

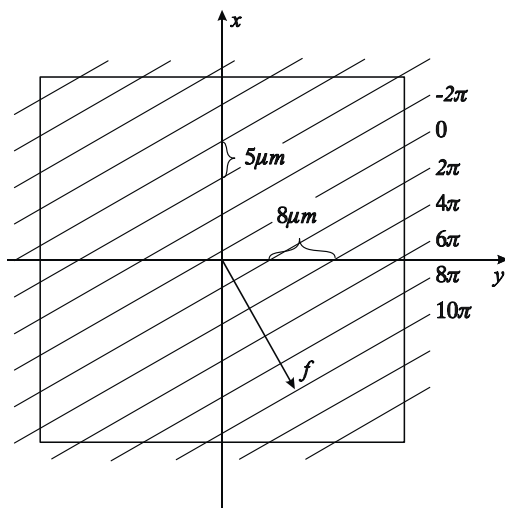
# 《物理光学与应用光学》习题及选解

## 第一章

### ● 习题

1-1. 一个线偏振光在玻璃中传播时, 表示为:  $E = 10^2 \cos(\pi \times 10^{15} \times (\frac{z}{0.65c} - t))i$ , 试求该光的频率、波长, 玻璃的折射率。

1-2. 已知单色平面光波的频率为  $\nu = 10^{14}$  Hz, 在  $z = 0$  平面上相位线性增加的情况如图所示。求  $f_x$ ,  $f_y$ ,  $f_z$ 。



1-2 题用图

1-3. 试确定下列各组光波表示式所代表的偏振态:

(1)  $E_x = E_0 \sin(\omega t - kz)$ ,  $E_y = E_0 \cos(\omega t - kz)$ ;

(2)  $E_x = E_0 \cos(\omega t - kz)$ ,

$$E_y = E_0 \cos(\omega t - kz + \pi/4);$$

(3)  $E_x = E_0 \sin(\omega t - kz)$ ,  $E_y = -E_0 \sin(\omega t - kz)$ 。

1-4. 在椭圆偏振光中, 设椭圆的长轴与x轴的夹角为  $\alpha$ , 椭圆的长、短轴各为  $2a_1$ 、 $2a_2$ ,  $E_x$ 、 $E_y$ 的相位差为  $\varphi$ 。求证:  $\tan 2\alpha = \frac{2E_{x0} E_{y0}}{E_{x0}^2 - E_{y0}^2} \cos \varphi$ 。

$$\text{为 } \varphi \text{。求证: } \tan 2\alpha = \frac{2E_{x0} E_{y0}}{E_{x0}^2 - E_{y0}^2} \cos \varphi \text{。}$$

1-5. 已知冕牌玻璃对  $0.3988 \mu\text{m}$  波长光的折射率为  $n = 1.52546$ ,  $dn/d\lambda = -1.26 \times 10^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ , 求光在该玻璃中的相速和群速。

1-6. 试计算下面两种色散规律的群速度 (表示式中的  $v$  表示是相速度):

(1) 电离层中的电磁波,  $v = \sqrt{c^2 + b^2 \lambda^2}$ , 其中  $c$  是真空中光速,  $\lambda$  是介质中的电磁波波长,  $b$  是常数。

(2) 充满色散介质 ( $\varepsilon = \varepsilon(\omega)$ ,  $\mu = \mu(\omega)$ ) 的直波导管中的电磁波,  $v_p = c\omega / \sqrt{\omega^2 \varepsilon \mu - c^2 a^2}$ , 其中  $c$  是真空中光速,  $a$  是与波导管截面有关的常数。

1-7. 求从折射率  $n = 1.52$  的玻璃平板反射和折射的光的偏振度。入射光是自然光, 入射角分别为  $0^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $56^\circ 40'$ ,  $90^\circ$ 。

1-8. 若入射光是线偏振的, 在全反射的情况下, 入射角应为多大方能使得在入射面内振动和垂直入射面振动的两反射光间的相位差为极大? 这个极大值等于多少?

1-9. 电矢量振动方向与入射面成  $45^\circ$  的线偏振光, 入射到两种透明介质的分界面上, 若入射角  $\theta_1 = 50^\circ$ ,  $n_1 = 1$ ,  $n_2 = 1.5$ , 则反射光的光矢量与入射面成多大的角度? 若  $\theta_1 = 60^\circ$  时, 该角度又为多

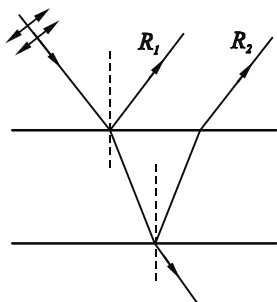
大?

1-10. 若要使光经红宝石 ( $n = 1.76$ ) 表面反射后成为完全偏振光, 入射角应等于多少? 求在此入射角的情况下, 折射光的偏振度  $P_t$ 。

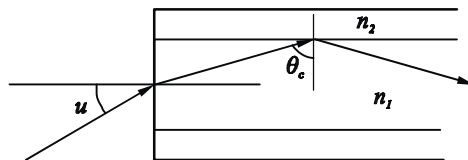
1-11. 如图所示, 光线穿过平行平板, 由  $n_1$  进入  $n_2$  的界面振幅反射系数为  $r$ , 透射系数为  $t$ , 下表面的振幅反射系数为  $r'$ , 透射系数为  $t'$ 。试证明: 相应于平行和垂直于图面振动的光分量有: ①  $r_{\perp} = -r'_{\perp}$ , ②  $r_{\parallel} = -r'_{\parallel}$ , ③  $t_{\perp} \cdot t'_{\perp} + r_{\perp}^2 = 1$ , ④  $r_{\parallel}^2 + t_{\parallel} \cdot t'_{\parallel} = 1$ , ⑤  $1 + r_{\parallel} \cdot r'_{\parallel} = t_{\parallel} \cdot t'_{\parallel}$ 。

1-12. 一束自然光从空气垂直入射到玻璃表面, 试计算玻璃表面的反射率  $R_0 = ?$  此反射率  $R_0$  与反射光波长是否有关? 为什么? 若光束以  $45^\circ$  角入射, 其反射率  $R_{45} = ?$  由此说明反射率与哪些因素有关 (设玻璃折射率为 1.52)?

1-13. 如图所示, 当光从空气斜入射到平行平面玻璃片上时, 从上、下表面反射的光  $R_1$  和  $R_2$  之间相位关系如何? 它们之间是否有附加的“半波程差”? 对入射角大于和小于布儒斯特角的两种情况分别进行讨论。



1-13 题用图



1-14 题用图

1-14. 如图所示的一根圆柱形光纤, 纤芯折射率为  $n_1$ , 包层折射率为  $n_2$ , 且  $n_1 > n_2$ ,

(1) 证明入射光的最大孔径角  $2u$  (保证光在纤芯和包层界面发生全反射) 满足关系式:

$$\sin u < \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

(2) 若  $n_1 = 1.62$ ,  $n_2 = 1.52$ , 求最大孔径角  $2u = ?$

## ● 部分习题解答

1-4. 证: 由图可以看出:  $\tan \alpha = \frac{a_2}{a_1}$ , 所以:  $\tan 2\alpha = \frac{2 \tan \alpha}{1 - \tan^2 \alpha} = \frac{2 \frac{a_2}{a_1}}{1 - (\frac{a_2}{a_1})^2} = \frac{2a_1 a_2}{a_1^2 - a_2^2}$

若要求证  $\tan 2\alpha = \frac{2E_{x0} E_{y0} \cos \varphi}{E_{x0}^2 - E_{y0}^2}$ , 可以按以下方法计算:

设  $\begin{cases} E_x = E_{x0} \cos(\omega t + \varphi) \\ E_y = E_{y0} \cos(\omega t) \end{cases}$  可得：

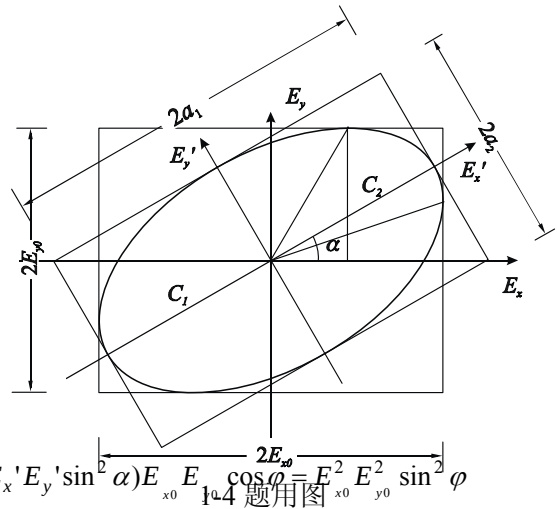
$$\left(\frac{E_x}{E_{x0}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{y0}}\right)^2 - 2\frac{E_x}{E_{x0}}\frac{E_y}{E_{y0}}\cos\varphi = \sin^2\varphi$$

进行坐标变换： $\begin{cases} E_x = E'_x \cos\alpha - E'_y \sin\alpha \\ E_y = E'_x \sin\alpha + E'_y \cos\alpha \end{cases}$

代入上面的椭圆方程：

$$(E_x'^2 \cos^2\alpha + E_y'^2 \sin^2\alpha - 2E'_x E'_y \sin\alpha \cos\alpha)E_{y0}^2 + (E_x'^2 \sin^2\alpha + E_y'^2 \cos^2\alpha + 2E'_x E'_y \sin\alpha \cos\alpha)E_{x0}^2$$

$$- 2(E_x'^2 \sin\alpha \cos\alpha - E_y'^2 \sin\alpha \cos\alpha + E'_x E'_y \cos^2\alpha - E'_x E'_y \sin^2\alpha)E_{x0}E_{y0} \cos\varphi = E_{x0}^2 E_{y0}^2 \sin^2\varphi$$



$$(E_x'^2 \cos^2\alpha + E_y'^2 \sin^2\alpha - E'_x E'_y \sin 2\alpha)E_{y0}^2 + (E_x'^2 \sin^2\alpha + E_y'^2 \cos^2\alpha + E'_x E'_y \sin 2\alpha)E_{x0}^2$$

$$- ((E_x'^2 - E_y'^2) \sin 2\alpha + 2E'_x E'_y \cos 2\alpha)E_{x0}E_{y0} \cos\varphi = E_{x0}^2 E_{y0}^2 \sin^2\varphi$$

$$E_x'^2 (E_{y0}^2 \cos^2\alpha + E_{x0}^2 \sin^2\alpha - E_{x0}E_{y0} \sin 2\alpha \cos\varphi) + E_y'^2 (E_{y0}^2 \sin^2\alpha + E_{x0}^2 \cos^2\alpha + E_{x0}E_{y0} \sin 2\alpha \cos\varphi)$$

$$+ 2E'_x E'_y ((E_{x0}^2 - E_{y0}^2) \sin 2\alpha - 2E_{x0}E_{y0} \cos 2\alpha \cos\varphi) = E_{x0}^2 E_{y0}^2 \sin^2\varphi$$

在  $(E_{x0}^2 - E_{y0}^2) \sin 2\alpha - 2E_{x0}E_{y0} \cos 2\alpha \cos\varphi = 0$  时，即交叉项系数为零时，这时的  $E'_x$ 、 $E'_y$  轴即为椭圆的长轴和短轴。

由  $(E_{x0}^2 - E_{y0}^2) \sin 2\alpha - 2E_{x0}E_{y0} \cos 2\alpha \cos\varphi = 0$  解得：

$$\tan 2\alpha = \frac{2E_{x0}E_{y0}}{E_{x0}^2 - E_{y0}^2} \cos\varphi$$

1-11. 证：依照 Fresnel's Formula,

$$\frac{E_{r0s}}{E_{i0s}} = -\frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$\frac{E_{r0p}}{E_{i0p}} = \frac{\tan(\theta_1 - \theta_2)}{\tan(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$\frac{E_{t0s}}{E_{i0s}} = \frac{2\cos\theta_1 \sin\theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$\frac{E_{t0p}}{E_{i0p}} = \frac{2\cos\theta_1 \sin\theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2) \cos(\theta_1 - \theta_2)}$$

