

南京邮电大学 2014 /2015 学年第 一 学期

《应用光学基础》期末试卷 (B)

院(系)_____ 班级_____ 学号_____ 姓名_____

题号	一	二	三	四	五	总分
得分						

得分

一、选择题 (20 × 5 分)

1. 在望远镜的适度调节中, 为适应近视人群, 应采取的是: ()

A) 使物镜远离目镜 B) 使目镜靠近物镜 C) 使目镜远离物镜

D) 应同时调节物镜和目镜

2. 棱镜系统中加入屋脊面的作用是: ()

A) 改变光轴的方向 B) 改变主截面内像的方向 C) 改变垂直于主截面方向上像的方向

D) 以上都正确

3. 入射光线入射到平面镜 M 上, 入射角为 θ , 如果入射光线不变, 平面镜 M 转动角度 α , 则反射光线改变的角度为: ()

A) 2θ B) α C) 2α D) θ

4. 在对空间物体进行成像时, 如果容许像平面上的光斑直径越大, 则景深: ()

A) 增大 B) 减少 C) 不变 D) 都有可能

5. 人眼垂直看水池一米深处的物体, 水的折射率是 1.5, 该物体的像到水面的距离是: ()

A) 1m B) 1.5m C) 0.67m D) 无法确定

得分

二、填空题 (每空 10, 共 240)

1. 凡____次镜面反射的像称为镜像, 若物的坐标关系为左手, 则像的坐标关系为____手; 凡____次镜面反射的像称为相似像, 若物的坐标关系为左手, 则像的坐标关系为____手。

51

2. 望远镜分辨率表达式是_____。
3. 费马原理是指光在任意介质中从一点传播到另一点时, 实际光线沿着_____传播。
4. 主平面是指_____的一对共轭面, 而节平面是指_____的一对共轭面。
5. 近视眼能看清楚的最远距离为 0.5m, 则应该佩戴_____度的_____透镜。
6. 消除光学系统成像球差的方法有_____、_____、_____。
7. 光照度和发光强度之间的关系是_____。
8. 近轴条件下, 折射率为 1.5 的厚为 15mm 的平行玻璃板, 其等效空气层厚度为_____。
9. 近视眼, 将_____ (远点或近点) 矫正到无限远; 远视眼, 将_____ (远点或近点) 矫正到明视距离。
10. 对于单个反射球面而言, 物方主点 H , 像方主点 H' 与球面定点 O 的距离为_____; 对于单个折射球面而言, 物方主点 H , 像方主点 H' 与球面定点 O 的距离为_____。
11. 平面反射镜成像的垂轴放大率为_____, 物像位置关系为_____, 如果反射镜转过 α 角, 则反射光线改变_____。
12. 物镜和目镜焦距分别为 $f_{物} = 3\text{mm}$ 和 $f_{目} = 25\text{mm}$ 的显微镜, 光学筒长 $\Delta = 6\text{mm}$, 则该显微镜的视放大率为_____, 目镜的视放大率为_____。

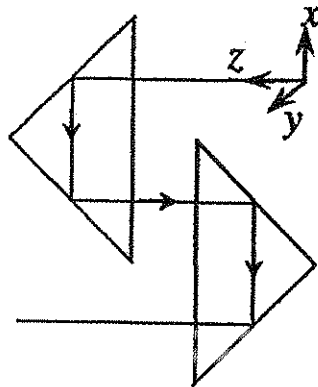
得分

三、简答题 (5 × 4 分)

1. 几何光学的基本定律及其内容是什么?

2. 什么叫孔径光阑, 它与入瞳, 出瞳之间的关系?

2. 求棱镜反射后像的坐标系方向。



得分

五、计算题（共 36□）

1. 相机拍摄一幅风景画，相机离风景的距离为 6000m，已知照相机物镜的焦距 $f = 500\text{mm}$ ，相机拍摄到幅面为 $300 \times 300\text{mm}^2$ ，问拍摄的风景的实际面积？（10□）

2. 桌面 OB 上方有一盏 300W 钨丝充气灯泡 P，光视效能为 20lm/w，光源在各方向均匀发光，灯泡可在垂直桌面方向上下移动，问灯泡离桌面多高时，B 点（OB=1m）处的光照度最大，该光照度等于多少？（11□）

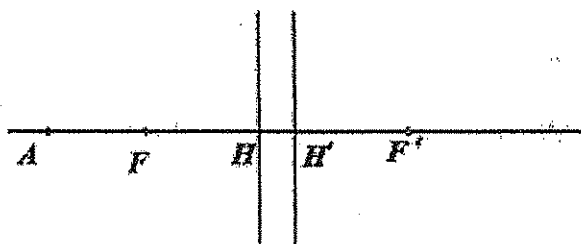
3. 什么是理想光学系统的分辨率？写出望远镜的分辨率表达式？

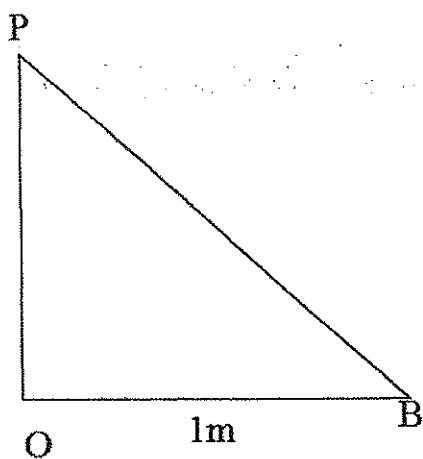
4. 什么叫远心光路？其光路特点是什么？

得分

四、作图题（50 × 2 分）

1. 已知正透镜光组的焦点 F 和 F' ，求实物 A 的像。（至少五种方法）





3. 由两个焦距相等的薄透镜组成一个光学系统，两者之间的间距也等于透镜焦距，即 $f_1 = f_2 = d$ 。用此系统对前方 60mm 处的物体成像，已知垂轴放大率为 -5，求薄透镜的焦距及物象平面之间的共轭距。(15分)

62

南京邮电大学 2011 /2012 学年第 一 学期

《应用光学》期末复习提纲 (A)

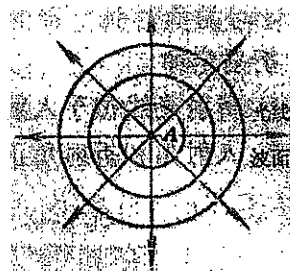
本试卷共 31 页; 考试时间 110 分钟;

专业光电信息工程 班级 090060 学号 姓名

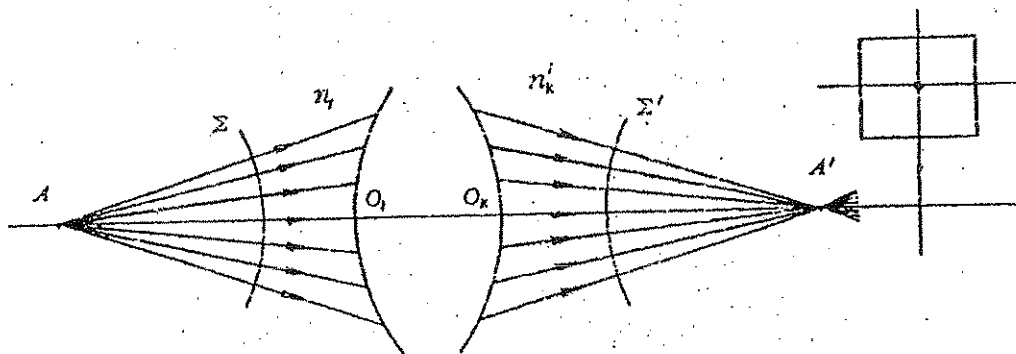
一、几何光学基本原理

1. 光线垂直于波面, 或光线是波面的法线。

2. 共轴光学系统: 所有球面的球心均处于同一条直线上, 该直线为整个系统的对称轴线 (也称其为光轴), 就称这样的系统为共轴球面系统。



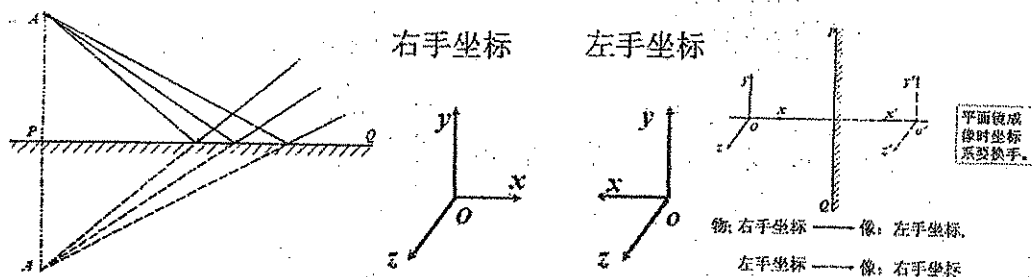
3. 共轭: 由一点 A 发出的光线经过光学系统后聚交或近似聚交在一点 A' , 则 A 为物点, A' 为物点 A 通过光学系统所成的像点, 此时, 物点与像点具有一一对应关系 (也称共轭关系)。



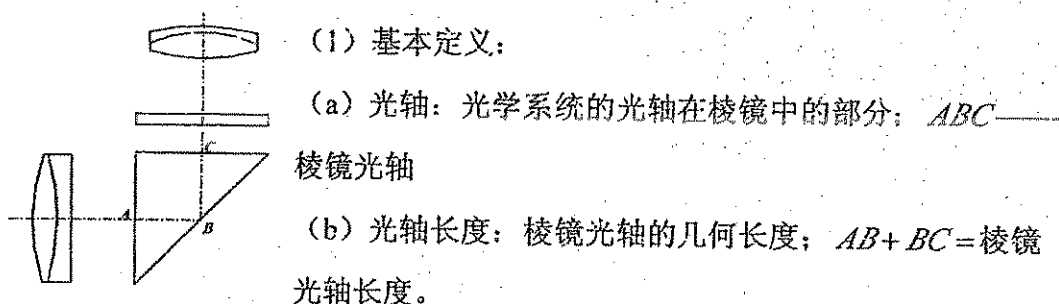
4. 理想像: 物像空间符合“点对应点, 直线对应直线, 平面对应平面”关系。

二、平面镜系统

1. 平面镜成像特点: 平面镜能使整个空间任意物点理想成像; 物点和像点对平面镜而言是对称的, 大小相等; 凡一次镜面反射或奇次镜面反射像被称为镜像; 凡二次镜面反射或偶次镜面反射像被称为一致像, 即理想成像、对称、镜像。

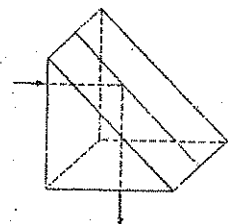


2. 棱镜的展开:



(2) 棱镜的等效作用与展开:

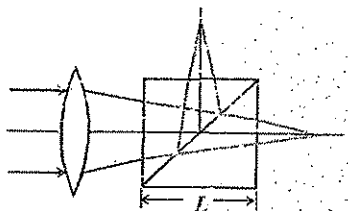
1. 等效作用: 反射棱镜有两个折射面和若干反射面, 若不考虑反射面, 光线在两个折射面之间的行为等效于一个平行平板。



2. 棱镜的展开: 把棱镜的光轴截面沿着它的反射面展开, 取消棱镜的反射, 以平行玻璃板的折射代替棱镜折射的方法称为“棱镜的展开”。

3. 为了使棱镜和共轴球面系统组合后, 仍能保持共轴球面系统的特性, 必须对棱镜的结构提出一定的要求: (1) 棱镜展开后玻璃板的两个表面必须平行; (2) 如果棱镜位于会聚光束中, 则光轴必须和棱镜的入射及出射表面相垂直。

4. 展开方法: 利用棱镜反射面的性质, 将折转的光路拉直, 即: 按入射光线的顺序, 以反射面为镜面, 求其对称像, 并依次画出反射棱镜的展开图。



5. 平行平板的厚度就是反射棱镜的展开长度或称光轴长度 (L); 展开后应先找到棱镜限制光束的位置, 再求尺寸, 即棱镜通光光束的口径 (D)。

6. 光路计算中, 棱镜等效平行平板的厚度 L 为棱镜光轴长度, 设棱镜的通光光

束口径为 D ，则 $L = k \cdot D$ ， k 取决于棱镜的结构形式，与棱镜的大小无关，称为棱镜的结构参数。

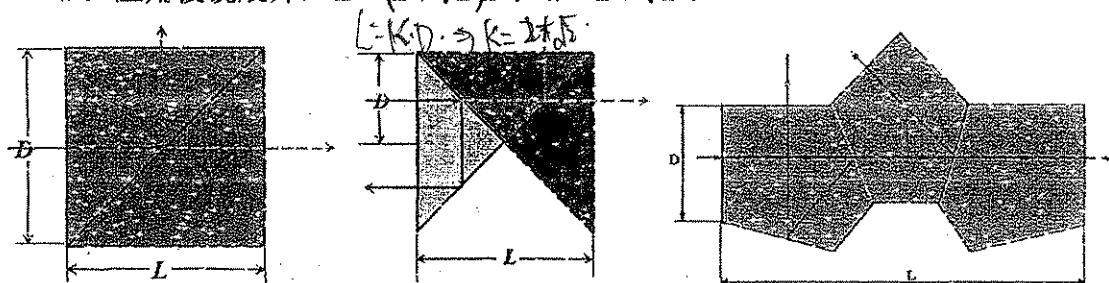
7. 几种典型棱镜的展开：

(1) 直角棱镜展开：

(a) 一次反射时， L ——棱镜的光轴长度， D ——入射光束口径； $L = D$ ， $k = 1$ 。

(b) 二次反射时， L ——棱镜的光轴长度， D ——入射光束口径； $L = 2D$ ， $k = 2$ 。

* (2) 五角棱镜展开： $L = (2 + \sqrt{2})D$ ， $k = 2 + \sqrt{2}$ 。



(3) 平面镜棱镜系统成像方向的判断：

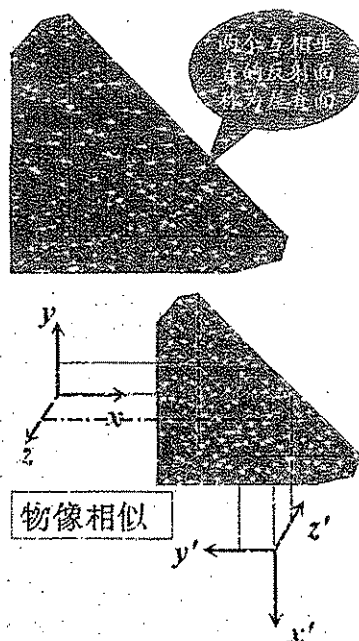
1. 屋脊面和屋脊棱镜：两个互相垂直的反射面称为屋脊面，而带有屋脊面的棱镜称为屋脊棱镜。

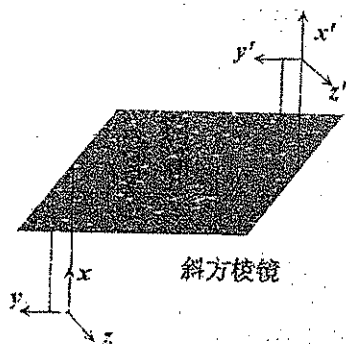
2. 确定平面镜棱镜系统成像方向的方法：

(1) 先看几个普通棱镜：这主要看棱镜的反射次数，偶次反射成一致像，由右手坐标确定其成像方向；奇次反射成镜像，由左手确定成像方向；

(2) 直角棱镜使光线折转 90° ，等腰棱镜使光线折转任意角度，二者的特点是：入射面、出射面与光轴垂直。

(3) 一次反射特点：成镜像；在主截面内坐标方向改变，垂直于光轴截面内坐标方向不变。





(4) 二次反射成像的特点：成一致像；入射光线与出射光线之间的夹角取决于两反射面之间的夹角。

(5) 成像方向的规则：

(a) 坐标系判定：平面反射：奇变偶不变；屋脊面：不换手

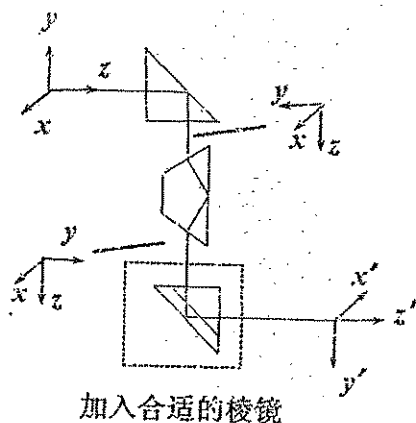
(b) 坐标轴判定：

(1) 沿光线的坐标轴（如 x ），反射后仍沿光线传播方向（如 x' ）。

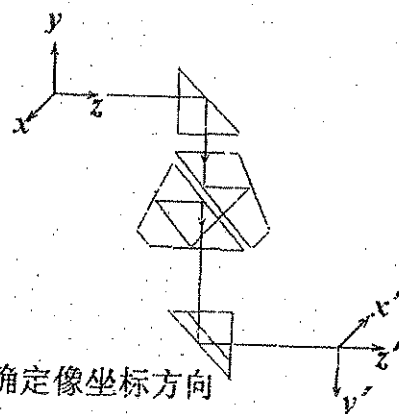
(2) 平行于反射面的坐标轴（如 z ），平面反射时方向不变；经屋脊面反射时反射一次即改变一次方向（如 z' ）。

