第二节　光的干涉

一、光的相干性

二、分波面两束光的干涉

三、光的空间相干性

四、分振幅两束光的干涉

五、光的时间相干性

六、干涉应用举例（自学：了解）

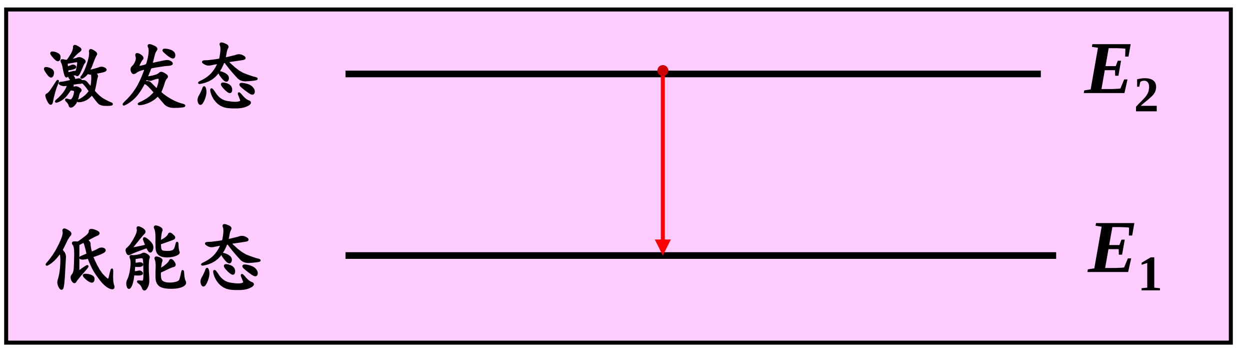
一、光的相干性

1.相干条件

相干条件: 振动方向相同，频率相同，相位差恒定。

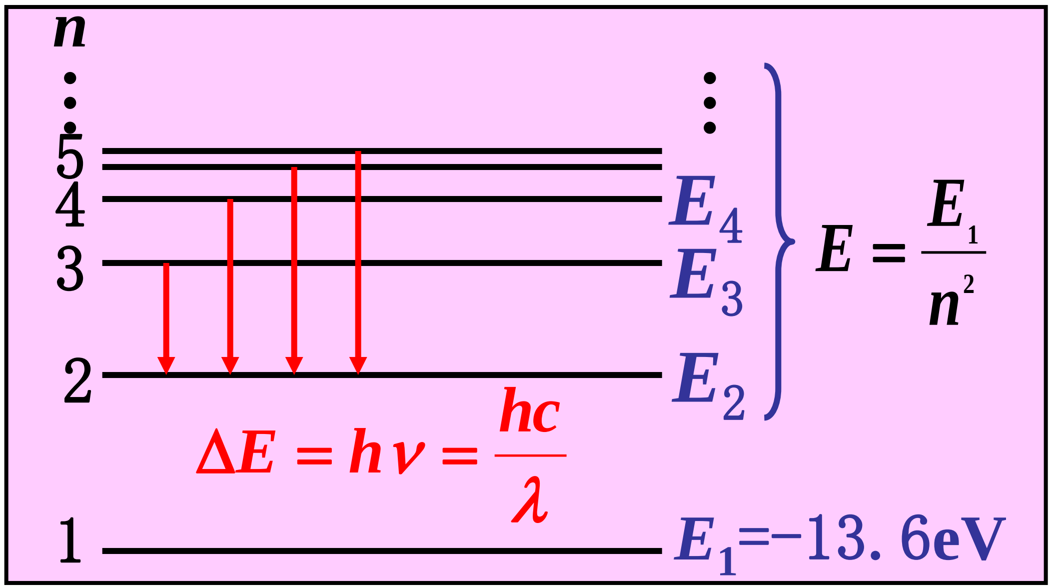
相干光: 满足相干条件的光。

2.普通光源的发光机制



普通光源的发光机制: 被激发到较高能级的原子跃迁到低能级时，以光的形式辐射出多余能量。

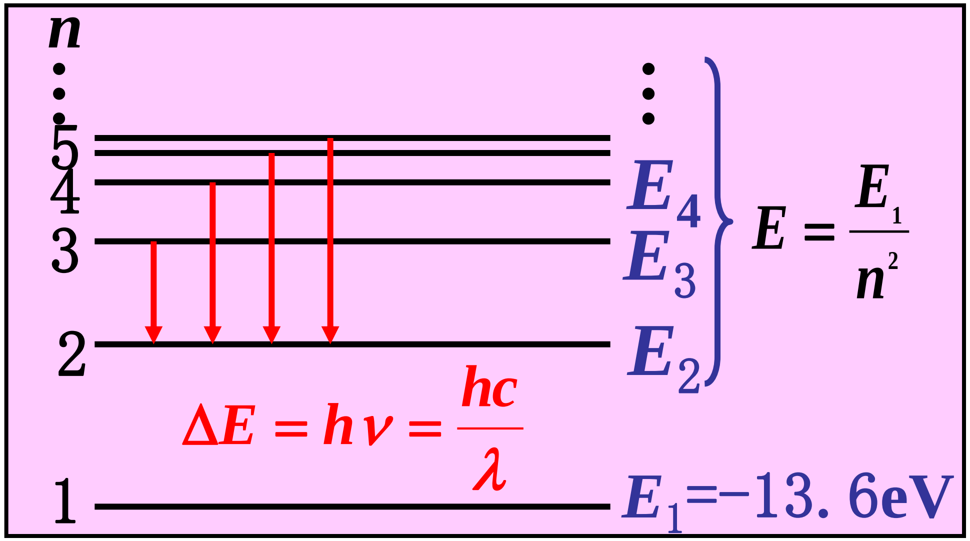
例： 氢原子光谱巴耳麦系（可见光）



一个原子，一次跃迁，发出一个光波波列。

其频率一定，振动方向一定，初相一定。

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} \qquad \lambda = \frac{hc}{\Delta E}$$



