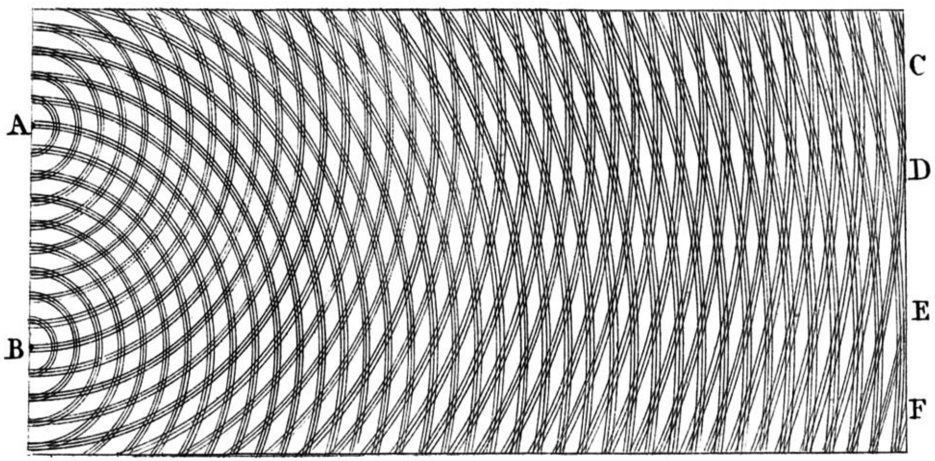
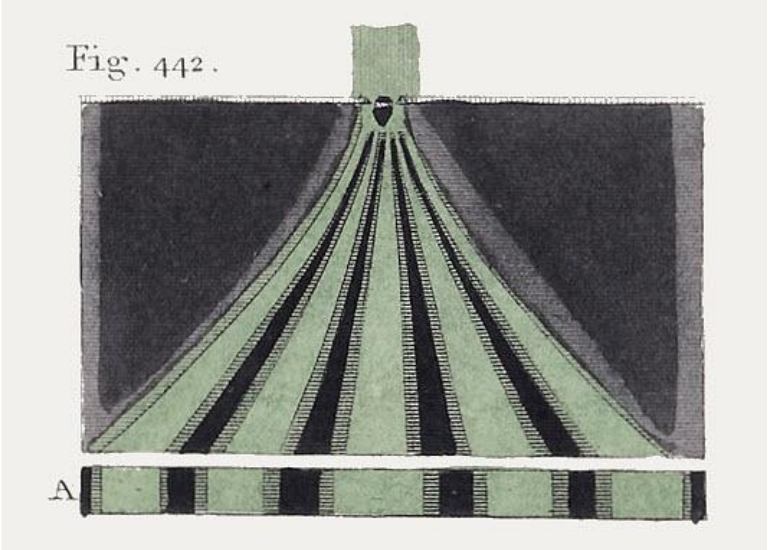
§2 杨氏双缝干涉 劳埃德镜

1801年，英国科学家托马斯·杨向皇家学会提交了一篇著名的论文，题为《On the Theory of Light and Colours》（关于光和颜色的理论），论文里描述了各种干涉现象。 1803年，他描述了他著名的双缝干涉实验。





严格地说，在杨的原始实验中没有双重缝隙。取而代之的是，从转向镜反射的阳光穿过纸上的一个小孔，然后将产生的细光束与纸卡一分为二。

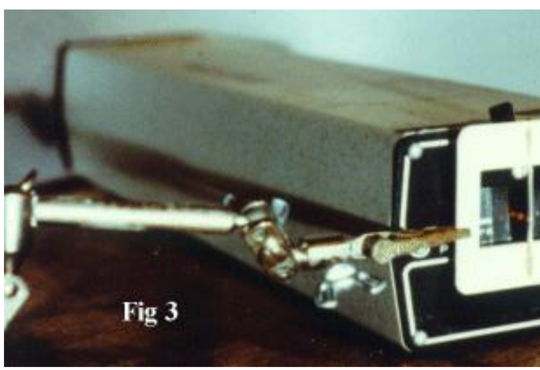


Fig 3

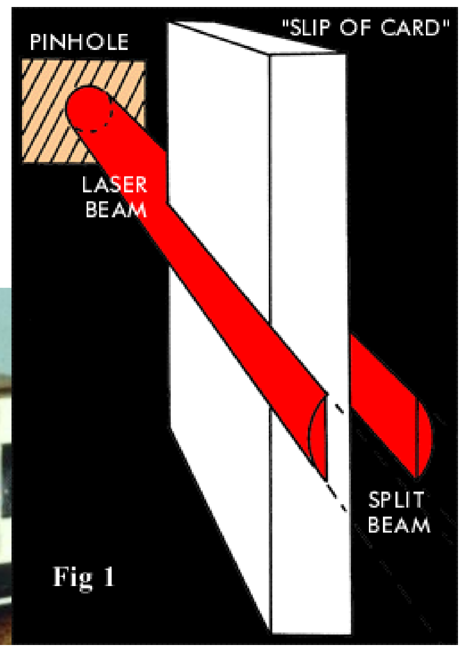
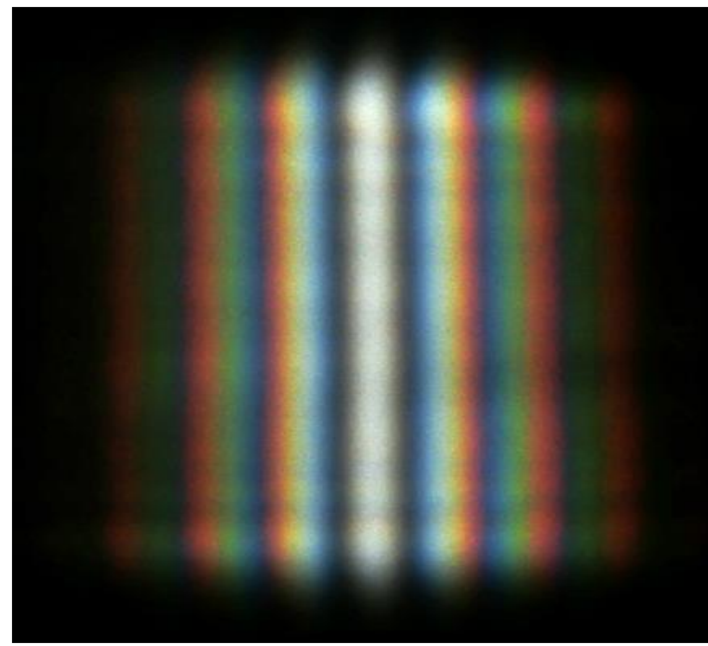