(3) 第三个坐标轴（ y ），根据成像坐标的性质判断。

或 (a) 光轴方向不变；(b) 屋脊面个数决定垂直于主截面的坐标：奇数个，方向改变；偶数个，方向不变 (c) 反射次数决定在主截面内垂直于光轴的坐标，奇次，坐标系改变；偶次，坐标系不变。

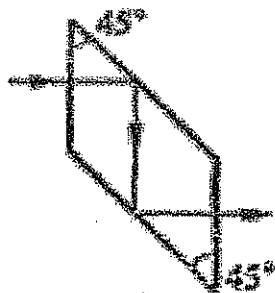
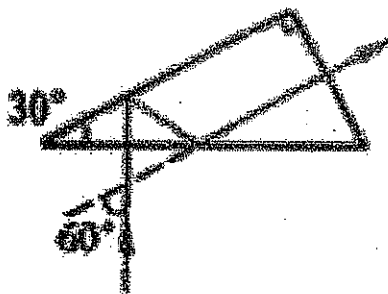


加入合适的棱镜

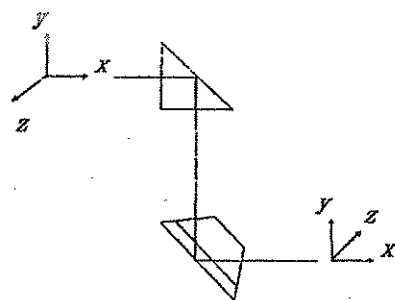
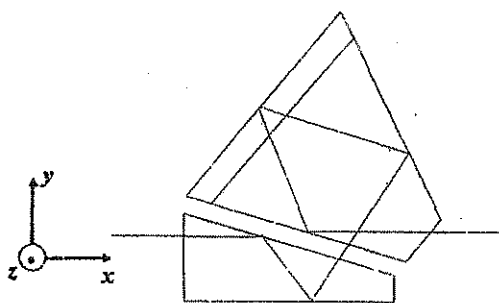


确定像坐标方向

例 1：试画出 30° 直角棱镜和斜方棱镜的展开图。设 30° 直角棱镜的口径等于斜边的一半，斜方棱镜的口径等于直角边，分别求出这两种棱镜的结构参数。



例 2: 判断棱镜的成像方向。



三、共轴球面系统的物像关系

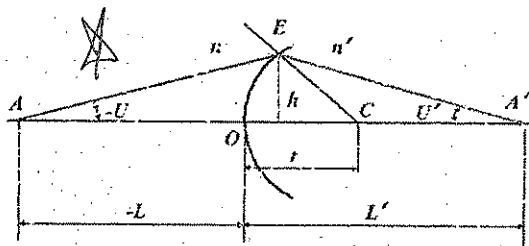
1. 单个折射球面物像位置公式

(1) 基本概念:

(a) O : 顶点; C : 球面曲率中心; OC : 球面曲率半径 r ; OE : 透镜球面, 也是两种介质 n 与 n' 的分界面; h : 光线入射高度;

(b) 子午面: 包含物点 (或物体) 和光轴的光路截面; 单个折射球面的结构参数: r 、 n 、 n' ; 给定了结构参数和物点 A 后, 即可确定 A 点的像。

(c) 物点 A 在光轴上, 其到顶点 O 的距离 OA 为物方截距, 用 L 表示;



入射光线 AE 与光轴的夹角为物方孔径角也叫物方倾斜角, 用 U 表示。

(d) 折射光线 EA 由以下参量确定: 像方截距: 顶点 O 到折射光线与光轴交点, 用 L' 表示; 像方孔径角: 折射光线 EA 与光轴的夹角, 也叫像方倾斜角, 用 U' 表示 (像方参数与对应的物方参数所用的字母相同, 并加以“'”相

区别)。

(2) 符号规则:

正向光路 $\xrightarrow{\quad}$ 反向光路 $\xleftarrow{\quad}$ 1. 光路方向: 从左向右为正向光路, 反之为反向光路。

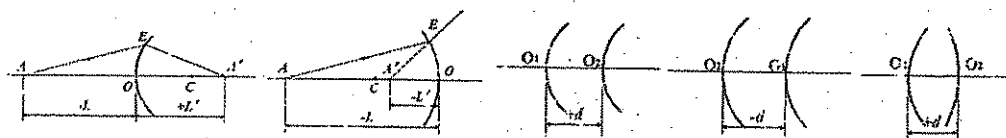
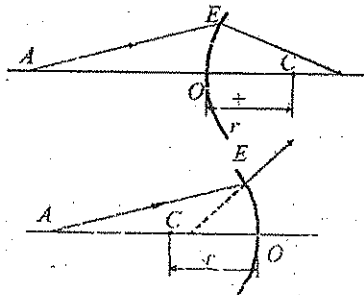
原点 $\xrightarrow{+}$ $\xleftarrow{-}$ 原点 2. 线段: 沿轴线段: 从起点 (原点) 到终点的方向与光线传播方向相同, 为正; 反之为负, 即线段的原点为起点, 向右为正, 向左为负。

(3) 原点规定:

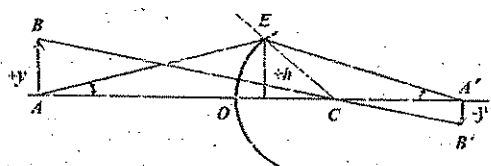
(a) 曲率半径 r , 以球面顶点 O 为原点, 球心 C 在右为正, 在左为负。

(b) 物方截距 L 和像方截距 L' 也以顶点 O 为原点, 到光线与光轴交点, 向右为正, 向左为负。

(c) 球面间隔 d : 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)

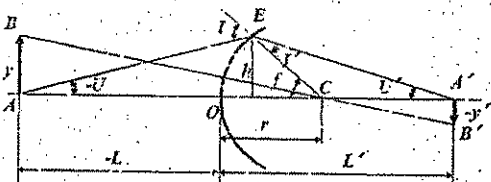


(d) 垂轴线段: 以光轴为界, 上方为正, 下方为负。



(4) 角度

(1) 角度的度量一律以锐角来度量, 由起始边顺时针转到终止边为正, 逆时针为负; 角度判断中的优先级: 光轴 > 光线 > 法线。

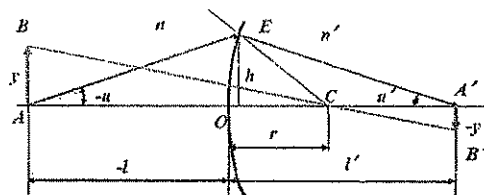


(5) 单个折射球面物像位置公式:

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

(6) 物像大小关系式:

(a) 垂轴放大率：垂直于光轴，大小为 y' 的物体经折射球面后成的像大小为 y' ，则 $\beta = \frac{y'}{y}$ ， β 称为垂轴放大率或横



向放大率； $\beta > 0$ 成正立像且物像虚实相反； $\beta < 0$ 成倒立像且物像虚实相同。

(b) 若 $|\beta| > 1$ ，则 $|y'| > |y|$ ，成放大像；反之 $|y'| < |y|$ ，成缩小像。

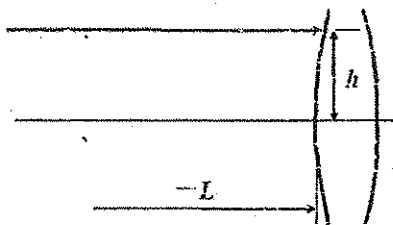
(c) 轴向放大率： $\alpha = \frac{n'}{n} \beta^2$ ；角放大率： $\gamma = \frac{n'}{n} \cdot \frac{1}{\beta}$ ； $\alpha \cdot \gamma = \beta$ 。

(7) 理想光学系统的基点、基面

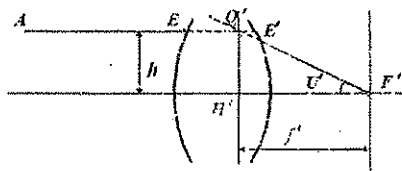
(a) 几何光学中：共轴理想光学系统，已知一对共轭面的位置和放大率及两对共轭点的位置；或已知两对共轭面的位置和放大率，即可求出任意物点的像。

(b) 表征光学系统物像共轭关系的特征共轭点、共轭面称为基点和基面。

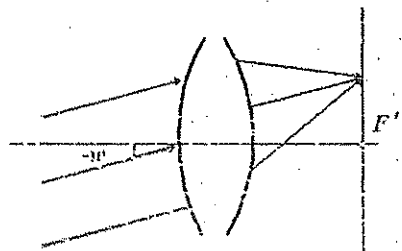
(c) 光学系统的基面、基点：物方焦点、像方焦点；物方主平面（主点）、像方主平面（主点）；物方节平面（节点）、像方节平面（节点）。



(d) 无限远轴上物点发出的光线与光轴平行



(e) 像方焦点、像方焦平面；像方主点、主平面；像方焦距： F' 就是无限远轴上物点的像点，称像方焦点；过 F' 点作垂直于光轴的平面，称为像方焦平面，它是无限远处垂直于光轴的物平面的共轭像平面；将 AE 延长与出射光线

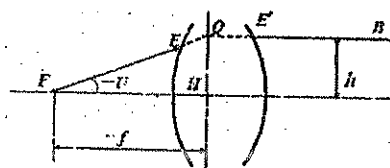


EF' 的反向延长线交于 Q ，通过 Q 点作垂直于光轴的平面交光轴于 H' 点，则 QH' 平面称为像方主平面， H' 称为像方主点；从像方主点 H' 到像方焦点 F' 之间的距离称为像方焦距，用 f'

表示。

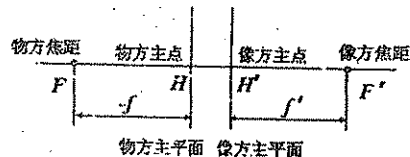
(f) 无限远轴外物点发出的光线：一束与光轴有一定的夹角的平行光线经过理想光组后，一定相交于像方焦平面上的某一点，这一点就是无限远轴外物点的共轭像。

(g) 物方焦点、物方焦平面；物方主点、主平面；物方焦距：轴上某一点 F 的共轭像点在无限远处，即由 F 发出的光线经光组后与光轴平行，



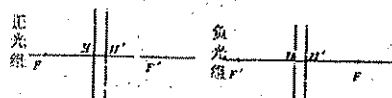
则 F 称为系统的物方焦点； EB 的反向延长线与 FE 交于 Q ，过 Q 点做与光轴垂直的平面，与光轴交于 H 点，则 QH 平面称为物方主平面， H 点称为物方主点；从物方主点 H 到物方焦点 F 之间的距离称为物方焦距，用 f 表示，按符号规则，这里是 $-f$ 。

(h) 一对共轭面，两对共轭点是最常用的共轴系统的基点；如图，一对共轭面：两个主平面；物方焦平面与像方焦平面不是共轭面，两对共轭点：无限远轴上物点与 F' ， F 与无限远轴上像点。



(8) 用作图法求光学系统的理想像：

1. 求像时先判断光组的正负，若 $f' > 0$ ，为正光组（会聚光组）；若 $f' < 0$ ，为负光组（发散光组）。

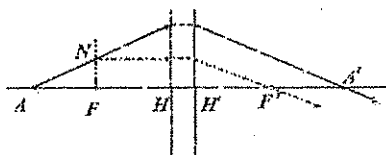
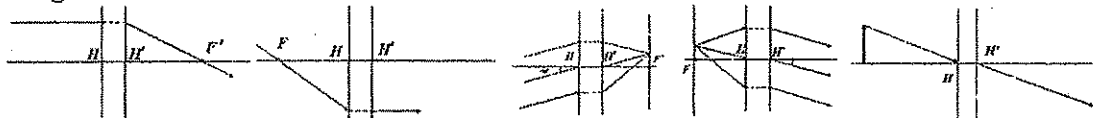


2. 性质：

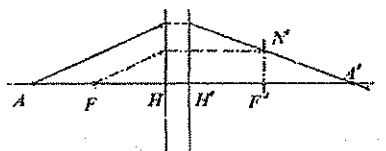
- (a) 平行于光轴入射的光线，经过系统后过像方焦点。
- (b) 过物方焦点的光线，经过系统后平行于光轴。
- (c) 倾斜于光轴的平行光线，经过系统后交于像方焦平面上某一点。
- (d) 自物方焦平面上一点发出的光束经系统后成倾斜于光轴的平行光束。
- (e) 共轭光线在主平面上的投射高度相等，即一对主平面的垂轴放大率为 $+1$ 。

(f) 光轴上的物点其像必在光轴上。

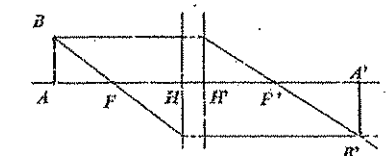
(g) 过主点光线方向不变 (n, n' 相同时)。



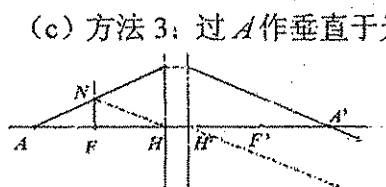
3. 正光组轴上点作图: 已知 F 和 F' , 求轴上点 A 的像



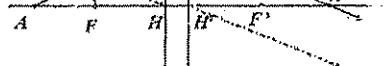
(a) 方法 1: 过 F 作物方焦平面, 与 A 点发出的光线交于 N , 以 N 为辅助物, 从 N 点作平行与光轴的直线, 经过光组后交于像方焦点 F' , 则 AN 光线过光组后与辅助光线平行, 与光轴的交点即是 A' 。



(b) 方法 2: 过 F 作辅助线, 过光组后与光轴平行, 交像方焦平面于 N' , 则 A 点射出的与辅助光线平行的光线过光组后过 N' 点, 与光轴交点即是 A' 。

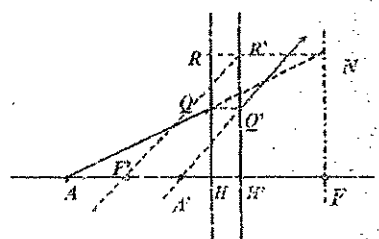


(c) 方法 3: 过 A 作垂直于光轴的辅助物 AB , 按照前面的方法求出 B' , 由 B' 作光轴的垂线, 则交点 A' 就是 A 的像。



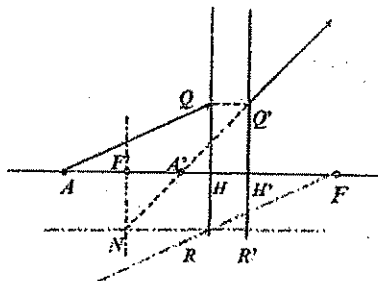
(d) 方法 4: 利用过主点光线方向不变, 作过主点的辅助光线。利用像方焦平面上发出的光线过光组后平行射出的性质。然后作平行辅助光线的出射光线。

4. 负光组轴上点作图

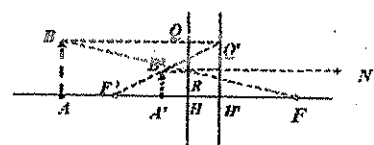


(a) 方法 1: (1) AQ (2) 辅助焦平面 (3) 延长 AQ 到 N (4) NR (5) RR' (主面上投射高度相等) (6) RF (7) QQ' (8) $QA \parallel RF$ (物方焦平面一点发出的光线过光组后平行射出)。

(b) 方法2: (1) AQ (2) QQ' (3) $RF \parallel AQ$ (4) $RR' \parallel HH'$ (5) 辅助面
 F' (6) 反向延长 RR' 交辅助面 F' 于 N (7) NQ
 于光轴交点即是 A (物方平行光线出射后反向延
 长线会聚于像方焦平面上一点)。



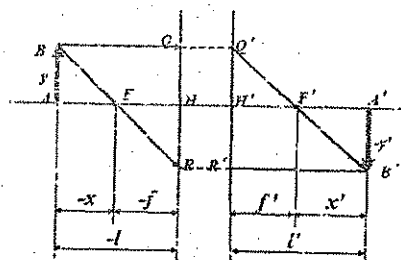
(c) 方法3: (1) 辅助物 AB (2) 由 B 作 $BQ \parallel$
 光轴 (3) QQ' (4) 由 Q 作直线过 F' (5) BF (6)
 RN (7) 反向延长 RN , 于 QF 交于 B (8) 由
 B 作直线垂线于光轴交点即是 A 。



(9) 理想光学系统的物像关系式 (解析法)

1. 概念:

(a) x ——以物方焦点为原点的物距, 称为焦物距; 以 F 为起始点, x 方向
 与光线方向一致为正 (图中为-). x' ——以像方
 焦点为原点的像距, 称为焦像距; 以 F' 为起始点,
 x' 方向与光线方向一致为正 (图中为+).



(b) l ——物方主点 H 为原点的物距, 称为物距;
 方向与光线方向一致为正, 反之为负 (图中-). l' ——像方主点 H' 为原点的像距,
 称为像距; 方向与光线方向一致为正, 反之为负 (图中+).

2. 牛顿公式: 以焦点为原点的物像位置公式, 通常称为牛顿公式, 即 $xx' = ff'$,

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

3. 高斯公式: 用 l 和 f 来表示 x , 以主点为原点的物像位置公式, 即 $\frac{f}{l} + \frac{f'}{l'} = 1$,

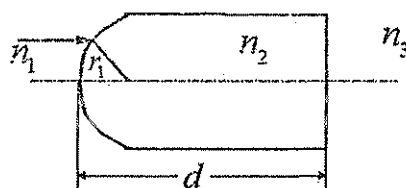
$$\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{f \cdot l'}{f' \cdot l}.$$

4. 物方焦距和像方焦距的关系: $\frac{f'}{f} = -\frac{n'}{n}$, 当 $n = n'$ 时, 有: $-f = f'$, 此时,

牛顿公式可以写成: $x \cdot x' = -f^2$, 高斯公式可以写成: $\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f'}$

例 1: 有一个光学零件, 结构参数如下: $r_1 = 10\text{mm}$, $n_1 = 1$; $d = 30\text{mm}$, $n_2 = 1.5$;

$r_2 = \infty$, $n_3 = 1$ 。



(1) 当 $l_1 = \infty$, 求 l' 。

(2) 在第二面上刻上十字线, 其共轭像在何处?

