

工程光学题目：

一、简答

1、名词解释、标注与说明。

费马原理：光传播的路径是光程取极值的路径。

光强：辐射强度矢量 $\mathbf{S} = \frac{1}{\mu} \mathbf{E} \times \mathbf{B}$ ，称辐射强度矢量大小的时间平均值为光强，

记为 I ，它反映了一个周期时间内垂直通过单位面积能量的平均值。

光学系统景深：在摄影机镜头或其他成像器前沿能够取得清晰图像的成像所测定的被摄物体前后距离范围。

前景深：
$$\Delta L_1 = \frac{F\delta L(L-f)}{f^2 + F\delta(L-f)}$$

后景深：
$$\Delta L_2 = \frac{F\delta L(L-f)}{f^2 - F\delta(L-f)}$$

景深： $DOF = \Delta L_1 + \Delta L_2$

光的衍射：当波动遇到障碍时，能够绕过障碍物，并在其后的几何阴影区内造成一定的强度分布，这种偏离直线传播的现象称为衍射。

光程：一定时间内光在介质中传播的距离与介质折射率的乘积。

光谱：复色光经过色散系统分光后，被色散开的单色光按波长大小排列的图案称为光谱。

光的干涉：两束频率相同、相位差恒定的光波相遇时，产生叠加现象，使得光强部分区域始终增强，部分区域始终削弱的现象为光的干涉。

发光强度：光源在给定方向上单位立体角内的光通量， $I = \frac{d\phi}{d\Omega}$ 。

亮度：发光体在特定方向上的光强大小。

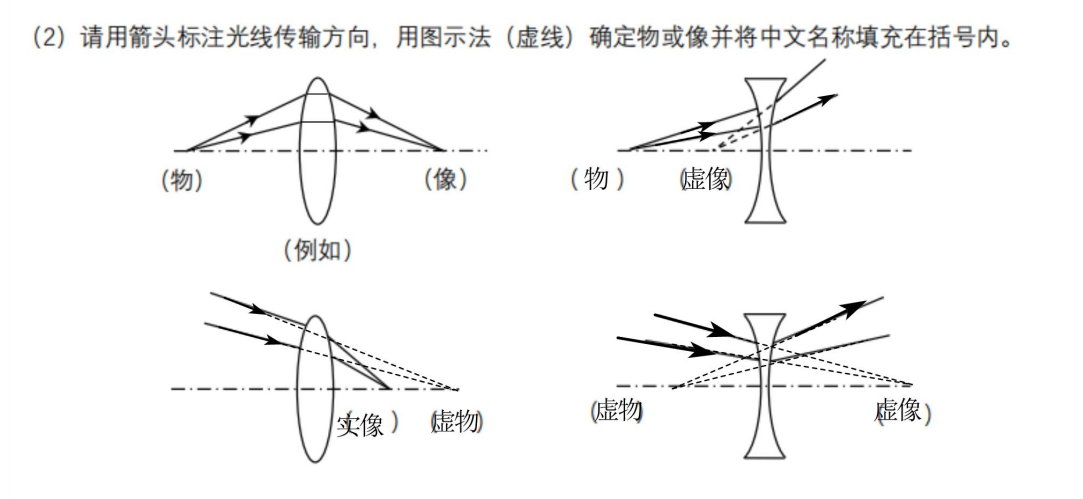
理想光学系统：足够大空间内的各个点能以足够宽光束成完善像、理想像的光

学系统。

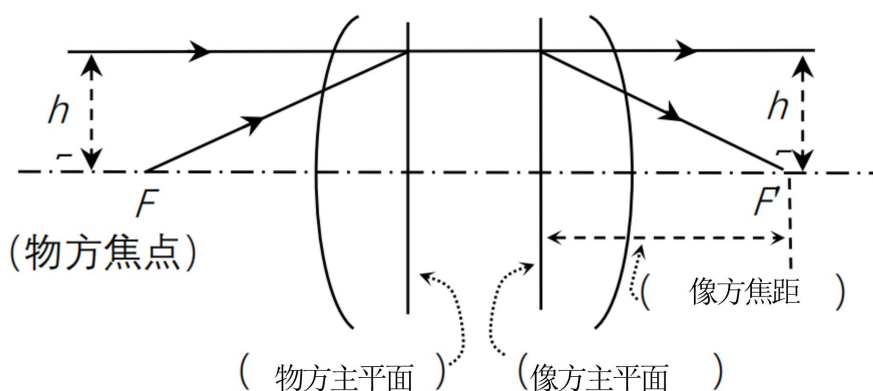
常规光学系统的波长衍射限：理想物点经光学系统成像，由于衍射的限制，不可能得到理想像点，而是得到一个夫朗和费衍射像。

光学近场与远场：近场是指研究物体表面一个波长以内的光学现象，在这个区域内，衍射无法被忽略；远场是指光波传播到远离光源或物体，超过一定距离（通常大于一个波长）后，可以近似为平面波或球面波，此时光的波动性质对光场分布的影响可以忽略，可以用几何光学的方法来描述。

