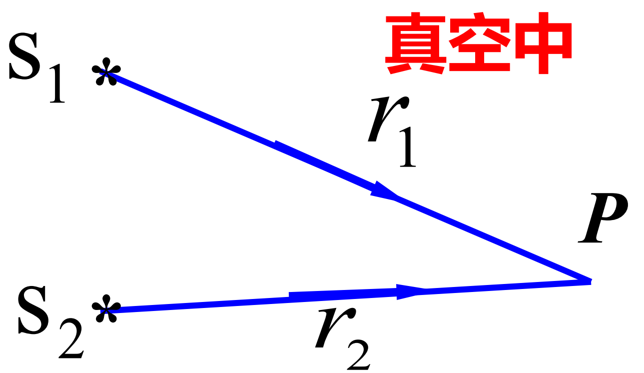
复习：

设有两个相干波源 S$_1$ 和 S$_2$，它们的振动方程分别为：

$$E_{10} = E_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$

$$E_{20} = E_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$



两波传播到 p 点单独引起的振动

$$\begin{cases} E_{1P} = E_1 \cos(\omega t + \varphi_1 - 2\pi \dfrac{r_1}{\lambda}) \\ E_{2P} = E_2 \cos(\omega t + \varphi_2 - 2\pi \dfrac{r_2}{\lambda}) \end{cases}$$

在p点的合振动为

$$E_p = E_{1p} + E_{2p}$$

$$= E \cos(\omega t + \varphi)$$

$$E_{1P}=E_1\cos(\omega t+\varphi_1-2\pi\frac{r_1}{\lambda})$$

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

则有

$$E^2=E_1^2+E_2^2+2E_1E_2\cos\Delta\varphi$$

合振动的强度为 $\boxed{I=I_1+I_2+2\sqrt{I_1I_2}\cos\Delta\varphi}$

其中： $\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1-2\pi\frac{r_2-r_1}{\lambda}$ **为两波在P点处的相位差**

$\varphi_2-\varphi_1$ **是两相干波源的初相差**

$2\pi\frac{r_2-r_1}{\lambda}$ **是由于两波自波源到*P*点的传播路程不同而引起的相位差**

$$\boxed{I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\varphi}$$

相长干涉（振动始终加强，振幅和强度最大）的条件：

$$\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1) - 2\pi\frac{r_2 - r_1}{\lambda} = \pm 2k\pi \qquad k = 0, 1, 2, 3, \ldots$$

$$A = A_{\max} = A_1 + A_2 \qquad I = I_{\max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$$

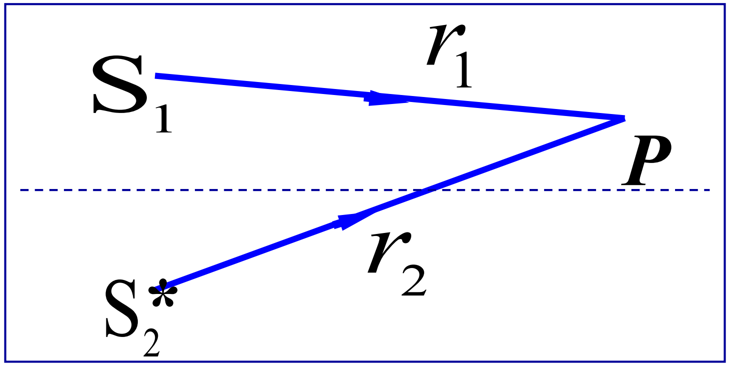
相消干涉（振动始终减弱，振幅和强度最小）的条件：

$$\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1) - 2\pi\frac{r_2 - r_1}{\lambda} = \pm(2k+1)\pi \qquad k = 0, 1, 2, 3, \ldots$$

$$A = A_{\min} = |A_1 - A_2| \qquad I = I_{\min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$$

不含介质且初相位相等时，两束相干光的相位差为

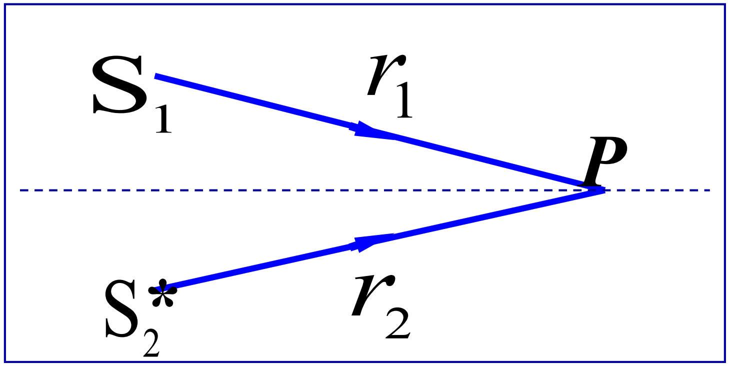
$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1) = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta r$$



波程差

相位差取决于波程差

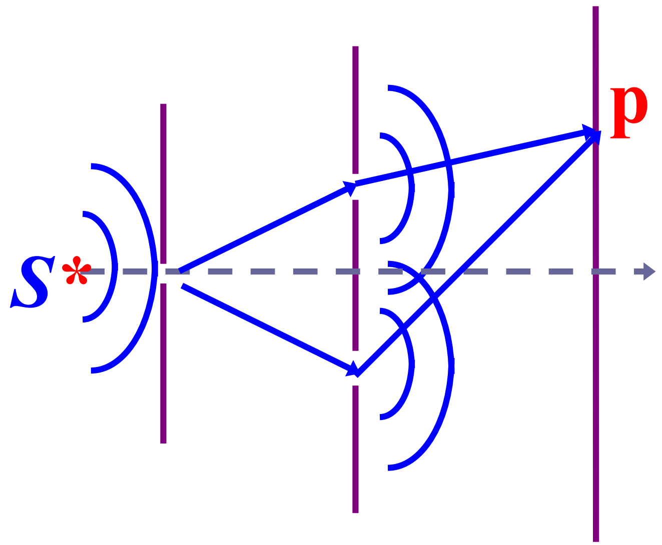
问　**如图所示两相干光源光振动初相位相同，如 $r_1 = r_2$，P 点干涉加强还是减弱？**



