$$\frac{I}{I_0}=\left(\frac{na_1}{a_1/2}\right)^2=4n^2=1000$$

$\therefore n\approx 16$

若奇数开带，则波带片包含的波带总数为：$N=31$

此时波带片的半径为：

$$\rho=\sqrt{Nf\lambda}=\sqrt{31\times 800\times 400\times 10^{-6}}=3.15\,\text{mm}$$

若偶数开带，则波带片包含的波带总数为：$N=32$

此时波带片的半径为：

$$\rho=\sqrt{Nf\lambda}=\sqrt{32\times 800\times 400\times 10^{-6}}=3.2\,\text{mm}$$

3-3. 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 m。）

解： 假定人眼瞳孔的直径为 2 mm，可见光波长为 0.5 μm，则其极限角分辨率为 $\theta=1.22\frac{\lambda}{D}$，

$\theta=1.22\times 0.5\times 10^{-6}/2\times 10^{-3}=0.305\times 10^{-3}$ rad，能分辨开车灯的最远距离为：

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

3-10. 用波长 $\lambda=0.63\ \mu m$ 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 6.3cm，屏和缝之间的距离是 5 m，求缝宽。

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 $m=\pm1,\pm2,\pm3,\cdots$，两个第五级极小的间距是 $\Delta x=\frac{10f\lambda}{a}$，所以缝宽

$$a=\frac{10f\lambda}{\Delta x}=\frac{10\times 5\times 0.63\times 10^{-6}}{6.3\times 10^{-2}}=5\times 10^{-4}\ \text{m}=0.5\ \text{mm}$$

3-12. 考察缝宽 $b=8.8\times 10^{-3}$ cm，双缝间隔 $d=7.0\times 10^{-2}$ cm、波长为 0.6328 μm 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 cm，计算条纹宽度。

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 $\sin\frac{\varphi}{2}=\sin(\frac{\pi}{\lambda}\frac{d}{f}x)=0$，即 $\frac{\pi}{\lambda}\frac{d}{f}x=m\pi$，其中 $m=\pm1,\pm2,\pm3,\cdots$，

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。

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

3-19. 已知 F-P 标准具的空气间隔 $h=4$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 cm × 3 cm，光栅常数为 1 200 条 /mm，取其一级光谱，试比较这两个分光元件对 $\lambda=0.6328\ \mu m$ 红光的分光特性。

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 $\Delta\lambda_f=0.6328\ \mu m$

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

（2）分辨本领

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

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

光栅：
$$\frac{d\theta}{d\lambda}=\frac{m}{d\cos\theta}=\frac{mN}{l\cos\theta}=\frac{mN}{l\sqrt{1-(\frac{mN\lambda}{l})^2}}=\frac{mn}{\sqrt{1-(mn\lambda)^2}}$$

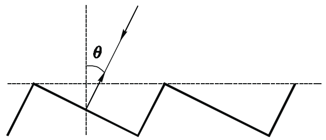
$$=\frac{1200\times 10^3}{\sqrt{1-(1200\times 10^3\times 0.6328\times 10^{-6})^2}}=1.844\times 10^6$$

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

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

3-25. 一块闪耀波长为第一级 0.5 μm、每毫米刻痕为 1 200 的反射光栅，在里特罗自准直装置中能看到 0.5 μm 的哪几级光谱？



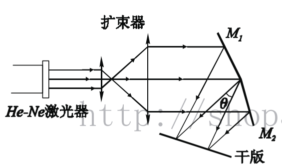
解：里特罗自准直光谱议使用时，其闪耀方向就是它的入射光方向，一级闪耀方向为：

$\sin\theta_1=\frac{m\lambda}{d}=mn\lambda=1200\times10^3\times0.5\times10^{-6}=0.6$，

$\sin\varphi=\sin\theta_1$

根据 $d(\sin\theta\pm\sin\varphi)=m\lambda$，$m=\frac{d(\sin\theta\pm\sin\varphi)}{\lambda}=\frac{1\pm0.6}{1200\times10^3\times0.5\times10^{-6}}=\begin{cases}2.6\\0.6\end{cases}$，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。

3-37. 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

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

$\sin\theta=\frac{\lambda}{2nd}=0.6328\times10^{-6}\times1200\times10^3/2=0.37968$，$\theta=22.31°$。

第四.五章

缺 4-1—4-4，4-10，4-12，4-14，4-17，4-22，5-3—5-6，5-8，5-9，

4-5.一束钠黄光以 60° 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）。

解：根据题意和光在晶体表面折射的性质，在晶体内折射的 o 光和 e 光波矢面与入射面截线为同心圆，o 光和 e 光均服从折射定律。

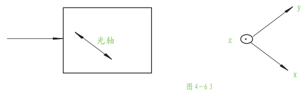
$\because \frac{1}{n_e'^2}=\frac{\cos^2\theta}{n_o^2}+\frac{\sin^2\theta}{n_e^2}$　　$\therefore n_e'=n_e=1.4864$

