§16.1 光的干涉

1 光的本性

"粒子性"　光是粒子流，牛顿

"波动性"　光是特殊的机械波，惠更斯，笛卡尔（以太），胡克

衍射，折射，干涉　光是电磁波，麦克斯韦

"波粒二象性"　康普顿效应，黑体辐射，光电效应，近代物理

2 光的相干性

"光源"　光源分为热光源，电致发光，光致发光

注：光致发光中，移到外界光源后立即停止发光，叫荧光，反之，叫磷光。

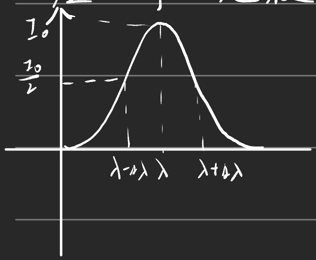
普通光源发光的原理是处在激发态原子或分子自发辐射所致。

但高能级的能量存在一个范围 ⇒ 发出的每列波不一定一样 ⇒ 极可能不相干

"光的单色性"

光的颜色取决于光的波长。单一波长的光称为单色光（理想模型），实际光波按波长都有一定分布。

注：可见光波长范围 400nm～760nm



一般把最大光强对应波长认为是该颜色光波长。

波长存在宽度 $\Delta\lambda$（对应 $\frac{I_0}{2}$）⇒ 普通光源 $\Delta\lambda$ 10^{-1}～10^{-3} nm　激光 10^{-9} nm

"相干光波"

光波的电矢量 $\vec{E}$，在空间相遇区域内，有些区域振动始终加强，另一些区域振动始终减弱。

对于可见光波，呈现为明暗相间的干涉条纹。

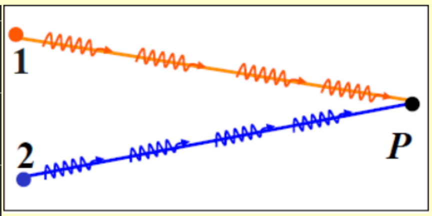
相干条件：①频率相同

②振动方向相同

③相位相同或有固定相位差

④振幅相当

任意两光列的频率、相位、振动方向和振幅等方面各不相同，相互独立，是毫不相干的。



在P点相遇不会出现干涉现象

☆ 3 波的干涉复习

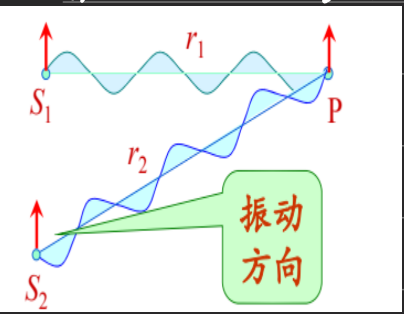
$u=\frac{\lambda}{T}$　$\omega=\frac{2\pi}{T}$ ⇒ $\frac{2\pi}{\lambda}=\frac{\omega}{u}$

$y(0,t)=A\cos(\omega t+\varphi_0)$　设波以u沿r正方向传播 ⇒ $\Delta t=\frac{r}{u}$

$y(r,t)=A\cos[\omega(t-\frac{r}{u})+\varphi_0]$ ⇒ (比波源滞后$\Delta t=\frac{r}{u}$振动)

$=A\cos[\omega t+\varphi_0-\frac{\omega r}{u}]=A\cos[\omega t+\varphi_0-\frac{2\pi}{\lambda}r]$

故 $\Delta\Phi=(\varphi_2-\varphi_1)-\frac{2\pi}{\lambda}(r_2-r_1)$



1. $\Delta\Phi=\pm 2k\pi$，$k=0,1,2\cdots$
   称为干涉相强，亮条纹
2. $\Delta\Phi=\pm(2k+1)\pi$，$k=0,1,2\cdots$
   称为干涉相消，暗条纹
3. 特例，当$\varphi_2=\varphi_1$，$\Delta\Phi=\frac{2\pi}{\lambda}(r_1-r_2)$

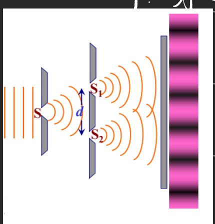
$r_1-r_2=\pm 2k\cdot\frac{\lambda}{2}$，亮条纹

