrix} l = 450 \\ l' = -45 \end{matrix}$$

(3) 同理,

(4) 同理,

$$\beta = -0.2 \text{ 得到: } \begin{matrix} l = 200 \\ l' = -40 \end{matrix}$$

$$\beta = -1 \text{ 得到: } \begin{matrix} l = 100 \\ l' = -100 \end{matrix}$$

(5) 同理,

(6) 同理,

$$\beta = 1 \text{ 得到: } \begin{matrix} l = -100 \\ l' = -100 \end{matrix}$$

$$\beta = 5 \text{ 得到: } \begin{matrix} l = 40 \\ l' = 200 \end{matrix}$$

(7) 同理,

(8) 同理,

$$\beta = 10 \text{ 得到: } \begin{matrix} l = 45 \\ l' = 450 \end{matrix}$$

$$\beta = \infty \text{ 得到: } \begin{matrix} l = 50 \\ l' = \infty \end{matrix}$$

9. 一物体位于半径为 r 的凹面镜前什么位置时, 可分别得到: 放大 4 倍的实像, 放大 4 倍的虚像、缩小 4 倍的实像和缩小 4 倍的虚像?

解: (1) 放大 4 倍的实像

$$\beta = -4$$

$$\frac{1}{l'} + \frac{1}{l} = \frac{2}{r}, \quad \beta = -\frac{l'}{l} \quad \text{得到:} \quad \begin{aligned} l &= \frac{5}{8}r \\ l' &= -\frac{5}{2}r \end{aligned}$$

(2) 放大四倍虚像

$$\beta = 4$$

$$\text{同理, 得到:} \quad \begin{aligned} l &= \frac{3}{8}r \\ l' &= -\frac{3}{2}r \end{aligned} \quad \beta = -\frac{1}{4}$$

$$\text{(3) 缩小四倍实像} \quad \text{同理, 得到:} \quad \begin{aligned} l &= \frac{5}{2}r \\ l' &= \frac{5}{8}r \end{aligned} \quad \text{像}$$

$$\text{(4) 缩小} \quad \beta = \frac{1}{4} \quad \text{同理, 得到:} \quad \begin{aligned} l &= -\frac{3}{2}r \\ l' &= \frac{3}{8}r \end{aligned} \quad \text{四倍虚像}$$

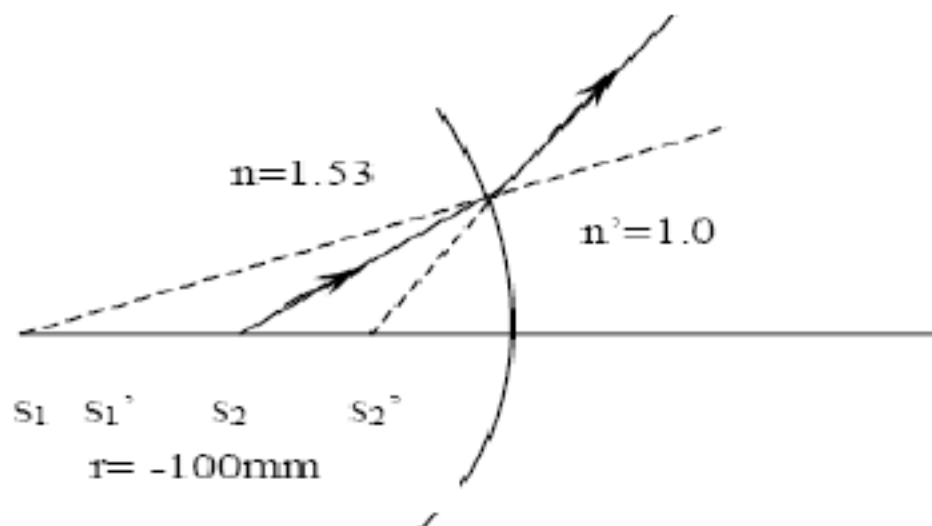
10. 一个直径为200mm的玻璃球, 折射率为1.53, 球内有两个小气泡, 从球外看其中一个恰好在球心。从最近的方位去看另一个气泡, 它位于球表面和球心的中间。求两气泡的实际位置。

(解题思路) 玻璃球内部的气泡作为实物经单球面折射成像。由于人眼的瞳孔直径很小, 约2—3毫米, 且是从离气泡最近的方位观察, 所以本题是单球面折射的近轴成像问题。题中给出的是像距 s' , 要求的是物距是 s 。

解:

(1) $n=1.53$ $n'=1.00$ $r=-100\text{mm}$
 $s'=-100\text{mm}$ 代入成像公式
 $s=-100\text{mm}$
 物为实物, 且和像的位置重合,
 且位于球心。

(2) 对另一个气泡, 已知
 $n=1.53$; $n'=1.00$; $r=-100\text{mm}$
 $s'=-50\text{mm}$. 代入成像公式
 $s=-60.47\text{mm}$



气泡为实物，它的实际位置在离球心 $(100-60.47)=39.53\text{mm}$ 的地方。讨论：对于第一个气泡，也可以根据光的可逆性来确定。因为第一个气泡和像是重合的，由可逆性将像视为物，经球面折射后仍成在相同的位置。所以像和物只能位于球心。

11 一直径为 20mm 的玻璃球，其折射率为 $\sqrt{3}$ ，今有一光线以 60° 入射角入射到该玻璃球上，试分析光线经玻璃球传播情况。

解：在入射点A处。同时发生折射和反射现象

$$\Theta n_1 \sin I_1 = n_2 \sin I_2$$

$$\sin I_2 = \frac{\sin 60^\circ}{\sqrt{3}} = 0.5$$

$$I_2 = 30^\circ$$

$\therefore$ 在A点处光线以 30° 的折射角进入玻璃球，

同时又以 60° 的反射角返回原介质。根据球的对称性，知折射光线将到达图中B点处，并发生折射反射现象。

$$\Theta I_3 = I_2 = 30^\circ$$

$$\therefore I_5 = 30^\circ$$

$$n \sin I_3 = \sin I_4$$

$$\sin I_4 = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$I_4 = 60^\circ$$

