

屏幕的中心位置,即原来零级明纹的位置。已知入射光的波长为 500nm,求透明薄膜的厚度。

解 厚度 e , 折射率为 n_1 和 n_2 的薄膜分别覆盖双缝后,引起光程差改变为

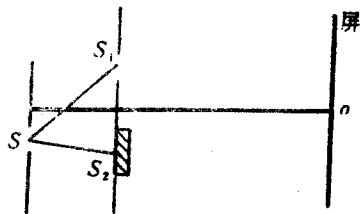
$$\Delta\delta = (n_2 - n_1)e = 7\lambda$$

故

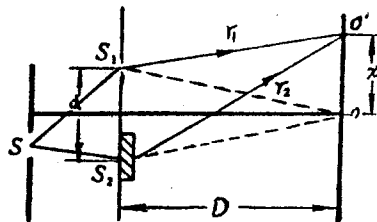
$$e = \frac{7\lambda}{n_2 - n_1} = \frac{7 \times 500 \times 10^{-9}}{1.7 - 1.5} = 1.75 \times 10^{-5} \text{m}$$

16.3 在双缝实验装置中,双缝间距为 0.7mm,双缝到屏的距离为 100cm。当用波长 500nm 的单色光垂直照射时,在屏中央 O 点处为中央明纹。现将单缝 S 向下作微小移动,使 $SS_1 - SS_2 = \lambda/2$,再在 S_2 后面贴一折射率为 1.5,厚度为 l 的透明薄膜,观察到 O 点变为第 4 级暗纹(见图)。试求

- (1) 薄膜的厚度 l ;
- (2) 中央明条纹在屏上离 O 点的距离;
- (3) 第 2 级明条纹离 O 点的距离。



题 16.3 图



解 16.3 图

解 (1) 因为 O 点为第 4 级暗纹,从 S 发出光线经 S_1 、 S_2 到达 O 点的光程差

$$\delta = SS_2 + S_2O - l + nl - (SS_1 + S_1O)$$

由于 $S_1O = S_2O$

$$\delta = (n-1)l - (SS_1 - SS_2) = (n-1)l - \frac{\lambda}{2}$$

$$= (2k-1)\frac{\lambda}{2} = \frac{7}{2}\lambda$$

$$l = \frac{4\lambda}{n-1} = \frac{4 \times 500 \times 10^{-9}}{1.5-1} = 4 \times 10^{-6} \text{m}$$

(2) 设中央明纹在屏上 O' 点,离 O 点距离为 x ,如图,到达 O' 点两条光线光程差

$$\delta = SS_2 + r_2 - l + nl - (SS_1 + r_1)$$

$$= (n-1)l - \frac{\lambda}{2} + r_2 - r_1 = 0$$

由几何关系可知

$$r_2 - r_1 = \frac{d}{D}x$$

$$x = -\frac{D}{d} \cdot \frac{7}{2}\lambda = -\frac{1.0}{0.7 \times 10^{-3}} \times \frac{7}{2} \times 5.0 \times 10^{-7} = -2.5 \times 10^{-3} \text{m} = -2.5 \text{mm}$$

(3) 同理, $\delta = (n-1)l - \frac{\lambda}{2} + r_2' - r_1' = \pm 2\lambda$, 则

$$r_2' - r_1' = \frac{d}{D}x_2$$

$$x_2 = -\frac{D}{d} \cdot \frac{11}{2}\lambda = -3.93 \text{mm}$$

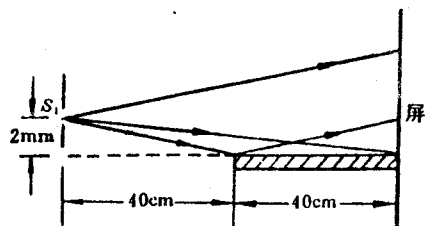
$$x_2' = -\frac{D}{d} \cdot \frac{3}{2}\lambda = -1.07 \text{mm}$$