根据折射定律：$\sin i_o=\frac{\sin i}{n_o}=\frac{\sin 60°}{1.6548}\approx0.523$　　$\therefore i_o\approx31.56°$

$\sin i_e=\frac{\sin i}{n_e}=\frac{\sin 60°}{1.4864}\approx0.583$　　$\therefore i_e\approx35.64°$

由于光轴垂直于入射面，因此 o 光和 e 光的光线与波法线方向不分离，所以两折射光线的夹角 $\alpha=i_e-i_o=4.08°$

4-6. 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°，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 α 以及它们从晶体后表面出射时的相位差（λ=0.5 μm，晶体厚度 d=2cm。）



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 α

$$\tan\alpha=\frac{1}{2}\sin2\theta\left(\frac{1}{n_e^2}-\frac{1}{n_o^2}\right)\times\left(\frac{\cos^2\theta}{n_o^2}+\frac{\sin^2\theta}{n_e^2}\right)^{-1}$$

$$=\frac{1}{2}\times\frac{(0.45703-0.43022)}{0.5\times(1/2.3244+1/2.1880)}$$

$$=\frac{0.13635}{4.5124}=0.030217$$

所以，$\alpha=\arctan0.030217=1°43'$

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

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

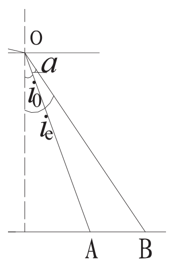
所以： $\Delta\varphi = \left|\frac{2\pi}{\lambda}\times(1.5014-1.5246)\times d\right|$

$=4\pi\times10^{6}\times(1.5246-1.5014)\times2\times10^{-1}$

$=1857\pi$

4-7. 一细光束掠入射单轴晶体，晶体的光轴与入射面垂直，晶体的另一面与折射表面平行。已知 o、e 光在第二个面上分开的距离是 3mm，若 n_o＝1.525，n_e＝1.479，计算晶体的厚度。

解：如图所示，入射角 i≈90°。根据题意，o 光和 e 光均满足折射定律，且晶体中的 o 光和 e 光折射率大小等于其主折射率，其折射角：



$\sin i_o = \frac{\sin i}{n_o} \approx \frac{\sin 90°}{1.525} \approx 0.656 \qquad \therefore i_o \approx 40.996°$

$\sin i_e = \frac{\sin i}{n_e} \approx \frac{\sin 90°}{1.479} \approx 0.676 \qquad \therefore i_e \approx 42.532°$

由于光轴垂直于入射面，因此 o 光和 e 光的光线与波法线方向不分离，所以两折射光线的夹角 $\alpha = i_e - i_o = 1.536°$

根据图中几何关系： $\frac{\sin\alpha}{AB} = \frac{\sin\angle OBA}{OA}$

其中 $\angle OBA = 90° - i_e = 47.468°$，AB＝3mm

$\therefore OA = \frac{3\times\sin 47.468°}{\sin 1.563°} \approx 81.049mm$

$\therefore$ 晶体厚度 $d = OA\cdot\cos i_o \approx 61.172mm$

4-8. 一块单轴晶体的光轴垂直于表面，晶体的两个主折射率分别为 n_o 和 n_e，证明当平面波以入射角 θ_1 入射到晶体时，晶体内 e 光的折射角 θ_e' 为： $tg\theta_e' = \frac{n_o\sin\theta_1}{n_e\sqrt{n_e^2-\sin^2\theta_1}}$

证明：设 e 光波法线与光轴的夹角为 θ_e，由折射定理： $n_1\sin\theta_1 = n_e'\sin\theta_e$

其中， $n_e' = \frac{n_e n_o}{\sqrt{n_e^2\cos^2\theta_e + n_o^2\sin^2\theta_e}}$，在空气中 $n_1 = 1$

由此可得： $tg\theta_e = \frac{n_e\sin\theta_1}{n_o\sqrt{n_e^2-\sin^2\theta_1}}$

$\therefore$ e 光与光轴的夹角 $tg\theta_e' = \frac{n_o^2}{n_e^2}tg\theta_e = \frac{n_o\sin\theta_1}{n_e\sqrt{n_e^2-\sin^2\theta_1}}$

4-9.例 7-1

4-11. 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 π 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。

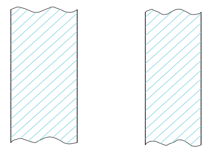
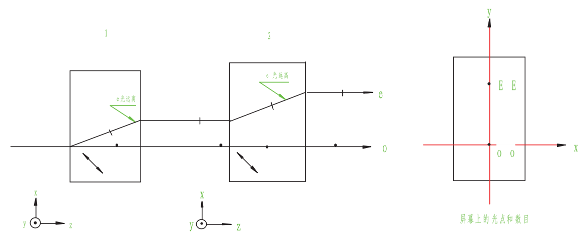
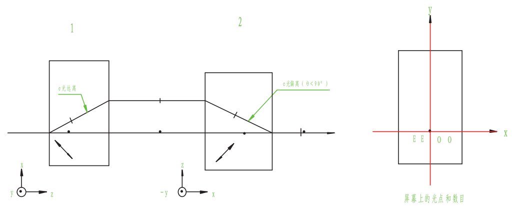