Fig 1



一、杨氏双缝干涉实验

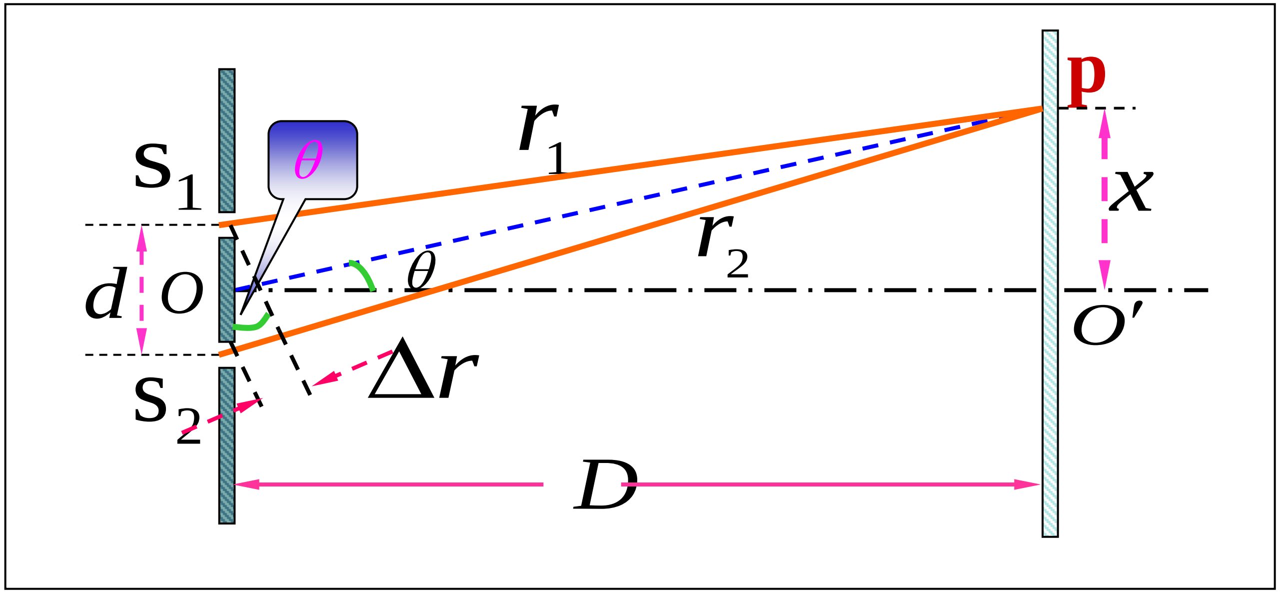
S_1 和 S_2 为两个相干光源

缝宽： 10^{-4} m

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 $I_1 = I_2 = I_0$

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

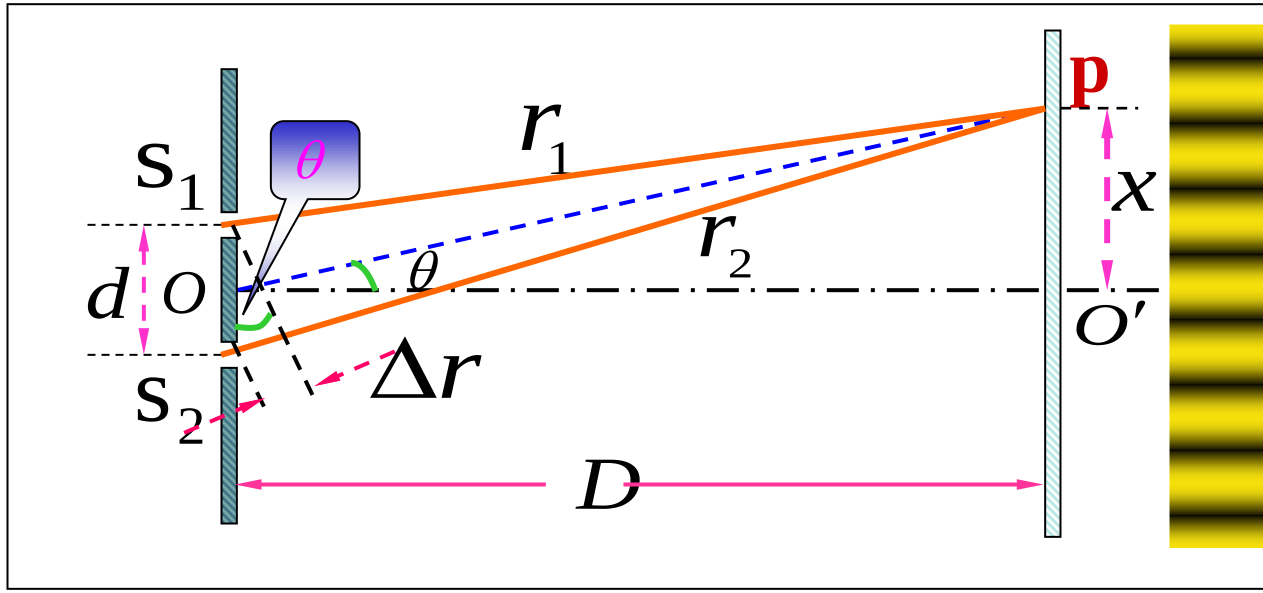
$\because D >> d$

$\therefore \ \delta = r_2 - r_1$

$\approx d \sin\theta$

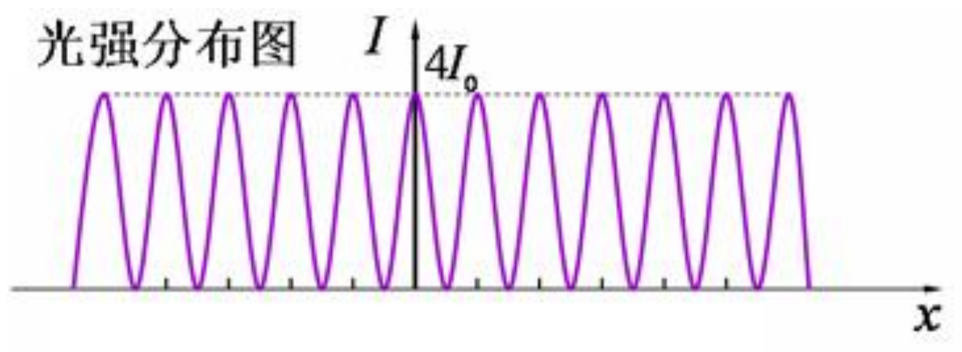
$\approx d \mathrm{tg}\theta$

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



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

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



➢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。

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

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

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

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

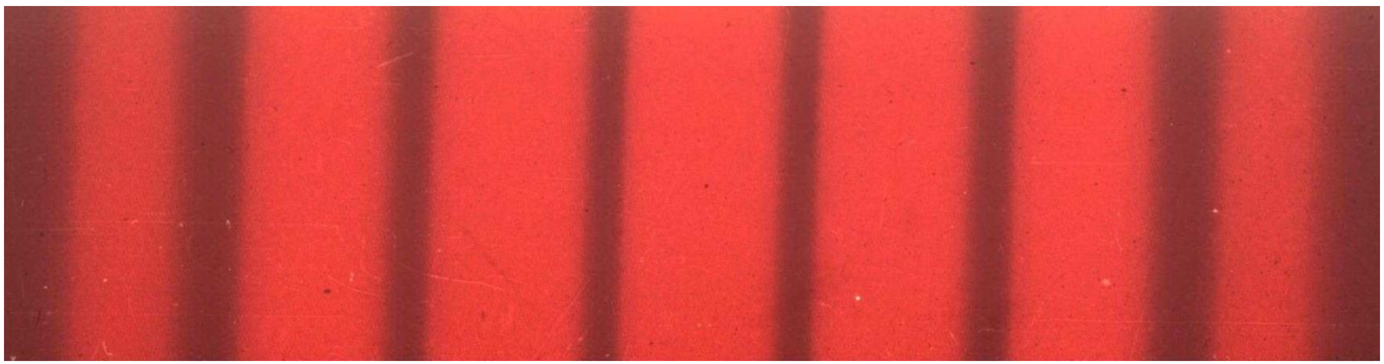
暗纹中心位置: $x = \pm(2k-1)\dfrac{D}{d}\dfrac{\lambda}{2} \qquad k = 1,2\cdots$

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

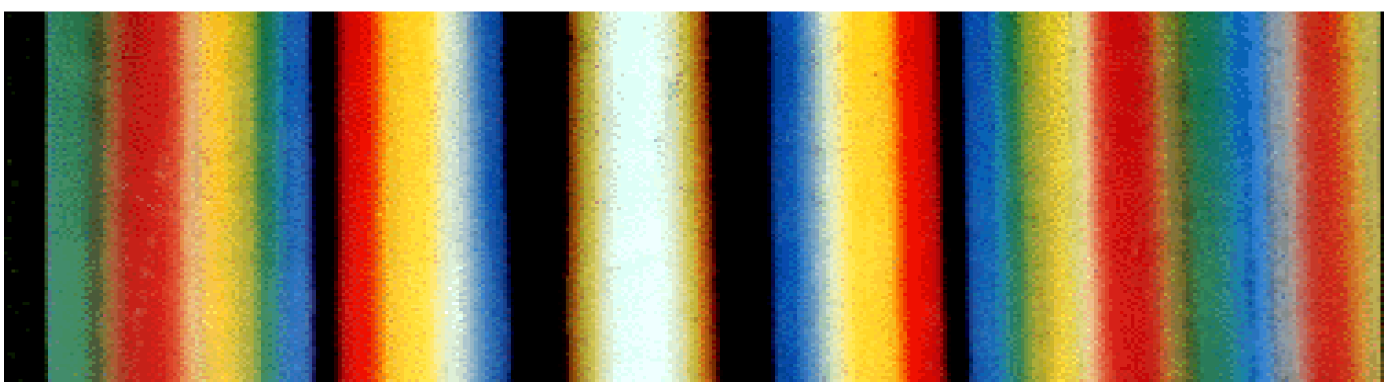
条纹间距:(亮-亮、暗-暗)　　$\Delta x = \dfrac{D}{d}\lambda$