即第 2 级明条纹有两条,分别距 O 点的距离为 1.07mm 与 3.93mm。

16.4 洛埃镜实验装置如图所示。缝光源 S_1 发出波长 600nm 的单色光。求相邻干涉条纹的间距。

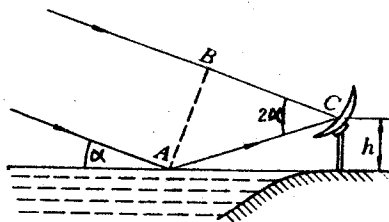
解 洛埃镜实验中相邻干涉条纹的间距与杨氏双缝相同

$$\Delta x = \frac{D}{d}\lambda = \frac{80 \times 10^{-2}}{4 \times 10^{-3}} \times 6.0 \times 10^{-7} = 1.2 \times 10^{-4} \text{m}$$



题 16.4 图

16.5 一射电望远镜的天线设在湖岸上,距湖面高度为 h 。对岸地平线上方有一恒星正在升起,恒星发出波长为 λ 的电磁波。试求当天线测得第 1 级干涉极大时,恒星所在的角位置(作为洛埃镜干涉分析)。



题 16.5 图

解 两光线到达天线时的光程差

$$\begin{aligned}\delta &= \overline{AC} - \overline{BC} + \frac{\lambda}{2} \\ &= \overline{AC}(1 - \cos 2\alpha) + \frac{\lambda}{2}\end{aligned}$$

同时 $\overline{AC} = \frac{h}{\sin \alpha}$, 故

$$\delta = 2\sin^2 \alpha \frac{h}{\sin \alpha} + \frac{\lambda}{2} = 2\sin \alpha \cdot h + \frac{\lambda}{2}$$

天线测得第 1 级干涉极大时, $\delta = \lambda$, 故有

$$2\sin \alpha \cdot h + \frac{\lambda}{2} = \lambda$$

$$\alpha = \arcsin \frac{\lambda}{4h}$$

16.6 平板玻璃上有一层厚度均匀的肥皂膜。在阳光垂直照射下,在波长 700nm 处有一干涉极大,而在 600nm 处有一干涉极小,而且在这两极大和极小间没有出现其它的极值情况。已知肥皂液折射率为 1.33,玻璃折射率为 1.50,求此膜的厚度。

解 在肥皂膜上、下表面的两反射光线的光程差 $\delta = 2ne$, 由于在已知的两个极大和极小间没有其他的极值情况, 因此有

$$2ne = k\lambda_1$$

$$2ne = (2k+1)\frac{\lambda_2}{2}$$

从上二式可得

$$k = \frac{\lambda_2}{2(\lambda_1 - \lambda_2)} = \frac{600}{2 \times (700 - 600)} = 3$$

将 $k=3$ 代入明纹公式, 则求得膜的厚度

$$e = \frac{k\lambda_1}{2n} = \frac{3 \times 700}{2 \times 1.33} = 789.5 \text{ nm}$$

16.7 楔形玻璃片夹角 $\theta = 1.0 \times 10^{-4} \text{ rad}$, 在单色光垂直照射下观察反射光的干涉, 测得相邻条纹的间距为 0.20cm。已知玻璃折射率为 1.50, 试求人射光的波长。

解 劈尖等厚干涉条纹间距

$$\Delta l \sin \theta = e_{k+1} - e_k = \frac{\lambda}{2n}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= 2n \sin \theta \cdot \Delta l = 2n \theta \Delta l \\ &= 2 \times 1.5 \times 10^{-4} \times 0.20 \times 10^{-2} \\ &= 6 \times 10^{-7} \text{ m} = 600 \text{ nm}\end{aligned}$$

16.8 将折射率为 1.40 的某种透明材料制成劈尖, 其末端厚度 $h = 0.50 \times 10^{-4} \text{ m}$ 。今用波长 700nm 的红光垂直照射, 并观察反射光。

试问表面出现的明条纹总数是多少?