波列持续时间有限:

$$\Delta t \sim 10^{-8}\ \mathrm{s}$$

波列长度有限:

$$\Delta l = c \cdot \Delta t$$

不同原子发光、或同一原子各次发光的频率,振动方向,初相具有随机性,不满足相干条件。所以,

两普通光源或同一光源的不同部分是不相干的。

3.从普通光源获得相干光的方法

思路：将同一点光源、某一时刻发出的光分成两束，再引导其相遇叠加。

光的干涉：

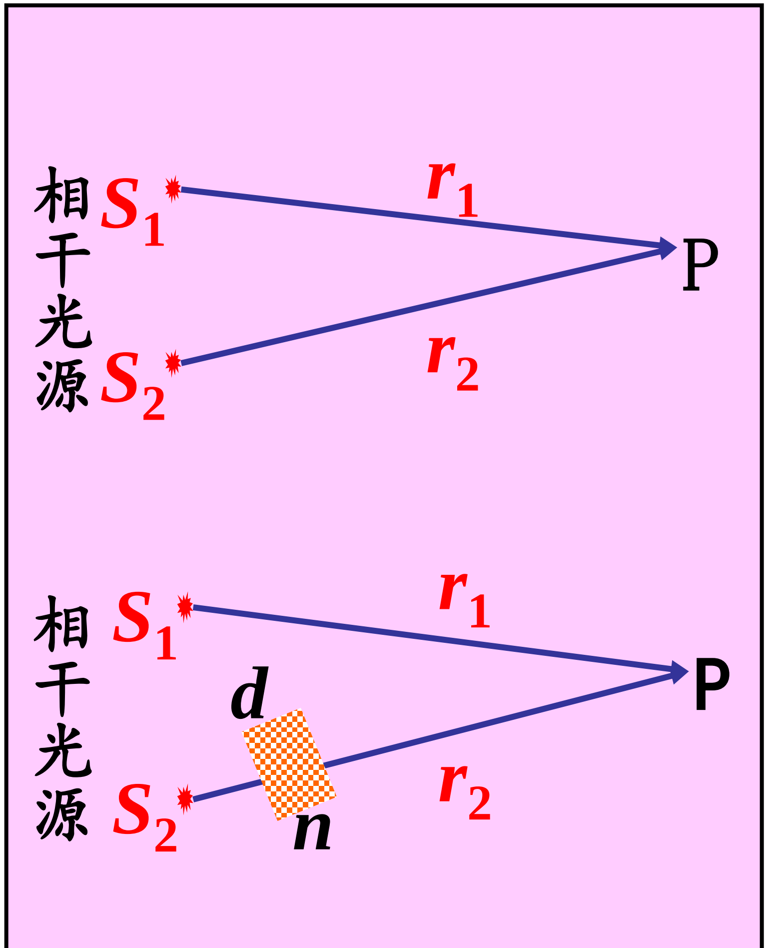
当满足相干条件的两束光在空间相遇时，会出现光强（明暗）在空间非均匀稳定分布的现象。

方法：(1)分波阵面法

(2)分振幅法(分振幅∽分能量)

▲4.光程、光程差

P 点光强：$I = I_1 + I_2 + \underbrace{2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\varphi}_{\text{干涉项}}$

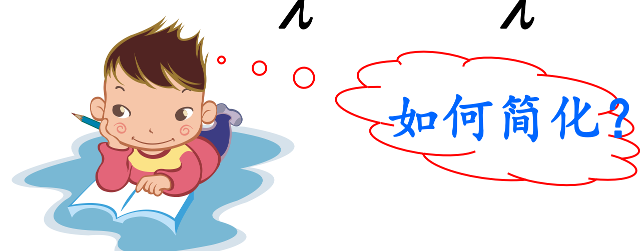


$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 - 2\pi\frac{r_2 - r_1}{\lambda}$$

$$= \varphi_2 - \varphi_1 + \frac{2\pi r_1}{\lambda} - \frac{2\pi r_2}{\lambda}$$

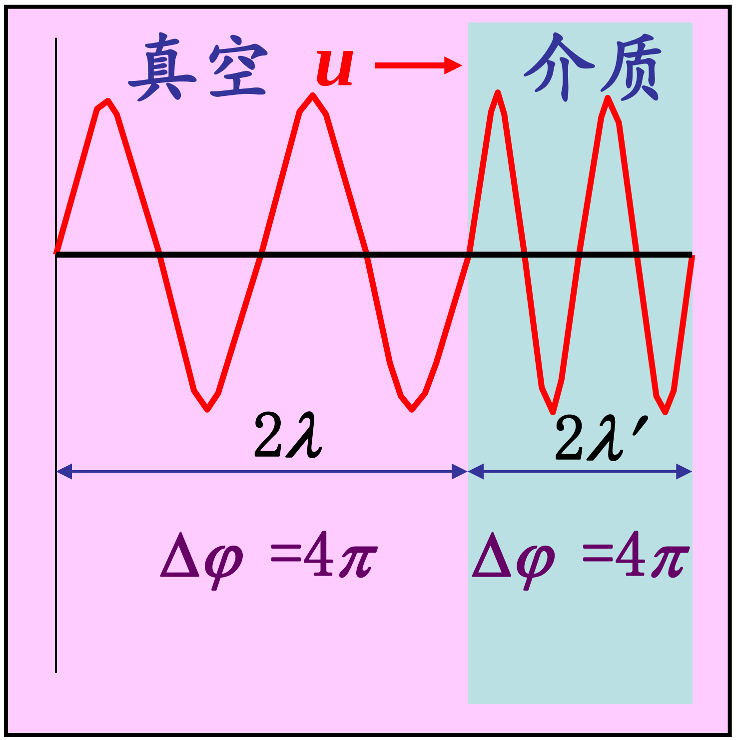
设光在真空中、介质中的波长分别为λ,λ'，介质厚度为d，则：

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 + 2\pi\frac{r_1}{\lambda} - 2\pi\frac{r_2 - d}{\lambda} - 2\pi\frac{d}{\lambda'}$$



简化$\Delta\varphi$的思路:设法将光在介质中传播的距离折合(等效)成光在真空中传播的距离，统一使用 $l_{真空}$ 计算。

折合原则：在引起光波相位改变上等效。



设介质长度为x,包含光波个数: $\dfrac{x}{\lambda'}$

在其中相位改变: $\dfrac{x}{\lambda'}\cdot 2\pi$

真空中 $\dfrac{x}{\lambda'}$ 个光波占据的距离:

$$x' = \frac{x}{\lambda'}\cdot\lambda = \frac{x\cdot\frac{c}{\cancel{v}}}{\frac{u}{\cancel{v}}} = x\cdot\frac{c}{u} = x\cdot n$$

