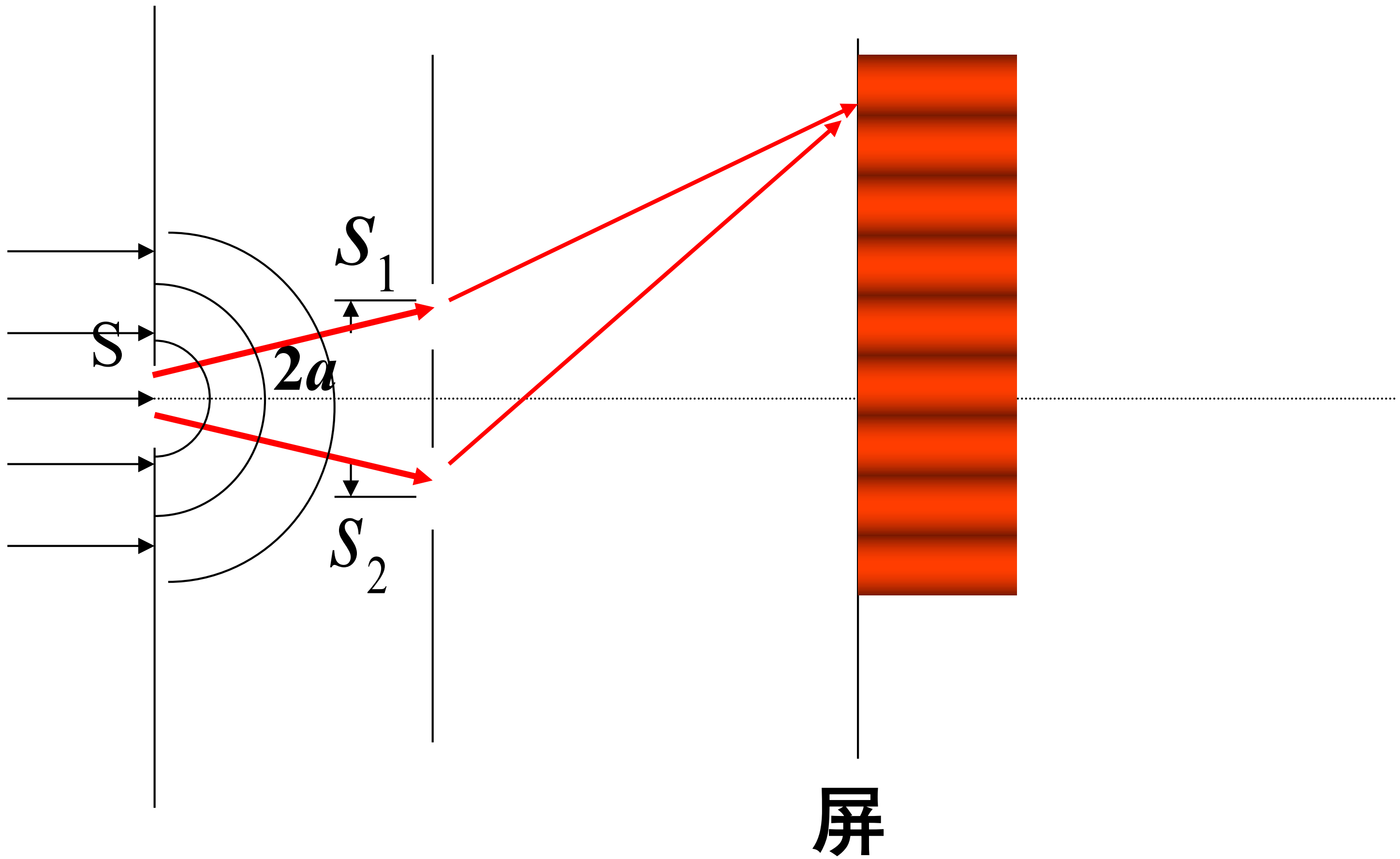
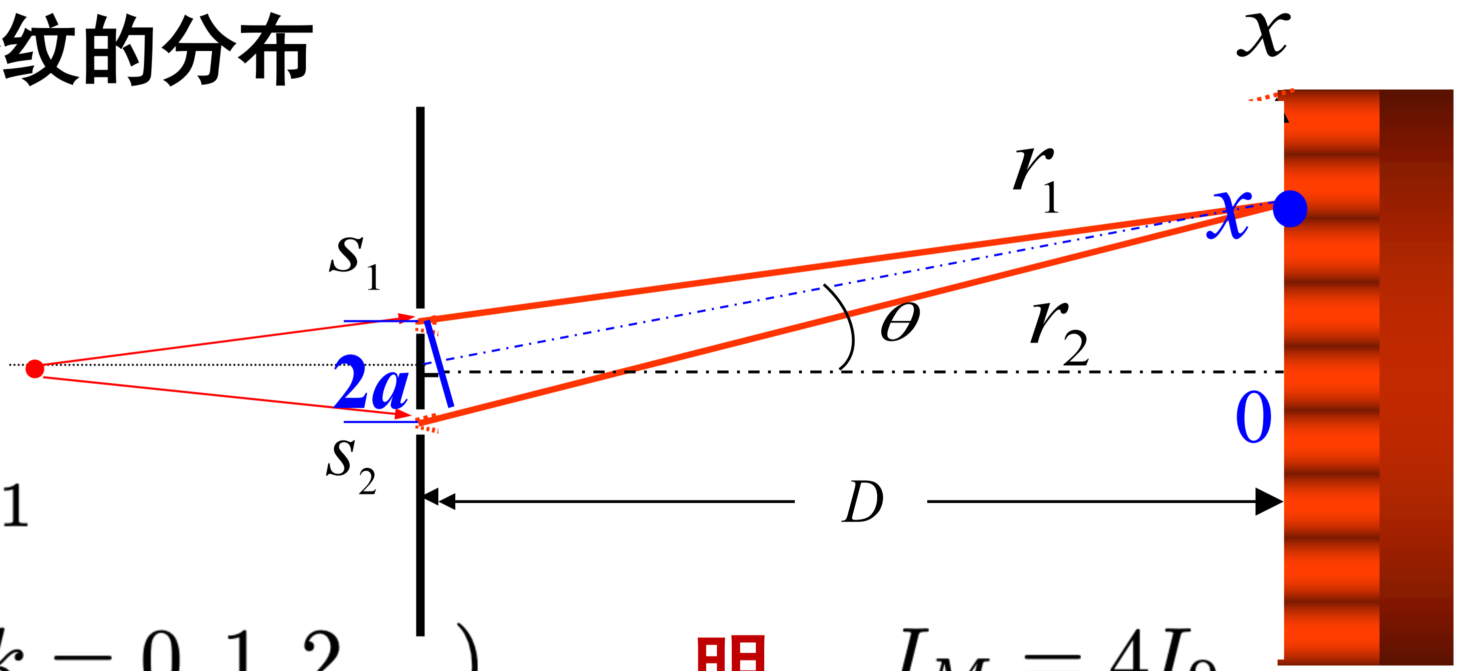
§2. 杨氏双缝干涉

