1-1

解　（1）光在折射率为 n 的介质中的传播速度为 v，$v=\dfrac{c}{n}$

则水中的速率：$v_W=\dfrac{c}{n_W}=\dfrac{2.998\times10^8}{1.333}\approx2.249\times10^8 m/s$

冕玻璃中的速率：$v_{K_9}=\dfrac{c}{n_{K_9}}=\dfrac{2.998\times10^8}{1.516}\approx1.978\times10^8 m/s$

重火石玻璃中的速率：$v_{ZF_1}=\dfrac{c}{n_{ZF_1}}=\dfrac{2.998\times10^8}{1.648}\approx1.819\times10^8 m/s$

（2）由相对折射率公式：

从水到冕玻璃：$n_{K_9\to W}=\dfrac{n_{K_9}}{n_W}\approx1.137$

从水到重火石玻璃：$n_{ZF_1\to W}=\dfrac{n_{ZF_1}}{n_W}\approx1.236$

从冕玻璃到重火石玻璃：$n_{ZF_1\to K_9}=\dfrac{n_{ZF_1}}{n_{K_9}}\approx1.087$

1-3

解 如图，设空气折射率为n_0，AC 界面折射角为θ

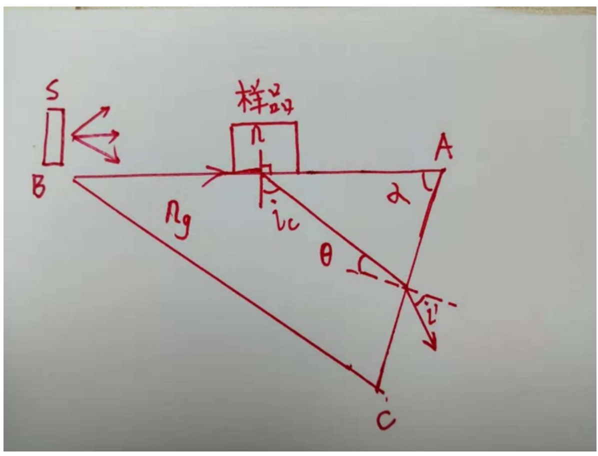
由折射定律得

$n_g\sin\theta=n_0\sin i'$　　　　（1）

$n_g\sin i_c=n\sin90^0$　　　　（2）

由内三角行几何关系满足：

$90^0-i_c+90^0-\theta+\alpha=180^0$　　　　（3）



联立以上方程（1）（2）（3）可解得：$\sin(\alpha\text{-}\theta)=\sin i_c=\dfrac{n}{n_g}$

$$\sin\alpha\cos\theta-\cos\theta\sin\beta=\frac{n}{n_g}$$

$$\sin\alpha\sqrt{1-\frac{\sin^2 i'}{n_g^2}}-\cos\alpha\frac{\sin^2 i'}{n_g}=\frac{n}{n_g}$$

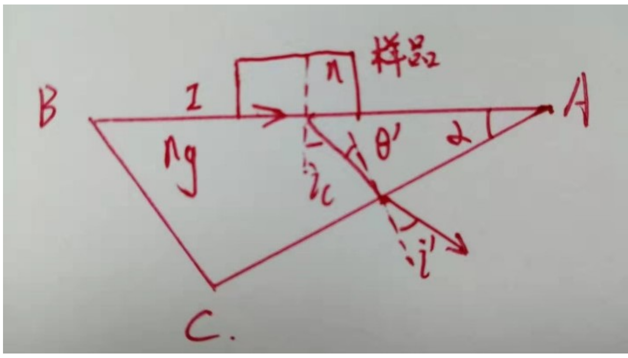
化简可得：

$$n=\sin\alpha\sqrt{n_g^2-\sin^2 i'}-\sin^2 i'\cos\alpha$$

证毕

分析：

当$\alpha<i_c$时，如图，由三角几何关系得：



$$\theta'=i_c-\alpha \qquad (1)$$

由折射定律得

$$n_g\sin\theta=n_0\sin i' \qquad (2)$$

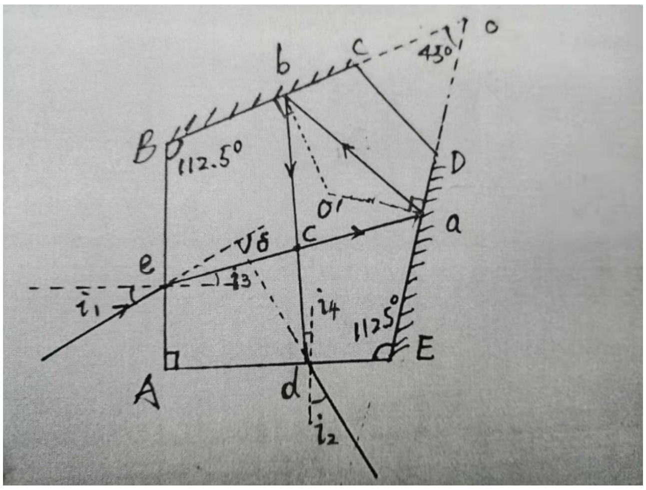
$$n_g\sin i_c=n\sin 90^0 \qquad (3)$$

联立以上方程解得：

$$n=\sin\alpha\sqrt{n_g^2-\sin^2 i'}-\sin^2 i'\cos\alpha$$

1-5

解



证明：设空气折射率为n_0，介质折射率为n，

如图，光线在 DE、BC 处法线交于点 O’，得

$$\angle O'bc=\angle O'aD=90^\circ$$

在ΔabO 中，$\angle abO+\angle baO=180^\circ-\angle O=135^\circ$

$$\angle bO'a=180^\circ-\angle O=135^\circ$$

$\angle O'ba+\angle O'ab=180^\circ-\angle O=45^\circ$

又由 $\angle cbO'=\angle O'ba \qquad \angle caO'=\angle O'ab$

可得 $\angle cba+\angle cab=2(\angle O'ba+\angle O'ab)=90^\circ$

即$\angle bca=90^\circ$

则，在四边形 AeCd 中，$90^\circ+i_3+90^\circ-i_4=360^\circ-\angle A-\angle dce=180^\circ$

即$i_3=i_4$

由折射定律

$n\sin i_3=n_0\sin i_1$

$n\sin i_4=n_0\sin i_2$

则$i_1=i_2$

$\delta=180^\circ-(360^\circ-\angle A-90^\circ-i_1-90^\circ+i_2)=90^\circ$ 与i、n无关

故不论入射角和折射率的大小，偏转角δ恒等于 90°

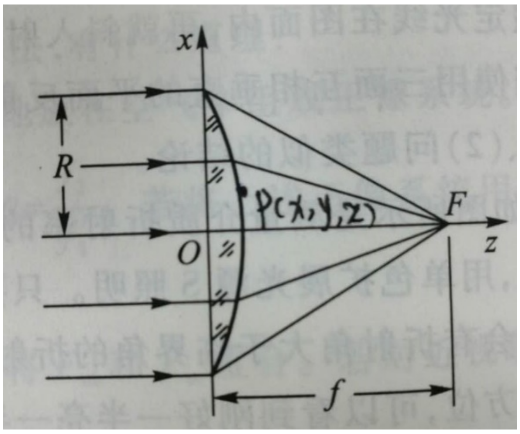
1-7

解 如图，设透镜凸面上的点 P(x,y,z),
根据费马原理，光通过透镜的光程相同：

$$nz+\sqrt{x^2+y^2+(f-z)^2}=\sqrt{R^2+f^2}$$

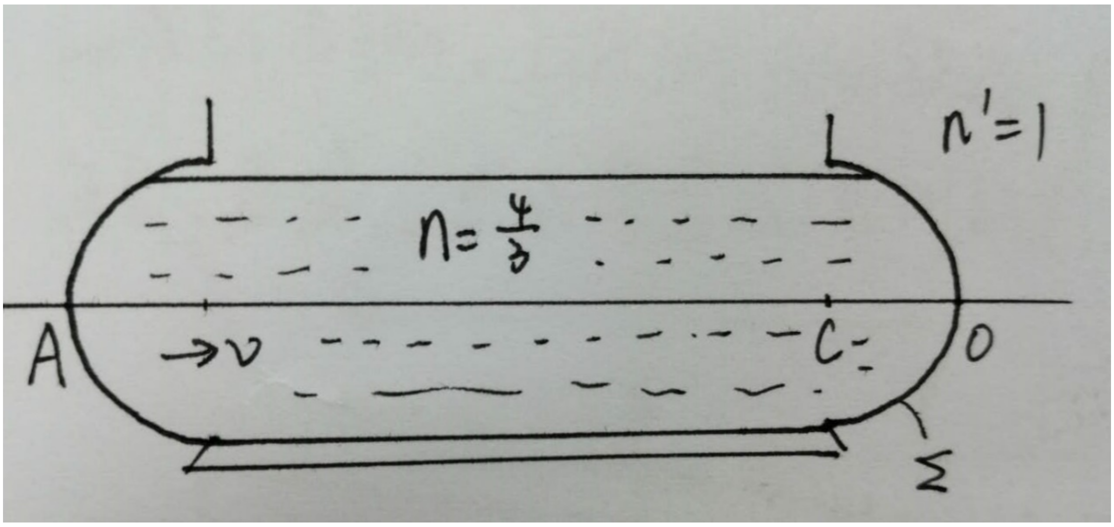
即为回转双曲面方程式，
也可化简为：

$$(1-n^2)z^2+2nz\sqrt{R^2+f^2}+x^2+y^2=R^2$$



1-9

解



如图将球面Σ视为折射球面，以 0 为顶点，由于球心向左，球面半径为 r=-10cm，s=50-500t（cm）

物方焦距：$f=\dfrac{nr}{n'-n}=40cm$

像方焦距：$f'=\dfrac{n'r}{n'-n}=30cm$

由成像公式：$\dfrac{f'}{s'}+\dfrac{f}{s}=1$，解得 $s'=\dfrac{150(1-10t)}{1-50t}$（$0<t<0.1s$）

