光 学 分 类

几何光学　　以直线传播为基础．折射、反射定律…

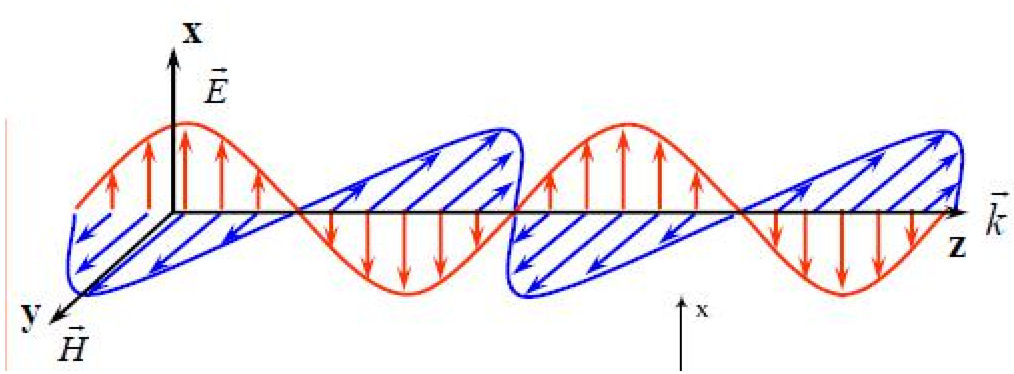
物理光学
- 波动光学：　以麦克斯韦电磁理论为基础，光的干涉、衍射、偏振
- 量子光学：　以量子力学为基础，光与物质作用

现代光学

非线性光学	光纤通讯
信息光学	集成光学
全息术	统计光学
激光光谱学	…………

第十一章　波动光学

1、光是电磁波



平面电磁波方程

$$\begin{cases} E = E_0 \cos \omega (t - \dfrac{r}{u}) \\ H = H_0 \cos \omega (t - \dfrac{r}{u}) \end{cases}$$

光矢量：***E*** 矢量能引起人眼视觉和底片感光，叫做光矢量.

可见光——

频率：$7.5\times10^{14}\ \mathrm{Hz} \sim 3.9\times10^{14}\ \mathrm{Hz}$

波长：$390\,\mathrm{nm} \sim 760\,\mathrm{nm}$

2、光强

光强： $I = \frac{1}{2} E_0 H_0 \propto E_0^2$

3、光速和折射率

真空中光速 $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

介质中光速 $u = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \mu}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon_r \mu_0 \mu_r}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}} = \frac{c}{n}$

介质的折射率 $n = \frac{c}{u} = \sqrt{\varepsilon_r \mu_r} \approx \sqrt{\varepsilon_r}$

介质中频率ν不变，波长、波速皆改变。

介质中 $u = \lambda_n \nu$　　真空中 $c = \lambda \nu$

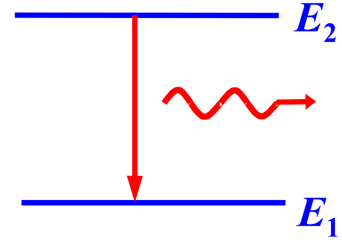
介质中波长与真空中波长关系为 $\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$