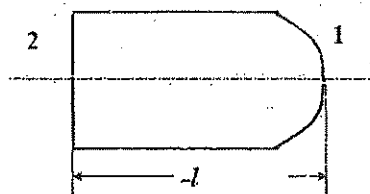
* (3) 当入射高度 $h = 1\text{mm}$ 时, 实际光线和光轴交点在何处?

解: (1) $\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r}$, $l_1 = \infty$, $n_1 = 1$, $n' = n_2 = 1.5$, $r = 10\text{mm}$, $\therefore l'_1 = 30\text{mm}$;

对 II 面 $n_2 = 1.5$, $n'_2 = n_3 = 1$, $r_2 = \infty$, $l_2 = l'_1 - d = 0$, 所以经第一个面成像在第二个面上。

(2) $n_1 = n_2 = 1.5$, $n'_1 = 1$; $l_1 = -30\text{mm}$,

$r = -10\text{mm}$, $l'_1 = \infty$, 所以在无穷远处。



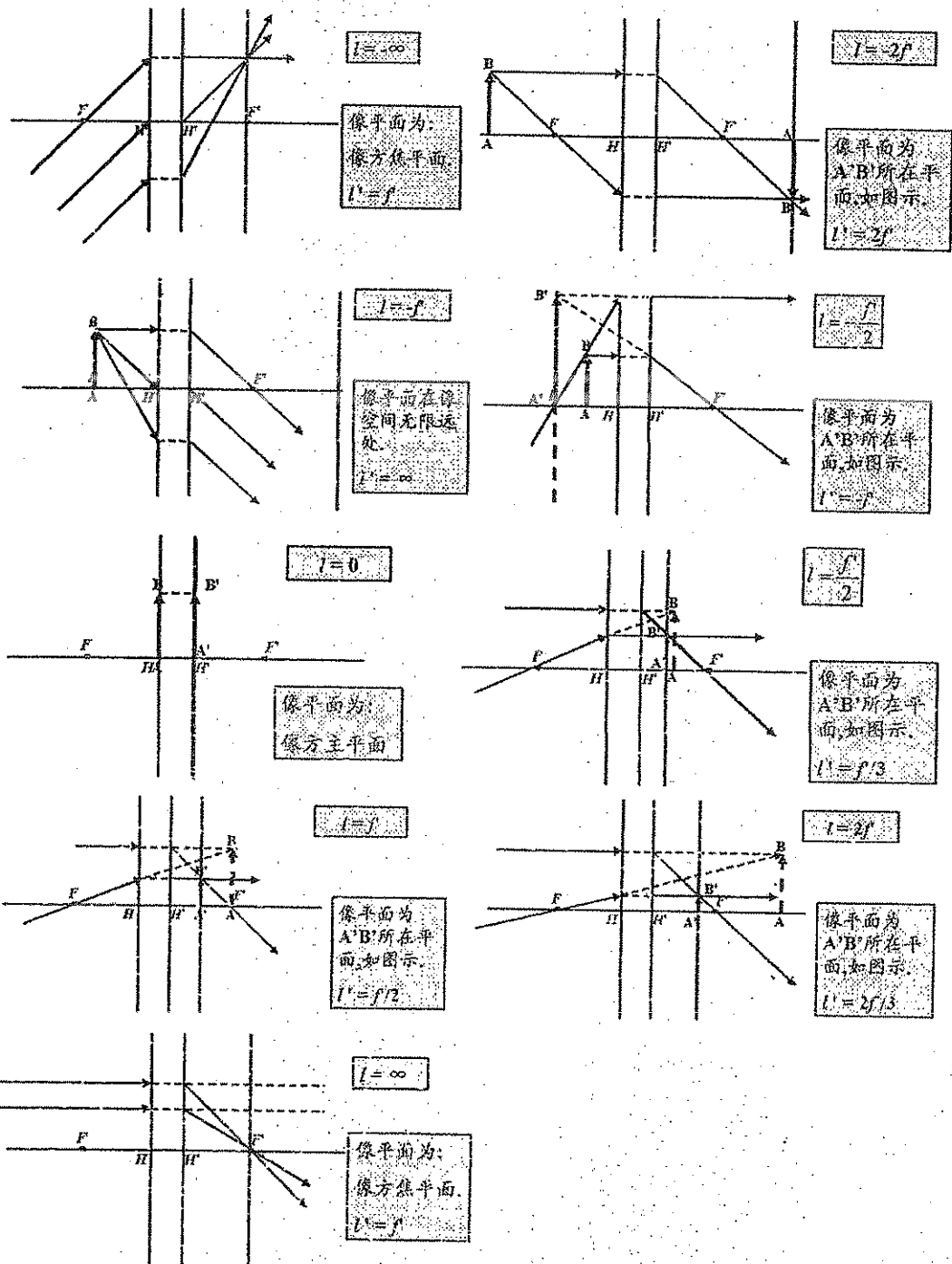
* (3) $L' = r \left(1 + \frac{\sin U'}{\sin U} \right) = 10 \left(1 + \frac{1/15}{\sin 1.92^\circ} \right) = 29.93\text{mm}$ 。

例 2: 试用作图法对位于空气中的正透镜组 ($f' > 0$) 分别对下列物距: $-\infty$,

$-2f'$, $-f'$, $-\frac{f'}{2}$, 0 , $\frac{f'}{2}$, f' , $2f'$, ∞ , 求像平面位置。

解: 由高斯公式 $\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f'}$ 得到如下结论:

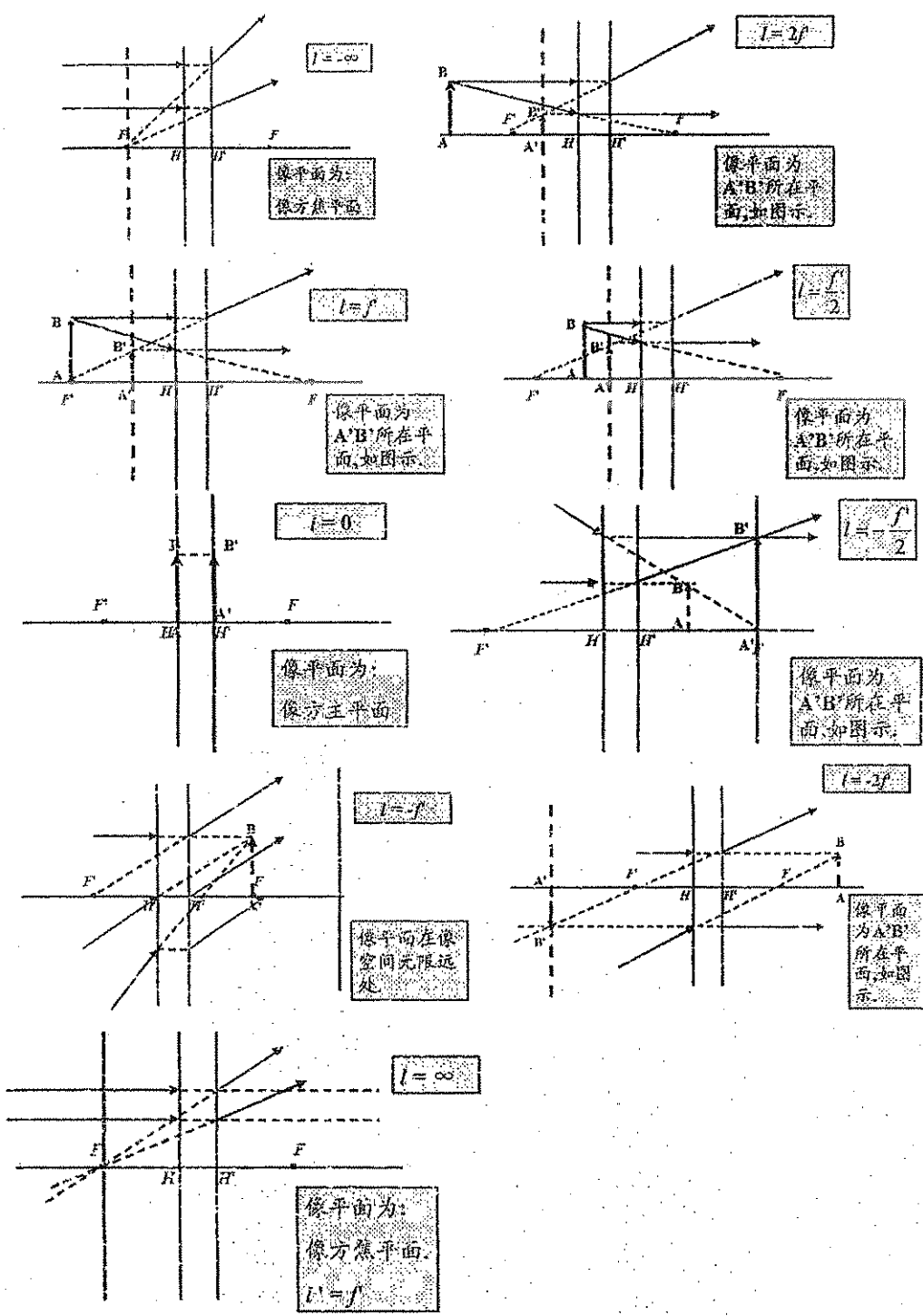
l	$-\infty$	$-2f'$	$-f'$	$-\frac{f'}{2}$	0	$\frac{f'}{2}$	f'	$2f'$	∞
l'	f'	$2f'$	∞	$-f'$		$\frac{f'}{3}$	$\frac{f'}{2}$	$\frac{2f'}{3}$	f'



例3: 试用作图法对位于空气中的负透镜组 ($f' < 0$) 分别对下列物距: $-\infty$,

$-2f'$, $-f'$, $-\frac{f'}{2}$, 0 , $\frac{f'}{2}$, f' , $2f'$, ∞ . 求像平面位置。

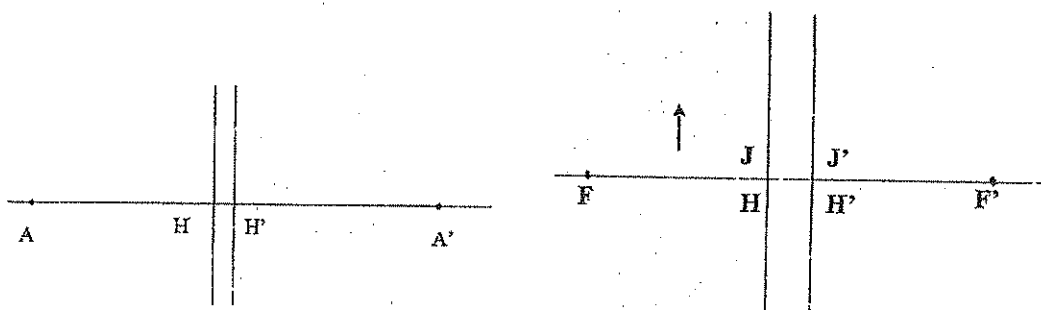
解:



*例 4: 设一物体对正透镜成像, 其垂轴放大率等于 -1 , 试求物平面与像平面的位置, 并用作图法验证。

例 5: 已知共轭点 A 与 A' , 求焦点位置。

例 6: 用作图法求物经光学系统后所成的像



例 7: 一水杯内水深 40mm , 杯底有一硬币, 在水面上方放置一焦距为 300mm 的薄透镜, 硬币中心位于透镜光轴上。若透镜上方的观察者通过透镜观察到硬币的像就在原处, 求透镜应置于距水面多高的位置? 水的折射率为 1.33。

解: 设透镜距水面距离为 Δ 。

第一次经过水成像, 水面水平, 故由单折射面成像公式 $\begin{cases} \frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r} \\ l_1 = -40\text{mm} \\ r \rightarrow \infty \end{cases}$ 得

$$l_1 = -30\text{mm}.$$

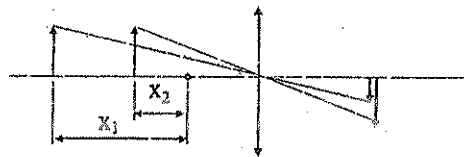
第二次经过薄透镜成像, 由高斯公式 $\begin{cases} \frac{f'}{l_2} + \frac{f}{l_2} = 1 \\ f = 300\text{mm} = -f, \text{ 解得} \\ l_2 = -(30 + \Delta) \\ l_2 = -(40 + \Delta) \end{cases}$

$$\begin{cases} \Delta_1 = 20mm \\ \Delta_2 = -90mm \text{ (舍去)} \end{cases}$$

答: 透镜应置于距水面 20mm 位置。

例 8: 有一正薄透镜对某一物体成倒立的实像, 像高为物高的一半, 今将物面向透镜移近 100mm, 则所得像与物同大小, 求该正透镜的焦距。

解:
$$\begin{cases} \beta_1 = -\frac{f}{x_1} = -\frac{1}{2} \\ \beta_2 = -\frac{f}{x_2} = -1, \text{ 解得 } f' = 100mm. \\ x_2 - x_1 = 100 \end{cases}$$



答: 该正透镜的焦距为 100mm。

例 9: 有一放映机, 使用一个凹面反光镜进行聚光照明, 光源经过反光镜反射以后成像在投影物平面上。光源长为 10mm, 投影物高为 40mm, 要求光源等于投影物高; 反光镜离投影物平面距离为 600mm, 求该反光镜的曲率半径等于多少?

解: $y = 10mm$, $y' = -40mm$, $l' = -600mm$, $n' = -n$;

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{n'l'}{nl}, \text{ 即 } -\frac{40}{10} = \frac{-600}{-l}, \quad l = -150mm;$$

$$\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r}, \quad \therefore \frac{1}{l'} + \frac{1}{l} = \frac{2}{r} \text{ 即 } -\frac{1}{600} + \frac{1}{-150} = \frac{2}{r}, \quad \therefore r = -240mm.$$

四、光学系统中成像光束的选择

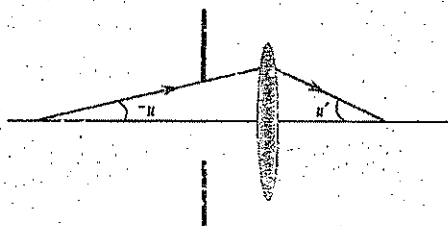
1. 孔径光阑 Aperture Stop: (a) 限制轴上物点成像光束孔径角的大小 (宽度);

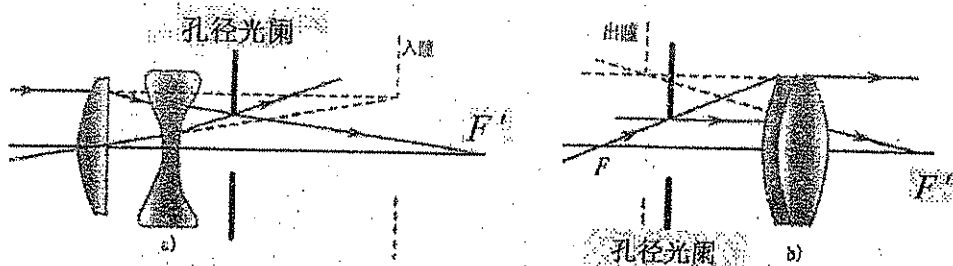
(b) 选择轴外物点成像光束的位置。

2. Pupils: The image of the Aperture Stop.

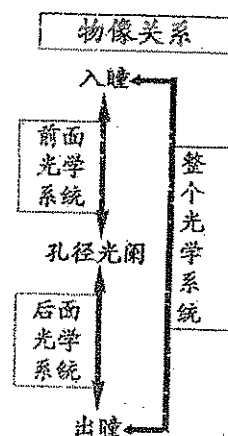
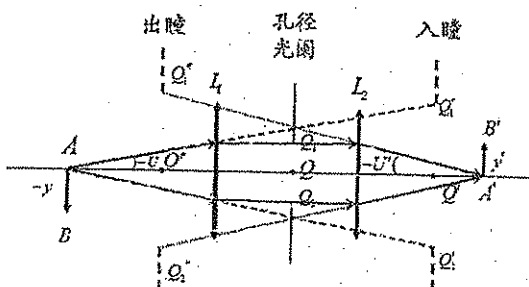
3. 入射光瞳 Entrance pupil: 孔径光阑经其前面光学系统所成的像 (物空间)。

4. 出射光瞳 Exit pupils: 孔径光阑经其后面光学系统所成的像 (像空间)。





5. 孔径光阑、入瞳与出瞳：入瞳决定光学系统的物方光束的孔径角，出瞳决定光学系统的像方光束的孔径角，孔径光阑：实际起对光束限制作用的元件，决定了入瞳、出瞳；三者互为物像关系。

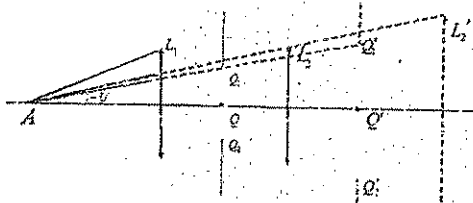


6. 关于孔径光阑需要注意的几个问题：1. 轴上物点的位置发生变化，孔径光阑也会变化。2. 几个口径一定的透镜组合，判断确定的轴上物点位置的孔径光阑：

(a) 追迹光线法：过轴上物点的任一条近轴光线，求其在每个折射面的投射高度与实际口径的比值，比值最大的折射面的边框为透镜组的孔径光阑。

(b) 成像张角比较法：

1. 将光学系统所有光阑（各个透镜和光圈等），对其前面的光学系统（物空间）成像，求像之大小和位置；



2. 由物位置（轴上点）向各像边缘、第一个透镜边缘分别作连线，求张角最小值即为入瞳，相应的共轭物为孔径光阑；

3. 孔径光阑对后面光学系统（像空间）所成像即是出瞳。

7. 相对孔径： $\frac{D}{f}$ （入瞳直径与焦距之比）。

例 1: 一圆形光阑直径为 10mm , 放在一透镜和光源的正中间作为孔径光阑, 透镜的焦距为 100mm , 在透镜后 140mm 的地方有一屏, 光源的像正好呈在屏上, 求出瞳直径。

解: $D=10\text{mm}$, $l=140\text{mm}$, $f=100\text{mm}$, 求 $D_{\text{出瞳}}$;

$$D = \beta D \Rightarrow D, \quad \beta = \frac{l_{\text{光阑}}}{l_{\text{光源}}} \Leftarrow l_{\text{光阑}} \Leftarrow l_{\text{光源}} \Leftarrow \frac{1}{l_{\text{光源}}} - \frac{1}{l_{\text{光源}}} = \frac{1}{f};$$

$$l_{\text{光源}} = -350\text{mm}, \quad l_{\text{光阑}} = -175\text{mm}, \quad \frac{1}{l_{\text{光源}}} - \frac{1}{l_{\text{光源}}} = \frac{1}{f}, \quad \therefore l_{\text{光阑}} = \frac{200}{3}\text{mm},$$

$$D = \left| \frac{l_{\text{光阑}}}{l_{\text{光源}}} \right| D = \frac{40}{3}\text{mm}.$$

例 2: 有一薄透镜焦距为 50mm , 通光口径为 40mm , 在透镜左侧 30mm 处放置一个直径为 20mm 的圆孔光阑, 轴上物点位于光阑左方 200mm 处, 求:

- (1) 限制光束口径的是圆孔光阑还是透镜框?
- (2) 此时透镜的相对孔径多大?
- (3) 出瞳离开透镜多远, 出瞳直径多大?