同理：由B点发出的反射光线可以到达C点处，并发生反射折射现象

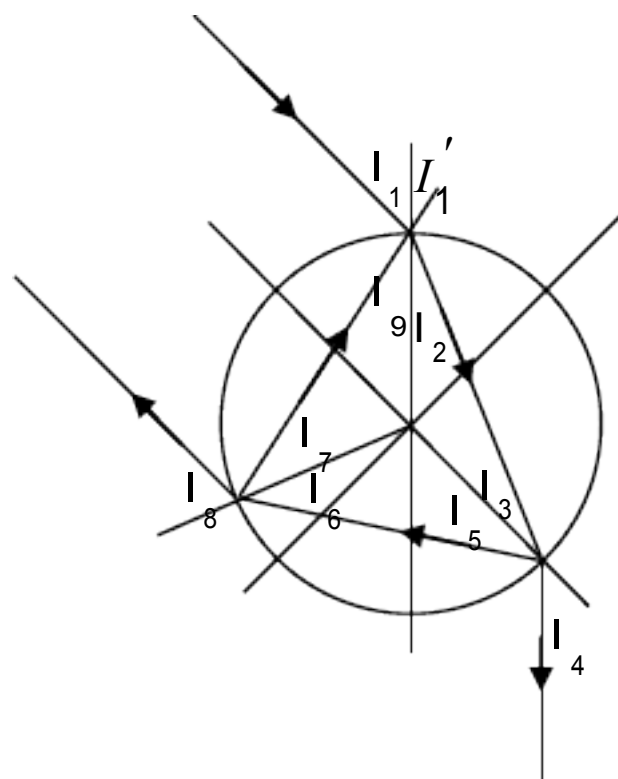
$$I_7 = 30^\circ$$

$$I_8 = 60^\circ$$

B点的反射光线可再次到达A点，并发生折、反现象。

$$I_9 = 30^\circ \quad I_{10} = I_2 = 30^\circ$$

$$I_{10} = I_1' = 60^\circ$$



由以上分析可知：当光线以 60° 入射角射入折射率为 $\sqrt{3}$ 的玻璃球，后，可在如图A，B，C三点连续产生折射反射现象。ABC构成了玻璃球的内接正三角形，在ABC三点的

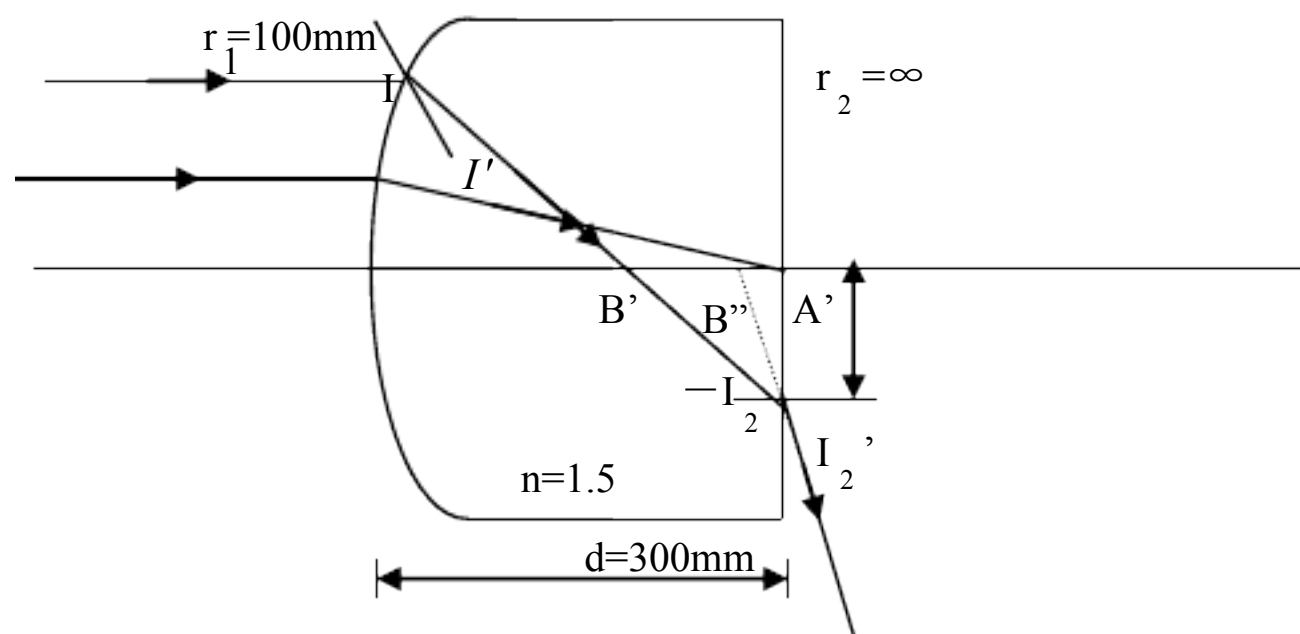
反射光线构成了正三角形的三条边。同时，在 ABC 三点有折射光线一 60° 角进入空气中

事实上：光照射到透明介质光滑界面上时，大部分折射到另一介质中，也有小部分光反射回原来的介质中

当光照射到透明介质界面上时，折射是最主要的，反射是次要的

12 有平凸透镜 $r_1=100\text{mm}$, $r_2=\infty$, $d=300\text{mm}$, $n=1.5$, 当物体在 $-\infty$ 时，求高斯像的位置 l' 。