§ 1　杨氏双缝干涉

一、相干光

光源的最基本发光
单元是分子、原子

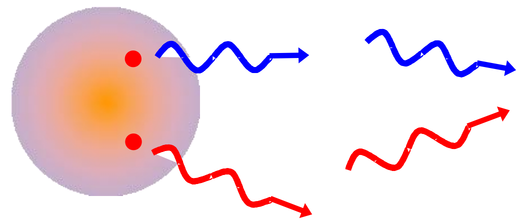
能级跃迁辐射



$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

1. 普通光源的发光特点

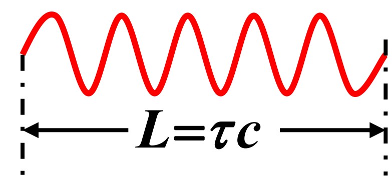
自发辐射



1) 一个原子每一次发光只能发出一个波列

2) 原子的发光是断续的

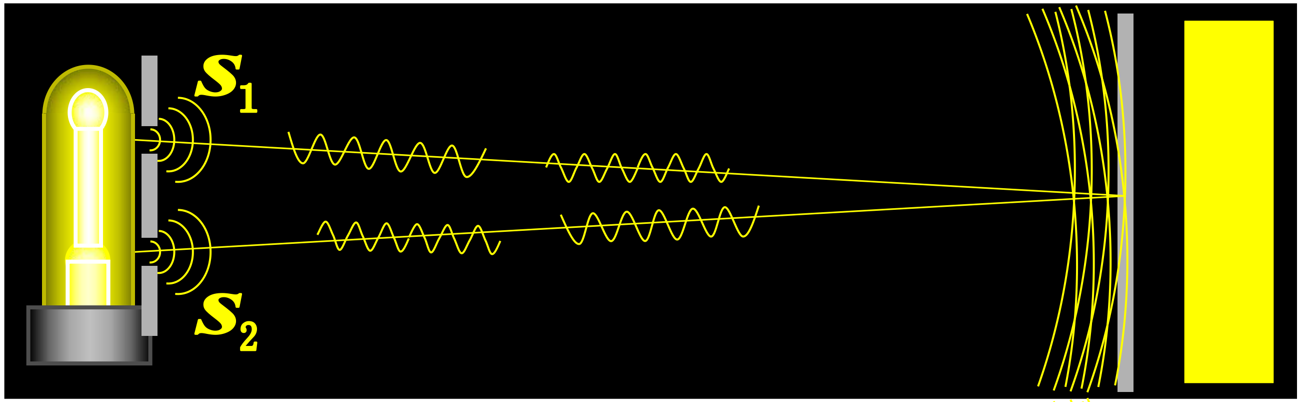
3) 各原子的各次发光是完全相互独立的



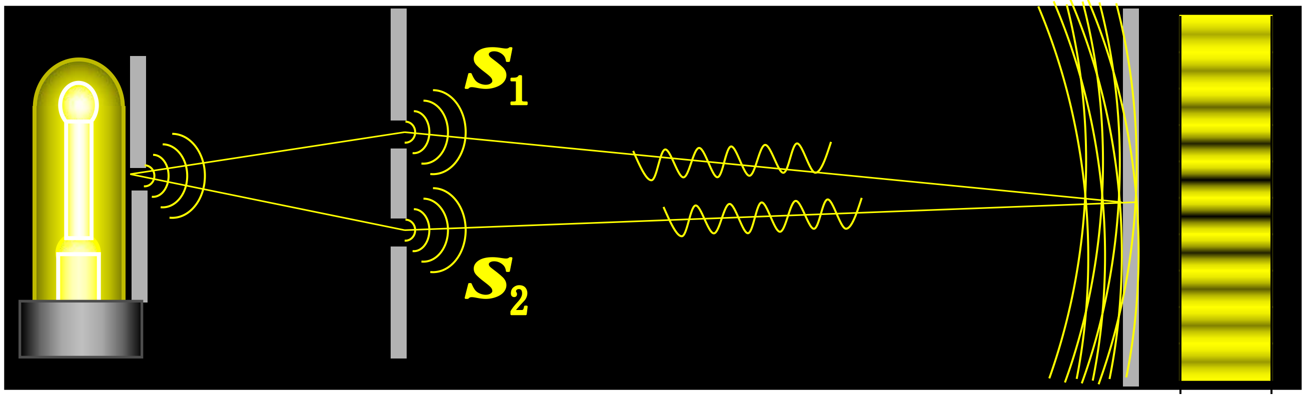
$$\tau \sim \frac{1}{\Delta \nu} \sim 10^{-8}\,s$$

⇨ 两个普通光源或同一普通光源的不同部分所发出的光是不相干的

2. 相干光的获得



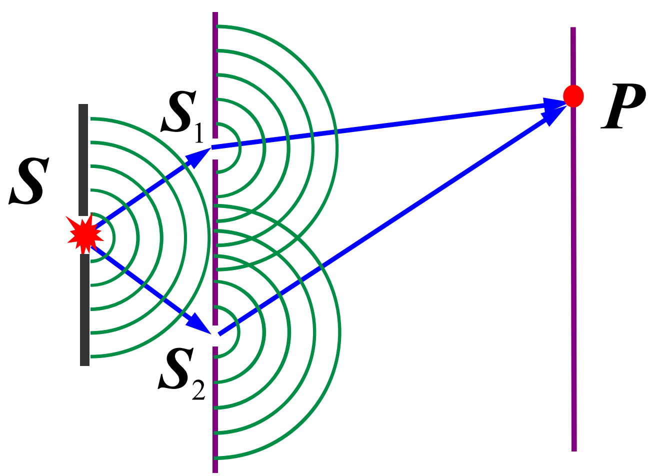
不满足相干条件



满足相干条件

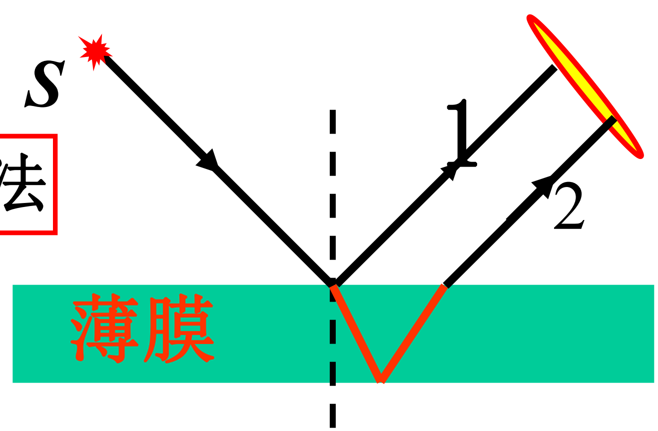
先分 后合

分波前法



分波面法

分振幅法



3. 光的干涉

光波的相干条件

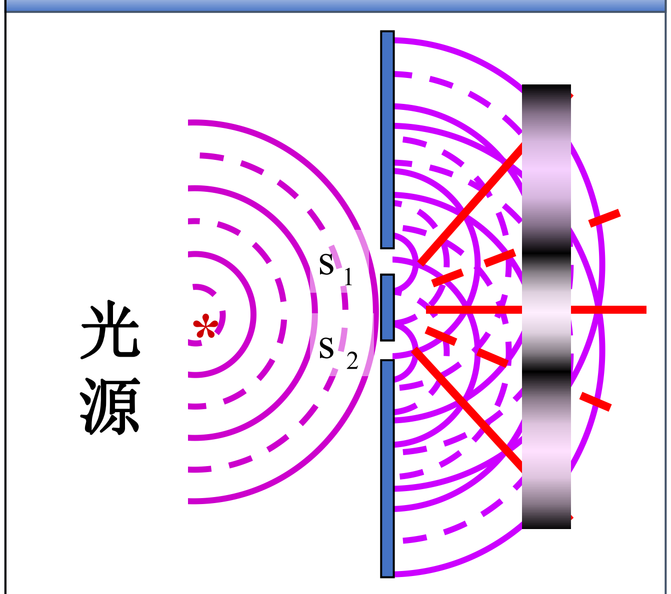
- (1) 频率相同
- (2) 相位差恒定
- (3) 振动方向平行

(存在相互平行的振动分量)