解: (1) 由相似三角形易得限制光束口径的是光阑。

$$(2) \text{ 由相似三角形得 } \frac{20}{D} = \frac{200}{200+30}, \quad D = 23\text{mm}, \quad \text{相对孔径 } \frac{D}{f} = \frac{23}{50}.$$

$$(3) \text{ 孔径光阑经过透镜成像——出瞳, } l_{\text{光阑}} = -30\text{mm}, \quad f = 50\text{mm},$$

$$\therefore l_{\text{光阑}} = -75\text{mm} \text{ (出瞳距 } l_e \text{)}. \text{ 由高斯公式 } \frac{1}{l} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f},$$

$$D = \beta D = \left| \frac{l}{l} \right| D = \left| \frac{-75}{-30} \right| \times 20 = 50\text{mm}.$$

例 3: 有正薄透镜 1 和 2, 焦距分别为 90mm 和 60mm , 孔径分别为 60mm 和 25mm , 二透镜的间隔为 50mm 。问当物体在无穷远处时, 孔径光阑是哪个?

入瞳和出瞳的位置在哪里？

解：设平行于光轴的光线经透镜1边缘折射后在透镜2处的高度为 h_1 ， $\frac{h_1}{30} = \frac{40}{90}$ ，

$\therefore h_1 = 13.33\text{mm} > \frac{D}{2}$ ，所以透镜框2为孔径光阑。

出瞳也是透镜框2。

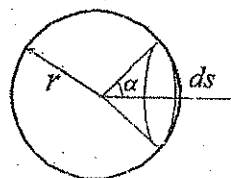
又 $l = 50\text{mm}$ ， $f' = 90\text{mm}$ ， $\frac{1}{50} - \frac{1}{l} = \frac{1}{90}$ ，得

$l = 112.5\text{mm}$ ，所以入瞳位于透镜1右边112.5mm处。

五、辐射度学和光度学基础

1. 辐射度学中的基本量

(1) 立体角：一个任意形状的封闭锥面所包含的空间；以锥顶为球心，以 r 为半径作一个球面，如果锥面在球面上截出的面积为 dS ，则锥面的立体角为： $\Omega = \frac{dS}{r^2}$ ，单位：球面度

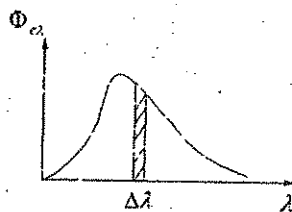


(sr)，整个空间等于 4π 球面度，半顶角为 α 圆锥立体角为 $\Omega = 4\pi \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ 。

(2) 辐射通量：单位时间内该辐射体所附设的总能量

$\Phi_{e\lambda} = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi_{e\lambda}}{\Delta\lambda} = \frac{d\Phi_{e\lambda}}{d\lambda}$ ，辐射体的总辐射通量（功率）

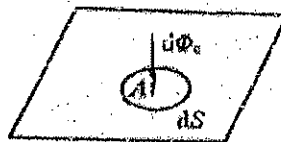
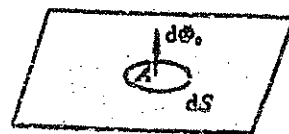
为 $\Phi_e = \int \Phi_{e\lambda} d\lambda$ ，单位：瓦特（W）。



(3) 辐射强度：给定方向取立体角 $d\Omega$ ，在 $d\Omega$ 范围内的辐射通量为 $d\Phi_e$ ，把 $d\Phi_e$ 与 $d\Omega$ 之比称为辐射体在该

方向上的“辐射强度”， $I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$ ，单位瓦特每球面度（

W/sr）。



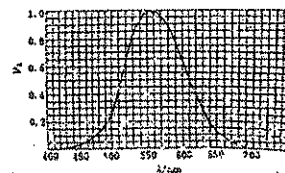
(4) 辐出度，辐照度：假定 dS 微面辐射出的辐射通量为

$d\Phi_e$ ，则 A 点的辐出度为 $M_e = \frac{d\Phi_e}{dS}$ ，单位瓦特每平方米（W/m²）；如果表面

被其他辐射体照射，

在 A 点 dS 微面接受的辐射通量为 $d\Phi_e$, A 点的辐照度为 $E_e = \frac{d\Phi_e}{dS}$, 单位瓦特每平方米 (W/m^2)。

(5) 人眼的视见函数 $V(\lambda)$: 表示了人眼对不同波长辐射的敏感度差别, 人眼对 $\lambda = 555nm$ 的黄光最敏感, 定义 $V(555) = 1$, $V(\lambda) \leq 1$ 。

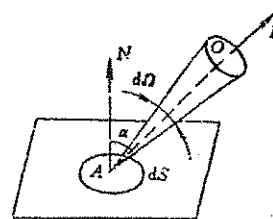


2. 光度学中的基本量

(1) 光通量: 按人眼视觉强度来度量的辐射通量,

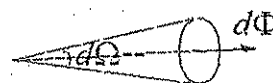
$d\Phi = C \cdot V(\lambda) \cdot d\Phi_e$, 单位: 流明 (lm), $C = 683 lm/W$;

$\lambda = 555nm$ 的单色光辐射, $1W$ 的辐射通量等于 $683lm$ 的光通量。



(2) 发光强度: $I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$, 单位: 坎 (cd), $1cd = 1lm/sr$

(球面度)。

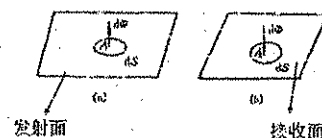


(3) 光出射度和光照度: $M = \frac{d\Phi}{dS}$, $E = \frac{d\Phi}{dS}$, 单位: 勒克斯 (lx)。

(4) 光亮度: $L = \frac{I}{dS_n} = \frac{I}{dS \cos \alpha}$, 光亮度与光通

量之间关系: $L = \frac{I}{dS_n} = \frac{d\Phi}{dS \cos \alpha \cdot d\Omega}$, 单位: 坎/

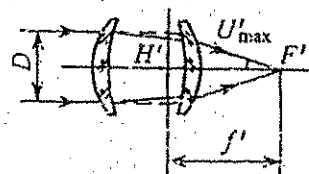
米² (cd/m^2)。



3. 照相物镜像平面的光照度和光圈数:

(1) 相对孔径: $\frac{D}{f}$, 光圈数 $\frac{f}{D}$ 。

(2) 光照度: $E_0 = \frac{1}{4} \pi L \left(\frac{D}{f} \right)^2$ 。



例: 用于跟踪天空飞行目标的电视摄像机, 摄像管要求最低的像面照度为 20lx , 假定天空的光亮度为 2500cd/m^2 , 光学透过率为 0.7, 问要求使用多大相对孔径的摄影物镜?

解: $E_0 = 20\text{lx}$, $L = 2500\text{cd/m}^2$, $\tau = 0.7$, $E_0 = \frac{1}{4}\tau\pi L\left(\frac{D}{f}\right)^2$

$$\therefore \frac{D}{f} = \sqrt{\frac{4E_0}{\tau\pi L}} = \sqrt{\frac{4 \times 20}{0.7 \times \pi \times 2500}} = 0.0146.$$

六、光学系统成像质量评价

1. 几何像差主要有七种: (1) 单色光像差有五种: 球差、彗差、像散、场曲、畸变; (2) 轴向色差、垂轴色差。

2. 单色光像差:

(1) 球差: $\delta L' = L' - l'$, 是轴上点唯一的单色像差

(2) 彗差:

(a) 由轴外物点和光轴所确定的平面称为子午平面, 子午平面内的光束称子午光束; 过主光线且与子午平面垂直的平面称为弧矢平面, 弧矢平面内的光束称弧矢光束。

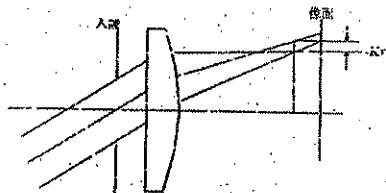
(b) 彗差是轴外物点发出宽光束通过光学系统后, 并不会聚一点, 相对于主光线而是呈彗星状图形的一种失对称的像差。

(c) 彗差通常用子午面上和弧矢面上对称于主光线的各对光线, 经系统后的交点相对于主光线的偏离来度, 分别称为子午彗差和弧矢彗差。

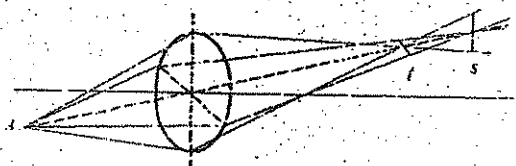
(d) 子午彗差指对子午光线度量的彗差, 子午光线对交点离开主光线的垂直距离 K'_T 用来表示此

光线对交点偏离主光线的程度; 弧矢彗差指对弧矢光线度量的彗差, 弧矢光线对交点离开主光线的

垂直距离 K'_S 用来表示此光线对交点偏离主光线的程度。



(3) 像散: 轴外物点用光束成像时形成两条相互垂直且相隔一定距离的短线像的一种非对称性像差被称为像散; 由于

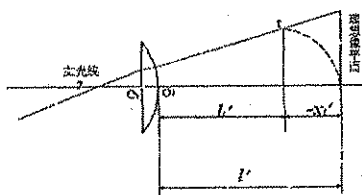


午光束所形成的像是一条垂直子午面的短线 l 称为子午焦线；由弧矢光束所形成的像是一条垂直弧矢面的短线 s 称为弧矢焦线；这两条短线不相交但相互垂直且隔一定距离，两条短线间沿光轴方向的距离即表示像散的大小，用符号 x'_L

表示， $x'_L = x'_l - x'_s$ ；像散是物点远离光轴时的像差，且随视场的增大而迅速增大。

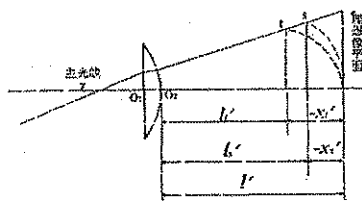
(4) 场曲：

(a) 场曲是物平面形成曲面像的一种像差，若光学系统存在像散，则实际像面还受像散的影响而形成子午像面和弧矢像面，场曲需要以子午场曲和弧矢场曲来表征。



(b) 子午场曲：子午细光束焦点相对于理想像面的偏离称为细光束子午场曲，用符号 x'_l 表示，

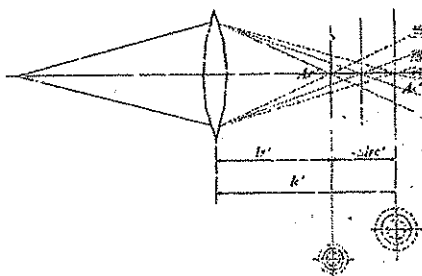
$$x'_l = l'_l - l'.$$



(c) 弧矢场曲：弧矢细光束焦点相对于理想像面的偏离称为细光束弧矢场曲，用符号 x'_s 表示，

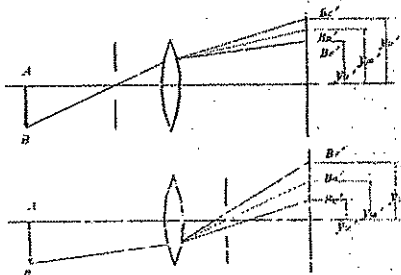
$$x'_s = l'_s - l'.$$

(d) 有像散必然存在场曲，但场曲存在是不一定有像散



(5) 畸变：畸变是垂轴（横向）放大率随视场的增大而变化，所引起一种失去物像相似的像差： $\delta y'_z = y'_z - y'$ ；畸变与其它像差不同，它仅由主光线的光路决定；畸变的存在仅引起像的变形，但不影响成像的清晰度。

3. 色差：复色光成像时，由于不同色光而引起的像差称为色差；色差分为：位置色差和倍率色差。



(a) 位置色差： $\Delta l'_{FC} = l'_F - l'_C$

(b) 倍率色差（垂轴色差）：光学系统的倍率色差是以两种色光的主光线在高斯像面上

的交点高度之差来度量的： $\Delta y'_{FC} = y'_{ZF} - y'_{ZC}$ ，影响成像清晰度。

七、典型光学系统

1. 目视光学系统

(1) 放大镜： $\Gamma = \frac{\tan \omega'_{\text{仪}}}{\tan \omega_{\text{眼}}} = \frac{250}{f}$ 。

(2) 显微镜 (Microscope):

(a) 结构：物镜 (objective) + 目镜 (eyepiece)。

(b) 共轭距离：物镜的物平面到像平面之间的距离。

(c) $\Gamma = \beta_{\text{物}} \cdot \Gamma_{\text{目}}$ ， $\Gamma_{\text{目}} = \frac{250}{f}$

(3) 望远镜 (telescope)

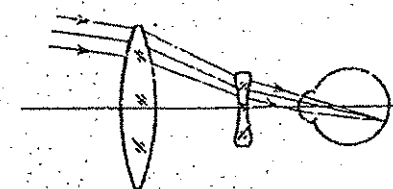
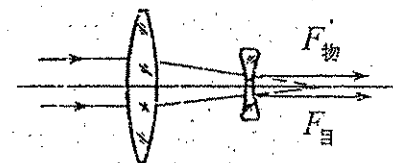
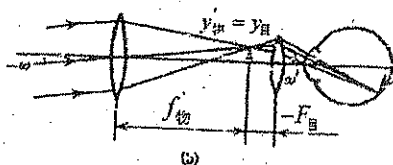
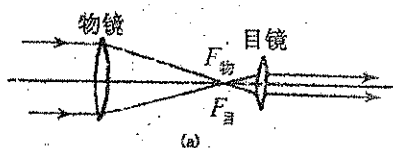
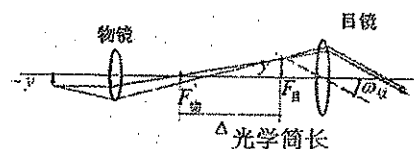
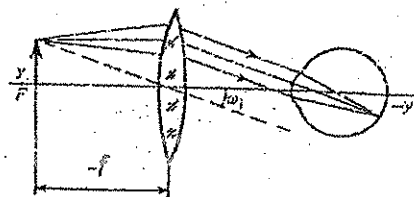
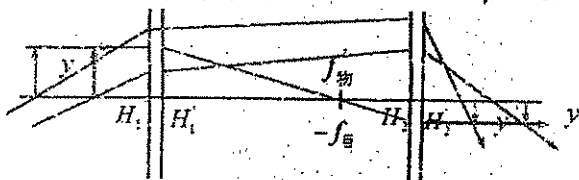
(a) 类型：开普勒望远镜，伽利略望远镜。

(b) 开普勒望远镜：物镜和目镜都是正透镜。

倒像， $\Gamma = \frac{\tan \omega'}{\tan \omega} = -\frac{f_{\text{物}}}{f_{\text{目}}}$ 。

(c) 伽利略望远镜：目镜为负透镜， $\Gamma > 0$ ，正像。

(d) 望远系统的角放大率等于视放大率，与共轭面位置无关；望远系统的垂轴放大率、轴向放大率都与共轭面位置无关； $\Gamma = \gamma = \frac{1}{\beta} = \frac{D}{D'}$ 。



例 1：一天文望远镜物镜物距焦距为 400mm ，相对孔径 $1:5$ (即 $f/5$)，测得
出瞳直径 2mm ，求望远镜的视放大率和目镜焦距。

解: $f_{\text{物}} = 400\text{mm}$, $D/f' = 1:5$, $\therefore D = 80\text{mm}$, $\Gamma = \frac{D}{f'} = \frac{80}{2} = 40$, 所以视放

大率为 $-40\times$, $\Gamma = -\frac{f_{\text{物}}}{f_{\text{目}}} \Rightarrow f_{\text{目}} = -\frac{f_{\text{物}}}{\Gamma} = -\frac{400}{-40} = 10\text{mm}$.