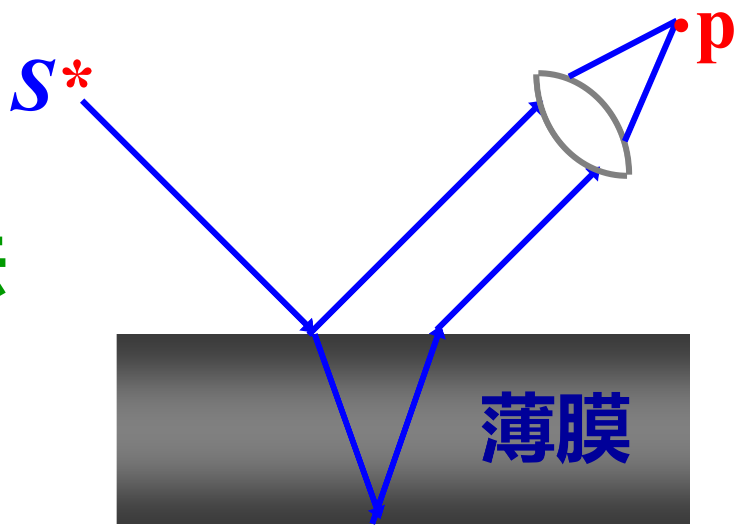
§ 13-3 获得相干光的方法　双缝干涉

相干光的获得方法

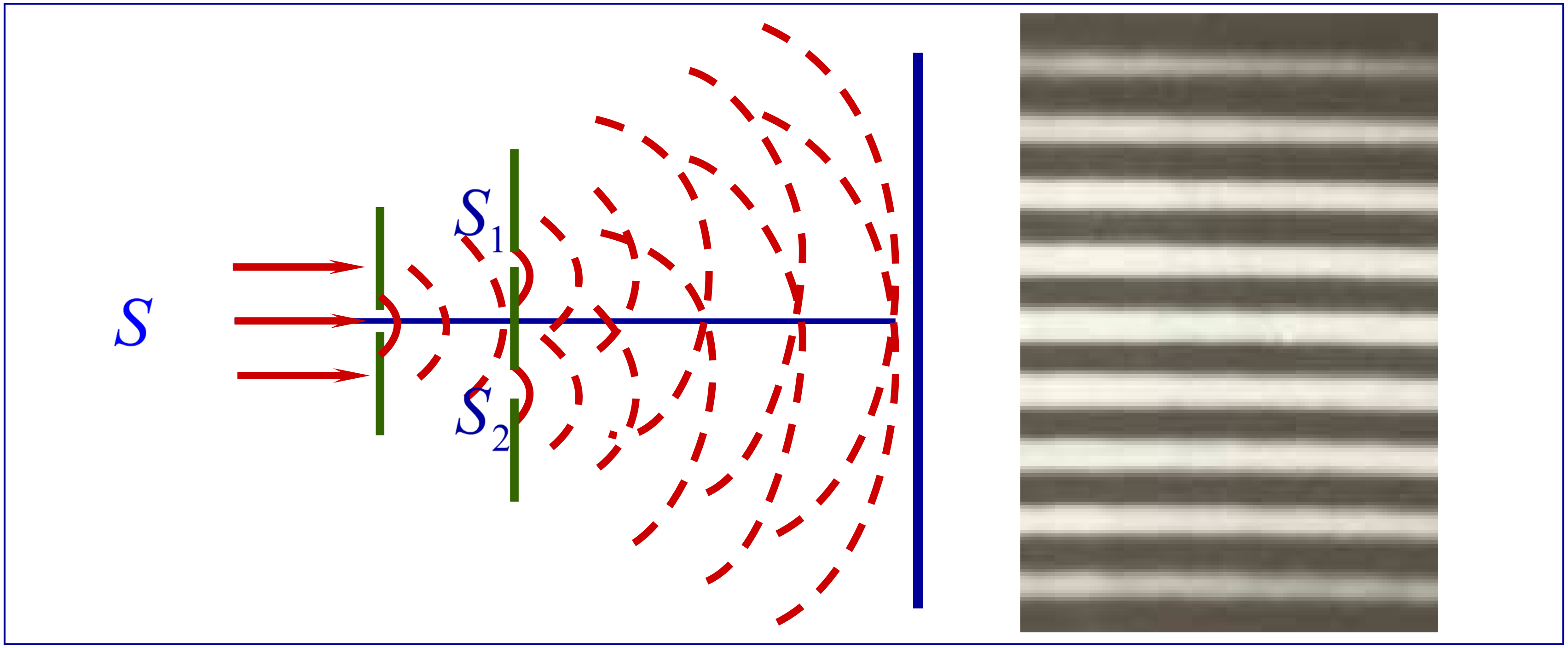
分波面法



分振幅法



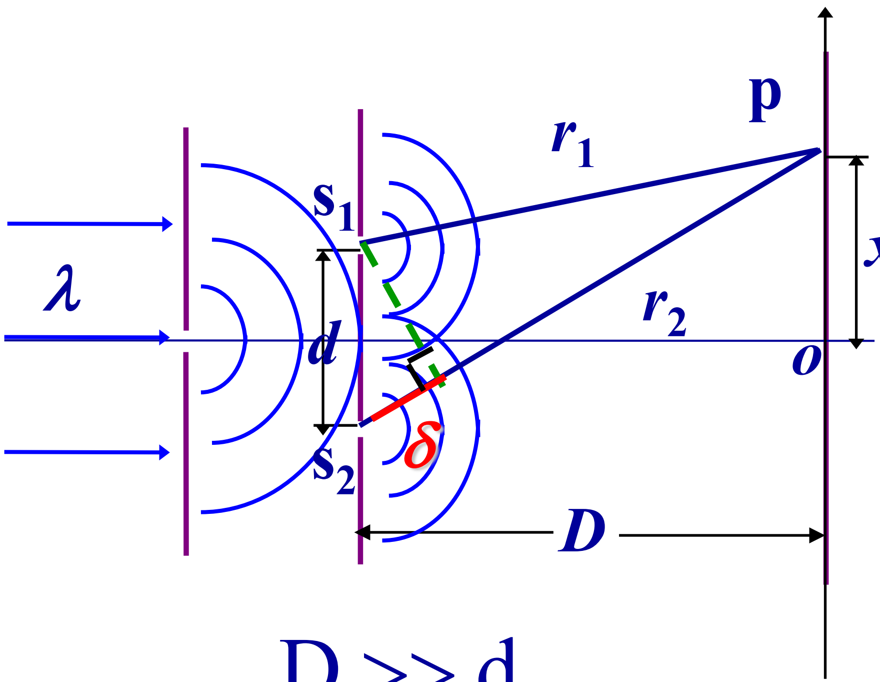
1.杨氏双缝干涉实验

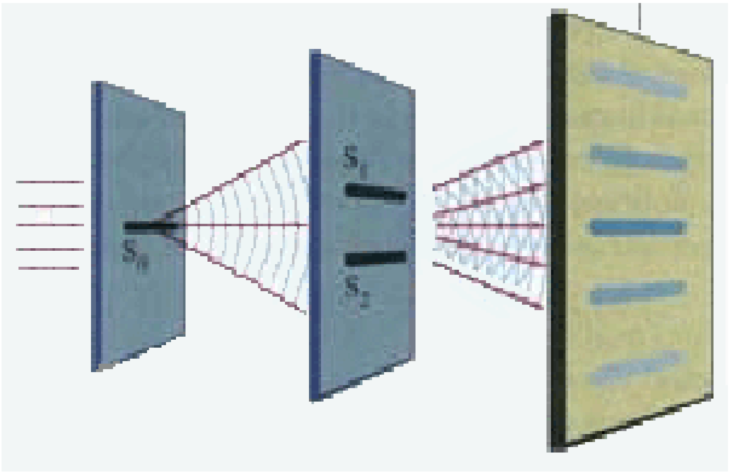


S_1、S_2 是同一光源 S 形成的，振动方向相同、频率相同、相位差恒定，满足相干条件，产生干涉现象。

双缝干涉

相干光的获得：分波阵面法





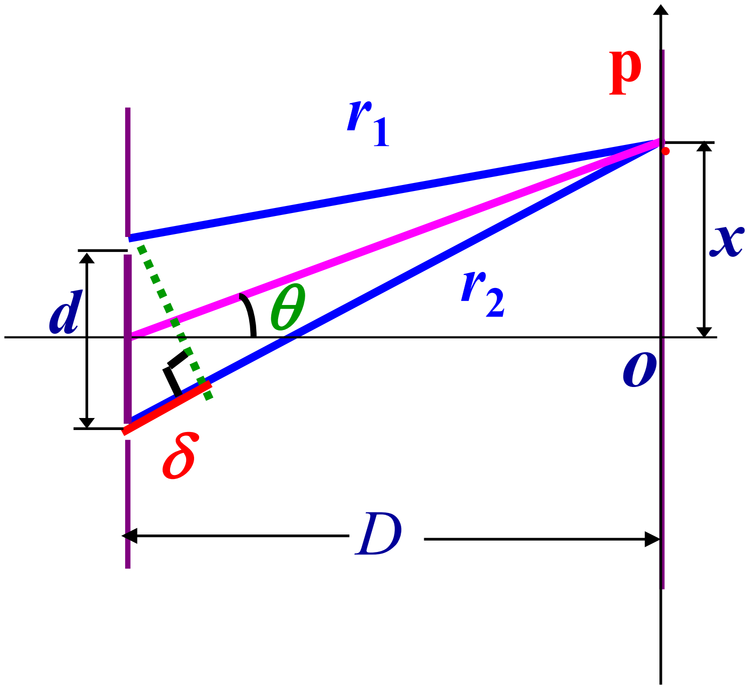
$$D >> d$$

$$\delta \Rightarrow \Delta\varphi$$

干涉明暗条纹

设实验在真空（或空气）中进行，则波程差为：

$$\mathrm{D} >> \mathrm{d} \qquad \delta = r_2 - r_1 \approx d\sin\theta \approx d\ \mathrm{tg}\,\theta = d\cdot\frac{x}{D}$$

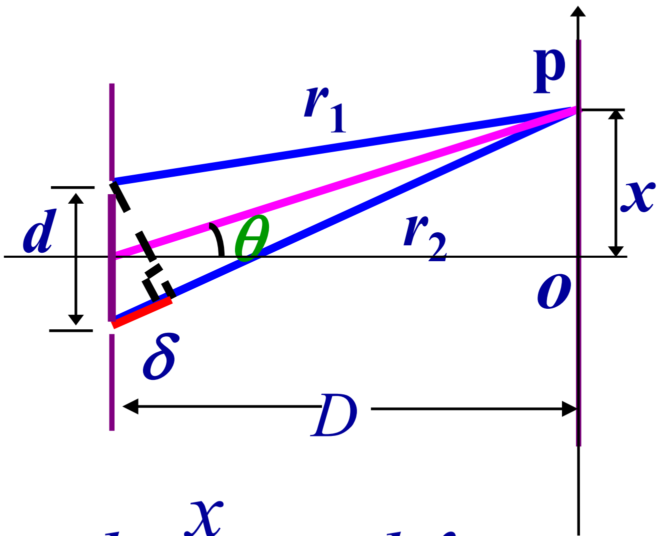


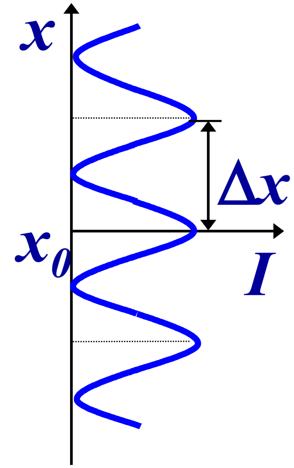
干涉相长的条件

$$\delta = d\cdot\frac{x}{D} = \pm k\lambda$$

干涉相消的条件

$$\delta = d\cdot\frac{x}{D} = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}$$