一、实验装置

1、**杨氏双缝实验**（1801年　英国）



二、干涉条纹的分布



$$\delta = r_2 - r_1$$

$$= \begin{cases} \pm k\lambda \ (k = 0, 1, 2, \ldots) & \text{明} \quad I_M = 4I_0 \\ \pm(2k' - 1)\dfrac{\lambda}{2} \ (k' = 1, 2, \ldots) & \text{暗} \quad I_m = 0 \end{cases}$$

$$\delta \approx 2a\sin\theta = \frac{2ax}{D}$$

$$\left.\begin{matrix} 2a \ll D \\ x \ll D \end{matrix}\right\} \sin\theta \approx \tan\theta = \frac{x}{D}$$

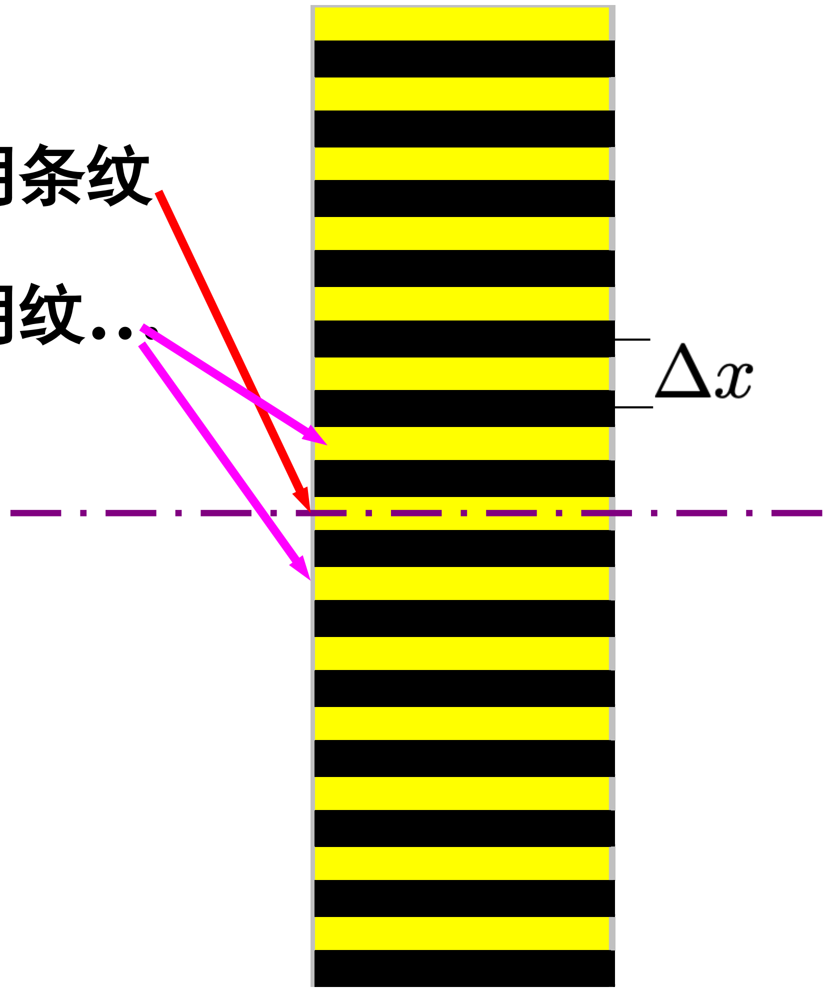
明纹 $x = \pm \dfrac{D}{2a} k\lambda$

暗纹 $x' = \pm \dfrac{D}{2a}(2k' - 1)\dfrac{\lambda}{2}$