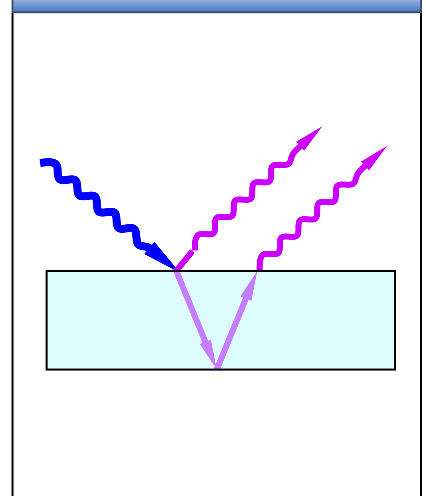
光的干涉

两束相干光在相遇区域内，出现光强非均匀稳定分布的现象。

波阵面分割法



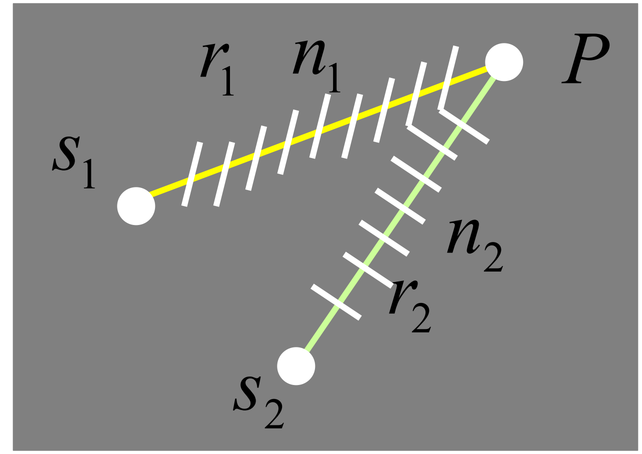
振幅分割法



4. 光程与光程差

光程:

——光所经过的介质的折射率 n 与相应的几何路程 s 乘积.



如：S_1到P的光程为 $n_1 r_1$

S_2到P的光程为 $n_2 r_2$

光程差: $\delta = (n_2 r_2 - n_1 r_1)$

$$E_1 = A_1 \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r_1 + \varphi_1)$$

$$E_2 = A_2 \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r_2 + \varphi_2)$$

设 $\varphi_1 = \varphi_2$

相位差: $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_2} r_2 - \frac{2\pi}{\lambda_1} r_1$

$$\lambda_1 = \lambda / n_1 \quad \lambda_2 = \lambda / n_2$$

λ: 光在真空中的波长

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_2 r_2 - n_1 r_1)$$

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

即: $\boxed{相位差 = \frac{2\pi}{\lambda} 光程差}$

干涉加强和减弱的条件:

相位差:

$$\begin{cases} \Delta\varphi = \pm 2k\pi & A = A_1 + A_2 \quad \text{干涉加强} \\ \qquad (k = 0 \quad 1 \quad 2\ldots\ldots) & \\ \Delta\varphi = \pm(2k+1)\pi & A = |A_1 - A_2| \quad \text{干涉减弱} \end{cases}$$

若 $\varphi_1 = \varphi_2$， 则 $\Delta\varphi = \dfrac{2\pi}{\lambda}\delta$

光程差:

$$\begin{cases} \delta = \pm k\lambda & A = A_1 + A_2 \quad \text{干涉加强} \\ \qquad (k = 0 \quad 1 \quad 2\ldots\ldots) & \\ \delta = \pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & A = |A_1 - A_2| \quad \text{干涉减弱} \end{cases}$$

托马斯 杨（**Thomas Young, 1773—1829**）。幼年时就聪慧过人，尤其擅长语言，青年时会**10**种语言。后来他攻读医学，但对物理学也有很大的兴趣。在研究听觉和视觉问题时，他注意到光的微粒说和波动说的争论，尽管当时在学术界占统治地位的是微粒说，但是他注意到惠更斯的波动说的合理性，**1801**年他完成了著名的杨氏双缝实验，验证了光的波动性。