在第二面上刻一十字丝，问其通过球面的共轭像处？当入射高度 $h=10\text{mm}$ 时，实际光线的像方截距为多少？与高斯像面的距离为多少？



解 1) 由
$$\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{n' - n}{r}$$

代入 $l_1 = \infty$, $n'_1 = 1.5, n_1 = 1, r_1 = 100$ 得:

$$l'_1 = 300\text{mm}$$

$$l_2 = l'_1 - d = 300 - 300 = 0\text{mm}$$

$$\therefore l'_2 = 0\text{mm}$$

即：物体位于 $-\infty$ 时，其高斯像点在第二面的中心处。

2) 由光路的可逆性可知：第二面上的十字丝像在物方 ∞ 处。

3) 当 $h_1 = 10\text{mm}$ 时

$$\sin I = \frac{h}{r_1} = \frac{10}{100} = 0.1$$

$$\sin I' = \frac{n}{n'} * \sin I = \frac{1}{1.5} * 0.1 = 0.06667$$

$$I' = \arcsin 0.06667 = 3.822^\circ$$

$$u' = u + I - I' = 0 + 5.739 - 3.822 = 1.9172^\circ$$

$$L' = r * (1 + \frac{\sin I'}{\sin u'}) = 100 * (1 + \frac{0.06667}{0.0334547}) = 299.374mm$$

$$L_2 = L_1' - d = -0.626mm$$

$$-I_2 = u' = 1.9172^\circ$$

$$\sin I_2' = \frac{n}{1} * \sin I_2 = -1.5 * \sin 1.9172^\circ = -0.05018$$

$$I_2' = -2.87647^\circ$$

$$u_2' = u_2 + I_2 - I_2' = 1.9172^\circ - 1.9172^\circ + 2.87647^\circ = 2.87647^\circ$$

由△关系可得：

$$x = L_2 \operatorname{tg} u_2' = -0.626 * \operatorname{tg} 1.9172^\circ = -0.02095mm$$

$$L_2' = -\frac{0.02095}{\operatorname{tg} 2.87467^\circ} = -0.4169mm$$

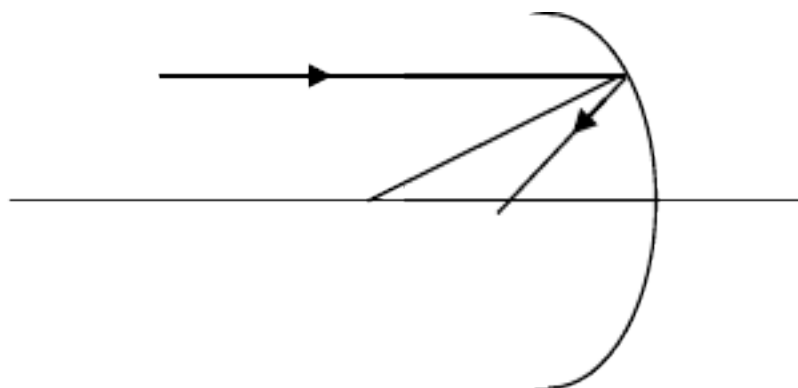
它与高斯像面的距离为-0.4169mm

重点：

1° 所有的折射面都有贡献。

2° 近轴光线和远轴光线的区别。

13 一球面镜半径 $r = -100mm$ ，求 $\beta = 0, -0.1x, -0.2x, -1x, 1x, 5x, 10x, \infty$ 时的物距和像距。



求 $\beta = 0, -0.1x, -0.2x, -1x, 1x, 5x, 10x, \infty$ 时的 l, l'

解: $\frac{1}{l'} + \frac{1}{l} = \frac{2}{r}$, $\beta = -\frac{l'}{l}$

1) $\beta = 0$ 时, $l = -50$, $l' = -\infty$
 $l' = 0$, $l' = -50$ (可用解)

2) $\beta = -0.1$ 时, $l = -550$, $l' = -55mm$

3) $\beta = -0.2$ 时, $l = -300mm$, $l' = -60mm$

4) $\beta = -1$ 时, $l = -100mm$, $l' = -100mm$

5) $\beta = 1$ 时, $l = 0mm$, $l' = 0mm$

6) $\beta = 5$ 时, $l = -40mm$, $l' = 200mm$

7) $\beta = 10$ 时, $l = -45mm$, $l' = 450mm$

8) $\beta = \infty$ 时, $l = -50mm$, $l' = -\infty$

14 思考题: 为什么日出或日落时太阳看起来是扁的?

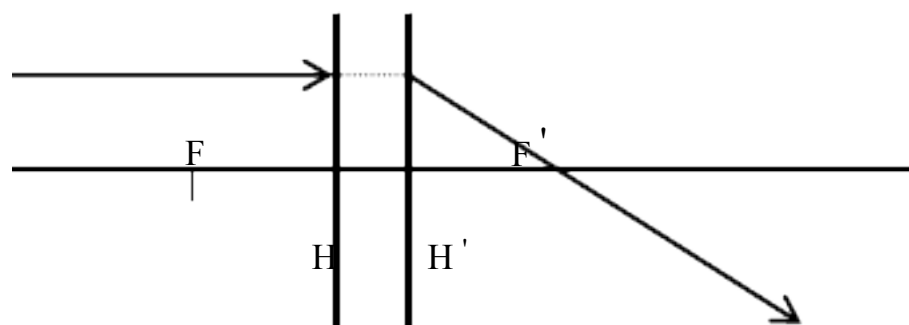
答: 日出或日落时, 太阳位于地平线附近。对于地球的一点, 来自太阳顶部、中部和底部的光线射向地球大气层的入射角依次增大。同时, 由于大气层的密度不均匀, 引起折射率 n 随接近地面而逐渐增大。所以当光线穿过大气层射向地面时, 折射率 n 逐渐增大, 其折射角逐渐减少, 光线的传播路径发生弯曲。我们沿着光线看去, 看到的发光点位置比其实际位置抬高。另一方面, 折射光线的弯曲程度还与光线入射角有关。入射角越大的光线, 弯曲越厉害, 视觉位置被抬的越高。因此从太阳上部到太阳下部发出的光线, 入射角逐渐增大, 下部的视觉位置就依次比上部抬的更高。所以, 日出和日落时太阳看起来呈扁椭圆形。