介质折射率

在x'中相位仍改变: $\dfrac{x}{\lambda'}\cdot 2\pi$

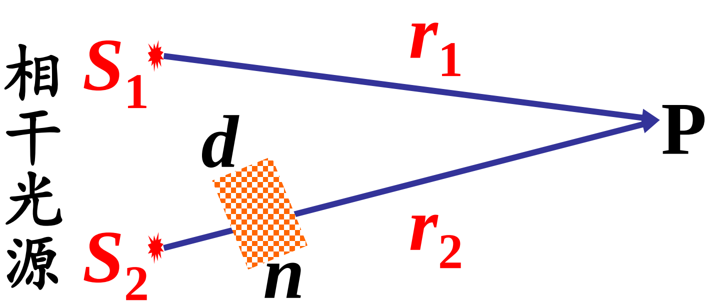
令 $\lambda' = \dfrac{\lambda}{n}$ 为光在折射率为n的介质中的波长。

结论: 光在折射率为n的介质中前进x距离引起的相位改变与在真空中前进 $x' = nx$ 距离引起的相位改变相同。

因此: 光在折射率为n的介质中前进x距离与在真空中前进 $x = nx'$ 距离等效。

定义: 光程（等效真空程）= 几何路程 × 介质折射率

光程的意义: 从相位改变来看，光在折射率为n的介质中传播距离x等效它在真空中传播光程nx。



$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 + 2\pi\frac{r_1}{\lambda} - 2\pi\frac{r_2 - d}{\lambda} - 2\pi\frac{d}{\lambda'}$$

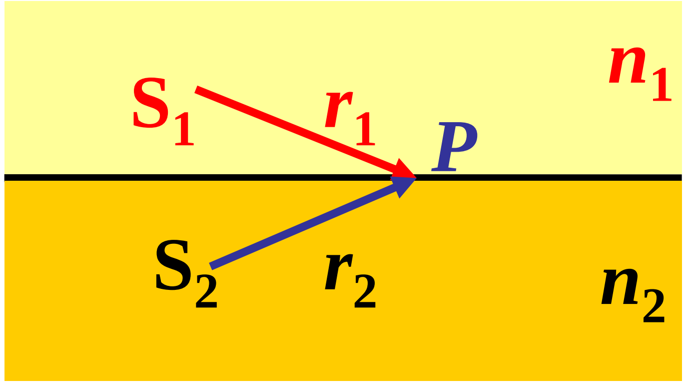
$$= \varphi_2 - \varphi_1 + 2\pi\frac{r_1}{\lambda} - 2\pi\frac{r_2 - d}{\lambda} - 2\pi\frac{nd}{\lambda}$$

$$= \varphi_2 - \varphi_1 + 2\pi\frac{r_1}{\lambda} - 2\pi\frac{r_2}{\lambda} - 2\pi\frac{(n-1)d}{\lambda}$$

设两束光分别在折射率为n_1、n_2的介质中传播的距离为r_1，r_2，　则：

光程差（等效真空程之差）：

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



$$\therefore \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 + 2\pi \frac{r_1}{\lambda'} - 2\pi \frac{r_2}{\lambda''}$$

$$= \varphi_2 - \varphi_1 + 2\pi \frac{(n_1 r_1 - n_2 r_2)}{\lambda}$$

$$= \varphi_2 - \varphi_1 + 2\pi \frac{\Delta}{\lambda}$$

Δ → 光程差
λ → 真空中波长

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 + 2\pi\frac{\Delta}{\lambda}$$

Δ → 光程差

λ → 真空中波长

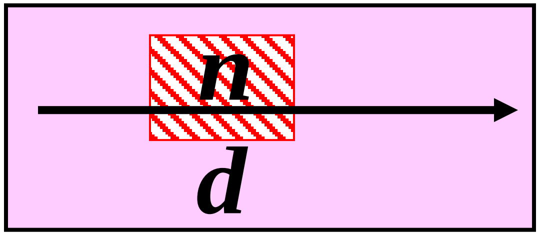
当 $\Delta\varphi = \begin{cases} 2k\pi & \text{相长 ~ 明} \\ (2k+1)\pi & \text{相消 ~ 暗} \end{cases}$ $k = 0, \pm 1, \pm 2 \cdots$

特例：$\varphi_1 = \varphi_2$ $\Delta\varphi = 2\pi\frac{\Delta}{\lambda}$

当 $\Delta = \begin{cases} k\lambda & \text{明} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & \text{暗} \end{cases}$ $k = 0, \pm 1, \pm 2 \cdots$

计算△时常见情况：

(1)真空中加入厚 *d* 的介质、增加(*n*-1)*d* 光程。



$$nd-d=(n-1)d$$

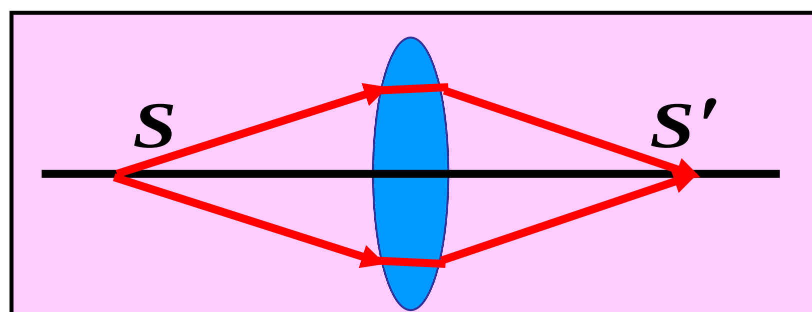
(2)光由光疏介质射到光密介质界面上反射 时附加 $\lambda/2$ 光程。

