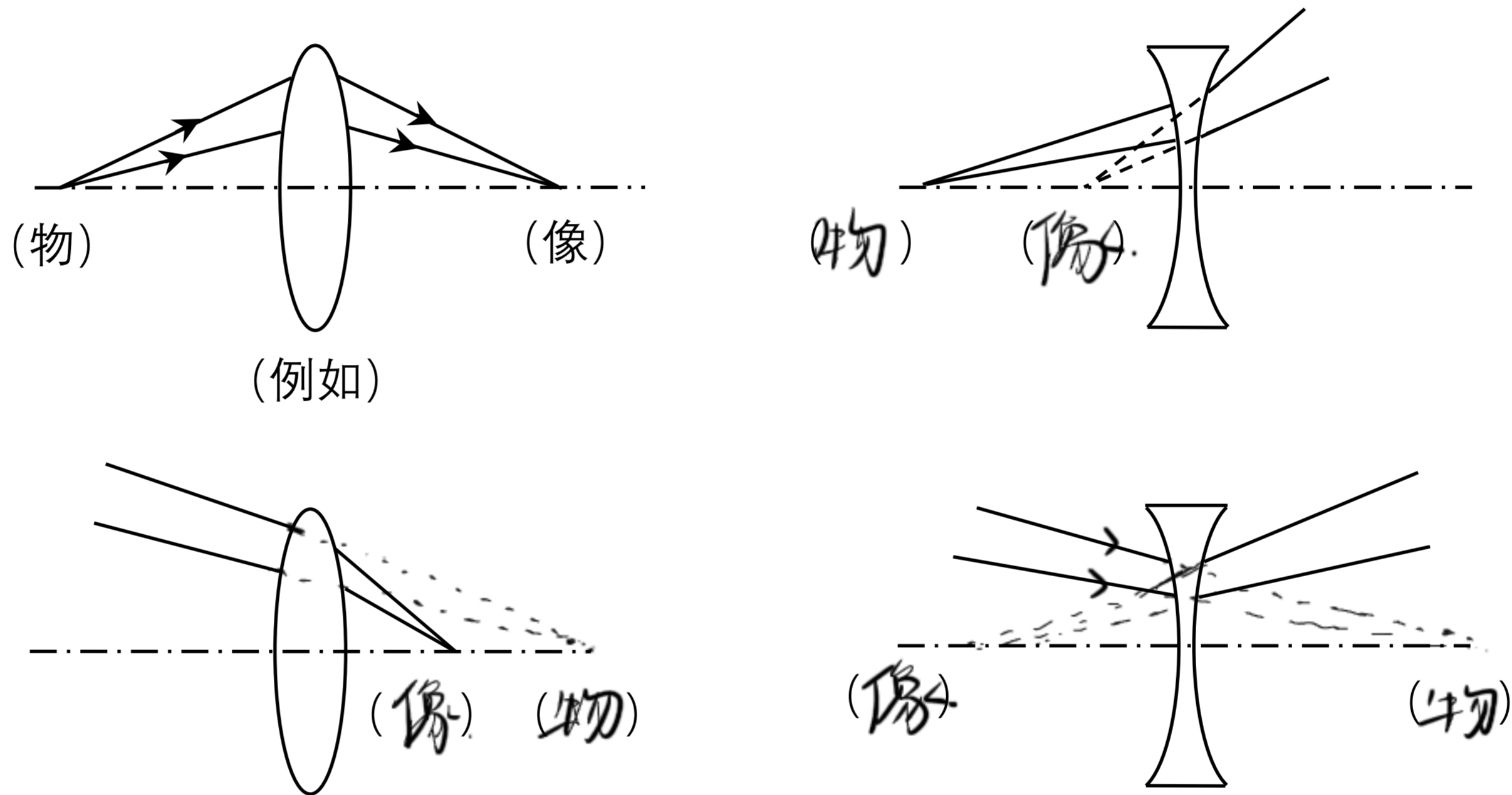


一、简答

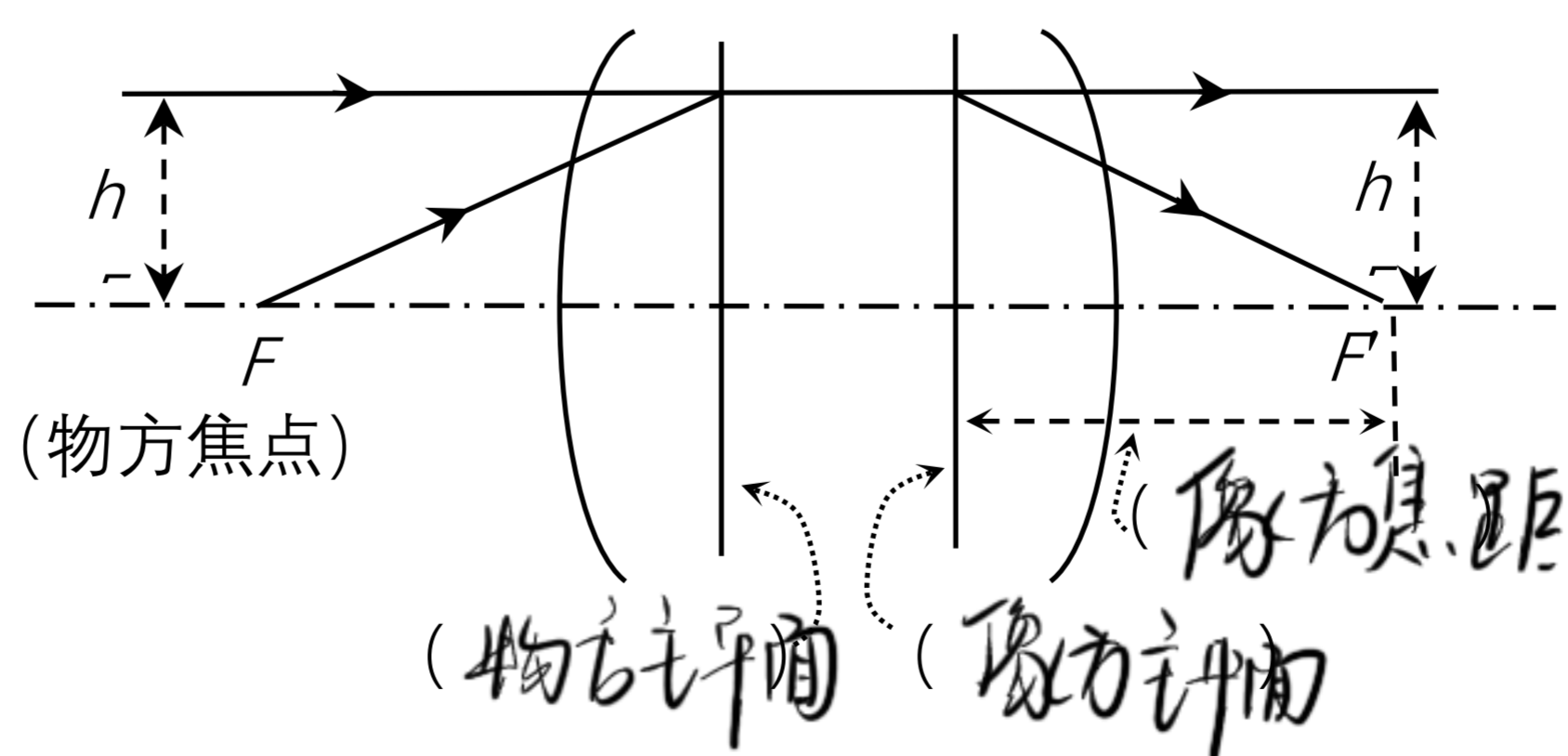
(1) 名词解释、标注与说明。

- p5 费马原理：光从一点传播到另一点，中间无论经过多少次反射与折射，光传播的实际路径是光程取极值（极小值、极大值或恒定值）的路径
- p314 ➤ 光强：辐射强度矢量大小的时间平均值。辐射强度矢量的方向是光的能量流动的方向，其大小等于单位时间垂直通过单位面积的能量
- p69 ➤ 光学系统景深：在光学系统（如相机、望远镜）中，能清晰成像的物方空间的深度范围称为光学系统的景深
- 391 ➤ 光的衍射：光遇到障碍物或小孔时，偏离直线传播方向，在障碍物后方形形成明暗相间的条纹分布的现象
- p5 ➤ 光程：光在介质中传播的几何路程与介质折射率的乘积
- 光谱：复色光（如白光）经色散系统（棱镜、光栅）分解后，按波长（或频率）有序排列的光带图案，反映了光的波长（频率）分布
- 354 ➤ 光的干涉：两束（或多束）频率相同、振动方向一致、相位差恒定的相干光叠加时，在叠加区域中某些点的振动始终加强，某些点的振动始终减弱，该区域内在观察时间里形成稳定的光强强弱分布的现象
- 78 ➤ 发光强度：点光源在某一方向上，单位立体角内发出的光通量
- 79 ➤ 亮度：单位面积的发光体，在单位立体角内辐射的光通量，反映了人眼感知到的光的明暗程度
- 16 ➤ 理想光学系统：将光学系统在近轴区成完善像的理论推广到任意大的空间，以任意宽的光束都成完善像的光学系统称理想光学系统
- 216 ➤ 常规光学系统的波长衍射限：由于光的衍射效应，常规光学系统的分辨率存在一个由波长决定的极限（无法通过提高放大倍数突破）
- 光学近场与远场：光学近场：距离光源（或衍射屏）较近的区域，波前的曲率不可忽略，衍射场分布复杂（不符合远场衍射公式），也称为“菲涅尔衍射区”。光学远场：距离光源（或衍射屏）足够远的区域，波前可近似为平面波，衍射场分布符合远场衍射公式（如夫琅禾费衍射），也称为“夫琅禾费衍射区”