思考：

若用白光辐照……

$$\delta = d\cdot\frac{x}{D} = \pm k\lambda$$

明纹（中心）位置

$$x_{明} = \pm k\frac{D}{d}\lambda, k = 0,1,2\ldots$$

$$\delta = d\cdot\frac{x}{D} = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

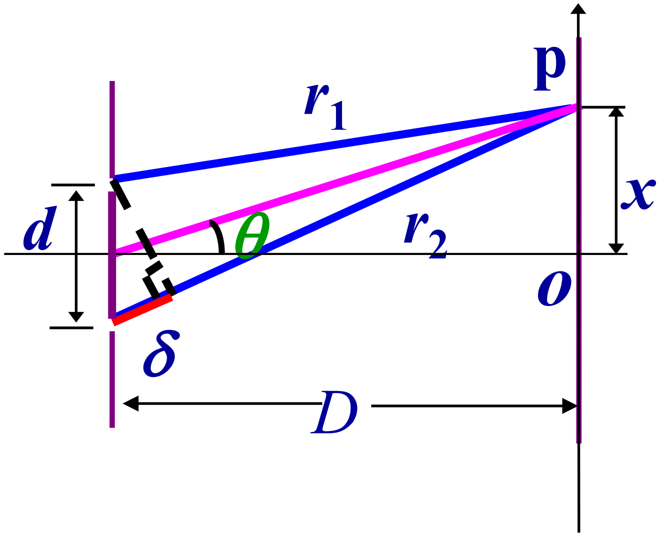
暗纹（中心）位置

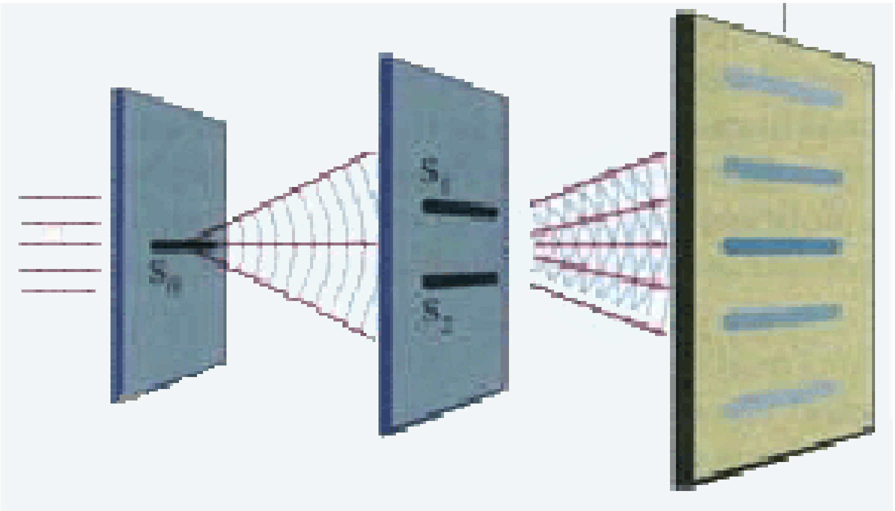
$$x_{暗} = \pm(k+\frac{1}{2})\frac{D}{d}\lambda \text{ ,k} = 0,1,2\ldots$$

两相邻明纹（或暗纹）间距

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

杨氏双缝干涉条纹的特点





(1) 一系列平行的明暗相间的条纹；

(2) 干涉条纹等间距；

(3) $\Delta x = \dfrac{D}{d}\lambda$ $\Delta x \propto \lambda$

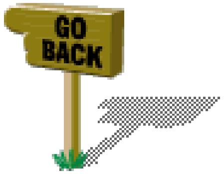
杨氏双缝实验第一次测定了波长这个重要的物理量。

在双缝干涉实验中：

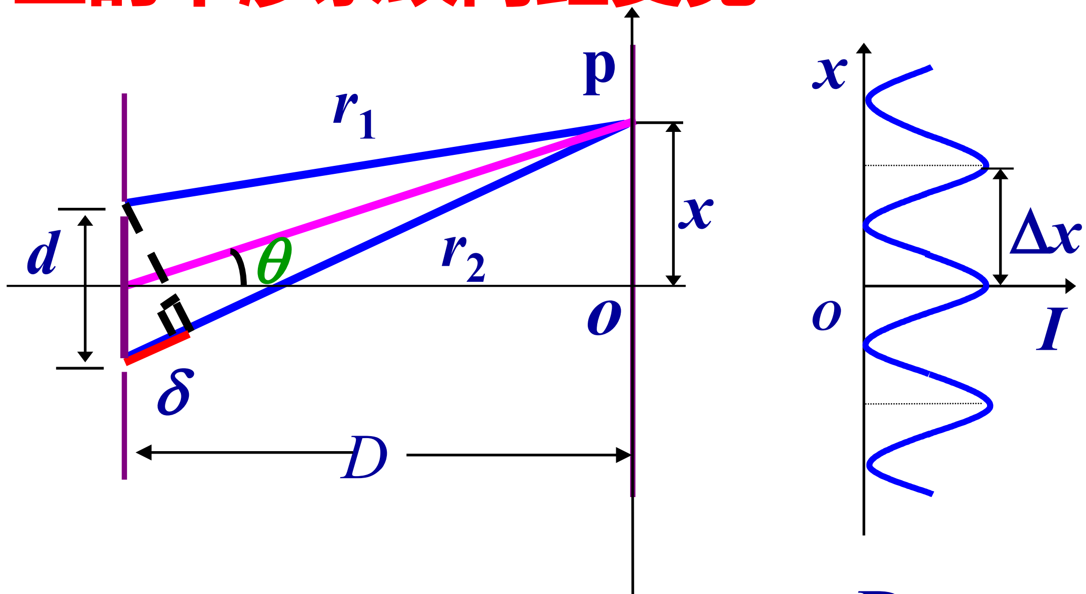
（1）如何使屏上的干涉条纹间距变宽？

（2）将双缝干涉装置由空气中放入水中时，屏上的干涉条纹有何变化？

（3）若S_1、S_2两条缝的宽度不等，条纹有何变化？



（1）如何使屏上的干涉条纹间距变宽?