由牛顿公式：$xx'=ff'$，$x=s-f$ 解得 $x'=\dfrac{ff'}{x}=\dfrac{1200}{x}=\dfrac{120}{1\text{-}50t}$

横向放大率：$\beta=-\dfrac{f}{x}$ 解得 $\beta=-\dfrac{4}{1-50t}$

纵向放大率：$\alpha=-\dfrac{x'}{x}=-\dfrac{ff'}{x^2}=-\beta^2\dfrac{f'}{f}$ 解得 $\alpha=\dfrac{12}{(1-50t)^2}$

像的平移速度：$v'=\dfrac{ds'}{dt}=\dfrac{6000}{(1-50t)^2}$

像的纵向增长速率：$v_\alpha'=\dfrac{d\alpha}{dt}=-\dfrac{1200}{(1-50t)^3}$

像的横向增长速率：$v_\beta'=\dfrac{d\beta}{dt}=-\dfrac{200}{(1-50t)^2}$

当 $t=0$ 时，$x=(1/4)f=10cm$，$x'=4f'=120cm$，$\beta=-4$，$\alpha=12$，像的平移速度 $v'=60m/s$，像纵向增长速率为 $v_\alpha'=-12m/s$，像横向增长速率为 $v_\beta'=-2m/s$，鱼成倒立放大的实像；

当$0<t<0.02s$时，$0<x<10\text{cm}$，人眼中鱼成倒立放大的实像，且鱼像在增大；

当$t=0.02s$时，$x=0$，$x'=\infty$，5 处于物方焦点处，鱼在人眼中无法成像；

当$0.02<t<0.1s$时，$-40cm<x<0$，人眼中鱼成正立放大的虚像，且鱼像在减小；
其中，当$t=0.04s$时，$x=-(1/4)f=-10cm$，$x'=-4f'=-120cm$，$\beta=4$，$\alpha=12$，v'=60m/s，$v_\alpha'=12m/s$，$v_\beta'=-2m/s$，鱼成正立放大 4 倍的虚像，像的平移速度为 60m/s；

当$t=0.06s$时，$x=-(1/2)f=-20cm$，$x'=-2f'=-60cm$，$\beta=2$，$\alpha=3$，v'=15m/s，$v_\alpha'=1.5m/s$，$v_\beta'=-0.5m/s$鱼成正立放大 2 倍的虚像，像的平移速度为 15m/s；

当$t=0.08s$时，$x=-(3/4)f=-30cm$，$x'=-(4/3)f'=-40cm$，$\beta=4/3$，$\alpha=4/3$，$v'=(4/3)v$=(20/3)m/s，$v_\alpha'=(4/9)m/s$，$v_\beta'=-(2/9)m/s$，鱼成正立放大$4/3$倍的虚像，像的平移速度为$20/3$ m/s；

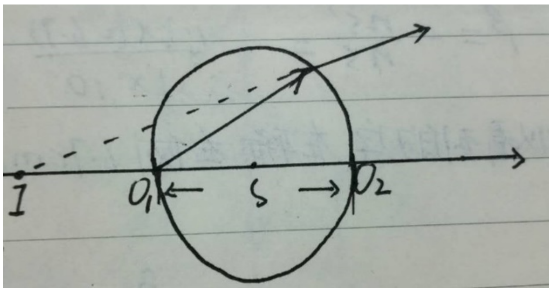
当 $t=0.1s$ 时，$x=-f=-40cm$，$x'=-f'=-30cm$，$\beta=1$，$\alpha=3/4$，$v'=(3/4)v$=(15/4)m/s，$v_\alpha'=(3/16)m/s$，$v_\beta'=-(1/8)m/s$鱼成正立等大的虚像，像的平移速度为$15/4$ m/s；

时间 t (s)	鱼的位置 x (cm)	像的位置 x' (cm)	横向放大倍率 β	纵向放大倍率 α	像的平移速度 v'（m/s）	像的纵向增长速率 v_α'（m/s）	像的横向增长速率 v_β'（m/s）
0	10	120（实）	-4	-12	60	12	-2
0.02	0	∞	\	\	\	\	\
0.04	-10	-120（虚）	+4	-12	60	-12	-2
0.06	-20	-60（虚）	+2	-3	15	-1.5	-0.5
0.08	-30	-40（虚）	+4/3	-4/3	20/3	-4/9	-(2/9)
1	-40	-30（虚）	+1	-3/4	15/4	-3/16	-(1/8)

1-11

解

(1) 根据题意，字在玻璃球面 O1 点处，如图，左半球面对字无成像作用，只考虑右半球对字的成像作用。由题可知：$s=20cm$ 曲率半径$r=-10cm$，$n=1.5$ $n'=1$



由高斯公式：$\dfrac{n}{s}+\dfrac{n'}{s'}=\dfrac{n'-n}{r}$ 得 $s'=-40cm$

$$\beta=-\frac{ns'}{n's}=-\frac{1.5\times(-40)}{1\times 20}=3$$

故，看到的字在距离左球面顶点向左 20cm 处，垂轴放大率为 3，为正立放大的虚像。

(2) 当半球的平面放在字典上时，字在球心上，从球心发出的光线经过球面，光线方向与球面法线方向一致，所以字与像重合，均处于球心；

$s=10cm$ $s'=-10cm$ $\beta=-\dfrac{ns'}{n's}=-\dfrac{1.5\times(-10)}{1\times 10}=1.5$

故，看到的字为正立放大的虚像，垂轴放大率为 1.5。

当半球的球面放在字典上，球面对字无成像作用，只考虑平面对字的成像作用，平面的半径为无穷大，因此其光焦度为零：

$\phi=\dfrac{n'-n}{r}=0$ $s=10cm$ $n=1.5$ $n'=1$

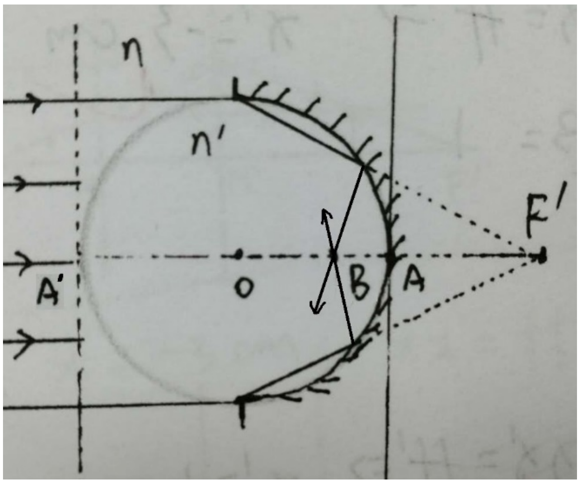
$\dfrac{n}{s}+\dfrac{n'}{s'}=0$ 解得 $s'=-6.7cm$