折射率*n*较小　　*n*较大　　（半波损失）

（证明参看　姚启均　“光学教程” P_{37}）

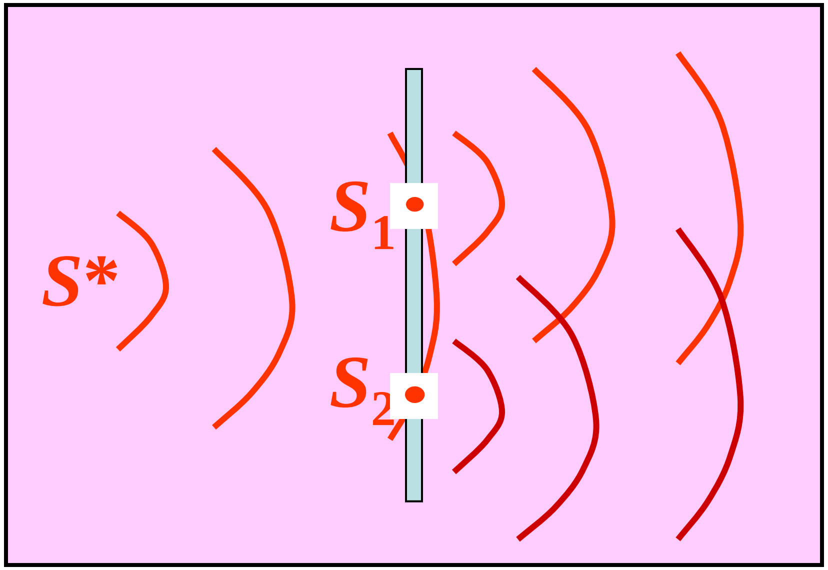
(3)薄透镜不引起附加光程差(物点与象点间各光线等光程)。

证明请参看理科光学教程



二、分波面两束光的干涉

分波阵面法：将同一波面上两不同部分作为相干光源



1、杨氏双缝实验

Thomas Young

1773--1829

英国医生、科学家托马斯.杨1801年用双缝干涉实验证明了光的波动性，并首先测出太阳光的平均波长：

$$\bar{\lambda}_{杨氏} = 570 \quad nm$$

$$\bar{\lambda}_{现代} = 555 \quad nm$$

该实验对光的波动说的复苏起到关键作用，在物理学史上占重要地位。

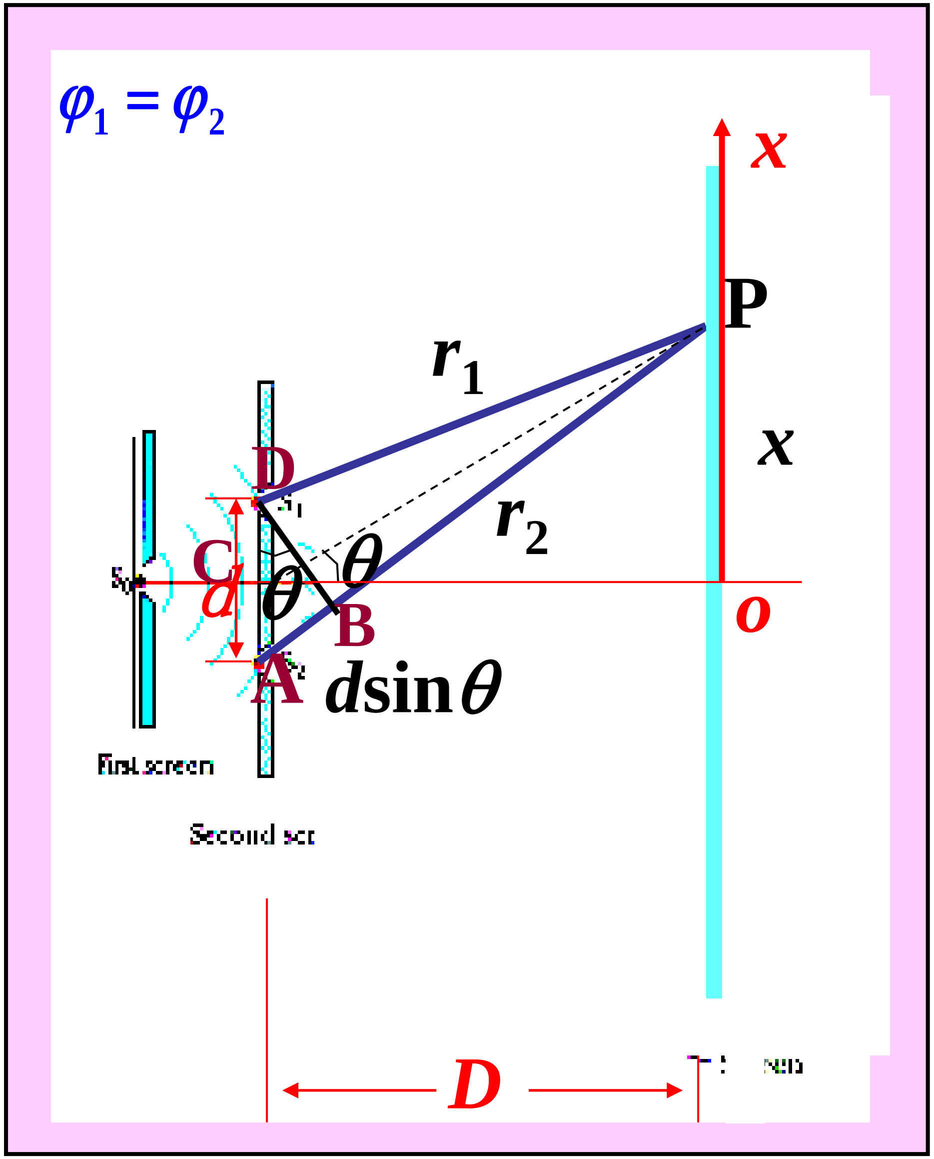
(1)装置

(2)干涉条纹（明暗纹）

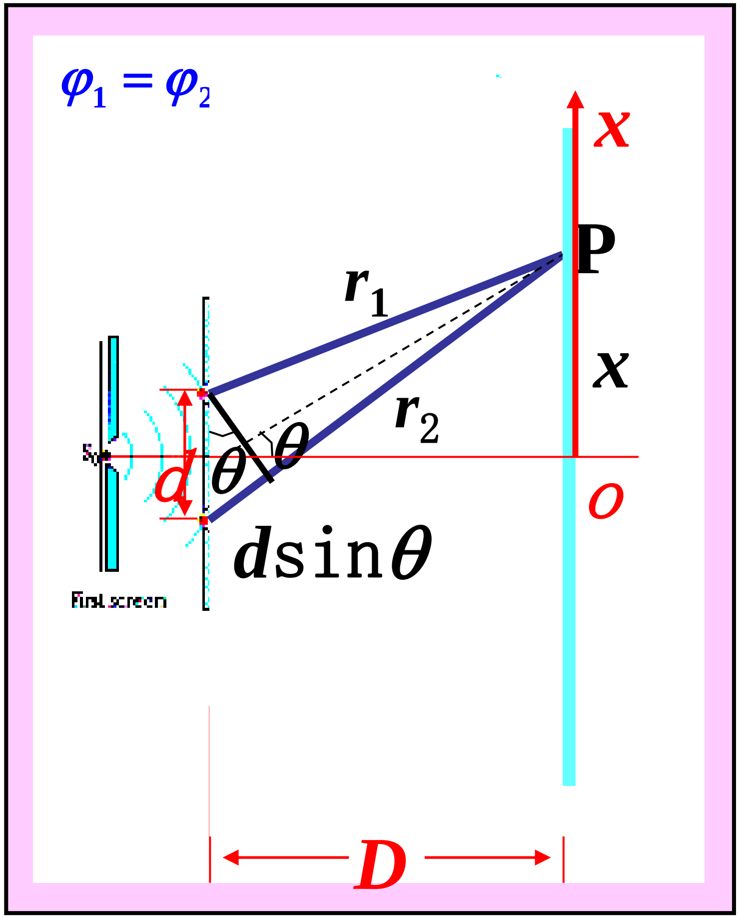
设 $d<<D$, 且 θ 很小, 则:

$$\theta \approx \sin\theta \approx \mathrm{tg}\theta = \frac{x}{D}$$

$$\Delta = r_2 - r_1 \approx d\sin\theta \approx d\frac{x}{D}$$



$$\Delta = r_2 - r_1 \approx d\sin\theta \approx d\,\frac{x}{D}$$



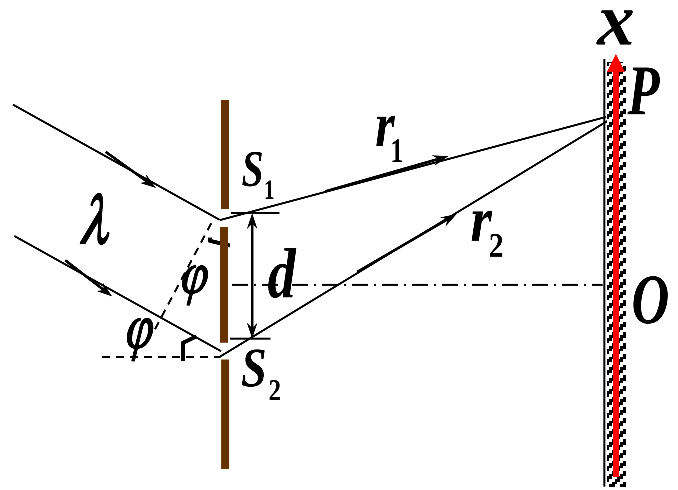
明暗纹条件：

$$\Delta = \begin{cases} \pm k\lambda & k = 0,1,2,\cdots \quad \text{明} \\ \pm (2k-1)\dfrac{\lambda}{2} & k = 1,2,\cdots \quad \text{暗} \end{cases}$$

$$x = \begin{cases} \pm \dfrac{kD}{d}\lambda & k = 0,1,2,\cdots \quad \text{明} \\ \pm (2k-1)\dfrac{D}{d}\cdot\dfrac{\lambda}{2} & k = 1,2,\cdots \quad \text{暗} \end{cases}$$

注意：*k* 取值与条纹级次一致。

注意：

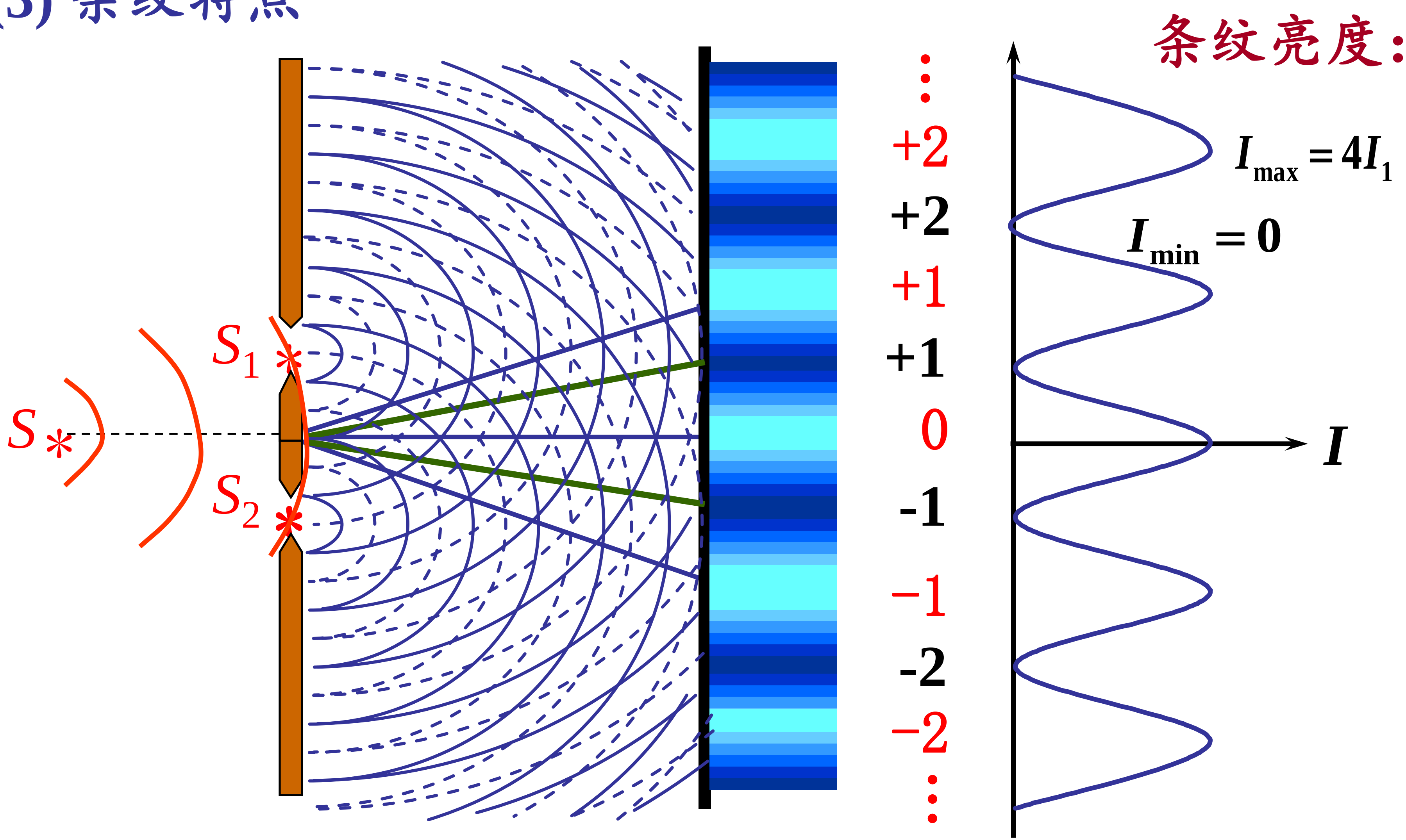


$$\Delta = d\sin\varphi + (r_2 - r_1)$$

$$x = \begin{cases} (\pm k\lambda - d\sin\varphi)\dfrac{D}{d} & k = 0,1,2,\cdots \quad \text{明} \\ [\pm(2k-1)\dfrac{\lambda}{2} - d\sin\varphi]\dfrac{D}{d} & k = 1,2,\cdots \quad \text{暗} \end{cases}$$