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

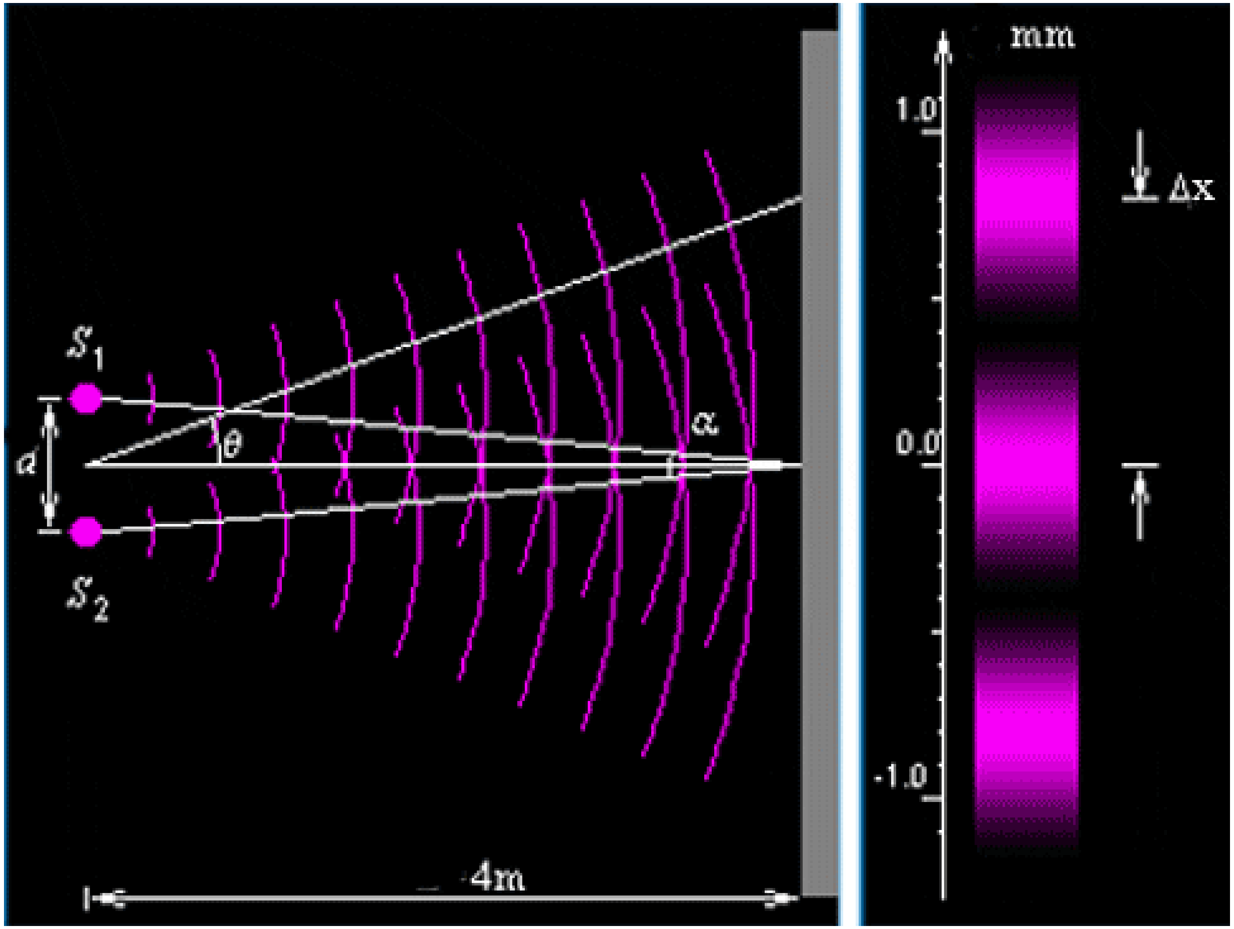


白光入射的杨氏双缝干涉照片

4. 波长不同条纹间距不同

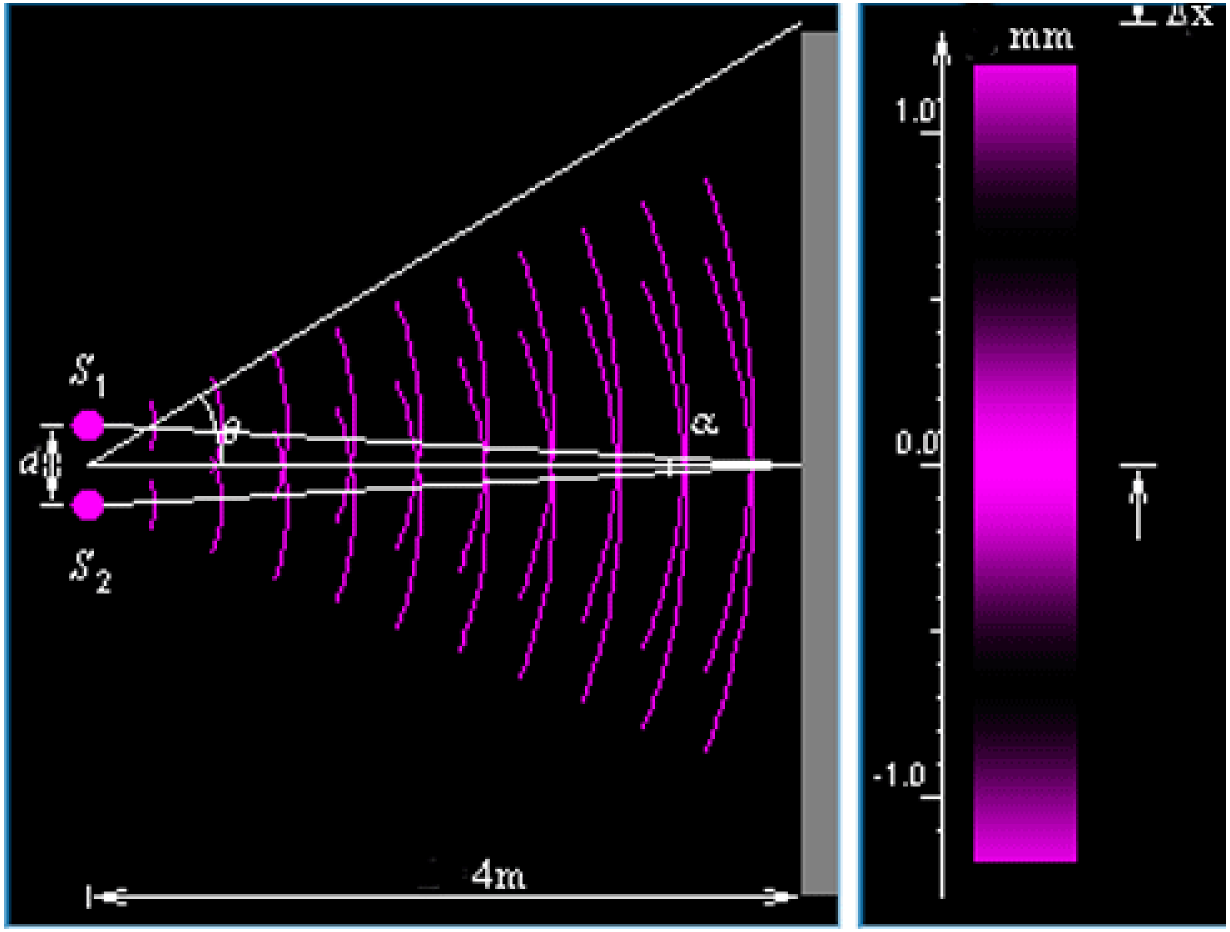
$$\boxed{\Delta x = \frac{D}{d}\lambda}$$

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？

$$\boxed{\Delta x = \frac{D}{d}\lambda}$$



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）

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

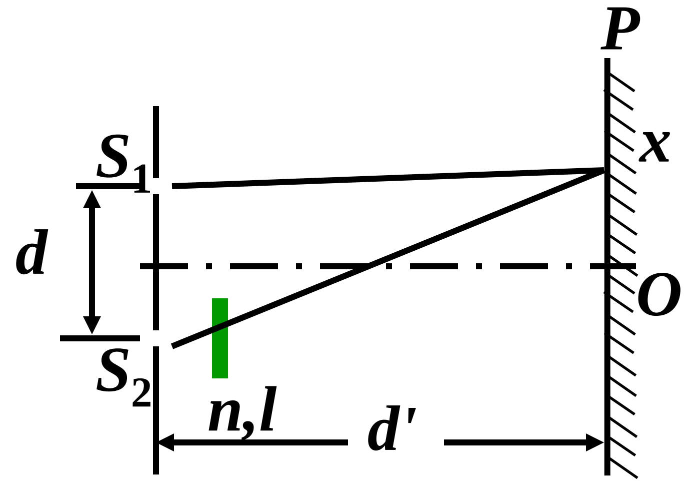
$$\Delta x_{14} = x_4 - x_1 = \frac{D}{d}\left(k_4 - k_1\right)\lambda$$