$$\beta=-\frac{ns'}{n's}=-\frac{1.5\times(-6.7)}{1\times 10}=1$$

所以看到的字在平面左侧 6.7cm 处，垂轴放大率为 1，为正立等大的虚像。

1-13

解



设题中情况如图所示，光线在左半球发生折射现象，在右半球发生反射现象,然后一部分光发生折射，一部分光发生反射现象。

在近轴情况下，

第一次发生折射现象：以 A’为顶点

物方焦点：$f_1=\dfrac{nR}{n'-n}=2R$

像方焦点：$f_1'=\dfrac{n'R}{n'-n}=3R$

由高斯定理：$\dfrac{f_1}{s_1}+\dfrac{f_1'}{s_1'}=1$，解得，$s_1'=3R$

故光线经过第一次折射后，像位于 F’处，且$|AF'|=R$

第二次发生反射现象：由图可知，以 A 为顶点，$s_2=-R$

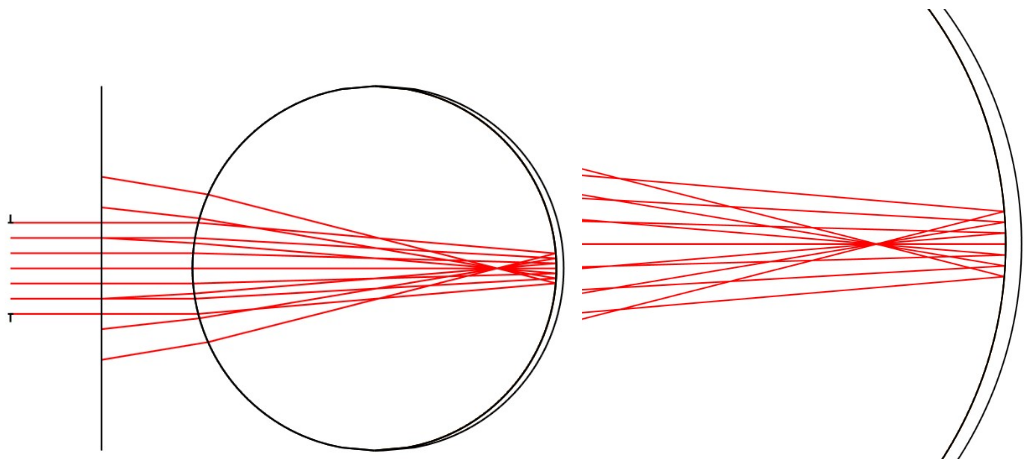
$f_2=\dfrac{R}{2}$，由高斯定理：$\dfrac{1}{s_2}+\dfrac{1}{s_2'}=\dfrac{1}{f_2}$，解得$s_2'=\dfrac{R}{3}$，

故光线经过反射后，会聚于 B 处，且$|AB|=\dfrac{R}{3}$，

第三次，光线会聚于 B 处后，在近轴情况下，光发生折射，以图中 A’为顶点，$s_4=\dfrac{5R}{3}$，

$f_1=2R$，$f_1'=3R$，由高斯定理：$\dfrac{f_1}{s_4}+\dfrac{f_1'}{s_4'}=1$，解得，$s_4'=-15R$，光线发散；

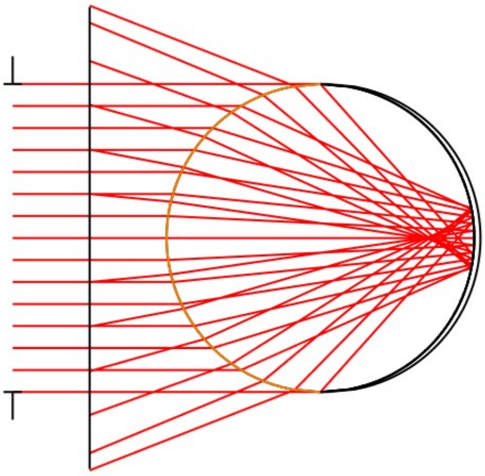
而人眼在图中左侧看到的像为虚像，像位于球外距镀铝面顶点 R 处，即为 F’ 处

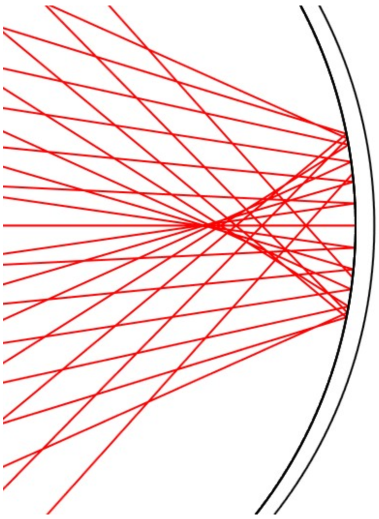


在离轴情况下一部分光发生折射，如上所述情况，另一部分光发生反射，由图可知，以 A 为顶点，$s_3=\dfrac{R}{3}$，$f_3=\dfrac{R}{2}$，由高斯定理：$\dfrac{1}{s_3}+\dfrac{1}{s_3'}=\dfrac{1}{f_3}$，解得$s_3'=-R$

