第 十一 章 （波动）光 学

光学----研究：

光的现象、光的本性、光与物质相互作用

几何光学 Geometrical Optics

以光的直线传播规律为基础，光学仪器的理论。

波动光学 Wave Optics

以光的电磁波本性为基础，研究传播规律，特别是干涉、衍射、偏振的理论和应用。

量子光学 Quantum Optics

以光的量子理论为基础，研究光与物质相互作用的规律。

第十一章 （波动）光 学

11-1 相 干 光

知识点：掌握：

1、光矢量的概念；

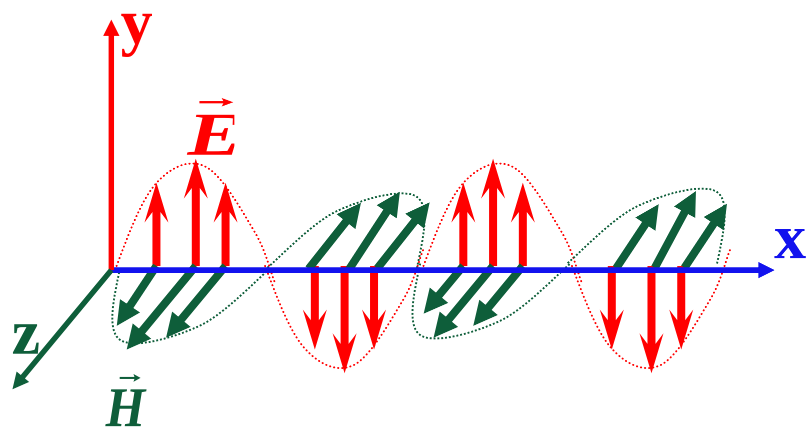
2、获得相干光的两类方法。

一、光是电磁波

1865年，Maxwell提出电磁信号以波的形式在空间传播，并发现真空中的电磁波速与光速相等——于是推断：

光是一种电磁波！

$$E = E_0 \cos[\omega(t - \frac{x}{u})]$$



$\boldsymbol{E}$ —光矢量

光强： $I \propto E_0^2$

光矢量：用 $\vec{E}$ 矢量表示

引起人眼视觉和底片感光上起主要作用

一、光是电磁波

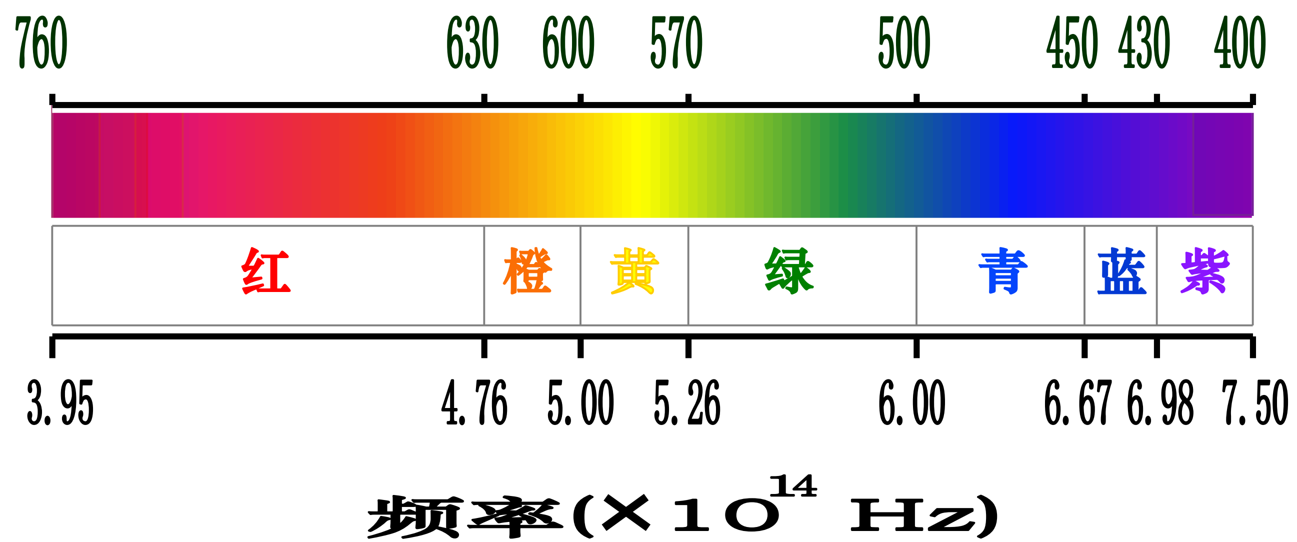
◆真空中的光速

$$c=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$$

可见光的范围:

$\lambda: 400 \sim 760\text{nm};$(真空中)

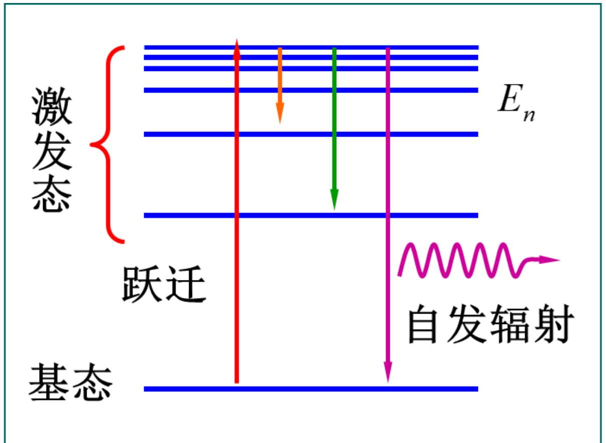
$\nu: 7.5\times10^{14} \sim 4.3\times10^{14}\,\text{Hz}$