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

（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λ =550nm, 图中D=3m，$d=S_1S_2$=3.3mm,求：



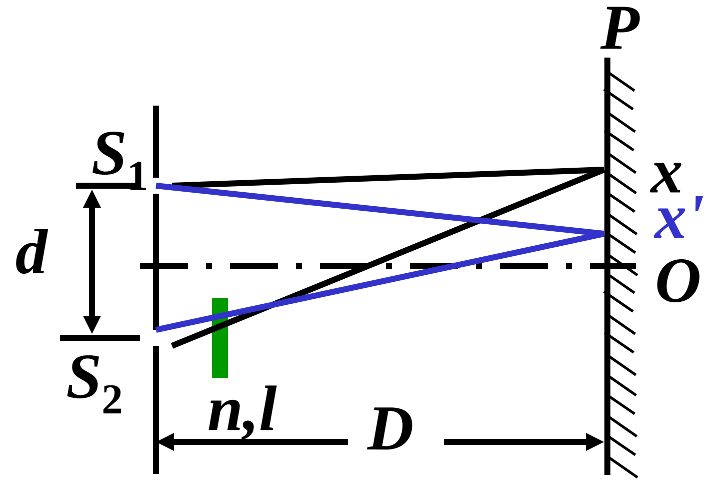
(1)条纹间距;

(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, $\delta = r_2' - r_1' + (n-1)l = \dfrac{x'd}{D} + (n-1)l = k\lambda$

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

移动距离为: $x' - x = -\dfrac{(n-1)l}{d}D.$

"–"表示向下移动.

例3： 在双缝干涉实验中，波长 λ =550nm的单色平行光垂直入射到缝间距 $d=2\times10^{-4}m$ 的双缝上，屏到双缝的距离D=2m，求

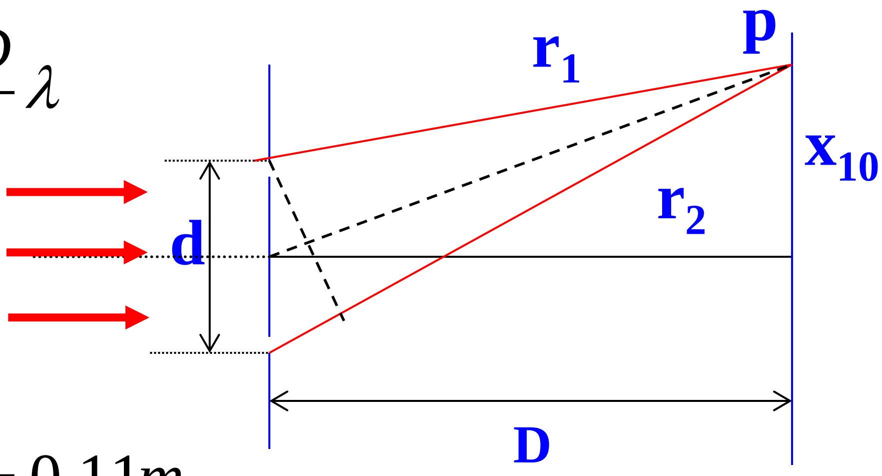
（1）中央明纹两侧的两条第10级明纹中心的间距；

（2）用一厚度为 $e=6.6\times10^{-6}m$，折射率为n=1.58的云母片覆盖一缝后，零级明纹将移到原来的第几级明纹处？

（3）若将原装置放入液体中，观察到空气中的第三级明纹正好是液体中的第四级明纹，求液体的折射率。

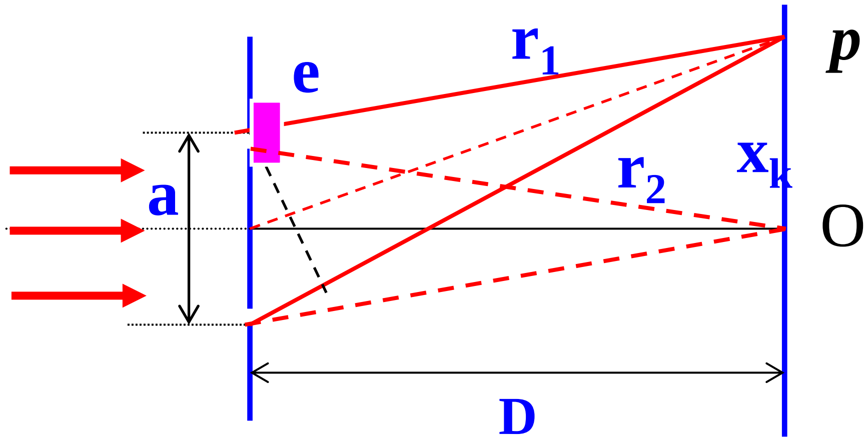
解（1） $x_k=\pm\dfrac{kD}{d}\lambda \qquad k=10$

$$\Delta x_{10}=\frac{10D}{d}\lambda-(-\frac{10D}{d}\lambda)=\frac{20D}{d}\lambda$$



或由 $\Delta x=\dfrac{D\lambda}{d}$ **也可得到**

$$\Delta x_{10}=\frac{20D}{d}\lambda \quad =\frac{20\times2\times550\times10^{-9}}{2\times10^{-4}}=0.11m$$