7 (2) 请用箭头标注光线传输方向，用图示法（虚线）确定物或像并将中文名称填充在括号内。

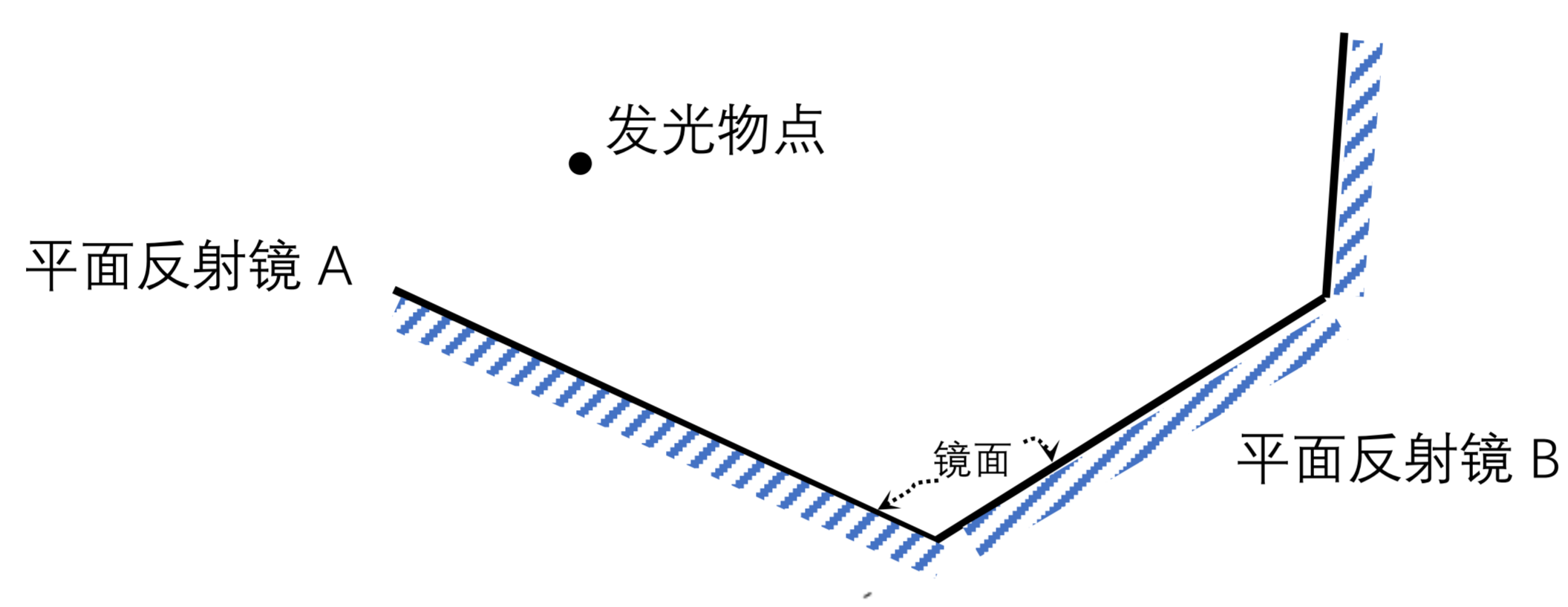
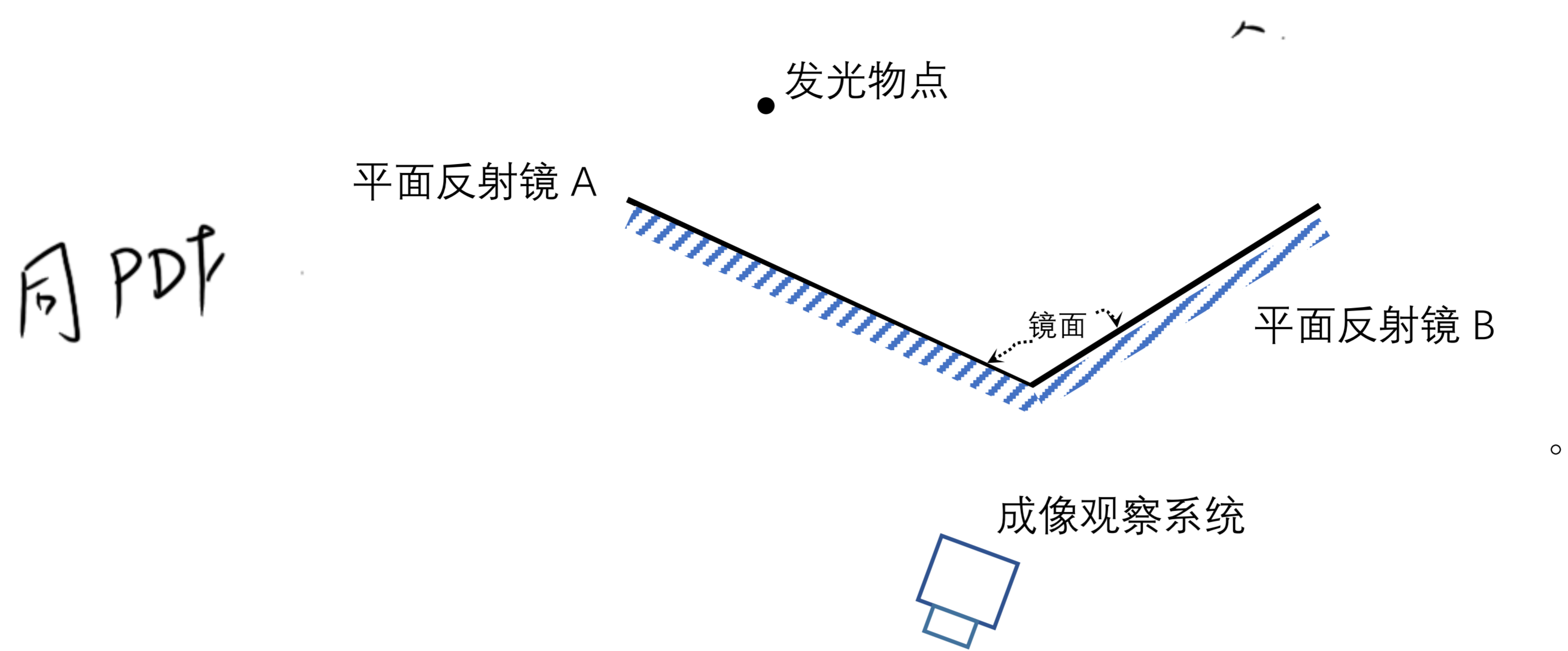