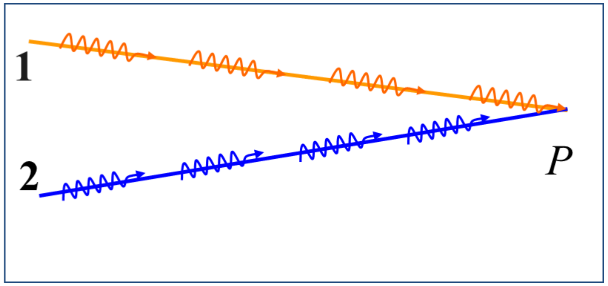
二、相干光

1、单色光和复色光

1）普通光源的发光机制



原子能级及发光跃迁



普通光源发光特点：

间歇性：各原子发光是断断续续的，平均发光时间Δt 约为10^{-8} s，所发出的是一段长为 $L = c\Delta t$ 的光波列。

随机性：原子发光是断续的，每次发光是随机的，每次发光形成一个短短的波列，所发出各波列的振动方向和振动初相位都不相同，相互独立，各波列互不相干。

两个独立普通光源发出的光不能产生干涉

二、相干光

1、单色光和复色光

2）单色光和复色光

单色光 — 具有单一频率（波长）的光波

复色光 — 含多种频率（波长）的光。如：白光、自然光、…

（准）单色光

— 光波中包含波长（频率）范围很窄的成分的光

2、光的干涉

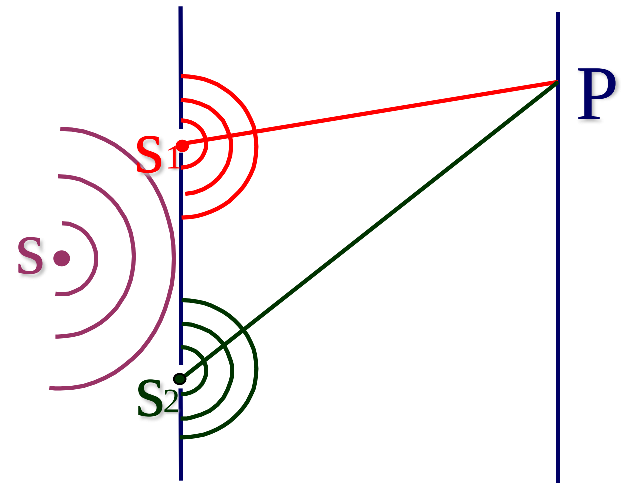
相干条件：
- 振动方向相同
- 频率相同
- 有恒定的位相差

满足相干条件的光----相干光----相干光源

二、相干光

3、获得相干光的方法

1）分波阵面法 Method of Dividing Wave Front

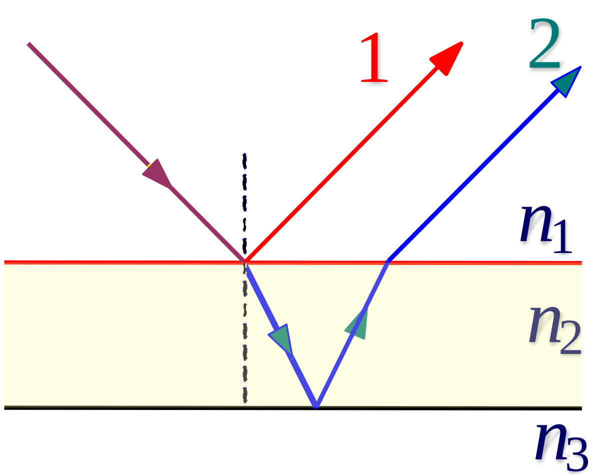


杨氏实验

菲涅耳双镜

洛埃镜

2）分振幅法 Method of Dividing Amplitude



薄膜干涉 $\begin{cases} \text{等倾干涉} \\ \text{等厚干涉} \end{cases}$

第 十一 章 光 学

11-2 杨氏双缝干涉、劳埃德镜

知识点：掌握：

1、杨氏双缝干涉（明、暗纹条件）（重点）；

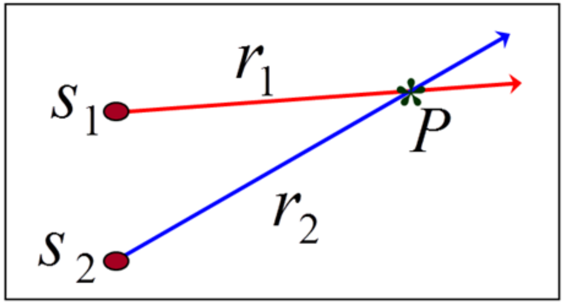
2、光程与光程差（重点）；

3、半波损失现象。（定性）

回顾：

波的干涉

2) 干涉加强（相长）与干涉减弱（相消）的条件（重点）



点P的两个分振动

$$\begin{cases} y_{1p} = A_1\cos(\omega t + \varphi_{01} - 2\pi\dfrac{r_1}{\lambda}) \\ y_{2p} = A_2\cos(\omega t + \varphi_{02} - 2\pi\dfrac{r_2}{\lambda}) \end{cases}$$

P点合振动： $y_p = y_{1p} + y_{2p} = A\cos(\omega t + \varphi_0)$

$$\begin{cases} \tan\varphi = \dfrac{A_1\sin(\varphi_{01} - \frac{2\pi r_1}{\lambda}) + A_2\sin(\varphi_{02} - \frac{2\pi r_2}{\lambda})}{A_1\cos(\varphi_{01} - \frac{2\pi r_1}{\lambda}) + A_2\cos(\varphi_{02} - \frac{2\pi r_1}{\lambda})} \\ A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\Delta\varphi} \\ \Delta\varphi = (\varphi_{02} - \varphi_{01}) - 2\pi\dfrac{r_2 - r_1}{\lambda} \end{cases}$$

