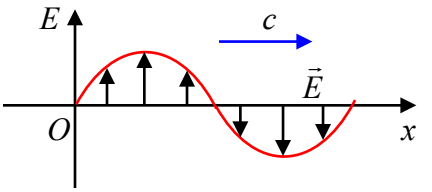
光　　学

第 1 节　光源、光的单色性和相干性

一、光是电磁波

变化电磁场的传播，可用 $\vec{E}$、$\vec{H}$ 描述，$\vec{E}$：光矢量

$\vec{E}=\vec{E}_0\cos[\omega(t-\frac{x}{c})+\varphi]$



$\omega=2\pi\nu$：圆频率

ν：频率

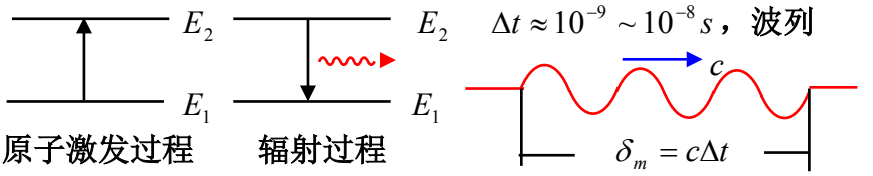
$c=\lambda\nu$：光速，λ：波长

$\vec{E}$ 的振动方向 $\perp\vec{c}$，横波，光强（能流密度）$I\propto E_0^2$

可见光波长：**4000~7600** Å

二、光源

发光的物体称为光源，发光机理：



原子激发过程　　辐射过程

按激发方式：

热光源：利用热能激发的光源

冷光源：利用电能、光能或化学能激发的光源

按辐射方式：

普通光源：以自发辐射为主

激光光源：以受激辐射为主

普通光源的发光特性：（**1**）间歇性（**2**）独立性

三、光的单色性

包含多种频率的光：复色光

具有单一频率的光：单色光，准单色光，$\Delta\nu$ 或 $\Delta\lambda$：谱线宽度

$\delta_m=\frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$，$\Delta\lambda\downarrow$，$\delta_m\uparrow$，严格单色光 $\Delta\lambda\to0$，$\delta_m\to\infty$

获得单色光的方法：

（**1**）棱镜色散（**2**）滤光片（**3**）单色光源（**4**）激光

四、光的相干条件

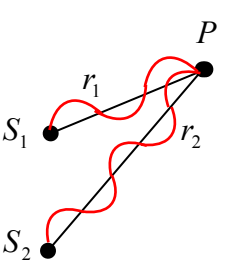
两列电磁波或光波在空间相遇

合场强　$\vec{E}=\vec{E}_1+\vec{E}_2$

$E^2=E_1^2+E_2^2+2\vec{E}_1\cdot\vec{E}_2$

$I=I_1+I_2+2\overline{\vec{E}_1\cdot\vec{E}_2}$

$2\overline{\vec{E}_1\cdot\vec{E}_2}$：干涉项



$\vec{E}_1=\vec{E}_{10}\cos[\omega_1(t-\frac{r_1}{c})+\varphi_1]$，$\vec{E}_2=\vec{E}_{20}\cos[\omega_2(t-\frac{r_2}{c})+\varphi_2]$

下列三个条件中的任何一个出现时，干涉项 $2\overline{\vec{E}_1\cdot\vec{E}_2}=0$

（1）$\vec{E}_1\perp\vec{E}_2$ （2）$\omega_1\neq\omega_2$

（3）$\omega_1=\omega_2$， $\varphi_2-\varphi_1=f(t)$：时间的随机函数

合光强 $I=I_1+I_2$ ——— 非相干迭加

同振向、同频率、位相差恒定的两列光波的迭加：

合光强 $I=I_1+I_2+2\sqrt{I_1I_2}\cos\Delta\varphi$

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

$\delta=r_2-r_1$：光程差

$\Delta\varphi=\pm 2k\pi$， $k=0,1,2\cdots$， $I=I_1+I_2+2\sqrt{I_1I_2}$，干涉加强

$\Delta\varphi=\pm(2k+1)\pi$， $k=0,1,2\cdots$， $I=I_1+I_2-2\sqrt{I_1I_2}$，干涉相消

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

$\delta=r_2-r_1=\pm k\lambda$， $k=0,1,2\cdots$ 干涉加强

$\delta=r_2-r_1=\pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2}$， $k=0,1,2\cdots$ 干涉相消

