波动光学

1. 光的干涉

1. 相干光,光程

1. 光波

$$\begin{cases} \text{光波是电磁波} \\ \text{光波的描述：}E(r,t)=Acos[\omega(t-\frac{r}{u})+\varphi_0]\text{（}r\text{指某一位置到光源的距离）} \\ \text{光强：}I=A^2 \end{cases}$$

2. 光波的叠加:

1. $E(r,t)=E_1(r,t)+E_2(r,t)+\cdots$
2. 如果 E_1与E_2同向,则 t时刻p点的光矢量为

$$E(t)=A_1\cos[\omega_1 t-\frac{2\pi}{\lambda}n_1r_1+\varphi_{10}]+A_2\cos[\omega_2 t-\frac{2\pi}{\lambda}n_2r_2+\varphi_{20}]$$

   若 $\omega=\omega_1=\omega_2$,则

$$E(t)=A_1\cos[\omega t-\frac{2\pi}{\lambda}n_1r_1+\varphi_{10}]+A_2\cos[\omega t-\frac{2\pi}{\lambda}n_2r_2+\varphi_{20}]$$
$$\Longrightarrow\ E(t)=A\cos(\omega t+\varphi)\begin{cases} A^2=A_1^2+A_2^2+2A_1A_2\cos(\varphi_1-\varphi_2) \\ I^2=I_1+I_2+2\sqrt{I_1I_2}\cos(\varphi_1-\varphi_2) \\ \varphi_1-\varphi_2=\frac{2\pi}{\lambda}(n_1r_1-n_2r_2)+(\varphi_{10}-\varphi_{20}) \end{cases}$$

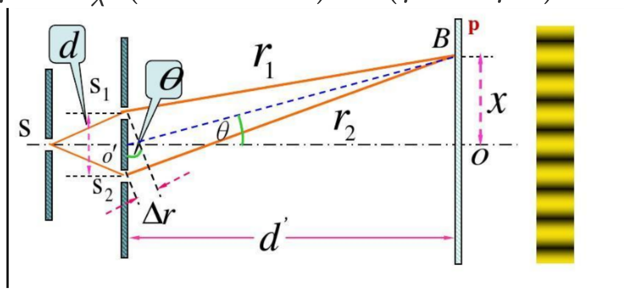
3. 若两光源振动同向,即 $\varphi_{10}=\varphi_{20}$则
   $\varphi_1-\varphi_2=\frac{2\pi}{\lambda}(n_1r_1-n_2r_2)=\frac{2\pi\delta}{\lambda}(\delta=n_1r_1-n_2r_2)$
   光程差: $\delta=n_1r_1-n_2r_2\begin{cases}\delta=k\lambda=2k\frac{\lambda}{2}(I_{\max}) \\ \delta=(2k+1)\frac{\lambda}{2}(I_{\min})\end{cases}(k=0,\pm1,\pm2\cdots)$
4. 若 $I_1=I_2\rightarrow\begin{cases}I_{\max}=4I \\ I_{\min}=0\end{cases}$干涉加强还是减落取决于两个光振动在P点的位相差
5. 干涉条件: $\begin{cases}\text{振动方向相同} \\ \text{频率相同} \\ \text{相位差固定}\end{cases}$
6. 获得相干光的两类典型方法: $\begin{cases}\text{分波面法（杨氏干涉）} \\ \text{分振幅法}\begin{cases}\text{等倾干涉} \\ \text{等厚干涉}\end{cases}\end{cases}$

2. 分波面干涉（杨氏干涉）

- **杨氏双缝干涉明暗条纹的位置**

  $I=I_1+I_2+2\sqrt{I_1I_2}\cos(\varphi_1-\varphi_2),D\gg d,D\gg x$

  S_1,S_2关于S对称：$\varphi_1-\varphi_2=\frac{2\pi}{\lambda}\overset{\delta}{(n_2r_2-n_1r_1)}+(\varphi_{10}-\varphi_{20})$

  初相差与光程差无关

  S_1与S_2关于S对称$(\varphi_{10}=\varphi_{20})$且真空$(n_1=n_2)$:

  $\varphi_1-\varphi_2=\frac{2\pi}{\lambda}n_2r_2-n_1r_1)=\frac{2\pi\delta}{\lambda}$

