

## 第 10 章 光的干涉

### 思考题

**10-1** 在杨氏双缝实验中, 当作如下调节时, 屏幕上的干涉条纹将如何变化? (1) 使两缝间距  $d$  逐渐增大; (2) 保持双缝的间距  $d$  不变, 使双缝与屏幕的距离  $D$  逐渐减小; (3) 保持  $d$  和  $D$  不变, 把光源  $S$  在垂直轴线方向向上或向下方向平移。

**[提示]** (1)(2) 由  $k$  级明纹位置  $x_k = \pm k \frac{D\lambda}{d}$  和相邻明条纹的间距  $\Delta x = \frac{D\lambda}{d}$  知,

当两缝间距  $d$  增大时, 则  $|x_k|$  减小, 各级条纹向中心移动, 条纹间距  $\Delta x$  减小。同理,  $d$  不

变, 使双缝与屏幕的距离  $D$  逐渐减小, 则  $|x_k|$  减小, 条纹间距  $\Delta x$  也减小。

(3) 当缝光源  $S$  在垂直轴线向下方向移动时,  $k$  级明纹位置近似为

$$x'_k = [k\lambda + (R_1 - R_2)] \frac{D}{d} > x_k = k \frac{D\lambda}{d}$$

即整幅图象向上平移。 $R_1$ 、 $R_2$  分别为  $S$  到上下缝的距离。

当缝光源  $S$  在垂直轴线向上方向移动时,  $k$  级明纹位置近似为

$$x''_k = [k\lambda - (R_2 - R_1)] \frac{D}{d} < x_k = k \frac{D\lambda}{d}$$

整幅图象向下平移。

缝光源  $S$  在垂直轴线向上或向下方向移动时, 干涉条纹的间距不变, 仍为  $\Delta x = \frac{D\lambda}{d}$ 。

**10-2** 杨氏双缝干涉实验的两条光路中, 若在其中一条光路中插入一块薄玻璃片, 则原来中央干涉极大的明条纹将向哪边移动?

**[提示]** 设在  $s_1$  光路中插入一块厚度为  $e$ , 折射率为  $n$  的薄玻璃片, 则薄玻璃片存在时中央明条纹所在处的光程差为

$$\delta = r_2 - (r_1 - e + ne) = 0$$

即

$$r_2 - r_1 = (n-1)e$$

因为介质折射率  $n > 1$ , 所以  $r_2 > r_1$ , 即中央明条纹将上移。当  $s_1$  光路中插入薄玻璃片时,

各级条纹将上移, 条纹的间距及形状不变。同理当  $s_2$  光路中插入薄玻璃片时, 可以证明各

级条纹将下移。

**10-3** 什么是波程差、相位差和光程差？它们的关系如何？

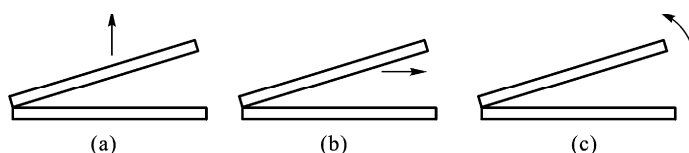
**[提示]** 波程差： $\delta = r_2 - r_1$ ，相位差： $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$

光程差：两相干光源到干涉点的光程之差，通常也用符号  $\delta$  表示。

他们的关系为：

$$\text{相位差} \quad \Delta\varphi = 2\pi \times \frac{\delta}{\lambda}$$

**10-4** 如图 (a)，若劈尖的上表面向上平移，干涉条纹会怎样变化？如图 (b)，若劈尖的上表面向右平移，干涉条纹又会怎样变化？如图 (c)，若劈尖的角度增大，干涉条纹又将发生怎样的变化？



思考题 10-4 图

**[提示]** (1) 劈尖的上表面向上平移时，如盯住某一干涉条纹，将看到条纹明暗交替变化，但干涉级次逐渐增高。从整个条纹看，它正向劈尖移动，但条纹间距不变，因而条纹的总数也不变。

(2) 劈尖的上表面向右平移时，因劈尖的倾角不变，所以条纹间距不变，但由于产生干涉的区域变小，看到的条纹总数会减少。

(3) 劈尖的倾角增大时，因相邻条纹的间距  $l = \frac{\Delta e}{\sin\theta} \approx \frac{\lambda}{2\theta}$ ，所以  $\theta$  增大时，条纹的间距  $l$  变小，干涉条纹向劈尖靠拢，且变密。