故最后所成的像为虚像，像位于球外距镀铝面顶点 R 处，即为 F’处。

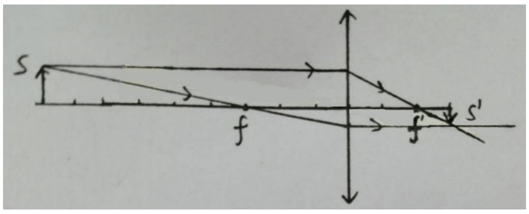
讨论：在离轴情况下，光线不会会聚在一点，而是会有像差，如下模拟图所示。





1-15

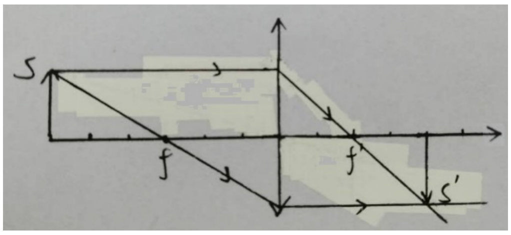
解：(1) 如图，由牛顿公式　　$xx'=ff'$



$x'=1cm$　　$\beta=-\dfrac{f}{x}=-0.5$

所成像的焦距为 1cm，为倒立缩小的实像。

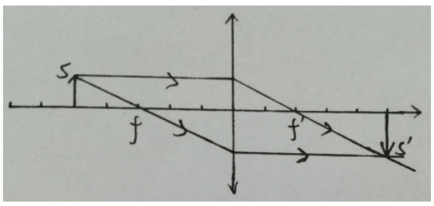
(2) 如图，由牛顿公式　　$xx'=ff'$



$x'=2cm$　　$\beta=-\dfrac{f}{x}=-1$

所成像的焦距为 2cm，为倒立等大的实像。

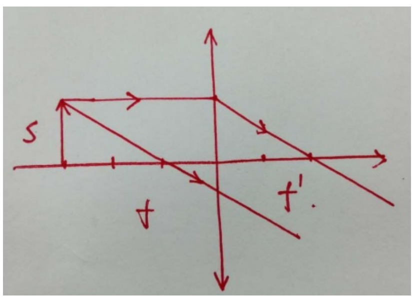
(3) 如图，由牛顿公式　　$xx'=ff'$



$x'=3cm$　　$\beta=-\dfrac{f}{x}=-1.5$

所成像的焦距为 3cm，为倒立放大的实像。

(4) 如图，$x=0$ $x'=\pm\infty$ 物方焦点与像方无限远共轭



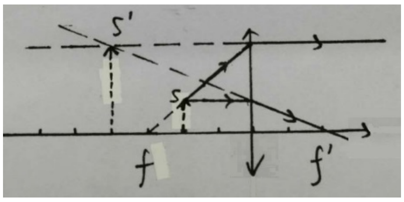
$\beta=-\dfrac{x'}{f'}=\mp\infty$

所成的像在无穷远处。

(5) 如图，$x=-\dfrac{f}{3}=-1cm$　　由牛顿公式　$xx'=ff'$

$x'=-6cm$　　$\beta=-\dfrac{f}{x}=3$

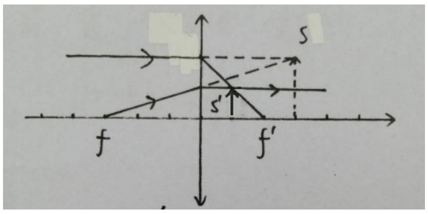
所成像的焦距为 -6cm，为正立放大的虚像。



(6) 如图，$x=-2f=-6cm$　　由牛顿公式　$xx'=ff'$

$x'=-1cm$　　$\beta=-\dfrac{f}{x}=0.5$

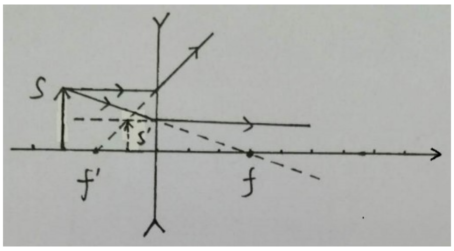
所成像的焦距为 -1cm，为正立缩小的实像。



(7) 如图，$x=-2f=6cm$　　由牛顿公式　$xx'=ff'$

$x'=1cm$　　$\beta=-\dfrac{f}{x}=0.5$

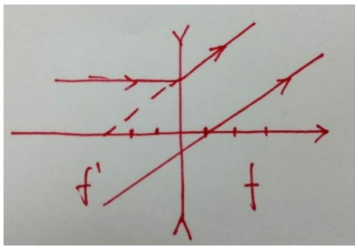
所成像的焦距为 1cm，为正立缩小的虚像。



(8) 如图，$x=0$ $x'=\pm\infty$　物方焦点与像方无限远共轭

$\beta=-\dfrac{x'}{f'}=\pm\infty$

所成的像在无穷远处。

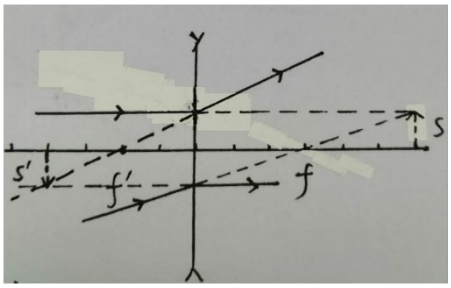


(9) 如图，$x=f=-3cm$

由牛顿公式　$xx'=ff'$

$x'=-2cm$　　$\beta=-\dfrac{f}{x}=-1$

所成像的焦距为 -2cm，为倒立等大的虚像。



1-17

解：

由题意可知，第一次成像中 $f_1=4cm$，$s_1=6cm$，由高斯公式得：

$\frac{1}{s_1'}+\frac{1}{s_1}=\frac{1}{f_1}$，解得 $s_1'=12cm$

第二次成像：$f_2=-4cm$，$s_2=-(12-d)cm$，$s_2'=-(d+4)cm$，由高斯公式得：

$\frac{1}{s_2'}+\frac{1}{s_2}=\frac{1}{f_2}$，解得 $d=4cm$

1-19

解：由题意可知，薄透镜 L_1 为凸透镜，设对 L_1 有焦距 f_1, f_1',系统的物距 s，像距 s',对 L_2 有焦距 f_2, f_2',系统的物距 $s_2=s_1$，像距 $s_2'=(s'-20)mm$，由 $\beta=-1$，可知所成像为倒立等大实像。

$s=2f_1$，$\beta=-\frac{s'}{s}=-1$ $\quad s=s'$

$\beta=-\frac{s_2'}{s_2}=-\frac{s'-20}{s}=-\frac{3}{4}$

解得 $s=80mm$ 由 $s=2f_1$ $\quad f_1=f_1'=40mm$

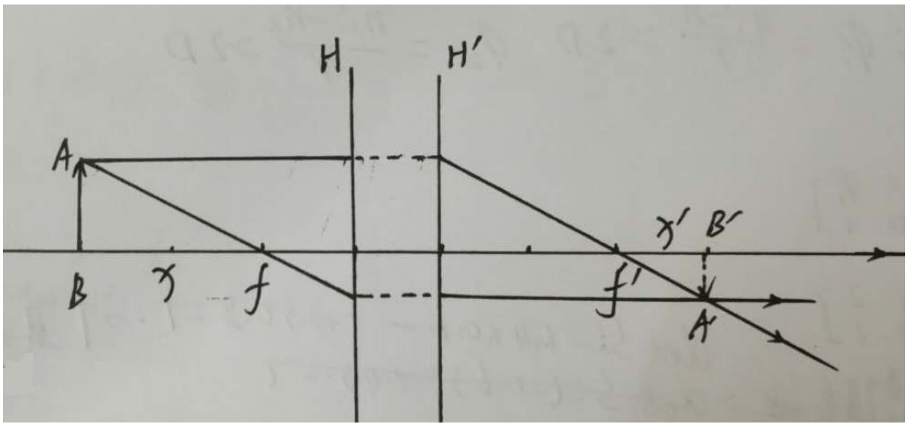
对透镜 L_2，物距 $s_3=-s'$，像距 $s_3'=s_2'=s'-20$