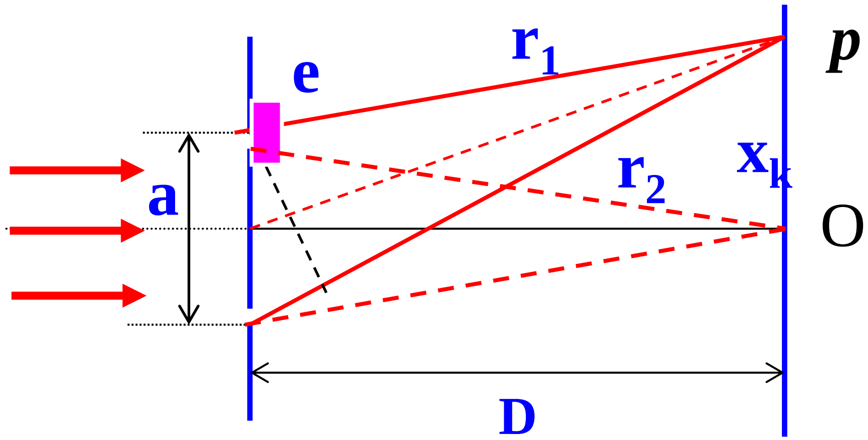
（2）加云母片后，零级条纹要移动，设移到原来的第 k 级明纹处，则：

$$r_2 - r_1 = k\lambda$$

此时零级条纹满足 $(n-1)e + r_1 - r_2 = 0$

得：

$$k = \frac{(n-1)e}{\lambda} = 7$$



（3）液体中的波长： $\lambda' = \dfrac{\lambda}{n}$

由条件 $\Delta x = \dfrac{D}{d}\lambda$ 知：

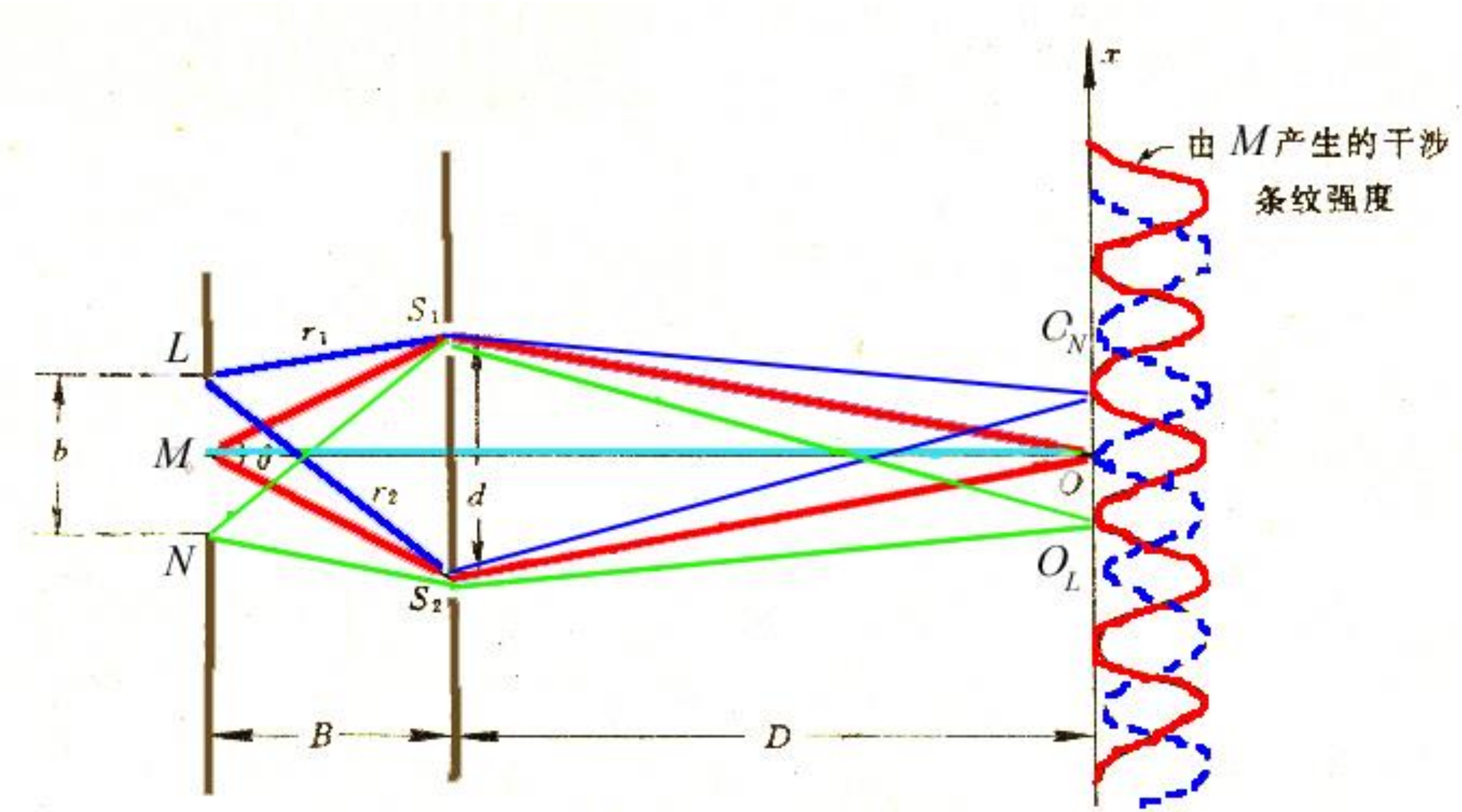
$$\frac{3D}{d}\lambda = \frac{4D}{d}\lambda' = \frac{4D}{d}\frac{\lambda}{n}$$