两相邻明纹（或暗纹）间距

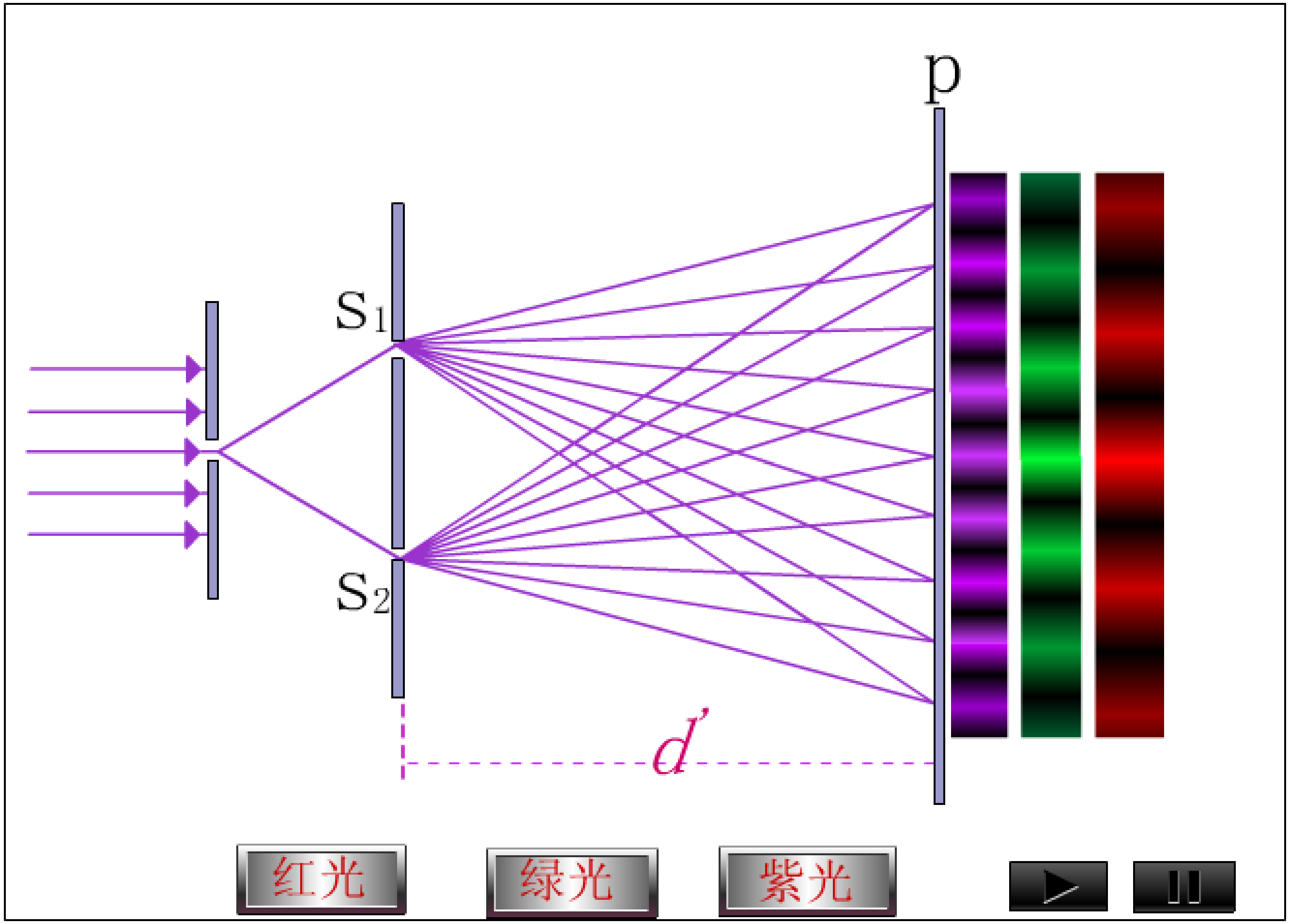
$$\Delta x = \frac{D}{d}\lambda$$

若D、d 已定，只有λ↑，条纹间距Δx变宽。

若λ已定，只有D↑、d↓，条纹间距Δx变宽。

d、D (图中*d′*) 一定时，若λ变化，则Δ*x*将怎样变化?

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



（2）将双缝干涉装置由空气中放入水中时，屏上的干涉条纹有何变化?

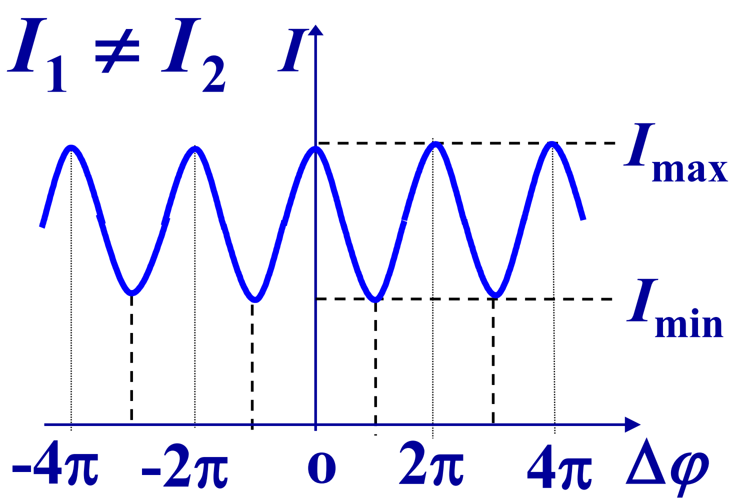
$$\Delta x = \frac{D}{d}\lambda_n = \frac{D}{d}\frac{\lambda}{n}$$

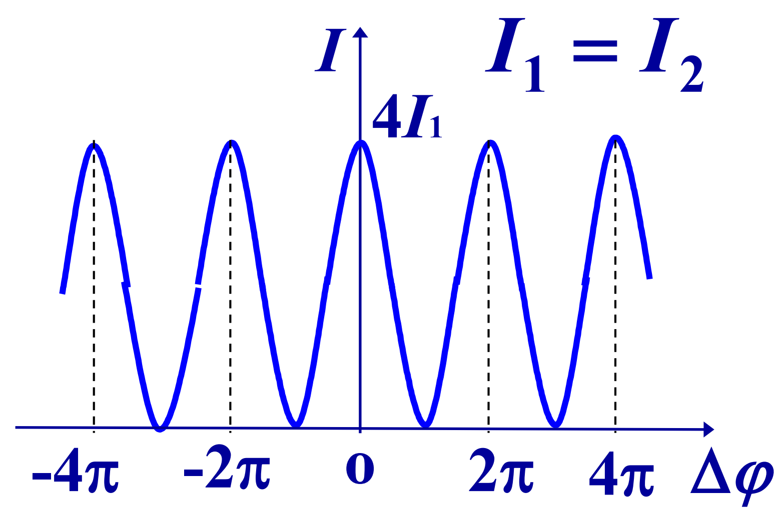
$$n_{水} > n_{空气}$$

$$\Delta x_{水} < \Delta x_{空气}$$

实验装置放入水中后条纹间距变小。

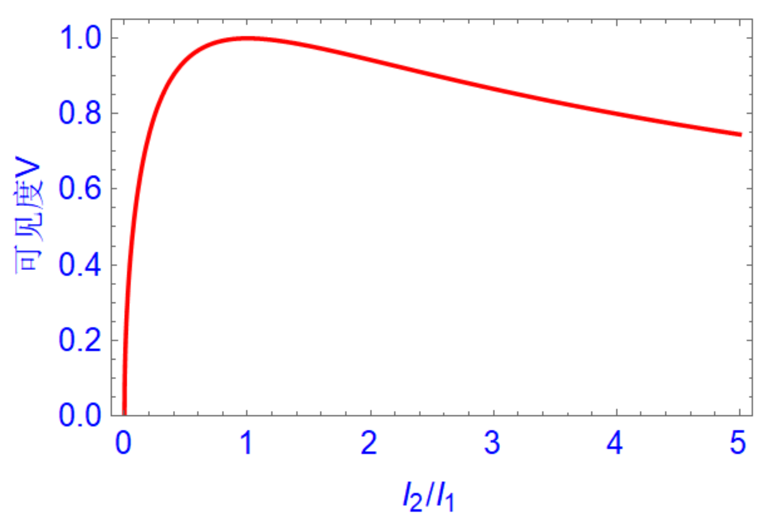
（3）两条缝的宽度不等，使两光束的强度不等；虽然干涉条纹中心距不变，但原极小处的强度不再为零，条纹的可见度变差。





现：可见

见度好



例题： 双缝干涉实验中，用钠光灯作单色光源，其波长为589.3 nm，屏与双缝的距离 D=600 mm。

求 :(1) d =1.0 mm 和 d =10 mm，两种情况相邻明条纹间距分别为多大？(2) 若相邻条纹的最小分辨距离为0.065 mm，能分清干涉条纹的双缝间距 d 最大是多少？

解 (1) 明纹间距分别为

$$\Delta x = \frac{D\lambda}{d} = \frac{600\times 5.893\times 10^{-4}}{1.0} = 0.35 \quad \text{mm}$$

$$\Delta x = \frac{D\lambda}{d} = \frac{600\times 5.893\times 10^{-4}}{10} = 0.035 \quad \text{mm}$$