图4-64

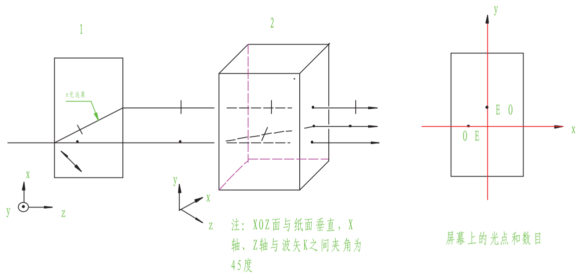
解：1）屏上有 2 个光点。E 光光点向上平移，o 光光点正对入射点。



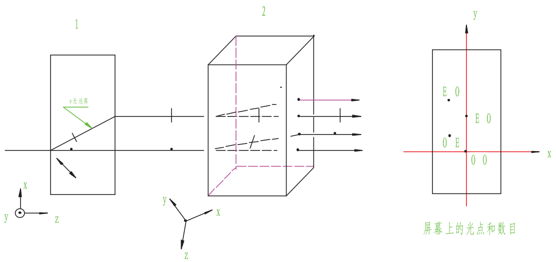
2）若 $d_1 = d_2$，屏上只有 1 个光点，若 $d_1 \neq d_2$，屏上有 2 个光点，$d_1 > d_2$，e 光光点上移，$d_1 < d_2$，e 光光点下移。



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。



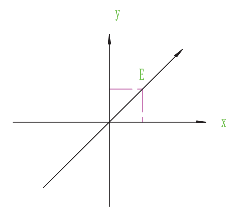
4）屏上有 4 个光点。1 个光点正对入射点，1 个光点向上平移，另外 2 个光点分别相对这 2 个光点向 45° 方向平移。



4-13.例 7-5.

4-15. 设正入射的线偏振光振动方向与半波片的快、慢轴成 45°，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。

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：

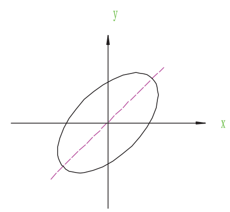


(2)在$d'=\frac{d}{4}$处，$\Delta\varphi=\frac{\pi}{4}$，并设，$E_{0x}=E_{0y}=\frac{\sqrt{2}}{2}E_0=A$

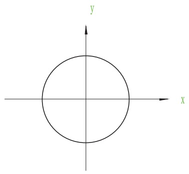
则有:$\frac{E_x^2}{A^2}+\frac{E_y^2}{A^2}-\sqrt{2}\frac{E_xE_y}{A^2}=\frac{1}{2}$,化简为:

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

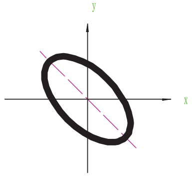
则两偏振光叠加后为椭圆偏振光，如下图：



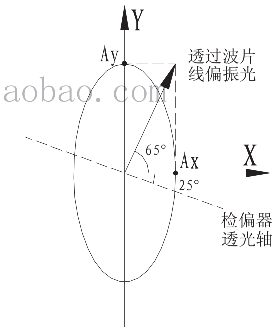
(3)在$d'=\frac{d}{2}$处，$\Delta\varphi=\frac{\pi}{2}$，则两偏振光叠加后为圆偏振光，如下图：



(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：



4-16. 当通过一检偏器观察一束椭圆偏振光时，强度随着检偏器的旋转而改变，当在强度为极小时，在检偏器前插入一块 1/4 波片，转动 1/4 波片使它的快轴平行于检偏器的透光轴，再把检偏器沿顺时针方向转动 25° 就完全消光，问该椭圆偏振光是左旋还是右旋，椭圆长短轴之比是多少？



解：椭圆偏振光可以看作是一个光矢量沿长轴方向的线偏振光和一个位相相差 π/2 的光矢量沿短轴方向的线偏振光的合成。即：$\varphi_y - \varphi_x = \pm\frac{\pi}{2}$

如图，设短轴方向为 x 轴，长轴方向为 y 轴。因此，当转动检偏器，使之透光轴平行于 x 轴时，强度最小。由题意，插入快轴沿 x 轴的 1/4 波片后，透射光为线偏振光，振动方向与 x 轴成 65°，此时$\Delta\varphi_1 = \varphi_y - \varphi_x = 0$

∵快轴沿 x 轴的 1/4 波片产生的相位差：$\Delta\varphi_2 = \varphi_y - \varphi_x = -\frac{\pi}{2}$

∴椭圆偏振光的初始位相差 $\varphi_y - \varphi_x = \Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2 = \frac{\pi}{2}$

表示右旋椭圆偏振光，由图可知，椭圆长轴和短轴之比为：$\frac{A_y}{A_x} = tg65° = 2.145$

4-18. 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？（λ=0.5893 μm ,n_o=1.5442，n_e=1.5533。）