19 (3) 请在括号内填充箭头所指的平面或虚线名称。

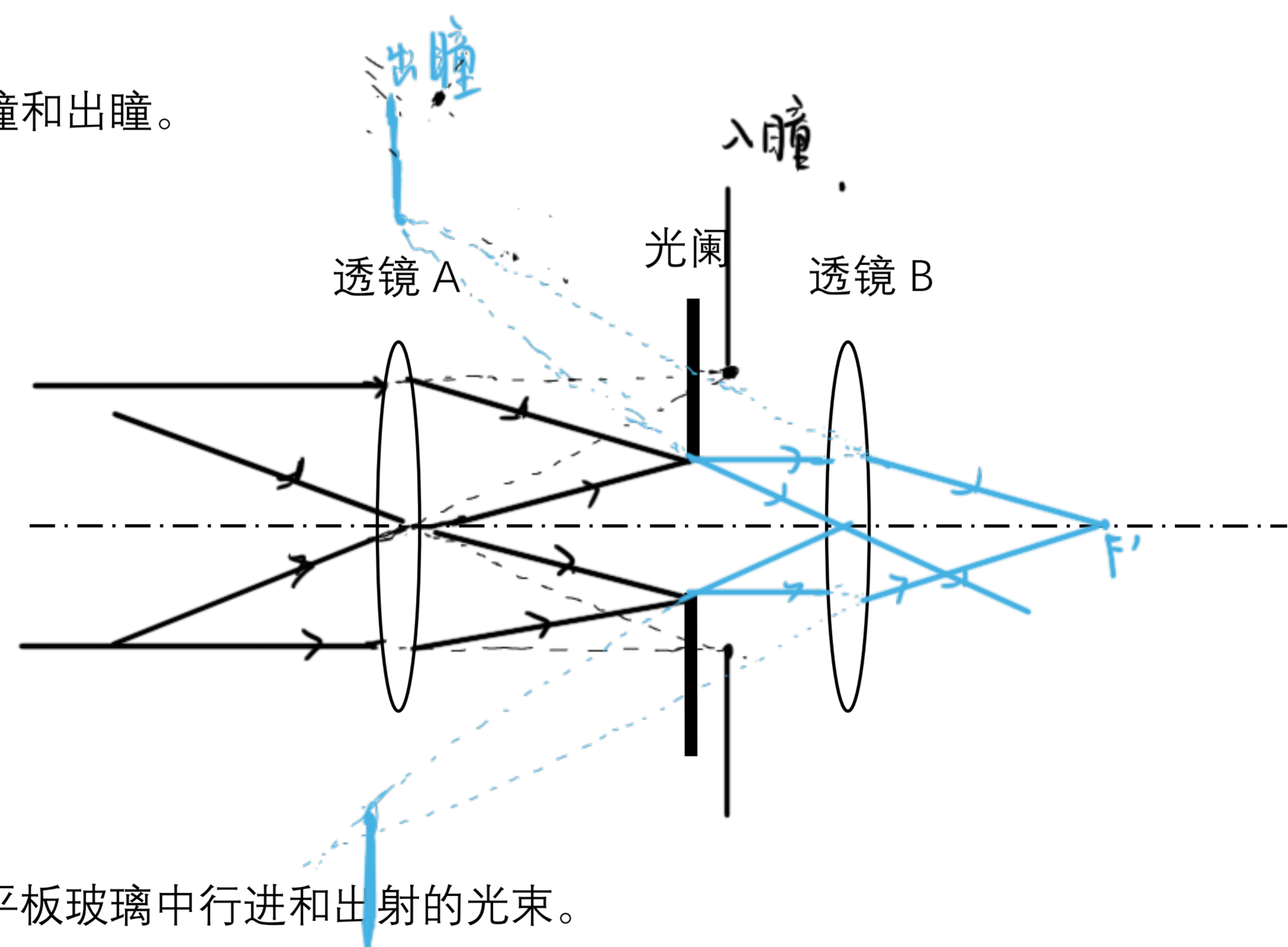


理想光学系统

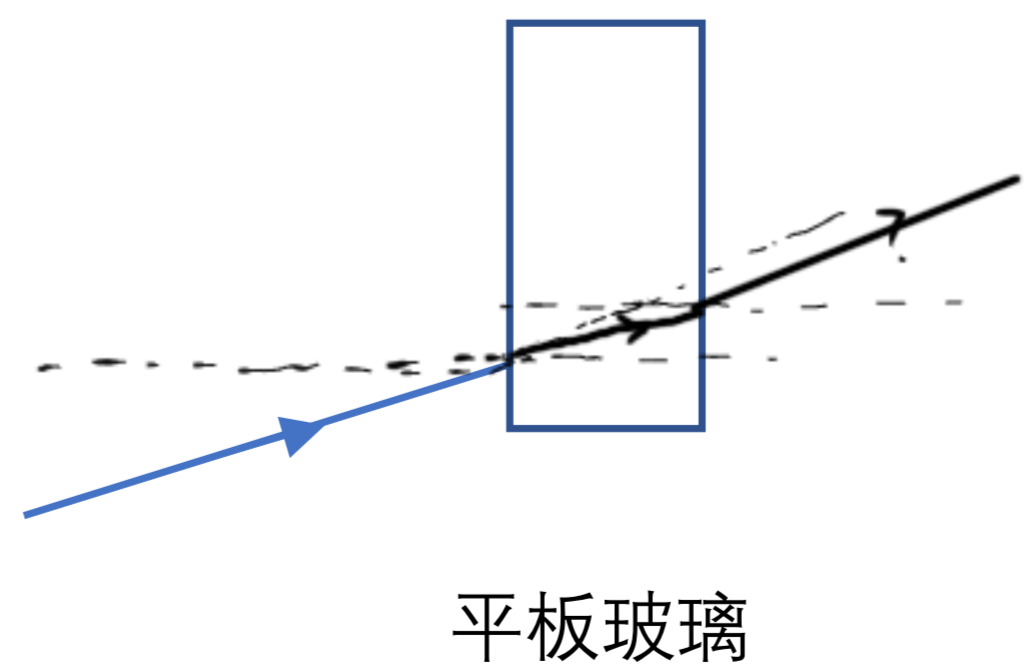
(4) 请画出像点及成像光路。



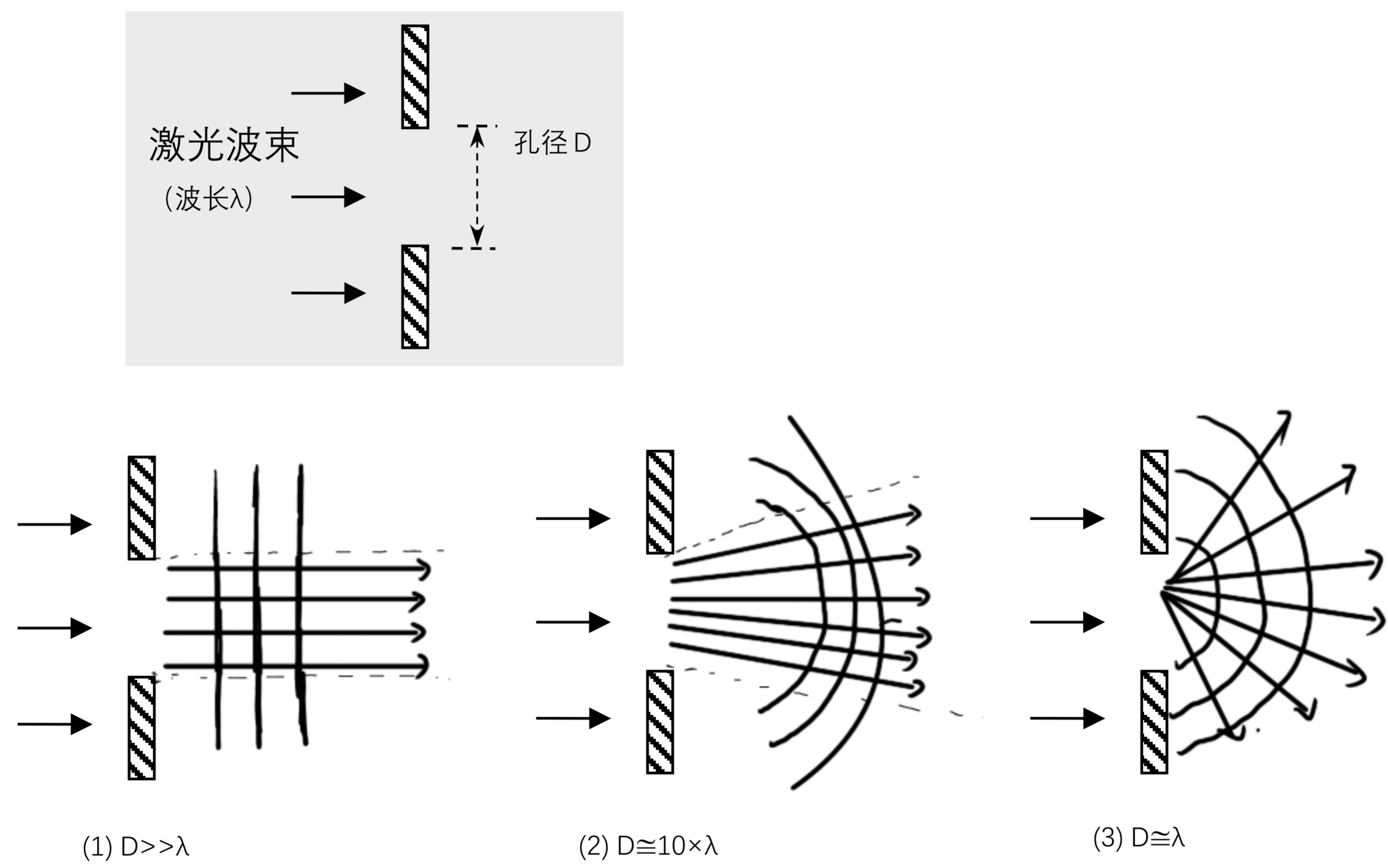
(5) 请画出入瞳和出瞳。



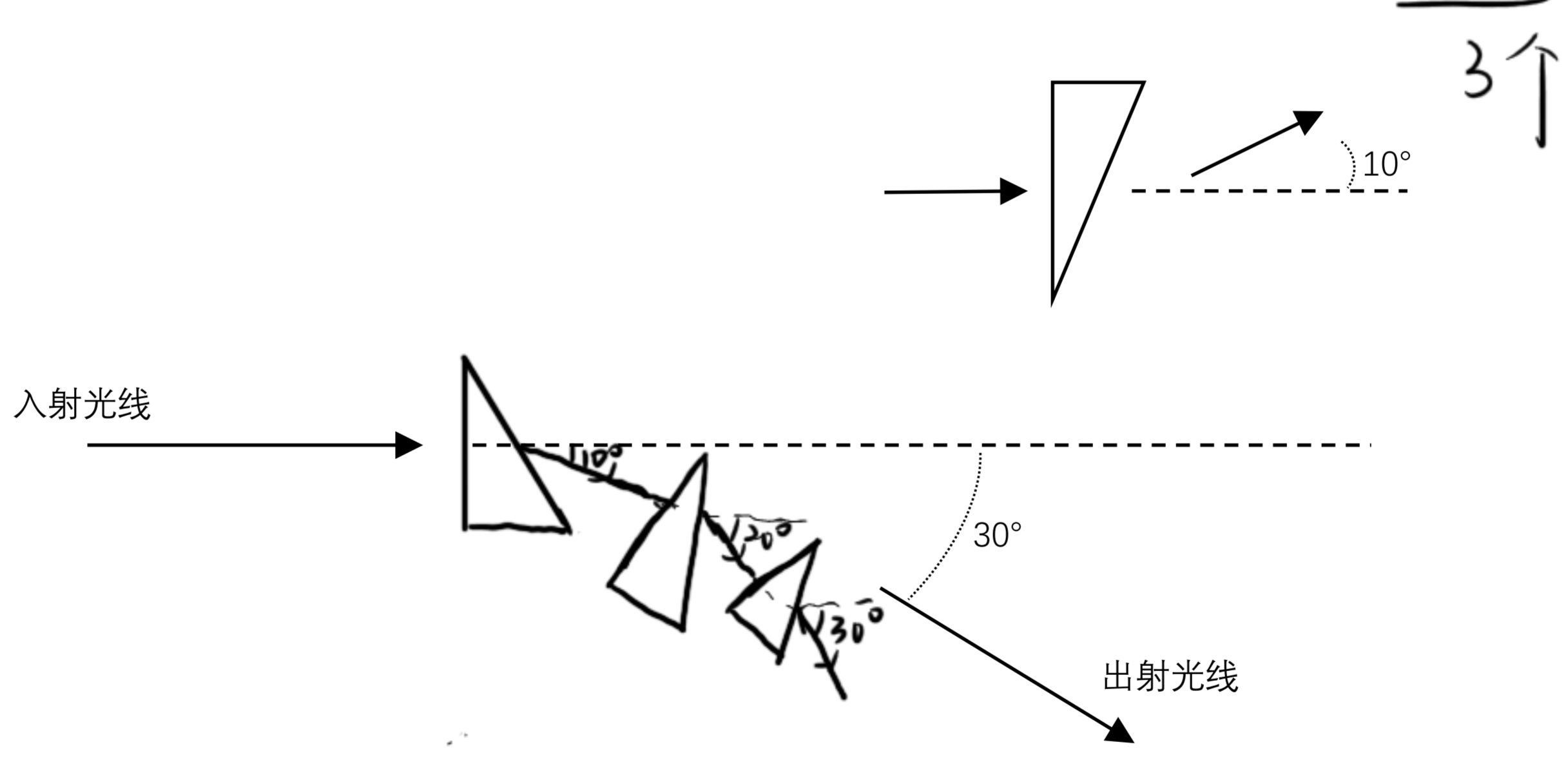