明纹 $x=\pm\dfrac{D}{2a}k\lambda$

k=0 中央明条纹

k=1 一级明纹…



暗纹 $x'=\pm\dfrac{D}{2a}(2k'-1)\dfrac{\lambda}{2}$

条纹间距：

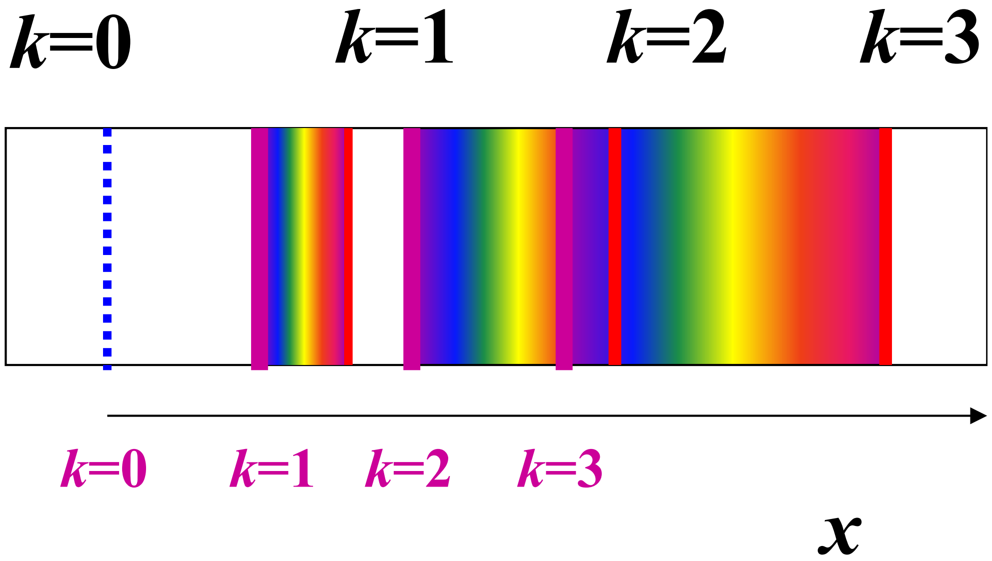
$$\Delta x=\frac{D}{2a}\lambda$$

1、$\Delta x\propto\lambda$，白光入射，出现彩带

2、为便于观察，需增大D、<u>减小2a</u>

例：用白光作光源观察双缝干涉，设缝间距 d，试求能观察到的清晰的可见光谱的级次

解：　白光0.4μm—0.7μm



$k=0$　　$x=0$各波长重叠

$k\neq0$　　各波长同级分开

$$x_{紫k}=k\frac{D}{2a}\lambda_{紫}\qquad x_{红k}=k\frac{D}{2a}\lambda_{红}$$

$k=?$　时重叠

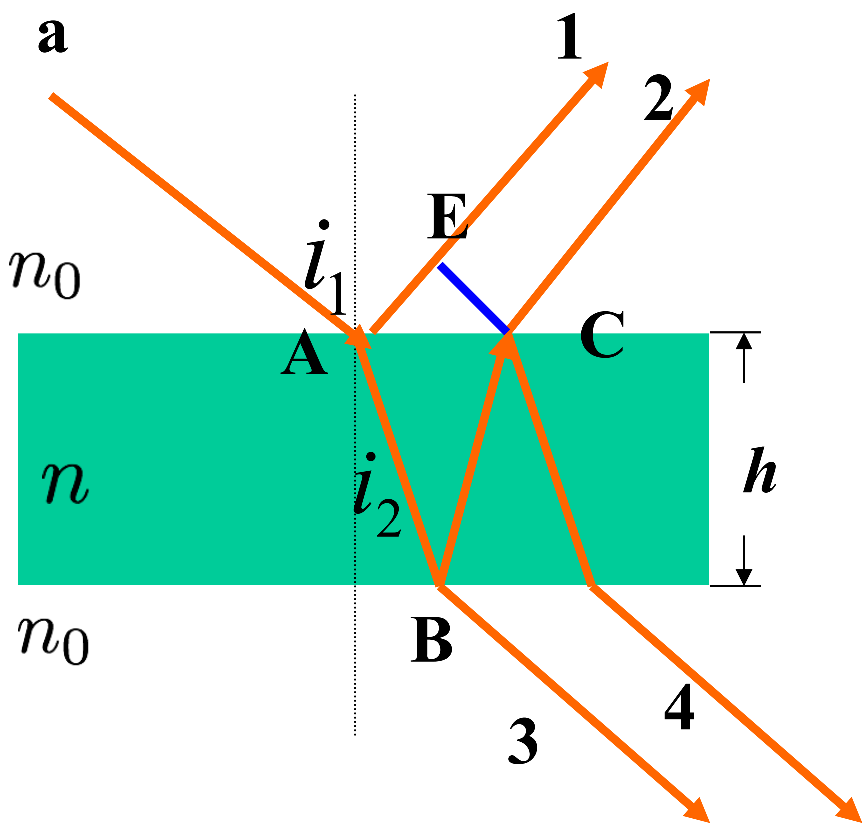
$$k\frac{D}{2a}\lambda_{红}=(k+1)\frac{D}{2a}\lambda_{紫}$$