回顾：

波的干涉

2) 干涉加强(相长)与干涉减弱（相消）的条件（重点）

$$A=\sqrt{A_1^2+A_2^2+2A_1A_2\cos\Delta\varphi}$$

$$\Delta\varphi=(\varphi_{02}-\varphi_{01})-2\pi\frac{r_2-r_1}{\lambda}$$

(1) 干涉加强条件： $\Delta\varphi=\pm 2k\pi,\ k=0,1,2,\cdots$

$$A_{max}=A_1+A_2$$

$$I_{max}=I_1+I_2+2\sqrt{I_1I_2}$$

振动始终加强

(2) 干涉减弱条件： $\Delta\varphi=\pm(2k+1)\pi,\ k=0,1,2,\cdots$

$$A_{min}=|A_1-A_2|$$

$$I_{min}=I_1+I_2-2\sqrt{I_1I_2}$$

振动始终减弱

(3) $\Delta\varphi=$其他： $|A_1-A_2|<A<A_1+A_2$

回顾:

波的干涉

$$A=\sqrt{A_1^2+A_2^2+2A_1A_2\cos\Delta\varphi}$$

$$\Delta\varphi=(\varphi_{02}-\varphi_{01})-2\pi\frac{r_2-r_1}{\lambda}$$

波程差：$\delta=r_1-r_2$，或，$\delta=r_2-r_1$

若：$\varphi_{01}=\varphi_{02}$

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

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

(1) 干涉加强条件:

$$\Delta\varphi=\pm 2k\pi,\quad k=0,1,2,\cdots$$

$$\delta=\pm 2k\frac{\lambda}{2},\quad k=0,1,2,\cdots$$

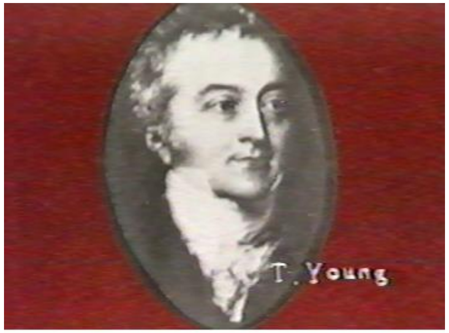
(2) 干涉减弱条件:

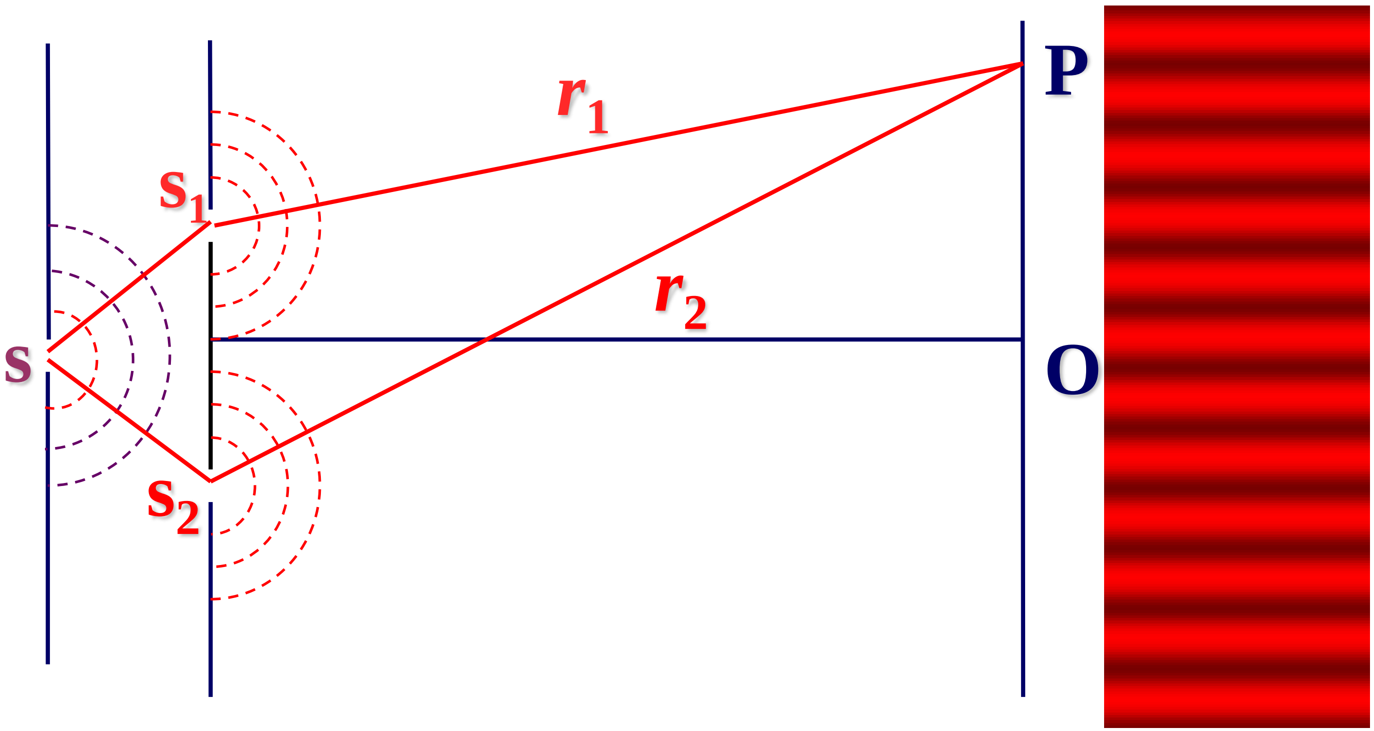
$$\Delta\varphi=\pm(2k+1)\pi,\quad k=0,1,2,\cdots$$

