大学物理下习题册五

1、一束单色光射在两个相距为 d=0.2mm 的狭缝上。在狭缝后 D=1.0m 处的屏上，从第一条明条纹到同侧第四条明条纹的间距 l =7.5mm，求此单色光的波长。

解：根据双缝干涉明条纹关系 $\delta = d\sin\theta = d\dfrac{x}{D} = k\lambda$ 可得

$$x = \frac{k\lambda D}{d}$$

$$x_4 - x_1 = \frac{\lambda D}{d}(4-1)$$

$$\therefore \quad \lambda = \frac{\Delta x d}{3D} = \frac{7.5\times10^{-3}\times0.2\times10^{-3}}{3\times1.0} = 500\ (\text{nm})$$

2、在双缝实验中，两缝相距 5.0mm，缝距离屏 1.0m，在屏上可见到两个干涉花样。一个是由 480nm 的光产生，另一个由 600nm 的光产生。问在屏上两个不同花样的第三级干涉明条纹之间的距离是多少？

解：双缝干涉明条纹中心位置 $x = k\dfrac{D}{d}\lambda$，所以同级而不同波长的光在屏上的间距为

$$\Delta x = x_2 - x_1 = k\frac{D}{d}(\lambda_2 - \lambda_1)$$

$$= 3\frac{1}{5.0\times10^{-3}}(6000-4800)\times10^{-10}$$

$$= 7.2\times10^{-5}(\text{m})$$

3、已知杨氏实验中 d = 0.40mm，D=50cm ，λ = 640nm。求：
（1）第一级明条纹与中央明条纹的间距；
（2）如 P 点离中央明条纹为 0.2mm，问两束光在 P 点的位相差；
（3）P 点的光强和中央明条纹的强度比。

解： (1) $\Delta x=\dfrac{\lambda D}{d}=\dfrac{6.4\times10^{-5}\times50}{0.4\times10^{-1}}=8\times10^{-2}\,\mathrm{cm}$

(2) $\delta=d\dfrac{x}{D}=\dfrac{0.04\times0.02}{50}=1.6\times10^{-5}\,\mathrm{cm}$

$$\varphi=\frac{2\pi}{\lambda}\delta=2\pi\frac{1.6\times10^{-5}}{6.4\times10^{-5}}=\frac{\pi}{2}$$

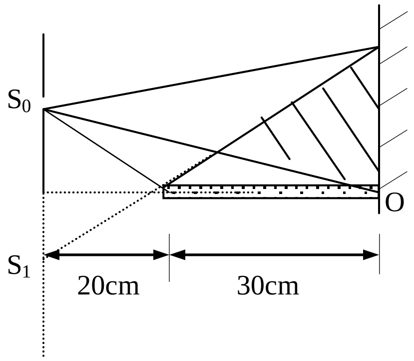
(3) $\dfrac{I}{I_{中}}=\dfrac{4I_0\cos^2\dfrac{\Delta\varphi}{2}}{4I_0}=(\dfrac{\sqrt{2}}{2})^2=1:2$

4、在双缝实验中，用一很薄的云母片（n=1.58）覆盖其中的一条狭缝，这时屏幕上的零级明条纹恰好移到屏幕原来第七级明条纹的位置上，如果入射光波长为 550nm，试问此云母片的厚度是多少？

解：原来第七级明纹的光程差为 $r_2-r_1=7\lambda$，放入云母片后第七级明纹变为中央明纹，其光程差为

$$r_2-(r_1-d+nd)=0$$
$$r_2-r_1=d(n-1)=7\lambda$$
$$\therefore\quad d=\frac{7\lambda}{n-1}=\frac{7\times7.5\times10^{-4}}{1.58-1}=6.6\times10^{-3}(\mathrm{mm})$$

5、在洛埃镜装置中，狭缝光源 S_0 和它的虚像 S_1 在离镜左边 20cm 的平面内，如图所示。镜长 30cm，在镜的右面边缘处放置一毛玻璃光屏。如 S_0 到镜面的垂直距离为 2.0mm，使用波长为 720nm 的红光，试计算平面镜右边边缘到第一条明条纹之间的距离。



解：洛埃镜的反射光有半波损失，故干涉明纹条件为

$$\delta = (2d)\frac{x}{D} + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

$$x\Big|_{k=1} = \frac{D}{(2d)}(k - \frac{1}{2})\lambda \quad = \frac{(20+30)}{0.4}\frac{7.2\times10^{-5}}{2} = 4.5\times10^{-3}\,\text{cm}$$

6、在玻璃上涂上折射率为 1.33 的塑料薄膜。当我们的观察方向与膜面的法线方向成 30^0 角时，可看到反射光呈绿色光（λ =500nm）。已知玻璃的折射率为 1.50，试问：

（1）油膜的最小厚度为多少？

（2）如果从膜面的法线方向观察，则反射光呈什么颜色。

解：（1） $\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i} = k\lambda$ （最小厚度 k=1）

$$e_{min} = \frac{\lambda}{2\sqrt{n_2^2 - \sin^2 30^0}} = \frac{5.0\times10^{-5}}{2\sqrt{1.33^2 - (0.5)^2}} = 2.03\times10^{-5}\,\text{cm}$$