①、②依据题意，介质平板处在同一种介质中，由 Fresnel's Formula 的前两项，可以看出不论从介质 1 到介质 2，还是由介质 2 到介质 1 的反射，入射角和折射角调换位置后振幅反射率大小不变，要出一个负号，所以  $r_{\perp} = -r'_{\perp}$ ， $r_{\parallel} = -r'_{\parallel}$ 。

$$\textcircled{3} t_{\perp} \cdot t'_{\perp} = \frac{2\cos\theta_1 \sin\theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{2\cos\theta_2 \sin\theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} = \frac{\sin 2\theta_1 \sin 2\theta_2}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$\begin{aligned} r_{\perp}^2 &= \frac{\sin^2(\theta_1 - \theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} = \frac{(\sin\theta_1 \cos\theta_2 - \cos\theta_1 \sin\theta_2)^2}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} \\ &= \frac{\sin^2\theta_1 \cos^2\theta_2 + \cos^2\theta_1 \sin^2\theta_2 - 2\sin\theta_1 \cos\theta_2 \cos\theta_1 \sin\theta_2}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(\sin \theta_1 \cos \theta_2 + \cos \theta_1 \sin \theta_2)^2 - 4 \sin \theta_1 \cos \theta_2 \cos \theta_1 \sin \theta_2}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} \\
&= \frac{\sin^2(\theta_1 + \theta_2) - \sin 2\theta_1 \sin 2\theta_2}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} \\
&= 1 - \frac{\sin 2\theta_1 \sin 2\theta_2}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} = 1 - t_{\perp} \cdot t_{\perp}', \quad \text{所以} \quad t_{\perp} \cdot t_{\perp}' + r_{\perp}^2 = 1。
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
④ \quad t_{//} \cdot t_{//}' &= \frac{2 \cos \theta_1 \sin \theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2) \cos(\theta_1 - \theta_2)} \cdot \frac{2 \cos \theta_2 \sin \theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2) \cos(\theta_2 - \theta_1)} = \frac{\sin 2\theta_1 \sin 2\theta_2}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2) \cos^2(\theta_1 - \theta_2)} \\
r_{//}^2 &= \frac{\tan^2(\theta_1 - \theta_2)}{\tan^2(\theta_1 + \theta_2)} = \frac{\sin^2(\theta_1 - \theta_2) \cos^2(\theta_1 + \theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2) \cos^2(\theta_1 - \theta_2)} \\
1 - r_{//}^2 &= \frac{\sin^2(\theta_1 + \theta_2) \cos^2(\theta_1 - \theta_2) - \sin^2(\theta_1 - \theta_2) \cos^2(\theta_1 + \theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2) \cos^2(\theta_1 - \theta_2)} \\
&= \frac{4(\sin^2 \theta_1 \sin \theta_2 \cos \theta_2 + \sin \theta_2 \cos^2 \theta_1 \cos \theta_2)(\sin \theta_1 \cos^2 \theta_2 \cos \theta_1 + \cos \theta_1 \sin \theta_1 \sin^2 \theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2) \cos^2(\theta_1 - \theta_2)} \\
&= \frac{4 \sin \theta_2 \cos \theta_2 \sin \theta_1 \cos \theta_1}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2) \cos^2(\theta_1 - \theta_2)} = \frac{\sin 2\theta_2 \sin 2\theta_1}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2) \cos^2(\theta_1 - \theta_2)} = t_{//} \cdot t_{//}', \quad \text{所以} \quad r_{//}^2 + t_{//} \cdot t_{//}' = 1。
\end{aligned}$$

⑤ 因为  $r_{//} = -r_{//}'$ , 所以  $r_{//} \cdot r_{//}' = -r_{//}^2 = t_{//} \cdot t_{//}' - 1$ , 即得:  $1 + r_{//} \cdot r_{//}' = t_{//} \cdot t_{//}'$

也可以按上述方法计算:

$$r_{//} \cdot r_{//}' = \frac{\tan(\theta_1 - \theta_2)}{\tan(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\tan(\theta_2 - \theta_1)}{\tan(\theta_2 + \theta_1)} = -\frac{\tan^2(\theta_1 - \theta_2)}{\tan^2(\theta_1 + \theta_2)} = -\frac{\sin 2\theta_1 \sin 2\theta_2}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2) \cos^2(\theta_1 - \theta_2)}$$

1-14. (1) 证: 由  $n_0 \sin u = n_1 \sin \theta_1$ , 得  $\theta_1 = \arcsin(\frac{n_0}{n_1} \sin u)$ , 而  $\theta_c = 90^\circ - \theta_1$ ,

$\sin \theta_c = \sin(90^\circ - \theta_1) = \cos \theta_1$ , 即可得到:  $\sqrt{1 - (\frac{n_0}{n_1} \sin u)^2} > \frac{n_2}{n_1}$  时在光纤内表面上发生全反射,

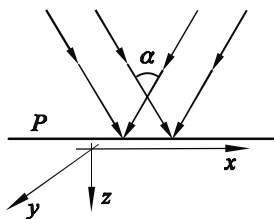
解得:  $\sin u < \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0}$ , 在空气中  $n_0 = 1$ 。

(2) 解:  $\sin u < \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1.62^2 - 1.52^2} = 0.56036$ ,  $u = 34.080^\circ$ ,  $2u = 68.160^\circ$ 。

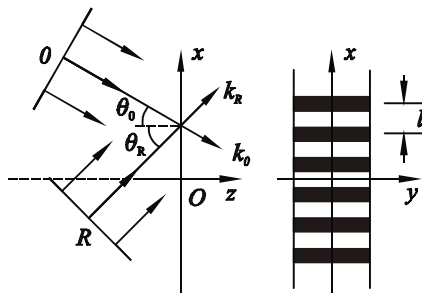
## 第二章

### ● 习题

2-1. 如图所示，两相干平行光夹角为  $\alpha$ ，在垂直于角平分线的方位上放置一观察屏，试证明屏上的干涉亮条纹间的宽度为：
$$l = \frac{\lambda}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}。$$



2-1 题用图



2-2 题用图

2-2. 如图所示，两相干平面光波的传播方向与干涉场法线的夹角分别为  $\theta_0$  和  $\theta_R$ ，试求干涉场上的干涉条纹间距。

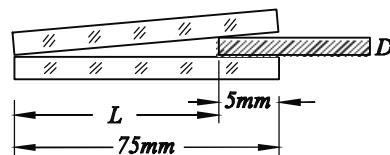
2-3. 在杨氏实验装置中，两小孔的间距为  $0.5\text{mm}$ ，光屏离小孔的距离为  $50\text{cm}$ 。当以折射率为  $1.60$  的透明薄片贴住小孔  $S_2$  时，发现屏上的条纹移动了  $1\text{cm}$ ，试确定该薄片的厚度。

2-4. 在双缝实验中，缝间距为  $0.45\text{mm}$ ，观察屏离缝  $115\text{cm}$ ，现用读数显微镜测得  $10$  个条纹（准确地说是  $11$  个亮纹或暗纹）之间的距离为  $15\text{mm}$ ，试求所用波长。用白光实验时，干涉条纹有什么变化？

2-5. 一波长为  $0.55\mu\text{m}$  的绿光入射到间距为  $0.2\text{mm}$  的双缝上，求离双缝  $2\text{m}$  远处的观察屏上干涉条纹的间距。若双缝距离增加到  $2\text{mm}$ ，条纹间距又是多少？

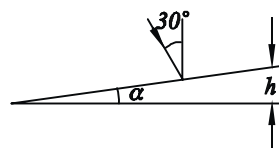
2-6. 波长为  $0.40\mu\text{m} \sim 0.76\mu\text{m}$  的可见光正入射在一块厚度为  $1.2 \times 10^{-6}\text{m}$ 、折射率为  $1.5$  的薄玻璃片上，试问从玻璃片反射的光中哪些波长的光最强？

2-7. 题图绘出了测量铝箔厚度  $D$  的干涉装置结构。两块薄玻璃板尺寸为  $75\text{mm} \times 25\text{mm}$ 。在钠黄光（ $\lambda = 0.5893\mu\text{m}$ ）照明下，从劈尖开始数出  $60$  个条纹（准确地说是从劈尖开始数出  $61$  个明条纹或暗条纹），相应的距离是  $30\text{mm}$ ，试求铝箔的厚度  $D = ?$  若改用绿光照明，从劈尖开始数出  $100$  个条纹，其间距离为  $46.6\text{mm}$ ，试求这绿光的波长。



2-7 题用图

2-8. 如图所示的尖劈形薄膜，右端厚度  $h$  为  $0.005\text{cm}$ ，折射率  $n = 1.5$ ，波长为  $0.707\mu\text{m}$  的光以  $30^\circ$  角入射到上表面，求在这个面上产生的条纹数。若以两块玻璃片形成的空气尖劈代替，

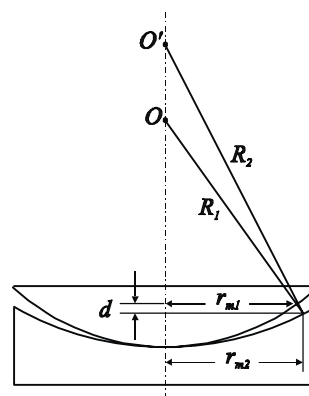


2-8 题用图

产生多少条条纹？

2-9. 利用牛顿环干涉条纹可以测定凹曲面的曲率半径，结构如图所示。试证明第 $m$ 个暗环的半径 $r_m$ 与凹面半径 $R_2$ 、凸面半径 $R_1$ 、光波长 $\lambda_0$ 之间的关系为：

$$r_m^2 = m\lambda_0 \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}。$$

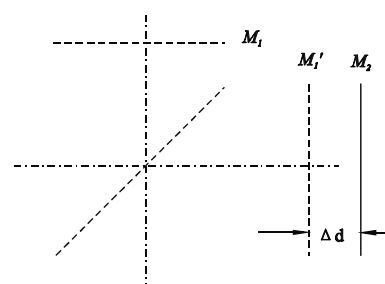


2-9 题用图

2-10. 在观察牛顿环时，用 $\lambda_1 = 0.5 \mu\text{m}$ 的第6个亮环与用 $\lambda_2$ 的第7个亮环重合，求波长 $\lambda_2 = ?$

2-11. 如图所示当迈克尔逊干涉仪中的 $M_2$ 反射镜移动距离为 $0.233\text{mm}$ 时，数得移动条纹数为792条，求光波长。

2-12. 在迈克尔逊干涉仪的一个臂中引入 $100.0\text{mm}$ 长、充一个大气压空气的玻璃管，用 $\lambda = 0.5850 \mu\text{m}$ 的光照射。如果将玻璃管内逐渐抽成真空，发现有100条干涉条纹移动，求空气的折射率。



2-11 题用图

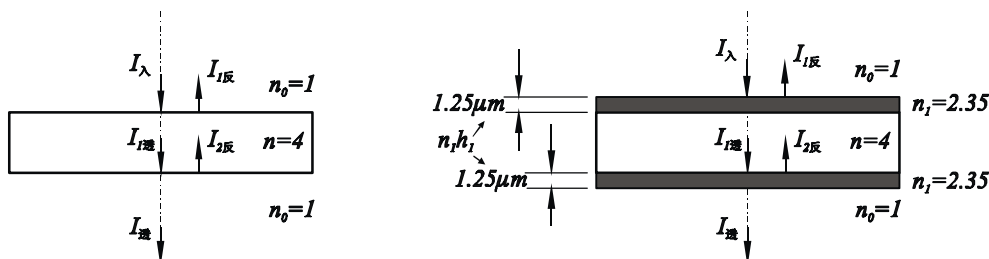
2-13. 已知一组F-P标准具的间距为 $1\text{mm}$ 、 $10\text{mm}$ 、 $60\text{mm}$ 和 $120\text{mm}$ ，对于 $\lambda = 0.55 \mu\text{m}$ 的入射光来说，其相应的标准具常数是多少？为测量 $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ 、波长宽度为 $0.01 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ 的激光，应选用多大间距的F-P标准具？

2-14. 某光源发出波长很接近的二单色光，平均波长为 $600\text{nm}$ 。通过间隔 $d = 10\text{mm}$ 的F-P干涉仪观察时，看到波长为 $\lambda_1$ 的光所产生的干涉条纹正好在波长为 $\lambda_2$ 的光所产生的干涉条纹的中间，问二光波长相差多少？