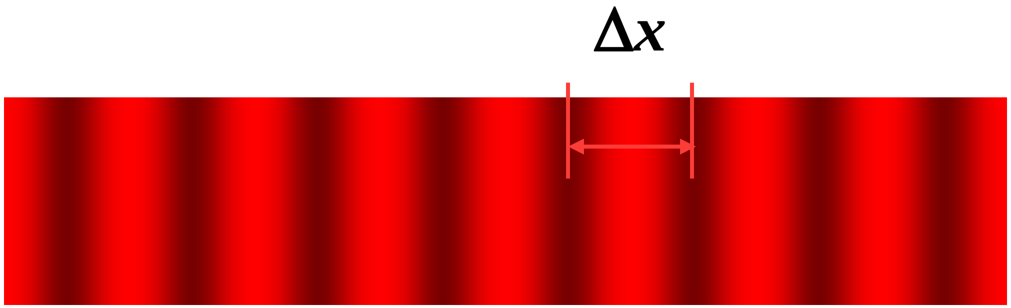
0级明纹移到O的下面（条纹下移）

(3) 条纹特点

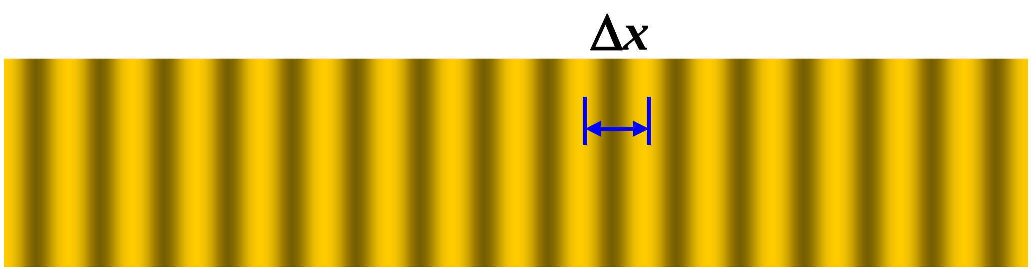


①干涉条纹为平行于缝的等亮度、等间距、明暗相间条纹。

632.8nm的氦氖激光器产生的干涉条纹



589.3nm的钠黄光产生的干涉条纹



条纹宽度：相邻两暗（明）纹中心间距。

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

条纹宽度： $\boxed{\Delta x = \dfrac{D}{d}\lambda}$

②λ一定：d一定，$\Delta x \propto D$ 屏幕距双缝越远，条纹越宽。

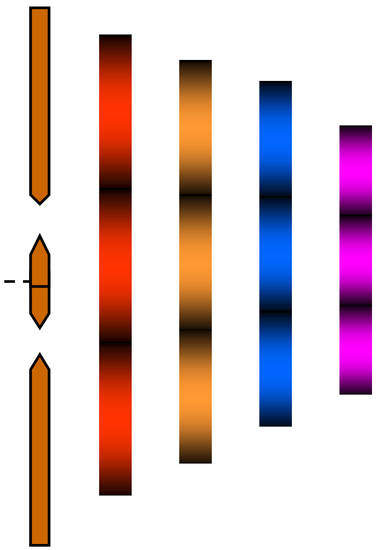
D一定，$\Delta x \propto \dfrac{1}{d}$ 双缝间距越小，条纹越宽。

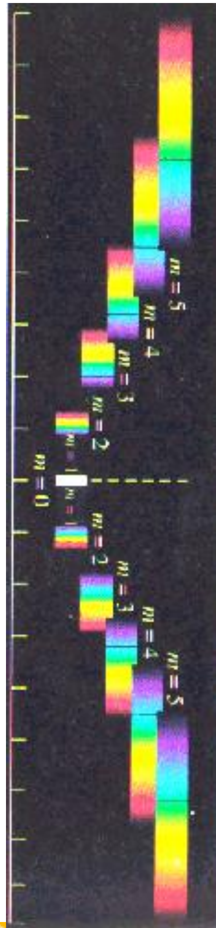
③d、D一定：$\Delta x \propto \lambda$　$\Delta x_{红} > \Delta x_{紫}$