$$\delta=\pm(2k+1)\frac{\lambda}{2},\quad k=0,1,2,\cdots$$

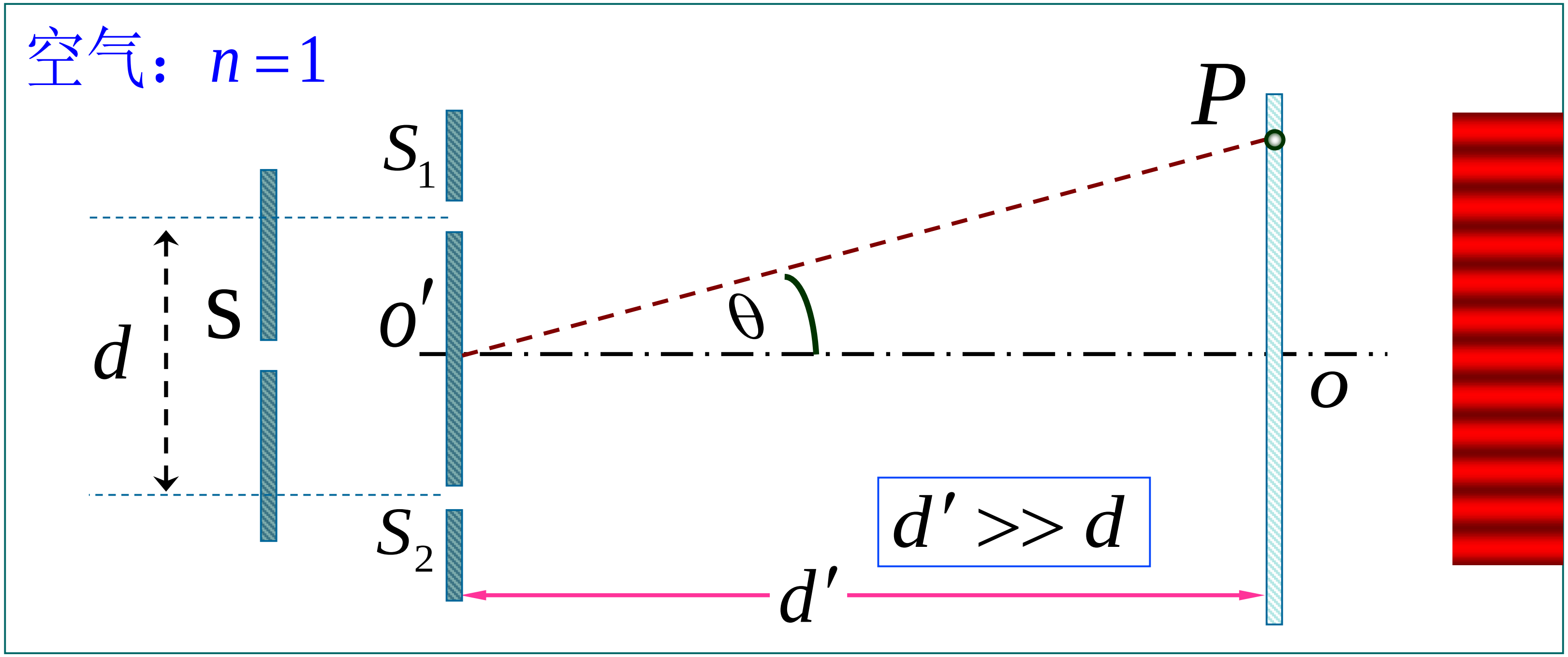
一、杨氏双缝干涉实验

1801年，英国物理学家托马斯·杨（T. Young）首先利用双缝实验观察到了光的干涉现象，从实验上证实了光的波动性。





一、杨氏双缝干涉实验

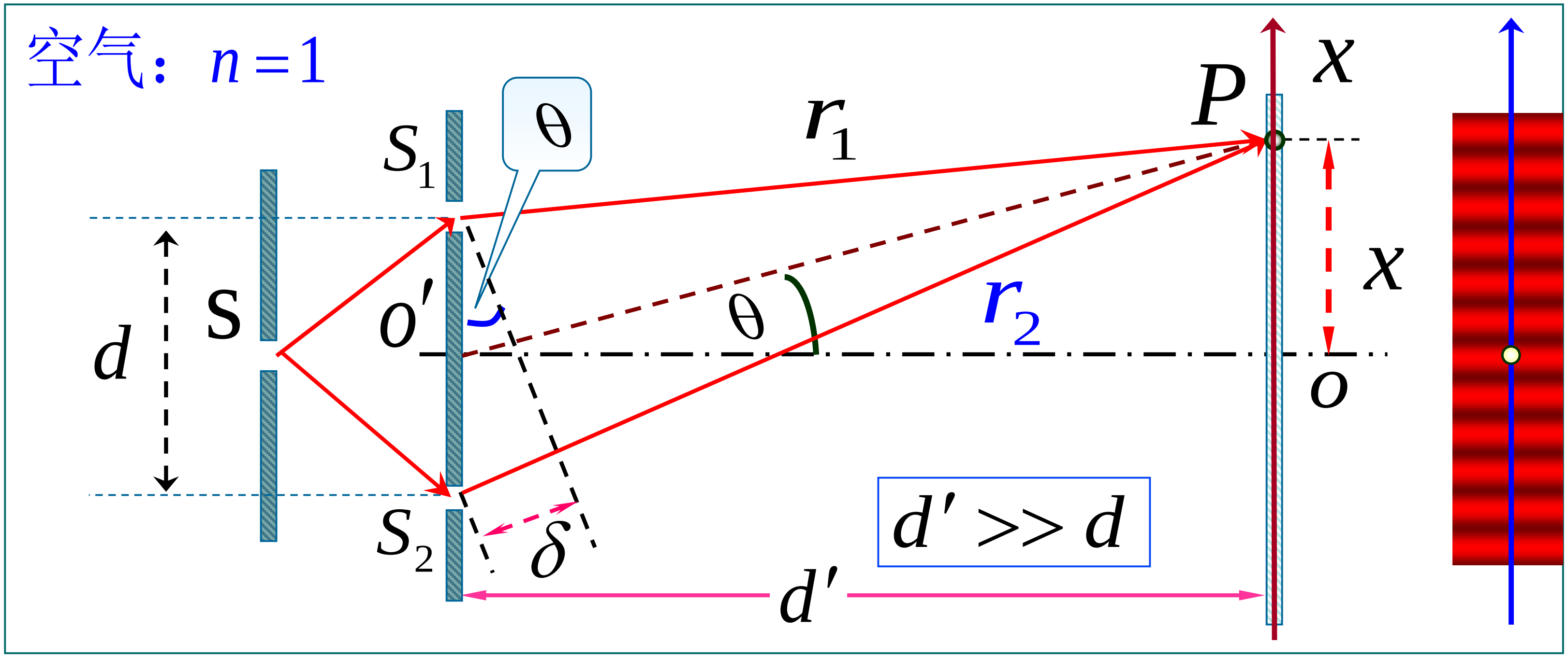


设：$\overline{SS}_1 = \overline{SS}_2$

O'：狭缝 S_1 与狭缝 S_2 连线中心点

O：O' 在观察屏上的投影点

一、杨氏双缝干涉实验



设：$\overline{SS_1} = \overline{SS_2}$

波程差： $\delta = (\overline{SS_2} + r_2) - (\overline{SS_1} + r_1) = r_2 - r_1$