2、用箭头标注光纤传输方向，用图示法（虚线）确定物或者像并将中文名称填充在括号内。

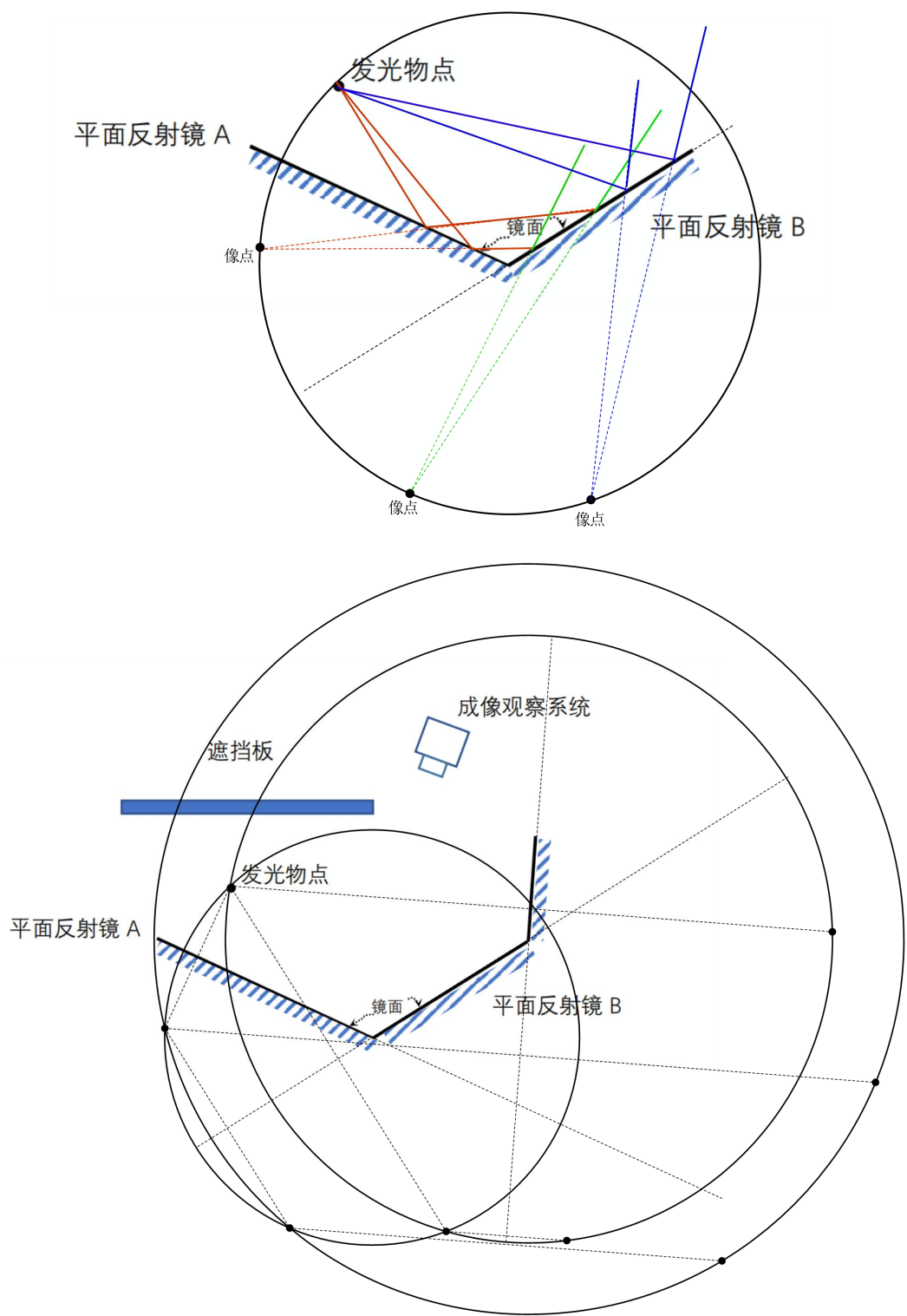


3、请在括号内填充箭头所指的平面或虚线名称。



理想光学系统

4、请画出像点和成像光路

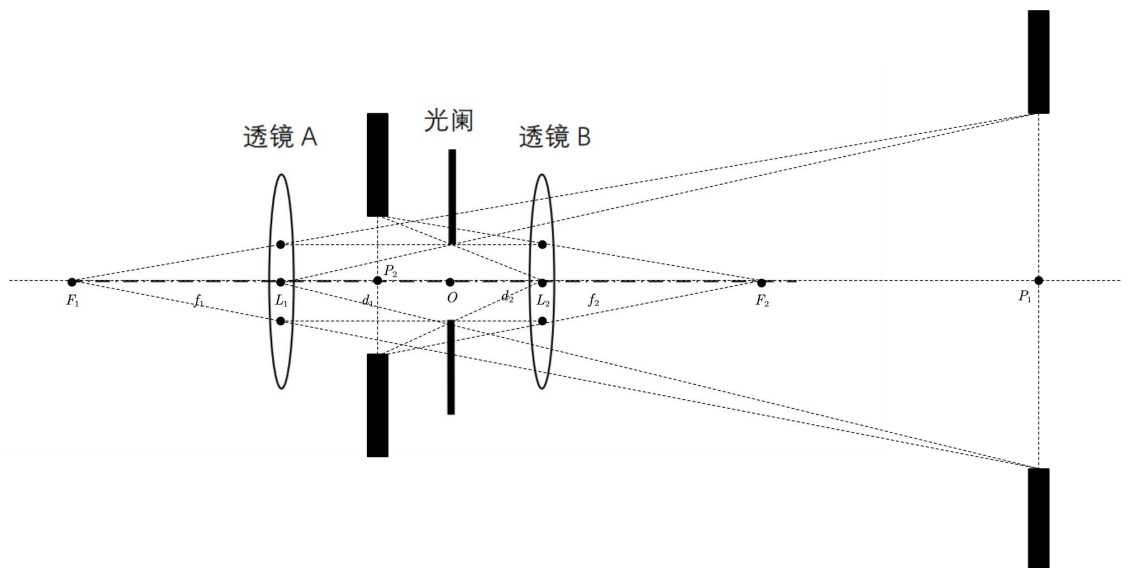


5、请画出入瞳和出瞳。

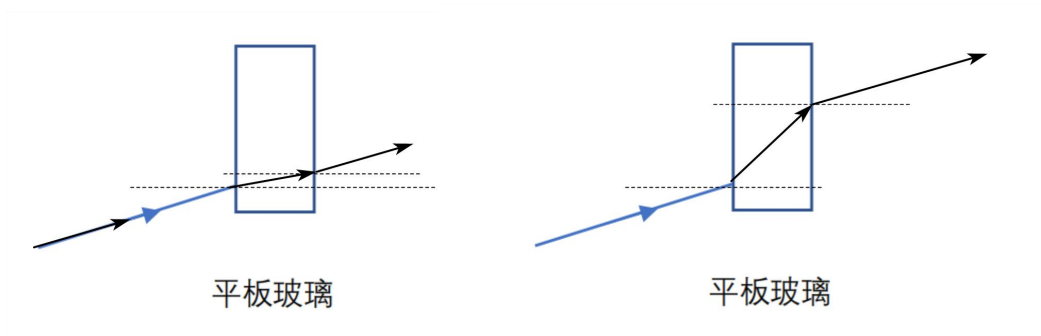
入瞳是指光阑在透镜 A 中所成的虚像，出瞳是光阑在透镜 B 中所成的虚像，则

入瞳到透镜 A 的距离为： $L_1P_1 = \frac{f_1d_1}{f_1 - d_1}$ ，同理有出瞳到 B 的距离为：