$r_1-r_2=\pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}$，暗条纹

注：这也是讨论光的干涉的通常方式，这样可以不用考虑初相差对干涉条纹的影响

§16.2 杨氏双缝干涉　一. 干涉条纹的位置

1. 条纹角位置（用角度表示）

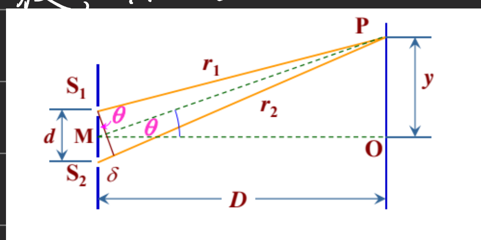


S_1,S_2是同一波阵面上的二个子波，$\varphi_1=\varphi_2$

$\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1-\frac{2\pi(r_2-r_1)}{\lambda}=\frac{2\pi(r_1-r_2)}{\lambda}$

当$D>>d$，$\delta=r_2-r_1\approx d\sin\theta$

$\Delta\Phi=\frac{2\pi(r_1-r_2)}{\lambda}\approx\frac{2\pi}{\lambda}d\sin\theta$



可由对称性去掉"r_1-r_2"的负号

(a) $\Delta\Phi=\pm 2k\pi$　$(k=0,1,2\cdots)$

$d\sin\theta=\pm k\lambda$　满足干涉相强，亮条纹。

k称为亮纹次序，相应地称第k级亮纹

(b) $\Delta\Phi=\pm(2k-1)\pi$　$(k=1,2,3\cdots)$时

$d\sin\theta=\pm(2k-1)\frac{\lambda}{2}$　满足干涉相消，暗条纹

k称为暗级序，相应地称为第k级暗纹$(k=1,2,3\cdots)$

(c) 屏中心O点由于$r_2-r_1=0$（波程差=0）

是干涉加强，$k=0$，称中央亮纹

2. 条纹位置 → 用与屏中心距离表示。

$$\sin\theta \approx \tan\theta = \frac{x}{D}$$

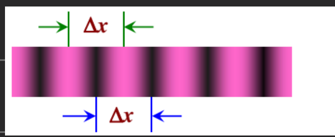
$$d\sin\theta = \frac{dx}{D} = \pm k\lambda \qquad \boxed{x = \pm k\frac{D}{d}\lambda} \quad \text{亮纹}$$

$$d\sin\theta = d\frac{x}{D} = \pm(2k-1)\frac{\lambda}{2}$$

$$\boxed{x = \pm(2k-1)\frac{D}{2d}\lambda} \quad \text{暗纹}$$

3. 条纹间距

$\Delta x = (k+1)\frac{D}{d}\lambda - k\frac{D}{d}\lambda = \frac{D}{d}\lambda$



讨论：(1) 亮条纹和明条纹等间距，$\Delta x_1 = \Delta x_2$

(2) $d\downarrow$，$\Delta x\uparrow$，干涉明显。$d\uparrow \Rightarrow \Delta x < 0.1mm \Rightarrow$ 肉眼不可见干涉

(3) $D\uparrow$ $\Delta x\uparrow$，条纹分开

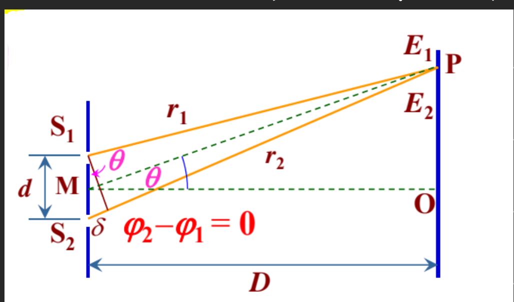
(4) $\lambda\uparrow$，$\Delta x\uparrow$

(5) 复色光做干涉 (a) 红光在外，紫光在内（以中央明纹为内）

(b) 不同波长间同一级条纹宽度 $\Delta x_k = k\frac{D}{d}\Delta\lambda$

$\underbrace{\quad}$ Δx_k

二. 干涉条纹的强度



$E_1 = A\cos(\omega t + \Phi_1)$

$E_2 = A\cos(\omega t + \Phi_2)$ 在P点合振幅 $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\Phi_2-\Phi_1)}$

$\Delta\Phi = \varphi_2 - \varphi_1 - \frac{2\pi(r_2-r_1)}{\lambda} = \frac{2\pi(r_1-r_2)}{\lambda}$

$I \propto A^2$，P点的合光强 $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2}\cos(\Phi_2-\Phi_1)$

特例：$I_1 = I_2 = I_0$

$I = I_0 + I_0 + 2I\cos(\varphi_2-\varphi_1) = 2I_0[1+\cos(\varphi_2-\varphi_1)]$

$= 4I_0\cos^2(\frac{\varphi_2-\varphi_1}{2}) = 4I_0\cos^2(\frac{\Delta\Phi}{2})$ ① $\Delta\Phi = \pm 2k\pi$ $I = 4I_0$ ② $\Delta\Phi = \pm(2k-1)\pi$