由高斯公式 $\frac{f_2'}{s_3}+\frac{f_2'}{s_3'}=1$，$f_2=f_2'=240mm$

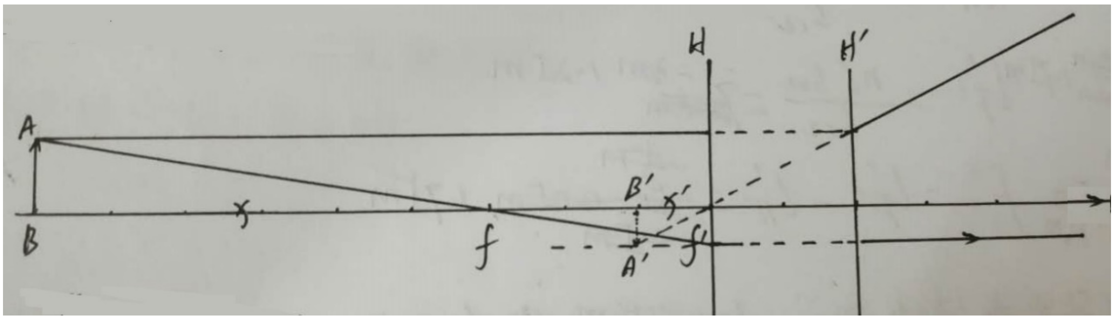
所以薄透镜 L_1 的焦距为 40mm，L_2 的焦距为 240mm。

1-21

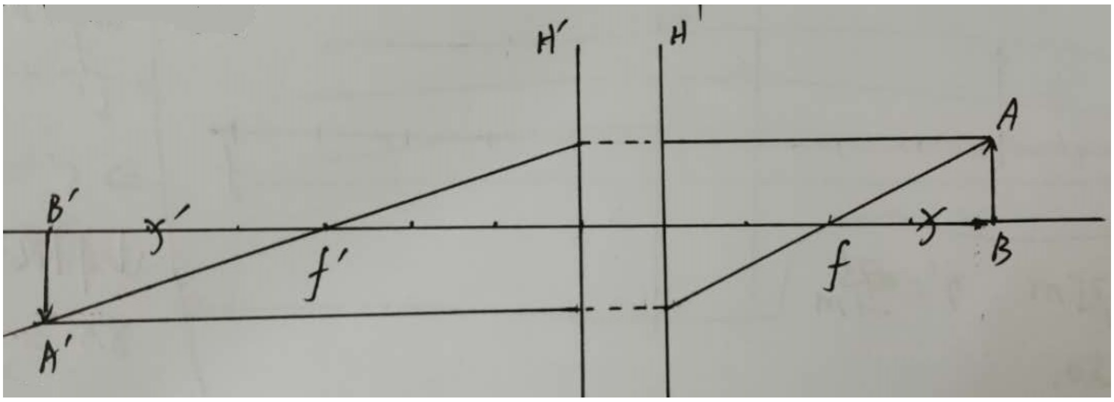
解：（1）如图，其中 $x'=-1cm$ 牛顿公式 $xx'=ff'$，成立；



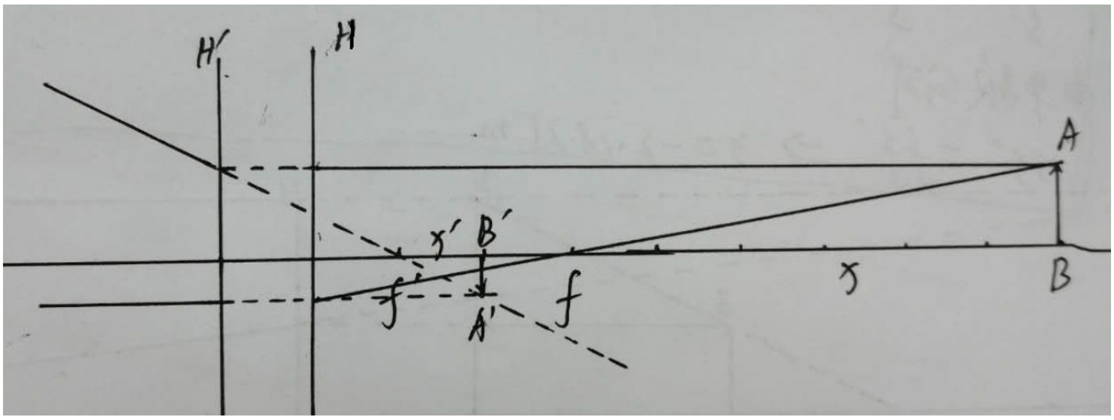
（2）如图，其中 $x'=1cm$　满足牛顿公式 $xx'=ff'$；



（3）如图，其中 $x'=-3cm$　满足牛顿公式 $xx'=ff'$；

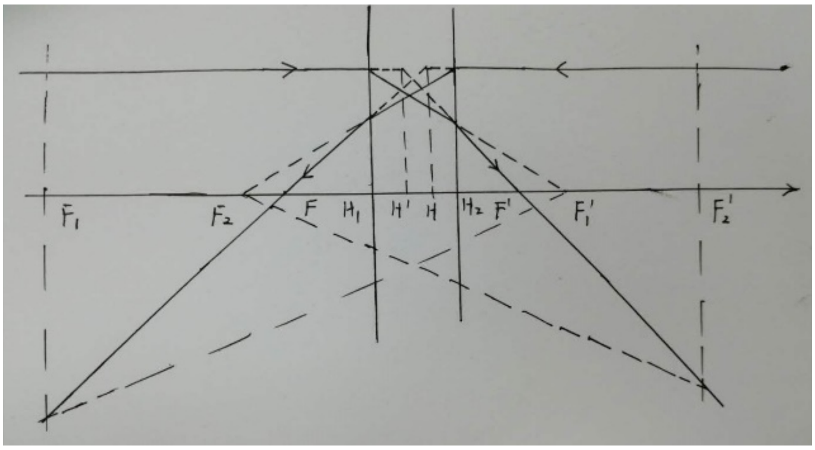


（4）如图，其中 $x'=1cm$　满足牛顿公式 $xx'=ff'$；



1-23

解：作图法



计算法：$\Delta = F_1'F_2 = -(4/3)a \quad d = (f_1' + f_2)/3 = (2/3)a$

设第一个透镜主点为H_1,第二个透镜主点为H_2

$$H_1H = f_1'\frac{d}{\Delta} = -\frac{1}{2}a$$

$$H_2H' = f_2'\frac{d}{\Delta} = -\frac{1}{2}a$$

所以目镜的主点H在第一个透镜右边$a/2$处，主点H'在第二个透镜的左边$a/2$处，

$$f' = -\frac{f_1'f_2'}{\Delta} = \frac{3}{4}a$$

$$f = -\frac{f_1f_2}{\Delta} = \frac{3}{4}a$$

所以目镜的物方焦点在第一透镜左边$a/4$，像方焦点在第二透镜右边边$a/4$

1-25

解：（1）由题意可知，$r_1=\infty$，$r_2=26cm$，$n_1=n_2'=1$，$n_1'=n_2=n=1.52$，

则组合系统的光焦度为$\Phi_1=\dfrac{n_1'-n_1}{r_1}=0$，$\Phi_2=\dfrac{n_2'-n_2}{r_2}=2$

组合系统的矩阵为：

$$S=R_2T_{21}R_1=\begin{pmatrix}1&\Phi_2\\0&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1&0\\-\dfrac{d}{n_1'}&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1&\Phi_1\\0&1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1&2\\0&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1&0\\-\dfrac{1}{50}&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\dfrac{24}{25}&2\\-\dfrac{1}{50}&1\end{pmatrix}$$

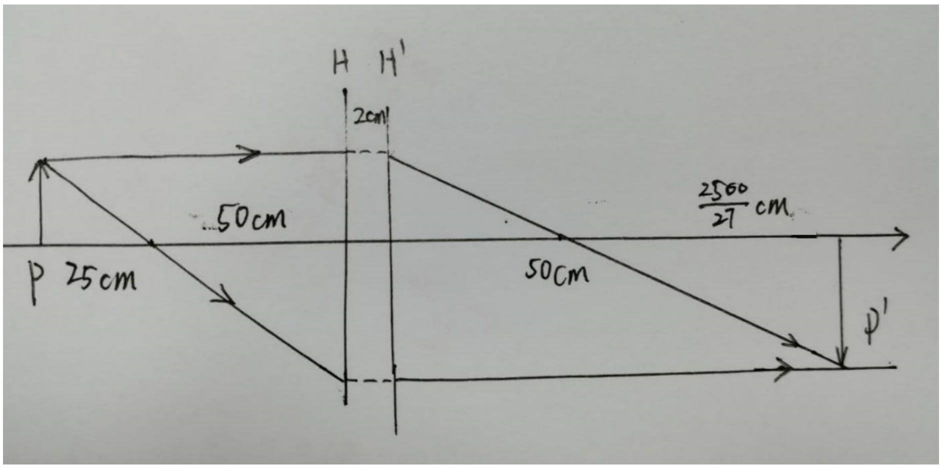
验证$\det S=\dfrac{24}{25}+\dfrac{1}{25}=1$，计算无误；

则顶主距 $l_H=\dfrac{n_1(s_{11}-1)}{s_{12}}=-2cm$，$l'_{H'}=\dfrac{n_2'(s_{22}-1)}{s_{12}}=0$，

$f=\dfrac{n_1}{s_{12}}=0.5m$，$f'=\dfrac{n'_2}{s_{12}}=0.5m$，

故，主点距平面 2cm，在其右方 2cm 处，主点 2 在球面处，焦距为 50cm；

（2）作图法：



计算法：

由（1）可得顶焦距为：$l_F=\dfrac{n_1s_{11}}{s_{12}}=48cm$，$l'_{F'}=\dfrac{n'_2s_{22}}{s_{12}}=50cm$，

由题可知，物距为：$s=75+2=77cm$，$x=s-l'_{F'}=77-50=27cm$，

由高斯定理：$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}$，解得：$s'=\frac{3850}{27}=142.6cm$

横向放大倍率：$\beta=\frac{-s'}{s}=-\frac{50}{27}=-1.85$

由牛顿公式：$xx'=ff'$，解得 $x'=\frac{ff'}{x}=\frac{50\times 50}{27}=92.6cm$

故，物体成像与距离 H' 142.6cm 处，为放大倒立的像，横向放大率为 1.85；像距为 92.6cm。

1-26 薄透镜 L_1 和 L_2 共轴放在空气中，焦距分别为 f_1'=20cm，f_2'=30cm，两者相距 10cm，物在 L_1 左侧 10cm 处，试用矩阵方法求：

(1) 像的位置、虚实和放大率；组合系统的主点、焦点，并用作图法验证之；

(2) 若物在 L_1 左侧 100cm 处，情况会怎样？

解：

(1) 由题意可知，薄透镜组位于空气中，$n_1'=n_2=n_1=n_2'=n=1$，而薄透镜的光焦度为

$\Phi_1=\frac{n}{f_1'}$，$\Phi_2=\frac{n}{f_2'}$ 组合系统的矩阵为：

$$S=R_2T_{21}R_1=\begin{pmatrix}1 & \Phi_2\\ 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1 & 0\\ -\frac{d}{n_1'} & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1 & \Phi_1\\ 0 & 1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1 & \frac{1}{30}\\ 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1 & 0\\ -10 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1 & \frac{1}{20}\\ 0 & 1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\frac{2}{3} & \frac{1}{15}\\ -10 & \frac{1}{2}\end{pmatrix}$$

验证 $\det S=\frac{1}{3}+\frac{2}{3}=1$，计算无误；

则顶主距 $l_H=\frac{n_1(s_{11}-1)}{s_{12}}=-5cm$，$l'_{H'}=\frac{n_2'(s_{22}-1)}{s_{12}}=-7.5\text{cm}$，

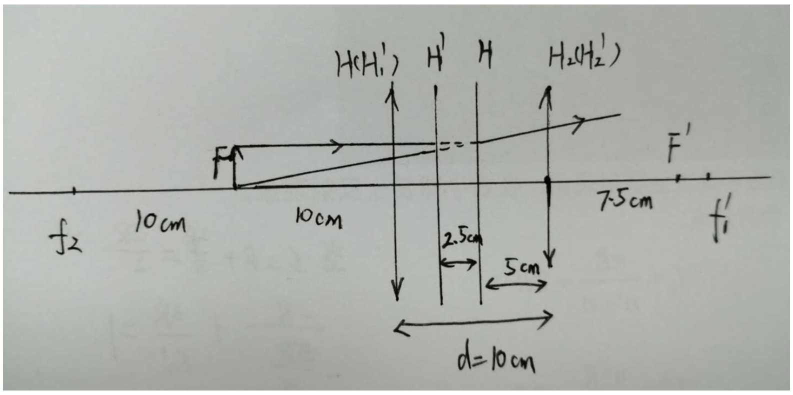
焦距：$f=\frac{n_1}{s_{12}}=15cm$，$f'=\frac{n'_2}{s_{12}}=15cm$，

像距：$l'=n_N'\frac{s_{21}-\left(\frac{l}{n_1}\right)s_{22}}{s_{11}-\left(\frac{l}{n_1}\right)s_{12}}=\frac{-10-(10)?\frac{1}{2}}{\frac{2}{3}-\left(\frac{10}{1}\right)\cdot\frac{1}{15}}=\frac{-15}{0}=\infty$

横向放大率：$\beta=\frac{1}{s_{11}\text{-}\left(\frac{l}{n_1}\right)s_{12}}=\frac{1}{\frac{2}{3}\text{-}\left(\frac{10}{1}\right)\times\frac{1}{15}}=\frac{1}{0}=\infty$

故，主点 H 距透镜 L_1 5cm，在其右侧 5cm 处，主点 H'在透镜 L_2 左侧 7.5cm 处，焦距为 15cm；物恰好位于物方焦点处，故像距为无穷远处，横向放大率也为无穷远大。