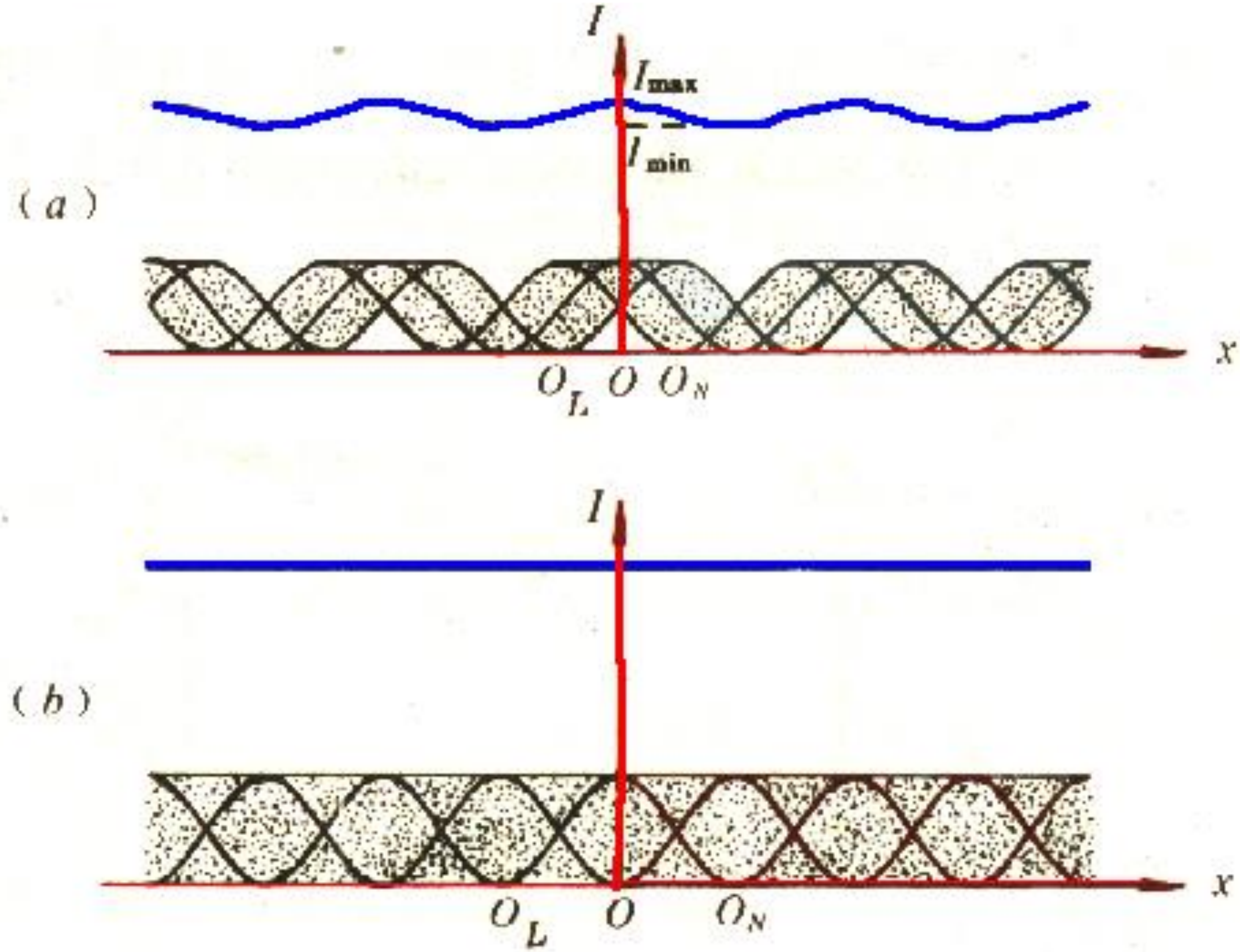
$$\therefore \quad n = \frac{4}{3} = 1.33$$