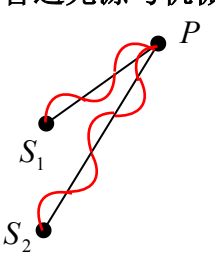
相干迭加

光的相干条件：同振向、同频率、位相差恒定

注：不管是相干迭加还是非相干迭加，都满足场强迭加原理

第 2 节　杨氏双缝干涉

一、普通光源与机械波源的区别

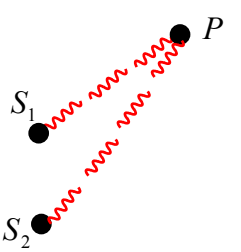


两个同振向、同频率持续振动的机械波源的初相 φ_1、φ_2，

$\varphi_2-\varphi_1$

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

是恒定的，满足相干条件



（1）振向可能不同

（2）频率可能不同

（3）初相 φ_1、φ_2， $\varphi_2-\varphi_1$

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

不是恒定的，不满足相干条件

结论：不同光源发出的光、同一光源的不同部分发出的光、同一光源的同一部分先后发出的光波列是不相干的

只有把同一个波列分割为两个波列让这两个波列在空间相遇才能获得相干光

分割波列的方法（1）分波面法（2）分振幅法

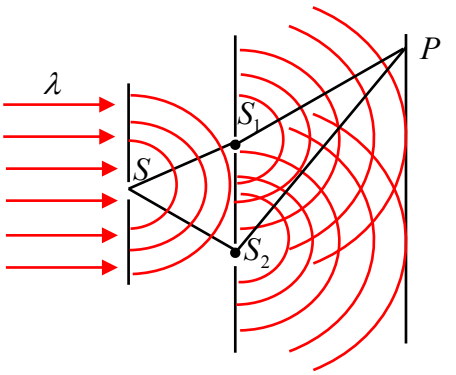
杨氏双缝干涉是分波面法

二、杨氏双缝干涉

$S_1\ S_2$ 处 $\varphi_1=\varphi_2$

相干光

相干光源



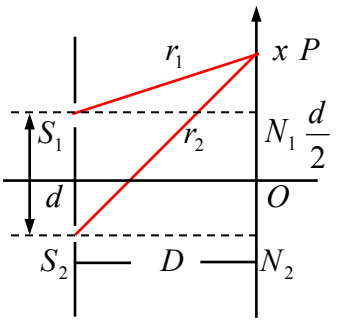
$$\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1-\frac{2\pi}{\lambda}(r_2-r_1)\ =-\frac{2\pi}{\lambda}\delta,$$

$$\Delta\varphi=-\frac{2\pi}{\lambda}\delta=\pm 2k\pi$$

$\delta=r_2-r_1=\pm k\lambda$， $k=0,1,2\cdots$，明纹

$$\Delta\varphi=-\frac{2\pi}{\lambda}\delta=\pm(2k+1)\pi$$

$\delta=r_2-r_1=\pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2}$， $k=0,1,2\cdots$，暗纹



$$r_1^2=D^2+(x-\frac{d}{2})^2=D^2+x^2-xd+\frac{d^2}{4}\qquad（1）$$

$$r_2^2=D^2+(x+\frac{d}{2})^2=D^2+x^2+xd+\frac{d^2}{4}\qquad（2）$$

$$r_2^2-r_1^2=(r_2-r_1)(r_2+r_1)=2xd$$

设 $d<<D$， $x<<D$， $r_1+r_2\approx 2D$， $\delta=r_2-r_1=\dfrac{d}{D}x$

$\delta=r_2-r_1=\dfrac{d}{D}x=\pm k\lambda$，明纹中心坐标 $x=\pm k\dfrac{D}{d}\lambda$， $k=0,1,2\cdots$