一、杨氏双缝干涉实验

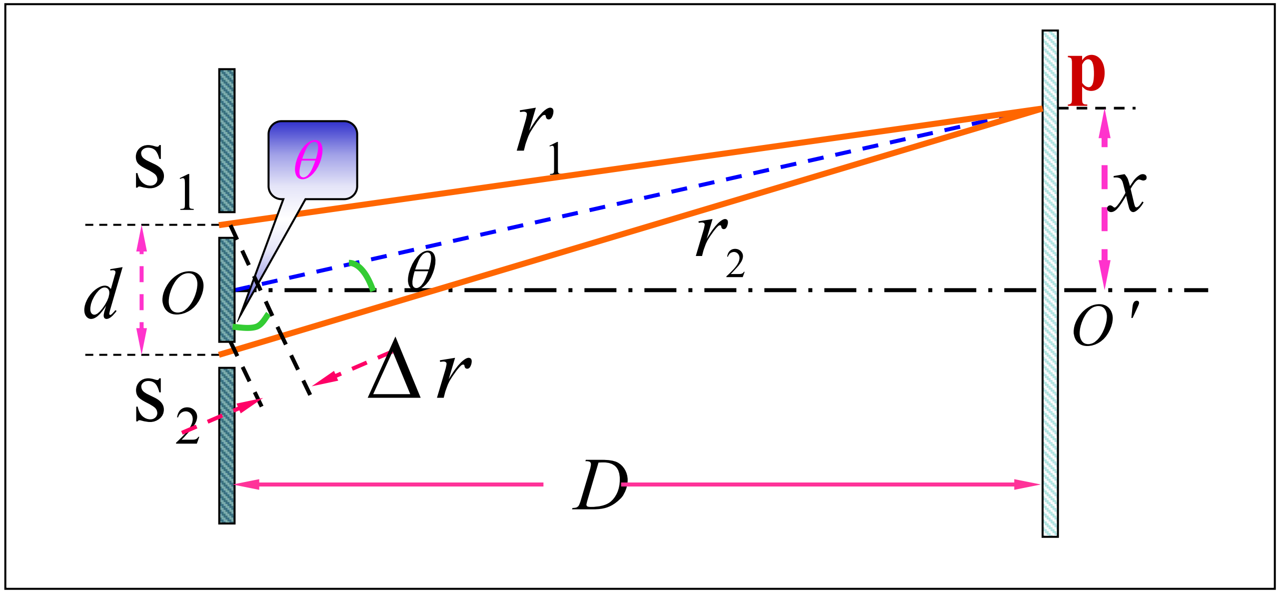
缝宽：10^{-4} m

S_1 和 S_2 为两个相干光源

双缝距离 d：0.1--3 mm

屏到双缝距离 D：1--10 m

屏上横向观测范围：10--50 cm



P点光强 $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\varphi$

若 $I_1 = I_2 = I_0$

则 $I = 2I_0(1+\cos\Delta\varphi) = 4I_0\cos^2\dfrac{\Delta\varphi}{2}$

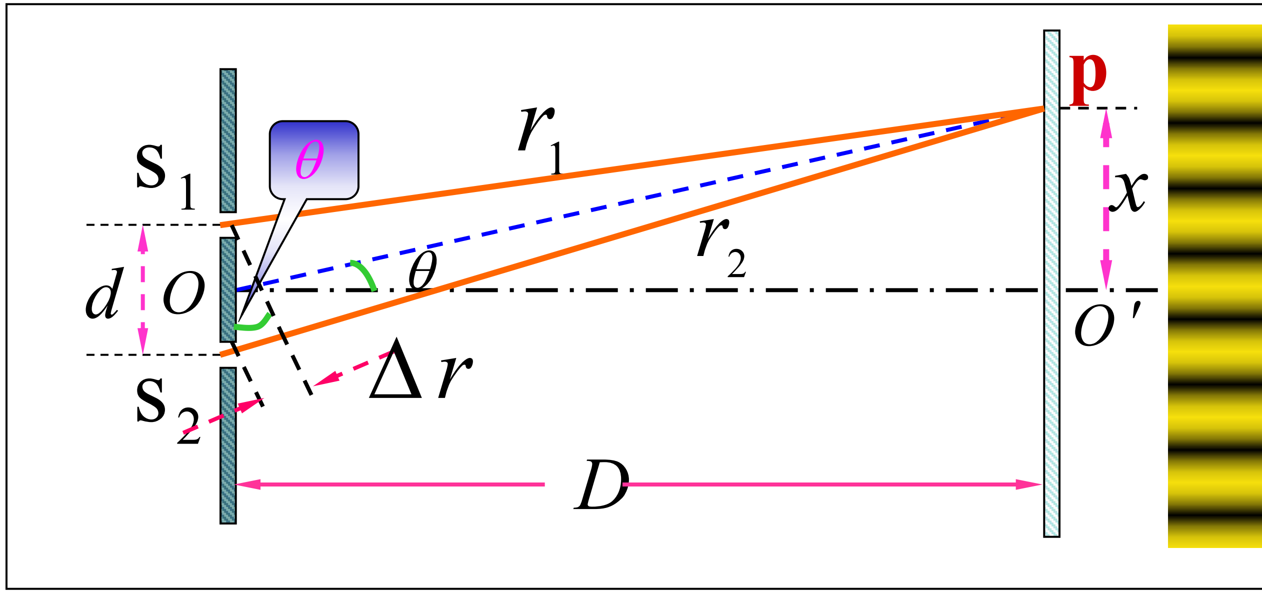
$$\because D >> d$$

$$\therefore \delta = r_2 - r_1$$

$$\approx d\sin\theta$$

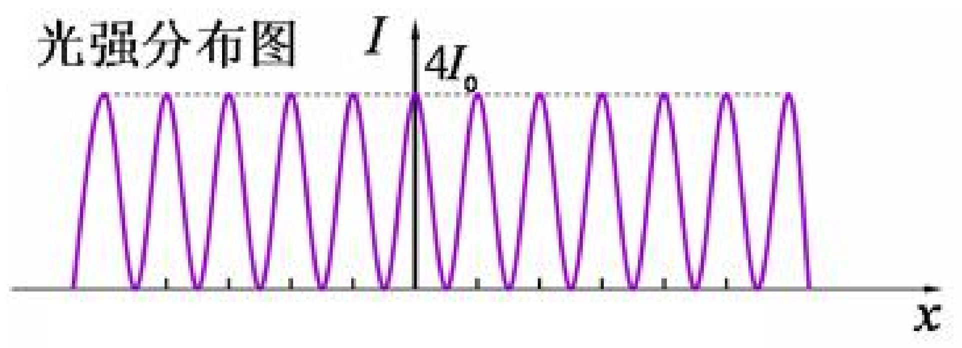
$$\approx d\mathrm{tg}\theta$$

$$= d\frac{x}{D}$$



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

$$I = 4I_0\cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda D}x\right)$$



➢光强极大极小交替出现，形成明暗相间、等亮度、等间距的条纹。