*光源宽度对干涉条纹的影响

（光场的空间相干性）

光源宽度对干涉条纹影响 --- 光场的空间相干性

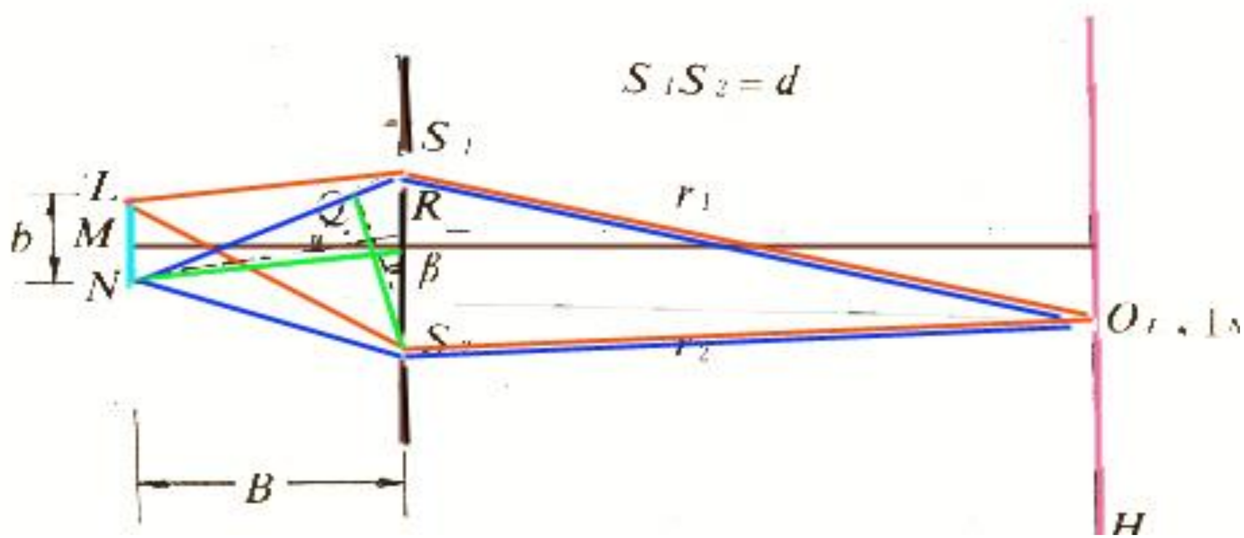




带光源双缝干涉的强度分布曲线

设光源上边缘处线光源 L产生的中央条纹 0_L 与下边缘处线光源 N 产生的第一级亮纹 1_N 重合。

$$NS_1 - LS_1 + LS_2 - NS_2 = \lambda$$



$$2(NS_1 - NS_2) = \lambda$$

$$2QS_1 = \lambda$$

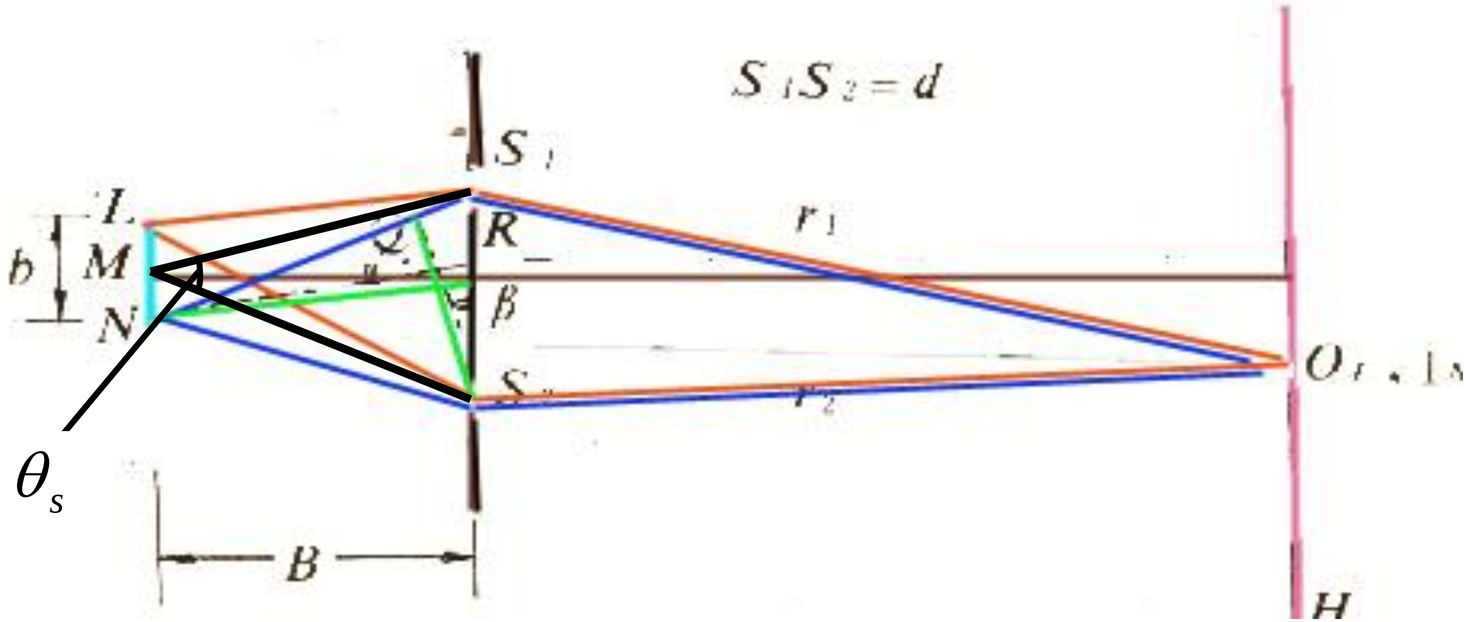
$$QS_1 = d \bullet \beta = d \bullet \frac{b/2}{B} = \frac{bd}{2B}$$

$$0_L: \quad (LS_1 + r_1) - (LS_2 + r_2) = 0$$