**10-5** 在图示的装置中，平板玻璃由两部分组成（冕牌玻璃  $n_1 = 1.50$  和火石玻璃  $n_3 = 1.75$ ），透镜是用冕牌玻璃制成的，透镜与玻璃板之间的空间充满折射率为  $n_2 = 1.62$  的气体。试问由此而成的牛顿环装置的反射光干涉花样如何？为什么？

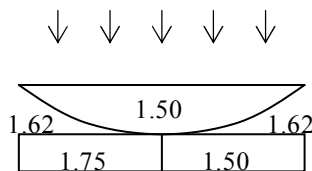
**[提示]** 写出左右两边反射光的光程差去讨论。

在气体媒质厚度为  $e$  处，左边反射光的光程差为

$$\delta = 2n_2e = \begin{cases} \pm k\lambda & \text{明环} \\ \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2} & \text{暗环} \end{cases}$$

接触处（顶点） $e = 0$ ，应为  $k = 0$  级明环。

右边反射光的光程差为



思考题 10-5 图

$$\delta = 2n_2e + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} \pm k\lambda & \text{明环} \\ \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2} & \text{暗环} \end{cases}$$

接触处（顶点） $e=0$ ，应为 $k=0$ 级暗环。这样，牛顿环左右两半部分的明暗花样正好相反。

## 习 题 10

### 选择题

10-1 A    10-2 B    10-3 D    10-4 A    10-5 C

10-6 A    10-7 B    10-8 C

### 填空题

10-9  $2\pi \frac{e(n-1)}{\lambda}$ ,  $5 \times 10^3 \text{ nm}$

10-10  $d \sin \theta + (r_1 - r_2)$

10-11  $\frac{4\pi ne}{\lambda} + \pi$

10-12  $\frac{\lambda}{4n}$ ,  $\frac{\lambda}{2n}$

10-13  $\frac{3\lambda}{4n_2}$

10-14  $\frac{\lambda}{4}$ ,  $N \frac{\lambda}{2}$

### 计算题

10-15 在双缝干涉实验中，双缝到屏的距离为 $D=2.00 \text{ m}$ ，用波长为 $\lambda=546.1 \text{ nm}$ 的平行光垂直入射到双缝上，测得中央明条纹两侧的第五级明条纹间的距离为 $\Delta x=12.0 \text{ mm}$ 。求：（1）两缝间的距离 $d$ ；（2）从任一明条纹（记作0）向一边数到第20条明条纹，共经过多大距离？（3）如果使光波斜入射到双缝上，条纹间距是否改变？

**[分析]** 在双缝干涉实验中，屏上各级明（暗）条纹中心在通常可观测（ $\theta$ 很小）范围内，近似为对称且等间距分布。由 $k$ 级明纹位置公式可求得两缝的间距。

**[解]** （1）取屏幕中心为坐标原点， $x$ 正向向上，则第 $k$ 级明纹位置由 $x = \pm k \frac{D\lambda}{d}$ 决定。

由题意

$$\Delta x = 2x = 2k \frac{D\lambda}{d}$$

此处 $k=5$ ，所以

$$d = 2k \frac{D\lambda}{\Delta x} = 2 \times 5 \times \frac{2.00 \times 546.1 \times 10^{-9}}{12.0 \times 10^{-3}} = 9.10 \times 10^{-4} \text{ m} = 0.91 \text{ mm}$$

（2）任意两相邻明（或暗）条纹的间距

$$\Delta x' = \frac{D\lambda}{d}$$

共经过 20 个条纹间距，即经过的距离

$$l = 20 \times \frac{D\lambda}{d} = 20 \times \frac{2.00 \times 546.1 \times 10^{-9}}{9.10 \times 10^{-4}} = 2.4 \times 10^{-2} \text{ m} = 24 \text{ mm}$$

(3) 因为条纹间距只与  $D$ ,  $d$ ,  $\lambda$  有关，所以光波由垂直入射改为斜入射时，条纹间距不会改变。

10-16 在双缝干涉实验中，双缝间距为  $d = 2.00 \times 10^{-4} \text{ m}$ ，双缝到屏的距离为  $D = 2.00 \text{ m}$ ，用波长为  $\lambda = 550.0 \text{ nm}$  的单色平行光垂直入射到双缝上，求：(1) 中央明条纹两侧的第 10 级明条纹中心的距离；(2) 用一厚度为  $e = 6.60 \times 10^{-6} \text{ m}$ ，折射率为  $n = 1.58$  的玻璃片复盖一缝后，零级明条纹将移到原来的第几级明纹处？

**[解]** (1) 根据 10-15 题的分析有

$$\Delta x = 2k \frac{D\lambda}{d}$$

此处  $k = 10$ ，所以

$$\Delta x = 2k \frac{D\lambda}{d} = 2 \times 10 \times \frac{2.00 \times 550.0 \times 10^{-9}}{2.00 \times 10^{-4}} = 0.11 \text{ m}$$