第二章 理想光学系统

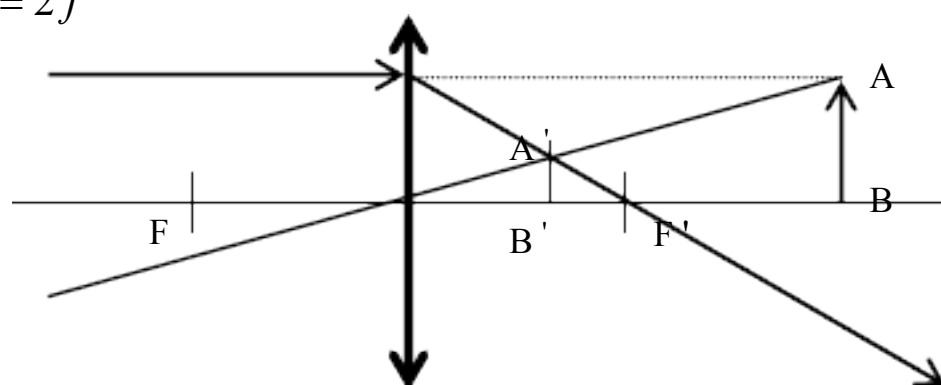
1. 针对位于空气中的正透镜组 ($f' > 0$) 及负透镜组 ($f' < 0$), 试用作图法分别对以下物距 $-\infty, -2f, -f, -f/2, 0, f/2, f, \infty$, 求像平面的位置。