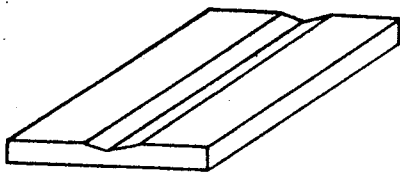
解 相邻条纹的厚度差

$$\Delta e = e_{k+1} - e_k = \frac{\lambda}{2n}$$

明条纹总数为

$$N = \frac{h}{\Delta e} = \frac{2nh}{\lambda} = \frac{2 \times 1.4 \times 5 \times 10^{-5}}{7.0 \times 10^{-7}} = 200$$

16.9 如图所示,在折射率为 1.50 的平晶玻璃上刻有截面为等腰三角形的浅槽,内装肥皂液,折射率为 1.33。当用波长为 600nm 的黄光垂直照射时,从反射光中观察到液面上共有 15 条暗纹。



题 16.9 图

(1) 试定性描述条纹的形状;

(2) 求液体最深处的厚度。

解 (1) 干涉条纹是明暗相间的平行直线。

(2) 暗条纹的条件为

$$\delta = 2ne = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \quad k=0,1,2,\dots$$

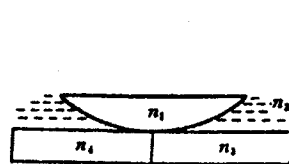
由于共有 15 条暗条纹,正中央必为暗条纹,且 $k=7$,故

$$e_{\max} = \frac{(2k+1)\lambda}{4n} = \frac{(2 \times 7 + 1) \times 6.0 \times 10^{-7}}{4 \times 1.33} = 1.69 \times 10^{-6} \text{m}$$

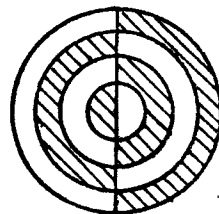
16.10 如图所示,一半径 1.0m 的凸透镜($n_1=1.50$)放在由火石玻璃($n_3=1.75$)和冕牌玻璃($n_4=1.50$)拼接的玻璃平板上。在透镜和玻璃平面间充以折射率 $n_2=1.65$ 的二硫化碳液体。当用波长 589nm 的钠黄光垂直照射时

(1) 试定性画出干涉图样;

(2) 求出中心点除外,向外数第 10 个暗环的半径 r 。



题 16.10 图



解 16.10 图

解 (1) 其干涉条纹的俯视图如图所示。

(2) 在 n_4 的半边,液体 CS_2 膜上、下表面两反射光线光程差 $\delta = 2n_2e + \frac{\lambda}{2}$, 其暗条纹公式

$$2n_2e + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \quad k=0,1,2,\dots$$

在中心点 $e=0$, 为暗环, 由题意不计在内, 故第 10 个暗环的 $k=10$

$$e_{10} = \frac{k\lambda}{2n_2} = \frac{10 \times 5.89 \times 10^{-7}}{2 \times 1.65} = 1.78 \times 10^{-6} \text{m}$$

相应的暗环半径为

$$r = \sqrt{2e_{10}R} = \sqrt{2 \times 1.78 \times 10^{-6} \times 1} = 1.89 \times 10^{-3} \text{m} = 1.89 \text{mm}$$

在 n_3 的半边, $\delta = 2n_2e$, 其暗环公式

$$2n_2e = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \quad k=0,1,2,\dots$$

在中心点 $e=0$ 处, 是明环, 故第 10 个暗环的 $k=9$, 则

$$e_{10}' = \frac{(2k+1)\lambda}{4n_2} = \frac{(2 \times 9 + 1) \times 5.89 \times 10^{-7}}{4 \times 1.65} = 1.70 \times 10^{-6} \text{m}$$

相应的暗环半径为

$$r' = \sqrt{2e_{10}'R} = 1.84 \times 10^{-3} \text{m} = 1.84 \text{mm}$$

16.11 在牛顿环实验中, 所用凸透镜的半径为 1.90m。当用两

种单色光垂直照射时,观测到反射光中波长 $\lambda_1=500\text{nm}$ 的第 5 个明环和另一单色光 λ_2 的第 6 个明环重合,试求另一种单色光的波长 λ_2 。