第k级红光与第$k+1$级紫光重叠

$k=1.3$

§ 3. 光的分振幅干涉

一、薄膜干涉



$$\delta = \begin{cases} \pm k\lambda \ (k = 0, 1, 2, \ldots) & \text{明} \\ \pm(2k' - 1)\dfrac{\lambda}{2} \ (k' = 1, 2, \ldots) & \text{暗} \end{cases}$$

§ 3. 光的分振幅干涉

一、薄膜干涉

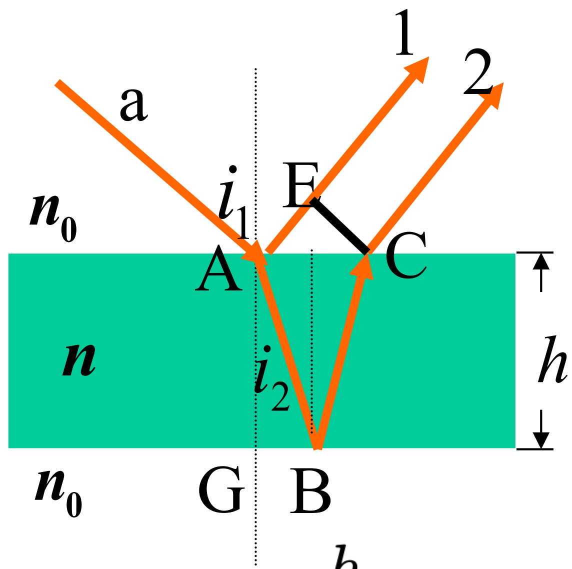
$$\delta = (\overline{AB} + \overline{BC})n - \overline{AE}n_0$$

$$= \frac{2hn}{\cos i_2} - 2hn_0 \tan i_2 \sin i_1$$

$$= \frac{2hn}{\cos i_2} - 2hn\frac{\sin^2 i_2}{\cos i_2}$$

$$= 2hn\cos i_2 = 2hn\sqrt{1-\sin^2 i_2}$$

$$= 2h\sqrt{n^2 - n_0^2 \sin^2 i_1}$$



$$\overline{AB} = \frac{h}{\cos i_2}$$

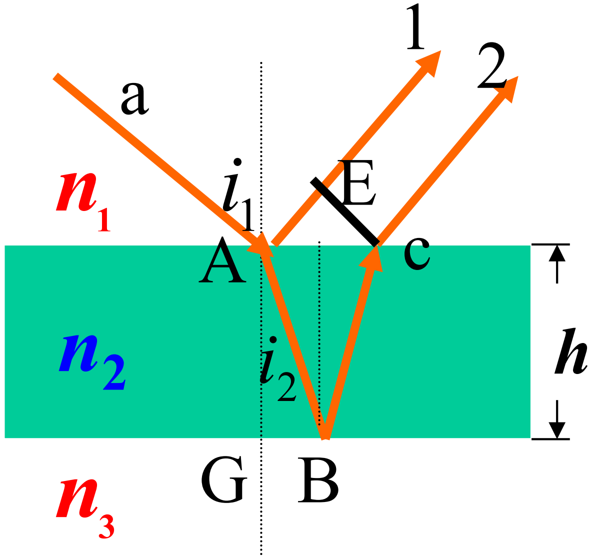
$$\frac{\overline{AE}}{\overline{AC}} = \sin i_1$$

$$\overline{AC} = 2\overline{GB} = 2h\tan i_2$$

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n}{n_0}$$

有半波损失？

一、薄膜干涉



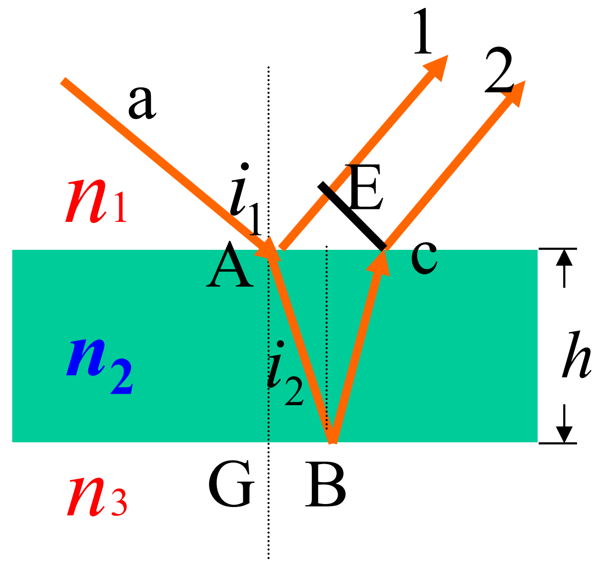
$$\delta = 2h\sqrt{n^2 - n_0^2 \sin^2 i_1}(+\frac{\lambda}{2})$$

若 $n_1 \neq n_2 \neq n_3$

$$\delta = 2h\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i_1}(+\frac{\lambda}{2})$$

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

$$\delta = 2h\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i_1}(+\frac{\lambda}{2})$$