$$I = 2I_0(1+\cos\Delta\varphi) = 4I_0\cos^2\frac{\Delta\varphi}{2}$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\left(r_2 - r_1\right) = \frac{2\pi}{\lambda}\delta \qquad \delta = d\frac{x}{D} = \frac{d}{D}x$$

$$\delta = \frac{d}{D}x = \begin{cases} \pm k\lambda\,, & k = 0,1,2\cdots \text{ 干涉加强，明纹} \\ \pm\left(2k-1\right)\dfrac{\lambda}{2}, & k = 1,2\cdots \text{ 干涉减弱，暗纹} \end{cases}$$

明纹中心位置: $x = \pm k\dfrac{D}{d}\lambda \qquad k = 0,1,2\cdots$

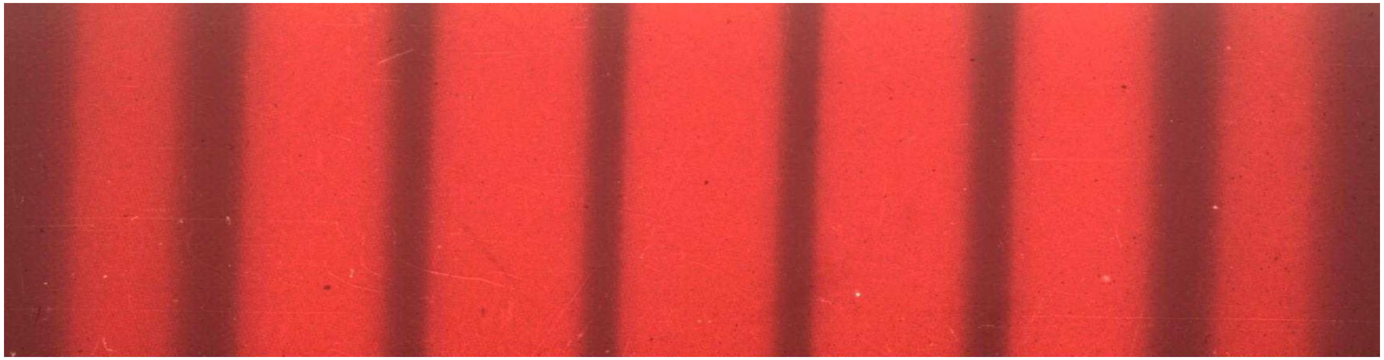
暗纹中心位置: $x = \pm(2k-1)\dfrac{D}{d}\dfrac{\lambda}{2} \qquad k = 1,2\cdots$

条纹间距:(亮-亮、暗-暗) $\boxed{\Delta x = \dfrac{D}{d}\lambda}$

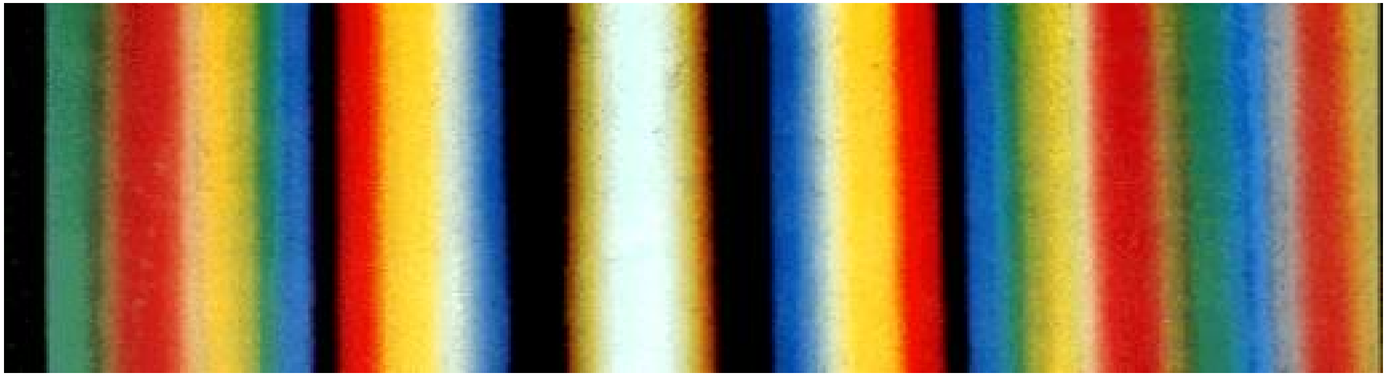
条纹间距:(亮-亮、暗-暗) $\Delta x = \dfrac{D}{d}\lambda$