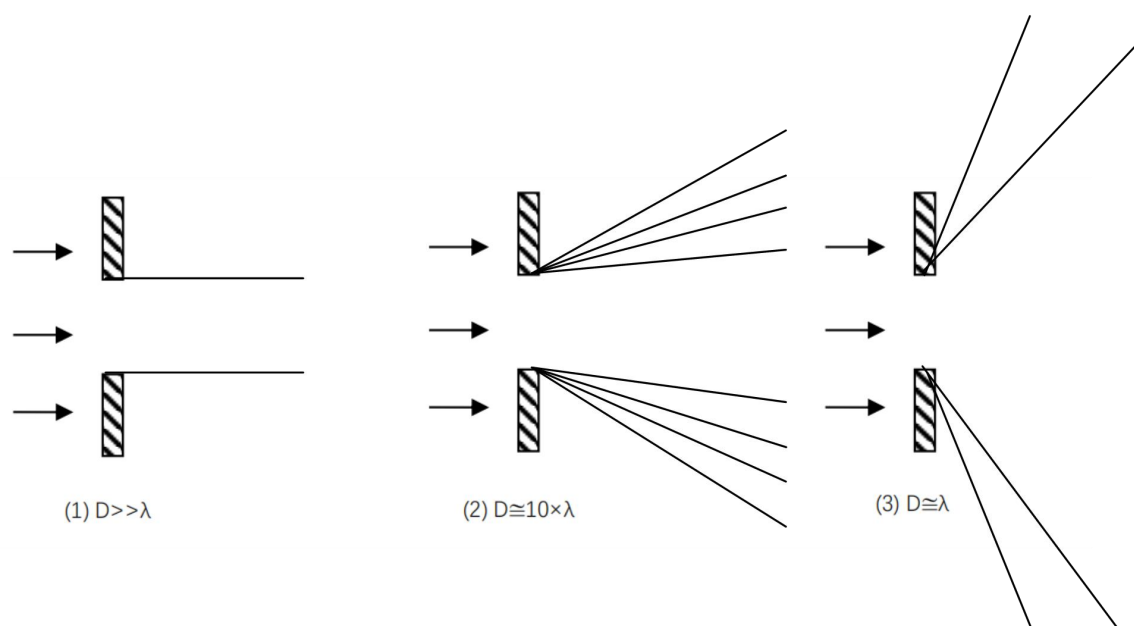
$$L_2 P_2 = \frac{f_2 d_2}{f_2 - d_2}$$

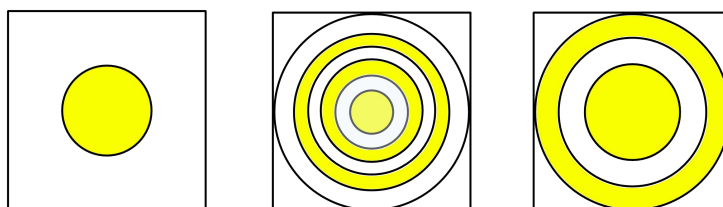


6、请画出在平板玻璃中行进或者出射的光柱。



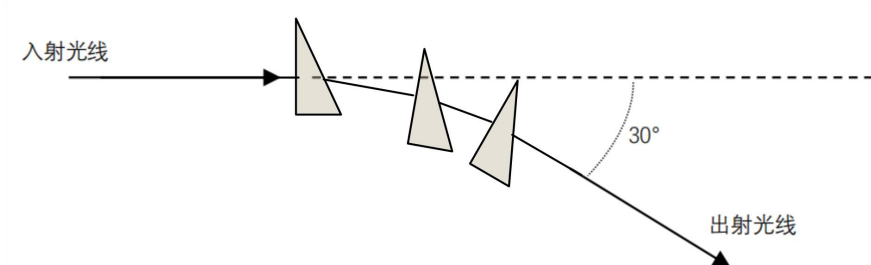
7、请画出从圆孔出射的激光波束的典型空间分布。



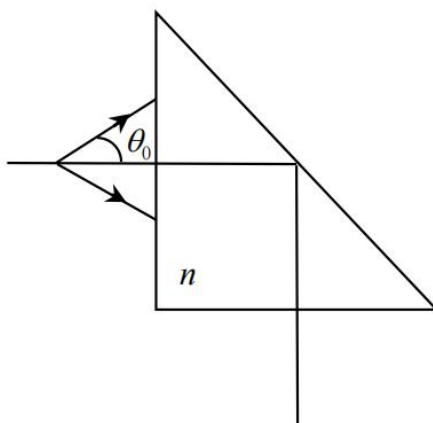


8、若右图中的光楔可将入射光方向改变 10° ，则将入射光方向改变 30° 需要使用几个光楔并画出光楔配置图。

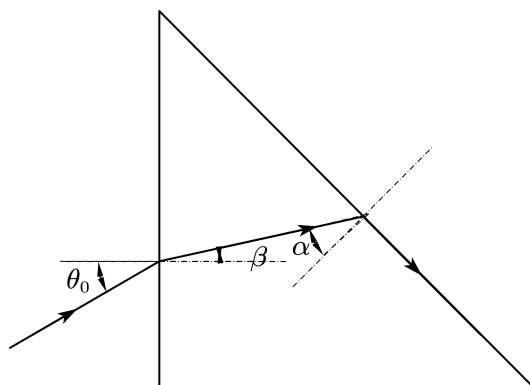