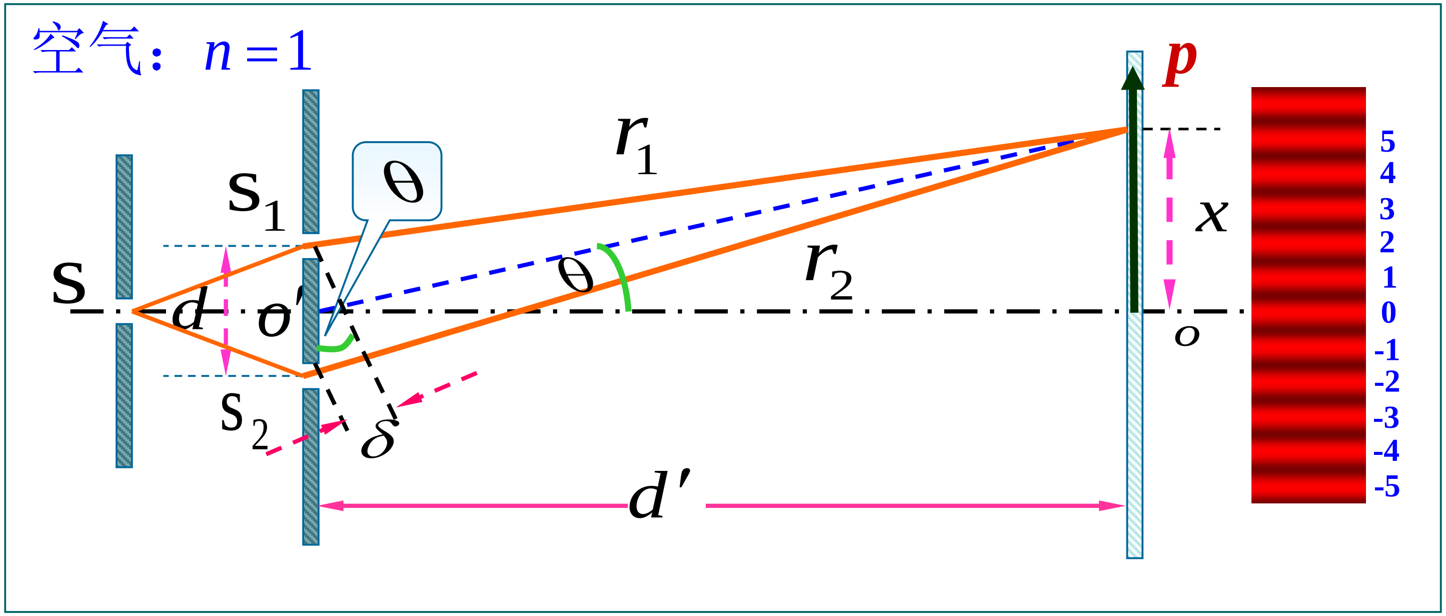
$$\delta = r_2 - r_1 \approx d\sin\theta$$

θ 很小

$$\approx d\tan\theta = d\frac{x}{d'}$$

$$\boxed{\delta = r_2 - r_1 \approx d\frac{x}{d'}}$$

一、杨氏双缝干涉实验



$$\delta = d\frac{x}{d'}$$

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

1、干涉加强(明纹)：

$$\Delta\varphi = \pm 2k\pi,\ k = 0,1,2,\cdots$$

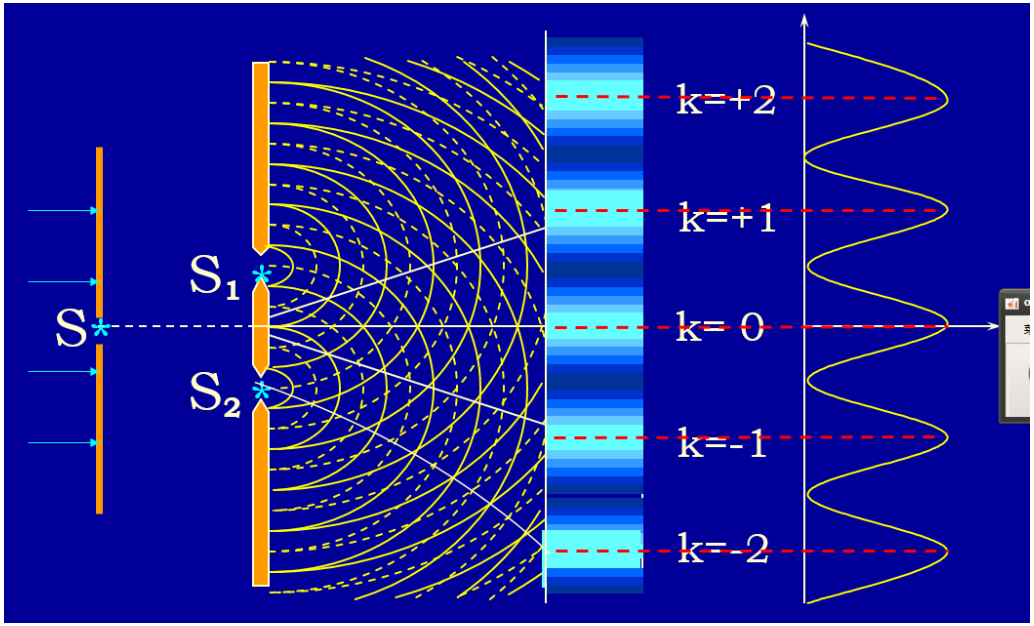
$$\delta = \pm 2k\frac{\lambda}{2},\ k = 0,1,2,\cdots$$