(6) 请画出在平板玻璃中行进和出射的光束。



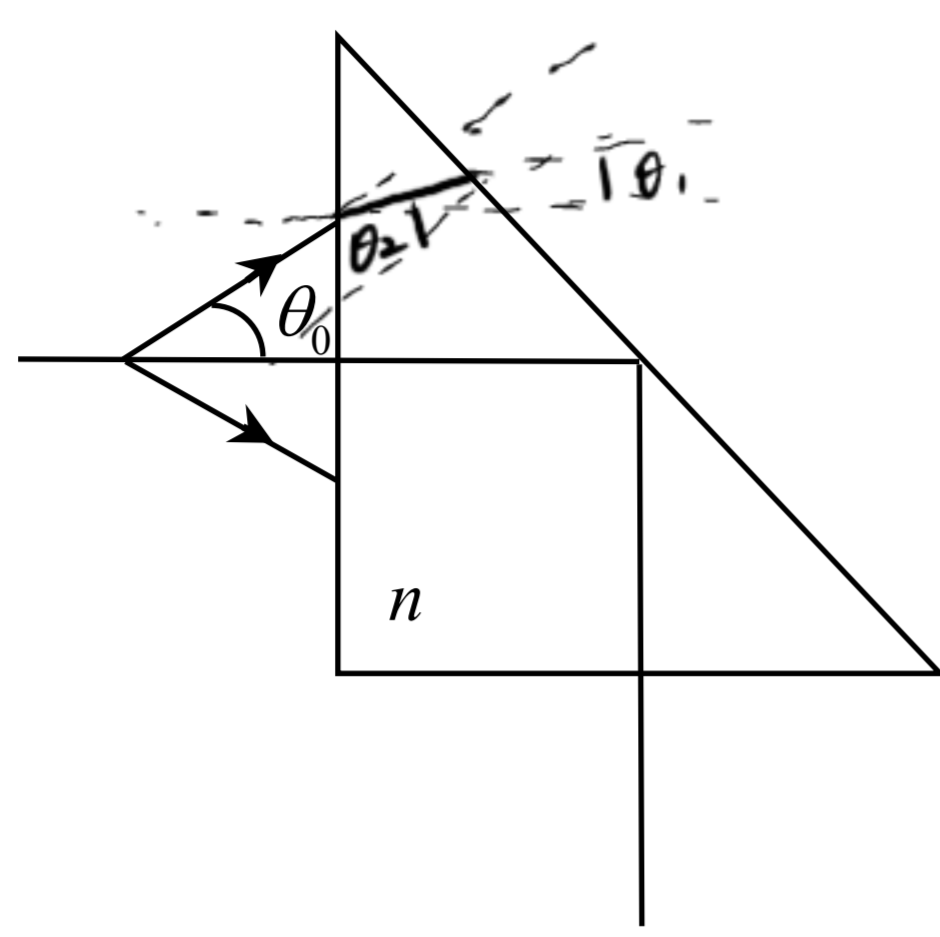
(7) 请画出从圆孔出射的激光波束的典型空间分布。



(8) 若右图中的光楔可将入射光方向改变 10° ，则将入射光方向改变 30° 需要使用几个光楔并画出光楔配置图。



二、 有一直角棱镜如图所示，其折射率为 n ，当光线以多大的孔径角 θ_0 入射时，正好能够经其斜面全反射后出射。如果棱镜用冕牌玻璃 K9 制造 ($n=1.5163$)，试计算 θ_0 的值。