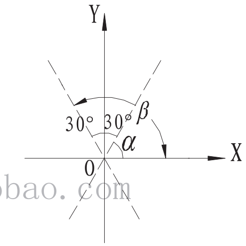
解,(1)由题意知，应使光通过晶体后，两本征模的位相差$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$,

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

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θ满足$\tan\theta = \frac{1}{2}$，所以，$\theta = 26.565°$

4-19.在前后两个偏振器之间插入一块石英的$\frac{1}{8}$波片，两偏振器的偏振轴夹角为 60°，波片的光轴与两偏振器的偏振轴都成 30°，问当光强为 I_0 的自然光入射这一系统时，通过第二个偏振器后的光强是多少？



解：右图可知，两偏振器偏振轴与 x 轴的夹角分别为：

$\alpha = 60°$，$\beta = 120°$

自然光通过第一个偏振器后光强为$\frac{I_0}{2}$

∴通过第二个偏振器后的光强为：

$$I = \frac{I_0}{2}\cos^2(\alpha - \beta) - \frac{I_0}{2}\sin 2\alpha \sin 2\beta \sin^2\frac{\varphi}{2}$$

$$= \frac{I_0}{2}\cos^2 60° - \frac{I_0}{2}\sin 120° \sin 240° \sin^2\frac{\pi}{8} \approx 0.18I_0$$

4-20. 一块厚度为 0.04mm 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θ（$\theta \neq 0°$、90°）角。试问哪些光不能透过该装置。

解：由题意可知：$\beta=60°$，则有

$$I=I_0\left[\cos^2\beta-\sin 2\alpha\bullet\sin 2(\alpha-\beta)\bullet\sin^2 2\varphi\right]$$

$$=I_0\sin^2 2\theta\bullet\sin^2 2\varphi$$

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

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

$$\lambda=\frac{|n_o-n_e|}{m}d=|1.6584-1.4864|\times0.04\times10^{-3}\times\frac{1}{m}=\frac{6880}{m}nm$$

所以，当光波λ满足$\lambda_m=\frac{6880}{m}\times10^{-9}(m)$时，能通过该装置，在可见光范围内，$\lambda_m$满足：

$$380nm\le\lambda_m\le760nm,\text{即}:380nm\le\frac{6880}{m}\le760nm$$

解得:$9\le m\le18$,

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：

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

4-23. 在两个偏振面正交放置的偏振器之间，平行放置一块厚度为0.856mm的石膏片，当$\lambda_1=0.591$μm时，视场全暗，然后改变光的波长，当$\lambda_2=0.552$μm时，视场又一次全暗，假设快、慢轴方向的折射率差在这个波段范围内与波长无关，试求这个折射率差。

解：两个偏振器的偏振面正交，通过该系统的光强：$I\propto\sin^2\frac{\varphi}{2}$

设快慢轴的折射率差为Δn，则当$\varphi=\frac{2\pi\Delta nd}{\lambda}=2m\pi$时，$I=0$，视场全暗。

由题意：

$$\left.\begin{aligned}\frac{\pi\Delta nd}{\lambda_1}&=m\pi\\\frac{\pi\Delta nd}{\lambda_2}&=(m+1)\pi\end{aligned}\right\}\Longrightarrow\Delta n=\frac{1}{(\frac{1}{\lambda_2}-\frac{1}{\lambda_1})d}\approx0.0098$$

5-1. 一 KDP 晶体，l=3cm，d=1cm。在波长λ=0.5μm时，n_o=1.51，n_e=1.47，γ_{63}=10.5×10^{-12}m・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。

解：l=3cm, d=1cm, λ=0.5μm, $n_0=1.51, n_e=1.47$

$$\gamma_{63}=10.5\times10^{-12}m\bullet v^{-1},\varphi=\frac{\pi}{2}$$

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

$$\text{所以，}u=\frac{\varphi\lambda}{2\pi n_o^3\gamma_{63}}=\frac{\frac{\pi}{2}\times0.5\times10^{-6}}{2\pi\times1.53\times10.5\times10^{-12}}=3.46\times10^3V$$

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

$$\text{所以，}u=\frac{\varphi\lambda d}{\pi ln_o^3\gamma_{63}}=\frac{\pi}{2}\times\frac{0.5\times10^{-6}\times1\times10^{-2}}{\pi\times3\times10^{-2}\times1.51^3\times10.5\times10^{-12}}=2.3\times10^3V$$

5-2. 一 CdTe 电光晶体，外加电场垂直于（110）面，尺寸为40×5×5mm^3，对于光波长$\lambda=10.6$μm，它的折射率n_o=2.67，电光系数$\gamma_{41}=6.8\times10^{-12}$m/V。为保证相位延迟$\varphi=0.06rad$，外加电场为多大？

解：外加电场垂直于（110）面时，三个感应主折射率分别为：

$$\begin{cases}n_{x'}=n_o+\frac{1}{2}n_o^3\gamma_{41}E_z\\n_{y'}=n_o-\frac{1}{2}n_o^3\gamma_{41}E_z\\n_{z'}=n_o\end{cases}$$