$\delta=r_2-r_1=\dfrac{d}{D}x=\pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2}$，暗纹中心坐标 $x=\pm(2k+1)\dfrac{D\lambda}{2d}$

$k=0,1,2\cdots$， k：干涉级

条纹分布

第 **0** 级明纹：中央明纹

注意第几级与第几条的区别

讨论：

1、相邻两明纹

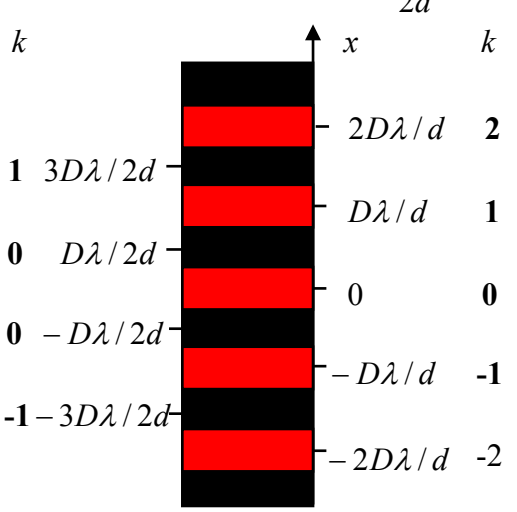
或暗纹中心间距

$\Delta x=D\lambda/d$

条纹均匀分布

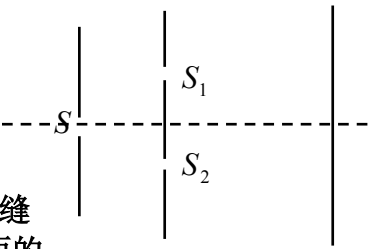
增加 Δx 的方法

$D\uparrow$、 $d\downarrow$、 $\lambda\uparrow$



2、小孔 S 在垂直板面的方向上移动，条纹如何变化？

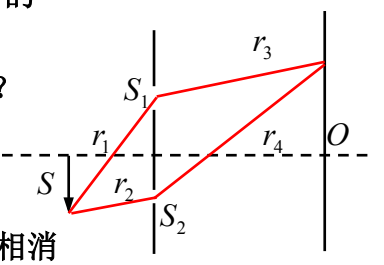
在垂直板面的方向上放两个小孔，条纹如何变化？



小孔 S 可变成一条垂直板面的狭缝

小孔 S_1， S_2 可变成两条垂直板面的狭缝——— 双缝干涉

小孔 S 向下移动，条纹如何变化？



$\delta = r_2 + r_4 - (r_1 + r_3)$

$\delta = \pm k\lambda$， $k = 0,1,2\cdots$ 干涉加强

$\delta = \pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2}$， $k = 0,1,2\cdots$ 干涉相消

3、λ 不同， Δx 不同，用日光，呈彩色条纹

中央亮纹仍是白色

从中央到两侧按由紫到红的顺序排列

设 k 级红色条纹和 $(k+1)$ 级紫色条纹重叠

$$x_{红} = k\frac{D}{d}\lambda_{红} = x_{紫} = (k+1)\frac{D}{d}\lambda_{紫}$$

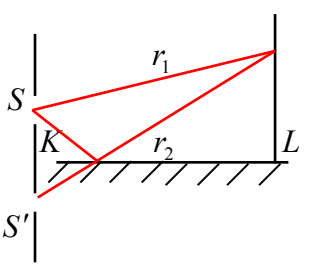
$$k = \frac{\lambda_{紫}}{\lambda_{红} - \lambda_{紫}} = \frac{4000}{7600 - 4000} = 1.1$$

只能看到 ± 1 级彩色条纹

三、洛埃镜

当光由光疏媒质射向光密媒质

而反射时也存在半波损失现象



$$\delta = r_2 - r_1 + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} \pm k\lambda & k = 0,1,2\cdots 明纹 \\ \pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k = 0,1,2\cdots 暗纹 \end{cases}$$