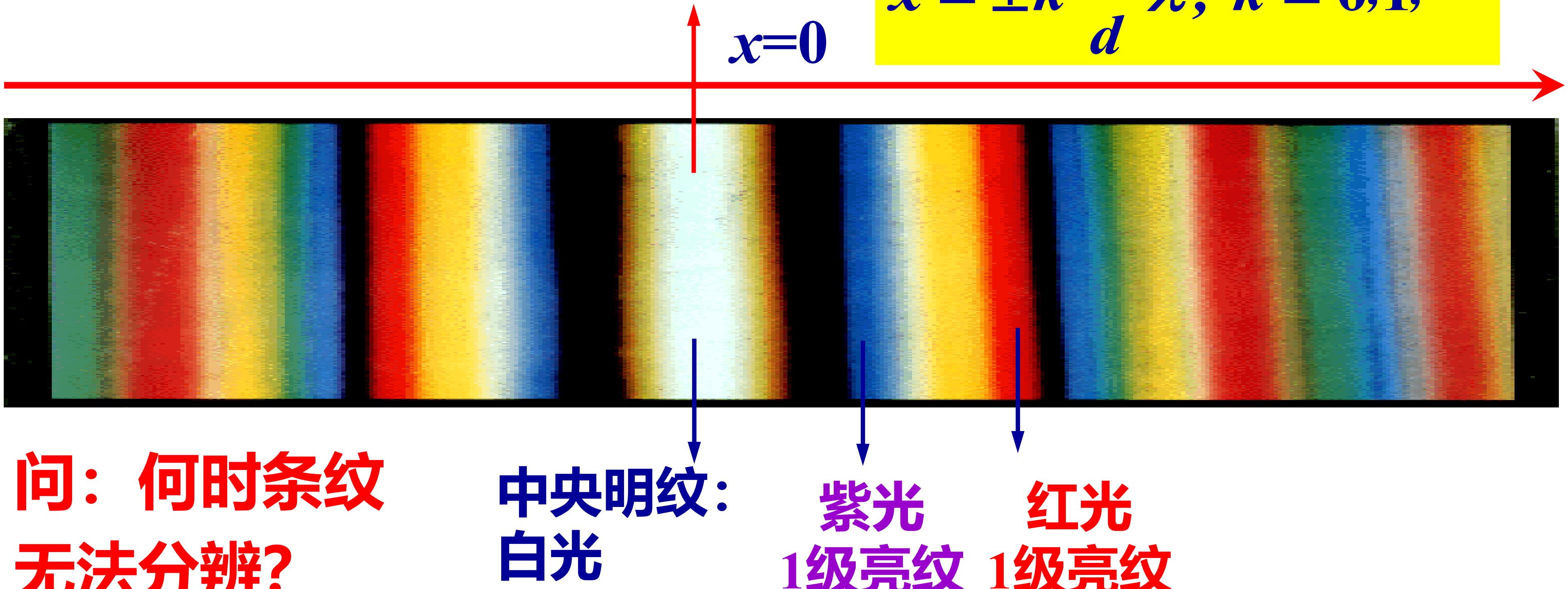
(2) 双缝间距 d 为

$$d = \frac{D\lambda}{\Delta x} = \frac{600\times 5.893\times 10^{-4}}{0.065} = 5.4 \quad \text{mm}$$

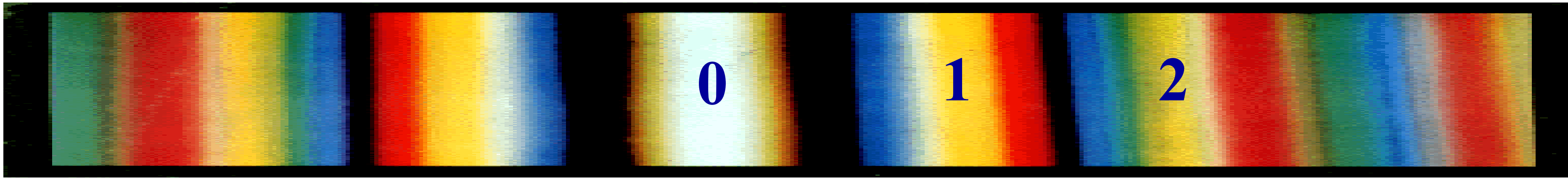
例题：用**白光**作双缝干涉实验时，能观察到几级清晰可辨的彩色光谱?

解：用白光照射时，中央明纹为白光，两侧形成内紫外红的对称彩色光谱.

$$x=\pm k\frac{D}{d}\lambda,\ k=0,1,\cdots$$



问：何时条纹无法分辨?



当k级红色明纹位置$x_{k红}$大于$k+1$级紫色明纹位置$x_{(k+1)紫}$时，光谱就发生重叠，无法分辨。

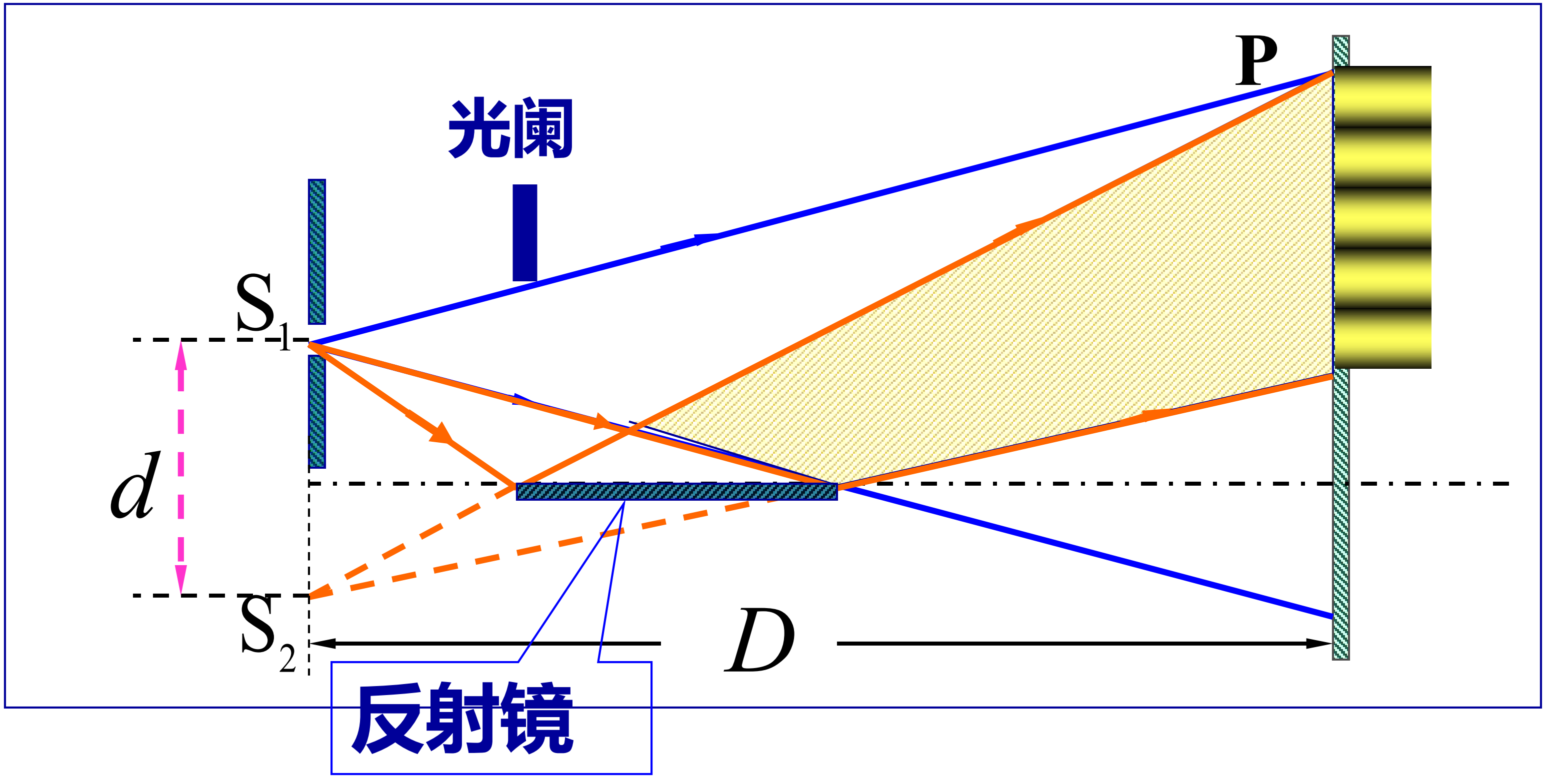
$$x_{k红} = k\frac{D}{d}\lambda_{红}, \qquad x_{(k+1)紫} = (k+1)\frac{D}{d}\lambda_{紫}$$