作图如下：



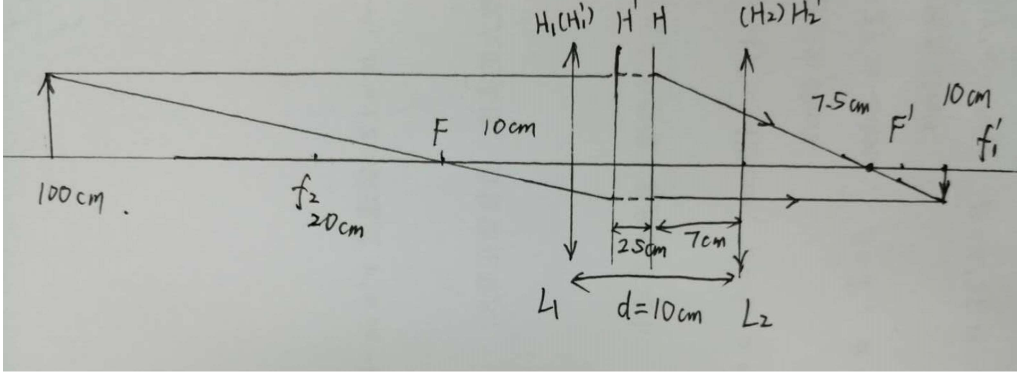
(2) 若物在 L_1 左侧 100cm 处,

像距：$l'=n_N'\dfrac{s_{21}-\left(\dfrac{l}{n_1}\right)s_{22}}{s_{11}-\left(\dfrac{l}{n_1}\right)s_{12}}=\dfrac{-10-(100)\times\dfrac{1}{2}}{\dfrac{2}{3}-\left(\dfrac{100}{1}\right)\times\dfrac{1}{15}}=10cm$

横向放大率：$\beta=\dfrac{1}{s_{11}-\left(\dfrac{l}{n_1}\right)s_{12}}=\dfrac{1}{\dfrac{2}{3}-\left(\dfrac{100}{1}\right)\cdot\dfrac{1}{15}}=-\dfrac{1}{6}$

故像位于透镜 L_2 右侧 10cm 处，横向放大率为-1/6，成倒立缩小的实像。

作图如下：



解：由球面光焦度公式：$\Phi = \dfrac{n'-n}{r}$，得

$$\Phi_1 = \frac{n_L - 1}{R} = 12.5D\,, \Phi_2 = \frac{1-n_L}{-R} = 12.5D\,, d = 2R = 0.08m$$

$$S = R_2 T_{21} R_1 = \begin{bmatrix} 1 & \Phi_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\dfrac{d}{n_L} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \Phi_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 12.5 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\dfrac{4}{75} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 12.5 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{3} & \dfrac{50}{3} \\ -\dfrac{4}{75} & \dfrac{1}{3} \end{bmatrix}$$

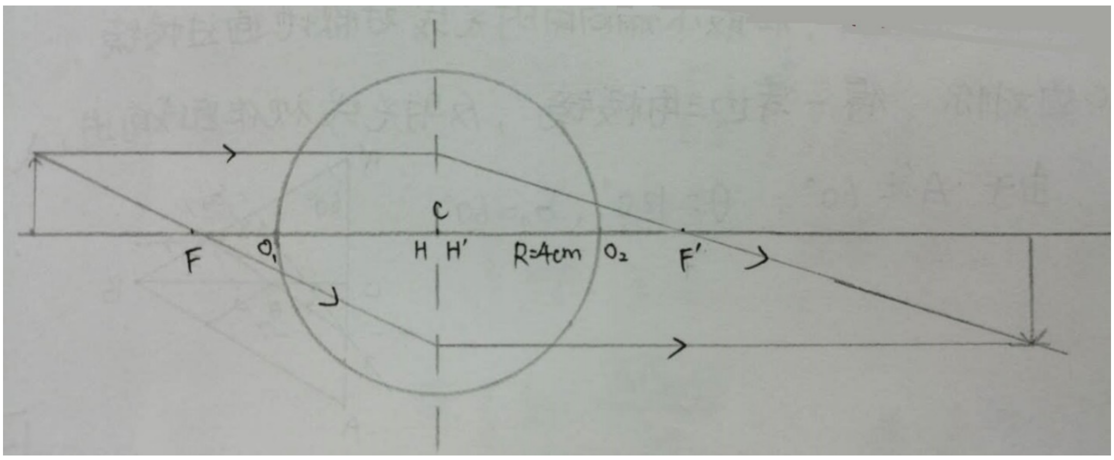
验证：$detS = \dfrac{1}{9} + \dfrac{50}{3} \times \dfrac{4}{75} = 1$ ，无误；

顶主距：顶主距 $l_H = \dfrac{n_1(s_{11}-1)}{s_{12}} = -4cm$， $l'_{H'} = \dfrac{n_2'(s_{22}-1)}{s_{12}} = -4\text{cm}$，

焦距：$f = \dfrac{n_1}{s_{12}} = 6cm$， $f' = \dfrac{n'_2}{s_{12}} = 6cm$，

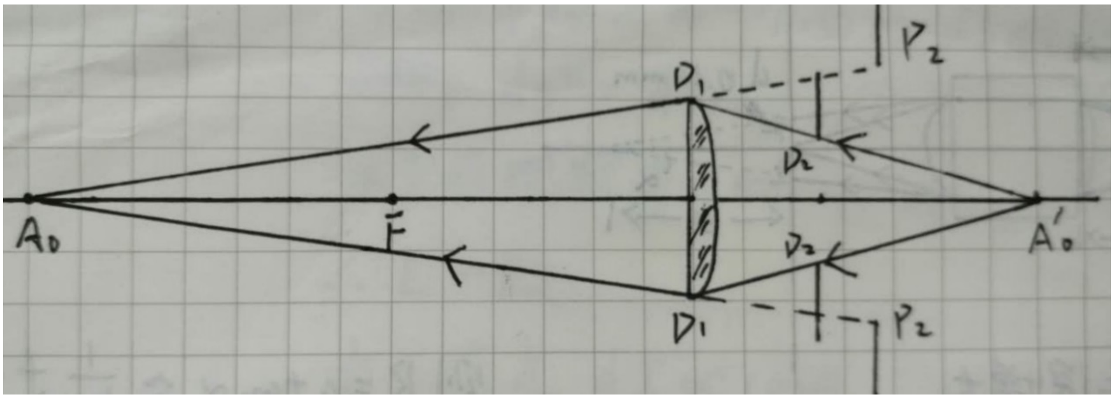
横向放大率：$\beta = \dfrac{1}{s_{11}\text{-}\left(\dfrac{l}{n_1}\right)s_{12}} = \text{-}1.5$，成放大的实像。

作图法如下：



1-29

解 ：



(1)由于 P_1P_2 是 D_1D_2 对 L 的物方共轭，则 $s'=10mm$， $f=f'=30mm$，由高斯公式：

$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}$ 解得 $s=-15mm$，即 P_2P_2 在透镜右侧 15mm 处；

横轴放大率：$\beta=-\frac{fs'}{f's}=-\frac{10}{-15}=\frac{2}{3}$，则 P_2P_2 孔径为 D=24×3/2=36mm

设 P_2P_2 与光轴交点为 A1，D2D2 的交点为 A2，由几何关系得：

$$\frac{A_1P_2}{A_0A_1}=-\frac{A_1P_2-D_1D_1/2}{OA_1}$$

其中 $A_1P_2=P_2P_2/2$，解得 A_0A_1=90mm，即 A0 在透镜左侧 75mm 处；

此时，对成像光束起限制作用的是 D_1D_1，D_1D_1 在物像方共轭均为本身，系统孔径光阑，入瞳，出瞳均为 D_1D_1，并且，入瞳中心为 O，P_2P_2 即为入窗，D_2D_2 是 P_2P_2 对 L 的像方共轭，故 D_2D_2 为出窗和视场光阑。

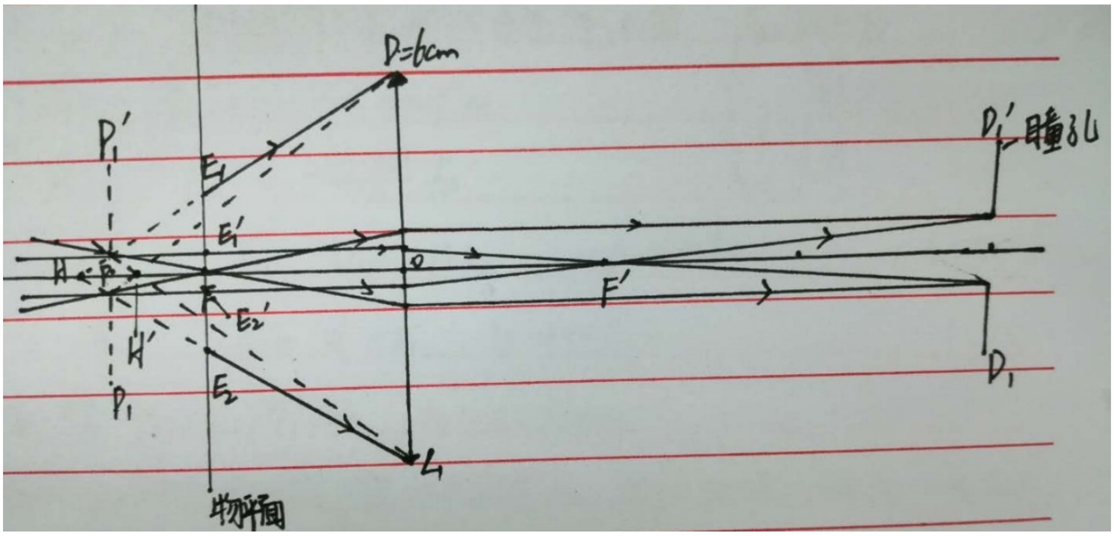
(2)同理可得 $\frac{D_1O}{OA_0'}=\frac{D_1O-D_2D_2/2}{OA_2}$，