  $\begin{cases}\delta=r_1-r_2\approx d\sin\theta\approx d\tan\theta\\ \tan\theta=\frac{x}{D}\end{cases}\implies \delta=\frac{x}{D}d$

  $(\delta=n_2r_2-n_1r_1)\begin{cases}\delta=\pm k\lambda=\pm 2k\frac{\lambda}{2}(I_{\max}\text{亮})\\ \delta=\pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}(I_{\min}\text{暗})\end{cases}\implies\begin{cases}x_{k\text{亮}}=\pm\frac{D}{d}2k\frac{\lambda}{2}=\pm\frac{D}{d}k\lambda\\ x_{k\text{暗}}=\pm\frac{D}{d}(2k+1)\frac{\lambda}{2}\end{cases}$ (k为整数)

  相邻明或暗纹间距：$\Delta x=x_{k+1}-x_k=\frac{D}{d}\lambda$

  相邻明暗纹间距：$\Delta x'=x_{k\text{暗}}-x_{k\text{亮}}=\frac{D}{d}\frac{\lambda}{2}$

  注意：光程差每改变一个λ,干涉级改变1，条纹移动一条,干涉条纹移动一个Δx (干涉级：$\frac{n_1r_1-n_2r_2}{\lambda}$)

- **杨氏双缝干涉的特点**

$$x_{k\text{亮}}=\pm\frac{D}{d}2k\frac{\lambda}{2}=\pm\frac{D}{d}k\lambda$$

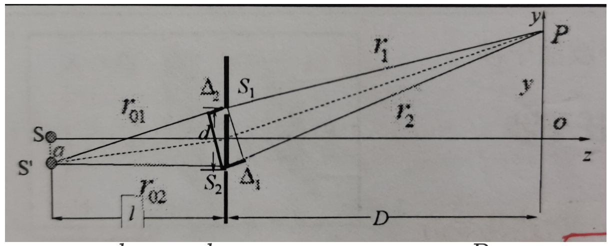
  1. 若用单色光入射,则出现明暗相间的等间距的条纹
  2. 若用复色光入射则将出现彩色条纹，其中第一级为完整的光谱线（复色光），第二级以后将出现重叠现象

     $k\neq 0$：λ不同，$x_{k\text{亮}}$不同
  3. 中央为明纹，对应的光程差为0

- **讨论1：光源S位置改变对干涉条纹的影响**

  - S下移时，零级明纹上移，干涉条纹整体向上平移；
  - S上移时，零级明纹下移，干涉条纹整体向下平移；
  - 条纹间距不变
  - 定量计算：
    - 设光源向下移动距离a，则在$d\ll D,d\ll l$的条件下，有

$$\Delta=\Delta_1+\Delta_2=\frac{d}{D}y-\frac{d}{l}a$$



- 若 p 点是零级干涉条纹：$\Delta=\frac{d}{D}y-\frac{d}{l}a=0 \implies y=\frac{D}{l}\cdot a(y\propto a)$
- 若 p 点是亮纹则有：$\Delta=\frac{d}{D}y-\frac{d}{l}a=k\lambda \qquad k=0,\pm1,\pm2,\pm3,\ldots \implies y=k\frac{D}{d}\lambda+\frac{D}{l}a$
- 相邻亮纹间距$(k\rightarrow k+1):\Delta y=\frac{D}{d}\lambda$——等间距且条纹间距不变

- **讨论2：双缝间距 d 的改变位置改变对干涉条纹的影响**
  - $x_{k亮}=\frac{D}{d}2k\frac{\lambda}{2}=\frac{D}{d}k\lambda \implies \Delta x=\frac{D}{d}\lambda$
  - $\begin{cases} d增大,零级明纹中心位置不变，\Delta x减小，其他各级条纹向中央明纹靠近，条纹变密. \\ d减小，零级明纹中心位置不变，\Delta x增大，其他各级条文向两侧扩散，条纹变疏 \end{cases}$
  - **说明：可以通过调整d调整条纹间距Δx**