解: 1. $f' > 0$

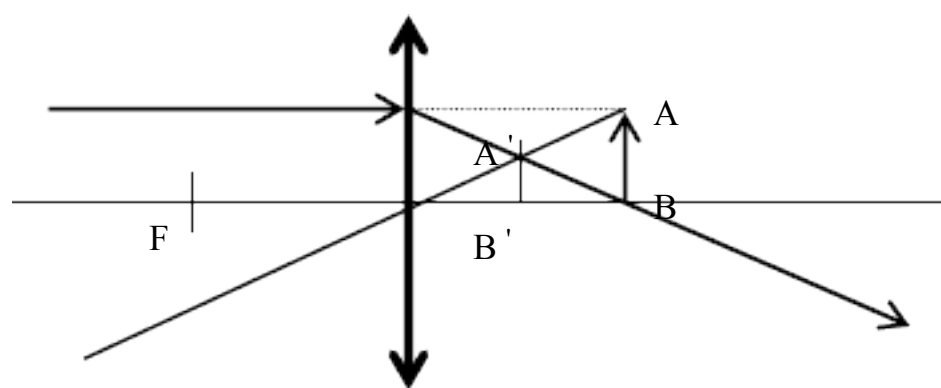
$$(a) l = -\infty$$



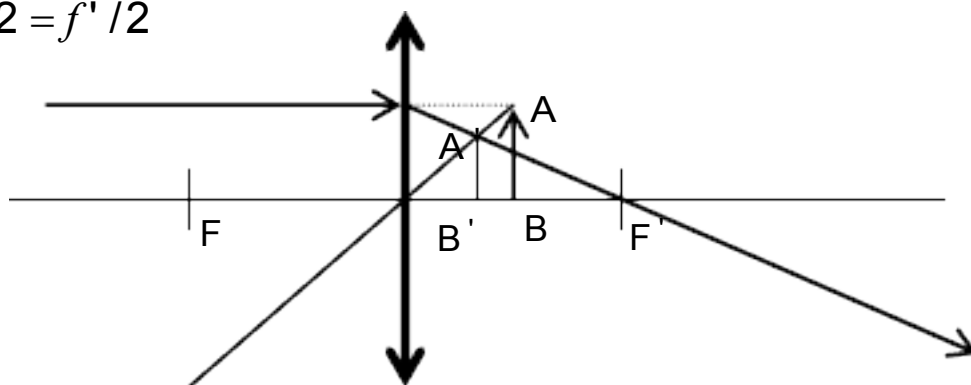
$$(b) l = -2f = 2f'$$



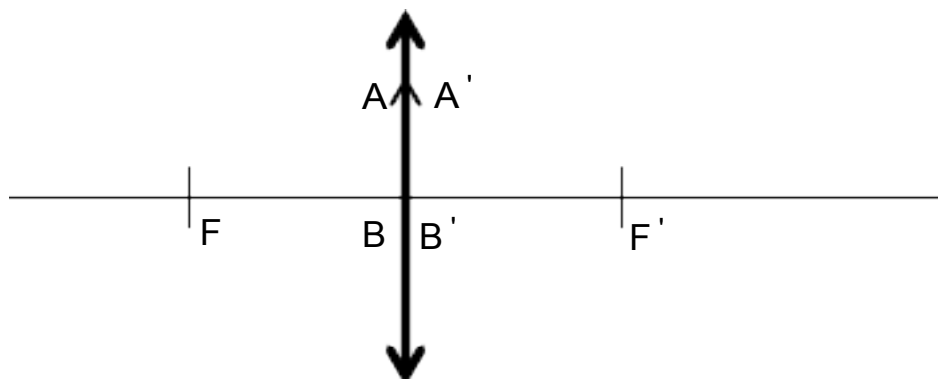
$$(c) l = -f = f'$$



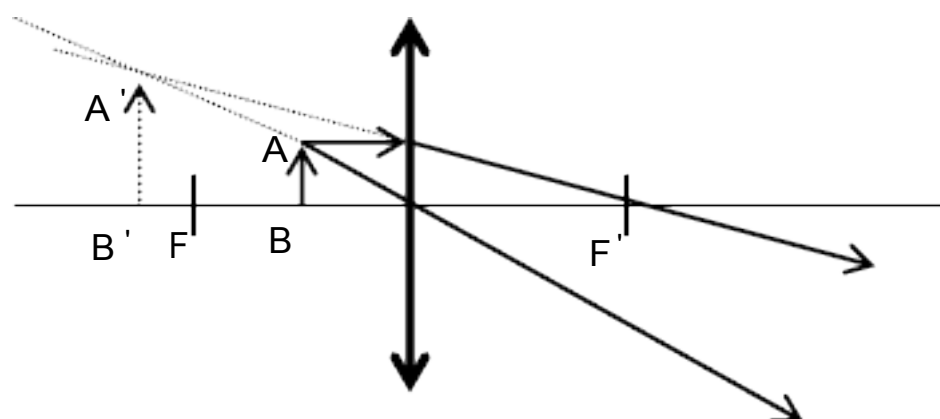
$$(d) l = -f/2 = f'/2$$



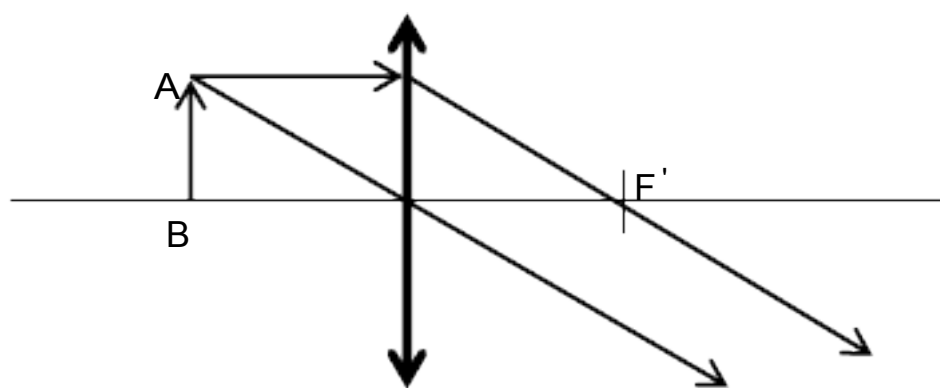
$$(e) l = 0$$



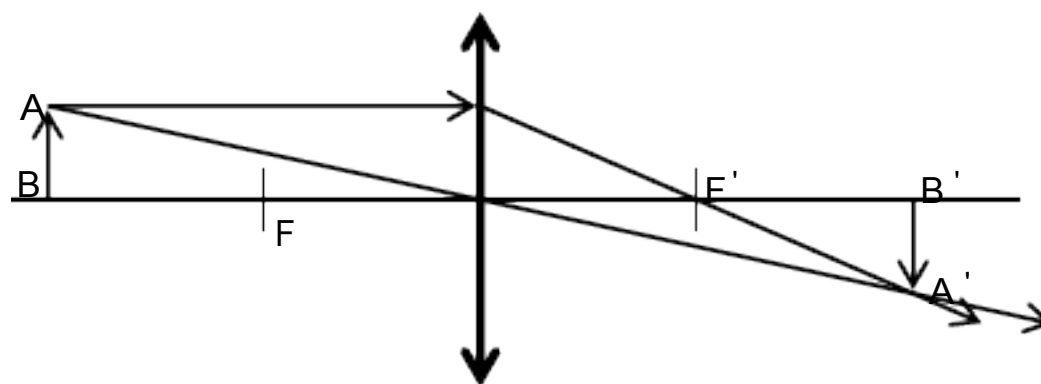
$$(f) l = f/2 = -f'/2$$



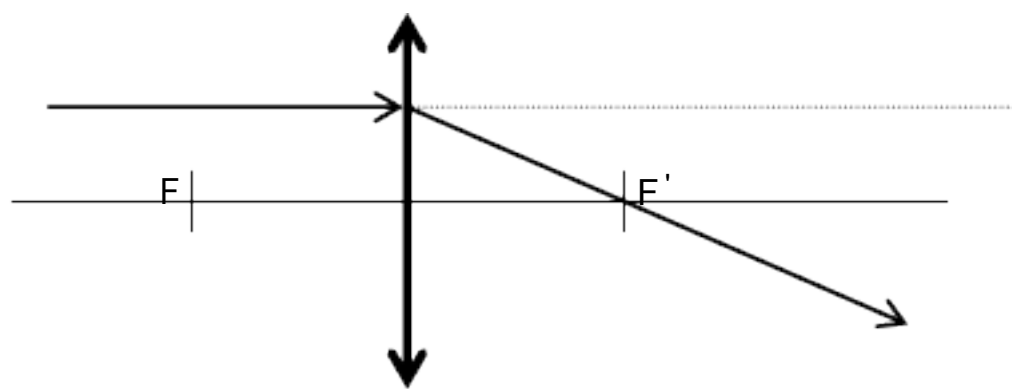
$$(g) l = f = -f'$$



$$(h) l = 2f = -2f'$$

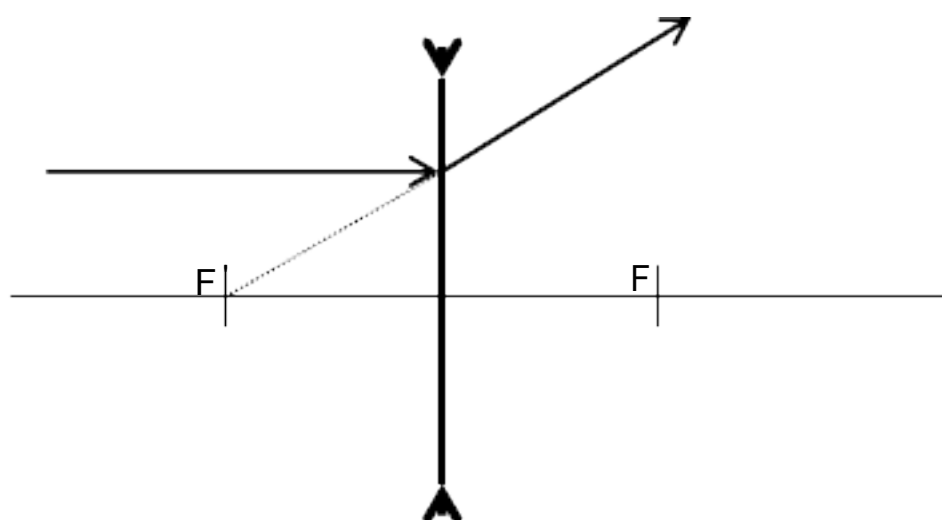


(i) $l = +\infty$

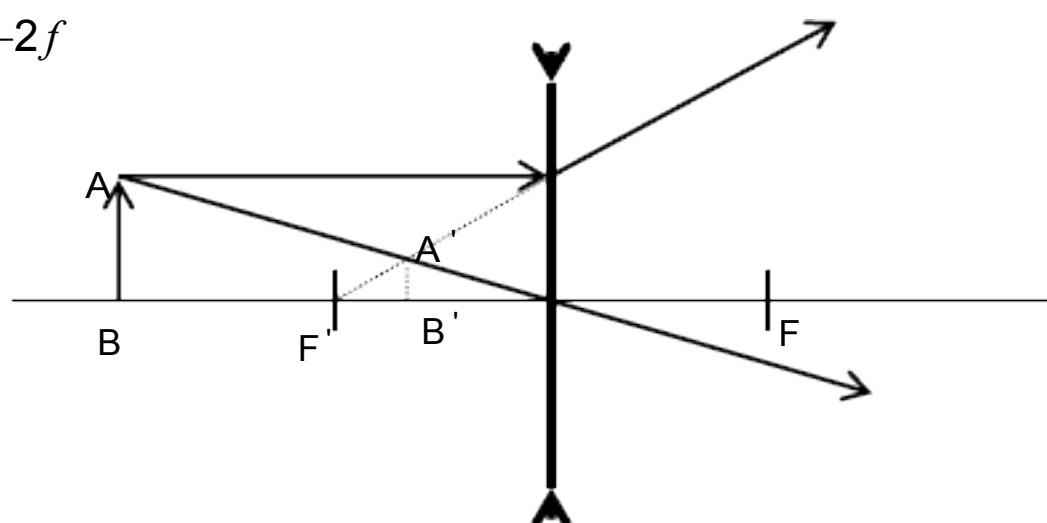


2. $f' < 0$

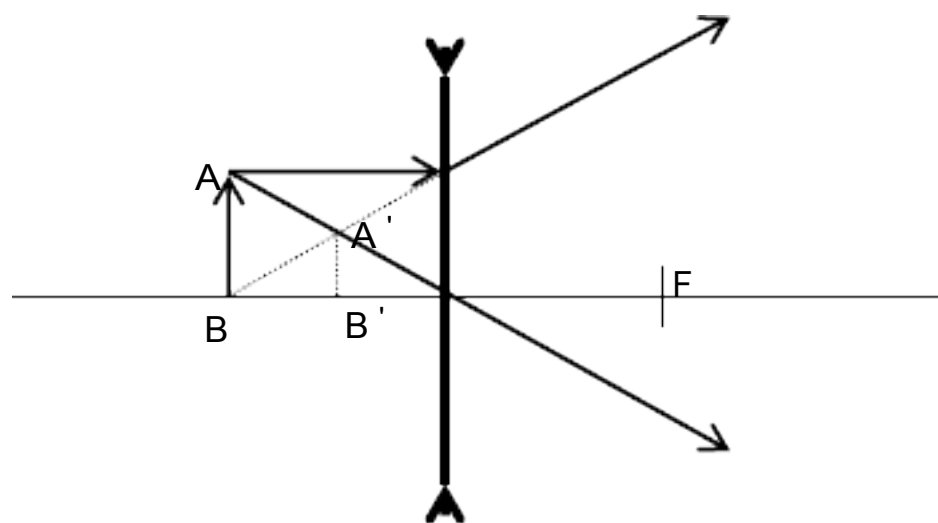
(a) $l = -\infty$



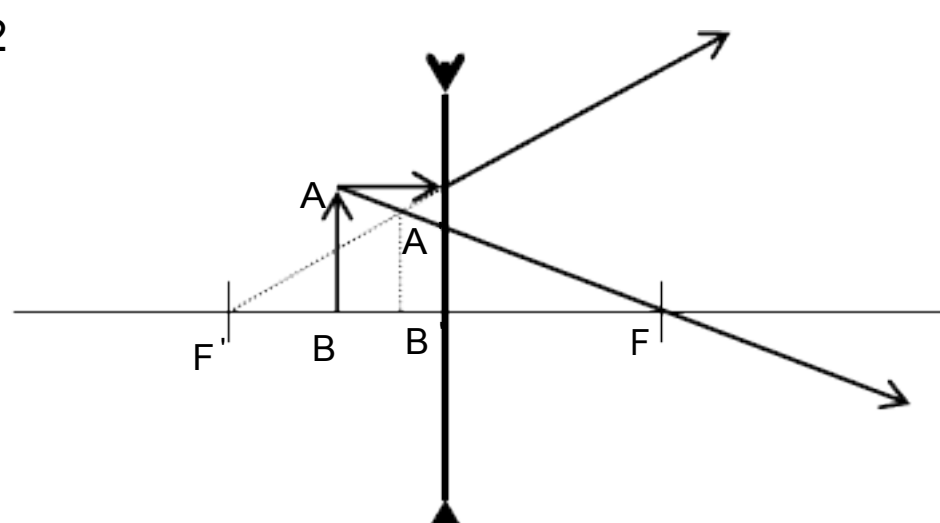
(b) $l = -2f$



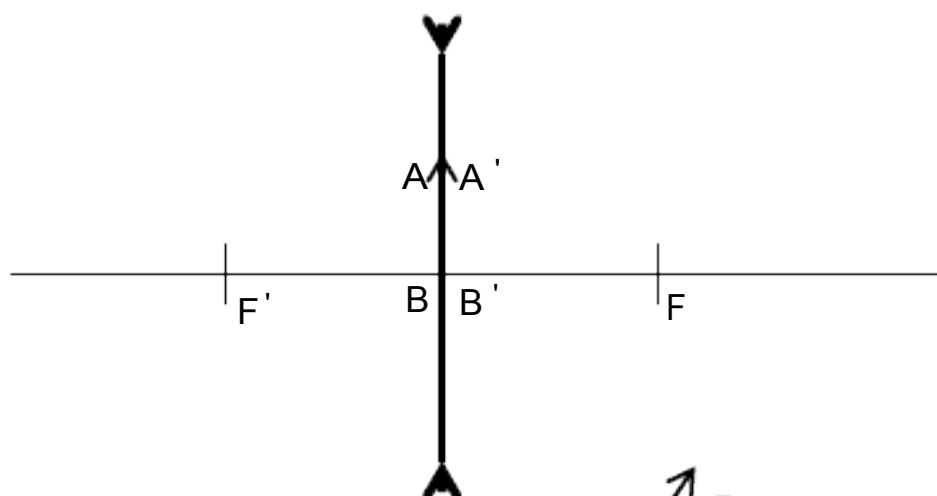