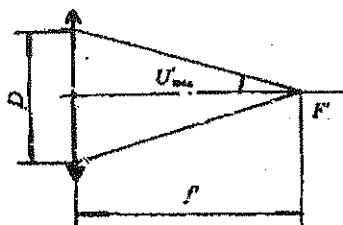
例2: 要求设计一个专用显微镜, 视放大率 $=100\times$, 如果采用一个焦距为 25mm 的目镜, 物镜的工作距离为 15mm , 求物镜的焦距和共轭距离。

解: $\Gamma_{\text{目}} = \frac{250}{f_{\text{目}}} = \frac{250}{25} = 10$, $\therefore \beta_{\text{物}} = -\frac{\Gamma}{\Gamma_{\text{目}}} = -\frac{100}{10} = -10$, 又 $l = -15\text{mm}$,

$\beta_{\text{物}} = \frac{l'}{l} \Rightarrow l' = 150\text{mm}$, 所以共轭距离 $|l| + l' = 165\text{mm}$, 由 $\frac{1}{l} - \frac{1}{l'} = \frac{1}{f}$ 得

$f = \frac{150}{11}\text{mm} \approx 13.6364\text{mm}$.

例3: 有一个7倍的望远镜, 长度为 160mm , 求(1)开普勒型望远镜; (2)伽利略型望远镜时的物镜和目镜的焦距, 并画图示意。



解: (1) 开普勒型: $\begin{cases} \Gamma = -\frac{f_1'}{f_2'} = -7 \\ f_1' + f_2' = 160 \end{cases}$, 解得

$f_1' = 140\text{mm}$, $f_2' = 20\text{mm}$.

(2) 伽利略型: $\begin{cases} \Gamma = -\frac{f_1'}{f_2'} = 7 \\ f_1' + f_2' = 160 \end{cases}$, 解得 $f_1' = 186.7\text{mm}$,

$f_2' = -26.7\text{mm}$.

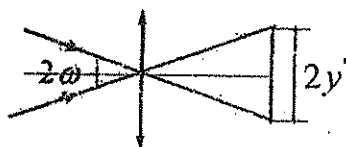
七、照相机和投影仪

1. 照相机: 照相物镜+取景器+调焦系统。

2. 照相物镜的光学特性: 焦距 f' , 相对孔径 D/f' , 视场角 2ω 。

(1) 焦距: 若 $|l| \gg f'$, 则 $l \approx f'$, $\beta = \frac{f'}{l}$ 。

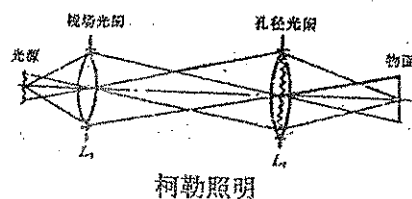
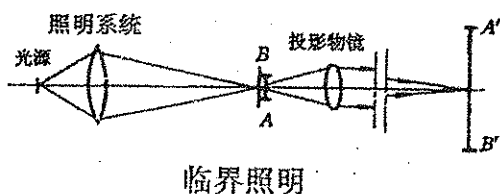
(2) 相对孔径 D/f' 。



(3) 视场角 2ω : $y' = -f' \tan \omega$, 短焦距镜头=大视场镜头。

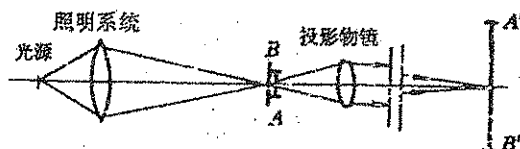
3. 投影系统结构: 照明系统+投影物镜, 对物面照明的两个基本要求: 物面照明尽可能均匀、照明面上有足够的光能量; 对投影物镜的要求: 成像清晰, 物像相似。

4. 照明方式: 临界照明, 科勒照明; 光源经 L_1 成像在 L_2 , L_1 经 L_2 成像在物面。



5. 投影物镜:

(1) 视场: $y' = \frac{y}{\beta}$ 。



(2) 相对孔径: $E_0 = \frac{1}{4} \pi L \left(\frac{D}{f'} \right)^2 \cdot \frac{1}{\beta^2}$

(3) 放大率: $l \approx -\beta f'$

例 1: 假定照相机镜头是薄透镜组, 焦距为 100mm , 通光口径为 8mm , 在镜头前 5mm 处装有一个直径为 7mm 的光阑, 求照相镜头的 F 数; 如果将光阑装在镜头后 5mm 处, 镜头的 F 数多大?

解: (1) 在镜头前 5mm 处装有一个直径为 7mm 的光阑, 此时 $D = 7\text{mm}$,

$$F = \frac{f'}{D} = \frac{100}{7};$$

(2) 将光阑装在镜头后 5mm 处, 光线从右至左时, 可由像求物,

$$D_{\text{光阑}} = D = 7 \text{ mm}, \quad \frac{1}{f'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f}, \quad l = 5 \text{ mm}, \quad \therefore l = -\frac{500}{95} \text{ mm}, \quad \beta = \frac{l}{l'} = \frac{D'}{D},$$

$$D = \frac{700}{95} < 8, \text{ 入瞳即为光阑经前面系统所成的像。}$$

例 2: 用一个 250W 的溴钨灯作为 16mm 电影放映机的光源, 光源的发光效率为 30 lm/W, 灯丝外形面积为 $5 \times 7 \text{ mm}^2$, 可近似看作一个二面发光的余弦体,

灯丝成像在片窗处, 且充满片窗 ($7 \times 10 \text{ mm}^2$), 灯丝后面加有球面反射镜, 使灯丝的平均亮度提高 50%。银幕宽为 4m, 放映物镜的相对孔径为 1:1.8, 系统透过率 $\tau = 0.6$, 求银幕上光照度。

$$\text{解: } \Phi = k\Phi_e = 30 \times 250 (\text{lm}), \text{ 由朗伯定律 } \Phi = 2\pi L \cdot dS, \quad \therefore L = \frac{\Phi}{2\pi dS},$$

$$L' = L \times 150\% = \frac{\Phi}{2\pi dS} \times 150\%, \quad E_0 = \frac{1}{4} \tau \pi L' \left(\frac{D}{f} \right)^2 \cdot \frac{1}{\beta^2}, \quad \beta = \frac{4000}{10} = 400,$$

$$\therefore E_0 = 46.5 \text{ lx}.$$

八、光学设计 Zemax 软件

1. 光学设计软件概述:

(1) 国外著名的光学 CAD 设计软件有 Zemax、CODE-V、OSLO、LightTools、ASAP 等。

(2) Zemax-EE 软件: 采用序列 (Sequential) 【面 (Surface)】和非序列 (Non-sequential) 【物体 (Object)】两种模式模拟折射、反射和衍射的光线追迹。

2. 光学系统的基本参数建立: 光学结构参数和光学特性参数

(1) 结构参数: 光学面面型参数, 如曲率半径 r 或其高次曲面系数; 光学面之间间隔 d ; 光学面之间的材料折射率 n 。

(2) 光学特性参数共有 5 个: 即物距 L 、视场、光束孔径高 H (或 $\sin U$)、入瞳距或孔径光阑位置、渐晕系数;

(a) 物距 L : 物在无穷远, $L = \infty$; 光束孔径高 H (或 $\sin U$)

(b) 光束孔径高 H (或 $\sin U$): 物在无限远时, 用光束孔径高 H 表示; 物在有限远时, 用物方光束孔径角正弦 $\sin L$ 表示;

(c) 视场：物在无限远时，用角场角 ω ；物在有限远，用物高 h 表示；

(d) 入瞳距或孔径光阑位置；

(e) 渐晕系数；

(3) 曲面面型：Zemax 中采用右手坐标系，光轴为 Z 轴，从左至右为正方向；X 轴正方向指向显示器以里；Y 轴垂直向上。

(4) $z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}}$ ，其中， z 表示曲面的矢高； c 为曲面顶点的曲率，

$c = 1/R$ ，曲率半径 (Radius) 的倒数； r 为径向坐标； $r^2 = x^2 + y^2$ ， k 称为二次曲面系数或圆锥常数。

3. 光学系统的像质评价与优化

(1) Zemax 的 Analysis 菜单中提供了像质评价指标：Analysis→Miscellaneous→Longitudinal Aberration 光学系统在所有工作波长下的轴向球差曲线图。

(2) Zemax 中默认评价函数 (Default Merit Function)：Merit Function→Tools。

(3) 操作符：MNCG、MXCG；MNET、MXET；CVGT、CVLT……，其中 MX——最大，MN——最小；CG——中心，EG——边缘；GT——大于，LT——小于；

(4) Zemax 中的优化算法：阻尼最小二乘法。

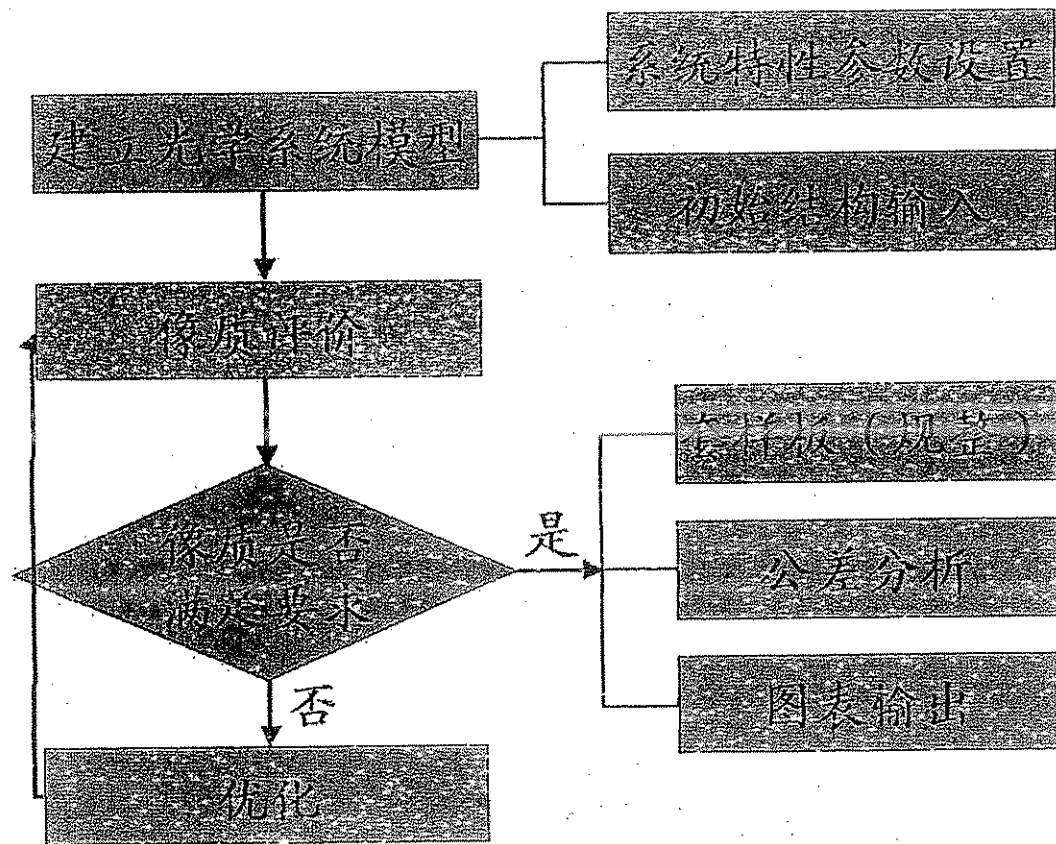
(5) 评价函数定义：一般，评价函数可定义为设计目标像差值与当前系统像差值之差的平方和，结合权因子构成，定义式可写为：

$$MF^2 = \frac{\sum W_i (V_i - T_i)^2}{\sum W_i}, \quad V_i \text{ 为第 } i \text{ 种操作符的实际值, } T_i \text{ 为第 } i \text{ 种}$$

操作符的目标值， W_i 为第 i 种操作符的权因子。

(6) 评价函数值为 0，表示当前光学系统完全满足设计目标要求，评价函数值愈小，表示愈接近。

(7) Zemax 设计的基本流程：



本资料未经授权，不得复制、发表

南京邮电大学 2011 /2012 学年第 一 学期

《应用光学》期末复习提纲 (B)

本试卷共 4 页; 考试时间 110 分钟;

专业光电信息工程 班级 090060 学号 姓名

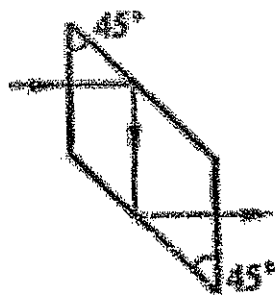
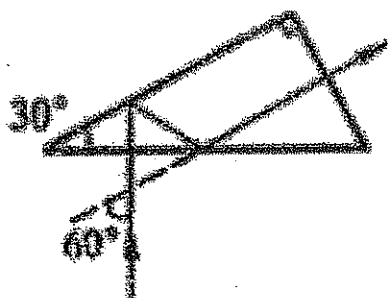
题型: 填空题: 20 空, 共 40 分。画图题 2 题, 共 10 分; 简答题 2 题, 共 10 分。计算题, 4 题共 40 分。

一、填空题 (共 20 空, 每空 2 分, 共 40 分)

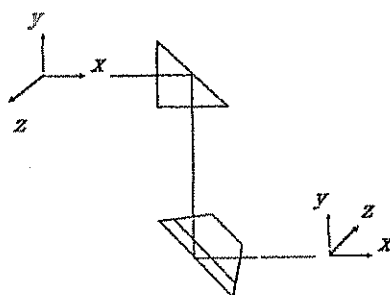
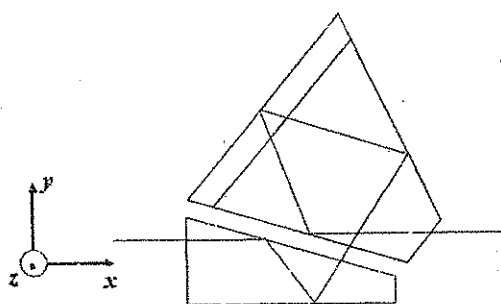
1. 光线与波面的关系。
2. 共轴光学系统:
3. 共轭:
4. 平面镜成像特点:
5. 光学系统成像质量评价:
6. 几何像差主要有七种:
7. 照相机构成:
8. 照相物镜的光学特性:
9. 投影仪构成:
10. 投影仪照明方式:
11. 理想光学系统的基点、基面

二、画图题 (共 2 题, 每题 5 分, 共 10 分)

1. 试画出 30° 直角棱镜和斜方棱镜的展开图。设 30° 直角棱镜的口径等于斜边的一半, 斜方棱镜的口径等于直角边, 分别求出这两种棱镜的结构参数。

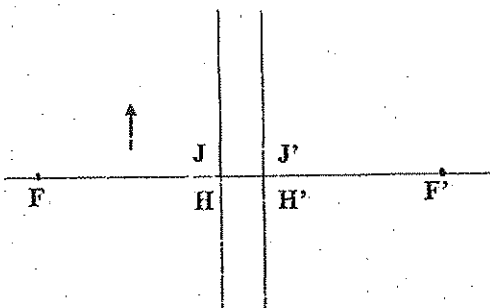
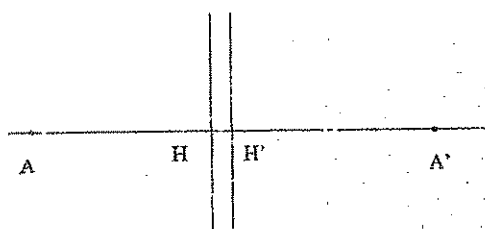


2.判断棱镜的成像方向。



3.已知共轭点 A 与 A' ，求焦点位置。

4.用作图法求物经光学系统后所成的像。



三、简答（共 2 题，每题 5 分，共 10 分）

1. Zemax 采用哪两种模式模拟折射、反射和衍射的光线追迹？
2. Zemax 光学系统的基本参数建立包括哪两种？各特性参数有包含哪些内容？
3. 简述 Zemax 的 Analysis 菜单中提供了像质评价指标的方法，以及评价函数值与设计目标要求的关系。

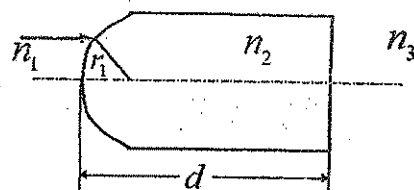
四、计算题（共 4 题，每题 10 分，共 40 分）

*1. 有一个光学零件，结构参数如下： $r_1 = 10\text{mm}$ ， $n_1 = 1$ ； $d = 30\text{mm}$ ， $n_2 = 1.5$ ；

$$r_2 = \infty, \quad n_3 = 1.$$

(1) 当 $l_1 = \infty$, 求 l' 。

(2) 在第二面上刻上十字线, 其共轭像在何处?