- **讨论3：双缝与屏幕间距 D 的改变对干涉条纹的影响**
  - $\Delta x=\frac{D}{d}\lambda$
  - $\begin{cases} D减小,零级明纹中心位置不变，\Delta x减小，其他各级条纹向中央明纹靠近，条纹变密. \\ D增大，零级明纹中心位置不变，\Delta x增大，其他各级条文向两侧扩散，条纹变疏 \end{cases}$
  - **说明：可以通过调整D调整条纹间距Δx**

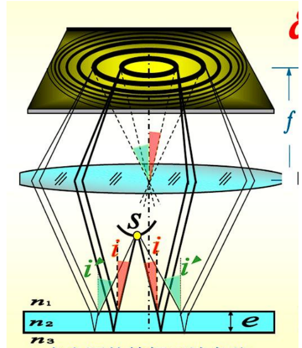
- **讨论4：入射光波长改变的影响**
  - $\Delta x=\frac{D}{d}\lambda$
  - $\begin{cases} \lambda增大，零级明纹中心位置不变，\Delta x增大，条纹变疏 \\ \lambda减小，零级明纹中心位置不变，\Delta x减小，条纹变密 \end{cases}$

- **讨论5：介质折射率的影响(将整个装置放入折射率为n的介质中)**
  - $\varphi_1-\varphi_2=\frac{2\pi}{\lambda}(n_2r_2-n_1r_1)=\frac{2\pi n}{\lambda}(r_2-r_1)=\frac{2\pi}{\lambda/n}(r_2-r_1)=\frac{2\pi}{\lambda_n}(r_2-r_1)$
  - 将双缝干涉装置，由空气中放入水中：

$$\begin{cases} \Delta x=\frac{D}{d}\lambda_n=\frac{D}{d}\frac{\lambda}{n} \\ n_{水}>n_{空气} \end{cases} \implies \Delta x_{水}<\Delta x_{空气}$$
$$即实验装置放入水后,条纹间距变小$$

3. 分振幅干涉（薄膜干涉）

> 薄膜干涉：光波经薄膜上,下表面反射后,相互叠加而形成的干涉现象



点光源的等倾干涉条纹

- 半波损失

> 半波损失:光从光疏介质进入光密介质在.掠入射($i \approx 90°$)或正入射($i \approx 0°$)时,反射光相对于入射光,相位有量值为 π 的突变,即在反射过程中损失了半个波长的现象.

```
产生条件:
1. 光从光疏介质,到光密介质
2. 正入射或掠入射
3. 半波损失指出现在反射现象中
```

1. 折射光不存在半波损失
2. 若如射角不满足相应的条件,有其他相位突变 $\Delta\varphi$

   1. (平行膜)等倾干涉
      - 反射光干涉
        传播光程差：寻找 δ 与入射角 i 的关系

$$\delta_0 = 2d\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i}$$
$$\delta = \delta(i)(\text{光程差与倾角}i\text{有关,且倾角}i\text{相同的光线对应同一条干涉条纹(等倾干涉)})$$
$$\text{若入射角}i\text{很小时：}\delta_0 \approx 2n_2 d$$

- 反射光干涉的附加光程差 δ'
  - 界面反射条件相同($n_1 < n_2 < n_3$): $\begin{cases}\text{附加相位差：}\Delta\varphi = \pi - \pi = 0 \\ \text{附加光程差：}\delta' = \frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{2} = 0\end{cases}$
  - 界面反射条件不同($n_1 > n_2 < n_3$): $\begin{cases}\text{附加相位差：}\Delta\varphi = \pi - 0 = \pi \\ \text{附加光程差：}\delta' = \frac{\lambda}{2} - 0 = \frac{\lambda}{2}\end{cases}$
- 平行膜反射光干涉的总光程差 δ

$$\delta = \delta_0 + \delta' = ad\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \begin{cases}0(\text{反射条件相同}) \\ \frac{\lambda}{2}(\text{反射条件不同})\end{cases}$$
$$\begin{cases}\text{亮纹：}\delta = 2d\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \begin{cases}0 \\ \frac{\lambda}{2}\end{cases} = k\lambda \\ \text{暗纹：}\delta = \cdots = k\lambda + \frac{\lambda}{2}\end{cases}$$

  - i越小,δ越大,k越大,即内环干涉极大