注意：

1、 n_1为膜上方介质的折射率

n_2为膜的折射率

i_1—入射角　λ—真空中波长

2、半波损失　（$+\lambda/2$）

上表面有、下表面无，则（$+\lambda/2$）

上表面无、下表面有则（$-\lambda/2$）

统一表示为（$+\lambda/2$）

$n_1 < n_2 > n_3$

$n_1 > n_2 < n_3$

上表面有、下表面有

上表面无、下表面无

无$\lambda/2$

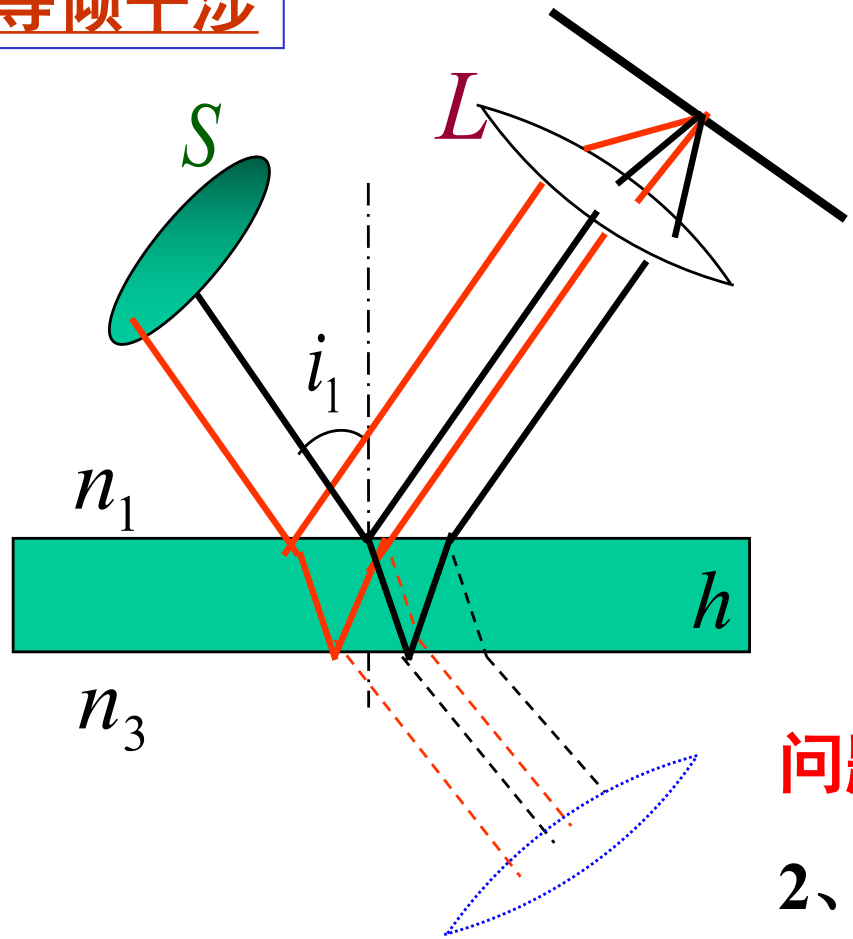
$n_1 > n_2 > n_3$

$n_1 < n_2 < n_3$

讨论：（设 n_1、n_2一定） $\delta = 2h\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i_1}(+\frac{\lambda}{2})$

1、 h 一定，i 变化

等倾干涉



1、 光程差是倾角的函数，各级亮条纹，随倾角变化，一个确定的亮纹上，倾角是一个定值。

2、所有的平行光汇聚在透镜焦平面上的同一点。使条纹的对比度更高。

问题：1、透射光的干涉情况如何？

2、透镜换成眼睛能看到这些条纹吗？

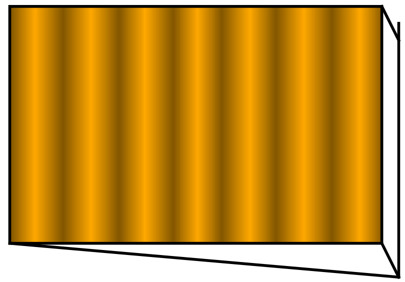
讨论：（设 n_1、n_2 一定） $\delta = 2h\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i_1}(+\frac{\lambda}{2})$