例：用 $\lambda = 0.5893\mu m$ 的钠光灯做双缝干涉实验

屏与双缝的距离 $D = 500mm$

求：（1） $d = 1.2mm$ 和 $d = 10mm$ 时，相邻两明纹间距

（2）若相邻两明纹的最小分辨距离为 $0.065mm$， d 最大是多大？

解：（1） $\Delta x = \dfrac{D}{d}\lambda$

$$d = 1.2mm，\quad \Delta x = \frac{500\times10^{-3}}{1.2\times10^{-3}}\times0.5893\times10^{-6} = 0.25mm$$

$$d = 10mm，\quad \Delta x = \frac{500\times10^{-3}}{10\times10^{-3}}\times0.5893\times10^{-6} = 0.03mm$$

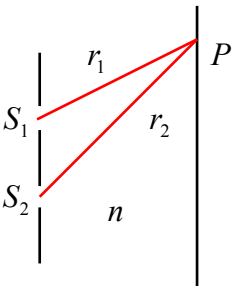
（2） $d = \dfrac{D}{\Delta x}\lambda = \dfrac{500\times10^{-3}}{0.065\times10^{-3}}\times0.5893\times10^{-6} = 4.5mm$

$$1m = 10^3 mm = 10^6 \mu m = 10^9 nm = 10^{10} \mathring{A}$$

第 3 节　光程和光程差

双缝干涉

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



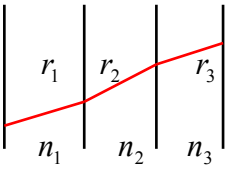
$\lambda = c/\nu$：光在真空中的波长

r_1，r_2：几何路程

双缝和屏之间充满某种均匀透明介质 n

介质中的光速 $V = c/n$

介质中光的波长 $\lambda' = V/\nu = \dfrac{c}{n\nu} = \lambda/n$



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

$$= -\frac{2\pi n}{n\lambda'}(r_2 - r_1) = -\frac{2\pi}{\lambda}(nr_2 - nr_1)，$$

定义：光程 $\Delta = nr$

$\Delta = n_1 r_1 + n_2 r_2 + \cdots = \sum n_i r_i$，真空中：$\Delta = r$

光程差 $\delta = \Delta_2 - \Delta_1$

位相差 $\Delta\varphi = -\dfrac{2\pi}{\lambda}\delta$

在相同时间内，若光在介质中走过的几何路程为 r

则光在真空中走过的几何路程为 nr

光在介质中走过 r 的路程产生的位相变化

=光在真空中走过 nr 的路程产生的位相变化

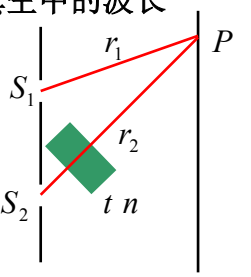
光程：光在介质中走过的路程折合成光在真空中走过的路程

采用光程的概念后，光的波长必须采用光在真空中的波长

例：双缝干涉

在光路 2 上放一厚度

为 t 折射率为 n 的玻璃片



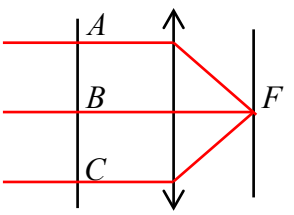
$\delta = r_2 - t + nt - r_1$

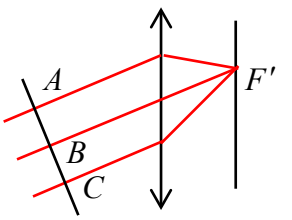
$= r_2 - r_1 + (n-1)t$

$\Delta\varphi = -\dfrac{2\pi}{\lambda}\delta = -\dfrac{2\pi}{\lambda}[r_2 - r_1 + (n-1)t]$

λ：光在真空中的波长

透镜的光程





透镜只改变光的传播方向，而不引起附加光程差