$$\theta_1 + \theta_2 = 45^\circ$$

$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{1}{1.5163}\right)$$

$$\theta_1 = 45^\circ - \theta_2$$

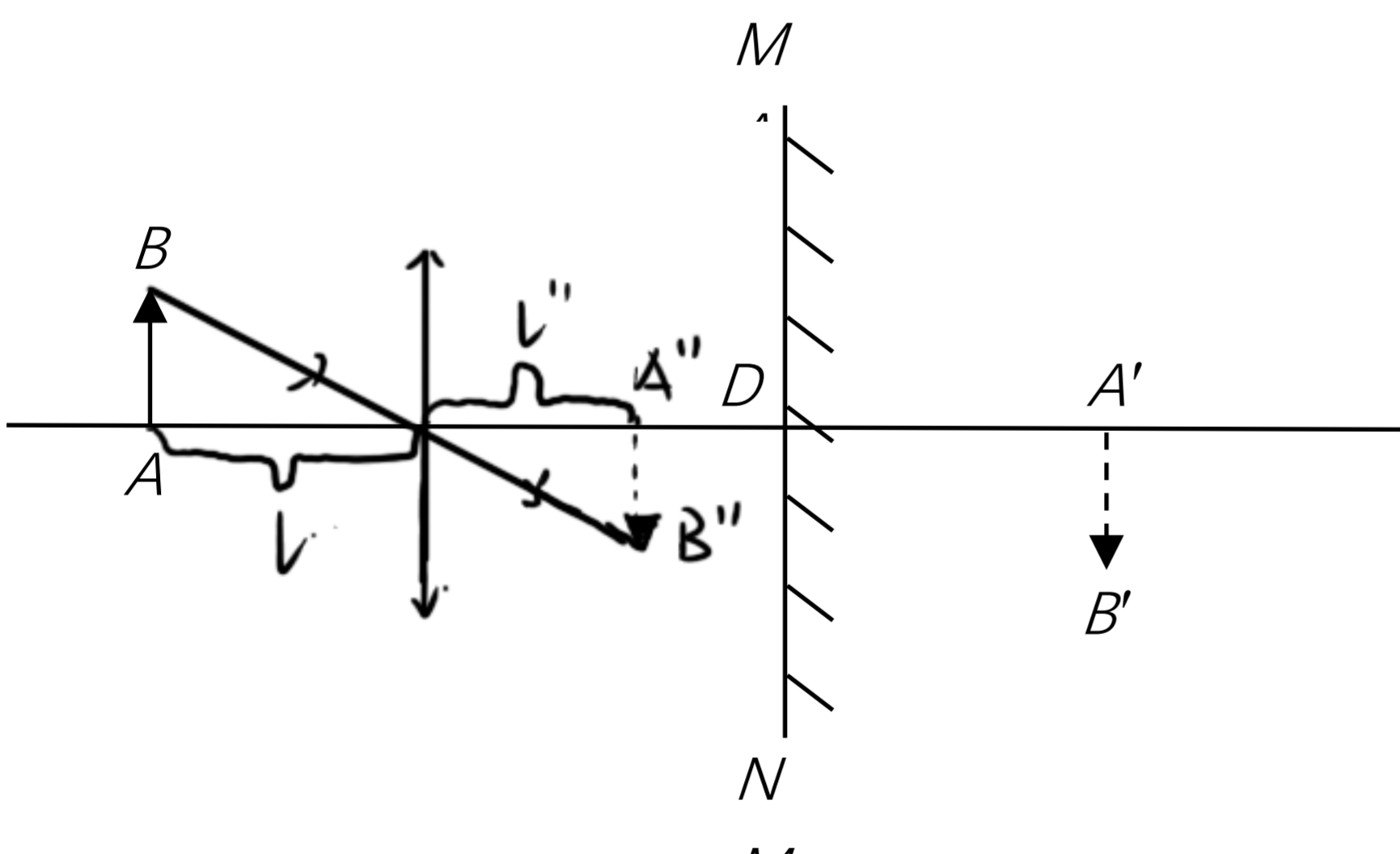
$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_0} = \frac{1}{1.5163} \Rightarrow \theta_0 = \arcsin(1.5163 \cdot \sin \theta_1)$$

308/311/312 三、 作图并计算说明平面波、球面波和柱面波的解析表征。

78 四、 给出发光强度的解析表征。

令光通量为 Φ_v ，则发光强度为 I_v 。光源在某一方向上发出的光，在元立体角 $d\Omega$ 内发出的光通量 $d\Phi_v$ ，则发光强度 $I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega}$ 。

五、 如图所示，一光学系统由一透镜和平面镜组成。平面镜 MN 与透镜光轴交于 D 点，透镜前方离平面镜 700mm 处有一物体 AB ，经过透镜和平面镜后，所成虚像 $A'B'$ 至平面镜的距离为 130mm，且像高为物高的一半，请确定透镜的位置和焦距，画出光路图。



由题意得： $l + l'' = 700 - 130 = 570 \text{ (mm)}$

且 $l:l'' = 2:1$

则由公式 $\frac{1}{l} + \frac{1}{l''} = \frac{1}{f}$ 得：

$$\frac{3}{2l''} = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{2}{3} \times l''$$

$$= \frac{2}{3} \times 570 \times \frac{1}{3}$$

$$= \frac{2}{3} \times 190 = \frac{380}{3}$$

156 六、 用图说明视场角定义。若某一照相物镜的焦距为 80mm，底片尺寸为 50mm×50mm，求该照相物镜的最大视场角。

七、解：亮场： $K_m = 683$ 暗场： $K_m = 1755$

107、78 七、 一氦氖激光器。发射波长为 $6.328 \times 10^{-7} \text{m}$ 的激光束，其光谱光效率函数 $V(\lambda) = 0.238$ ，辐通量为 5mW，光束发散角为 $1.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ ，求此激光束的光通量及发光强度。又此激光器输出光束的截面直径为 1mm，求其光亮度。

$$\Phi_v = K_m \cdot \Phi_e \cdot V(\lambda) = 683 \times 0.238 \times 5 \times 10^{-3} = 0.813 \text{ lm}$$

$$\Omega = \pi \left(\frac{\theta}{2} \right)^2 = \pi \times \left(\frac{1.0 \times 10^{-3}}{2} \right)^2 = 7.854 \times 10^{-7} \text{ (sr)}$$

八、 双光束干涉的解析表征与评估。

$$I_v = \frac{\Phi_v}{\Omega} = \frac{0.813}{7.854 \times 10^{-7}} = 1.03 \times 10^6 \text{ (cd)}$$

$$L_v = \frac{I_v}{\frac{\pi d^2}{4}} = 1.31 \times 10^{12} \text{ cd/m}^2$$

解: $\varphi_{初} = \frac{\pi}{2}$, $f = \frac{2\pi \times 10^4}{2\pi} = 10^4 \text{ (Hz)}$, $A = 4$, $I = \frac{1}{2} \times 8.85 \times 10^{-12} \times 3 \times 10^8 \times 16 = 2.124 \times 10^{-1} \text{ (W/m}^2\text{)}$

$\lambda = vT = \frac{v}{f} = \frac{3 \times 10^8}{10^4} = 3 \times 10^4 \text{ (m)}$

351 九、一个平面电磁波可以表示为 $E_x = 0$, $E_y = 4 \cos \left[2\pi \times 10^{14} \left(\frac{z}{c} - t \right) + \frac{\pi}{2} \right]$, $E_z = 0$,

求: (1) 该电磁波的频率、波长、振幅、初相位和光强;

辐射强度公式 $I = \frac{1}{2} \epsilon_0 E B$, $\frac{E}{B} = v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$

$I = \frac{1}{2} \sqrt{\epsilon_0} A^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 v A^2$

(2) 波的传播方向和电矢量的振动方向;

(3) 相应的磁场 B 的表达式及能流密度。

(2) 传播方向: 沿 z 轴正向传播; 振动方向: 沿 y 轴向上振动;

(3) $B_x = \frac{E}{v} = -\frac{4}{3 \times 10^8} \left[2\pi \times 10^{14} \left(\frac{z}{c} - t \right) + \frac{\pi}{2} \right]$, 反向: 沿 x 轴负向

能流密度 $S = \frac{1}{\mu_0} E B = v \epsilon_0 E^2 = 3 \times 10^8 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 16 \cos^2 \left[2\pi \times 10^{14} \left(\frac{z}{c} - t \right) + \frac{\pi}{2} \right]$

431

十、点光源 S 向开有两个邻近小孔的平面镜 M 发出球面波, 图示写出球面波表达式; 用惠更斯作图法求出反射波和透射波的波前; 在该平面镜后的较远处设有一个观察屏, 试画图并定性或定量说明在该屏上会出现何种光学现象; 如果将入射光换成光子波, 说明会出现什么现象。

392-397

十一、用简单计算说明: 惠更斯原理、菲涅尔光强计算、基尔霍夫衍射场计算等, 所主要针对的问题及解决问题的思路与脉络?

