

第 16 章 光的干涉

一 基本模型

1. 基本思路

- 光干涉题目最基本的任务是求出模型参数、光波长与明纹与暗纹分布间的关系
- ① 根据题目中的模型，导出模型参数与光程差的关系 $\delta = f(x, D, d, n, \dots)$ (小心半波损失)
- ② 根据波干涉的知识，得到相位差与光程差和波长的关系
- ③ 根据波干涉的知识，进一步得到 k 级明纹/暗纹位置与相位差的关系

2. 基本概念

① 光程

· 光在介质中传播的路程与介质折射率的乘积 nr

② 半波损失

· 当光从折射率较小的介质入射到折射率较大的介质的界面，并被反射回来时，光程会减少 $\lambda/2$

③ 波的干涉

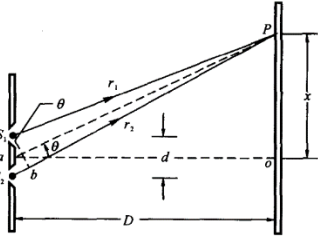
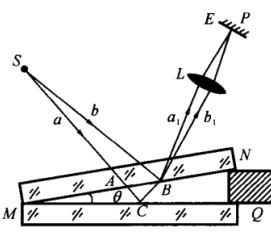
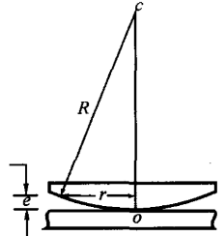
· 相位差与光程差的关系 $\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1) + \frac{2\pi}{\lambda} \delta$

· 干涉加强/相消与相位差的关系 $\Delta\varphi = \begin{cases} 2k\pi & \text{加强} \rightarrow k \text{级明纹} \\ (2k-1)\pi & \text{相消} \rightarrow k \text{级暗纹} \end{cases}$

一般相干光初相位相同，因此 $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta$ 常用结论

$$\delta = \begin{cases} k\lambda & \text{加强} \rightarrow k \text{级明纹} \\ (k - \frac{1}{2})\lambda & \text{相消} \rightarrow k \text{级暗纹} \end{cases}$$

3. 常见模型

双缝干涉	劈尖膜干涉	牛顿环
		
d : 相干光源的距离 D : 光源到屏幕的距离 x : 所求点至中心 o 的距离	n : 中间介质折射率 e : 该位置薄膜厚度	R : 曲率半径 r : 半径 e : 半径 r 处对应厚度
$r_2 - r_1 = d \sin\theta \approx d \frac{x}{D}$	$\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}$	$e \approx \frac{r^2}{2R}$
基本条件下 $x=0$ 处为中央明纹		
题目经常塞薄膜改变光程差	注意两束光都可能半波损失!	

二 常见题型

1. 光程改变与半波损失陷阱

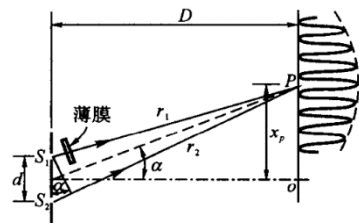
例 1 (例 16.2) 设双缝实验中缝间距 $d=0.50\text{mm}$, 双缝至屏的距离 $D=3.0\text{m}$ 。若在缝 S_1 后贴一块折射率 $n=1.50$, 厚度 $e=0.010\text{mm}$ 的透明薄膜, 如图所示, 用波长 500nm 的平行单色光垂直照射双缝, 求中央明纹中心的位置 (P 点离坐标原点的距离) x_p 。

解 ① 计算光程差: $\delta = r_2 - r'_1 = r_2 - [(r_1 - e) + ne] = r_2 - r_1 - (n-1)e$

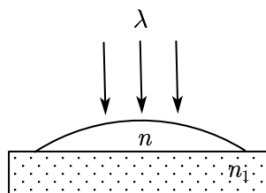
② 用模型参数代入路程差: $\delta = r_2 - r_1 - (n-1)e = d \frac{x}{D} - (n-1)e$

③ 代入相位差公式: $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} [d \frac{x}{D} - (n-1)e] = \pm 2k\pi$

求的是中央明纹, 因此令 $k=0$: $x_p = \frac{(n-1)eD}{d} = 3.0 \times 10^{-2}\text{m}$



例 2 如图所示, 一油滴 ($n=1.20$) 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, 从反射光看到有多个亮环和暗环。则油滴边缘处是_____ (填“亮”或“暗”) 环, 从油滴边缘向中心数, 第 5 个亮环处油滴的厚度为_____ m。