解得 OA_0'=50mm,即 A0 在透镜右侧 50mm 处；

此时，对成像光束起限制作用的是 D_2D_2，D_2D_2 为系统孔径光阑、出瞳，入瞳为 P_2P_2，并且，出瞳中心为 O', D_1D_1 为出窗，D_1D_1 在系统的物方共轭为本身，故系统入窗、出窗、视场光阑均为 D_1D_1。

1-31

解：



由题意有： $f = f' = 4cm$ ， $s' = 12cm$ 高斯公式有： $\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_1'} = \frac{1}{f}$ ，解得 $s = 6cm$,'如图，光阑 D1D1’相对于薄透镜 L1 的物方共轭为 P1’P,故 P1’P1 在距 L1 左侧 6cm 处，L1 对自身成像,与自身完全重合。

连接光阑 L1 与 P1’P1 的边缘，分别交光轴于 HH’，可看出：

当物点在光轴 H 和 H’之间时，物点对光阑 L1 的张角比 P1’P1 小，所以系统的孔径光阑、入瞳、出瞳均为 L1，此时入瞳中心为 O, O 对 P1’P1 的张角比 L1 小，所以系统的入窗为 P1’P1,出窗和视场光阑为 D1’D;

当物点在光轴 HH’以外时，物点对 P1’P1 的张角比光阑 L1 小，所以系统的孔径光阑、出瞳。入瞳为 P1’P1，此时入瞳中心为 P, P 对 L1 的张角比 P1’P1 小，所以系统的入窗和视场光阑为 L1,出窗为 L1’。

（2）如图连接入瞳和入窗边缘，交物平面于 E1,E2,能看到的范围为|E1E2|

设瞳孔孔径为 D’　$x' = 12 - 4 = 8cm$　放大倍率为： $\beta = -\frac{x'}{f'} = -2$

设 P1’P1 孔径为 D’’,　$|\beta| = \frac{D'}{D''} = 2$,

利用三角形相似： $\frac{|E_1E_1'|}{\frac{D}{2} - \frac{D''}{2}} = \frac{6-4}{6}$ ， $|E_2E_2'| = |E_1E_1'| = 1 - D'/12$

解得： $|E_1E_2| = 2|E_1E_1'| + D'' = (2 + D'/3)\mathrm{cm}$ ，所以，能观察到直径为 $(2 + D'/3)\mathrm{cm}$ 的圆形范围。若忽略瞳孔孔径的影响，能观察到的是直径为 2cm 的圆形范围。

1-33

解：薄透镜的焦距为：

$$f=\frac{n}{(n_L-n)\frac{1}{r_1}+(n'-n_L)\frac{1}{r_2}} \qquad f'=\frac{n'}{(n_L-n)\frac{1}{r_1}+(n'-n_L)\frac{1}{r_2}}$$

薄透镜在空气中使用：

$$f=f'=\left((\frac{n_L}{n}-1)(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2})\right)^{-1}$$

带入n_L=1.51390， n_D=1.51630， n_F=1.52196，

可得 $f_C'=972.95194\text{mm}$， $f_D'=968.42921\text{mm}$, $f_F'=957.927811\text{mm}$

轴向色差：$\Delta L_{CF}'=f_C'-f_F'=15.024126\text{mm}$。

1-35

解：(1) $f_D'=10cm>0$,正透镜用冕玻璃，负透镜用火石玻璃，故$v_1=64.1$， $v_2=36.3$，

$n_{1\text{D}}=1.5163$， $n_{2\text{D}}=1.6199$

$f_{1D}'=\frac{v_1-v_2}{v_1}f_D'=4.3370cm$， $f_{2D}'=-\frac{v_1-v_2}{v_2}f_D'=-7.6584cm$

$K_1=\frac{1}{f_{1D}'(n_{1D}-1)}=0.446$， $K_2=\frac{1}{f_{2D}'(n_{2D}-1)}=-0.2106$

由题意有：$r_3=\infty$， $k_1=\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}$， $k_2=\frac{1}{r_2}$，解得：$r_1=4.24cm$， $r_2=-4.75cm$

（2） $f_D'=-10cm<0$,正透镜用火石玻璃，负透镜用冕玻璃，故$v_1=36.3$， $v_2=64.1$，

$n_{1\text{D}}=1.6199$， $n_{2\text{D}}=1.5163$

$f_{1D}'=\frac{v_1-v_2}{v_1}f_D'=7.6584cm$， $f_{2D}'=-\frac{v_1-v_2}{v_2}f_D'=-4.3370cm$

$K_1=\frac{1}{f_{1D}'(n_{1D}-1)}=0.21$， $K_2=\frac{1}{f_{2D}'(n_{2D}-1)}=-0.45$

由题意有：$r_3=\infty$， $k_1=\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}$， $k_2=\frac{1}{r_2}$，解得：$r_1=-4.24cm$， $r_2=-2.24cm$

1-37

解：

简易图像为：

其中，D 为入瞳直径，d 为底片上斑点直径，S1’、S2’分别为 S1=10m，S2=-8m,由高斯公式：

$$\frac{1}{s_1}+\frac{1}{s_1'}=\frac{1}{f},\quad \frac{1}{s_2}+\frac{1}{s_2'}=\frac{1}{f}$$

由几何关系有：

$$\frac{d}{D}=\frac{s_1'-s_2'}{s_2'}$$

联立以上公式可得：$s_1'=\frac{10}{99}m$，$s_2'=\frac{8}{81}m$，$D'=4.4mm$，则 $\frac{D}{f}=\frac{4.4}{100}=\frac{1}{22.73}<\frac{1}{2.8}$，

故应取光圈 2.8。

1-39

解：查询书中表 1-7-3 XJ-16 金相显微镜的惠更斯目镜　可知，三种目镜的线视场为 L1=19, L2=13.6,　L3=9.3;

设三种目镜对应的显微镜的线视场为 D1,D2,D3, 物镜的放大倍数为$|\beta_{ob}|$，$|\beta_{ob}|$=45，

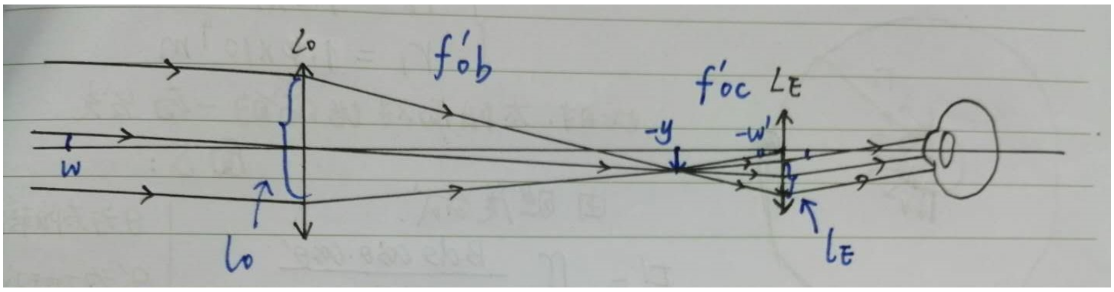
由$|\beta_{ob}|=L/D$，

解得：$D_1=L_1/|\beta_{ob}|=0.42\text{mm}$，$D_2=L_2/|\beta_{ob}|=0.30mm$, $D_3=L_3/|\beta_{ob}|=0.21\text{mm}$

所以这三种目镜分别与 45 倍的消色差物镜配合使用，显微物镜的线视场分别为 0.42mm，0.30mm，0.21mm.