$$1_N: \quad (NS_1 + r_1) - (NS_2 + r_2) = \lambda$$

$$\longrightarrow \quad bd = B\lambda$$

空间相干性： 具有一定宽度的普通光源发出的光波，要使其波面上的两点（ S_1 和 S_2）作为次波源能发生干涉现象，这两点之间的距离必须小于某一值。



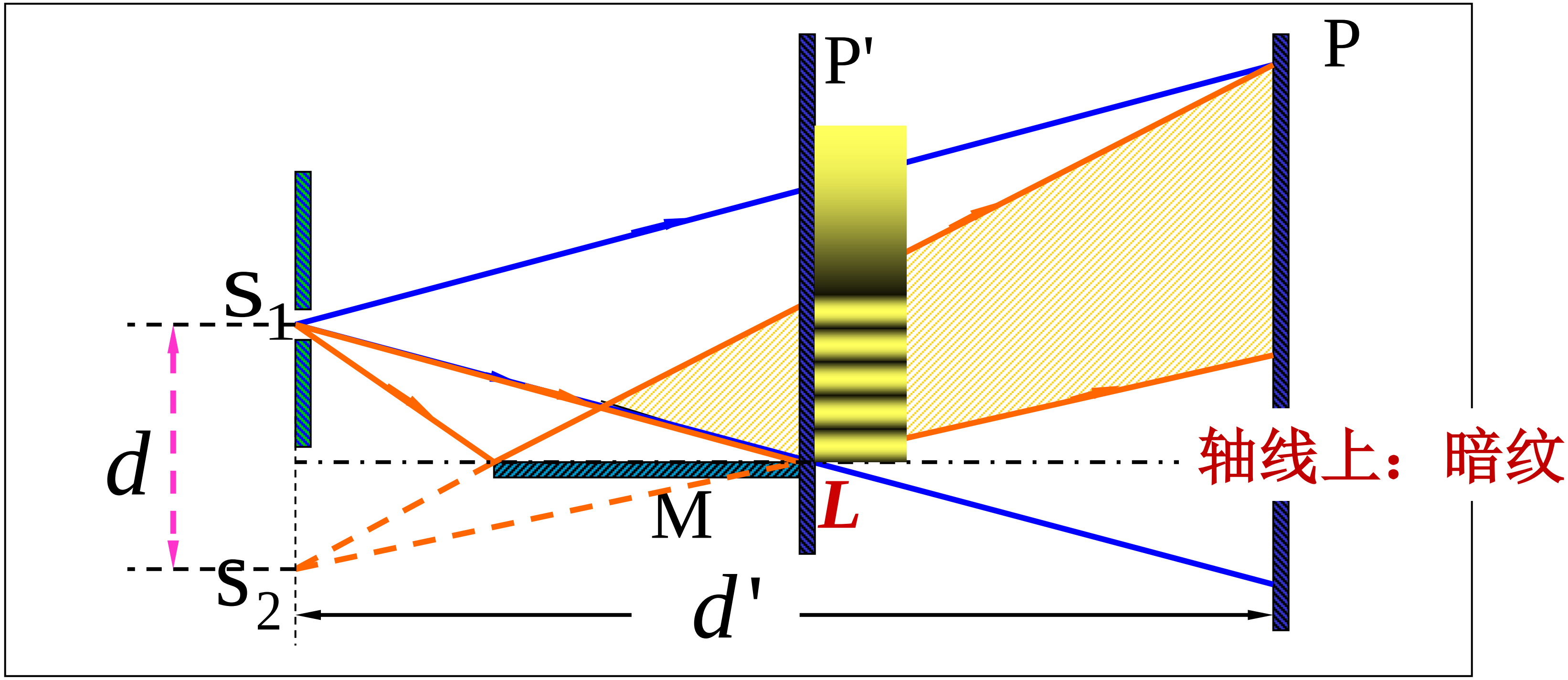
相干间隔 d_0：干涉条纹刚好消失时，S_1 和 S_2 之间的距离

$$bd = B\lambda \longrightarrow d_0 = \frac{B}{b}\lambda$$

最大张角 θ_s：S_1 和 S_2 对光源 S 的中心所张的角

$$\theta_s \approx \frac{d}{B} = \frac{\lambda}{b}$$

二、劳埃德镜



半波损失：光由光速较大的介质（光疏）射向光速较小的介质（光密）时，反射光位相突变 π （正入射或掠射情况下）。