2-15. 已知F-P标准具反射面的反射系数 $r = 0.8944$ ，求：

- (1) 条纹半宽度。
- (2) 条纹精细度。

2-16. 红外波段的光通过锗片( $\text{Ge}$ ,  $n = 4$ )窗口时，其光能至少损失多少？若在锗片两表面镀上硫化锌( $n = 2.35$ )膜层，其光学厚度为 $1.25 \mu\text{m}$ ，则波长为 $5 \mu\text{m}$ 的红外光垂直入射该窗口时，光能损失多少？



2-17. 在光学玻璃基片( $n_G = 1.52$ )镀上硫化锌膜层( $n = 2.35$ )，入射光波长 $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$ ，求正

入射时给出最大反射率和最小反射率的膜厚度及相应的反射率。

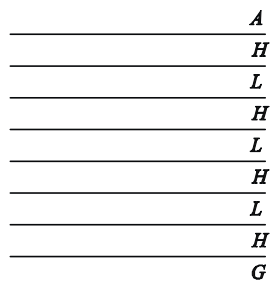
2-18. 在某种玻璃基片 ( $n_G = 1.6$ ) 上镀制单层增透膜, 膜材料为氟化镁 ( $n = 1.38$ ), 控制膜厚, 对波长  $\lambda_0 = 0.5 \mu\text{m}$  的光在正入射时给出最小反射率。试求这个单层膜在下列条件下的反射率:

- (1) 波长  $\lambda_0 = 0.5 \mu\text{m}$ , 入射角  $\theta_0 = 0^\circ$ ;
- (2) 波长  $\lambda = 0.6 \mu\text{m}$ , 入射角  $\theta_0 = 0^\circ$ ;
- (3) 波长  $\lambda_0 = 0.5 \mu\text{m}$ , 入射角  $\theta_0 = 30^\circ$ ;
- (4) 波长  $\lambda = 0.6 \mu\text{m}$ , 入射角  $\theta_0 = 30^\circ$ 。

2-19. 计算比较下述两个 7 层  $\lambda/4$  膜系的等效折射率和反射率:

- (1)  $n_G = 1.50$ ,  $n_H = 2.40$ ,  $n_L = 1.38$ ;
- (2)  $n_G = 1.50$ ,  $n_H = 2.20$ ,  $n_L = 1.38$ 。

由此说明膜层折射率对膜系反射率的影响。

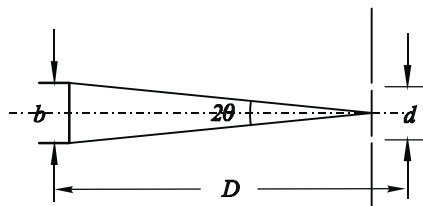


2-20. 对实用波导,  $n + n_G \approx 2n$ , 试证明厚度为  $h$  的对称波导, 传输  $m$  阶模的必要条件为:

$$\Delta n = n - n_G \geq \frac{m^2 \lambda^2}{8nh^2}$$

式中,  $\lambda$  是光波在真空中的波长。

2-21. 太阳直径对地球表面的张角  $2\theta$  约为  $0^\circ 32'$ , 如图所示。在暗室中若直接用太阳光作光源进行双缝干涉实验 (不限制光源尺寸的单缝), 则双缝间距不能超过多大? (设太阳光的波长为  $\lambda = 0.55 \mu\text{m}$ , 日盘上各点的亮度差可以忽略。)



2-22. 在杨氏干涉实验中, 照明两小孔的光源是一个直径为  $2 \text{ mm}$  的圆形光源。光源发射光的波长为  $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$ , 它到小孔的距离为  $1.5 \text{ m}$ 。问两小孔能够发生干涉的最大距离是多少?

2-23. 若光波的波长宽度为  $\Delta\lambda$ , 频率宽度为  $\Delta\nu$ , 试证明  $|\Delta\nu/\nu| = |\Delta\lambda/\lambda|$ 。式中  $\nu$  和  $\lambda$  分别为该光波的频率和波长。对于波长为  $632.8 \text{ nm}$  的 He-Ne 激光, 波长宽度  $\Delta\lambda = 2 \times 10^{-8} \text{ nm}$ , 试计算它的频率宽度和相干长度。

## ● 部分习题解答

2-2. 解: 在图示的坐标系中, 两束平行光的振幅可以写成:

$$E_R = E_{R0} e^{-i(\omega t - kz \cos \theta_R - kx \sin \theta_R)}, \quad E_O = E_{O0} e^{-i(\omega t - kz \cos \theta_O + kx \sin \theta_O)}$$

干涉光振幅:

$$\begin{aligned} E &= E_R + E_O = E_{R0} e^{-i(\omega t - kz \cos \theta_R - kx \sin \theta_R)} + E_{O0} e^{-i(\omega t - kz \cos \theta_O + kx \sin \theta_O)} \\ &= (E_{R0} e^{i(kz \cos \theta_R + kx \sin \theta_R)} + E_{O0} e^{i(kz \cos \theta_O - kx \sin \theta_O)}) e^{-i\omega t} \end{aligned}$$

干涉光强度分布:

$$\begin{aligned}
I &= E \cdot E^* = (E_{R0}e^{i(kz \cos \theta_R + kx \sin \theta_R)} + E_{O0}e^{i(kz \cos \theta_O - kx \sin \theta_O)})(E_{R0}e^{-i(kz \cos \theta_R + kx \sin \theta_R)} + E_{O0}e^{-i(kz \cos \theta_O - kx \sin \theta_O)}) \\
&= E_{R0}^2 + E_{O0}^2 + E_{R0}E_{O0}e^{i(kz \cos \theta_O - kx \sin \theta_O)}e^{-i(kz \cos \theta_R + kx \sin \theta_R)} + E_{R0}E_{O0}e^{i(kz \cos \theta_R + kx \sin \theta_R)}e^{-i(kz \cos \theta_O - kx \sin \theta_O)} \\
&= E_{R0}^2 + E_{O0}^2 + E_{R0}E_{O0}(e^{ikz(\cos \theta_O - \cos \theta_R)}e^{-ikx(\sin \theta_R + \sin \theta_O)} + e^{-ikz(\cos \theta_O - \cos \theta_R)}e^{ikx(\sin \theta_R + \sin \theta_O)}) \\
&= E_{R0}^2 + E_{O0}^2 + 2E_{R0}E_{O0} \cos k(z(\cos \theta_O - \cos \theta_R) - x(\sin \theta_R + \sin \theta_O))
\end{aligned}$$

由此可以看出：干涉光强是随空间位置  $(x, z)$  而变化的。如果在  $z = 0$  处放置一个观察屏，则屏上光强分布为： $I = E_{R0}^2 + E_{O0}^2 + 2E_{R0}E_{O0} \cos kx(\sin \theta_R + \sin \theta_O)$

如果进一步假设二干涉光强度相等： $I_0 = E_{R0}^2 = E_{O0}^2$ ，则屏上光强分布为：

$$I = 2I_0(1 + \cos kx(\sin \theta_R + \sin \theta_O))$$

**2-6. 解：**由产生亮纹的条件  $\Delta = 2nh + \frac{\lambda}{2} = m\lambda$ ，计算得：

$m = 1$  时， $\lambda = 7.2 \times 10^{-6} \text{ m}$ ； $m = 5$  时， $\lambda = 0.8 \times 10^{-6} \text{ m}$ ； $m = 6$  时， $\lambda = 6.545 \times 10^{-6} \text{ m}$ ；

$m = 7$  时， $\lambda = 0.5538 \times 10^{-6} \text{ m}$ ； $m = 8$  时， $\lambda = 0.48 \times 10^{-6} \text{ m}$ ； $m = 9$  时， $\lambda = 0.4235 \times 10^{-6} \text{ m}$ ；

$m = 10$  时， $\lambda = 0.3789 \times 10^{-6} \text{ m}$ 。

所以在可见光范围内， $\lambda = 6.545 \times 10^{-6} \text{ m}$ ， $0.5538 \times 10^{-6} \text{ m}$ ， $0.48 \times 10^{-6} \text{ m}$ ， $0.4235 \times 10^{-6} \text{ m}$  四个波长的光反射光最强。

**2-9. 证：**双光束等厚干涉的反射光的光程差是： $\Delta = 2n_0d \cos \theta + \frac{\lambda}{2}$

产生暗纹的条件是  $\Delta = 2n_0d \cos \theta + \frac{\lambda}{2} = m\lambda + \frac{1}{2}\lambda$ ，即  $2n_0d \cos \theta = m\lambda$ 。

$$\begin{aligned}
d_m &= (R_1 - \sqrt{R_1^2 - r_m^2}) - (R_2 - \sqrt{R_2^2 - r_m^2}) \\
&= (R_1 - (R_1 - \frac{r_m^2}{2R_1})) - (R_2 - (R_2 - \frac{r_m^2}{2R_2})) = \frac{r_m^2}{2R_1} - \frac{r_m^2}{2R_2} = \frac{r_m^2}{2} (\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2})
\end{aligned}$$

代入光程差条件得： $2 \frac{r_m^2}{2} (\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}) = m\lambda$ ，即  $r_m^2 = m\lambda \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}$

**2-14. 解：**设二波长为： $\lambda_1 = 600 - \frac{1}{2} \Delta \lambda$ ， $\lambda_2 = 600 + \frac{1}{2} \Delta \lambda$

通过 F-P 干涉仪后一个波长的条纹刚好落在另一个波长所产生条纹的中间，说明一个波长的明纹条件正好是另一个波长所产生条纹的暗纹条件，

由  $\frac{I_t}{I_i} = \frac{1}{1 + F \sin^2 \frac{\varphi}{2}}$ ， $\varphi = k\Delta = \frac{2\pi}{\lambda} 2nh \cos \theta_2$  知道：

当  $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} 2nh \cos \theta_2 = 2m\pi$  ( $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ ) 时是明纹条件，

当  $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} 2nh \cos \theta_2 = (2m+1)\pi$  ( $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ ) 时是暗纹条件，

也就是说二波长在同一位置 ( $\theta_2$  相同)，产生的位相差差  $\pi$ ，即：

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi (\frac{1}{\lambda - \frac{1}{2} \Delta \lambda} - \frac{1}{\lambda + \frac{1}{2} \Delta \lambda}) 2nh \cos \theta_2 = \pi$$

$$4\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 - \left(\frac{1}{2}\Delta\lambda\right)^2}\right)nh\cos\theta_2 = 1$$

考虑到  $\Delta\lambda$  很小，而且角度  $\theta_2$  也很小，

$$\text{所以 } \Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{4nh\cos\theta_2} = \frac{\lambda^2}{4nh} = \frac{(0.6 \times 10^{-6})^2}{4 \times 10 \times 10^{-3}} = 9 \times 10^{-12} \text{ m} = 9 \times 10^{-3} \text{ nm}$$

2-18. 解：(1) 镀单层膜后的反射率为：
$$R = \frac{\left| \frac{E_{r0}}{E_{t0}} \right|^2}{1 + r_1^2 r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos\varphi},$$

其中：
$$r_1 = \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1} = \frac{1 - 1.38}{1 + 1.38} = -0.159664, \quad r_2 = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} = \frac{1.38 - 1.6}{1.38 + 1.6} = -0.073826,$$