将 $\lambda_{红} = 760\text{nm}$， $\lambda_{紫} = 400\text{nm}$代入，解得： $k=1.1$

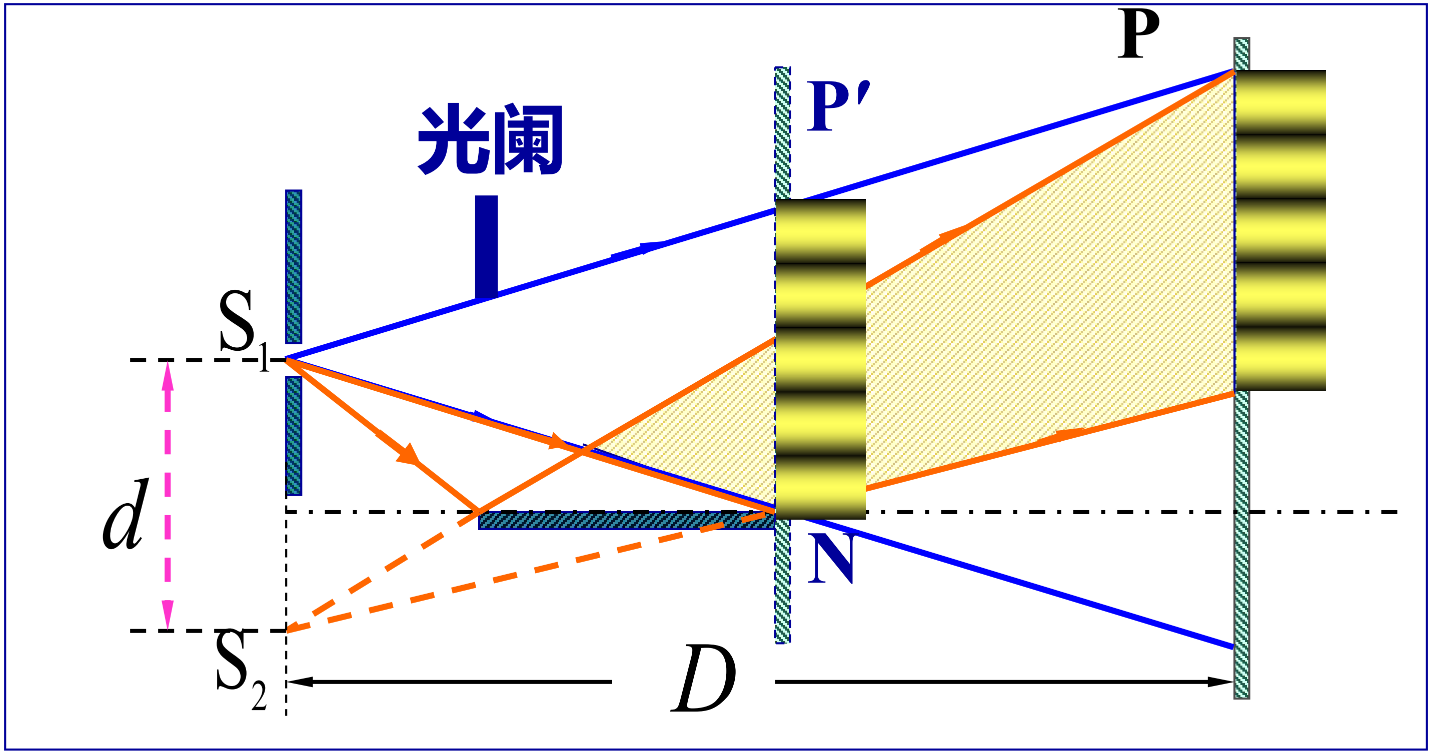
k 取整数， $\therefore$ $k=1$

结果表明：在中央白色明纹两侧， 只有第一级彩色光谱是清晰可辨的。

二　洛埃镜

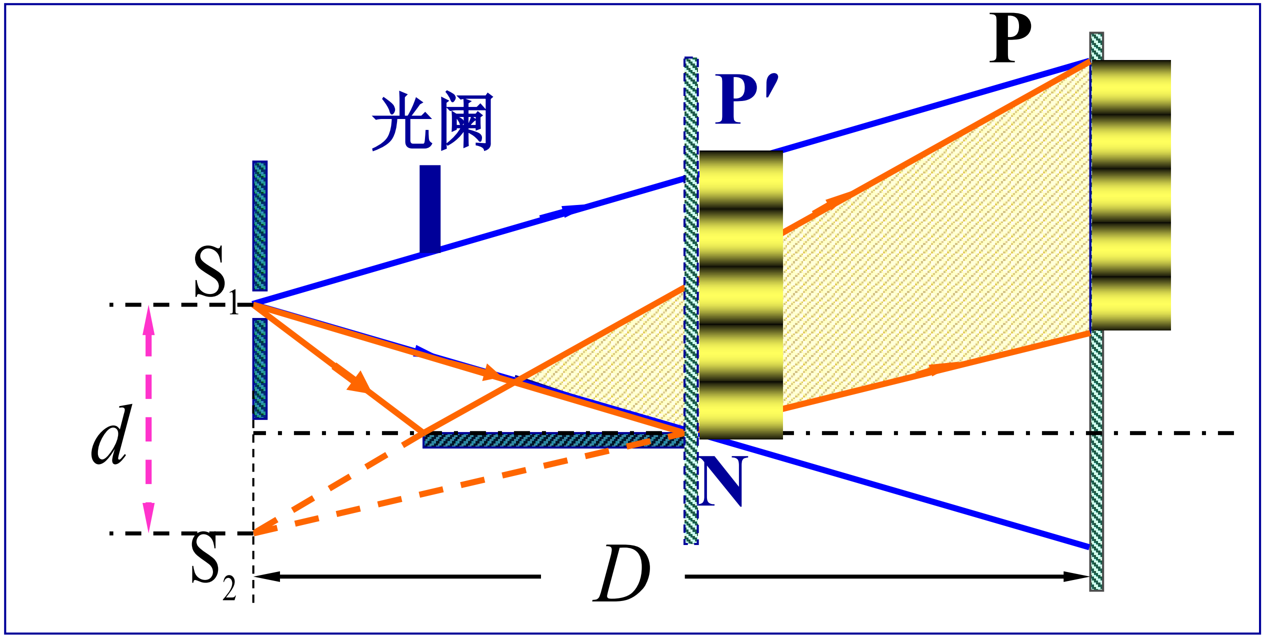


现象： 当屏幕从P移至P′处，使屏与平面镜的边缘相接触，发现接触N点处屏上出现**暗条纹**。但是从 S_1和 S_2 到N点的**波程差为零**，屏上其它点的条纹也都有这种情况。



原因：当光从**光疏介质**射向**光密介质**（图中，从空气到洛埃镜）时，**反射光**的相位发生了**π跃变**，即“**半波损失**”。

解释：光的电磁理论（菲涅耳公式）可以解释半波损失。

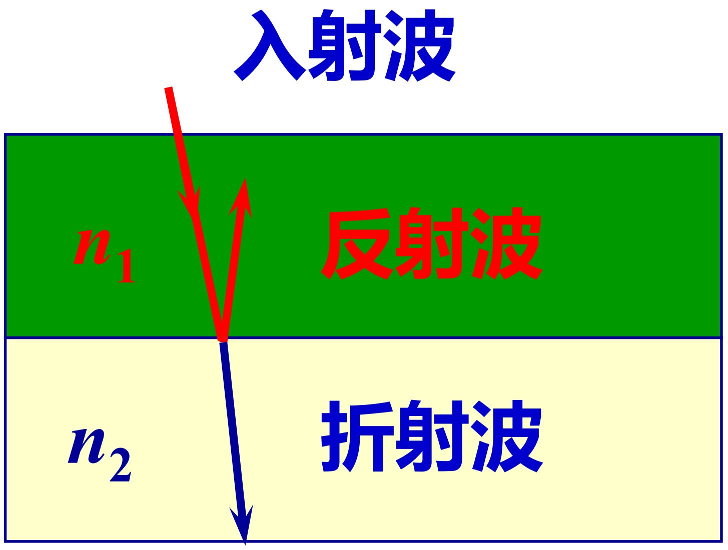


半波损失

若 $n_1 < n_2$

媒质1　光疏媒质

媒质2　光密媒质



如果光是从光疏媒质传向光密媒质，在其分界面上反射时将发生半波损失。

折射波无半波损失。

§12-4 光程与光程差

1. 光 程

相位差在分析光的干涉时十分重要。光在介质中传播时，光振动的相位沿传播方向逐点落后。光传播一个波长的距离，相位变化2π。

为便于计算光通过不同媒质时的相位差，引入“光程”的概念。

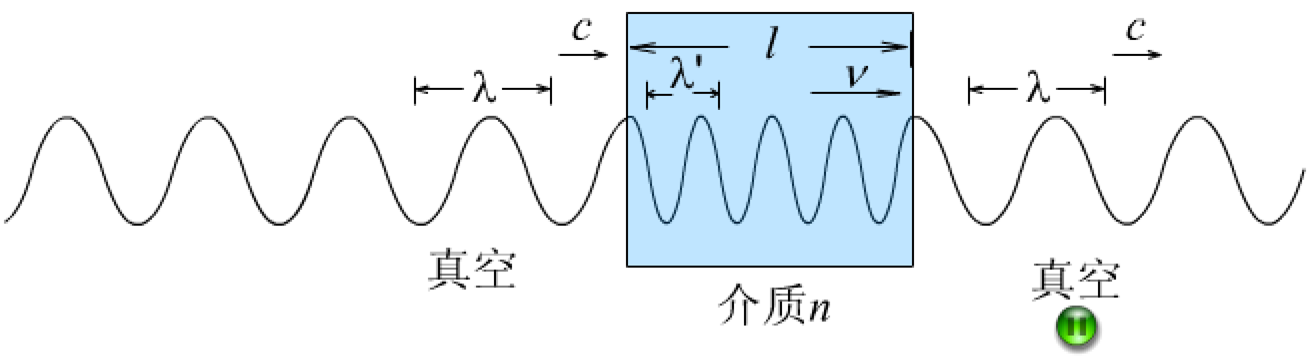
真空中和介质中的波长

λ_0：光在真空中的波长

$$\lambda_0 = u_0 T = \frac{u_0}{\nu} = \frac{c}{\nu}$$

λ_n：光在介质中的波长

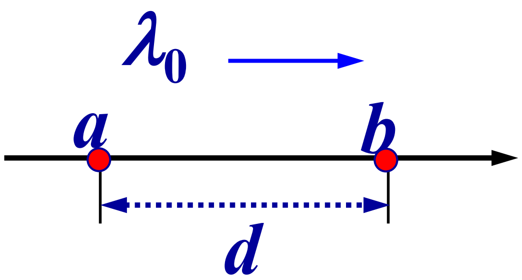
$$\lambda_n = \frac{u_n}{\nu} = \frac{c/n}{\nu} = \frac{\lambda_0}{n}.$$