由于每一个可以改变 10° ，因此需要使用 3 个光楔可以改变 30°



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。



画出折射光路图，若经过斜面全反射后出射，得到光路图如下：



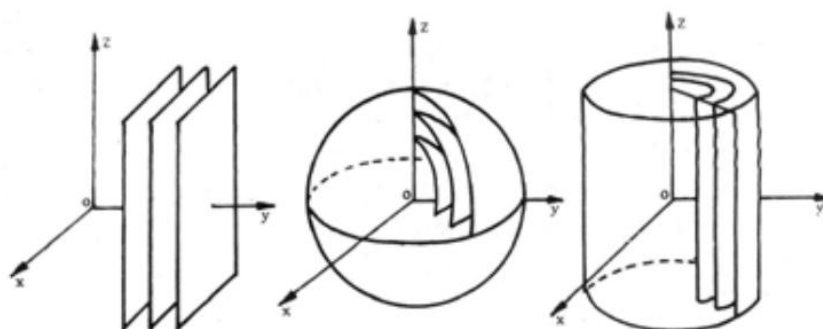
根据光路图，有： $n_{\text{空气}} \sin(90^\circ) = n \sin \alpha$

$n_{\text{空气}} \sin(\theta_0) = n \sin \beta$ ，同时，根据几何性质，可以得到， $\alpha + \beta = 45^\circ$ 。

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{1}{1.5163}\right) = 41.26^\circ, \quad \beta = 45^\circ - \alpha = 3.738^\circ,$$

$$\theta_0 = \sin^{-1}\left(\frac{1.5163 \times \sin 3.738^\circ}{1}\right) = 5.67^\circ$$

三、作图并计算说明平面波、球面波和柱面波的解析表征。



对任意电磁波而言，均满足：

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0, \quad \nabla^2 \vec{B} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0$$