(2) 若把玻璃片覆盖在上面的一条缝上，则覆盖玻璃片后，零级明纹位置应满足

$$r_2 - [r_1 - e(n-1)] = 0$$

设不盖玻璃片时，此处为第  $k$  级明纹位置，则应有

$$r_2 - r_1 = k\lambda$$

所以

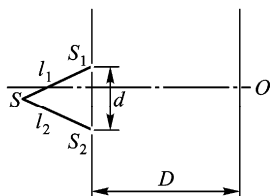
$$e(n-1) = k\lambda$$

$$k = \frac{e(n-1)}{\lambda} = \frac{6.6 \times 10^{-6} \times (1.58-1)}{550.0 \times 10^{-9}} = 6.96$$

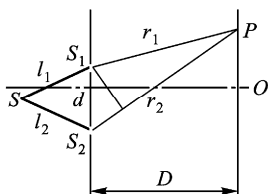
取整数  $k = 7$ 。即覆盖玻璃片后，零级明纹的位置移到原来第 7 级明纹处；若把玻璃片覆盖在下面的一条缝上，则同理可得零级明纹的位置移到原来第 -7 级明纹处。

\*10-17 在双缝干涉实验中，单色光源  $S$  到两缝  $S_1$  和  $S_2$  的距离分别为  $l_1$  和  $l_2$ ，且  $l_1 - l_2 = 3\lambda$ ，(1) 零级明条纹到屏中央  $O$  点的距离；(2) 相邻明条纹的间距。

**[分析]** 本题因  $S_1$  和  $S_2$  不在同一波阵面上，计算光程差时，可从单色光源  $S$  算起，写出屏上任一点  $P$  处的光程差，由明纹条件即可求得结果。



习题 10-17 图



解 10-17 图

**[解]** (1) 如解 10-17 图所示, 设  $P$  点处为零级明纹中心, 则  $P$  点的光程差为

$$\delta = (l_2 + r_2) - (l_1 + r_1) = r_2 - r_1 - 3\lambda = 0$$

而

$$r_2 - r_1 \approx \frac{d \cdot \overline{OP}}{D}$$

所以

$$\overline{OP} = \frac{D}{d}(r_2 - r_1) = \frac{3D\lambda}{d}$$

(2) 设屏上距  $O$  点  $x$  处为  $k$  级明纹中心, 则

$$\text{光程差} \quad \delta = r'_2 - r'_1 - 3\lambda \approx \frac{d x}{D} - 3\lambda = k\lambda \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

$k$  级明纹位置

$$x_k = \frac{D}{d}(k\lambda + 3\lambda)$$

此处令  $k = 0$ , 即得 (1) 的结果。

相邻明条纹间距

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{D\lambda}{d}$$

10-18 一平面单色光波垂直照射在厚度均匀的薄油膜上, 油膜覆盖在玻璃板上, 油的折射率为 1.30, 玻璃的折射率为 1.50, 若照射单色光的波长可由光源连续可调, 观察到  $\lambda_1 = 500 \text{ nm}$  与  $\lambda_2 = 700 \text{ nm}$  这两个波长的单色光在反射中消失, 试求油膜层的厚度。

**[分析]** 某一波长的光在反射中消失, 表明该波长的光在反射时为干涉暗条纹。又因油膜上下两表面反射的光都有半波损失, 半波损失抵消。分别列出两反射光干涉暗纹的条件求解。

**[解]** 设油膜的厚度为  $e$ , 折射率为  $n_2$ 。依题意, 有

$$\text{对 } \lambda_1: \quad 2n_2e = (2k_1 + 1)\frac{\lambda_1}{2}$$

$$\text{对 } \lambda_2: \quad 2n_2e = (2k_2 + 1)\frac{\lambda_2}{2}$$

因  $e$  一定时,  $\lambda$  小则  $k$  值大, 故有  $k_1 > k_2$ 。又因单色光波长连续增大时,  $\lambda_1$  与  $\lambda_2$  之间没

有其它波长的光在反射中消失, 故  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  的干涉级次只可能相差一级, 即

$$k_2 = k_1 - 1$$

所以 
$$(2k_1 + 1)\lambda_1 = (2k_1 - 1)\lambda_2$$

$$\frac{2k_1 + 1}{2k_1 - 1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{700}{500} = \frac{7}{5}$$

解得 
$$k_1 = 3, \quad k_2 = 2$$

$$e = \frac{(2k_1 + 1)}{2n_2} \frac{\lambda_1}{2} = \frac{(2 \times 3 + 1)}{2 \times 1.30} \times \frac{500}{2} = 673 \text{ nm} = 6.73 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