真空中距离d的两点的相位差

$$\Delta\phi = \phi_a - \phi_b = \frac{d}{\lambda_0} 2\pi$$

λ_0— 光在真空中的波长

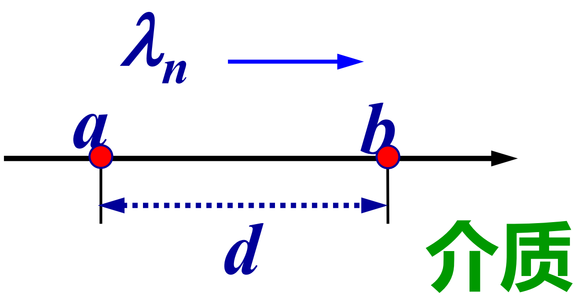


介质中距离d的两点的相位差

$$\Delta\phi = \phi_a - \phi_b = \frac{d}{\lambda_n} 2\pi$$

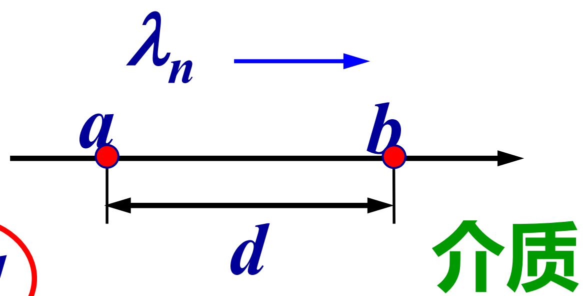
λ_n — 光在媒质中的波长

$$\therefore \Delta\phi = \frac{nd}{\lambda_0} 2\pi$$



$$\left(\lambda_n = \frac{\lambda_0}{n} \right)$$

• 总结比较



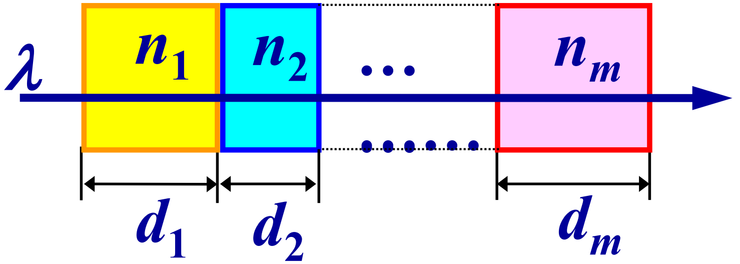
从相位看：

$$\Delta\phi = \frac{d}{\lambda_n} 2\pi = \frac{nd}{\lambda_0} 2\pi$$

从时间看：

$$\Delta t = \frac{d}{u} = \frac{d}{c/n} = \frac{nd}{c}$$

光在媒质中传播的路程d，等效于光在真空中传播的路程nd。

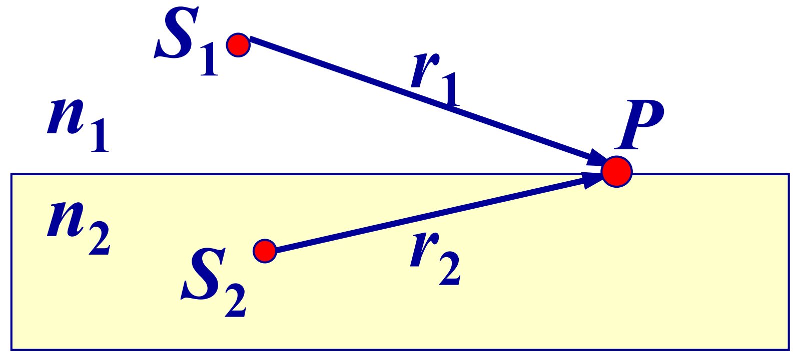


光程：$L = nd$

光程：$L = \sum (n_i d_i)$

2、光程差

两列光波（光源同相位）在P点引起的振动的相位差：



$$\Delta\phi=\frac{2\pi r_2}{\lambda_2}-\frac{2\pi r_1}{\lambda_1}=\frac{2\pi n_2 r_2}{\lambda_0}-\frac{2\pi n_1 r_1}{\lambda_0}$$

$$=\frac{2\pi}{\lambda_0}(\underset{\text{光程2}}{\underline{\underline{n_2 r_2}}}-\underset{\text{光程1}}{\underline{\underline{n_1 r_1}}}).$$

光程2　光程1

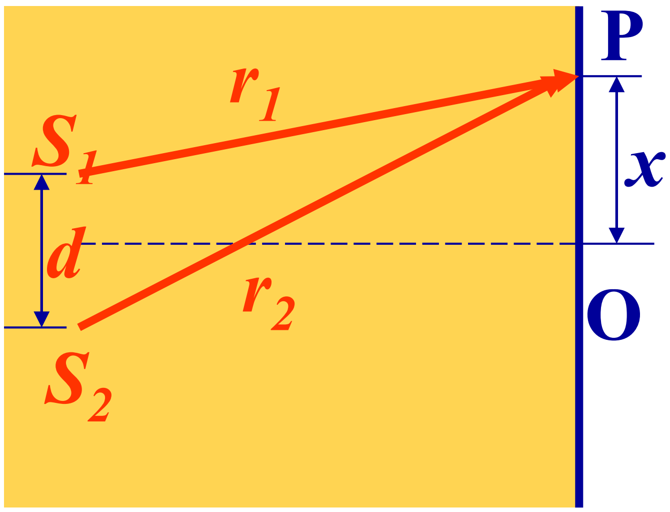
<u>**光程差**</u>：

$$\delta=n_2 r_2-n_1 r_1$$

相当于把光在不同介质中的传播都折算成在真空中的传播

∴ **相位差和光程差的关系：** $\Delta\phi=\dfrac{\delta}{\lambda_0}2\pi$

例　介质对双缝干涉条纹的影响



若把整个双缝干涉实验装置置于折射率为 n 的介质中

明条纹： $\delta = n(r_2 - r_1) = \pm k\lambda \qquad k = 0,1,2,\dots$

暗条纹： $\delta = n(r_2 - r_1) = \pm(2k-1)\lambda/2 \qquad k = 1,2,3,\dots$

条纹间距为 $$\Delta x = \frac{D\lambda}{nd}$$

干涉条纹变密

例1 真空中波长为550nm的两列光束，垂直进入厚度为2.60m、折射率分别为n_2=1.60和n_1=1.00的介质时具有相同的相位, 问出射时，它们之间的相位差是多大?