解 牛顿环明环半径为

$$r_k = \sqrt{(k - \frac{1}{2})R\lambda}, \quad k=1, 2, 3, \dots$$

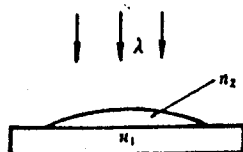
由题意

$$\sqrt{(k_1 - \frac{1}{2})R\lambda_1} = \sqrt{(k_2 - \frac{1}{2})R\lambda_2}$$

$$\lambda_2 = \frac{k_1 - \frac{1}{2}}{k_2 - \frac{1}{2}} \lambda_1 = \frac{5 - \frac{1}{2}}{6 - \frac{1}{2}} \times 500$$

$$= 409.1\text{nm}$$

16.12 将一滴油 ($n_2=1.20$) 放在平玻璃片 ($n_1=1.52$) 上,以波长 $\lambda=600\text{nm}$ 的黄光垂直照射,如图所示。从边缘向中心数,第 5 个亮环处油层的厚度。



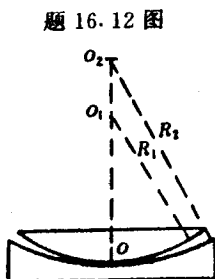
解 油膜上、下表面两反射光线的光程差 $\delta=2n_2e$,其明条纹公式

$$2n_2e = k\lambda, \quad k=0, 1, 2, \dots$$

边缘处 $e=0$,是明环,因此从边缘向中心数,第 5 个明环对应的 $k=4$,故

$$e = \frac{k\lambda}{2n_2} = \frac{4 \times 6.0 \times 10^{-7}}{2 \times 1.2} = 1.0 \times 10^{-6}\text{m}$$

16.13 图中,设平凸透镜的凸面是一标准样板,其曲率半径 $R_1=102.3\text{cm}$,放置在待测的凹面镜上,半径为 R_2 。如在实验中,垂直入射的单色平行光的波长为 589.3nm ,测得第



题 16.13 图

4 暗环的半径 $r_4=2.25\text{cm}$,则 R_2 为多少?

解 在干涉条纹圆环半径 r 处的空气膜厚度为

$$\Delta e = \frac{r^2}{2R_1} - \frac{r^2}{2R_2}$$

空气膜上、下表面两反射光线光程差为

$$\delta = 2 \cdot \Delta e + \frac{\lambda}{2}$$

暗条纹的公式为

$$2 \cdot \Delta e + \frac{\lambda}{2} = (2k+1) \frac{\lambda}{2}, \quad k=0, 1, 2, \dots$$

在第 4 个暗环处, $k=4$, 故

$$2(\frac{r_4^2}{2R_1} - \frac{r_4^2}{2R_2}) = 4\lambda$$

将有关数据代入上式得

$$R_2 = 102.8\text{cm}$$

16.14 在照相机镜头表面镀一层折射率为 1.38 的增透膜,使太阳光的波长 550nm 的透射光增强。已知镜头玻璃的折射率为 1.52,问膜的厚度最薄是多少?

解 为达到增强透射的目的,必须使反射光干涉极小,即有

$$\delta = 2ne = (2k+1) \frac{\lambda}{2}, \quad k=0, 1, 2, \dots$$

$k=0$ 时,镀膜的厚度最薄

$$e_{\min} = \frac{\lambda}{4n} = \frac{5.5 \times 10^{-7}}{4 \times 1.38} = 9.96 \times 10^{-8}\text{m} \\ = 99.6\text{nm} \approx 100\text{nm}$$

16.15 在迈克耳孙干涉仪的一条光路中插入一支 100mm 长的玻璃管,管内充有一大气压的空气。用波长 589nm 的单色光作光源,在将玻璃管内的空气逐渐抽完时,数得有 100 条干涉条纹移过。求空气的折射率。