* (3) 当入射高度 $h = 1\text{mm}$ 时, 实际光线和光轴交点在何处?

2. 一水杯内水深 40mm , 杯底有一硬币, 在水面上方放置一焦距为 300mm 的薄透镜, 硬币中心位于透镜光轴上。若透镜上方的观察者通过透镜观察到硬币的像就在原处, 求透镜应置于距水面多高的位置? 水的折射率为 1.33 。

3. 有一正薄透镜对某一物体成倒立的实像, 像高为物高的一半, 今将物面向透镜移近 100mm , 则所得像与物同大小, 求该正透镜的焦距。

答: 该正透镜的焦距为 100mm 。

*4. 有一放映机, 使用一个凹面反光镜进行聚光照明, 光源经过反光镜反射以后成像在投影物平面上。光源长为 10mm , 投影物高为 40mm , 要求光源等于投影物高; 反光镜离投影物平面距离为 600mm , 求该反光镜的曲率半径等于多少?

5. 一圆形光阑直径为 10mm , 放在一透镜和光源的正中间作为孔径光阑, 透镜的焦距为 100mm , 在透镜后 140mm 的地方有一屏, 光源的像正好呈在屏上, 求出瞳直径。

6. 有一薄透镜焦距为 50mm , 通光口径为 40mm , 在透镜左侧 30mm 处放置一个直径为 20mm 的圆孔光阑, 轴上物点位于光阑左方 200mm 处, 求:

(1) 限制光束口径的是圆孔光阑还是透镜框?

(2) 此时透镜的相对孔径多大?

(3) 出瞳离开透镜多远, 出瞳直径多大?

7. 有正薄透镜 1 和 2, 焦距分别为 90mm 和 60mm , 口径分别为 60mm 和 25mm , 二透镜的间隔为 50mm 。问当物体在无穷远处时, 孔径光阑是哪个? 入瞳和出

瞳的位置在哪里？

8.用于跟踪天空飞行目标的电视摄像机，摄像管要求最低的像面照度为 $20lx$ ，假定天空的光亮度为 $2500 cd/m^2$ ，光学透过率为 0.7，问要求使用多大相对孔径的摄影物镜？

9.一天文望远镜物镜物距焦距为 $400mm$ ，相对孔径 1:5 (即 $f/5$)，测得出瞳直径 $2mm$ ，求望远镜的视放大率和目镜焦距。

10.要求设计一个专用显微镜，视放大率 $=100\times$ ，如果采用一个焦距为 $25mm$ 的目镜，物镜的工作距离为 $15mm$ ，求物镜的焦距和共轭距离。

11.有一个 7 倍的望远镜，长度为 $160mm$ ，求 (1) 开普勒型望远镜；(2) 伽利略型望远镜时的物镜和目镜的焦距，并画图示意。

*12.假定照相机镜头是薄透镜组，焦距为 $100mm$ ，通光口径为 $8mm$ ，在镜头前 $5mm$ 处装有一个直径为 $7mm$ 的光阑，求照相镜头的 F 数；如果将光阑装在镜头后 $5mm$ 处，镜头的 F 数多大？

*13.用一个 $250W$ 的溴钨灯作为 $16mm$ 电影放映机的光源，光源的发光效率为 $30 lm/W$ ，灯丝外形面积为 $5\times 7mm^2$ ，可近似看作一个二面发光的余弦体，灯丝成像在片窗处，且充满片窗 ($7\times 10mm^2$)，灯丝后面加有球面反射镜，使灯丝的平均亮度提高 50%。银幕宽为 $4m$ ，放映物镜的相对孔径为 1:1.8，系统透过率 $\tau = 0.6$ ，求银幕上光照度。

一、填空题

- 1、光学系统中物和像具有共轭关系的原因是光路可逆。
- 2、发生全反射的条件是光从光密媒质射向光疏媒质，且入射角大于临界角 I_0 ，其中， $\sin I_0 = n_2/n_1$ 。
- 3、光学系统的三种放大率是垂轴放大率、角放大率、轴向放大率，当物像空间的介质的折射率给定后，对于一对给定的共轭面，可提出一种放大率的要求。
- 4、理想光学系统中，与像方焦点共轭的物点是轴上无穷远的物点。
- 5、物镜和目镜焦距分别为 $f_{物}' = 2mm$ 和 $f_{目}' = 25mm$ 的显微镜，光学筒长 $\Delta = 4mm$ ，则该显微镜的视放大率为-20，物镜的垂轴放大率为-2，目镜的视放大率为10。
- 6、某物点发出的光经理想光学系统后对应的最后出射光束是会聚同心光束，则该物点所成的是实（填“实”或“虚”）像。
- 7、人眼的调节包含视度调节和瞳孔调节。
- 8、复杂光学系统中设置场镜的目的是在不影响系统光学特性的情况下改变成像光束的位置，使后面系统的通光口径不致过大。
- 9、要使公共垂面内的光线方向改变 60 度，则双平面镜夹角应为30度。
- 10、近轴条件下，折射率为 1.4 的厚为 14mm 的平行玻璃板，其等效空气层厚度为10 mm。
- 11、设计反射棱镜时，应使其展开后玻璃板的两个表面平行，目的是保持系统的共轴性。
- 12、有效地提高显微镜分辨率的途径是提高数值孔径和减小波长。
- 13、近轴情况下，在空气中看到水中鱼的表现深度要比实际深度小。
- 14、用垂轴放大率判断物、像虚实关系方法：当 $\beta > 0$ 时物像虚实相反 $\beta < 0$ 时物像虚实相同。
- 15、平面反射镜成像的垂轴放大率为1，物像位置关系为镜像，如果反射镜转过 α 角，则反射光线方向改变 2α 。

二、简答题

- 1、几何光学的基本定律及其内容是什么？

答：几何光学的基本定律是直线传播定律、独立传播定律、反射定律和折射定律。

2

直线传播定律：光线在均匀透明介质中按直线传播。

独立传播定律：不同光源的光在通过介质某点时互不影响。

反射定律：反射光线位于入射面内；反射角等于入射角；

折射定律：折射光线位于入射面内；入射角和折射角正弦之比，对两种一定的介质来说，是一个和入射角无关的常数 $n_1 \sin I_1 = n_2 \sin I_2$ 。

2、如何区分实物空间、虚物空间以及实像空间和虚像空间？是否可按照空间位置来划分物空间和像空间？

答：实物空间：光学系统第一个曲面前的空间。虚物空间：光学系统第一个曲面后的空间。实像空间：光学系统最后一个曲面后的空间。虚像空间：光学系统最后一个曲面前的空间。物空间和像空间在空间都是可以无限扩展的，不能按照空间进行划分。

3、什么是共轴光学系统、光学系统物空间、像空间？

答：光学系统以一条公共轴线通过系统各表面的曲率中心，该轴线称为光轴，这样的系统称为共轴光学系统。物体所在的空间称为物空间，像所在的空间称为像空间。

4、什么叫理想光学系统？

答：在物像空间均为均匀透明介质的条件下，物像空间符合“点对应点、直线对应直线、平面对应平面”的光学系统称为理想光学系统。

5、理想光学系统的基点和基面有哪些？其特性如何？

答：理想光学系统的基点包括物方焦点、像方焦点；物方主点、像方主点；物方节点、像方节点。基面包括：物方焦平面、像方焦平面；物方主平面、像方主平面；物方节平面、像方节平面。入射光线（或其延长线）过焦点时，其共轭光线平行与光轴；入射光线过节点时，其共轭光线与之平行；焦平面上任一点发出的同心光束的共轭光束为平行光束；物方主平面与像方主平面共轭，且垂轴放大率为 1。

6、用近轴光学公式计算的像具有什么实际意义？

答：作为衡量实际光学系统成像质量的标准；用它近似表示实际光学系统所成像的位置和大小。

7、对目视光学仪器的共同要求是什么？

2

答：视放大率 $|\Gamma|$ 应大于1。

8、什么是理想光学系统的分辨率？写出望远镜的分辨率表达式。

答：假定光学系统成像完全符合理想，没有像差时，光学系统能分辨的最小间隔。

望远镜的分辨率表达式： $\alpha = 1.22\lambda/D$ 。

9、什么是光学系统的孔径光阑和视场光阑？

答：孔径光阑是限制轴上物点成像光束立体角的光阑。

视场光阑是限制物平面上或物空间中成像范围的光阑。

10、光学系统中可能有哪些光阑？

答：限制轴上物点成像光束的口径或立体角大小的孔径光阑；限制物平面上或物空间中成像的范围即限制视场大小的视场光阑；用于产生渐晕的渐晕光阑；用于限制杂散光的消杂光阑。

11、如何确定光学系统的视场光阑？

答：将系统中除孔径光阑以外的所有光阑对其前面所有的光学零件成像到物空间。这些像中，孔径对入瞳中心张角最小的一个像所对应的光阑即为光学系统的视场光阑。

12、如何计算眼睛的视度调节范围？如何校正常见非正常眼？

答：眼睛的视度调节范围为： $\bar{A} = R - P = \frac{1}{r} - \frac{1}{p}$ 。常见非正常眼包括近视眼

和远视眼。近视眼是将其近点校正到明视距离，可以用负透镜进行校正；远视眼是将其远点校正到无限远，可以用正透镜进行校正。

13、显微镜的分辨率跟哪些参数有关？采取什么途径可以提高显微镜的分辨率？

答：显微镜的分辨率为 $\sigma = \frac{0.61\lambda}{NA}$ 。可见其分辨率与波长和物镜数值孔径有关。

减小波长和提高数值孔径可以提高显微镜的分辨率。由 $NA = n\sin u$ 可知，在物和物镜之间浸以液体可增大物方折射率 n ，即可提高显微镜的分辨率。

14、光学系统有哪些单色几何像差和色像差？

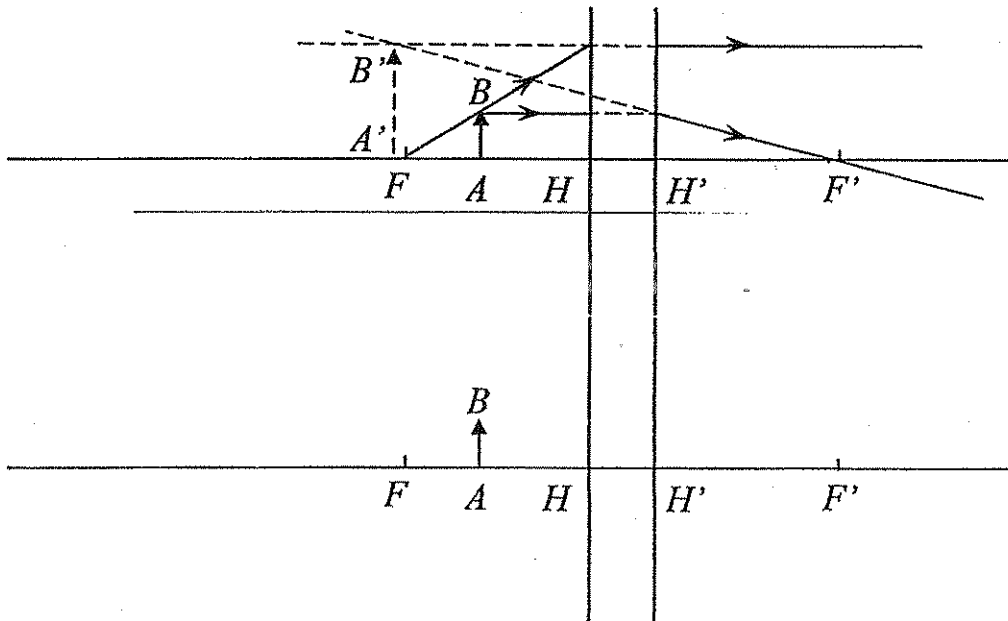
答：五种单色几何像差是：球差、彗差、像散、场曲、畸变。两种色像差是：位置色差(或轴向色差)、放大率色差(或垂轴色差)。

3、共轴光学系统的像差和色差主要有哪些？

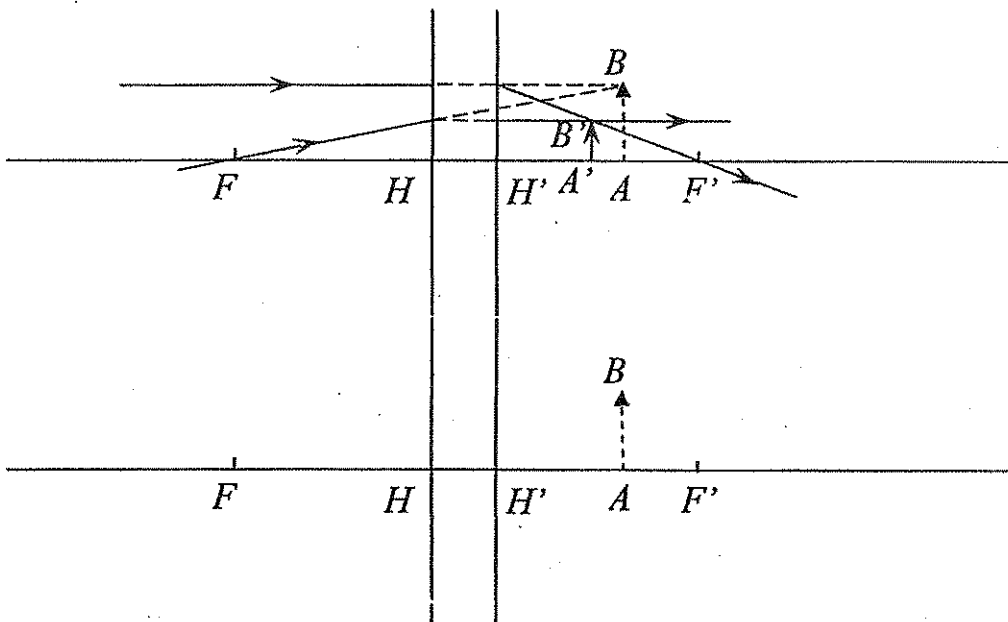
答：像差主要有：球差、慧差（子午慧差、弧矢慧差）、像散、场曲、畸变；
色差主要有：轴向色差（位置色差）、倍率色差。