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} 2n_1 h_1 \cos\theta_1$$

极值位置取在  $\sin\varphi = 0$  时，此时  $\cos\varphi = \pm 1$ ，

当  $\cos\varphi = -1$  时，
$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} 2n_1 h_1 \cos\theta_1 = \pi \Rightarrow h_1 = \frac{\lambda}{4n_1} = \frac{0.5}{4 \times 1.38} = 0.0906 \text{ } \mu\text{m} = 90.6 \text{ nm}$$

$$R = \frac{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2}{1 + r_1^2 r_2^2 - 2r_1 r_2} = \frac{0.159664^2 + 0.073826^2 - 2 \times 0.159664 \times 0.073826}{1 + 0.159664^2 \times 0.073826^2 - 2 \times 0.159664 \times 0.073826} = 0.007545$$

$$(2) \quad \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} 2n_1 h_1 \cos\theta_1 = \frac{\lambda_0}{\lambda} \frac{2\pi}{\lambda_0} 2n_1 h_1 \cos\theta_1 = \frac{0.5}{0.6} \pi = \frac{5}{6} \pi = 150^\circ$$

$$R = \frac{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos\varphi}{1 + r_1^2 r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos\varphi} = \frac{0.159664^2 + 0.073826^2 + 2 \times 0.159664 \times 0.073826 \times \cos 150^\circ}{1 + 0.159664^2 \times 0.073826^2 + 2 \times 0.159664 \times 0.073826 \times \cos 150^\circ} = 0.010744$$

$$(3) \quad \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} 2n_1 h_1 \cos\theta_1 = \frac{2\pi}{\lambda_0} 2n_1 h_1 \cos 30^\circ = 0.866025\pi = 155.88^\circ$$

$$R = \frac{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos\varphi}{1 + r_1^2 r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos\varphi} = \frac{0.159664^2 + 0.073826^2 + 2 \times 0.159664 \times 0.073826 \times \cos 155.88^\circ}{1 + 0.159664^2 \times 0.073826^2 + 2 \times 0.159664 \times 0.073826 \times \cos 155.88^\circ} = 0.009632$$

$$(4) \quad \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} 2n_1 h_1 \cos\theta_1 = \frac{\lambda_0}{\lambda} \frac{2\pi}{\lambda_0} 2n_1 h_1 \cos 30^\circ = \frac{0.5}{0.6} \times 0.866025\pi = 129.94^\circ$$

$$R = \frac{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos\varphi}{1 + r_1^2 r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos\varphi} = \frac{0.159664^2 + 0.073826^2 + 2 \times 0.159664 \times 0.073826 \times \cos 129.94^\circ}{1 + 0.159664^2 \times 0.073826^2 + 2 \times 0.159664 \times 0.073826 \times \cos 129.94^\circ} = 0.016050$$

2-21. 解：在讨论双缝实验的相干性时，我们得到视见度公式：

$$V = \frac{I_M - I_m}{I_M + I_m} = \left| \sin c \frac{\pi \beta b}{\lambda} \right|,$$

其中  $b$  是光源线度， $\beta = \frac{d}{D}$  是双缝距离对光源面的张角。

在  $\frac{\pi \beta b}{\lambda} = \frac{\pi b d}{D \lambda} = \pi$  时视见度  $V$  为零，解得：
$$d = \frac{\lambda}{2\theta} = \frac{0.55 \times 10^{-6}}{0^\circ 32' \times \frac{\pi}{180^\circ}} = 59 \times 10^{-6} \text{ m} = 0.059 \text{ mm}$$

双缝的距离超过这个数值将得不到干涉现象。

## 第三章

### ● 习题

3-1. 由氩离子激光器发出波长  $\lambda = 488 \text{ nm}$  的蓝色平面光，垂直照射在一不透明屏的水平矩形孔上，此矩形孔尺寸为  $0.75 \text{ mm} \times 0.25 \text{ mm}$ 。在位于矩形孔附近正透镜 ( $f = 2.5 \text{ m}$ ) 焦平面处的屏上观察衍射图样。试描绘出所形成的中央最大值。

3-2. 由于衍射效应的限制，人眼能分辨某汽车两前灯时，人离汽车的最远距离  $l = ?$  (假定两车灯相距  $1.22 \text{ m}$ 。)

3-3. 一准直的单色光束 ( $\lambda = 600 \text{ nm}$ ) 垂直入射在直径为  $1.2 \text{ cm}$ 、焦距为  $50 \text{ cm}$  的汇聚透镜上，试计算在该透镜焦平面上的衍射图样中心亮斑的角宽度和线宽度。

3-4. (1) 显微镜用紫外光 ( $\lambda = 275 \text{ nm}$ ) 照明比用可见光 ( $\lambda = 550 \text{ nm}$ ) 照明的分辨本领约大多少倍？

(2) 它的物镜在空气中的数值孔径为  $0.9$ ，用紫外光照明时能分辨的两条线之间的距离是多少？

(3) 用油浸系统 ( $n = 1.6$ ) 时，这最小距离又是多少？

3-5. 一照相物镜的相对孔径为  $1:3.5$ ，用  $\lambda = 546 \text{ nm}$  的汞绿光照明。问用分辨本领为  $500 \text{ 线/mm}$  的底片来记录物镜的像是否合适？

3-6. 用波长  $\lambda = 0.63 \mu\text{m}$  的激光粗测一单缝的缝宽。若观察屏上衍射条纹左右两个第五级极小的间距是  $6.3 \text{ cm}$ ，屏和缝之间的距离是  $5 \text{ m}$ ，求缝宽。

3-7. 今测得一细丝的夫琅和费零级衍射条纹的宽度为  $1 \text{ cm}$ ，已知入射光波长为  $0.63 \mu\text{m}$ ，透镜焦距为  $50 \text{ cm}$ ，求细丝的直径。

3-8. 考察缝宽  $b = 8.8 \times 10^{-3} \text{ cm}$ ，双缝间隔  $d = 7.0 \times 10^{-2} \text{ cm}$ 、波长为  $0.6328 \mu\text{m}$  时的双缝衍射，在中央极大值两侧的两个衍射极小值间，将出现多少个干涉极小值？若屏离开双缝  $457.2 \text{ cm}$ ，计算条纹宽度。

3-9. 在双缝夫琅和费衍射实验中，所用波长  $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ ，透镜焦距  $f = 50 \text{ cm}$ ，观察到两相邻亮条纹之间的距离  $e = 1.5 \text{ mm}$ ，并且第 4 级亮纹缺级。试求：(1) 双缝的缝距和缝宽；(2) 第 1、2、3 级亮纹的相对强度。

3-10. 用波长为  $624 \text{ nm}$  的单色光照射一光栅，已知该光栅的缝宽  $a = 0.012 \text{ mm}$ ，不透明部分的宽度  $b = 0.029 \text{ mm}$ ，缝数  $N = 1\,000$ ，试求：(1) 中央峰的角宽度；(2) 中央峰内干涉主极大的数目；(3) 谱线的半角宽度。

3-11. 一平行单色光垂直入射到光栅上，在满足  $d \sin \theta = 3\lambda$  时，经光栅相邻两缝沿  $\theta$  方向衍射的两束光的光程差是多少？经第 1 缝和第  $n$  缝衍射的两束光的光程差又是多少？这时通过任意两缝的光叠加是否都会加强？

3-12. 已知一光栅的光栅常数  $d = 2.5 \mu\text{m}$ ，缝数为  $N = 20\,000$  条。求此光栅的一、二、三级光谱

的分辨本领，并求波长  $\lambda = 0.69 \mu\text{m}$  红光的二、三级光谱的位置（角度），以及光谱对此波长的最大干涉级次。

3-13. 已知 F-P 标准具的空气间隔  $h = 4\text{cm}$ ，两镜面的反射率均为  $R = 89.1\%$ 。另有一反射光栅的刻线面积为  $3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ ，光栅常数为  $1200 \text{ 条/mm}$ ，取其一级光谱，试比较这两个分光元件对  $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$  红光的分光特性。

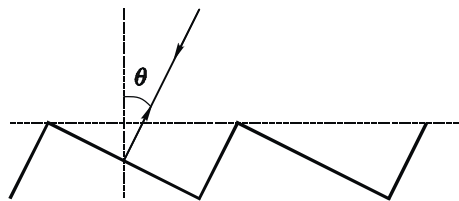
3-14. 在一透射光栅上必须刻多少线，才能使它刚好分辨第一级光谱中的钠双线（ $589.592 \text{ nm}$  和  $588.995 \text{ nm}$ ）。

3-15. 一光栅宽为  $5 \text{ cm}$ ，每毫米内有  $400$  条刻线。当波长为  $500 \text{ nm}$  的平行光垂直入射时，第  $4$  级衍射光谱处在单缝衍射的第一极小位置。试求：

- (1) 每缝（透光部分）的宽度。
- (2) 第二级衍射光谱的半角宽度。
- (3) 第二级可分辨的最小波长差。

(4) 若入射光改为光与栅平面法线成  $30^\circ$  角方向斜入射时，光栅能分辨的谱线最小波长差又为多少？

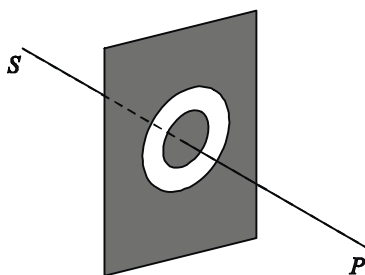
3-16. 一块闪耀波长为第一级  $0.5 \mu\text{m}$ 、每毫米刻痕为  $1200$  的反射光栅，在里特罗自准直装置中能看到  $0.5 \mu\text{m}$  的哪几级光谱？



3-17. 波长  $\lambda = 563.3 \text{ nm}$  的单色光，从远处的光源发出，穿过一个直径为  $D = 2.6 \text{ mm}$  的小圆孔，照射与孔相距  $r_0 = 1 \text{ m}$  的屏幕。问屏幕正对孔中心的点  $P_0$  处，是亮点还是暗点？要使  $P_0$  点的情况与上述情况相反，至少要把屏幕移动多少距离？

3-18. 有一波带片，它的各个环的半径为  $r_m = 0.1\sqrt{m} \text{ cm}$  ( $m = 1, 2, \dots$ )。当  $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$  时，计算其焦点的位置。

3-19. 如图所示，单色点光源 ( $\lambda = 500 \text{ nm}$ ) 安装在离光阑  $1 \text{ m}$  远的地方，光阑上有一个内外半径分别为  $0.5 \text{ mm}$  和  $1 \text{ mm}$  的通光圆环，考察点  $P$  离光阑  $1 \text{ m}$  ( $SP$  连线通过圆环中心并垂直于圆环平面)。问在  $P$  点的光强和没有光阑时的光强度之比是多少？



3-20. 单色平面光入射到小圆孔上，在孔的对称轴线上的  $P_0$  点进行观察，圆孔正好露出  $1/2$  个半波带，试问  $P_0$  点的光强是光波自由传播时光强的几倍。

3-21. 波长  $632.8 \text{ nm}$  的单色平行光垂直入射到一圆孔屏上，在孔后中心轴上距圆孔  $r_0 = 1 \text{ m}$  处的  $P_0$  点出现一个亮点，假定这时小圆孔对  $P_0$  点恰好露出第一个半波带。试求：

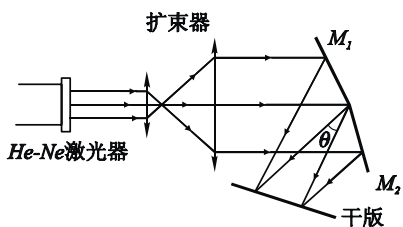
- (1) 小孔的半径  $\rho$ 。
- (2) 由  $P_0$  点沿中心轴从远处向小孔移动时，第一个暗点至圆孔的距离。

22. 一块菲涅耳波带片对波长  $0.50 \mu\text{m}$  的衍射光的焦距是  $10 \text{ m}$ ，假定它的中心为开带，

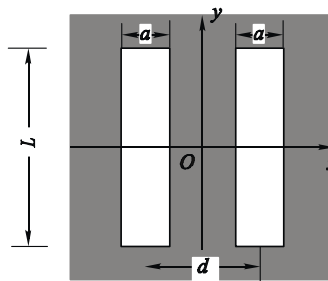
(1) 求波带片上第 4 个开带外圆的半径。

(2) 将一点光源置于距波带片中心 2 m 处, 求它的 +1 级像。

3-23. 如图所示是制作全息光栅的装置图, 试推导其全息光栅的条纹间距公式。今要在干版处获得 1200 条 / mm 的光栅, 问两反射镜间的夹角是多少。



3-23 题用图



3-24 题用图

3-24. 求出如图所示衍射屏的夫琅和费衍射图样的光强分布。设衍射屏由单位振幅的单色平面波垂直照明。

3-25. 一块透明片的振幅透过系数  $t(x) = e^{-\pi x^2}$ , 将其置于透镜的前焦平面上, 并用单位振幅的单色光垂直照明, 求透镜后焦平面上的振幅分布。

### ● 部分习题解答

3-2. 解: 假定人眼瞳孔的直径为 2 mm, 可见光波长为  $0.5 \mu\text{m}$ , 则其极限角分辨率为  $\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$ ,  $\theta = 1.22 \times 0.5 \times 10^{-6} / 2 \times 10^{-3} = 0.305 \times 10^{-3} \text{ rad}$ , 能分辨开车灯的最远距离为:

$$l = \frac{\Delta x}{\Delta \theta} = \frac{1.22}{0.305 \times 10^{-3}} = 4 \times 10^3 \text{ m}.$$