第九大题

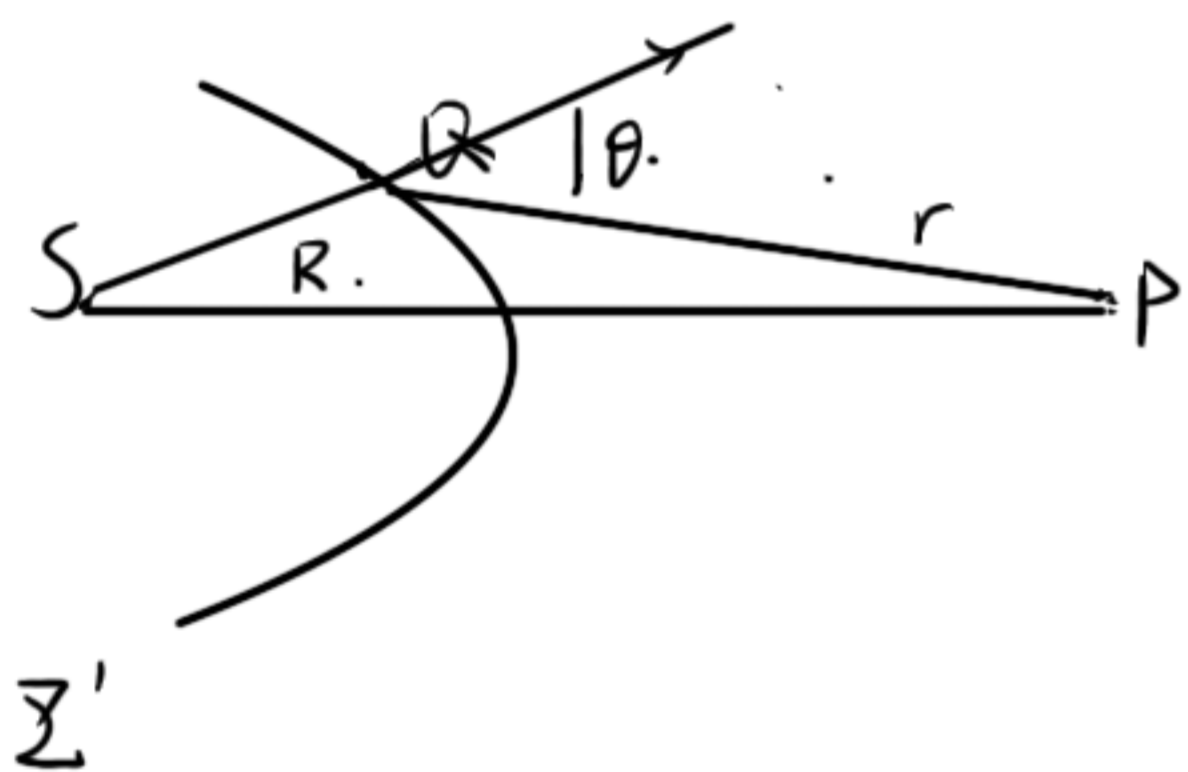
惠更斯原理: 解决的问题: 解释说明波在空间中各点逐步传播的机理;

思路与脉络: 波面中各点都可看作子波的次级扰动中心, 在后一个时刻这些子波的包络面就是该时刻新的波面。波面的法线方向就是波的传播方向。

菲涅尔光强计算:

设点光源 S 在波面 Σ 上任一点产生的复振幅为:

$$\vec{E}_Q = \frac{A}{R} \exp(iKR)$$



在 Q 点处取波面元 $d\sigma$, 该面元在 P 点产生的复振幅设为:

$$d\vec{E}_P = C(K, \theta) \frac{A}{R} \exp(iKR) \frac{\exp(iK r)}{r} d\sigma$$

则 Σ' 上各点引起的复振幅总和为:

$$\vec{E}_P = \frac{CA \exp(iKR)}{R} \iint_{\Sigma} \frac{\exp(iK r)}{r} K(\theta) d\sigma$$

第五大题

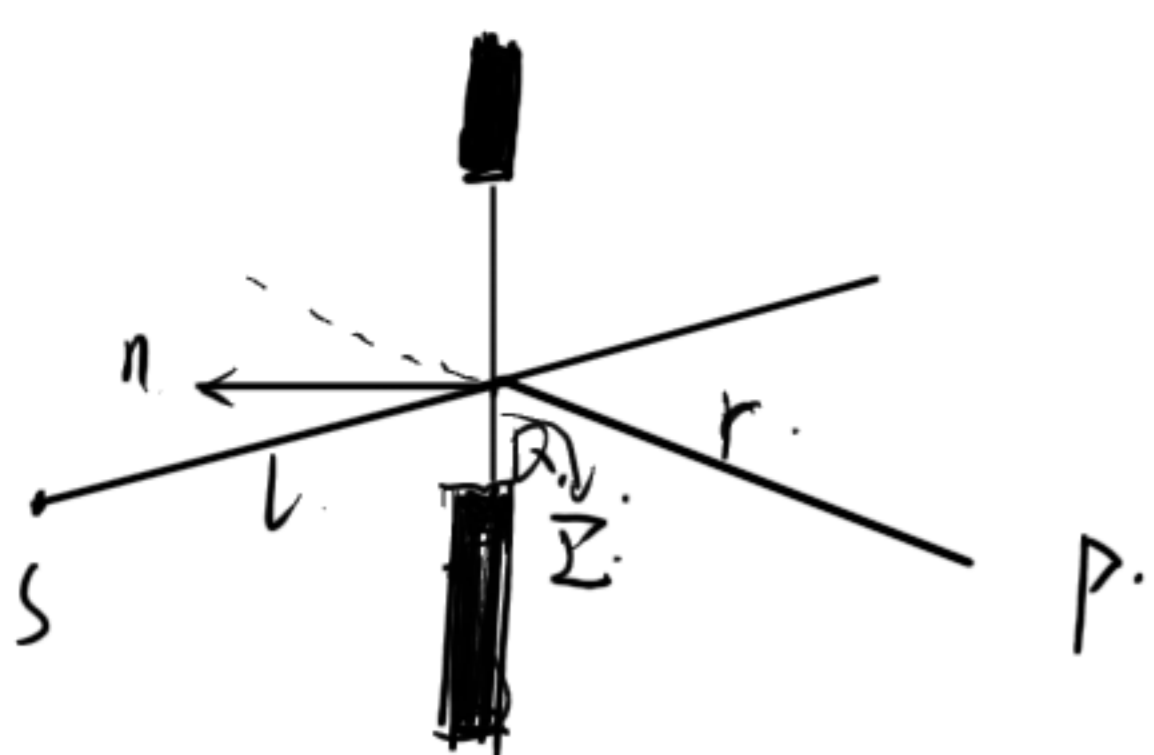
解决的问题: 解释光的衍射现象。

思路及脉络: 基于光的干涉原理, 并考虑到惠更斯子波来自同一光源, 它们应该是相干的, 因而波面外任一点的光振动应该是波面上所有子波在该点相干叠加的结果。

基尔霍夫衍射场计算: 在菲涅尔光强计算的基础上, 令 $C = \frac{1}{i\lambda}$, $K(\theta) = \frac{A \exp(iK r)}{r}$,

$$K(\theta) = \frac{\cos(n, r) - \cos(n, \nu)}{2}$$

(n, r) 为 Σ 的法线和 r 的夹角。



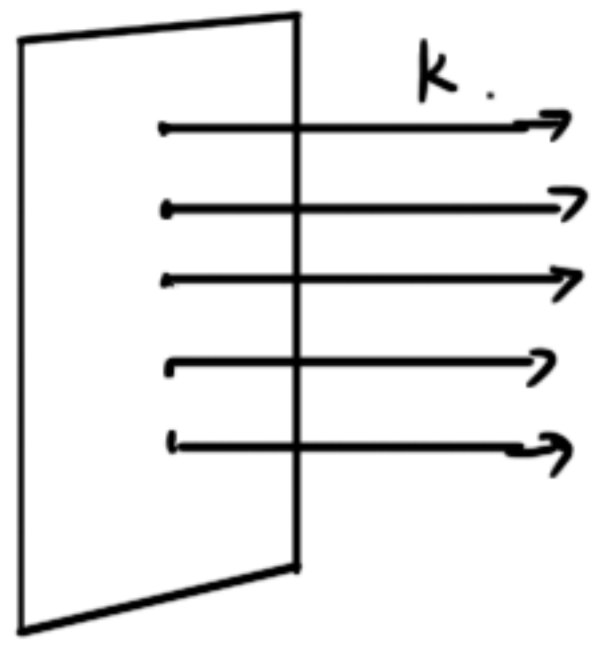
$$\vec{E}(P) = \frac{A}{i\lambda} \iint_{\Sigma} \frac{\exp(ikr)}{r} \frac{\exp(ikr)}{r} \left[\frac{\cos\eta, r) - \cos\eta, r)}{2} \right] d\sigma$$

解决的问题: 解决菲涅尔原理理论上的不严格, 并给出 $K(\theta)$ 和 C 的具体形式.

思路及脉络: 认为 P 点的场是由无穷多个虚设的子波源 $\frac{1}{r} \exp(ikr)$ 产生的, 且假设衍射孔径由单发散球面波 (波长为 λ) 照明, 从波动微分方程出发, 结合场论中的 Green 定理和电磁场的边值条件而最终给出 $K(\theta)$ 和 r 的具体表达式.