2、i 一定, h 变化　　$\boxed{\text{等厚干涉}}$

厚度相等处，出现干涉条纹一样。

干涉条纹为膜的等厚度点的轨迹

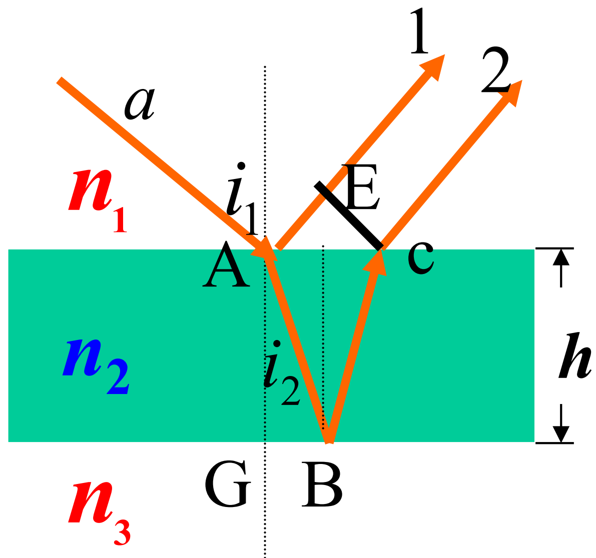
条纹出现在表面附近。



3、h 一定，　i 一定

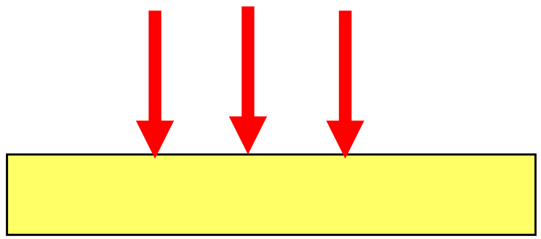
对一定的λ，可能出现明、暗、或半明半暗

白光照射，满足干涉加强条件的波长即为膜的颜色



例： 肥皂膜n_2=1.33, h=0.32μm白光垂直入射。求肥皂膜呈什么颜色？

解： $$\delta = 2n_2h + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$



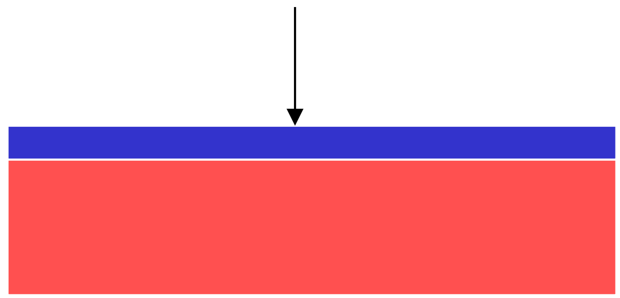
$$\lambda = \frac{2n_2h}{k-0.5} = \frac{0.8512}{k-0.5}$$

$k = 1, \lambda = 1.7\mu\text{m}$ 红外

$k = 2, \lambda = 0.567\mu\text{m}$ 绿光

$k = 3, \lambda = 0.34\mu\text{m}$ 紫外

例： 在玻璃表面镀一层均匀薄膜，为使可见光中对人眼最敏感的光反射相消，求膜的最小厚度。



空气 $n_1 = 1$

MgF_2 $n_2 = 1.38$

玻璃 $n_3 = 1.5$

人眼最敏感：黄绿光 $\lambda = 0.552\mu\mathrm{m}$

$$\delta = 2nh = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$ 暗纹

反射光相消 = 增透

$$nh = \frac{\lambda}{4}$$

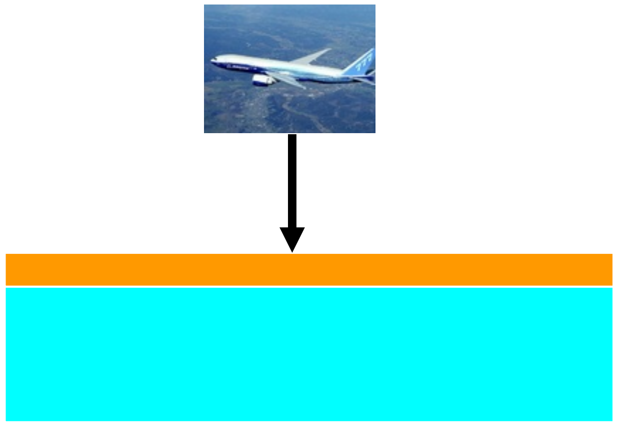
$$h = \frac{\lambda}{4n} = 0.1\mu\mathrm{m}$$

减反膜

增透膜

反射光呈现与透射光互补的蓝紫色！

例: 一油轮漏出的油(n_1=1.20)污染了某海域， 在海水(n_2=1.30)表面形成一层薄薄的油污. (1)如果太阳正位于海域上空, 一直升飞机的驾驶员从机上向下观察, 他所正对的油层厚度为460nm, 则他将观察到油层呈什么颜色? (2)如果一潜水员潜入该区域水下, 又将看到油层呈什么颜色?