$\Rightarrow I = 0$

在题目中，近似认为O点处光强为 I_{max}

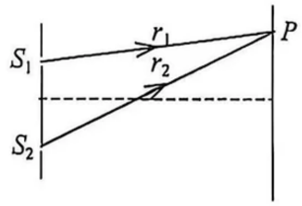
则P点 $I = I_{max}\cos^2(\frac{\Delta\Phi}{2})$ 此时 $\Delta\Phi$ 为相位差 ③ 总能量不变只在空间上重新分配

e.g

HANGHANG

3.（本题 8 分） 2024-2025秋冬　特别鸣谢 lightback

如图所示，在杨氏双缝干涉实验中，若 $\overline{S_2P}-\overline{S_1P}=r_2-r_1=\lambda/3$，求 P 点的强度 I 与干涉加强时最大强度 I_{max} 的比值.

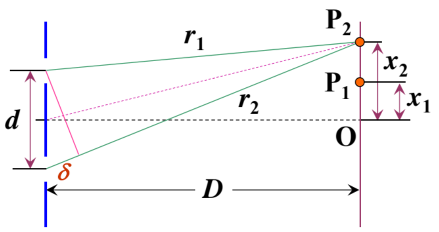


$\Delta\Phi=\frac{2\pi}{\lambda}\Delta r=\frac{2\pi}{3}$　　$I_P=I_{max}\cdot\cos^2(\frac{2\pi}{3})=I_{max}\cdot\frac{1}{4}\Rightarrow\frac{I_P}{I_{max}}=\frac{1}{4}$

4. 用复色光进行干涉

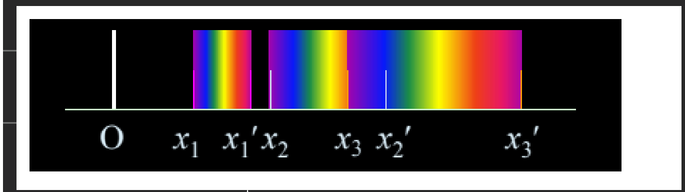
★例: 波长为500 nm的绿光投射到间距为0.5 mm的双缝上, 在距缝2 m处的屏上形成干涉条纹.

(1) 设屏上两点P_1, P_2刚好是两明纹,它们到中央明纹处的距离分别为2 mm和4 mm, 求: 相遇在P_1点的两束光和相遇在P_2的两束光的波程差分别为多少? 它们分别是第几级明纹?



(2) 改用波长范围为400 nm 到700 nm之间的复色光照射, 问在屏上形成几级完整的光谱?

见(2)会呈现类似下图的情形



故要令 $\frac{D}{d}$ 尽可能大

证明见下

取k=1,为第一级光谱,将λ=400nm和λ'=700nm代入,得到第一级光谱两端的位置

$x_1=\frac{D}{d}\lambda=1.6\,(\text{mm})$　　$x_1'=\frac{D}{d}\lambda'=2.8\,(\text{mm})$

第一级光谱的宽度　　$x_1'-x_1=1.2$ mm

第二级光谱两端的位置

$x_2=2\frac{D}{d}\lambda=3.2\,(\text{mm})$　　$x_2'=2\frac{D}{d}\lambda'=5.6\,(\text{mm})$

第二级光谱的宽度　　$x_2'-x_2=2.4$ mm

第三级光谱两端的位置

$x_3=3\frac{D}{d}\lambda=4.8\,(\text{mm})$　　$x_3'=3\frac{D}{d}\lambda'=8.4\,(\text{mm})$

第三级光谱的宽度　　$x_3'-x_3=3.6$ mm

$x_1'=2.8$ mm $<x_2=3.2$ mm

可见第一级与第二级光谱没有重叠

$x_2'=5.6$ mm $>x_3=4.8$ mm

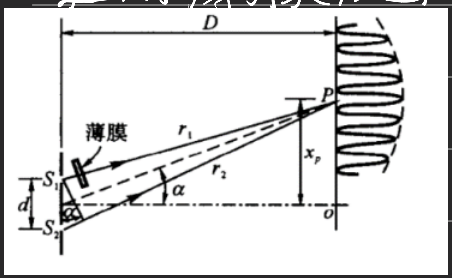
可见第二级与第三级光谱已部分重叠,

故在屏上完整的光谱就是第一级光谱.

§16.3 薄膜干涉

☆: 透镜可改变光的方向但不产生附加的光程差。

常考题型: 在缝 S_1 or S_2 or S_1S_2 处一块折射率为 $n_1(n_2)$，厚度为e的透明薄膜，造成光程差。



e.g.: $\delta=r_2-r_1'=r_2-[\underbrace{(r_1-e)}_{\text{减去真空中的e部分}}+ne]$

替换为n中走的δ $=ne$

接下来解题如前。

HANGHANG