讨论:

1. 已知D, d, 测Δx 确定光波波长λ;
2. 白光照射,中央亮条纹仍是白的, 其它为彩色 ;
3. d小Δx大, 分辨率高;



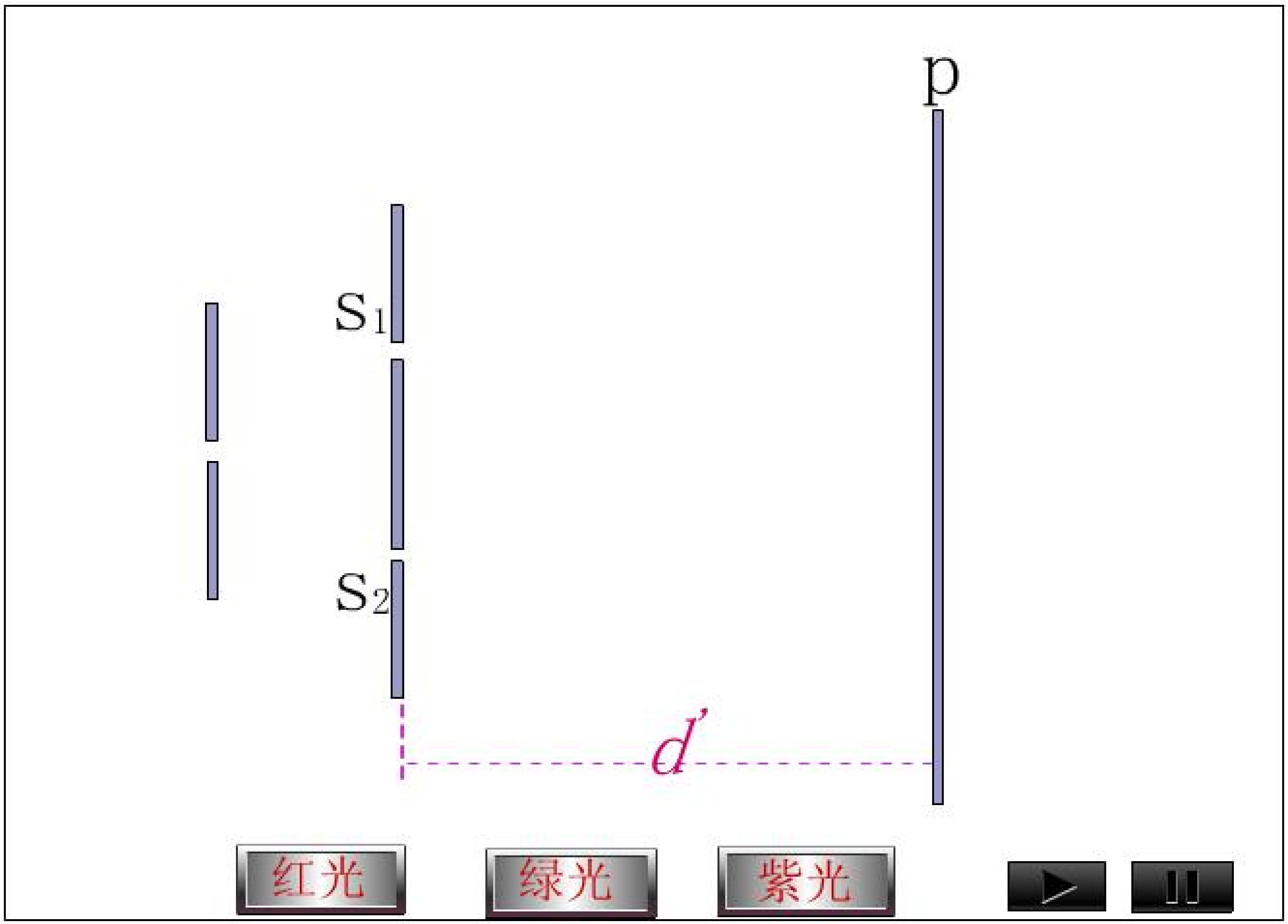
红光入射的杨氏双缝干涉照片



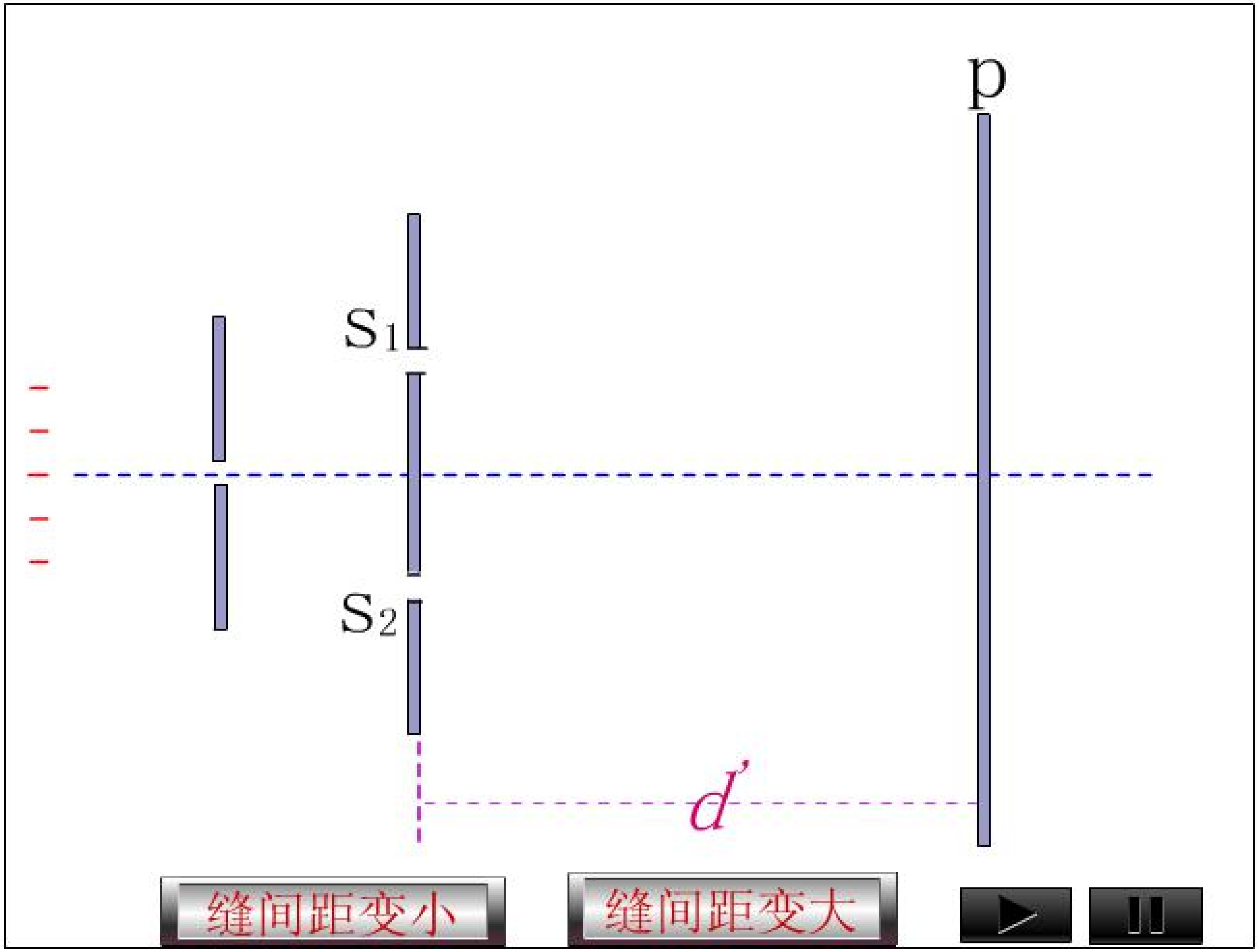
白光入射的杨氏双缝干涉照片

4. 波长不同条纹间距不同

d、$d' = D$ 一定时，若 λ 变化，则 Δx 将怎样变化？



5. λ、$d' = D$ 一定时，条纹间距 Δx 与 d 的关系如何？



例1 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. (1)从第一级明纹到同侧的第四级明纹的距离为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）

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