利用上式，有：

平面波：假设沿 z 轴传播，

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0$$

只关注 E ，有 $E = A \cos\left[\omega\left(\frac{z}{c} - t\right)\right] = A \cos(kz - \omega t)$ ，因此，若平面波沿

任意方向传播，只需要将振幅 A 以及 k, z 改变即可，得到的传播向量为：

$$E = \vec{A} \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)$$

对于球面波，利用上述推导，得到：

$$E = \frac{\vec{A}}{r} \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)$$

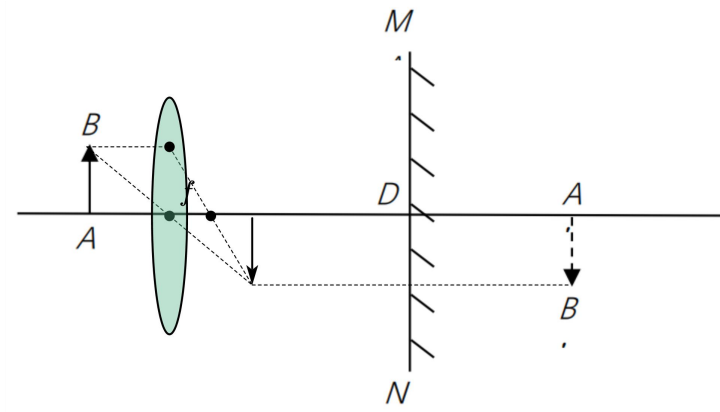
对柱面波，有：

$$E = \frac{\vec{A}}{\sqrt{r}} \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)$$

四、给出光强的解析表征。

$$I = \langle S \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T S dt = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} A^2$$

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。



物像距离为： $u + v = 700 - 130 = 570mm$ ，则有：

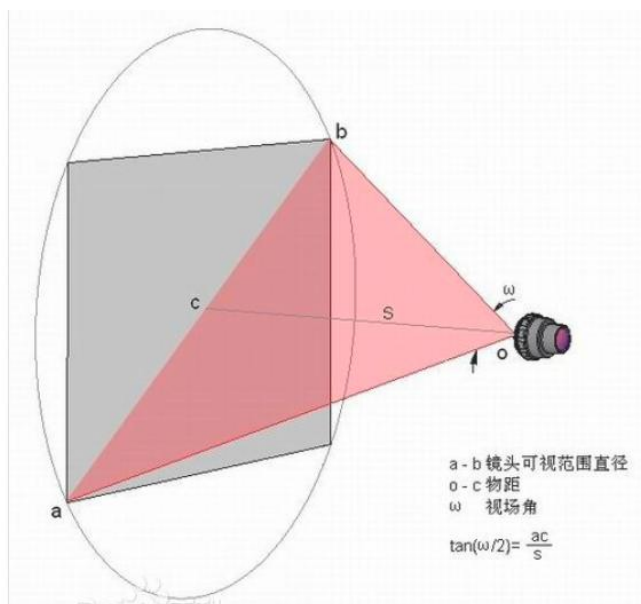
$$v = \frac{fu}{f - u}, \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}, \beta = \frac{v}{u} = \frac{1}{2}$$

可以得到： $u = 380mm, v = 190mm, f = \frac{uv}{u + v} = 126.667mm$ ，透镜距平

面镜的距离为： $d = 700 - 380 = 320mm$

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 $50mm \times 50mm$ ，求该照相物镜的最大视场角。

视场角：以光学仪器的镜头为顶点，以被测目标的物像可通过镜头的最大范围的两条边缘构成的夹角。



底片的外接圆半径为： $r = 25\sqrt{2}mm$ ，焦距为： $f = 80mm$ ，因此视场角的一半为： $\theta = \arctan\left(\frac{25\sqrt{2}}{80}\right) = 23.84^\circ$ ，则视场角的大小为： $\theta_{MAX} = 2\theta = 47.69^\circ$

七、一氦氖激光器。发射波长为 $6.328 \times 10^{-7}m$ 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 $1.0 \times 10^{-3}rad$ ，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。

$$\text{光通量: } \Phi = K_m \int V(\lambda) \Phi_{e\lambda} d\lambda = K_m V(\lambda) \Phi_{e\lambda}$$