电光延迟为：

$$\varphi=\frac{2\pi}{\lambda}n_o^3\gamma_{41}U\frac{l}{d}=\frac{2\pi}{10.6\times10^{-6}}\times2.67^3\times6.8\times10^{-12}\times\frac{40}{5}U=6.14\times10^{-4}U$$

∴当相位延迟为$0.06rad$时，　$0.06=6.14\times10^{-4}U$

∴外加电场的大小为：U＝97.7 V

5-7. 在声光介质中，激励超声波的频率为500MHz，声速为3×10^{5}cm/s，求波长为0.55μm的光波由该声光介质产生布拉格衍射时的入射角为多少？

解：激励超声波产生声驻波，声波波长为：$\lambda_s=\frac{v_s}{f}=\frac{3\times10^3}{500\times10^6}=6\times10^{-6}m$

∴ 布拉格衍射时的入射角：$\theta_B=\arcsin\frac{\lambda}{2\lambda_s}=2.627°$

5-10. 一个长10cm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°，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？

解：因为：$\theta = VBL = 4.86\times0.1\times0.1 = 0.0486(rad) = 2.78^0$

所以，偏振面旋转2.78^0。

欲使偏振面旋转45^0，则外加磁场为：

$$B=\frac{\theta}{VL}=\frac{45^0\times\frac{\pi}{180}}{4.86\times0.1}=1.621(\mathrm{T})$$

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

缺 6-4，6-5.

6-1. 有一均匀介质，其吸收系数$K = 0.4\,\mathrm{cm}^{-1}$，求出射光强为入射光强的 0.1、0.3、0.8 时的介质厚度。

解：经介质吸收后的光强为：$I = I_0 e^{-Kl}$

$\therefore$ 当$I/I_0 = 0.1$时， $l=-\frac{1}{K}\ln\frac{I}{I_0}=-\frac{1}{0.4}\ln 0.1=5.76\,\mathrm{cm}$

当$I/I_0 = 0.3$时， $l=-\frac{1}{K}\ln\frac{I}{I_0}=-\frac{1}{0.4}\ln 0.3=3\,\mathrm{cm}$

当$I/I_0 = 0.8$时， $l=-\frac{1}{K}\ln\frac{I}{I_0}=-\frac{1}{0.4}\ln 0.8=0.558\,\mathrm{cm}$

6-2. 一长为 4.3m 的玻璃管，内盛标准状态下的某种气体。若其吸收系数为 $0.22\mathrm{m}^{-1}$，求激光透过此玻璃后的相对强度。

解：标准状态下的气体为均匀介质，经其吸收后的相对光强为：

$$\frac{I}{I_0}=e^{-Kl}=e^{-0.22\times4.3}=38.83\%$$

6-3. 一个$60°$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 $A = 1.416$，$B = 1.72\times10^{-10}\ \mathrm{cm}^2$表示，棱镜的放置使它对 $0.6\,\mu\mathrm{m}$波长的光产生最小偏向角，这个棱镜的角色散率（$\mathrm{rad}/\mu\mathrm{m}$）为多大？

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$n=1.416+\frac{1.72\times10^{-14}}{0.36\times10^{-12}}=1.464$。对公式两端微分可得：

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

棱镜顶角α，最小偏向角δ_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$\delta_m = 34.1086°$，对公式两端微分可得：

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

联立（1）（2）方程，可得角色散率：

$$\frac{d\delta_m}{d\lambda}=-\frac{2\sin\frac{\alpha}{2}}{\cos\frac{1}{2}(\alpha+\delta_m)}\cdot\frac{2B}{\lambda^3}=-\frac{2\times\sin30°}{\cos\frac{60°+34.1086°}{2}}\times\frac{2\times1.72\times10^{-14}}{(0.6\times10^{-6})^3}$$

$$=-0.2338\times10^6\ \mathrm{rad/m}=-0.2338\ \mathrm{rad}/\mu\mathrm{m}$$

6-6. 若某种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，其透射光强可增加多少？

http://shop59350285.taobao.com

解：设吸收系数为 K，散射系数为h，由题意：$K = 2h$，则通过介质后的透射光强为：

$$I = I_0\exp[-(K+h)l] = I_0\exp(-3hl) = 0.2I_0$$

$\therefore Kl = 2hl = 1.073$

若不考虑散射，透射光强为：

$$I' = I_0\exp(-Kl) = I_0\exp(-1.073) = 0.342I_0$$

则透射光强增加：$\Delta I = I' - I = 0.142I_0$

6-7.. 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）。

解：由公式$\frac{I}{I_0}=e^{-(K+h)l}$，得方程组$\begin{cases}e^{-(K+h)\times0.35}=0.65\\ e^{-K\times0.35}=0.88\end{cases}$，解得吸收系数 $K = 0.36524\ \mathrm{m}^{-1}$，散射系数 $h = 0.86557\ \mathrm{m}^{-1}$。