三、作图并计算说明平面波、球面波和柱面波的解析表征。

平面波：

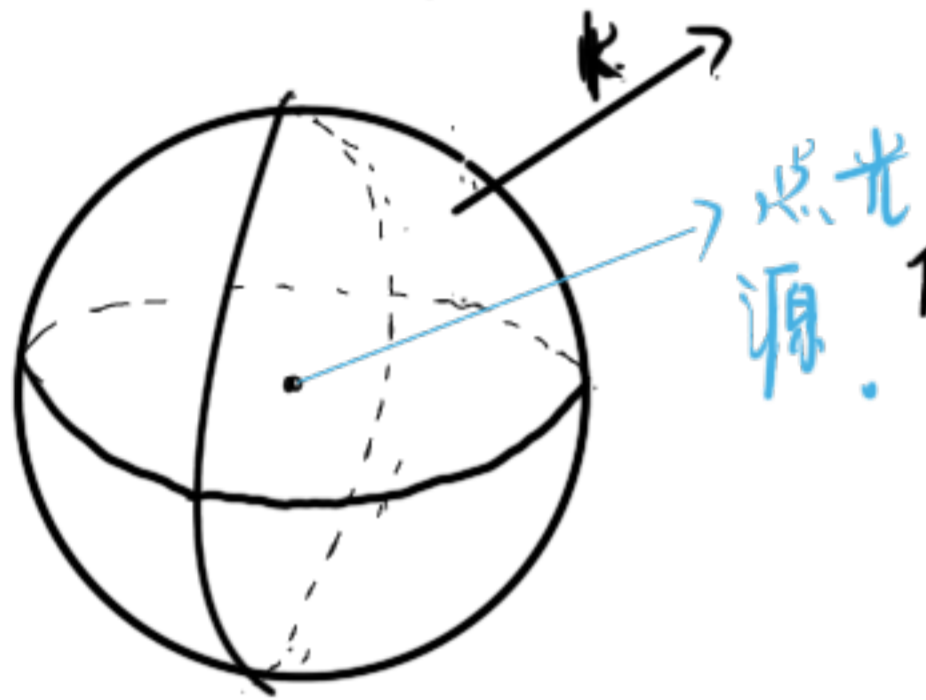


k 的方向为平面波的传播方向；

解析表征：
$$E = A \exp [i(k \cdot r - \omega t)] \quad |k| = \frac{2\pi}{\lambda}$$

其中矢量 k 代表平面波的传播方向；矢量 r 代表场点到空间坐标系中原点的矢径， ω 为角频率。

球面波：

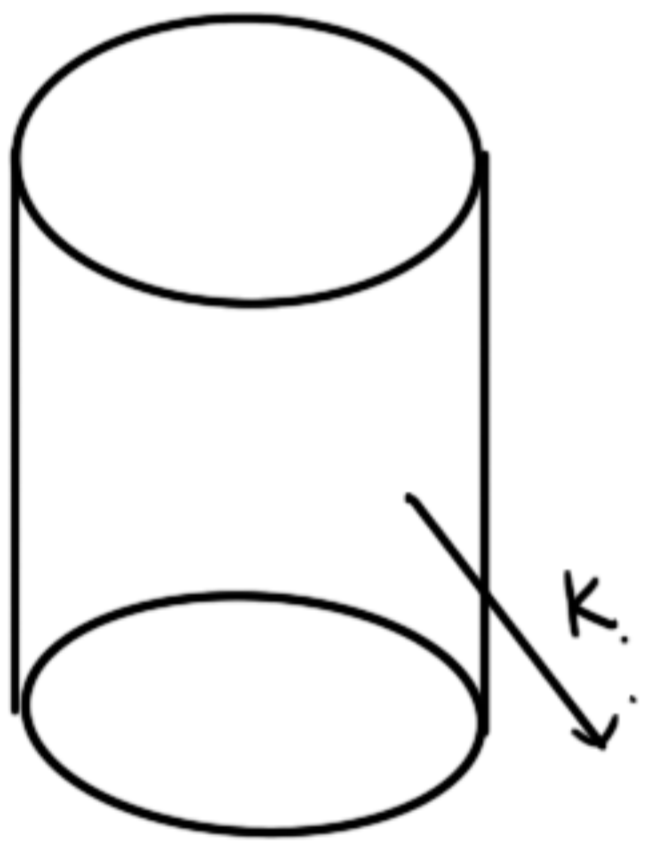


k 的方向为球面波的传播方向；

解析表征：
$$E = \frac{A_1}{r} \exp [i(kr - \omega t)]$$
； $\frac{A_1}{r}$ 体现出球面波振幅随着 $r \uparrow$ 而 \downarrow ， r 代表场点到点源的距离

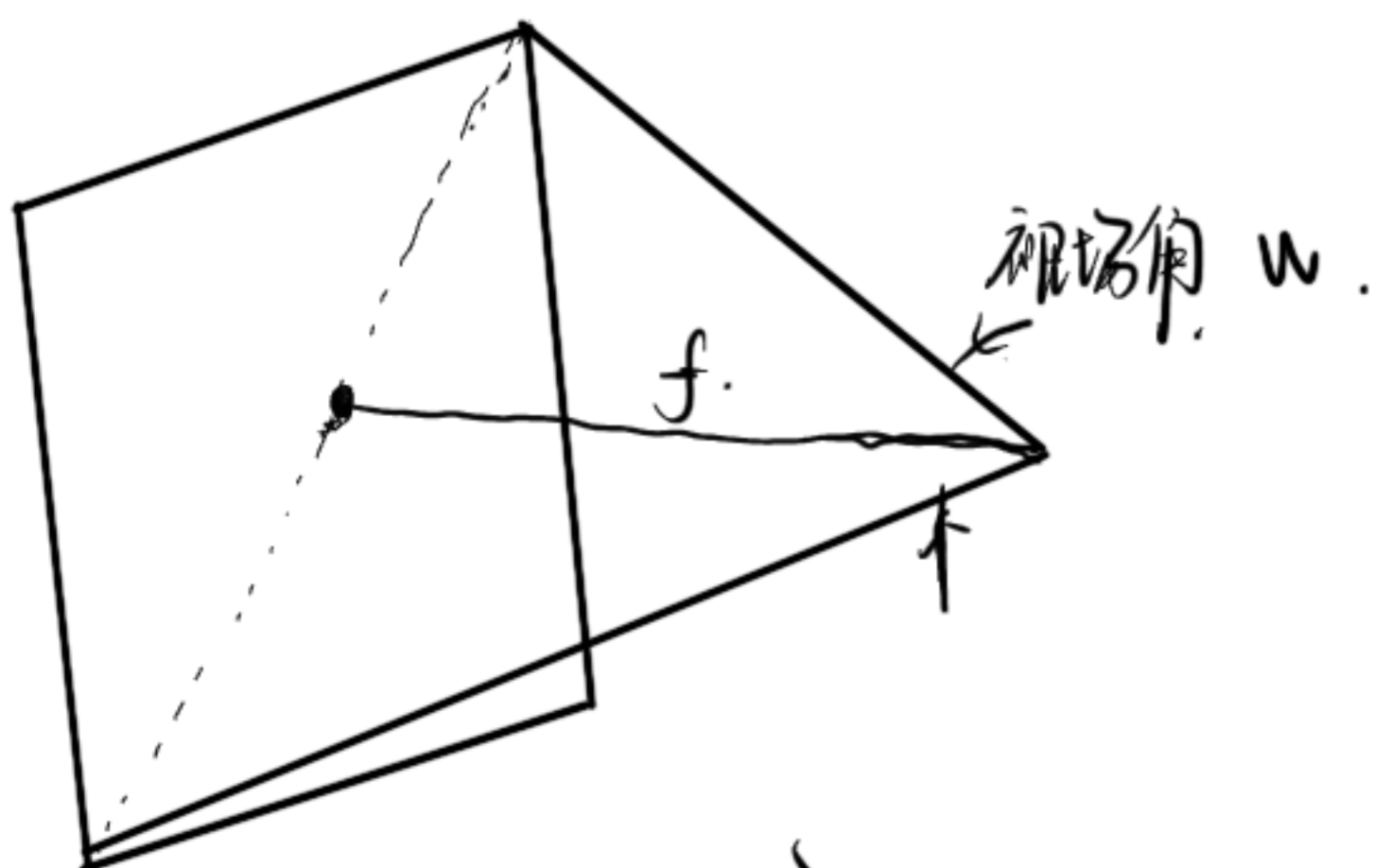
柱面波：

$$E = \frac{A_1}{\sqrt{r}} \exp [i(kr - \omega t)]$$
， $\frac{A_1}{\sqrt{r}}$ 体现出柱面波振幅随 $\sqrt{r} \uparrow$ 而 \downarrow 。