（2）从法线方向观察 i=0， $2n_2e_{min} = k\lambda$ 可得 $\lambda = \frac{2ne_{min}}{k}$

k=1 $\lambda_1 = 2ne_{min} = 2\times1.33\times2029 = 539.7\text{nm}$ 绿色

k=2 $\lambda_2 = \frac{2n_2e_{min}}{2} = 269.8\text{nm}$ 不在可见光范围

所以反射光为绿色。

7、在棱镜（n_1=1.52）表面，涂一层增透膜（n_2=1.30），为使此增透膜适用于 550nm 波长的光，求膜的最小厚度应多大？

解：增透膜即反射相消，又两反射均有半波损失而无附加光程差，所以反射相消满足下列条件

$$\delta = 2n_2 e = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

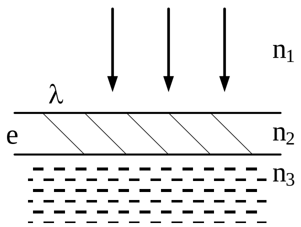
$$e = (2k+1)\frac{\lambda}{4n_2}$$

$$e_{min}(k=0) = \frac{550}{4\times 1.30} = 105.8\,(nm)$$

8、一厚度为 625nm、折射率为 n_2=1.40 的煤油膜浮于水面（水的折射率 n_3=1.33），一波长为 500nm 的单色光从空气（n_1=1.00）中垂直入射在油膜上（如图所示），求：

（1）反射光的光程差、相位差，并说明其干涉结果；

（2）透射光的光程差、相位差，并说明其干涉结果



解：（1）垂直入射 i =0，有半波损失

光程差 $\delta = 2n_2 e + \frac{\lambda}{2} = 2\times 1.40\times 625 + \frac{500}{2} = 2000(nm)$

相位差 $\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}\delta = \frac{2\pi}{500}\times 2000 = 8\pi$

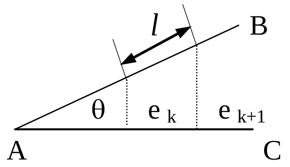
干涉极大

（2）光程差 $\delta = 2n_2 e = 2\times 1.40\times 625 = 1750(nm)$

相位差 $\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}\delta = \frac{2\pi}{500}\times 1750 = 7\pi$

干涉极小

9、利用等厚干涉可以测量微小的角度。如图所示，折射率 n=1.4 的劈尖状板，在某单色光的垂直照射下测出两相邻明条纹间距 l=0.25cm，已知单色光在空气中的波长为 700nm，求劈尖顶角θ。



解：$$\sin\theta \approx \theta = \frac{\Delta e}{l} = \frac{\frac{\lambda}{2n}}{l} = \frac{\frac{700}{2\times1.4}}{0.25\times10^{7}} = 1\times10^{-4}\,\text{rad}$$

10、使用单色光观察牛顿环，测得某一明环的直径为 3.00mm，在它的外面的第五个明环直径为 4.60mm，已知平凸透镜的曲率半径为 1.03m，求此单色光的波长。

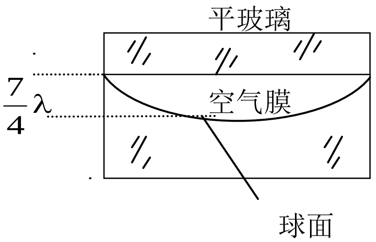
解：根据牛顿环的明纹关系可得

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = 2\frac{r_k^2}{2R} + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

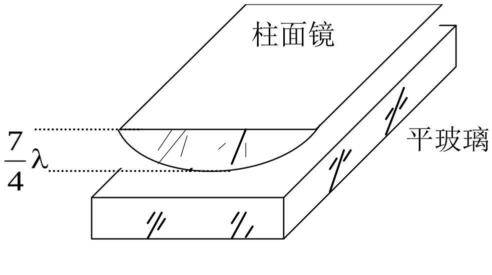
$$\frac{D_k^2}{4R} = (k - \frac{1}{2})\lambda \Rightarrow \frac{1}{4R}(D_{k+5}^2 - D_k^2) = 5\lambda$$

$$\lambda = \frac{1}{20R}(D_{k+5}^2 - D_k^2) = 590\text{nm}$$

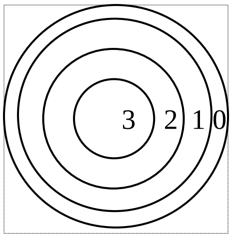
11、使平行光垂直入射图（a）和（b）所示装置的上表面来观察等厚干涉。试画出反射光的干涉条纹（只画暗条纹），并标出条纹级次。