解 在空气逐渐抽完前后两光路光程差改变量为

$$\Delta\delta = 2(n-1)l = N\lambda$$

则空气折射率为

$$n = 1 + \frac{N\lambda}{2l} = 1 + \frac{100 \times 5.89 \times 10^{-7}}{2 \times 0.1} = 1.0002945$$

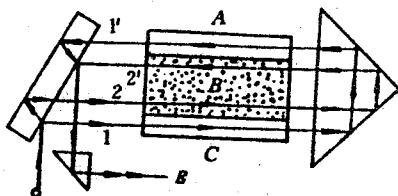
16.16 迈克耳孙干涉仪可用来测定单色光的波长。当将一个反射镜平移距离 $\Delta e = 0.3220\text{mm}$ 时,测得干涉条纹移过 1024 条,试求该单色光的波长。

解 反射镜平移距离 Δe 后,由题知两光路光程差改变量为

$$\begin{aligned} \Delta\delta &= 2 \cdot \Delta e = N\lambda \\ \lambda &= \frac{2 \cdot \Delta e}{N} = \frac{2 \times 0.322 \times 10^{-3}}{1024} \\ &= 6.289 \times 10^{-7} \text{m} = 628.9 \text{nm} \end{aligned}$$

16.17 瓦斯检测器

的光路图如图所示。当 A、B、C 三个气室中均为新鲜空气时,干涉条纹位于视场中一定位置处。把仪器带到矿井中,使井中气体进入中间的 B 室 A、C 两室仍为新鲜空气。由于混有瓦斯(沼气、甲烷)的气



题 16.17 图

体折射率与空气不同,从而引起干涉条纹的移动。在一次实验中,用波长 589.3nm 的单色光作光源,观察到条纹移动了 98 条。已知气室长度为 10cm ,求井下气体的折射率。

解 当井中气体进入 B 室前后,条纹移动了 N 条,两光路中光程差改变量必为

$$\begin{aligned} \Delta\delta &= 2(n-1)l = N \cdot \lambda \\ n &= 1 + \frac{N\lambda}{2l} = 1 + \frac{98 \times 5.893 \times 10^{-7}}{2 \times 0.1} \end{aligned}$$

$$= 1.0002888$$

16.18 两块精密磨制的光学平玻璃板,平行放置,间距为 d ,它们的相对表面镀有反射率极高的银(或铝)膜。一束波长为 λ 的单色光垂直入射,当平板间距缓缓增大时,可以观察到透射光作明暗交替的变化。这种装置称法布里—珀罗干涉仪。问平板间距为多大时透射光有极大值。

解 透射光有极大值时,两相对表面的反射光干涉后有极小值,故应有

$$\begin{aligned} \delta &= 2nd + \frac{\lambda}{2} = (2k+1) \frac{\lambda}{2}, \quad k=0,1,2,\dots \\ d &= \frac{k\lambda}{2n} \end{aligned}$$

n 为两玻璃板间介质的折射率。

* 16.19 用波长为 500nm ,谱线宽度为 0.05nm 的光作为光源,应用干涉方法检测薄膜的厚度,薄膜的折射率 $n=1.30$,试问能检测的最大薄膜厚度是多少?

解 光源的相干长度为

$$L_c = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

只有当光程差 $\delta = 2ne \leq L_c$ 才能观测到干涉现象,故

$$\begin{aligned} e_{\max} &= \frac{L_c}{2n} = \frac{\lambda^2}{2n\Delta\lambda} \\ &= \frac{(5.0 \times 10^{-7})^2}{2 \times 1.3 \times 0.05 \times 10^{-9}} \\ &= 1.92 \times 10^{-3} \text{m} = 1.92 \text{mm} \end{aligned}$$

* 16.20 在双缝干涉实验中,用波长 589.3nm 的钠光灯照射单缝,双缝中心间的距离 $d=0.50\text{mm}$ 。若单缝与双缝的距离 $D'=30\text{cm}$ (图 16.25),问能产生干涉现象的单缝的最大宽度是多少?

解 由光源的空间相干性,能使双缝产生干涉现象的单缝最大宽度为