1-41

解：



设入射光线与水平轴夹角，相对于物镜为ω，其对目镜的夹角为 -ω’

望远系统的目镜的物方焦点与物镜的像方焦点几乎重合，且ω很小，由旁轴近似：

$\omega=-y/f_{ob}'$，$-\omega'=-y/f_{oc}'$，

且由角放大率公式有：$1/\gamma=\omega/\omega'=-f_{oc}'/f_{ob}'$

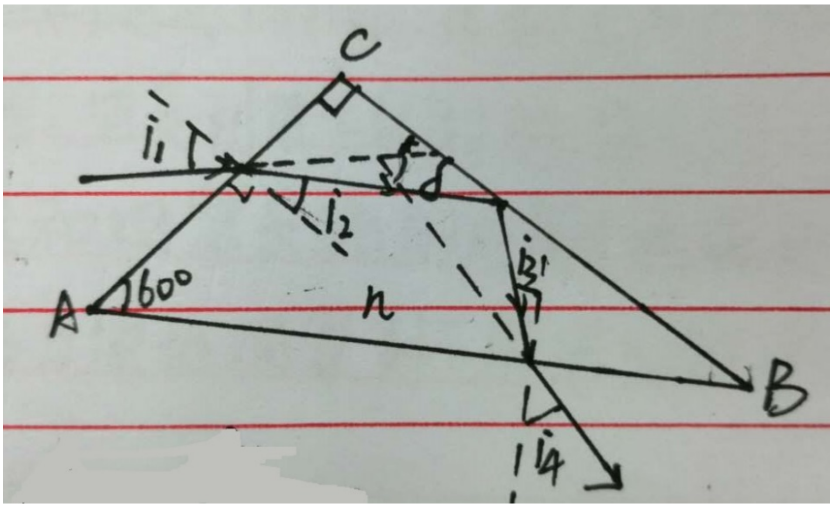
如图，由相似三角形得：$l_0 / l_E = -f_{ob}' / f_{oc}'$

则 $\beta = l_E / l_0 = -f_{oc}' / f_{ob}'$

故 $\beta = 1/\gamma = -f_{oc}' / f_{ob}'$ 得证

1-43

解：



证明：由几何关系得：$i_2 + i_3 = 60^\circ$, $\delta = i_1 - i_4 + 60^\circ$

$\frac{d\delta}{di_1} = 1 - \frac{di_4}{di_1}$，可以证明，$\frac{d^2\delta}{di_1^{\,2}} = \frac{d^2 i_4}{di_1^{\,2}} > 0$

所以产生最小偏向角的充要条件是 $\frac{d\delta}{di_1} = 0$，即 $\frac{di_4}{di_1} = 1$，

按折射定律：$n\sin i_2 = \sin i_1$，$n\sin i_3 = \sin i_4$

取微分后得：$n\cos i_2 di_2 = \cos i_1 di_1$，$n\cos i_3 di_3 = \cos i_4 di_4$

由上述两式得：$\frac{di_4}{di_1} = \frac{\cos i_1 \cos i_3}{\cos i_2 \cos i_4} \frac{di_3}{di_2}$，

又 $i_2 + i_3 = 60^\circ$，$di_3 = -di_2$，所以 $\frac{di_4}{di_1} = \frac{\cos i_1 \cos i_3}{\cos i_2 \cos i_4}$，

故产生最小偏向角的条件为 $\frac{\cos i_1 \cos i_3}{\cos i_2 \cos i_4} = -1$，写成 $\frac{\cos i_1}{\cos i_2} = -\frac{\cos i_4}{\cos i_3}$，

左右平方得到：$\dfrac{1\text{-}\sin^2 i_1}{n^2\text{-}\sin^2 i_1}=-\dfrac{1\text{-}\sin^2 i_4}{n^2\text{-}\sin^2 i_4}$，等式只有 i_1=i_4 时才成立，故 $\delta_{\max}=i_1-i_4+60^\circ=60^\circ$

又因 $\sin i_4=n\sin i_3=n\sin\left(60^\circ-i_2\right)=\dfrac{\sqrt{3}}{2}\sqrt{n^2-\sin^2 i_1}-\dfrac{1}{2}\sin i_1$

所以$\sin i_1=\sin i_4=\dfrac{\sqrt{3}}{2}\sqrt{n^2-\sin^2 i_1}-\dfrac{1}{2}\sin i_1$，解得$i_1=\arcsin\dfrac{n}{2}$

故，当入射角i_1与材料折射率 n 满足$i_1=\arcsin\dfrac{n}{2}$时，对于不同波长的光线（对应材料折射率 n 不同），棱镜最小偏角横为 60°。

1-45

解：

(1)光通量：$\Phi_\lambda=KmV(\lambda)\Psi=683\times0.240\times3\times10^{-3}=0.49176[\mathrm{lm}]$

立体角：$\Delta\Omega\approx\pi(\Delta\theta)^2$

发光强度：$I=\dfrac{\Delta\Phi_\lambda}{\Delta\Omega}=\dfrac{0.49176}{\pi(10^{-3})^2}=1.565\times10^5[cd]$

沿轴线方向亮度：$L=\dfrac{\mathrm{d}I}{\mathrm{ds}\cos\theta}=\dfrac{\mathrm{d}I}{\dfrac{\pi}{4}(D)^2\times1}=\dfrac{1.565\times10^5}{\dfrac{\pi}{4}(10^{-3})^2\times1}=1.993\times10^{11}[cd\cdot m^{-2}]$

(2)

$$E=\frac{I\cos\theta}{l^2}，\ \theta\approx0^0$$

$$E=\frac{I}{l^2}=\frac{1.565\times10^5}{10^2}=1.565\times10^3（\mathrm{lx}）$$

故照度为1.565×10^3（lx）。

（3）$L'=\tau L\left(\dfrac{n'}{n}\right)^2$，根据题意，$n'=n$，故$\tau=\dfrac{L'}{L}=\dfrac{1}{1.993\times10^{11}}=5.02\times10^{12}$

1-47

解：

(1) 太阳的视角为 32’,接近于平行光，故：$x' \approx f' = 12.5cm$

$$\frac{d}{2} = x' \cdot \tan 16' = 0.0582cm$$

解得：$d \approx 1.16mm$

故太阳像的直径为 1.16mm。

(2)当物距 x 为无穷大时，辐照度：

$$E_{\mathrm{v}} = \frac{\pi\tau B_{\mathrm{e}}}{4}\left(\frac{D}{f}\right)^2 = \frac{\pi 0.85\times 3\times 10^6}{4}\left(\frac{0.1}{0.125}\right)^2 = 1.28\times 10^6\ \mathrm{w/m^2}$$

辐通量：$\Phi = E_{\mathrm{v}} S = E_{\mathrm{v}} \times \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 1.35W$

（3）我们知道太阳在一定程度上可以看成余弦辐射体，故满足：

$$E' = \pi B_e \sin^2 \mathrm{u}' \approx \pi B_e (\frac{d}{2f})^2$$

$$\mathrm{N} = \frac{E}{E'} = \frac{\pi\tau B_{\mathrm{e}}\left(D/2f\right)^2}{B_e \pi\left(d/2f\right)^2} = \left(\frac{D}{d}\right)^2 \cdot \tau$$

故：$\mathrm{N} = \left(\frac{D}{d}\right)^2 \cdot \tau = \left(\frac{100}{1.16}\right)^2 \cdot 0.85 = 6.32\times 10^3$

即太阳像的辐照度是太阳直接正射地面时辐照度的 6.32×10^3 倍。

1-49

解：太阳为余弦发光体:

$$E = \iint_S \frac{Bds\cos\theta\cos\theta'}{r^2}$$

$$ds = \frac{4\pi D^2}{2}\sin\theta d\theta$$

由于太阳光垂直照射地面，$\cos\theta' = 1$，太阳余弦发光体可等效亮度均匀的圆盘：

$$E = \iint_S \frac{2\pi D^2 B\sin\theta\cos\theta}{r^2} d\theta = \frac{2\pi D^2 B}{r^2}\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin\theta\cos\theta d\theta = \frac{4\pi D^2 B}{r^2}$$

故，$B = \frac{Er^2}{4\pi D^2} = \frac{10^5\left(1.5\times 10^{11}\right)^2}{4\pi\left(1.4\times 10^9\right)^2} = 1.5\times 10^9\ (\mathrm{cd/m^2})$

1-51

解：设录像管的像面照度为 Ev，天空亮度为 L,录像机镜头的入瞳直径为 D，物方焦距为 f，Ev_{min}=20lx，L=0.25cd/cm^2 ，光圈数值 N=f/D，

远距离摄影时，

$$Ev = \frac{T\pi L}{4}\left(\frac{D}{f}\right)^2 = \frac{T\pi L}{4}\left(\frac{1}{N}\right)^2$$

取 Ev= Ev_{min} 时，解得 N=8.29, D/f=0.12，

故录像机镜头的光圈应选镜头上刻度的光圈数标记值为 8 的档位，即使用相对孔径大于等于 0.12 的摄影物镜；因为像面照度 Ev 与相对孔径 D/f 成正相关，因此录像管要求的最低像面照度为 20lx 时，对应录像机镜头的最低相对孔径应为 0.12。

1-53

解：由题意知：当光圈由 f2 变为 f2.8 时,快门时间需增加：

（1/100）×2= (1/50)s

此时原底片在光度方面能达到满意，由于底片由 21°DIN 变成 18°DIN，因此快门时间应变成为：

(1/50)×2= (1/25)s

故快门时间用 0.04s。