3-6. 解: 极小值的位置出现在  $\beta = \frac{kax}{2f} = \frac{\pi ax}{f\lambda} = m\pi$  的地方, 其中  $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ , 两个第五级极小的间距是  $\Delta x = \frac{10f\lambda}{a}$ , 所以缝宽  $a = \frac{10f\lambda}{\Delta x} = \frac{10 \times 5 \times 0.63 \times 10^{-6}}{6.3 \times 10^{-2}} = 5 \times 10^{-4} \text{ m} = 0.5 \text{ mm}$

3-8. 解: 衍射的第一极小值的位置出现在  $\beta = \frac{kax}{2f} = \frac{\pi ax}{f\lambda} = \pm\pi$  的地方, 此时  $x = \frac{f\lambda}{a} = \frac{f\lambda}{8.8 \times 10^{-3}}$ , 在此位置上, 双缝衍射出现条纹的条件为  $\sin \frac{\varphi}{2} = \sin(\frac{\pi d}{\lambda f} x) = 0$ , 即  $\frac{\pi d}{\lambda f} x = m\pi$ , 其中  $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ ,

在衍射的第一极小值位置处的级数  $m$  为  $m = \frac{d}{a} = \frac{7.0 \times 10^{-4}}{8.8 \times 10^{-5}} = 7.95$ , 刚好多包含一个暗纹: 中央主极大两边每侧有 7 条亮纹, 8 条暗纹, 两边共包含 16 条暗纹。

$$\text{条纹宽度 } \Delta x = \frac{2f\lambda}{Nd} = \frac{2 \times 4.572 \times 0.6328 \times 10^{-6}}{2 \times 7.0 \times 10^{-4}} = 4.133 \times 10^{-3} \text{ m}$$

**3-9. 解:** (1) 双缝衍射出现条纹的条件为  $\sin(\frac{\pi d}{\lambda f} x) = 0$ , 即  $\frac{\pi d}{\lambda f} x = m\pi$ , 其中  $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ , 得条纹间距为  $\Delta x = \frac{f\lambda}{d}$ , 由此得缝距  $d = \frac{f\lambda}{\Delta x} = \frac{0.5 \times 632.8 \times 10^{-9}}{1.5 \times 10^{-3}} = 0.211 \times 10^{-3} \text{ m}$

第四级缺级, 所以缝宽  $a = d / 4 = 0.0527 \text{ mm}$ 。

(2) 由多缝衍射的光强分布为  $I = E \cdot E^* = (Ca)^2 (\frac{\sin \beta}{\beta})^2 (\sin \frac{N\varphi}{2} / \sin \frac{\varphi}{2})^2$ , 得双缝衍射时的条纹光强  $I_m = E \cdot E^* = 4(Ca)^2 (\frac{\sin \beta}{\beta})^2$ , 条纹的相对光强为  $\frac{I_m}{I_0} = (\frac{\sin \beta}{\beta})^2$

条纹位置由  $\frac{\pi d}{\lambda f} x = m\pi$ , 得  $x_1 = \frac{f\lambda}{d}$ ,  $x_2 = \frac{2f\lambda}{d}$ ,  $x_3 = \frac{3f\lambda}{d}$ , 代入上式中  $\beta = \frac{\pi a}{f\lambda} \cdot \frac{mf\lambda}{d} = \frac{m}{4} \pi$  得

$$\frac{I_m}{I_0} = (\frac{\sin \frac{m\pi}{4}}{\frac{m\pi}{4}})^2, \text{ 计算得第 1、2、3 级亮纹的相对强度分别为 } \frac{I_1}{I_0} = 0.811, \frac{I_2}{I_0} = 0.405, \frac{I_3}{I_0} = 0.090。$$

**3-13. 解:** (1) 自由光谱范围

光栅:  $\Delta\lambda_f = \frac{\lambda}{m}$ , 此光栅在正入射时,  $m$  取值只可以是 1 ( $\frac{d}{\lambda} = \frac{1}{1200 \times 10^3 \times 0.6328 \times 10^{-6}} = 1.3$ ), 所以自由光谱范围为  $\Delta\lambda_f = 0.6328 \text{ } \mu\text{m}$

$$\text{F-P 标准具: } \Delta\lambda_f = \frac{\lambda}{m} = \frac{\lambda^2}{2nh} = \frac{(0.6328 \times 10^{-6})^2}{2 \times 4 \times 10^{-2}} = 5.005 \times 10^{-12} \text{ m} = 5.005 \times 10^{-6} \text{ } \mu\text{m}$$

(2) 分辨本领

$$\text{光栅: } A = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN = 3 \times 10^{-2} \times 1200 \times 10^3 = 3.6 \times 10^4$$

$$\text{F-P 标准具: } A = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN' = 0.97mN = 0.97 \times \frac{2nh}{\lambda} \cdot \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R} = \frac{2 \times 0.04 \times 0.97}{0.6328 \times 10^{-6}} \times \frac{\pi \times \sqrt{0.981}}{1-0.981} = 2.0 \times 10^7$$

(3) 角色散率

$$\begin{aligned} \text{光栅: } \frac{d\theta}{d\lambda} &= \frac{m}{d \cos \theta} = \frac{mN}{l \cos \theta} = \frac{mN}{l \sqrt{1 - (\frac{mN\lambda}{l})^2}} = \frac{mn}{\sqrt{1 - (mn\lambda)^2}} \\ &= \frac{1200 \times 10^3}{\sqrt{1 - (1200 \times 10^3 \times 0.6328 \times 10^{-6})^2}} = 1.844 \times 10^6 \end{aligned}$$

$$(\text{由 } d \sin \theta = m\lambda, \text{ 得 } \cos \theta = \sqrt{1 - (\frac{m\lambda}{d})^2})$$

$$\text{F-P 标准具: } \left| \frac{d\theta}{d\lambda} \right| = \frac{1}{\lambda \sin \theta} = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{nh}{\lambda}} = \frac{\sqrt{nh}}{\lambda^{3/2}} = \frac{\sqrt{0.04}}{(0.6328 \times 10^{-6})^{3/2}} = 3.973 \times 10^8$$

(对 F-P 标准具, 中央谱线的级次为  $m' = \frac{2nh}{\lambda}$ , 第一条谱线为  $m' - 1$ , 由  $\Delta = 2nh \cos \theta = m\lambda$  得:

$$\cos \theta = \frac{(m'-1)\lambda}{2nh} = 1 - \frac{\lambda}{2nh}, \text{ 所以 } \sin \theta = \sqrt{1 - (1 - \frac{\lambda}{2nh})^2} = \sqrt{\frac{\lambda}{nh} - (\frac{\lambda}{2nh})^2} = \sqrt{\frac{\lambda}{nh}} \sqrt{1 - \frac{\lambda}{4nh}} \approx \sqrt{\frac{\lambda}{nh}}$$

**3-16. 解:** 里特罗自准直光谱议使用时, 其闪耀方向就是它的入射光方向, 一级闪耀方向为:

$$\sin \theta_1 = \frac{m\lambda}{d} = mn\lambda = 1200 \times 10^3 \times 0.5 \times 10^{-6} = 0.6, \quad \sin \varphi = \sin \theta_1$$

$$\text{根据 } d(\sin \theta \pm \sin \varphi) = m\lambda, \quad m = \frac{d(\sin \theta \pm \sin \varphi)}{\lambda} = \frac{1 \pm 0.6}{1200 \times 10^3 \times 0.5 \times 10^{-6}} = \begin{cases} 2.6 \\ 0.6 \end{cases}, \text{ 在准直时能看到的}$$

条纹为 0、+1、+2 三级条纹。在正入射时  $m = \frac{d}{\lambda} = 1.6$ ，能看到的条纹为 -1、0、+1 三级条纹。所以

在调整过程中总共可能看到的条纹为 -1、0、+1、+2 四级条纹。

**3-23. 解：**当两个平面镜之间夹角为  $\theta$  时，其反射光之间的夹角为  $2\theta$ 。根据全息光栅的制作原理，当两束光以  $2\theta$  角在全息版上相交，其干涉条纹间距为  $d = \frac{\lambda}{2n \sin \theta}$ ，所以

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{2nd} = 0.6328 \times 10^{-6} \times 1200 \times 10^3 / 2 = 0.37968, \quad \theta = 22.31^\circ。$$

## 第四章

### ● 习题

4-1. 在各向异性介质中，沿同一光线方向传播的光波有几种偏振态？它们的  $\mathbf{D}$ 、 $\mathbf{E}$ 、 $\mathbf{k}$ 、 $\mathbf{s}$  矢量间有什么关系？

4-2. 设  $\mathbf{e}$  为  $\mathbf{E}$  矢量方向的单位矢量，试求  $\mathbf{e}$  的分量表示式，即求出与给定波法线方向  $\mathbf{k}$  相应的  $\mathbf{E}$  的方向。

4-3. 一束钠黄光以  $50^\circ$  角方向入射到方解石晶体上，设光轴与晶体表面平行，并垂直与入射面。问在晶体中o光和e光夹角为多少（对于钠黄光，方解石的主折射率  $n_o=1.6584$ ， $n_e=1.4864$ ）。

4-4. 设有主折射率  $n_o=1.5246$ ， $n_e=1.4864$  的晶体，光轴方向与通光面法线成  $45^\circ$ ，如图所示。现有一自然光垂直入射晶体，求在晶体中传播的o、e光光线方向，二光夹角  $\alpha$  以及它们从晶体后表面出射时的相位差（ $\lambda=0.5\mu\text{m}$ ，晶体厚度  $d=2\text{cm}$ 。）



图 4-63

4-5. 一单轴晶体的光轴与界面垂直，试说明折射光线在入射面内，并证明：

$$\tan \theta'_e = \frac{n_o \sin \theta_i}{n_e \sqrt{n_e^2 - \sin^2 \theta_i}} \quad \text{其中，} \theta_i \text{ 是入射角；} \theta'_e \text{ 是 e 折射光线与界面法线的夹角。}$$

4-6. 两块方解石晶体平行薄板，按相同方式切割（图中斜线代表光轴），并平行放置，细单色自然光束垂直入射，通过两块晶体后射至一屏幕上，设晶体的厚度足以使双折射的两束光分开，试分别说明当晶体板 2 在：① 如图 4-64 所示；② 绕入射光方向转过  $\pi$  角；③ 转过  $\pi/2$  角；④ 转过  $\pi/4$  角的几种情况下，屏幕上光点的数目和位置。

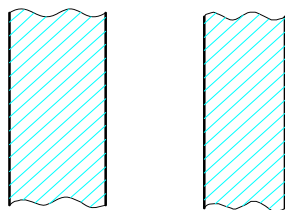


图 4-64

4-7. 如图所示，方解石渥拉斯顿棱角的顶点  $\alpha=45^\circ$  时，两出射光的夹角  $\gamma$  为多少？

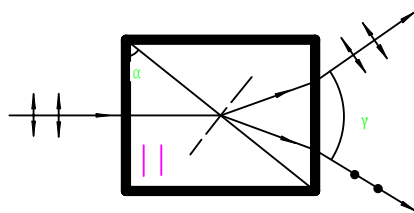


图 4-66

4-8. 设正入射的线偏振光振动方向与半波片的快、慢轴成  $45^\circ$ ，分别画出在半波片中距离入射表面为：① 0；②  $d/4$ ；③  $d/2$ ；④  $3d/4$ ；⑤  $d$  的各点处两偏振光叠加后的振动形式。按迎着光射来的方向观察画出。

4-9. 用一石英薄片产生一束椭圆偏振光,要使椭圆的长轴或短轴在光轴方向,长短轴之比为 2:1,而且是左旋的。问石英片应多厚? 如何放置? ( $\lambda=0.5893 \mu\text{m}$ ,  $n_o=1.5442$ ,  $n_e=1.5533$ 。)

4-10. 两块偏振片透射方向夹角为  $60^\circ$ ，中央插入一块  $1/4$  波片，波片主截面平分上述夹角。今有一光强为  $I_e$  的自然光入射，求通过第二个偏振片后的光强。

4-11. 一块厚度为  $0.04\text{mm}$  的方解石晶片，其光轴平行于表面，将它插入正交偏振片之间，且使主截面与第一个偏振片的透振方向成  $\theta$  ( $\theta \neq 0^\circ$ 、 $90^\circ$ ) 角。试问哪些光不能透过该装置。