六、用图说明视场角定义。若某一照相物镜的焦距为 80mm，底片尺寸为 50mm×50mm，求该照相物镜的最大视场角。

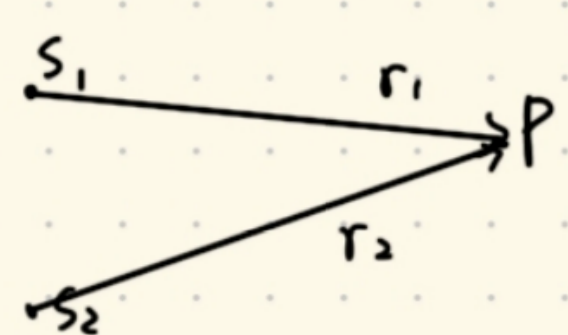
图示视场角定义：



$$\begin{aligned} \omega_{\max} &= 2 \arctan \left(\frac{25\sqrt{2}}{80} \right) \\ &= 2 \arctan \left(\frac{\sqrt{2}}{4} \right) \\ &= 47.68^\circ \end{aligned}$$

八、双光束干涉的解析表征与评估。

考虑在线性介质中的两束光波时叠加：



(r_1, r_2 为光程)

如左图所示，有两个光源 S_1, S_2 ， P 点为空间中一点，设：

$$S_1: E = E_1 \cos(\omega t - kr_1 + \varphi_1) \quad S_2: E = E_2 \cos(\omega t - kr_2 + \varphi_2)$$

则由波的合成知： $E_{\text{合}} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos(\Delta\varphi)}$ ，其中： $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 + kr_1 - kr_2$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2} \cos \Delta\varphi$$

由可见光波长 $\lambda \in [400 \text{ nm}, 760 \text{ nm}]$ ，我们知道，可见光波长很小，频率很大，故我们在观察时看到的光的光强是其在时间 τ 范围内的平均光强，即：

$$I = \frac{\int_0^\tau I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2} \cos \Delta\varphi dt}{\tau} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2} \overline{\cos \Delta\varphi}$$

非相干光源：

对于两个非相干光源，我们知道，其在每个时刻所发出的光的位相不相关，会在 $0 \sim 2\pi$ 内随机变化。因而对非相干光源而言， $I = I_1 + I_2$ ，每个点处都会是光强的相加，每处光强相同，不会出现明暗纹分布。

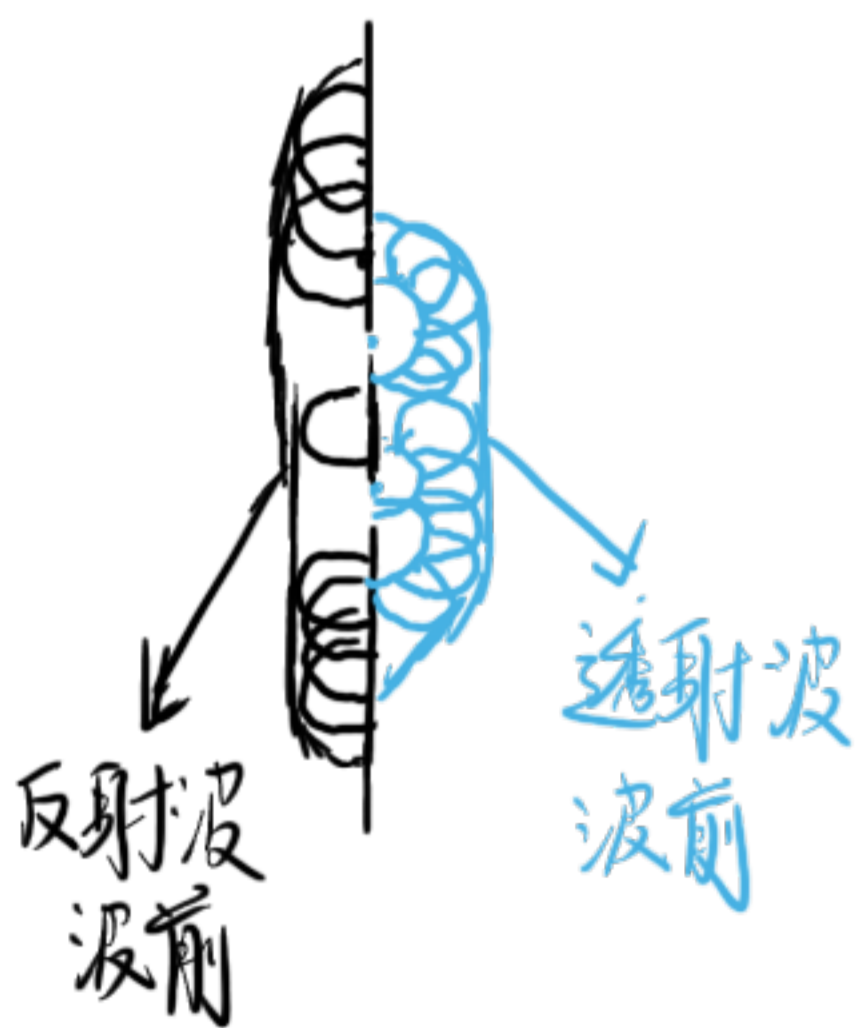
相干光源：

对于相干光源， $\Delta\varphi$ 恒定，故 $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2} \cos \Delta\varphi$ ；当 $\varphi_1 = \varphi_2$ 时，有与之前波的干涉相同的结论：

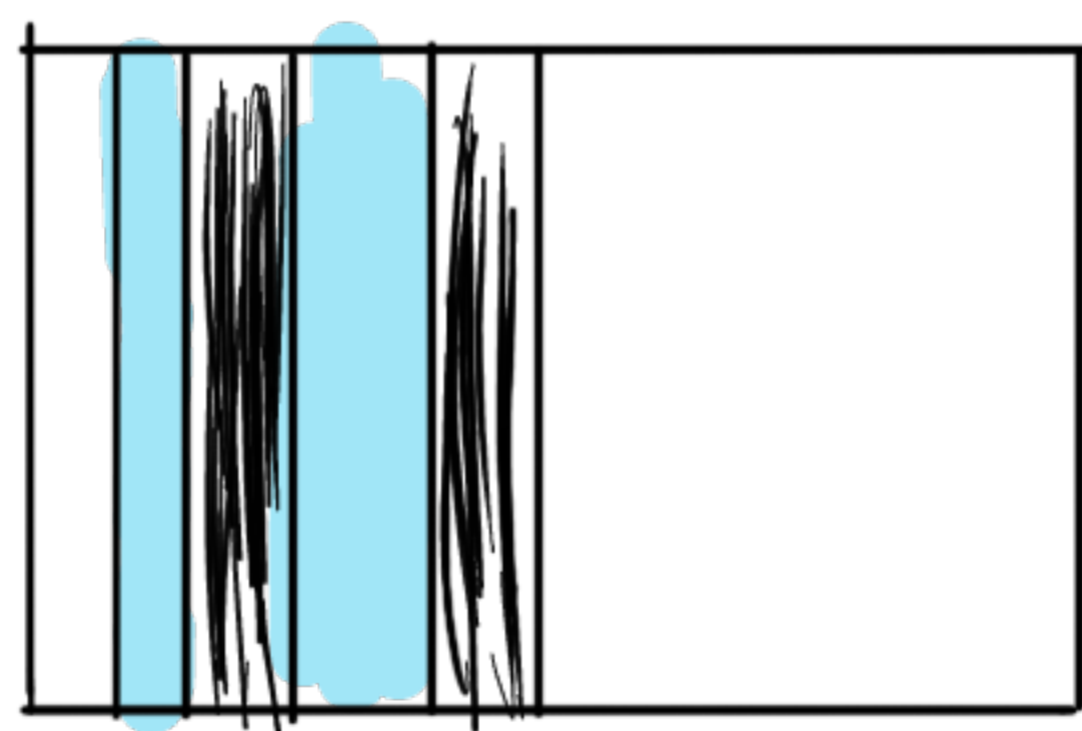
① $r_1 + r_2 = k\lambda$ 时，为干涉极大；② $r_1 - r_2 = \frac{(2k+1)\lambda}{2}$ 时，为干涉极小。

十、点光源 S 向开有两个邻近小孔的平面镜 M 发出球面波，图示写出球面波表达式；用惠更斯作图法求出反射波和透射波的波前；在该平面镜后的较远处设有一个观察屏，试画图并定性或定量说明在该屏上会出现何种光学现象；如果将入射光换成光子波，说明会出现什么现象。

球面波表达式： $E = \frac{A}{r} \exp[i(kr - \omega t)]$



会出现干涉现象，观察屏上出现明暗相间的条纹。



$$\Delta x = \frac{\lambda D}{2d}$$

(观察屏距小孔距离)
↓
小孔间距

换成光子波后的现象：长时间积累光子后，在屏上也会出现干涉条纹。反映了光的空间分布，亮纹处表明单个光子到达该位置处的概率较大，暗纹处代表概率较小。