白光照射时，零级明纹：白色。

其余明纹：内紫外红的彩色光谱，S^*

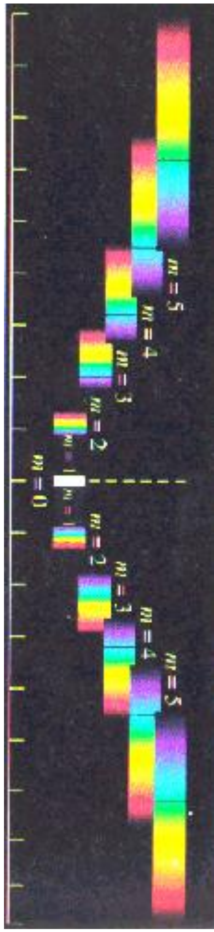
高级次重叠。





二级　三级

练习：P_{92}例1 用白光光源进行双缝干涉实验，求清晰可辩光谱的级次。



解：白光 λ：$4000 \sim 7000\,\mathring{A}$

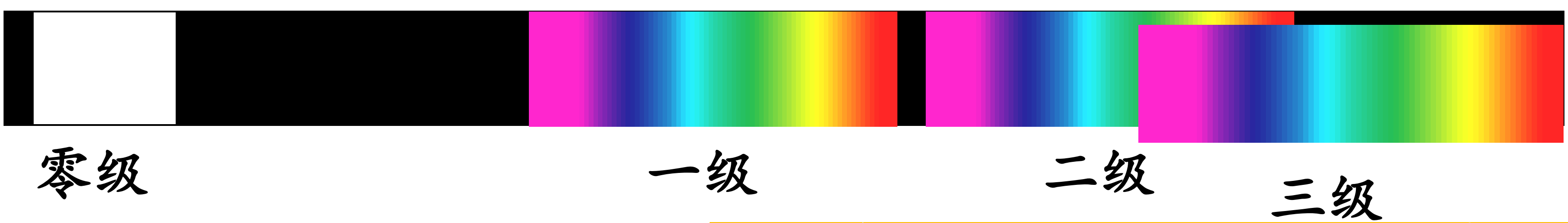
最先重叠：某级红光和高一级紫光x相同

设k级红光和$k+1$级紫光最先重叠：

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

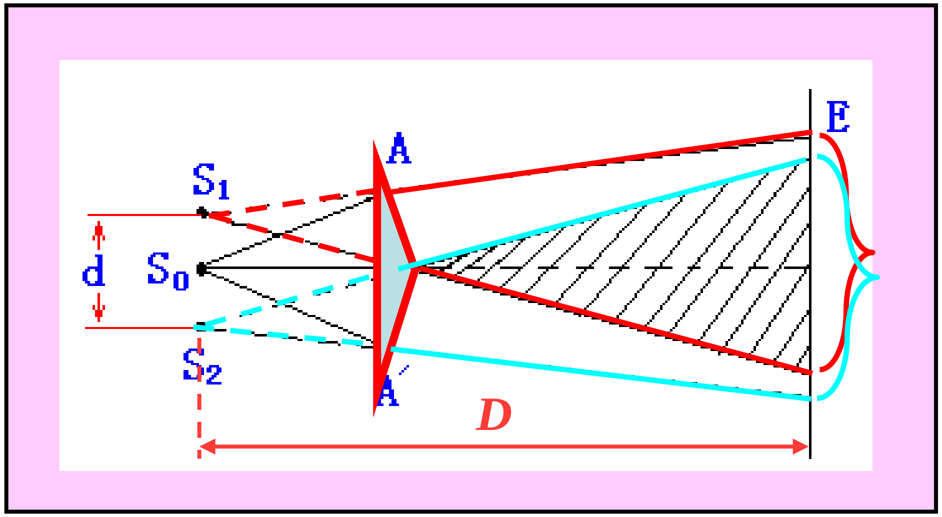
$$k = \frac{\lambda_{紫}}{\lambda_{红} - \lambda_{紫}} = \frac{4000}{7000-4000} \approx 1\cdot 3$$