解： 两列光出射时的**光程差**

$$\delta = n_2 r_2 - n_1 r_1$$

$$= 2.60 \times (1.60 - 1.00) \times 10^{-6}$$

$$= 1.56 \times 10^{-6}\,\mathrm{m}$$

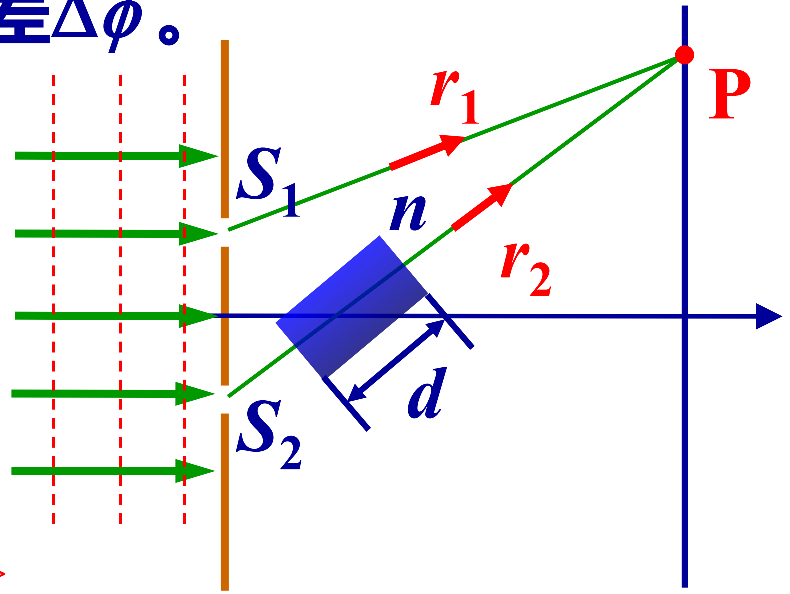
相位差

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0}\delta$$

$$= \frac{2\pi}{550\times10^{-9}}\times1.56\times10^{-6}$$

$$= 17.8$$

例：如图，在S_2P 间插入折射率为n、厚度为d 的媒质。求：光由S_1、S_2到 P 的相位差$\Delta\phi$ 。



解：

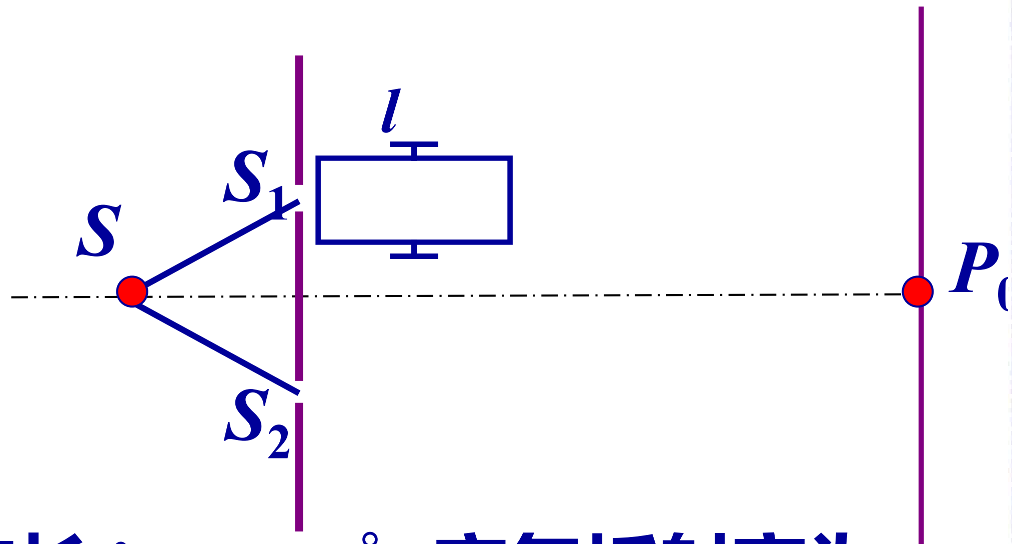
$$\Delta\phi = \frac{2\pi(L_2 - L_1)}{\lambda}$$

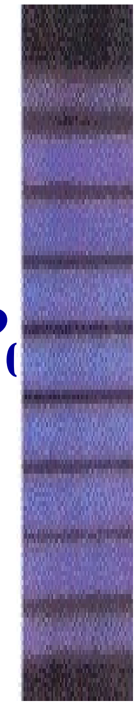
$$= \frac{2\pi}{\lambda}\{[(r_2 - d) + nd] - r_1\}$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda}[(r_2 - r_1) + (n-1)d]$$

例2： 图示一种利用干涉现象测定气体折射率的原理图。在缝S_1后面放一长为l 的透明容器，在待测气体注入容器而将空气排出的过程中，屏幕上的干涉条纹就会移动。通过测定干涉条纹的移动数可以推知气体的折射率，问:

(1)若待测气体的折射率大 于空气折射率,干涉条纹如何移动?

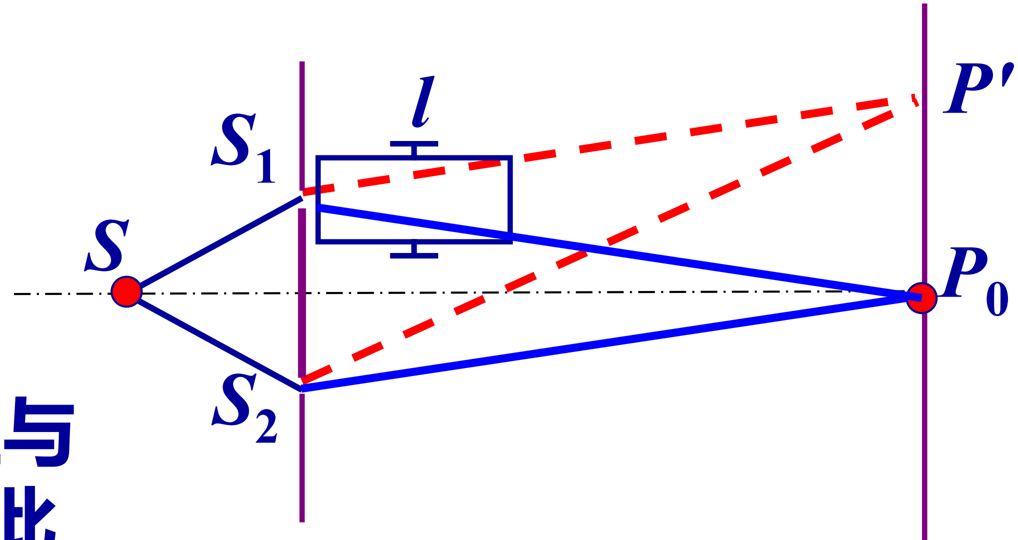


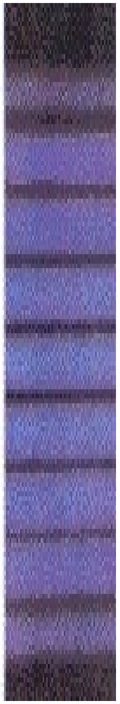


(2) 设l =2.0cm，光波波长 λ=5893Å ,空气折射率为1.000276。充以某种气体后，条纹移过20 条，这种气体的折射率为多少？ (不计透明容器的器壁厚度)

解: (1)讨论干涉条纹的移动，可跟踪屏幕上某一条纹(如零级亮条纹)，研究它的移动也就能了解干涉条纹的整体移动情况。

当容器未充气时，测量装置实际上是杨氏双缝干涉实验装置。



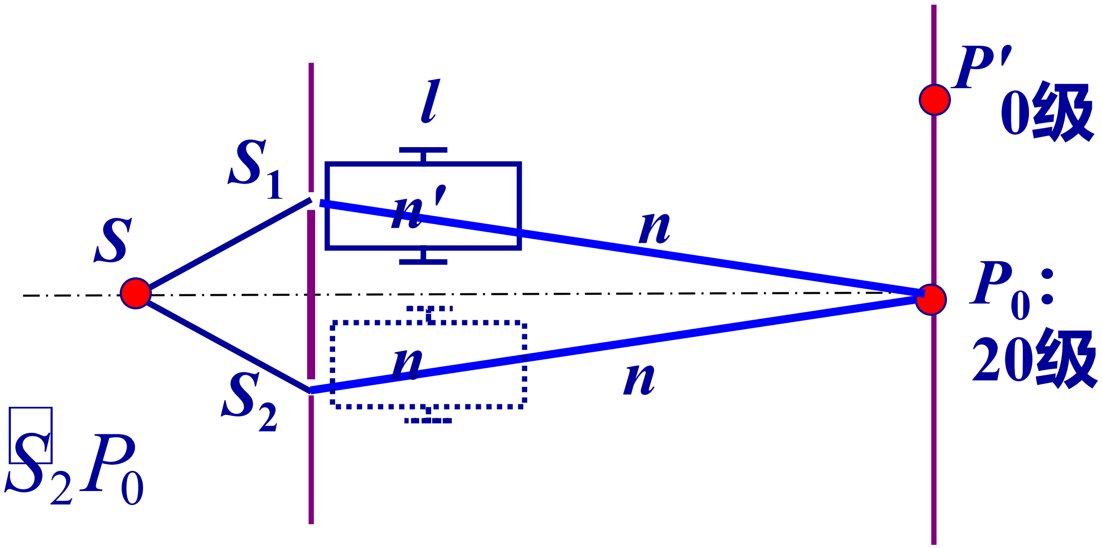


其0级亮纹出现在屏上与S_1、S_2对称的P_0点。此处光程差为零。

容器充气后，S_1射出的光线经容器时光程要增加，零级亮纹应在P_0的上方某处P出现。

∴整个条纹要向上移动。

(2) 按题义，条纹上移20条，P_0处现在出现第20 级亮条纹，



$\therefore$光程差 $\delta = N * \lambda,$

(N=20 为亮条纹级数)

而光程差：$\delta = S_1P_0 - S_2P_0$

$= n'l - nl,$

$\therefore \quad n'l - nl = N * \lambda.$

（n'，n 分别为待测气体和空气的折射率）

$\therefore n' = n + N\lambda / l \approx 1.000276 + 20 \times 5893 \times 10^{-8} / 20$

$= 1.000335.$