6-8.太阳光束由小孔射入暗室，室内的人沿着与光束垂直及成$45°$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？

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

6-9. 一束光通过液体，用尼科尔检偏器正对这束光进行观察。当偏振轴竖直时，光强达到最大值；当偏振轴水平时，光强为零。再从侧面观察散射光，当偏振轴为竖直和水平两个位置时，光强之比为 20:1，计算散射光的退偏程度。

解：正对光束进行观察，偏振轴竖直时，光强达到最大值；当偏振轴水平时，光强为零，因此该光为线偏振光，偏振度为 1。

从侧面观察散射光时，当偏振轴为竖直和水平两个位置时，光强之比为 20:1，不妨设 $I_y = 20I$，$I_x = I$，则散射光的偏振度为：

$$P = \left|\frac{I_y - I_x}{I_y + I_x}\right| = \frac{20I - I}{20I + I} = 0.905$$

$\therefore$退偏度为：$\Delta = 1 - P = 1 - 0.905 = 9.5\%$

6-10.苯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 cm^{-1}。今以氩离子激光 $\lambda = 0.488$ μm 为入射光，计算各斯托克斯及反斯托克斯线的波长。

解：由题意，各斯托克斯光波长与入射波长的关系为：

$$\frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{\lambda} - 0.0607 \qquad \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{\lambda} - 0.0992 \qquad \frac{1}{\lambda_3} = \frac{1}{\lambda} - 0.1178$$

$$\frac{1}{\lambda_4} = \frac{1}{\lambda} - 0.1568 \qquad \frac{1}{\lambda_5} = \frac{1}{\lambda} - 0.3047 \qquad \frac{1}{\lambda_6} = \frac{1}{\lambda} - 0.3062$$

其中波长的单位均为 μm，则求得为：

$\lambda_1 = 0.5029$ μm $\qquad \lambda_2 = 0.5128$ μm $\qquad \lambda_3 = 0.5178$ μm

$\lambda_4 = 0.5289$ μm $\qquad \lambda_2 = 0.5732$ μm $\qquad \lambda_3 = 0.5737$ μm

同理，各反斯托克斯光波长与入射波长的关系为：

$$\frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{\lambda} + 0.0607 \qquad \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{\lambda} + 0.0992 \qquad \frac{1}{\lambda_3} = \frac{1}{\lambda} + 0.1178$$

$$\frac{1}{\lambda_4} = \frac{1}{\lambda} + 0.1568 \qquad \frac{1}{\lambda_5} = \frac{1}{\lambda} + 0.3047 \qquad \frac{1}{\lambda_6} = \frac{1}{\lambda} + 0.3062$$

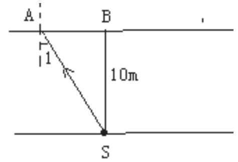
解得：$\lambda_1 = 0.474$ μm $\qquad \lambda_2 = 0.4655$ μm $\qquad \lambda_3 = 0.4615$ μm

$\lambda_4 = 0.4529$ μm $\qquad \lambda_2 = 0.4248$ μm $\qquad \lambda_3 = 0.4246$ μm

第七章 几何光学基础

7-2.1－3 水槽有水 10m 深，槽底中央有一点光源，水的折射率为 1.33，水面上浮一不透光也不反射光的纸片，使人从水面上以任意角度观察都看不到光，则这张纸片最小面积是多少？

解：点光源发出的光入射到水面上时，若发生全反射，则光线无法透射出水面，因此纸片至少要遮住所有未发生全反射的区域。由于点光源发出的光束是一圆锥型，因此纸片为圆形时所需的面积最小，且圆心位于点光源的正上方。



如图为点光源发出的光刚好发生全反射时的情况，纸片的半径长度即为 A 点到 B 点的距离|AB|，由临界角公式：

sin∠1＝1/1.33　　　计算得 tg∠1＝1.14

∴|AB|＝|SB|・tg∠ASB＝10・tg∠1＝11.4m

∴纸片的面积 S＝π|AB|^2＝408.58 ㎡

7-4.1－5 空气中的玻璃棒，n＝1.6，左端为一半球形，r＝40mm，轴上一点源，L＝－80mm，求 U＝－2° 的像点位置。

解：由单个折射球面的光路计算公式：

$$\sin I = \frac{L-r}{r}\sin U = \frac{-80-40}{40} \times 0.0349 = 0.105 \qquad \text{则：} I = 6.027^\circ$$

$$\sin I' = \frac{n}{n'}\sin I = \frac{1}{1.6} \times 0.105 = 0.066 \qquad \text{则：} I' = 3.76^\circ$$

$$U' = I + U - I' = 0.267^\circ$$

$$L' = r + r\frac{\sin I'}{\sin U'} = 40 + 40 \times \frac{0.066}{0.00466} = 606.52mm$$