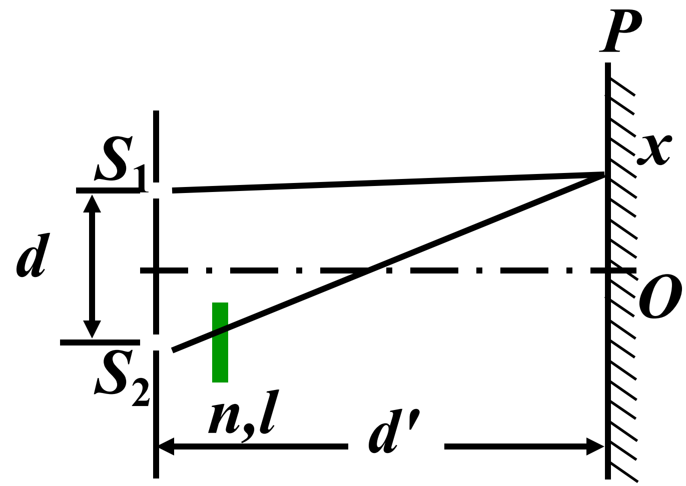
$$\Delta x_{14} = x_4 - x_1 = \frac{D}{d}\left(k_4 - k_1\right)\lambda$$

$$\lambda = \frac{d}{D}\frac{\Delta x_{14}}{\left(k_4 - k_1\right)} = 500\text{nm}$$

（2）

$$\Delta x = \frac{D}{d}\lambda = 3.0\,\text{mm}$$

例2 杨氏双缝干涉实验中, 单色光源的波长为$\lambda=550\text{nm}$,图中D=3m, $d=S_1S_2$=3.3mm,求:



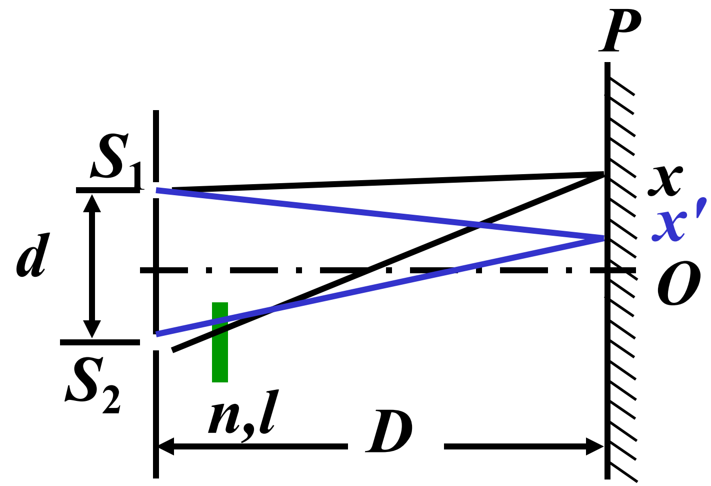
(1)条纹间距;

(2)若将一厚度l=0.01mm折射率为n的玻璃片放在缝S_2的后面,此时条纹如何移动?写出第k级条纹移动距离的表达式.