4-12. 在两个偏振面正交放置的偏振器之间，平行放一厚  $0.913\text{mm}$  的石膏片。当  $\lambda_1=0.583 \mu\text{m}$  时，视场全暗，然后改变光的波长，当  $\lambda_2=0.554 \mu\text{m}$  时，视场又一次全暗。假设沿快、慢轴方向的折射率在这个波段范围内与波长无关，试求这个折射率差。

## ● 部分习题解答

4-3. 解：对于单轴晶体内传播的 o 光和 e 光均满足折射定律：

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t$$

由题设条件可知：对于 o 光：由：  $n_i \sin \theta_i = n_o \sin \theta_{ot}$ ，代入数据：

$$1 \times \sin 45^\circ = 1.6584 \times \sin \theta_{ot}$$

$$\sin \theta_{ot} = \frac{\sin 45^\circ}{1.6584} = \frac{0.7071}{1.6584} = 0.4269$$

$$\therefore \theta_{ot} = \arcsin 0.4269 = 25.3^\circ$$

对于 e 光，由：  $n_i \sin \theta_i = n_e \sin \theta_{et}$

$$\sin \theta_{et} = \frac{\sin 50^\circ}{1.4864} = \frac{0.7660}{1.4864} = 0.5153$$

$$\therefore \theta_{et} = \arcsin 0.5153 = 31.02^\circ$$

由于光在垂直于光轴的平面内传播,在晶体中 o 光和 e 光的光线方向与波法线方向不分离。  
所以两折射光之间的夹角为:  $\Delta\theta = \theta_{et} - \theta_{ot} = 31.02^\circ - 27.51^\circ = 3.51^\circ$ 。

4-4. **解:** 如图,平面光波正入射,光轴在入射面内,且与晶面斜交所以 o 光和 e 光的波法线相同,但 o 光和 e 光光线方向不同。

又因为  $n_e < n_o$ , 故 e 光比 o 光远离光轴,且光沿其波法线方向传播。

设 e 光与 o 光的离散角为  $\alpha$

$$\begin{aligned}\tan \alpha &= \frac{1}{2} \sin 2\theta \left( \frac{1}{n_e^2} - \frac{1}{n_o^2} \right) \times \left( \frac{\cos^2 \theta}{n_o^2} + \frac{\sin^2 \theta}{n_e^2} \right)^{-1} \\ &= \frac{1}{2} \times \frac{(0.45703 - 0.43022)}{0.5 \times (1/2.3244 + 1/2.1880)} \\ &= \frac{0.13635}{4.5124} = 0.030217\end{aligned}$$

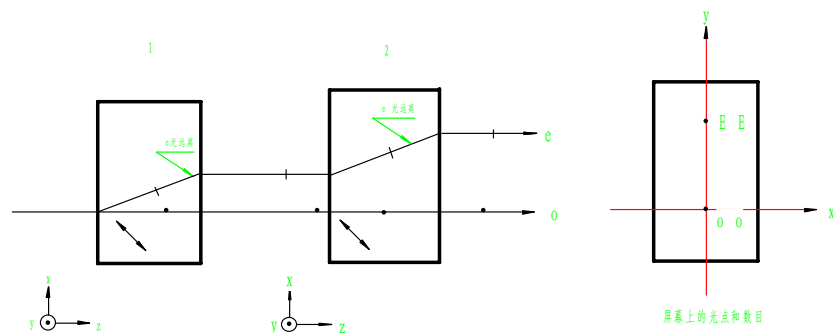
所以,  $\alpha = \arctan 0.030217 = 1^\circ 43'$

$$\text{晶体中出射的 e 光与 o 光的相位差: } \Delta\varphi = \left| \frac{2\pi}{\lambda} \times (n_e(\theta) - n_o) \times d \right|$$

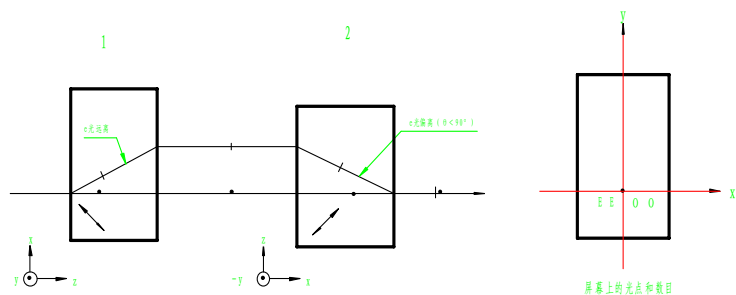
$$\text{又因为: } n_e(\theta) = \frac{n_o n_e}{\sin \theta \sqrt{n_o^2 + n_e^2}} = 1.5014$$

$$\begin{aligned}\text{所以: } \Delta\varphi &= \left| \frac{2\pi}{\lambda} \times (1.5014 - 1.5246) \times d \right| \\ &= 4\pi \times 10^6 \times (1.5246 - 1.5014) \times 2 \times 10^{-1} \\ &= 1857\pi\end{aligned}$$

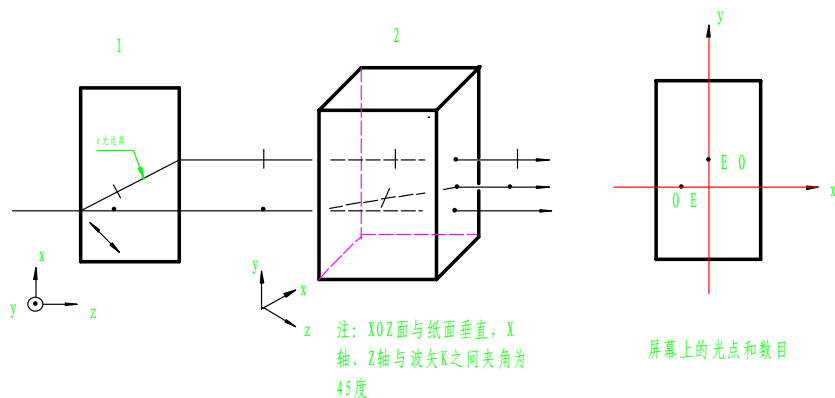
4-6. **解:** 1) 屏上有 2 个光点。E 光光点向上平移, o 光光点正对入射点。



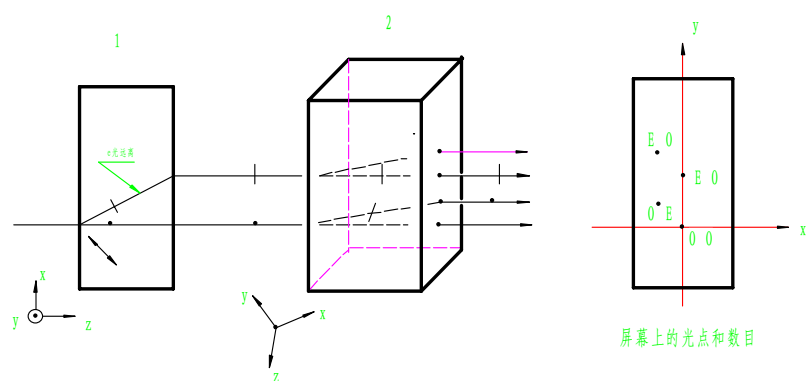
2) 若  $d_1 = d_2$ ，屏上只有 1 个光点，若  $d_1 \neq d_2$ ，屏上有 2 个光点， $d_1 > d_2$ ，e 光光点上移， $d_1 < d_2$ ，e 光光点下移。



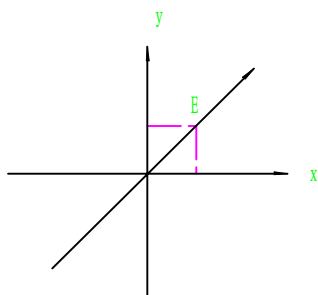
3) 屏上有 2 个光点。o 光光点正对入射点，e 光光点水平平移。



4) 屏上有 4 个光点。1 个光点正对入射点，1 个光点向上平移，另外 2 个光点分别相对这 2 个光点向  $45^\circ$  方向平移。



4-8. 解:(1)在  $d' = 0$  处,  $\Delta\varphi = 0$ , 则两偏振光叠加后仍为线偏振光, 如下图:

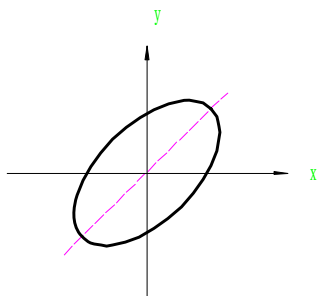


(2) 在  $d' = \frac{d}{4}$  处,  $\Delta\varphi = \frac{\pi}{4}$ , 并设,  $E_{0x} = E_{0y} = \frac{\sqrt{2}}{2}E_0 = A$

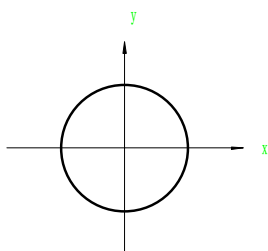
则有:  $\frac{E_x^2}{A^2} + \frac{E_y^2}{A^2} - \sqrt{2}\frac{E_x E_y}{A^2} = \frac{1}{2}$ , 化简为:

$$E_x^2 + E_y^2 - \sqrt{2}E_x E_y = \frac{A^2}{2}$$

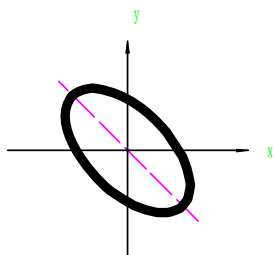
则两偏振光叠加后为椭圆偏振光, 如下图:



(3) 在  $d' = \frac{d}{2}$  处,  $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$ , 则两偏振光叠加后为圆偏振光, 如下图:



(4) 在  $d' = \frac{3d}{4}$  处,  $\Delta\varphi = \frac{3\pi}{4}$ , 则两偏振光叠加后为椭圆偏振光, 如下图:



4-9.

解,(1)由题意知, 应使光通过晶体后, 两本征模的位相差 $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$ ,

$$\text{即: } \frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d = \frac{\pi}{2}, \text{ 代入数据可得, } d = 0.016\text{mm}$$

所以, 石英片的厚度为0.016mm。

(2)要使长轴与短轴之比为2:1, 则应使入射光的振动方向与坐标轴之间

的夹角 $\theta$ 满足 $\tan\theta = \frac{1}{2}$ , 所以,  $\theta = 26.565^\circ$

4-11.

解: 由题意可知:  $\beta = 60^\circ$ , 则有

$$\begin{aligned} I &= I_0 [\cos^2 \beta - \sin 2\alpha \sin 2(\alpha - \beta) \sin^2 2\varphi] \\ &= I_0 \sin^2 2\theta \sin^2 2\varphi \end{aligned}$$

当 $\frac{\varphi}{2} = m\pi$ , 即 $\varphi = 2m\pi$ 时,  $I = 0$ , 又因为:

$$\frac{2\pi}{\lambda}[n_o - n_e]d = 2m\pi, \text{ 也就是:}$$

$$\lambda = \frac{|n_o - n_e|}{m}d = |1.6584 - 1.4864| \times 0.04 \times 10^{-3} \times \frac{1}{m} = \frac{6880}{m} \text{nm}$$

所以, 当光波 $\lambda$ 满足 $\lambda_m = \frac{6880}{m} \times 10^{-9} (m)$ 时, 能通过该装置, 在可见光范围内,  $\lambda_m$ 满足:

$$380\text{nm} \leq \lambda_m \leq 760\text{nm}, \text{ 即: } 380\text{nm} \leq \frac{6880}{m} \leq 760\text{nm}$$

解得:  $9 \leq m \leq 18$ ,

综合以上分析可知: 在可见光范围内能通过该装置的光波长分别为:

$$\lambda_9 = 764.4\text{nm}, \lambda_{10} = 688.0\text{nm}, \lambda_{11} = 625.5\text{nm}, \lambda_{15} = 458.7\text{nm}, \lambda_{16} = 430.0\text{nm}, \lambda_{17} = 404.7\text{nm}$$

## 第五章

### ● 习题

5-1. 一KDP晶体,  $l=3\text{cm}$ ,  $d=1\text{cm}$ 。在波长  $\lambda=0.5\ \mu\text{m}$  时,  $n_o=1.51$ ,  $n_e=1.47$ ,  $\gamma_{63}=10.5\times 10^{-12}\text{m}\cdot\text{V}^{-1}$ 。试比较该晶体分别纵向和横向运用、相位延迟为  $\varphi=\pi/2$  时, 外加电压的大小。

5-2. 一CdTe电光晶体, 外加电场垂直于(110)面, 尺寸为  $33\times 4.5\times 4.5\text{mm}^3$ , 对于光波长  $\lambda=10.6\ \mu\text{m}$ , 它的折射率  $n_o=2.67$ , 电光系数  $\gamma_{41}=6.8\times 10^{-12}\text{m}\cdot\text{V}^{-1}$ 。为保证相位延迟  $\varphi=0.056\text{rad}$ , 外加电场为多大?