则像点位于半球顶点之右 606.52mm 处。

7-6.1－7 已知一透镜的结构参数如下（单位是毫米）：r$_1$＝10，n$_1$＝1.0，d$_1$＝5，n$_2$＝n$_1'$＝1.5163，r$_2$＝－50，n$_2'$ ＝1.0。高度 y$_1$＝10mm 的物体位于透镜前 l_1＝－100mm 处，求像的位置和大小。

解：先计算第一面，利用物象公式：$\dfrac{n_1'}{l_1'} - \dfrac{n_1}{l_1} = \dfrac{n_1' - n_1}{r_1}$

代入数据：$\dfrac{1.5163}{l_1'} - \dfrac{1}{-100} = \dfrac{1.5163-1}{10}$ 　　求得：$l_1' = 36.4233$ mm

$$\therefore \beta_1 = \frac{n_1 l_1'}{n_1' l_1} = \frac{1 \times 36.4233}{1.5163 \times (-100)} = -0.240212$$

再计算第二面：$l_2 = l_1' - d_1 = 31.4233$，将数据代入物象公式：$\frac{n_2'}{l_2'} - \frac{n_2}{l_2} = \frac{n_2' - n_2}{r_2}$

$\frac{1.}{l_2'} - \frac{1.5163}{31.4233} = \frac{1-1.5163}{-50}$　　求得：$l_2 = 17.0707$ mm

$\therefore \beta_2 = \frac{n_2 l_2'}{n_2' l_2} = \frac{1.5163\times17.0707}{1\times31.4233} = 0.83273$

∴像的大小为：$y_2' = \beta_1\beta_2 y_1 = 1.97870$ mm

7-7.1－8 有一玻璃球，折射率为 n＝1.5，半径为 2 ㎝，放在空气中，当物放在球前 4 ㎝处时像在何处？像的大小如何？

解：将玻璃球分成两个半球面来计算，对于第一个面，由物象关系式：$\frac{n_1'}{l_1'} - \frac{n_1}{l_1} = \frac{n_1' - n_1}{r_1}$

$\frac{1.5}{l_1'} - \frac{1}{-4} = \frac{1.5-1}{2}$　　求得：$l_1' = \infty$

再计算第二个面：$l_2 = l_1' - 2\times2 = \infty$，将数据代入物象公式：$\frac{n_2'}{l_2'} - \frac{n_2}{l_2} = \frac{n_2' - n_2}{r_2}$

$\frac{1.}{l_2'} - \frac{1.5}{\infty} = \frac{1-1.5}{-2}$　　求得：$l_2 = 4cm$

垂轴放大率：$\beta = \beta_1\beta_2 = \frac{n_1 l_1'}{n_1' l_1}\cdot\frac{n_2 l_2'}{n_2' l_2} = -1$

∴像的大小与原物一样，呈倒像。

7-8.1－9 一个直径为 400mm 的玻璃球，折射率为 1.52。球内有两个小气泡，看上去一个恰好在球心，另一个从最近的方向去看，在球表面和中心的中间，求两气泡的实际位置。

解：∵通过球心的光线垂直于球表面出射或入射

∴看上去在球心的气泡，其实际位置就是在球心。

另一个气泡像位于表面和中心的中间，球直径为 400mm

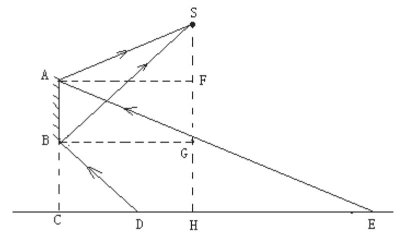
$\therefore\ l' = \frac{-400}{2}\times\frac{1}{2} = -100mm$　　代入物象关系式 $\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n'-n}{r}$：

$\frac{1}{-100} - \frac{1.52}{l} = \frac{1-1.52}{-200}$　　求得：$l = -120.635mm$

∴另一个气泡的实际位置离球心的距离为：200－120.635＝79.365 mm

7-16.1－13 长 1m 的平面镜挂在墙上，镜的上边离地 2m，一人立于镜前，其眼离地 2.5m，离墙 1.5m，求地面上能使此人在镜内所看到的离墙最近和最远之点。

解：如图，观察点为 S 点，SH＝2.5m；镜子的长度 AB＝1m，在地面上的投影为 C 点，因此 AC＝2m，CH＝1.5m；能观察到的最远点为 E 点，最近点为 D 点。