解 ① 算光程差: 由于 $1 < n$, 从空气-油滴界面反射的光发生了半波损失

由于 $n < n_1$, 从油滴-玻璃界面反射的光也发生了半波损失

因此厚度 e 处, 光程差 $\delta = 2ne$

② 第一空: 油滴边缘处 $e=0 \rightarrow \delta=0$, 对应 0λ 的情况, 因此该处为亮环

第二空: 代入 $k=5$ 于明纹方程: $2ne = 5\lambda$, 解得 $e = 10^{-6}\text{m}$

2. 范围光问题

例 3 白色平行光 (波长范围 $400\text{nm} \sim 760\text{nm}$), 垂直入射到间距 $a=0.25\text{mm}$ 的双缝上, 距 $D=50\text{cm}$ 处放置屏幕, 求第一级和第五级明纹彩色带的宽度 (两个极端波长的同级明纹中心之间的距离)。

解 核心思路: 求出波长范围两端的边界波长的明纹位置

① 由双缝干涉模型: $\frac{xa}{D} = k\lambda \rightarrow x = \frac{k\lambda D}{a}$, 因此色带宽度 $\Delta x = \frac{k(\lambda_{\max} - \lambda_{\min})D}{a}$

② $k=1$ 时, $\Delta x = \frac{50\text{cm} \times 360\text{nm}}{0.25\text{mm}} = 0.72\text{mm}$ $k=5$ 时, $\Delta x = \frac{5 \times 50\text{cm} \times 360\text{nm}}{0.25\text{mm}} = 3.6\text{mm}$

3. 多条纹问题

① 求条纹数量

例 4 由两块玻璃片 ($n_1=1.75$) 所形成的空气劈尖, 其一段厚度为 0, 另一端厚度为 0.002cm 。用波长 700nm 的单色平行光垂直入射在空气劈尖的上表面, 则形成的干涉明条纹数为_____。

解 核心思路: 找出范围边界的两个条纹是几号纹, 变成数数问题

由劈尖膜模型: $\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$

当 $e=0$ 时, $k = \frac{1}{2}$; 当 $e=0.002\text{cm}$ 时, $k=57.6$, 因此明纹 $k=1 \sim 57$ 在范围内, 共 57 条

② 条纹间距

相邻明条纹/暗条纹间距只需分别列出 k 和 $k+1$ 的方程, 相减即可得到

例 5 波长为 650nm 的红光垂直照射到劈形液膜上, 膜的折射率 $n=1.33$, 液面两侧是同一种媒质, 观察反射光的干涉条纹, 则离开劈形膜棱边的第一条明纹中心所对应的膜厚度为_____ ; 若相邻的明条纹间距为 6mm , 上述第一条明纹中心到劈形膜棱边的距离是_____。

解 由题意, 根据模型, 有明纹 $\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2} = k\lambda \rightarrow e = \frac{1}{2n}(k - \frac{1}{2})\lambda$

$\therefore e \geq 0 \quad \therefore$ 第一条明纹中心为 $k=1$, 对应厚度 $e = \frac{\lambda}{4n}$

\therefore 棱边 $e=0$ 处 $\delta = \frac{\lambda}{2}$, 为暗条纹

\therefore 第一条明纹中心到棱边的距离为相邻明条纹间距的一半 3mm

③ 条纹移动

例 5 用波长为 λ 的单色光垂直照射如图所示的牛顿环装置, 观察从空气膜上下表面反射的光形成的牛顿环。若使平凸透镜慢慢地垂直向上移动, 从透镜顶点与平面玻璃接触到两者距离为 d 的移动过程中, 移过视场中某固定观察点的条纹数目为_____

解 设半径 r 处在移动前后的条纹为 k 级和 k' 级, 则 $k' - k$ 就是移过的条纹数目

移动前 $e = \frac{r^2}{2R}$, 移动后 $e' = \frac{r^2}{2R} + d$, 因此 $e' - e = d$, 空气膜 $\rightarrow n=1$

$\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2} = k\lambda, \quad \delta' = 2ne' + \frac{\lambda}{2} = k'\lambda \rightarrow \delta' - \delta = 2n(e' - e) = 2d = (k' - k)\lambda \rightarrow k' - k = \frac{2d}{\lambda}$