将 $K_m = 683lm/W$, $V(\lambda) = 0.238$, $\Phi_{e\lambda} = 5 \times 10^{-3}W$ 带入上式，得到光通量为：

$$\phi = 0.81277lm$$

$$\text{光强为: } I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega} = \frac{\Phi_v}{\Omega} = \frac{0.81277}{(1 \times 10^{-3}/2)^2 \pi} = 1.03485 \times 10^6 cd$$

$$\text{光亮度为: } L_v = \frac{I_v}{A} = \frac{1.03485 \times 10^6}{(1 \times 10^{-3}/2)^2 \pi} = 1.31761 \times 10^{12} \text{ cd/m}$$

八、双光束干涉的解析表征与评估。

产生干涉的必要条件为：频率相同，具有恒定的相位差，振动方向不垂直。

当满足上述条件时，可以将两束光分别设为： $E_1 = A_1 \cos[k_1 r - \omega t + \varphi_{10}]$ 因此， $E_2 = A_2 \cos[k_2 r - \omega t + \varphi_{20}]$

得到的干涉项为 $2\langle E_1 \cdot E_2 \rangle = A_1 A_2 \cos[(k_1 - k_2) \cdot \vec{r} + (\varphi_{10} - \varphi_{20})]$

则有以下推论：

光强： $I_r = |A_1|^2 + |A_2|^2 + 2A_1 A_2 \cos \varphi$

其中， $\varphi = ((k_1 - k_2)r + (\varphi_{10} - \varphi_{20}))$

因此，有：

当 $\varphi = 2k\pi$ 时， $I_r = (A_1 + A_2)^2$ ，为完全相长干涉，对应于干涉条纹中的亮纹；

当 $\varphi = 2k\pi - \pi$ 是， $I_r = (A_1 - A_2)^2$ ，为完全相消干涉，对应干涉条纹中的暗纹。

根据光程差的定义，有： $\Delta r = \frac{\varphi}{2\pi} \cdot \lambda$ ，带入上式，可得：

当 $\Delta r = k\lambda$ 时，条纹为亮纹，当 $\Delta r = k\lambda + \frac{1}{2}\lambda$ 时，干涉条纹为暗纹。

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

$E_z = 0$ ，

求：（1）该电磁波的频率、波长、振幅、初相位和光强；

（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。

解：（1）对照： $\vec{E} = \vec{A} \cos \left[2\pi \nu \left(\frac{z}{c} - t \right) + \phi \right]$ ，可得：

振幅 $A = 2V/m$ ，频率 $\nu = 1 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ，波长：

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \times 10^8}{10^{14}} = 3 \times 10^{-6} m = 3000 nm, \text{ 初相位: } \phi = \frac{\pi}{2}, I = A^2 = 4cd$$

(2) 波的传播方向为沿 z 轴正方向, 电矢量在 y 轴方向振动。

(3) 磁场 B 振动方向为 x 轴, 因此 $B_y = B_z = 0$, 在 x 轴方向上, 振动方程为

$$B_x = \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} E_y = 6.67 \times 10^{-9} \cos \left[2\pi \times 10^{14} \left(\frac{z}{c} - t \right) + \frac{\pi}{2} \right]$$

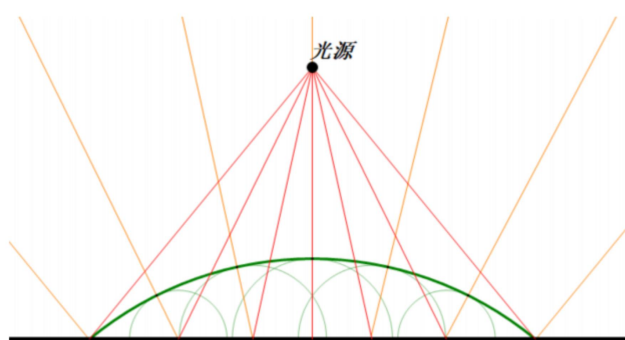
$$\text{能流密度为: } S = \vec{E} \times \vec{H} = 2\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} \cos^2 \left[2\pi \times 10^{14} \left(\frac{z}{c} - t \right) + \frac{\pi}{2} \right]$$

$$\text{平均能流密度为: } S = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} E_0^2 = 5.3 \times 10^{-3} W/m^2$$