作 AF⊥SH，BG⊥SH，由几何知识可知：

SF＝2.5－2＝0.5m　　SG＝2.5－1＝1.5m

tg∠SAF＝$\frac{SF}{AF} = \frac{1}{3}$

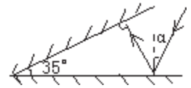
∴tg∠CAE＝ctg∠FAE=ctg∠SAF=3

∴CE=AC・tg∠CAE=2×3=6m

同理可得 CD＝1m

7-17.1－14 夹角为 35° 的双平面反射镜系统，当光线以多大的入射角入射于一平面时，其反射光线再经另一平面镜反射后，将沿原光路反向射出？

解：如右图所示，当反射光线垂直于另一平面反射镜时，光线将沿原光路反向射出。



由图中几何关系很容易知道：$\alpha = 35°$

7-19.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。

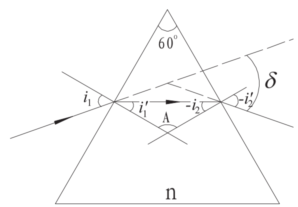
解：水池的视见深度实际为水池的实际底面经过水——空气界面成像的像距。该题为平面型介质界面的近轴区成像问题，其中 n=4/3，n'=1.0，l'=-1m。由平面型介质界面的近轴区成像公式 $n'/l' - n/l = 0$，可得 l=-4/3m，所以实际水深 4/3 米。

7-21.1－16 有一等边折射三棱镜，其折射率为 1.52，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值。

解：由最小偏向角公式：$\sin\frac{1}{2}(\alpha + \delta_m) = n\sin\frac{\alpha}{2}$

已知棱镜顶角 α 为 60°，折射率 n＝1.52，代入上式求得 $\delta_m = 38.9°$

取得最小偏向角的条件是 $i_1' = -i_2$，由图中几何关系：



∠A＝180°－60°＝120°，

则：$i_1' = -i_2 = 30°$

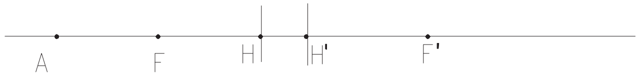
由折射定理：$\sin i_1 = n\sin i_1'$＝1.52×0.5＝0.76

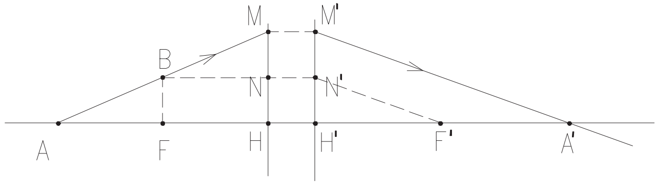
∴取得最小偏向角时的入射角 $i_1 = 49.5°$

第八章 理想光学系统

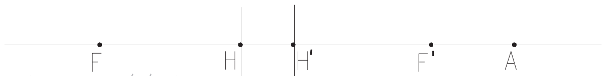
8-1. 作图：

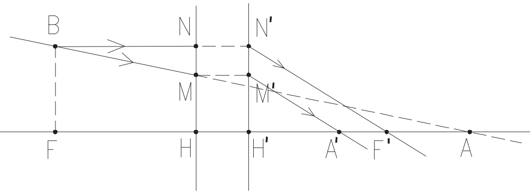
（1）作轴上实物点 A 的像 A'



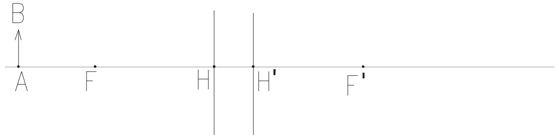


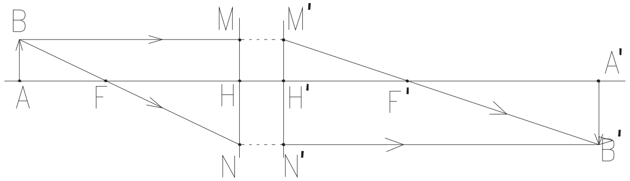
（2）作轴上虚物点 A 的像 A'



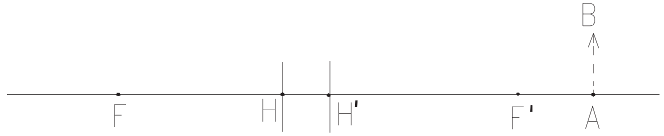


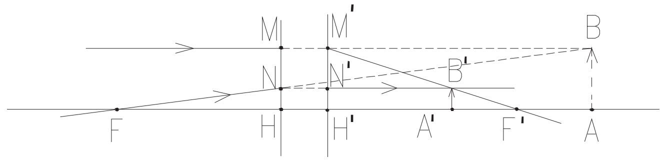
（3）作垂轴实物 AB 的像 AB'



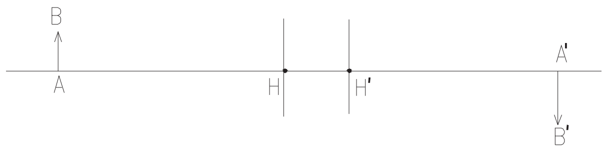


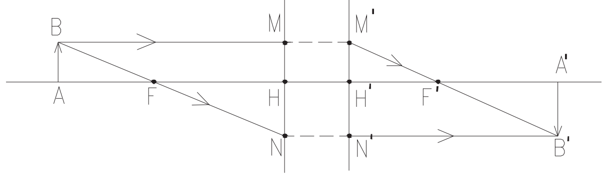
（4）作垂轴虚物 AB 的像 AB'





（5）画出焦点 F 、F' 的位置





（6）画出焦点 F 、F' 的位置