明条纹中心的位置:

$$x = \pm 2k \cdot \frac{d'\lambda}{2d},\ k = 0,1,2,\cdots$$

k 称为:
条纹的级数

一、杨氏双缝干涉实验



1、干涉加强(明纹)：

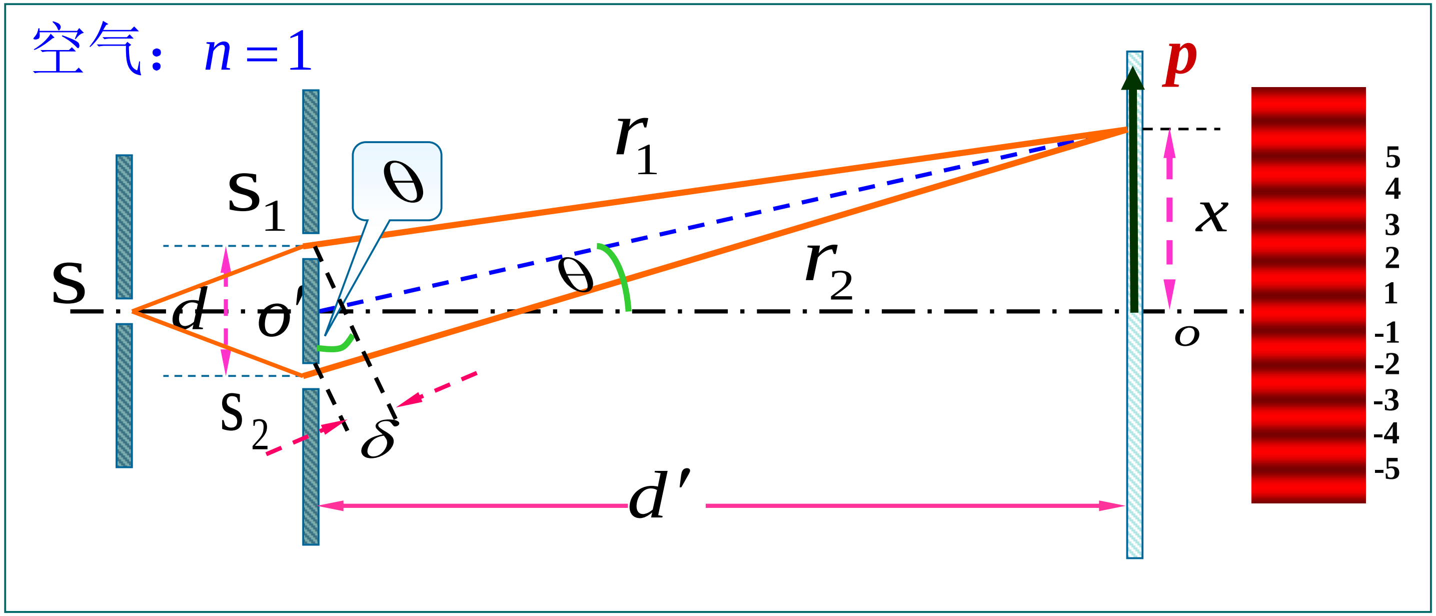
$$\boxed{\Delta\varphi = \pm 2k\pi, \ k = 0, 1, 2, \cdots}$$

明条纹中心的位置:

$$\boxed{\delta = \pm 2k\frac{\lambda}{2}, \ k = 0, 1, 2, \cdots}$$

k = 0，对应 δ=0，称为零级明纹（或中央明纹）

一、杨氏双缝干涉实验



$$\delta = d\,\frac{x}{d'}$$

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

2、干涉减弱(暗纹)：

$$\Delta\varphi = \pm(2k+1)\,\pi,\ \ k=0,1,2,\cdots$$

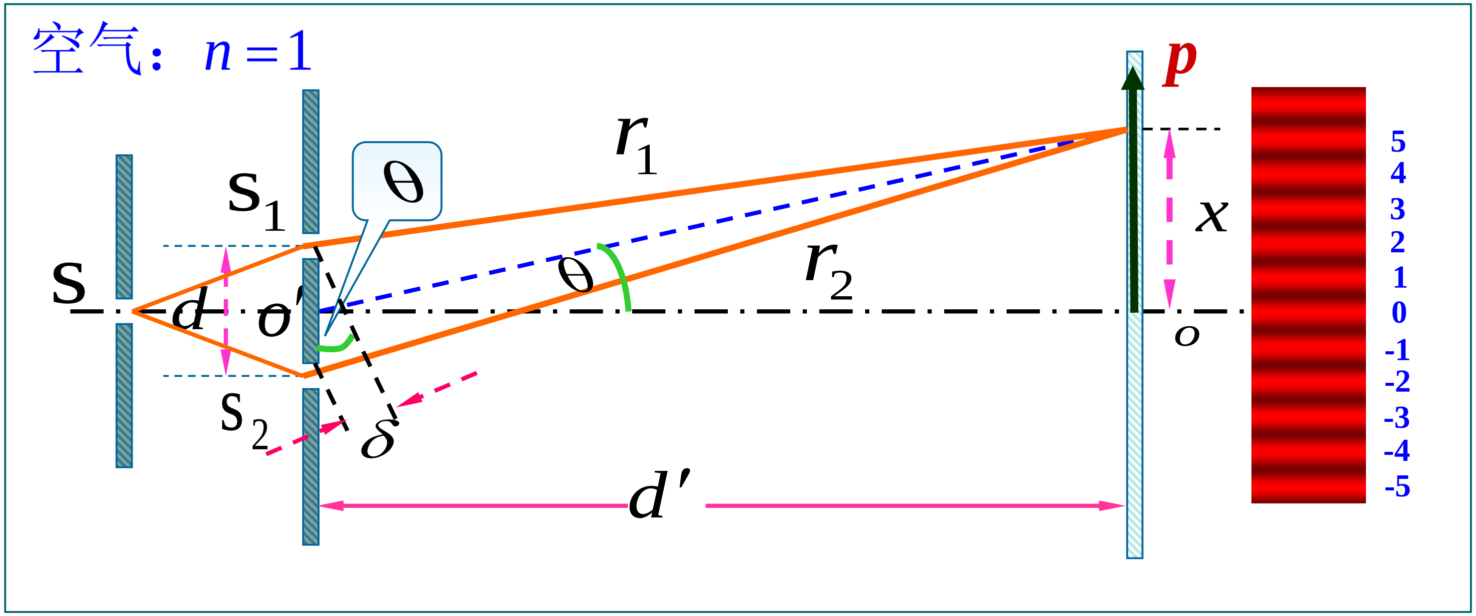
暗条纹中心的位置:

$$\delta = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2},\ \ k=0,1,2,\cdots$$

$$x = \pm(2k-1)\cdot\frac{d'\lambda}{2d},\ \ k=1,2,\cdots$$

k 为暗条纹的级数

一、杨氏双缝干涉实验



$$\delta = d\frac{x}{d'}$$

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

明暗条纹的位置：
$$x_k = \begin{cases} \pm 2k \cdot \dfrac{d'\lambda}{2d}, \quad k = 0, 1, 2, \cdots & \text{明纹中心} \\ \pm(2k-1)\cdot\dfrac{d'\lambda}{2d}, \quad k = 1, 2, \cdots & \text{暗纹中心} \end{cases}$$

条纹间距：$\Delta x = \dfrac{d'\lambda}{d}$，$(\Delta k = 1)$

一、杨氏双缝干涉实验

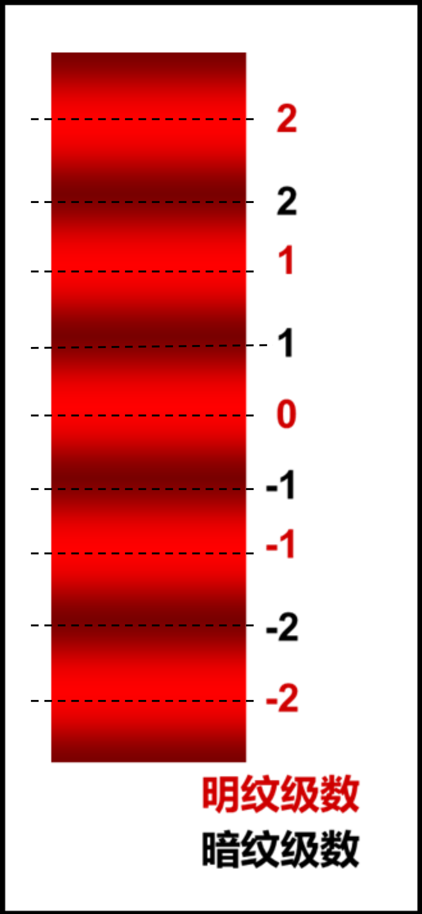
干涉条纹在屏幕上的分布：

明纹： $x = \pm k\dfrac{d'\lambda}{d} \quad (k = 0, 1, 2, \cdots)$

暗纹： $x = \pm(2k-1)\dfrac{d'\lambda}{2d} \quad (k = 1, 2, \cdots)$

其中 k 称为条纹的**级数**

明纹中：$\boxed{\delta = 0,\ k = 0}$ 为中央明纹**(零级明纹)**



相邻两明纹或暗纹的间距：

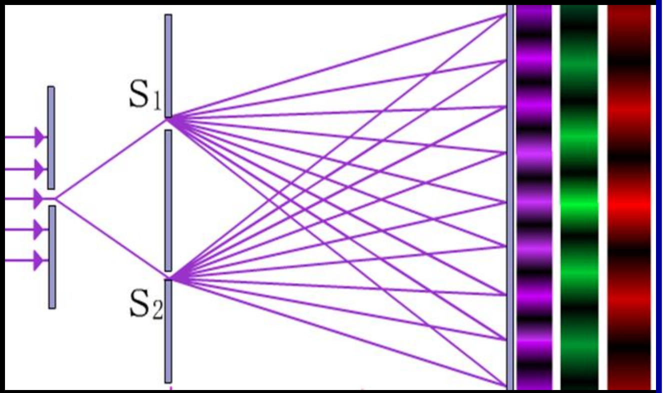
$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{d'}{d}\lambda$$

一、杨氏双缝干涉实验

干涉条纹在屏幕上的分布：

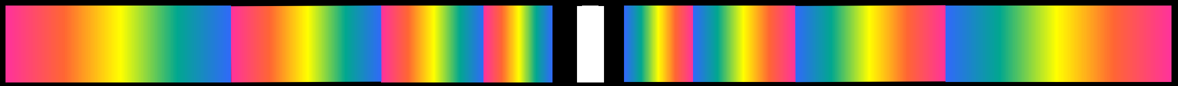
明纹： $x_k = \pm k \dfrac{d'\lambda}{d} \quad (k = 0, 1, 2, \cdots)$

暗纹： $x_k = \pm (2k-1) \dfrac{d'\lambda}{2d} \quad (k = 1, 2, \cdots)$



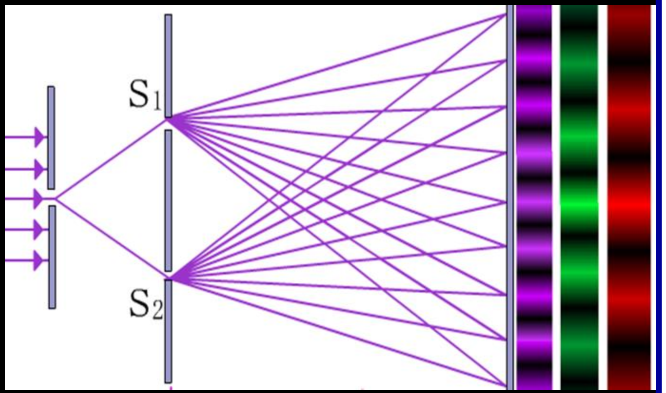
相邻两明纹或暗纹的间距： $\Delta x = x_{k+1} - x_k = \dfrac{d'}{d}\lambda$