(c) $l = -f$



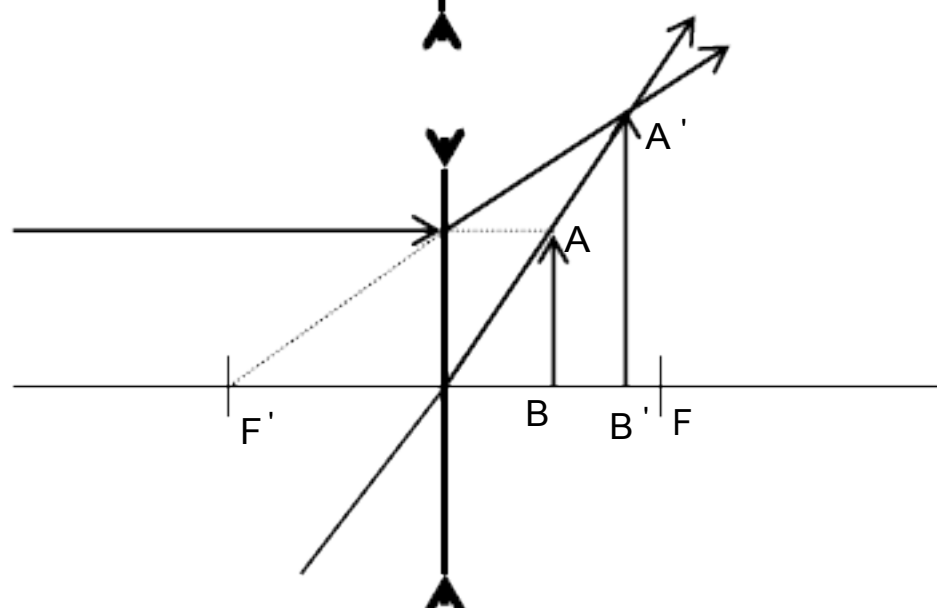
(d) $l = -f/2$



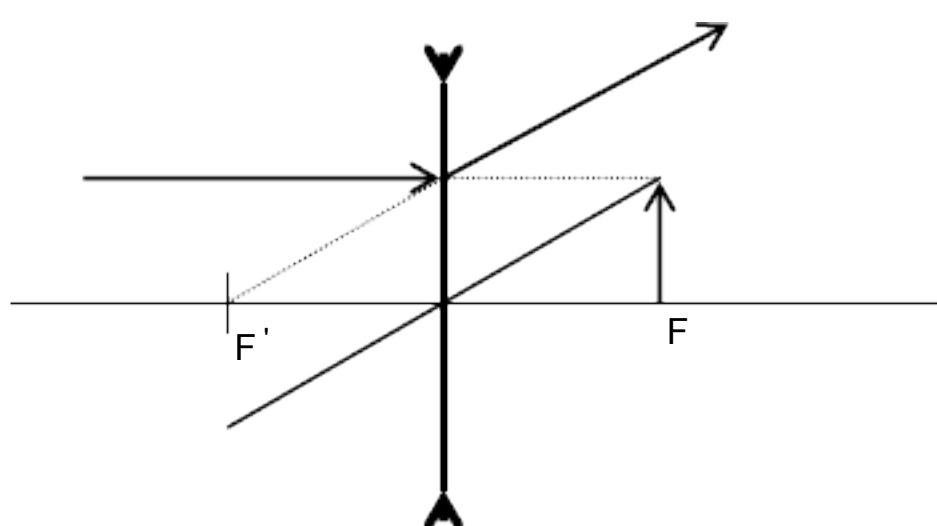
(e) $l = 0$



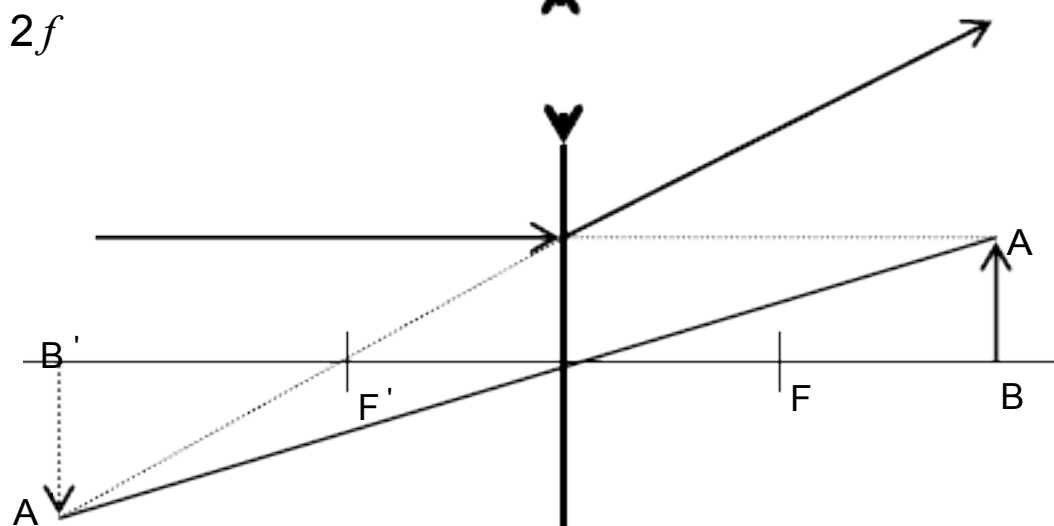
(f) $l = f/2$



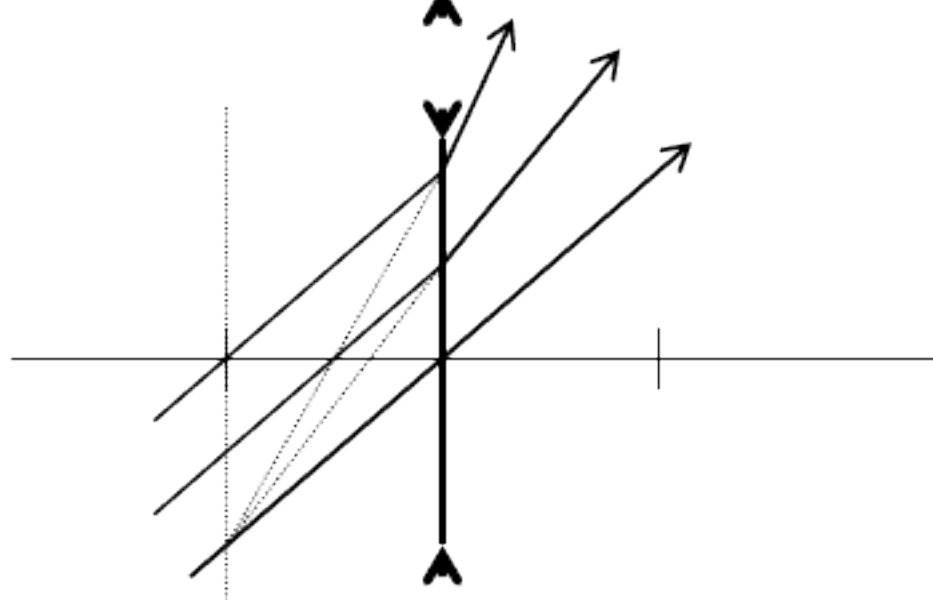
(g) $l = f$



(h) $l = 2f$



(i) $l = +\infty$



2. 已知照相物镜的焦距 $f' = 75\text{mm}$, 被摄景物位于 (以 F 点为坐标原点)

$x = -\infty, -10\text{m}, -8\text{m}, -6\text{m}, -4\text{m}, -2\text{m}$, 处, 试求照相底片应分别放在离物镜的像方焦面多远的地方。

解: (1) $x = -\infty$, $xx' = ff'$ 得到: $x' = 0$

(2) $x' = 0.5625$

(3) $x' = 0.703$

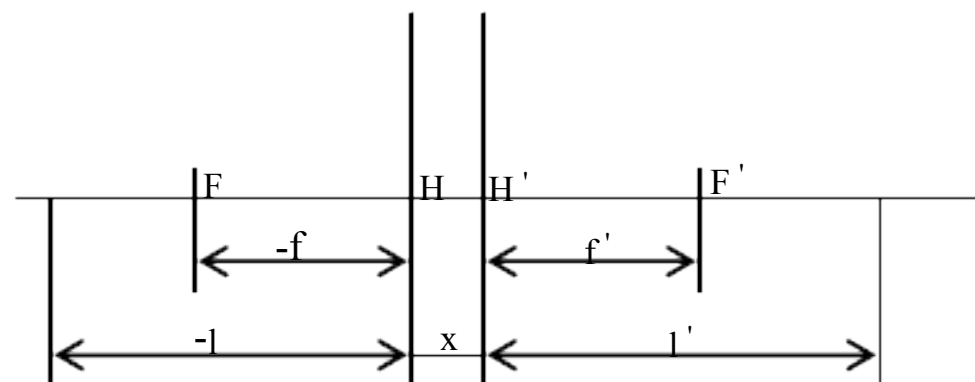
(4) $x' = 0.937$

(5) $x' = 1.4$

(6) $x' = 2.81$

3. 设一系统位于空气中, 垂轴放大率 $\beta = -10\times$, 由物面到像面的距离 (共轭距离) 为 7200mm , 物镜两焦点间距离为 1140mm 。求该物镜焦距, 并绘出基点位置图。

解:



$\because$ 系统位于空气中, $f' = -f$