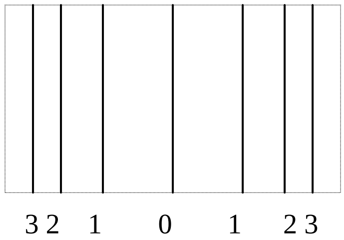


（a）



（b）





根据 $\delta_{max}=\frac{7}{4}\lambda=(2k+1)\frac{\lambda}{2}$ 得

$k=3.5$

12、以钠光灯作为光源（λ =589. 3nm），在迈克耳逊干涉仪的一支光路上，放置一个长度为 d=140mm 的玻璃容器，当以 NH_3 注入容器时，测得干涉条纹移动Δ N=180 条，求 NH_3 的折射率。

解：迈克耳逊干涉仪每移过一条条纹光程差改变λ

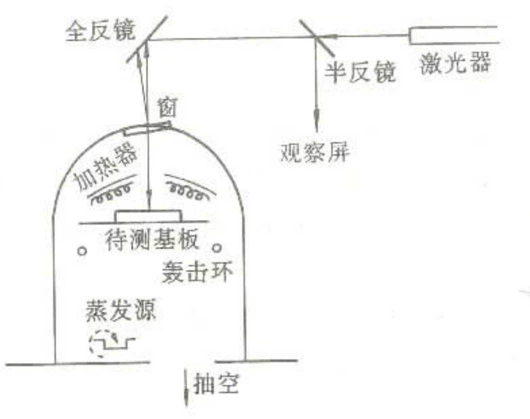
$$\therefore \quad 2(n-1)d=180\lambda$$

$$n=\frac{90\lambda}{d}+1=1.00038$$

拓展题：

1. 传统测温方法都需要加入测温元件（温度计、热电偶或其它传感器等），使待测元件的温度与测温元件达到热平衡，然后从测温元件获得待测元件的温度。但是在某些情况下（如高真空系统），这种热平衡难以建立，甚至有时测温元件的加入会破坏原来的温度分布。

利用激光干涉的原理，对于透明平行平板的温度测量可以不必加入任何测温元件，测量结果准确可靠。如图所示是真空镀膜室中，采用激光干涉法测量离子轰击下透明基板温度变化的原理图。由于激光有足够长的相干长度，因而任何厚度的基板都可以测量。设激光输出波长 λ，待测透明基板折射率为 n，厚度为 d，且基板材料折射率的温度系数以及线胀系数都是已知的，试设计激光干涉法测温，写出基板温度变化的表示式。



解：基板上、下表面反射光的光程差: $\Delta = 2nd$

光程差随温度的变化率：$\dfrac{\delta\Delta}{\delta T} = \dfrac{\delta(2nd)}{\delta T} = 2d\dfrac{\delta n}{\delta T} + 2n\dfrac{\delta d}{\delta T} = 2d(\beta + n\alpha_l)$

其中 $\dfrac{\delta n}{\delta T} = \beta$ 是折射率的温度系数，$\dfrac{\delta d}{d\delta T} = \alpha_l$ 是线胀系数

由此，从观察屏上测量条纹移动情况，可以获得基板温度变化。

条纹移动 m 条对应的温度变化为：$T - T_o = \dfrac{m\lambda}{2d(\beta + n\alpha_l)}$

2、假设照明迈克耳逊干涉仪的光源发出两种波长为 λ_1 和 λ_2 的单色光，这样当平面镜 M_1 平移时，条纹将周期性地消失和再现。

（1）若以 Δh 表示条纹相继两次清晰时 M_1 平移的距离，试利用两单色光的波长差 $\Delta\lambda(=|\lambda_1-\lambda_2|)$、波长 λ_1 和 λ_2 写出 Δh 的表示式；

（2）如果把钠光包含的 $\lambda_1=589.6nm$ 和 $\lambda_2=589.0nm$ 两个光波视为单色的，问以钠光作为光源时 Δh 是多少？

解：（1）当 λ_1 亮条纹与 λ_2 的亮条纹重叠时，条纹可见度最高；当 λ_1 亮条纹与 λ_2 的暗条纹重合时，条纹可见度最低。

$\therefore$ 当光程差 $\Delta=2h=m_1\lambda_1=m_2\lambda_2$ 时，条纹最清晰，有

$$m_1=\frac{2h}{\lambda_1},m_2=\frac{2h}{\lambda_2}，\quad \Delta m=m_1-m_2=\frac{2h\Delta\lambda}{\lambda_1\lambda_2}$$

当增加到 $h+\Delta h$ 时，Δm 增加 1，即出现下一个最清晰条纹，此时

$$\Delta m+1=\frac{2(h+\Delta h)\Delta\lambda}{\lambda_1\lambda_2}$$

$$\therefore\ \frac{2(h+\Delta h)\Delta\lambda}{\lambda_1\lambda_2}=\frac{2h\Delta\lambda}{\lambda_1\lambda_2}+1，\quad \Delta h=\frac{\lambda_1\lambda_2}{2\Delta\lambda}$$

（2）$\Delta h=\dfrac{589.0nm\times589.6nm}{2\times0.6nm}=0.2894mm$