说明：
- 明暗相间的条纹对称分布于中央明纹O点两侧。
- 条纹位置和波长有关，不同波长的同一级明条纹位置不同。因此，如果用白光照射，则屏上中央出现白色条纹，而两侧则出现彩色条纹。



一、杨氏双缝干涉实验

干涉条纹在屏幕上的分布：



明纹： $x_k = \pm k\dfrac{d'\lambda}{d} \quad (k = 0, 1, 2, \cdots)$

暗纹： $x_k = \pm(2k-1)\dfrac{d'\lambda}{2d} \quad (k = 1, 2, \cdots)$

相邻两明纹或暗纹的间距： $\Delta x = x_{k+1} - x_k = \dfrac{d'}{d}\lambda$

说明：

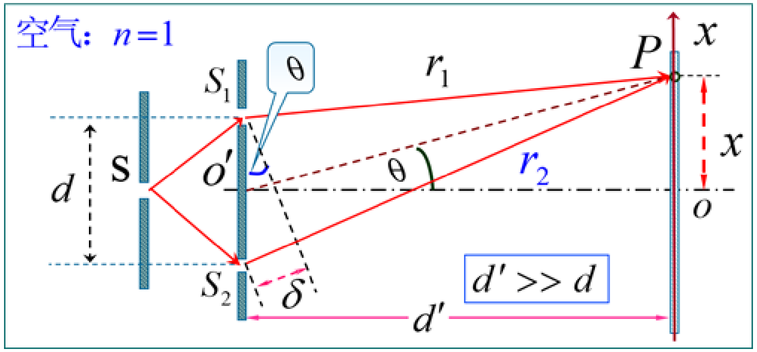
- 相邻明条纹和相邻暗条纹等间距，与级数 k 无关。
- 条纹间距与波长成正比，因此紫光的条纹间距要小于红光的条纹间距。

例 1： 空气中，以单色光照射到相距为 0.2mm 的双缝上，双缝与屏幕的垂直距离为 1m，

求： 1）第1级明纹到同侧的第4级明纹的距离为7.5mm，求单色光的波长；

2）若入射光的波长为 600nm，求相邻两明纹间的距离。

解： 1） $\delta = (\overline{SS}_2 + r_2) - (\overline{SS}_1 + r_1) = r_2 - r_1 \approx d\dfrac{x}{d'}$



$$\overline{SS}_1 = \overline{SS}_2$$

明条纹： $\delta = \pm 2k\dfrac{\lambda}{2},\ k = 0,1,2,\cdots$

$$x_k = \pm 2k \cdot \frac{d'\lambda}{2d},\ k = 0,1,2,\cdots$$

同侧： $x_k = 2k \cdot \dfrac{d'\lambda}{2d},\ k = 0,1,2,\cdots$

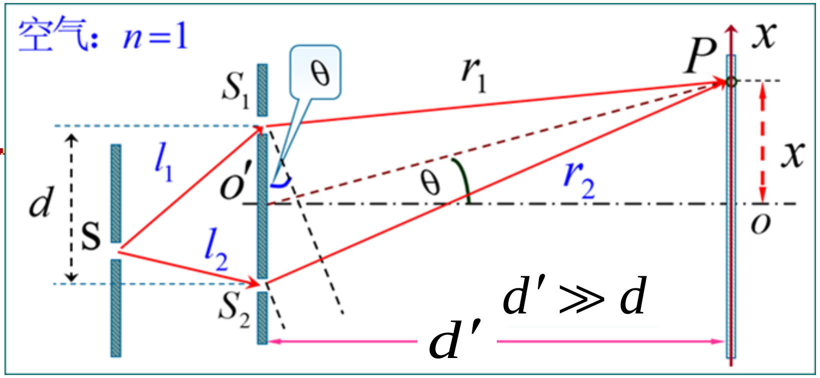
$$\Delta x = x_4 - x_1 = 3\frac{d'}{d}\lambda \ \Rightarrow \lambda = \frac{\Delta x \cdot d}{3d'} = 500\,\text{nm}$$

2） $\Delta x = x_{k+1} - x_k = \dfrac{d'}{d}\lambda = 3\,\text{mm}$

例 2：空气中，在双缝干涉实验中，单色光源S到两缝S_1、S_2距离分别为l_1、l_2，且有：$l_1 - l_2=3\lambda$，两缝间距为 d，双缝到观察屏的垂直距离为 d'，$d' \gg d$

求：1）零级明纹到屏中央O点的距离；

2）相邻两明纹间的距离。



解：

$$\delta = (\overline{SS}_2 + r_2) - (\overline{SS}_1 + r_1)$$

$$= (l_2 - l_1) + (r_2 - r_1) \approx -3\lambda + d\frac{x}{d'}$$

明条纹：

$$\delta = -3\lambda + d\frac{x_k}{d'} = \pm 2k\frac{\lambda}{2},\quad k = 0, 1, 2, \cdots$$

1）**0级明条纹**： $k = 0, \delta = 0,\quad -3\lambda + d\frac{x_0}{d'} = 0,\quad \Rightarrow x_0 = 3\frac{d'}{d}\lambda > 0,$ 条纹上移

2）**同侧，相邻明纹**：

$$-3\lambda + d\frac{x_{k+1}}{d'} = 2(k+1)\frac{\lambda}{2},$$

$$-3\lambda + d\frac{x_k}{d'} = 2k\frac{\lambda}{2},$$

$$\Rightarrow \Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{d'}{d}\lambda,$$ 条纹间距不变