二、作图题

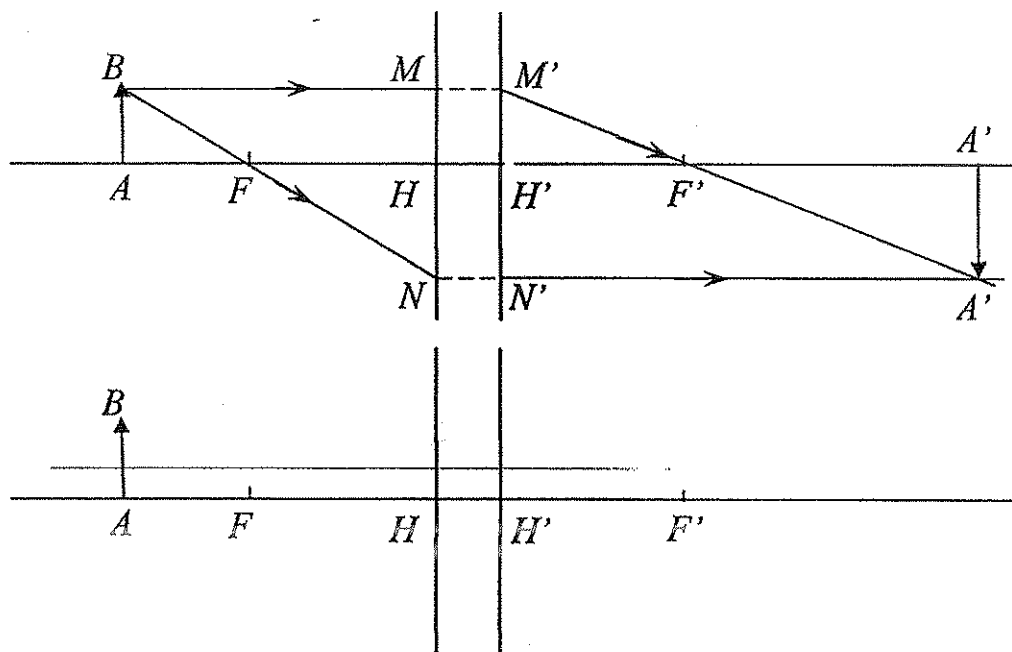
1、求实物 AB 的像



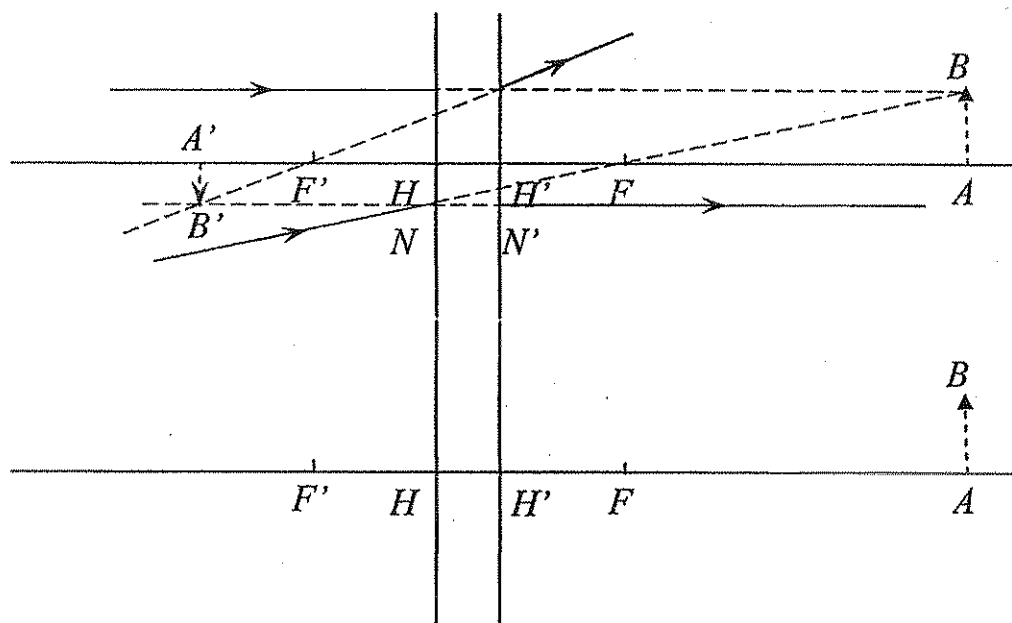
2、求虚物 AB 的像



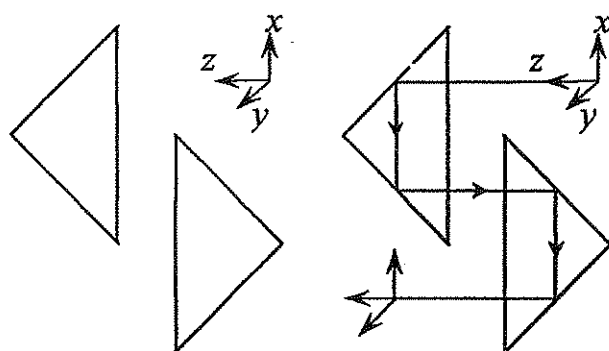
3、求实物 AB 的像



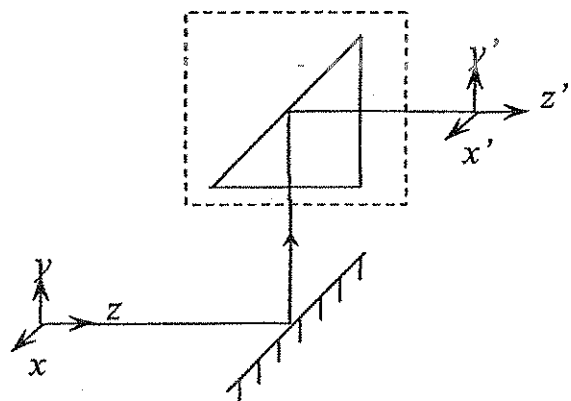
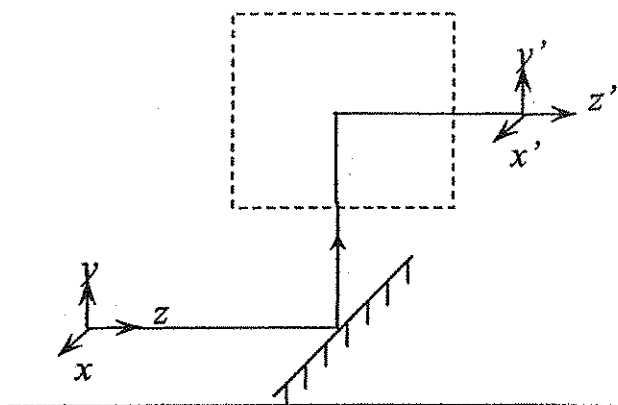
4、求虚物 AB 的像



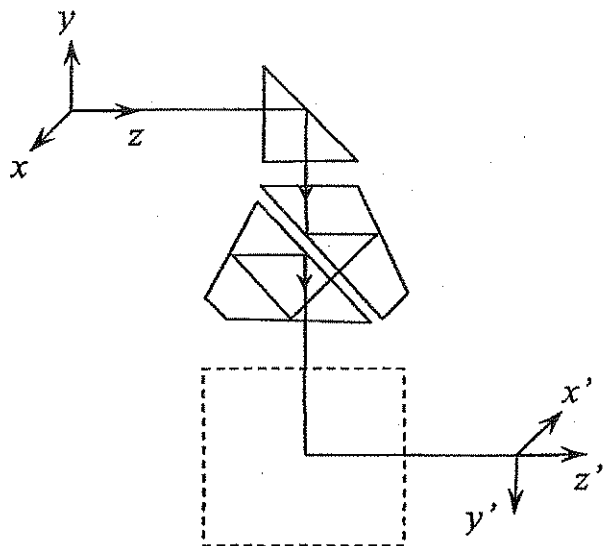
5、求棱镜反射后像的坐标系方向

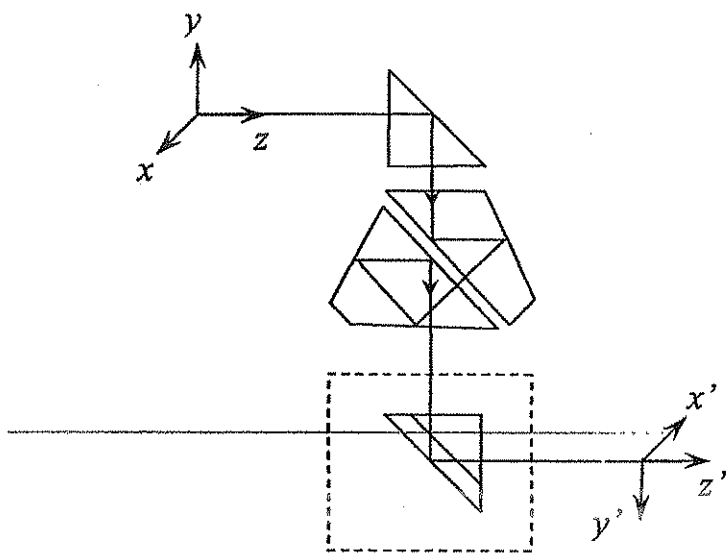


6、画出虚线框内应放置何种棱镜

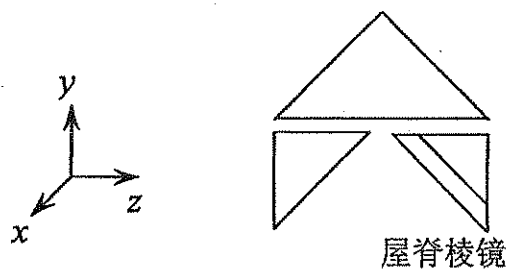
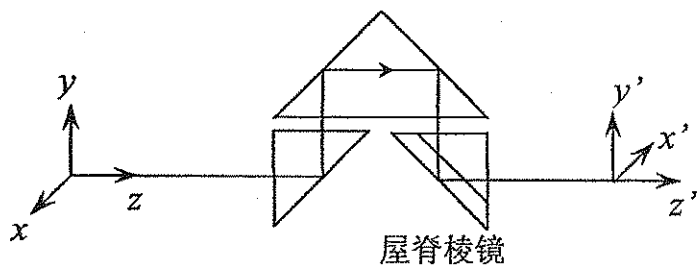


7、画出虚线框内应放置何种棱镜

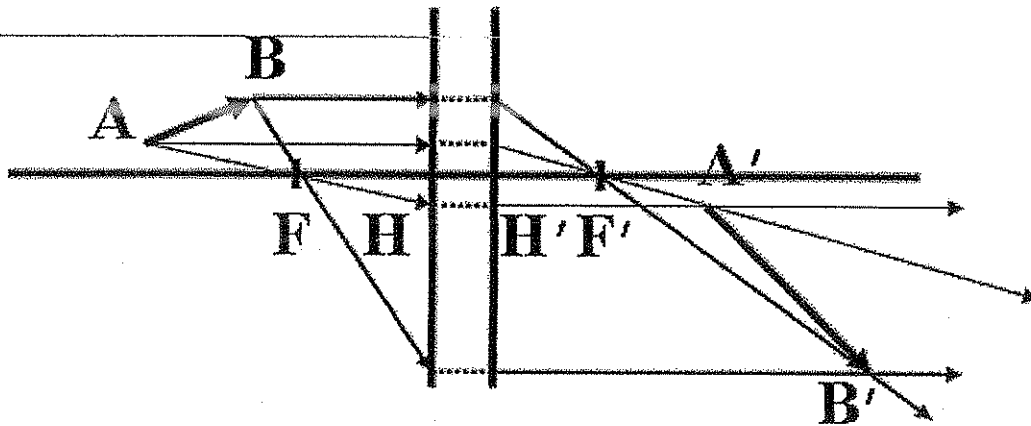
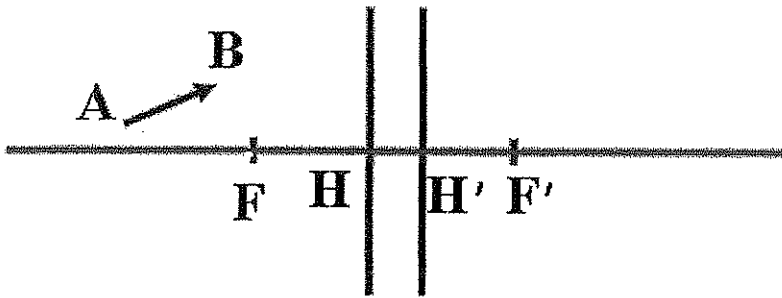




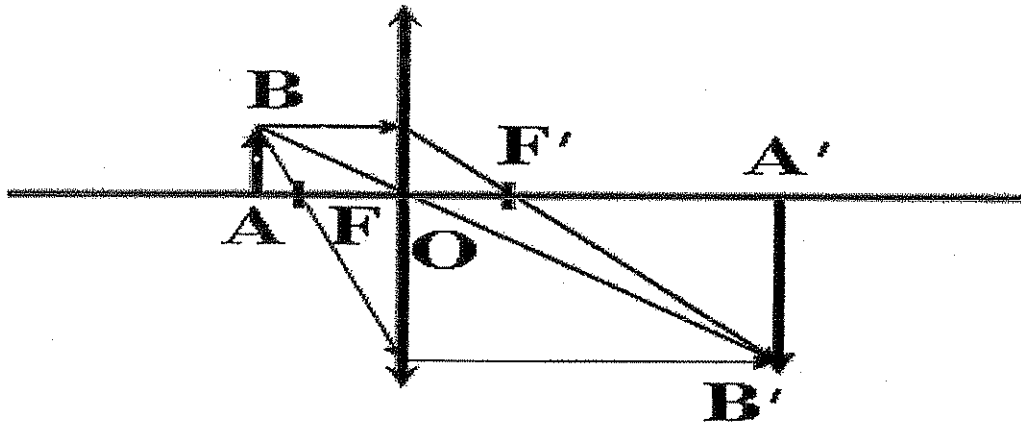
8、求棱镜反射后像的坐标系方向



9、假设光线方向从左至右，画出物体 AB 经光组后的像。



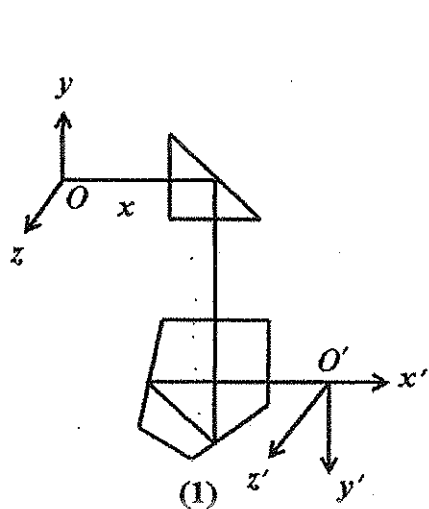
10、如图，已知垂直于光轴的物 AB 经过一薄透镜后成的像为 $A'B'$ ，试作图确定透镜及其物方和像方焦点



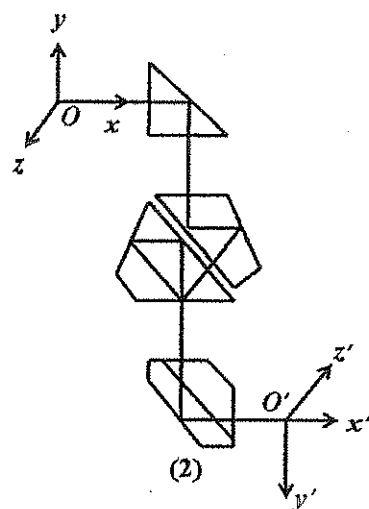
的位置，并说明该薄透镜是正还是负透镜。

由图可见，透镜像方焦距 $f' > 0$ ，故应为正透镜。

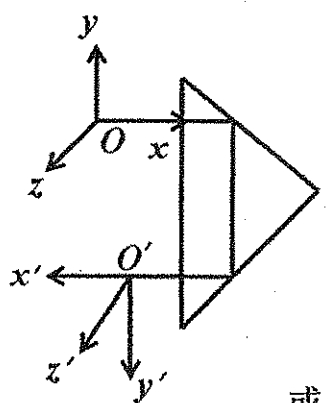
11、根据下列平面镜棱镜系统中的成像方向要求，画出虚线框内所需的反射棱镜类型。



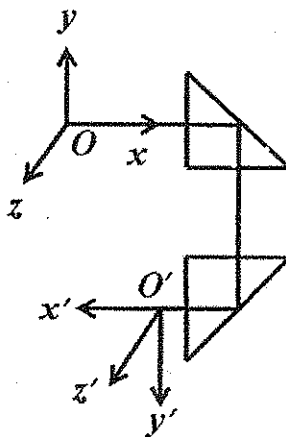
(3分)



(3分)



或
(3)



等等。

此题答案不唯一

(3分)

四、计算题

1、光束投射到一水槽中，光束的一部分在顶面反射而另一部分在底面反射，如图所示。试证明两束 (P_1 、 P_2) 返回到入射介质的光线是平行的。

证明：由图可知 $r_3 = i_2' = i_2 = r_1$ (2分)

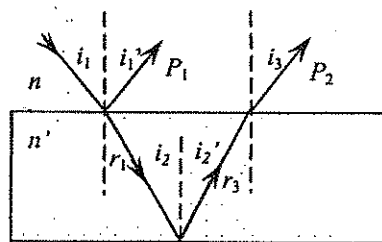
由折射定律可得：

$$n \sin i_1 = n' \sin r_1 \quad (2分)$$

$$n \sin i_3 = n' \sin r_3 \quad (2分)$$

所以 $i_1 = i_3$

又由反射定律可得： $i_1 = i_1'$



01

故 $i_3 = i_1'$

所以 P_1 平行于 P_2 。

2、已知一个 5 倍的伽利略望远镜，其物镜又可作放大镜，其视角放大率亦为 5 倍。试求物镜、目镜的焦距及望远镜筒长。

解：物镜做放大镜时

$$\beta = \frac{250}{f_{\text{物}}'} = 5$$

可得： $f_{\text{物}}' = 50\text{mm}$

$$\text{又望远镜的放大率为： } \Gamma = -\frac{f_{\text{物}}'}{f_{\text{目}}'} = 5$$

所以 $f_{\text{目}}' = -10$

$$\text{望远镜筒长 } L = f_{\text{物}}' + f_{\text{目}}' = 50 + (-10) = 40\text{mm}$$

3、光源位于 $f' = 30\text{mm}$ 的透镜前 40mm 处，问屏放在何处能找到光源像？垂轴放大率等于多少？若光源及屏位置保持不变，问透镜移到什么位置时，能在屏上重新获得光源像，此时放大率等于多少？

解： $\ell = -40\text{mm}$, $f' = 30\text{mm}$ ，由高斯公式 $\frac{1}{\ell'} - \frac{1}{\ell} = \frac{1}{f'}$ 得

$\ell' = 120\text{mm}$ 即光源像在透镜后 120mm 处。

$$\text{又 } \beta = \frac{\ell'}{\ell} = 120/(-40) = -3$$

由题列出以下方程

$$\ell' - \ell = 120 + 40 = 160$$

$$\frac{1}{\ell'} - \frac{1}{\ell} = \frac{1}{f'} = 1/30 \text{ 解得}$$

$$\ell_1 = -40\text{mm}, \ell_1' = 120\text{mm}$$

$$\ell_2 = -120\text{mm}, \ell_2' = 40\text{mm}$$

$$\beta = \frac{\ell'}{\ell} = 40/(-120) = -1/3$$

4、由两个焦距相等的薄透镜组成一个光学系统，两者之间的间距也等于透镜焦距，即 $f_1' = f_2' = d$ 。用此系统对前方 60mm 处的物体成像，已知垂轴放大率为 -5 ，求薄透镜的焦距及物像平面之间的共轭距。