因此：未重叠的清晰光谱只有一级(+1、-1级)光谱。

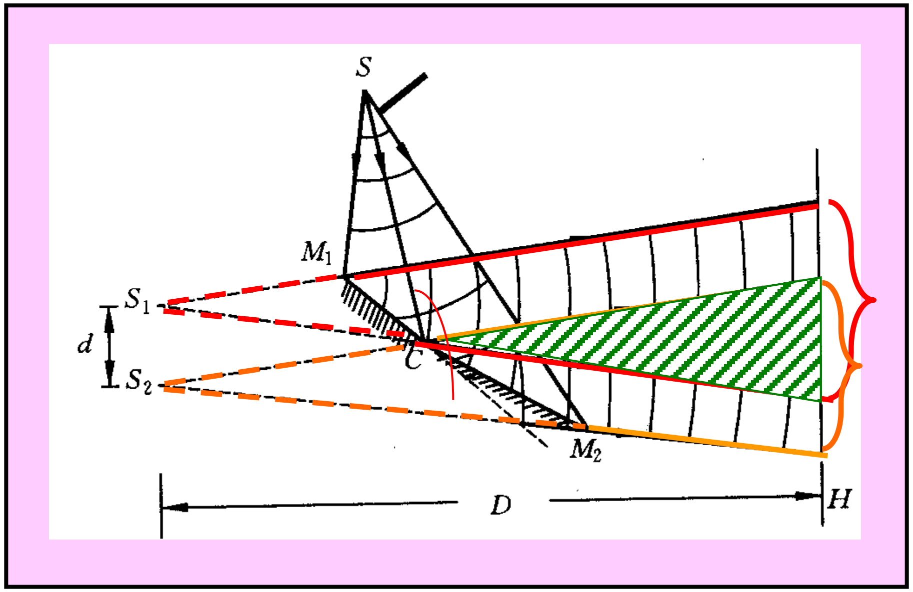


2.其它分波阵面干涉

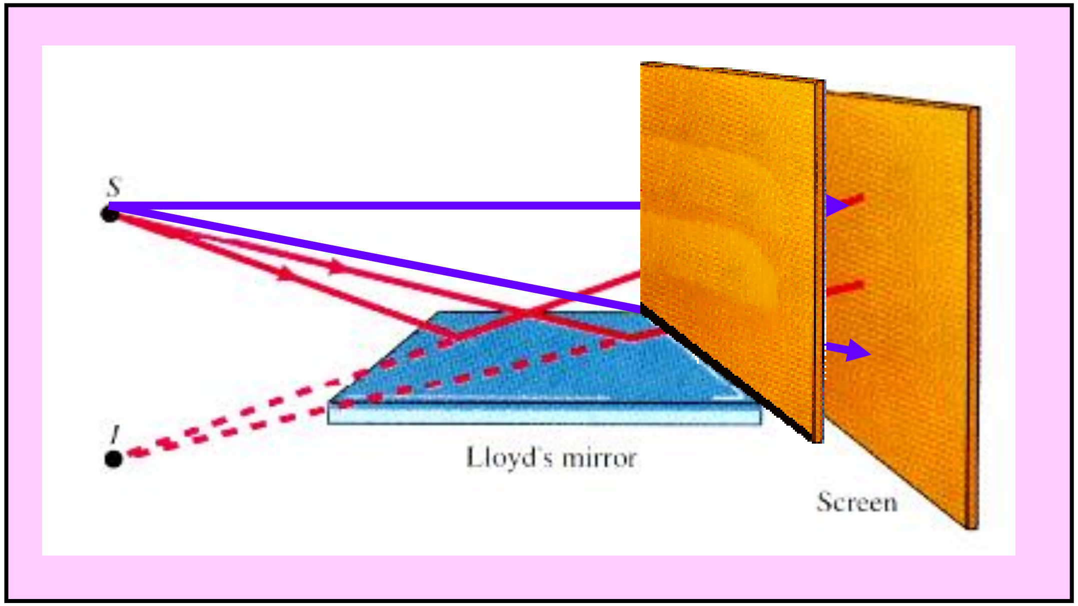
(1)菲涅耳双棱镜



(2)菲涅耳双面镜



(3)洛埃镜



洛埃镜干涉出现的现象：

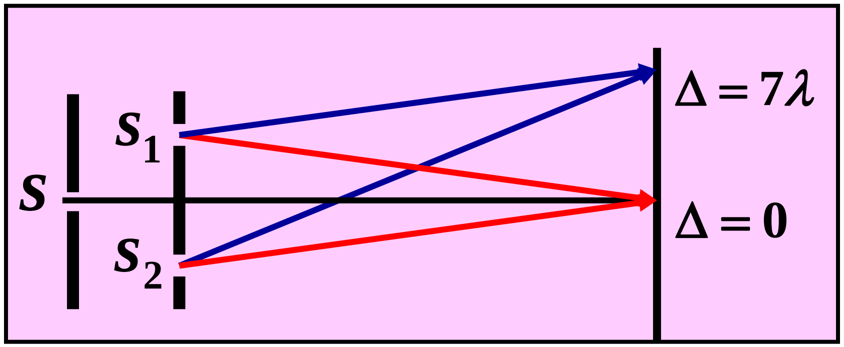
①明暗条纹位置与杨氏双缝干涉的明暗条纹位置互换。

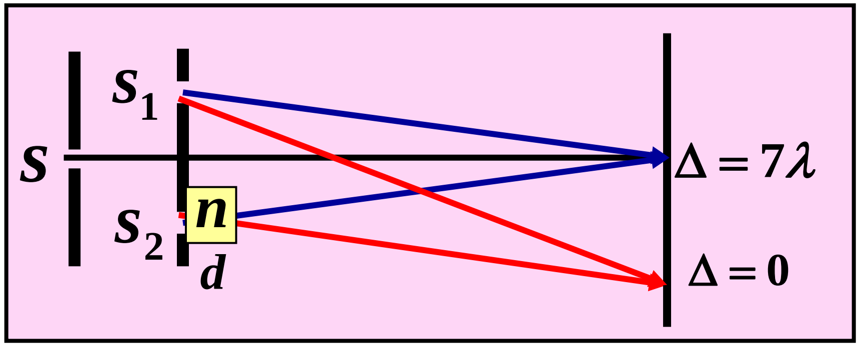
—— 光在镜子表面反射时有半波损失，附加$\lambda/2$光程差。

②干涉条纹只存在于镜上方。

③屏移到镜边缘时，屏与镜接触点出现暗条纹。

例题:P_{120}14.7:已知: $\lambda = 550nm,\ n = 1.58,\ k = 7,\ k' = 0$, 求$d$。





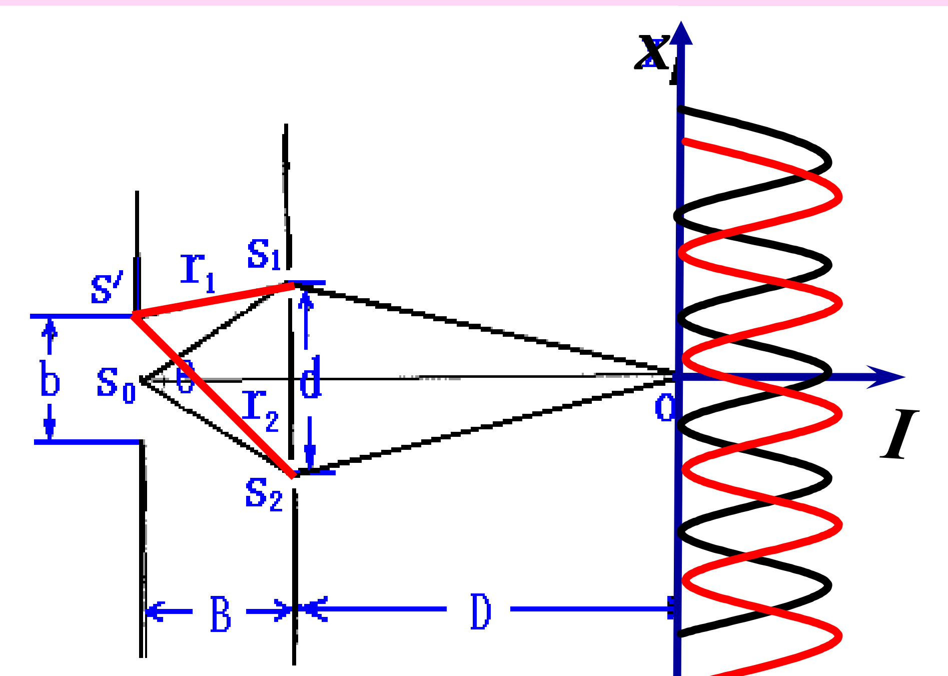
由明暗纹条件知:光程差

$$\Delta = 0 + (n-1)d = 7\lambda$$

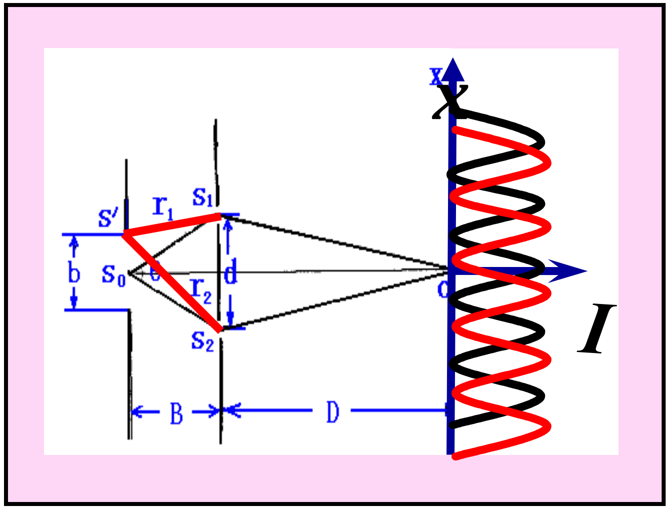
$$d = \frac{7\lambda}{n-1} = \frac{7\times 550\times 10^{-9}}{1\cdot 58-1} = 6\cdot 64\times 10^{-6}(\mathrm{m})$$

三、光的空间相干性

问题： 能否通过增加单缝光源宽度来提高干涉条纹亮度？



缝宽b增加，干涉图样亮度增加，但S不再是理想线光源，为许多平行线光源，它们为非相干光源，各自产生一套干涉条纹，这些条纹彼此错开，条纹清晰度下降直至消失。



由几何关系可得光源宽度b的极限值：

$$b < \frac{B}{d}\lambda \quad (B \approx \frac{r_1 + r_2}{2})$$

$$d < \frac{B}{b}\lambda$$

即：对于缝宽为b的普通光源：

只有波面上距离 $d < \dfrac{B}{b}\lambda$ 两处的光相遇才能形成清晰的干涉条纹 ——光的空间相干性

光的空间相干性：对分波面法实现两束光的干涉加以限定。

*描述光源线宽度对干涉条纹的影响。

*反映扩展光源不同部分发光的独立性。