5-3. 在声光介质中, 激励超声波的频率为  $500\text{MHz}$ , 声速为  $3\times 10^5\text{cm}$ , 求波长为  $0.5\ \mu\text{m}$  的光波由该声光介质产生布拉格衍射角时的入射角  $\theta_B=?$

5-4. 一钼酸铅声光调制器, 对He-Ne激光进行声光调制。已知声功率  $P_s=1\text{W}$ 。声光作用长度  $L=1.8\text{mm}$ , 压电换能器宽度  $H=0.8\text{mm}$ , 品质因素  $M_2=36.3\times 10^{-15}\text{s}^3\text{kg}^{-1}$ , 求这种声光调制器的布拉格衍射效率。

5-5. 对波长为  $\lambda=0.5893\ \mu\text{m}$  的钠黄光, 石英旋光率为  $21.7^\circ/\text{mm}$ 。若将一石英晶体片垂直其光轴切割, 置于两平行偏振片之间, 问石英片多厚时, 无光透过偏振片  $P_2$ 。

5-6. 一个长  $10\text{cm}$  的磷冕玻璃放在磁感应强度为  $0.1$  特斯拉的磁场内, 一束线偏振光通过时, 偏振面转过多少度? 若要使偏振面转过  $45^\circ$ , 外加磁场需要多大? 为了减小法拉第工作物质的尺寸或者磁场强度, 可以采取什么措施?

### ● 部分习题解答

5-1.

解：  $l=3\text{cm}$ ,  $d=1\text{cm}$ ,  $\lambda=0.5\mu\text{m}$ ,  $n_o=1.51$ ,  $n_e=1.47$

$$\gamma_{63} = 10.5 \times 10^{-12} \text{m}^2\text{V}^{-1}, \varphi = \frac{\pi}{2}$$

纵向运用时，因为：  $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} n_o^3 \gamma_{63} u$

$$\text{所以， } u = \frac{\varphi \lambda}{2\pi n_o^3 \gamma_{63}} = \frac{\frac{\pi}{2} \times 0.5 \times 10^{-6}}{2\pi \times 1.53 \times 10.5 \times 10^{-12}} = 3.46 \times 10^3 \text{V}$$

横向运用时，  $\varphi = \frac{\pi}{\lambda} \frac{l}{d} n_o^3 \gamma_{63} u$

$$\text{所以， } u = \frac{\varphi \lambda d}{\pi l n_o^3 \gamma_{63}} = \frac{\pi}{2} \times \frac{0.5 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-2}}{\pi \times 3 \times 10^{-2} \times 1.51^3 \times 10.5 \times 10^{-12}} = 2.3 \times 10^3 \text{V}$$

5-3.

解： 超声波的波长为：

$$\lambda_s = \frac{V}{\nu} = \frac{3 \times 10^3}{5 \times 10^8} = 6 \times 10^{-6} (\text{m})$$

由  $\sin \theta_B = \frac{\lambda}{2\lambda_s}$  知，入射角  $\theta_B$  为：

$$\theta_B = \arcsin \frac{\lambda}{2\lambda_s} = \arcsin \frac{0.6 \times 10^{-6}}{2 \times 6 \times 10^{-6}} = 2.39^\circ$$

5-6.

解： 因为：  $\theta = VBL = 4.86 \times 0.1 \times 0.1 = 0.0486 (\text{rad}) = 2.78^\circ$

所以，偏振面旋转  $2.78^\circ$ 。

欲使偏振面旋转  $45^\circ$ ，则外加磁场为：

$$B = \frac{\theta}{VL} = \frac{45^\circ \times \frac{\pi}{180}}{4.86 \times 0.1} = 1.621 (\text{T})$$

为减小法拉第工作物质的尺寸，可增加磁场的  $B$  值，或换为一种维得尔常数较大的工作物质；为减小磁场强度，可增大工作物质的尺寸，或换成一种维得尔常数较大的物质。

## 第六章

### ● 习题

6-1. 有一均匀介质, 其吸收系数  $K = 0.32 \text{ cm}^{-1}$ , 求出射光强为入射光强的 0.1、0.2、0.5 时的介质厚度。

6-2. 一长为 3.50 m 的玻璃管, 内盛标准状态下的某种气体。若吸收系数为  $0.165 \text{ m}^{-1}$ , 求激光透过此玻璃管后的相对强度。

6-3. 一个  $60^\circ$  的棱镜由某种玻璃制成, 其色散特性可用科希公式中的常数  $A = 1.416$ ,  $B = 1.72 \times 10^{-10} \text{ cm}^2$  表示, 棱镜的放置使它对  $0.6 \mu\text{m}$  波长的光产生最小偏向角, 这个棱镜的角色散率 ( $\text{rad}/\mu\text{m}$ ) 为多大?

6-4. 光学玻璃对水银蓝光  $0.4358 \mu\text{m}$  和水银绿光  $0.5461 \mu\text{m}$  的折射率分别为  $n = 1.65250$  和  $1.62450$ 。用科希公式计算:

- (1) 此玻璃的  $A$  和  $B$ ;
- (2) 它对钠黄光  $0.5890 \mu\text{m}$  的折射率;
- (3) 在此黄光处的色散。

6-5. 同时考虑吸收和散射损耗时, 透射光强表示式为  $I = I_0 e^{-(K+h)l}$ , 若某介质的散射系数等于吸收系数的  $1/2$ , 光通过一定厚度的这种介质, 只透过 20% 的光强。现若不考虑散射, 其透过光强可增加多少?

6-6. 一长为 35 cm 的玻璃管, 由于管内细微烟粒的散射作用, 使透过光强只为入射光强的 65%。待烟粒沉淀后, 透过光强增为入射光强的 88%。试求该管对光的散射系数和吸收系数 (假设烟粒对光只有散射而无吸收)。

6-7. 太阳光束由小孔射入暗室, 室内的人沿着与光束垂直及成  $45^\circ$  的方向观察此光束时, 见到由于瑞利散射所形成的光强之比等于多少?

6-8. 苯 ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) 的喇曼散射中较强的谱线与入射光的波数差为 607, 992, 1178, 1568, 3047,  $3062 \text{ cm}^{-1}$ 。今以氩离子激光  $\lambda = 0.4880 \mu\text{m}$  为入射光, 计算各斯托克斯及反斯托克斯线的波长。

### ● 部分习题解答

6-1. 解: 由  $I/I_0 = e^{-Kl}$ , 在  $I/I_0 = 0.1$ 、0.2、0.5 时, 解得  $l = 7.20 \text{ cm}$ 、 $5.03 \text{ cm}$ 、 $2.17 \text{ cm}$ 。

6-3. 解: 科希公式为  $n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}$ , 在考虑波长范围不大时, 可以用前两项表示, 即  $n = A + \frac{B}{\lambda^2}$ , 由此解得  $n = 1.416 + \frac{1.72 \times 10^{-14}}{0.36 \times 10^{-12}} = 1.464$ 。对公式两端微分可得:

$$\frac{dn}{d\lambda} = -\frac{2B}{\lambda^3} \quad (1)$$

棱镜顶角  $\alpha$ ，最小偏向角  $\delta_m$  和棱镜材料的折射率  $n$  之间存在如下关系：
$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}(\alpha + \delta_m)}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

可以解得最小偏向角  $\delta_m = 34.1086^\circ$ ，对公式两端微分可得：

$$\frac{d\delta_m}{dn} = \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2}}{\cos \frac{1}{2}(\alpha + \delta_m)} \quad (2)$$

联立 (1) (2) 方程，可得角色散率：

$$\begin{aligned} \frac{d\delta_m}{d\lambda} &= -\frac{2 \sin \frac{\alpha}{2}}{\cos \frac{1}{2}(\alpha + \delta_m)} \cdot \frac{2B}{\lambda^3} = -\frac{2 \times \sin 30^\circ}{\cos \frac{60^\circ + 34.1086^\circ}{2}} \times \frac{2 \times 1.72 \times 10^{-14}}{(0.6 \times 10^{-6})^3} \\ &= -0.2338 \times 10^6 \text{ rad/m} = -0.2338 \text{ rad}/\mu\text{m} \end{aligned}$$

**6-6. 解：**由公式  $\frac{I}{I_0} = e^{-(K+h)l}$ ，得方程组 
$$\begin{cases} e^{-(K+h) \times 0.35} = 0.65 \\ e^{-K \times 0.35} = 0.88 \end{cases}$$
，解得吸收系数  $K = 0.36524 \text{ m}^{-1}$ ，散

射系数  $h = 0.86557 \text{ m}^{-1}$ 。

**6-7. 解：**由瑞利散射公式  $I = CI_0 \frac{1}{\lambda^4} (1 + \cos^2 \theta)$ ，得  $\frac{I_{90^\circ}}{I_{45^\circ}} = \frac{1 + \cos^2 90^\circ}{1 + \cos^2 45^\circ} = \frac{2}{3}$ 。

## 第七章

### ● 习题

7-1. 有一玻璃球，折射率为  $\sqrt{3}$ ，今有一光线射到球面上，入射角为  $60^\circ$ ，求反射光线和折射光线的夹角。

7-2. 水槽有水 20cm 深，槽底有一个点光源，水的折射率为 1.33，水面上浮一不透明的纸片，使人从水面上任意角度观察不到光，则这一纸片的最小面积是多少？

7-3. 空气中的玻璃棒， $n'=1.5163$ ，左端为一半球形， $r=-20\text{mm}$ 。轴上有一点光源， $L=-60\text{mm}$ 。求  $U=-2^\circ$  的像点的位置。

7-4. 简化眼把人眼的成像归结为只有一个曲率半径为 5.7mm，介质折射率为 1.333 的单球面折射，求这种简化眼的焦点的位置和光焦度。

7-5. 有一玻璃球，折射率为  $n=1.5$ ，半径为  $R$ ，放在空气中。(1)物在无穷远时，经过球成像在何处？(2) 物在球前  $2R$  处时像在何处？像的大小如何？

7-6. 一个半径为 100mm 的玻璃球，折射率为 1.53。球内有两个气泡，看来一个恰好在球心，另一个在球的表面和球心之间，求两个气泡的实际位置。

7-7. 一个玻璃球直径为 60mm，折射率为 1.5，一束平行光入射在玻璃球上，其会聚点应该在什么位置？

7-8. 一球面反射镜， $r=-100\text{mm}$ ，求  $\beta=0, -0.1, -1, 5, 10$  情况下的物距和像距。

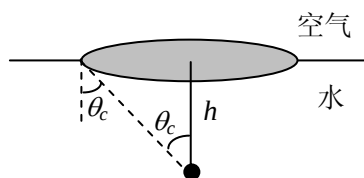
7-9. 一球面镜对其前面 200mm 处的物体成一缩小一倍的虚像，求该球面镜的曲率半径。

7-10. 垂直下望池塘水底的物时，若其视见深度为 1m，求实际水深，已知水的折射率为  $4/3$ 。

7-11. 有一等边折射率三棱镜，其折射率为 1.65，求光线经该棱镜的两个折射面折射后产生最小偏向角时的入射角和最小偏向角。

### ● 部分习题解答

7-2. 解：水中的光源发出的光波在水——空气界面将发生折射，由于光波从光密介质传播到光疏介质，在界面将发生全反射，这时只有光波在界面的入射角小于水——空气界面的全反射的临界角，光线才有可能进入空气，因此界面的透光区域为一个以光源在界面上的垂直投影点为心的圆面，如右图，该圆面的面积即为所求纸片的最小面积。