解：物体先经过第一个透镜成像

$$\frac{1}{l_1'} - \frac{1}{-60} = \frac{1}{d}$$

$$\text{解得 } l_1' = \frac{60d}{60-d}$$

$$\beta_1 = \frac{l_1'}{l_1} = \frac{\frac{60d}{60-d}}{-60} = \frac{-d}{60-d}$$

第一透镜的像再经过第二透镜成像

$$\text{由过渡公式可得: } l_2 = l_1' - d = \frac{60d}{60-d} - d = \frac{d^2}{60-d}$$

$$\text{由高斯公式有: } \frac{1}{l_2'} - \frac{1}{\frac{d^2}{60-d}} = \frac{1}{d}$$

$$\text{解得: } l_2' = \frac{d^2}{60}$$

$$\beta_2 = \frac{l_2'}{l_2} = \frac{60-d}{60}$$

$$\text{因为 } \beta = \beta_1 \beta_2 = \frac{-d}{60-d} \cdot \frac{60-d}{60} = -5$$

$$\text{解得: } d = 300\text{mm}$$

$$\text{透镜焦距 } f_1' = f_2' = d = 300\text{mm}$$

$$l_2' = \frac{d^2}{60} = \frac{300 \times 300}{60} = 1500\text{mm}$$

$$\text{则物像共轭距为: } L = l_1 + d = l_2' = 60 + 300 + 1500 = 1860\text{mm}$$

5、一个正透镜焦距为 100mm，一根棒长 40mm，平放在透镜的光轴上，棒中点距离透镜 200mm。求：

(1) 像的位置和长短；

(2) 棒绕中心转 90° 时，像的位置和大小。

解：(1) 棒两端点到透镜的距离分别为

$$\ell_1 = -220\text{mm}, \ell_2 = -180\text{mm}$$

$$\text{根据高斯公式 } \frac{1}{\ell'} - \frac{1}{\ell} = \frac{1}{f'} \text{ 得}$$

$$\ell_1' = 183.3\text{mm}, \ell_2' = 225\text{mm}$$

$$\text{像的长短 } \Delta \ell = \ell_2' - \ell_1' = 41.7\text{mm}$$

(2) $\ell = -200\text{mm}$, $y = 40\text{mm}$ 根据高斯公式 $\frac{1}{\ell'} - \frac{1}{\ell} = \frac{1}{f'}$ 得

$$\ell' = 200\text{mm}$$

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{\ell'}{\ell} = \frac{200}{-200} = -1$$

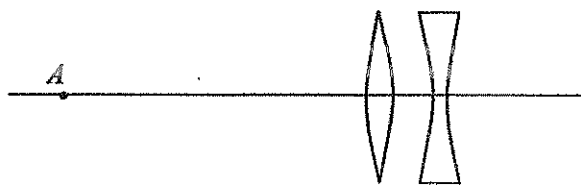
$$y' = \beta y = -40\text{mm}$$

6、一组合系统如图所示，薄正透镜的焦距为 20mm ，薄负透镜的焦距为 -20mm ，两单透镜之间的间隔为 10mm ，当一物体位于正透镜前方 100mm 处，求组合系统的垂轴放大率和像的位置。

解：对单正透镜来说

$l_1 = -100\text{mm}$, $f_1' = 20\text{mm}$ ，因此有

$$\frac{1}{l_1'} - \frac{1}{-100} = \frac{1}{20}$$



所以 $l_1' = 25\text{mm}$

对负透镜来说， $l_2 = l_1' - d = 25 - 10 = 15\text{mm}$, $f_2' = -20\text{mm}$ ，有

$$\frac{1}{l_2'} - \frac{1}{15} = \frac{1}{-20}$$

所以 $l_2' = 60\text{mm}$ ，即最后像位置在负透镜后 60mm 处。

根据放大率 $\beta = \beta_1 \beta_2$

$$\beta_1 = \frac{l_1'}{l_1}, \beta_2 = \frac{l_2'}{l_2}$$

$$\text{所以 } \beta = \frac{l_1' l_2'}{l_1 l_2} = \frac{25}{-100} \times \frac{60}{15} = -1$$

7、用一架 $5\times$ 的开普勒望远镜，通过一个观察窗观察位于距离 500mm 远处的目标，假定该望远镜的物镜

和目镜之间有足够的调焦可能，该望远镜物镜焦距 $f_{\text{物}}' = 100\text{mm}$ ，求此时仪器的实际视放大率 Γ 等于多

少？

解：(1) 目镜的焦距

$$f_{\text{目}}' = \frac{-f_{\text{物}}'}{\Gamma} = -100 / -5 = 20\text{mm}$$

由高斯公式 $\frac{1}{\ell'} - \frac{1}{\ell} = \frac{1}{f'}$ 得 $\ell' = 125\text{mm}$

$$\beta = \frac{\ell'}{\ell} = \frac{125}{-500} = -\frac{1}{4}$$

$$\tan \omega_{\text{像}} = \frac{y'}{f'_{\text{目}}} = \frac{-y/4}{20} = -\frac{y}{80}$$

$$\Gamma_{\text{实际}} = \frac{\tan \omega_{\text{像}}}{\tan \omega_{\text{眼}}} = -\frac{-y/80}{y/500} = 6.25\times$$

8、已知放大镜焦距 $f'=25\text{mm}$ ，通光孔径 $D_1=25\text{mm}$ ，人眼瞳孔 $D_2=2\text{mm}$ ，它位于放大镜后 50mm 处，物体位于放大镜前 23mm 处。试确定系统的孔径光阑和视场光阑，并求入瞳、出瞳及入窗、出窗的位置和大小。

解：放大镜前无光学零件，其

本身就在物空间。

瞳孔在物空间像的位置为：

$$\frac{1}{l'_D} - \frac{1}{l_D} = \frac{1}{f'}$$

$$l'_D = 50\text{mm}, f' = 25\text{mm}, \text{代入可得: } l_D = -50\text{mm}$$

$$\text{因此 } \beta = \frac{l'_D}{l_D} = \frac{50}{-50} = -1$$

瞳孔像的孔径为 $D'_2 = \beta D_2 = -2\text{mm}$ 。

因瞳孔关于光轴对称，所以取 $D'_2 = 2\text{mm}$ 。

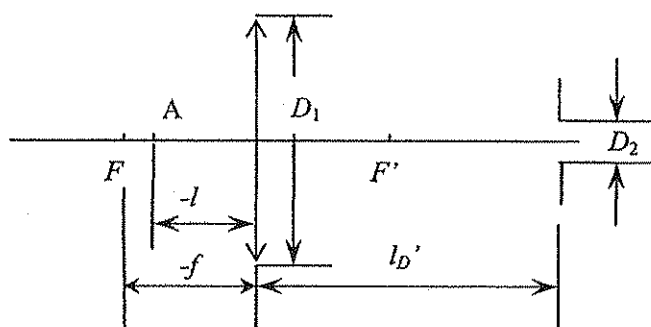
$$\text{放大镜对物点的张角的正切为 } \tan \omega_1 = \frac{D_1/2}{-l} = \frac{12.5}{23} = 0.54$$

$$\text{瞳孔像对物点的张角的正切为 } \tan \omega_2 = \frac{D'_2/2}{l - l'_D} = \frac{1}{-23 - (-50)} = 0.04$$

因为 $\tan \omega_1 > \tan \omega_2$ ，所以瞳孔为系统的孔径光阑。入瞳在放大镜前 50mm 处，直径为 2mm ，瞳孔即为出

瞳，在放大镜后 50mm 处，直径为 2mm 。

因除了瞳孔外，系统只有放大镜一个光学零件，所以放大镜为系统的视场光阑，入窗和出窗，直径为 25mm 。



9、试证明单折射球面的物像方焦距分别满足下列关系：

$$f = -\frac{nr}{n'-n}, \quad f' = \frac{n'r}{n'-n}, \quad \text{其中, } n, n' \text{ 和 } r \text{ 分别是球面的物方、像方折射率和球面半径。}$$

解：将 $l = -\infty$ 代入下列物像关系式得到的像距就是像方焦距，即 $l' = f'$ ：

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

$$\text{即：} \frac{n'}{f'} - \frac{n}{-\infty} = \frac{n'-n}{r}$$

$$\text{求得：} f' = \frac{n'r}{n'-n}$$

同理，将 $l' = \infty$ 代入物像关系式得到的物距就是物方焦距，即 $l = f$ ：

$$\text{即：} \frac{n'}{\infty} - \frac{n}{f} = \frac{n'-n}{r}$$

$$\text{求得：} f = -\frac{nr}{n'-n}$$

10、若人肉眼刚好能看清 200m 远处的一小物体，若要求在 1200m 远处也能看清该物体，问应使用视放大率至少为多大的望远镜？

解：设物高为 y ，因为用眼睛在 200m 处恰好能分辨箭头物体，则该物体对人眼所张视角刚好是人眼的最小分辨角 $60''$ 。

则有：

$$\tan 60'' = \frac{y}{200}$$

直接用眼睛在 1000mm 处看箭头物体时，视角满足：

$$\tan \omega_{\text{眼}} = \frac{y}{1200}$$

要用望远镜分辨该箭头物体，必须要求望远镜将物体视角至少放大为人眼的最小分辨角。

则望远镜的视放大率至少为：

$$\Gamma = \frac{\tan 60''}{\tan \omega_{\text{眼}}} = \frac{y/200}{y/1200} = 6$$

11、置于空气中的两薄凸透镜 L_1 和 L_2 的焦距分别为 $f_1' = 50\text{mm}$ ， $f_2' = 100\text{mm}$ ，两镜间隔为

$d = 50\text{mm}$ ，试确定该系统的焦点和主平面位置。

解：

$$\Delta = d - f_1' + f_2 = d - f_1' - f_2' = 50\text{mm} - 50\text{mm} - 100\text{mm} = -100\text{mm}$$

求系统焦点位置:

$$x_F = F_1F = \frac{f_1f_1'}{\Delta} = \frac{-f_1'f_1'}{\Delta} = -\frac{50\text{mm} \times 50\text{mm}}{-100\text{mm}} = 25\text{mm}$$

$$x_{F'} = F_2'F' = -\frac{f_2f_2'}{\Delta} = -\frac{-f_2'f_2'}{\Delta} = \frac{(-100\text{mm}) \times (-100\text{mm})}{-100\text{mm}} = -100\text{mm}$$

即系统物方焦点 F 在 F_1 的右边 25mm 处, 像方焦点 F' 在 F_2' 的左边 100mm 处。

求系统主平面位置:

$$f = HF = \frac{f_1f_2}{\Delta} = \frac{(-f_1')(-f_2')}{\Delta} = \frac{(-50\text{mm}) \times (-100\text{mm})}{-100\text{mm}} = -50\text{mm}$$

$$f' = H'F' = -\frac{f_1'f_2'}{\Delta} = -\frac{50\text{mm} \times 100\text{mm}}{-100\text{mm}} = 50\text{mm}$$

即系统物方主平面在 F 的右边 50mm 距离处, 像方主平面在 F' 的左边 50mm 距离处。

12、置于空气中的两薄凸透镜 L_1 和 L_2 的孔径均为 2cm, L_1 的焦距为 3cm, L_2 的焦距为 2cm, L_2 在 L_1 之后 1.5cm, 对于平行于光轴入射的光线, 求系统的孔径光阑、入射光瞳和出射光阑。

解: 先求孔径光阑:

L_1 通过其前面系统成像就是它本身, 设 L_2 对其前面的光学系统 L_1 成像为 L_2' , 则由薄透镜成像公式:

$$\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f_1'}$$

代入数据: $\frac{1}{l'} - \frac{1}{-1.5\text{cm}} = \frac{1}{3\text{cm}}$

则得: $l' = -3\text{cm}$

L_2' 位于 L_1 右边 3cm 处。

由垂轴放大率公式: $\beta = \frac{y'}{y} = \frac{l'}{l}$

则 L_2' 的口径大小为:

$$2y' = \beta \times 2y = \frac{l'}{l} \times 2y = \frac{3\text{cm}}{1.5\text{cm}} \times 2\text{cm} = 4\text{cm}$$

15

91
即 L_2' 的口径大于 L_1 的，由于是平行光入射，则 L_1 是孔径光阑。

求入瞳：

因孔径光阑对其前面的光学系统成象为入瞳，故 L_1 又为入瞳。

求出瞳：

出瞳为孔径光阑对其后面的光学系统所成之像，即求 L_1 对 L_2 所成之像 L_1' 。

再由薄透镜成像公式：

$$\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f_2'}$$

代入数据： $\frac{1}{l'} - \frac{1}{-1.5\text{cm}} = \frac{1}{2\text{cm}}$ 则得： $l' = -6\text{cm}$

L_1' 的口径大小为：

$$2y' = \beta \times 2y = \frac{l'}{l} \times 2y = \frac{6\text{cm}}{1.5\text{cm}} \times 2\text{cm} = 8\text{cm}$$

即出瞳 L_1' 位于 L_2 左边 6cm 处。口径为 8cm。

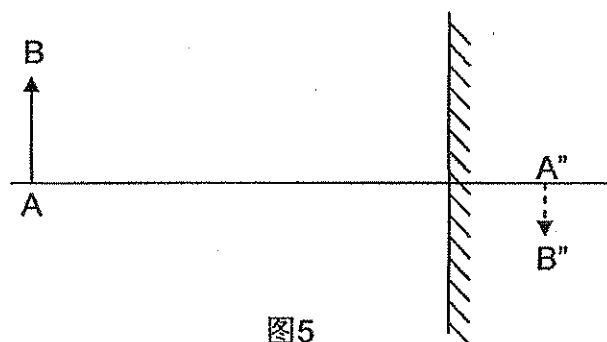


图5

例 要求分辨相距 0.000375mm 的二点, 用波长 $\lambda=0.00055\text{mm}$ 的可见光斜照明。求: (1) 此显微镜物镜的数值孔径 NA ; (2) 若要求二点放大后的视角为 $2'$, 则显微镜的视放大率等于多少?

$$(1) \quad \sigma = \frac{0.5\lambda}{NA} \longrightarrow NA = \frac{0.5\lambda}{\sigma} = 0.07333\text{mm}$$

$$(2) \quad \omega_{\text{像}} = 2', \quad \omega_{\text{物}} = \frac{0.000375}{250}$$

$$\Gamma = \frac{\lg \omega_{\text{像}}}{\lg \omega_{\text{物}}} = 387$$

例1 用望远镜观察时要鉴别5公里处200毫米的间距, 应选用多大倍率的望远镜?

解:

$$\text{人眼直接观察, } \omega = \frac{200\text{mm}}{5 \times 10^6\text{mm}} \approx 4 \times 10^{-5}\text{rad}$$

$$\text{通过望远镜观察: } \omega' > \alpha = 0.00029\text{rad}$$

$$\therefore \Gamma = \frac{\lg \omega'}{\lg \omega} = \frac{\omega'}{\omega} = \frac{0.00029}{4 \times 10^{-5}} \approx 7.3 \times$$

例2 经纬望远镜视放大率 $\Gamma = 20$, 使用夹线瞄准, 问瞄准角误差等于多少?

解:

$$\text{仪器的像方误差角: } \omega' = 10''$$

$$\text{求对应的物空间瞄准角误差: } \omega$$

$$\frac{\omega'}{\omega} = \Gamma$$

$$\Rightarrow \omega = \frac{\omega'}{\Gamma} = \frac{10''}{20} = 0.5''$$

例 一架显微镜, 物镜焦距为 4mm , 中间像成在第二焦面(像方焦面)后 160mm 处, 如果目镜为20倍, 显微镜的总放大率为多少? 总焦距为多少?

$$x' = 160\text{mm}$$

$$\beta_{\text{物}} = -\frac{x'}{f_{\text{物}}} = -40$$

$$\Gamma = \beta_{\text{物}} \Gamma_{\text{目}} = -800$$

$$f' = \frac{250}{\Gamma} = -0.31\text{mm}$$

11)

例. 一个近视眼近视度数为500度; 目视光学仪器目镜焦距为20mm, 则他使用仪器时, 目镜的调节量为多少?

解: $SD = -5$

$$x = -\frac{SDf_{目}^2}{1000} = -\frac{-5 \times 20^2}{1000} = 2mm > 0$$

10-8 投影系统中的光能计算

例. 有一台35mm的电影放映机, 采用碳弧灯作光源, 要求银幕光照度为100lx, 放映机离银幕距离50m, 银幕宽7m, 求放映镜头焦距、相对孔径。已知碳弧灯光亮度 $L = 1.5 \times 10^8 \text{ cd/m}^2$, 放映镜头透过率 $\tau = 0.5$ 。

35mm电影胶片画幅尺寸为 $22 \times 16 \text{ mm}^2$

$$22\text{mm} \longrightarrow 7\text{m}: \quad \beta = \frac{7 \times 10^3}{22} = -333$$

例 用一个250W的溴钨灯作为16mm电影放映机的光源, 光源的发光效率为30lm/W, 灯丝外形面积为 $5 \times 7 \text{ mm}^2$, 可近似看作一个二面发光的余弦体, 灯丝成像在片窗处, 且充满片窗 ($7 \times 10 \text{ mm}^2$), 灯丝后面加有球面反射镜, 使灯丝的平均亮度提高50%。银幕宽为4m, 放映物镜的相对孔径为1/1.8, 系统透过率 $\tau = 0.6$, 求银幕上光照度。

$$E_0 = \frac{1}{4} \pi L \left(\frac{D}{f'} \right)^2 \cdot \frac{1}{\beta^2} \quad \beta = \frac{4000}{10} = 400$$

$$L = \frac{\Phi}{2\pi ds} \times 150\% = \frac{30 \text{ lm/W} \times 250 \text{ W}}{2\pi \times 5 \times 7 \times 10^{-6} \text{ m}^2} \times 1.5$$

$$E_0 = 46.5 \text{ lx}$$

$$\because l' \gg f'$$

$$\therefore x' \approx l' = 50 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$\text{由 } \beta = -\frac{x'}{f'} \Rightarrow f' = -\frac{x'}{\beta} = 150 \text{ mm}$$

$$E_0' = \frac{1}{4} \pi L \left(\frac{D}{f'} \right)^2 \cdot \frac{1}{\beta^2} = 100 \text{ lx}$$

$$L = 1.5 \times 10^8 \text{ cd/m}^2, \tau = 0.5, \beta = -333$$

$$\Rightarrow \frac{D}{f'} = \frac{1}{2.3}$$