10-19 为了测量半导体表面  $\text{SiO}_2$  薄膜的厚度, 将它的一部分磨成劈形(图中的 AB 段)。现用波长为  $600.0\text{nm}$  的单色平行光垂直照射, 观察反射光形成的等厚干涉条纹。在图中 AB 段共有 8 条暗纹, 且 B 处恰好是一条暗纹。求薄膜的厚度。(半导体 Si 的折射率为 3.42,  $\text{SiO}_2$  薄膜的折射率为 1.50)

**[分析]** 这是等厚干涉, 写光程差时注意薄膜上、下表面反射的光有无半波损失。

**[解]** 因为薄膜上、下表面反射的光都有半波损失, 故半波损失抵消, 计算光程差时不必考虑附加的半波长。设  $\text{SiO}_2$  薄膜的厚度为  $e$ 。

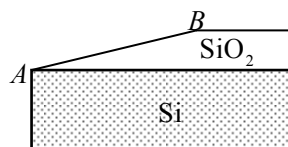
B 处为暗纹, 反射光干涉满足

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

A 处为明纹, B 处为第 8 个暗纹, 对应上式  $k = 7$

所以

$$\begin{aligned} e &= \frac{(2k + 1)\lambda}{4n} \\ &= \frac{(2 \times 7 + 1) \times 600.0 \times 10^{-9}}{4 \times 1.5} = 1.5 \times 10^{-3} \text{ mm} \end{aligned}$$



习题 10-19 图

10-20 用波长  $\lambda = 500 \text{ nm}$  的单色光做牛顿环实验, 测得第  $k$  个暗环半径  $r_k = 4 \text{ mm}$ ,

第  $k + 10$  个暗环半径  $r_{k+10} = 6 \text{ mm}$ , 求平凸透镜的曲率半径  $R$ 。

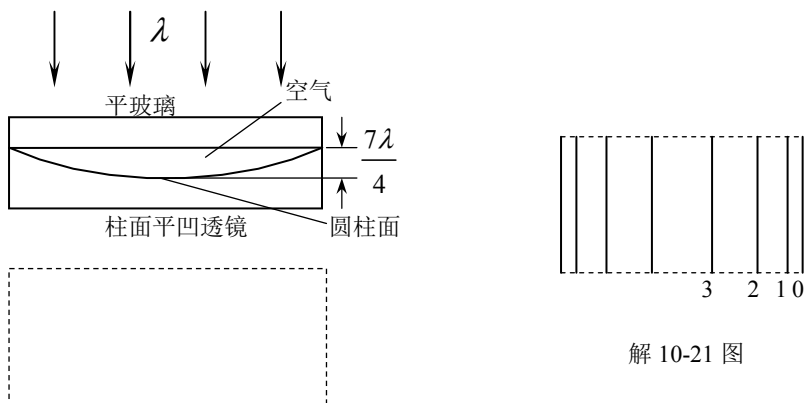
**[分析]** 直接用牛顿环暗环半径公式求解

**[解]** 第  $k$  级暗环半径 
$$r_k = \sqrt{k\lambda R}$$

第  $(k+10)$  级暗环半径  $r_{k+10} = \sqrt{(k+10)\lambda R}$

由以上两式可得 
$$R = \frac{r_{k+10}^2 - r_k^2}{10\lambda} = 4 \text{ m}$$

10-21 用波长为  $\lambda$  的单色平行光垂直照射图中所示的装置，观察空气薄膜上下表面反射的光形成的等厚干涉条纹，若空气薄膜的最大厚度  $7\lambda/4$ ，试在装置图下方的虚框内画出相应的干涉条纹（只画暗条纹），表示出它们的形状、条数和疏密。



解 10-21 图

习题 10-21 图

**[分析]** 平玻璃与柱面平凹透镜之间的空气膜为圆柱面平凸形状。空气层厚度相同的地方，上下表面反射光的光程差相同，干涉形成同一级条纹。由此可判断此干涉装置的干涉条纹形状为一组平行轴线的直条纹。

**[解]** 在空气层厚度为  $e$  处，上下表面反射光的光程差为

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

由干涉暗纹条件

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

可见，空气膜边缘处， $e = 0$ ，为  $k = 0$  级暗条纹；空气层厚度每增加  $\frac{\lambda}{2}$ ，条纹级数增加一级。中心处  $e = 7\lambda/4$ ，为  $k = 4$  级的明条纹中心。条纹关于中心轴对称分布，且中间疏，边缘密。总干涉暗条纹数为 8 条。如解 10-21 图所示。