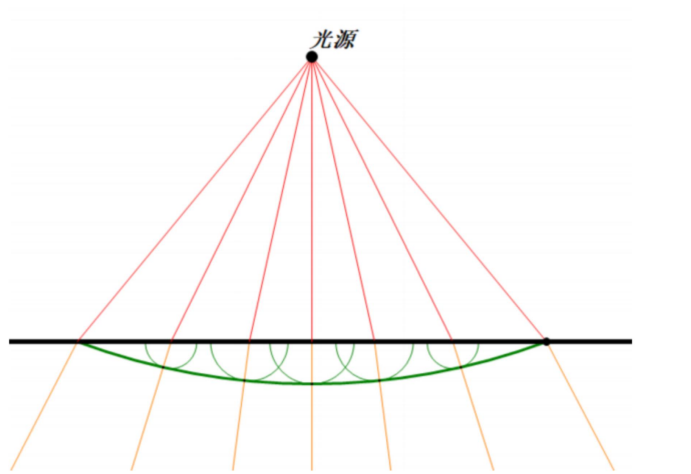
十、点光源 S 向开有两个近邻小孔的平面镜 M 发出球面波, 图示写出球面波表达式; 用惠更斯作图法求出反射波和透射波的波前; 在该平面镜后的较远处设有一个观察屏, 试画图并定性或定量说明在该屏上会出现何种光学现象; 如果将入射光换成光子波, 说明会出现什么现象。

$$\text{球面波表达式为: } \vec{E} = \frac{\vec{A}}{r} e^{i(kr - \omega t)}$$

反射波波前 (圆弧):

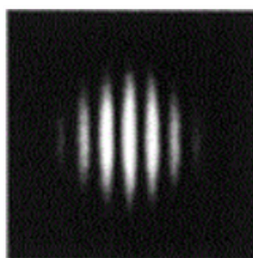


折射波波前(曲率半径更大的圆弧):



透射波波前：

若双孔间距离足够小，则在屏上会出现衍射图样，如下图所示：



如果将入射光换成光子波，则刚开始接收屏上的图样呈现为杂乱无章的散点，时间长了之后散点累积展现出了干涉条纹。

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？

惠更斯原理主要针对与解释光的折射、反射和衍射现象。

基本思想为将波阵面上的每个点都当做点光源，发出以光速传播的球面波，这些球面波进行干涉合成后，得到的新的波阵面就是新的波前。

该方法无计算公式，一般采取几何画图的方式进行，由于折射与反射的物体折射率不同的原因，由点光源发出的光线经反射和折射得到的波前不同，存在曲率差异。

菲涅尔光强计算主要针对光在近场传播时，发生衍射现象的光强分布。

$$\text{计算公式为: } U(P) = \frac{1}{j\lambda r} \int_{-\infty}^{\infty} U(P_0) K(\theta) e^{jkr} ds,$$

其中:

$$K(\theta) \approx 1, r = \sqrt{z^2 + (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \approx z \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x - x_0}{z} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{y - y_0}{z} \right)^2 \right]$$

基尔霍夫衍射场计算主要针对于光波在光源或障碍物附近的近场区域的光场分布。

$$\text{计算公式: } U(x, y, d) = \frac{1}{j\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U_0(x_0, y_0, d) \frac{e^{jkr}}{r} K(\theta) dx_0 dy_0,$$

其中, $r = \sqrt{d^2 + (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$, $K(\theta) = \frac{\cos(\theta) + 1}{2}$, θ 为 $(x_0, y_0, 0)$ 到

(x, y, d) 的矢量与 $(x_0, y_0, 0)$ 的法线的夹角, $K(\theta)$ 为倾斜因子。