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{l'}{l} = -10$$

由已知条件: $f' + (-f) + x = 1140$

$$l' + (-l) + x = 7200$$

解得: $f' = 600\text{mm}$ $x = -60\text{mm}$

4. 已知一个透镜把物体放大 $-3\times$ 投影到屏幕上, 当透镜向物体移近 18mm 时, 物体将被放大 $-4\times$, 试求透镜的焦距, 并用图解法校核之。

解: 方法一:

$$\beta = \frac{l'}{l} = -3 \quad \Rightarrow \quad \frac{l'_1}{l_1} = -3 \quad \Rightarrow \quad \frac{l'_2}{l_2} = -4 \quad (1)$$

$$\beta_2 = \frac{l'_2}{l_2} = -4 \quad \Rightarrow \quad l'_2 = -4l_2 \quad (2)$$

$$-l_1 = -l_2 + 18 \quad \Rightarrow \quad l_1 = l_2 - 18 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{l'_1} - \frac{1}{l_1} &= \frac{1}{f'} \\ \Rightarrow \quad \frac{1}{l'_1} - \frac{1}{l_1} &= \frac{1}{l'_2} - \frac{1}{l_2} \quad (4) \\ \frac{1}{l'_2} - \frac{1}{l_2} &= \frac{1}{f'} \end{aligned}$$

将①②③代入④中得 $l_2 = -270\text{mm}$ $l'_2 = -1080\text{mm}$
 $\therefore f' = 216\text{mm}$

方法二: $\beta_1 = -\frac{f}{x_1} = -3$

$$\beta_2 = -\frac{f}{x_2} = -4 \quad \Rightarrow \quad f = -216\text{mm}$$

$$x_2 - x_1 = 18$$

方法三: $\bar{\alpha} = \frac{\Delta x'}{\Delta x} = \frac{n'}{n} \beta_1 \beta_2 = (-3)(-4) = 12$

$$\Delta x' = 12 \times 18 = -216$$

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

$$\therefore \beta_1 - \beta_2 = \frac{-x'_1 + x'_2}{f'} = \frac{\Delta x'}{f'} = -3 + 4 = 1$$

$$\therefore f' = \Delta x' = 216\text{mm}$$

5. 一个薄透镜对某一物体成实像，放大率为 $-1\times$ ，今以另一个薄透镜紧贴在第一个透镜上，则见像向透镜方向移动，放大率为原先的 $3/4$ 倍，求两块透镜的焦距为多少？
解：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：
<https://d.book118.com/068012043111006050>