解: (1) 条纹间距

$$\Delta x=\frac{D\lambda}{d}=\frac{3\times5.5\times10^{-7}}{3.3\times10^{-3}}=5.0\times10^{-4}m$$

(2) 条纹由x向下移动至x'处 .



放玻璃片前,

$$\delta = r_2 - r_1 = \frac{xd}{D} = k\lambda \quad \therefore x = k\frac{D\lambda}{d}$$

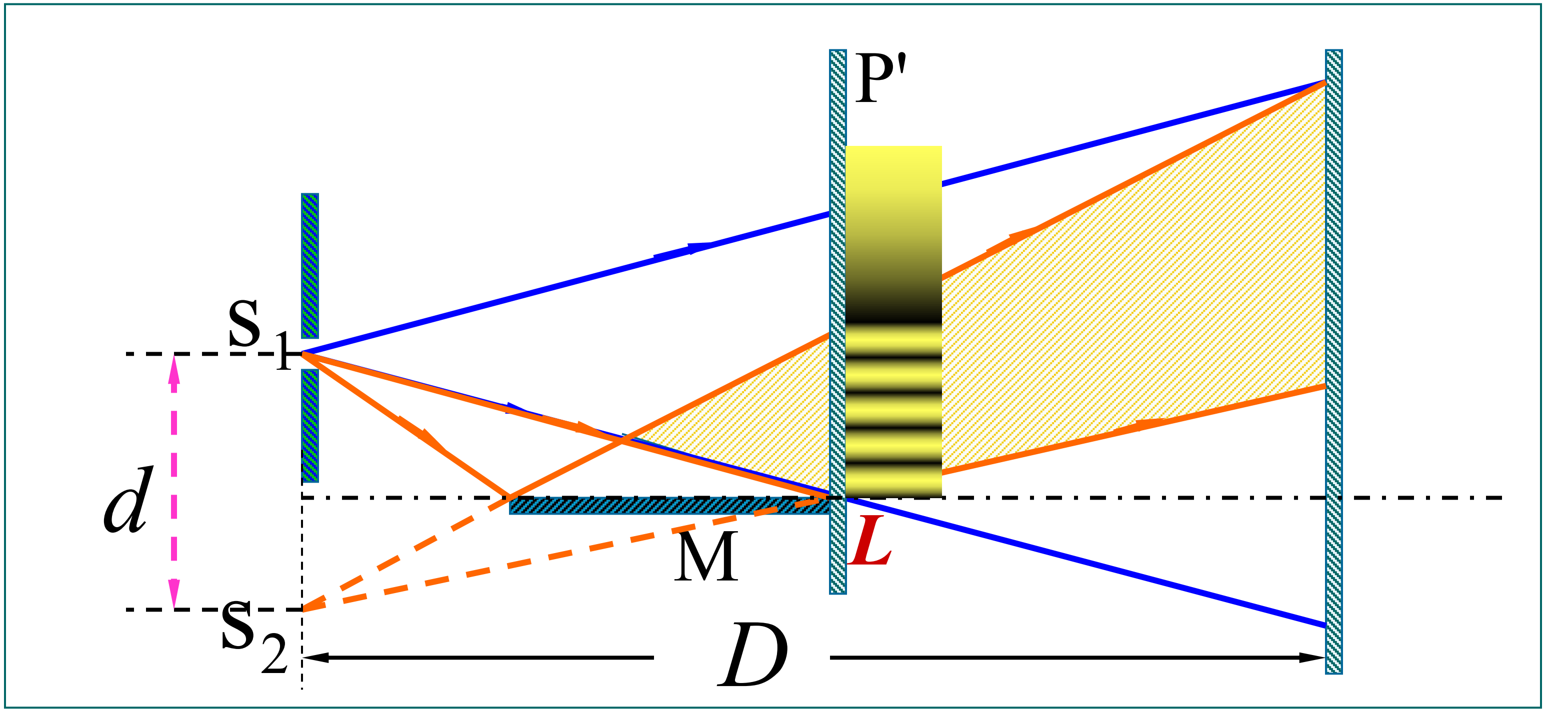
放玻璃片后, $\delta = r_2' - r_1' + (n-1)l = \frac{x'd}{D} + (n-1)l = k\lambda$

$$\therefore x' = \frac{kD\lambda}{d} - \frac{(n-1)l}{d}D$$

移动距离为: $x' - x = -\frac{(n-1)l}{d}D.$

“ - ” 表示向下移动.

**劳埃德镜实验



与双缝干涉对比：

① 明暗条纹位置反转。

一路光在平面镜反射时，有“半波损失”，光波相位有π的突变。

② 条纹分布区域限于屏的上半部分。