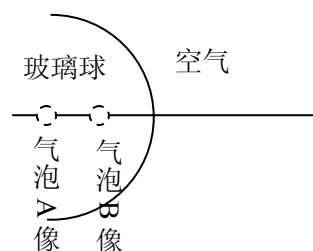


7-2 题用图

由全反射条件可知  $1.33 \sin \theta_c = \sin 90^\circ = 1$ ，即  $\tan \theta_c = 1/\sqrt{1.33^2 - 1}$ ，又  $S = \pi r^2 = \pi(h \tan \theta_c)^2$ ，所以  $S = \pi r^2 = 400\pi/(1.33^2 - 1) = 1634.3 \text{ cm}^2$ 。

7-6. 解：眼睛观察玻璃球中的气泡，看到的实际为玻璃球中的气泡经过玻璃球表面所成的像，因此本题是折射球面的成像问题，并且是已知像的位置求解物体的位置。

显然玻璃球中的气泡的成像光线从玻璃球内经过表面折射成像，所以成像时物空间的折射率为玻璃球的折射率，像空间的折射率为空气的折射率，即  $n=1.53$ ， $n'=1.0$ ；选择右图的结构，则折射球面的半径  $r=-100\text{mm}$ ，气泡A和B的像距分别为  $l_1'=-100\text{mm}$  和  $l_2'=-50\text{mm}$ ，由折射球面近轴区的成像公式  $n'/l' - n/l = (n' - n)/r$  可得气泡A和B的物距  $l_1$  和  $l_2$  分别为



7-6 题用图

$$l_1 = -100\text{mm}, l_2 = -60.5\text{mm}$$

7-8. 解：由反射球面镜的成像公式  $1.0/l' + 1.0/l = 2/(-100)$ ，以及  $\beta = -l'/l$  可得：

|                 |                |                |                |     |                |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----|----------------|
|                 | ~              | ~ <sub>1</sub> | ~ <sub>1</sub> |     | ~ <sub>1</sub> |
| $l(\text{mm})$  | ~ <sub>∞</sub> | ~ ~            | ~ <sub>1</sub> | ~ ~ | ~              |
| $l'(\text{mm})$ | ~ ~            | ~              | ~ <sub>1</sub> | ~   | ~              |

7-10. 解：水池的视见深度实际为水池的实际底面经过水——空气界面成像的像距。该题为平面型介质界面的近轴区成像问题，其中  $n=4/3$ ， $n'=1.0$ ， $l'=-1\text{m}$ 。由平面型介质界面的近轴区成像公式  $n'/l' - n/l = 0$ ，可得  $l=-4/3\text{m}$ ，所以实际水深  $4/3$  米。

## 第八章

### ● 习题

8-1. 身高为 1.8m 的人站在照相机前 3.6m 处拍照, 若拟拍成 100mm 高的像, 照相机镜头的焦距为多少?

8-2. 单透镜成像时, 若共轭距为 250mm, 求下列情况下透镜的焦距: (1) 实物,  $\beta = -4$ ; (2) 实物,  $\beta = -1/4$ ; (3) 虚物,  $\beta = -4$ 。

8-3. 设一个光学系统处于空气中,  $\beta = -10$ , 由物面到像面的距离为 7200mm, 物镜两焦点距离为 1140mm, 求透镜的焦距。

8-4. 一个薄透镜对某物体成实像, 放大率为  $-1$ , 今以另一个薄透镜紧贴在第一透镜上, 则见像向透镜方向移动 20mm, 放大率为原来的  $3/4$  倍, 求两块透镜的焦距。

8-5. 一透镜对无穷远处和物方焦点前 5m 的物体成像, 二像的轴向间距为 3mm, 求透镜的焦距。

8-6. 位于光学系统前的一个 20mm 高的物体被成  $-12\text{mm}$  的倒立实像, 当物体向系统方向移动 100mm 时, 其像位于无穷远, 求系统焦距。

8-7. 一薄透镜  $f_1' = 100\text{mm}$  和另一薄透镜  $f_2' = 50\text{mm}$  组合, 组合焦距仍为 100mm, 求二者的相对位置和组合的主点位置。

8-8. 用焦距同为 60mm 的两个薄透镜组成目镜, 两者间距为 40mm, 求目镜的焦距和主点位置。

8-9. 一薄透镜系统由 6D 和  $-8\text{D}$  的两个薄透镜组成, 两者间距为 30mm, 求组合系统的光焦度和主点位置。若把两透镜顺序颠倒, 再求其光焦度和主点位置。

8-10. 一个球形透镜, 直径为 40mm, 折射率为 1.5, 求其焦距和主点位置。

8-11. 已知透镜  $r_1 = -200\text{mm}$ ,  $r_2 = -300\text{mm}$ ,  $d = 50\text{mm}$ ,  $n = 1.5$ , 求其焦距和主点位置。

8-12. 有一双薄透镜系统,  $f_1' = 100\text{mm}$ ,  $f_2' = -50\text{mm}$ , 要求总长度为系统焦距的 0.7 倍, 求二透镜的间距和系统焦距。

8-13. 由两个相同的双凸厚透镜位于同一直线上, 相距 26mm, 构成透镜的两个球面的半径分别为 60mm 和 40mm, 厚度为 20mm, 折射率为 1.5163, 求透镜组的焦距和基点的位置。

8-14. 由两个同心的反射球面(两球面的球心重合)构成的光学系统, 按照光线的反射顺序, 第一个反射球面为凹面, 第二个反射球面为凸面, 要求系统的像方焦点恰好位于第一个反射球面的顶点, 若两个球面间隔为  $d$ , 求两球面的半径  $r_1$  和  $r_2$  以及组合焦距。

8-15. 焦距  $f = 100\text{mm}$  的薄透镜, 直径  $D_0 = 40\text{mm}$ , 在透镜前 50mm 处有一个光孔, 直径  $D_p = 35\text{mm}$ , 问物体在  $-\infty$  和  $-300\text{mm}$  时, 孔径光阑、入瞳和出瞳的位置和大小。

● 部分习题解答

8-3. 解: 在一般的光学系统中, 物方和像方主平面不重合, 所以两个焦点之间的距离并不等于光学系统物方和像方焦距大小之和。设该系统成像时, 以物方和像方的焦点为参考点时物距和像距分别为  $x$  和  $x'$ ,

由题意  $\alpha = -x'/x = 100, x' - x + 1140 = 7200$ , 得  $x = -60, x' = 6000$ ,

由  $\beta = -x'/f' = 10$ , 所以  $f' = -600\text{mm}$ 。

8-9. 解: 由题意可知  $\varphi_1 = 6D, \varphi_2 = -8D, d = 30\text{mm} = 0.03\text{m}$ , 则  $f_1' = 1/6\text{m}, f_2' = -1/8\text{m}$ ,  
由  $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 - d\varphi_1\varphi_2$ , 可得  $\varphi = -0.56D$ ;

由主点计算公式  $l_H' = df_2'/\Delta, l_H = df_1/\Delta$  可得:  $l_H' = 321.4\text{mm}, l_H = 428.6\text{mm}$ 。

当光学系统倒置后, 光焦度不变, 即  $\varphi = -0.56D$ , 这时  $f_1' = -1/8\text{m}, f_2' = 1/6\text{m}$ , 同理可得  $l_H' = -428.6\text{mm}, l_H = -321.4\text{mm}$ 。

8-12. 解: 由题意  $d + l_H' + f' = 0.7f'$ ,

又  $f' = f_1'f_2'/(f_1' + f_2' - d) = 5000/(d - 50)$ ,  $l_H' = df_2'/(d - f_1' - f_2') = -50d/(d - 50)$

可得  $d - 50d/(d - 50) + 1500/(d - 50) = 0$ , 从而  $d = 81.62\text{mm}$ ;

由关系  $f' = f_1'f_2'/(f_1' + f_2' - d) = 5000/(d - 50)$  可得  $f' = 158.1\text{mm}$ 。

8-15. 解: 当  $l = -\infty$ , 由于  $D_p < D_0$ , 所以孔径光阑为光孔, 相当于透镜光心位置, 入瞳  $l = -50\text{mm}$ ,  $D = 35\text{mm}$ , 出瞳  $l' = -100\text{mm}$ ,  $D' = 70\text{mm}$ ;

当  $l = -300\text{mm}$ , 透镜边缘对于物点的半张角  $\tan^{-1}(2/30)$  比光孔边缘对于物点的半张角  $\tan^{-1}(7/100)$  要小, 所以孔径光阑为透镜, 相当于透镜光心位置, 入瞳出瞳重合  $l = l' = 0\text{mm}$ , 大小为  $40\text{mm}$ 。

## 第九章

### ● 习题

9-1. 某人在其眼前 2.5m 远的物看不清,问需要佩戴怎样光焦度的眼睛才能使眼睛恢复正常。另一个人对在其眼前 1m 内的物看不清,问需要佩戴怎样光焦度的眼睛才能使眼睛恢复正常。

9-2. 有一焦距为 50mm,口径为 50mm 的放大镜,眼睛到它的距离为 125mm,求放大镜的视角放大率和视场。

9-3. 已知显微镜目镜  $\Gamma=15$ ,问它的焦距为多少?物镜  $\beta=-2.5$ ,共轭距  $L=180\text{mm}$ ,求其焦距及物方和像方截距。问显微镜总放大率为多少,总焦距为多少?

9-4. 一架显微镜,物镜焦距为 4mm,中间像成在第二焦点后 160mm 处,如果目镜放大率为 20 倍,则显微镜的总放大率为多少?

9-5. 一望远物镜焦距为 1m,相对孔径为 1:12,测出瞳直径为 4mm,试求望远镜的放大率和目镜焦距。

9-6. 一伽利略望远镜,物镜和目镜相距 120mm,若望远镜放大率为 4,问物镜和目镜的焦距各为多少?

9-7. 拟制一架放大率为 6 得望远镜,已有一焦距为 150mm 得物镜,问组成开普勒型和伽利略型望远镜时,目镜的焦距应为多少,筒长各为多少?

9-8. 拟制一个 10 倍的惠更斯目镜,若两片都用  $n=1.5163$  的 K9 玻璃,且  $f_1':f_2'=2:1$ ,满足校正倍率色差,试求两片目镜各面的曲率半径和它们的间隔。

9-9. 拟制一个 10 倍的冉斯登目镜,若两片都用  $n=1.5163$  的 K9 玻璃,且  $f_1'=f_2'$ ,  $d=(f_1'+f_2')/2$ ,求两片目镜各面的曲率半径和它们的间隔。

### ● 部分习题解答

9-1. 解:某人在其眼前 2.5m 远的物看不清,说明远点由无穷远变为 -2.5m,远点折光度数为 -0.4D,所以应该佩戴的眼镜的度数为近视 40 度;

另一个人对在其眼前 1m 内的物看不清,说明近点变为 -1m,近点折光度数为 -1D,所以应该佩戴的眼镜的度数为远视 300 度。

9-3. 解:由于  $\Gamma_e=15$ ,由  $\Gamma_e=250/f_e'$ ,所以  $f_e'=50/3\text{mm}$ ;

$\beta_o=-2.5=l'/l$ ,又  $l'-l=180\text{mm}$ ,可以得到  $l=-51.43\text{mm}$ ,  $l'=128.57\text{mm}$ ,由薄透镜成像公式可以得到  $f_o'=36.73\text{mm}$ ;

显微镜的总放大率为  $\Gamma=\beta_o \Gamma_e=-2.5 \times 15=-37.5$ ,总焦距为  $f=250/\Gamma=-6.67\text{mm}$ 。

9-5. 解：由相对孔径的定义可得入瞳直径为 $D=f_o \times 1/12=1/12\text{m}$ ；由于望远镜的视角放大率为 $\Gamma = -f_o' / f_e' = -D / D'$ ，所以 $\Gamma = -1000 / 48 = -20.83 \times$ ， $f_e' = 48\text{mm}$ 。

9-9. 解：由于目镜的视角放大率 $\Gamma_e = 250/f_e' = 10 \times$ ，所以 $f_e' = 25\text{mm}$ ，由双光组组合公式有 $f_e' = -f_1' \times f_2' / (-f_2') = f_1' = 25\text{mm}$ ，所以构成冉斯登目镜的两个薄透镜的间距为 25mm；

由平凸透镜的焦距公式 $f' = r_2 / (1 - n_0) = r_1 / (n_0 - 1)$ 可知，构成冉斯登目镜的第一个平凸透镜凸面的曲率半径为-12.91mm，构成冉斯登目镜的第二个平凸透镜凸面的曲率半径为 12.91mm。