解: (1) $\delta = 2n_1 d = k\lambda$

$$\lambda = \frac{2n_1 d}{k} \quad (k = 1, 2, \ldots)$$

$$k = 1, \lambda = 2n_1 d = 1104\text{nm}$$

$$k = 2, \lambda = n_1 d = 552\text{nm}$$

绿色

$$k = 3, \lambda = \frac{2}{3} n_1 d = 368\text{nm}$$

(2) 透射光的光程差

$$\delta = 2n_1 d + \lambda/2$$

$$k = 1, \lambda = \frac{2n_1 d}{1 - 1/2} = 2208\text{nm}$$

紫红色

$$k = 2, \lambda = \frac{2n_1 d}{2 - 1/2} = 736\text{nm}$$ 红光

$$k = 3, \lambda = \frac{2n_1 d}{3 - 1/2} = 441.6\text{nm}$$ 紫光

$$k = 4, \lambda = \frac{2n_1 d}{4 - 1/2} = 315.4\text{nm}$$

分析干涉问题注意：

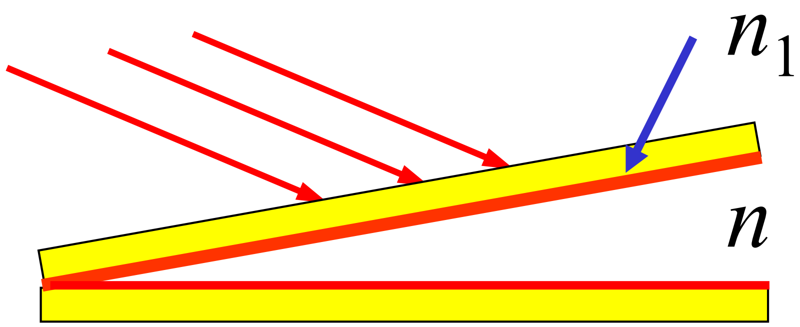
1、弄清哪两束光在干涉。

2、正确计算出相干光在干涉点处的光程差。注意半波损失产生的附加光程差。

3、分析干涉条纹的特点。

二、等厚干涉条纹及其应用

1. 劈尖

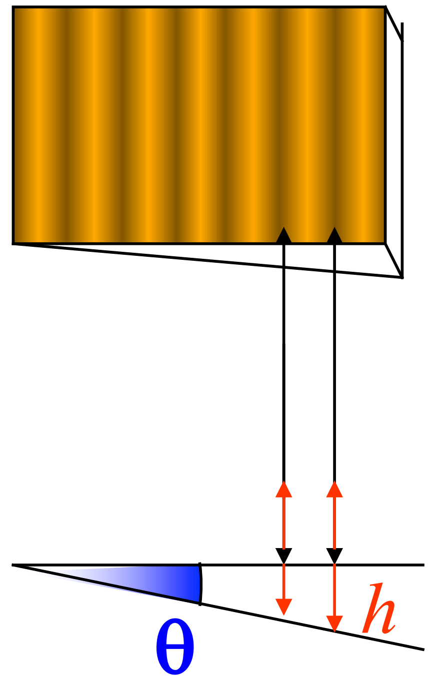


$$\delta = 2h\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i_1}\left(+\frac{\lambda}{2}\right)$$

$$= 2h\sqrt{n^2 - n_1^2 \sin^2 i_1}\left(+\frac{\lambda}{2}\right)$$ **垂直入射**

思考：上表面平移、θ 改变条纹如何移动

$$\delta = 2nh + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda \\ (2k'+1)\dfrac{\lambda}{2} \end{cases}$$

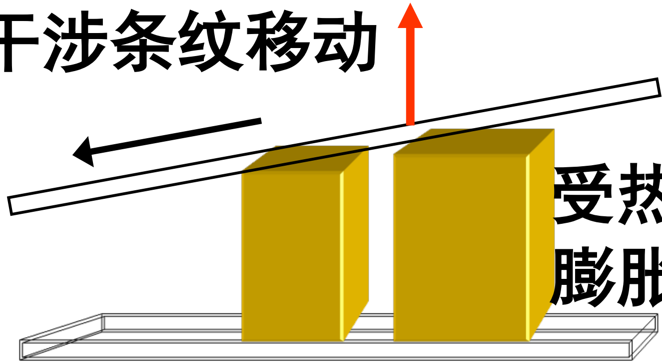


相邻两条纹

- 膜的厚度差 $\Delta h = h_{k'+1} - h_{k'} = \dfrac{\lambda}{2n}$
- 中心间距 $\Delta l = \dfrac{\Delta h}{\sin\theta} \approx \dfrac{\Delta h}{\theta}$

1. 劈尖　　应用

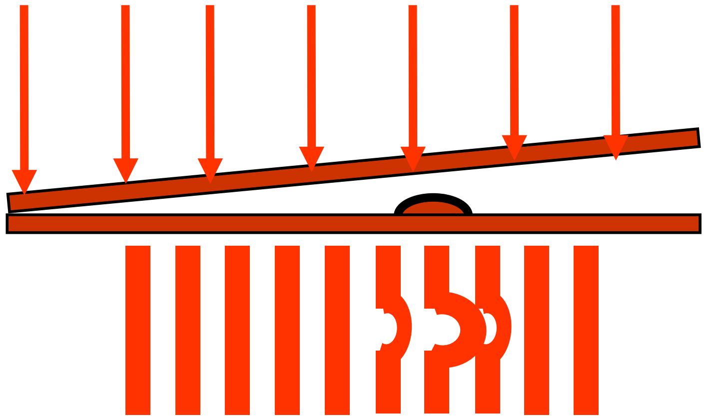
测长度微小变化



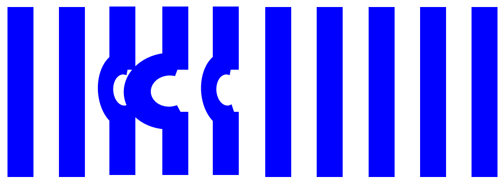
$$\Delta h = \frac{\lambda}{2n}$$

条纹整体移 Δl 不变

检查光学平面的缺陷



条纹偏向膜（空气）厚部表示平面上有凸起。



平面上有凹坑。

2、牛顿环

光学 $$2h+\frac{\lambda}{2}=\begin{cases} k\lambda & \text{明} \\ (2k'+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗} \end{cases}$$

几何 $$R^2=r^2+(R-h)^2$$

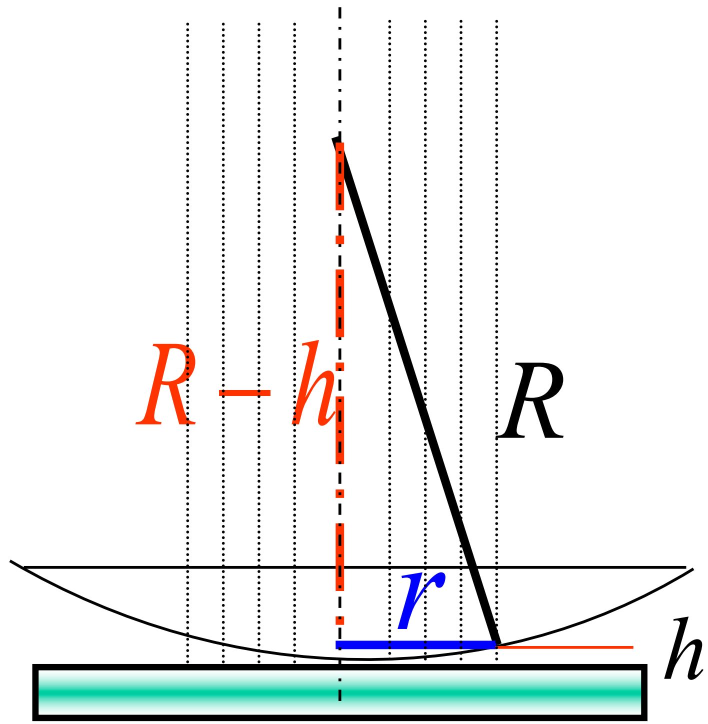
$$r^2=2hR-h^2$$

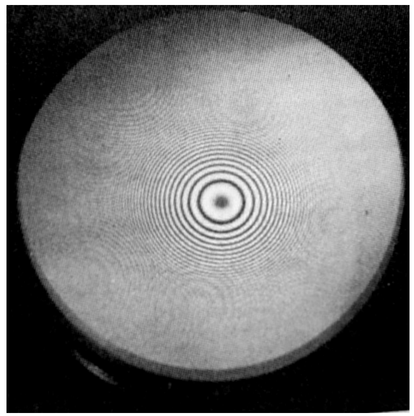
暗环 $$r^2=k'R\lambda$$

明环 $$r^2=(2k-1)R\frac{\lambda}{2}$$

$r\propto\sqrt{k'R\lambda}$ 内疏外密

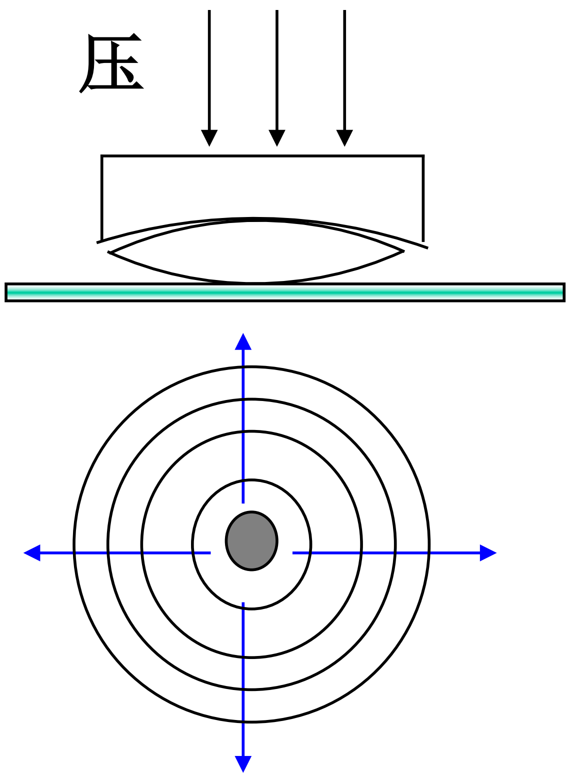
半径越大，级次越高。

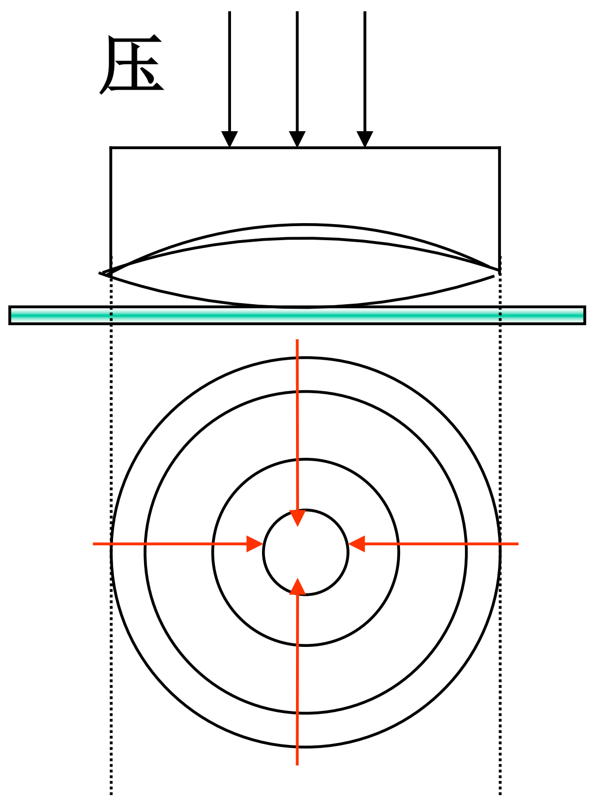




思考：中间若是另一种介质 n ？

牛顿环在光学冷加工中的应用





环外扩：要打磨中央部分　　**环内缩：要打磨边缘部分**

§4. 迈克耳孙干涉仪

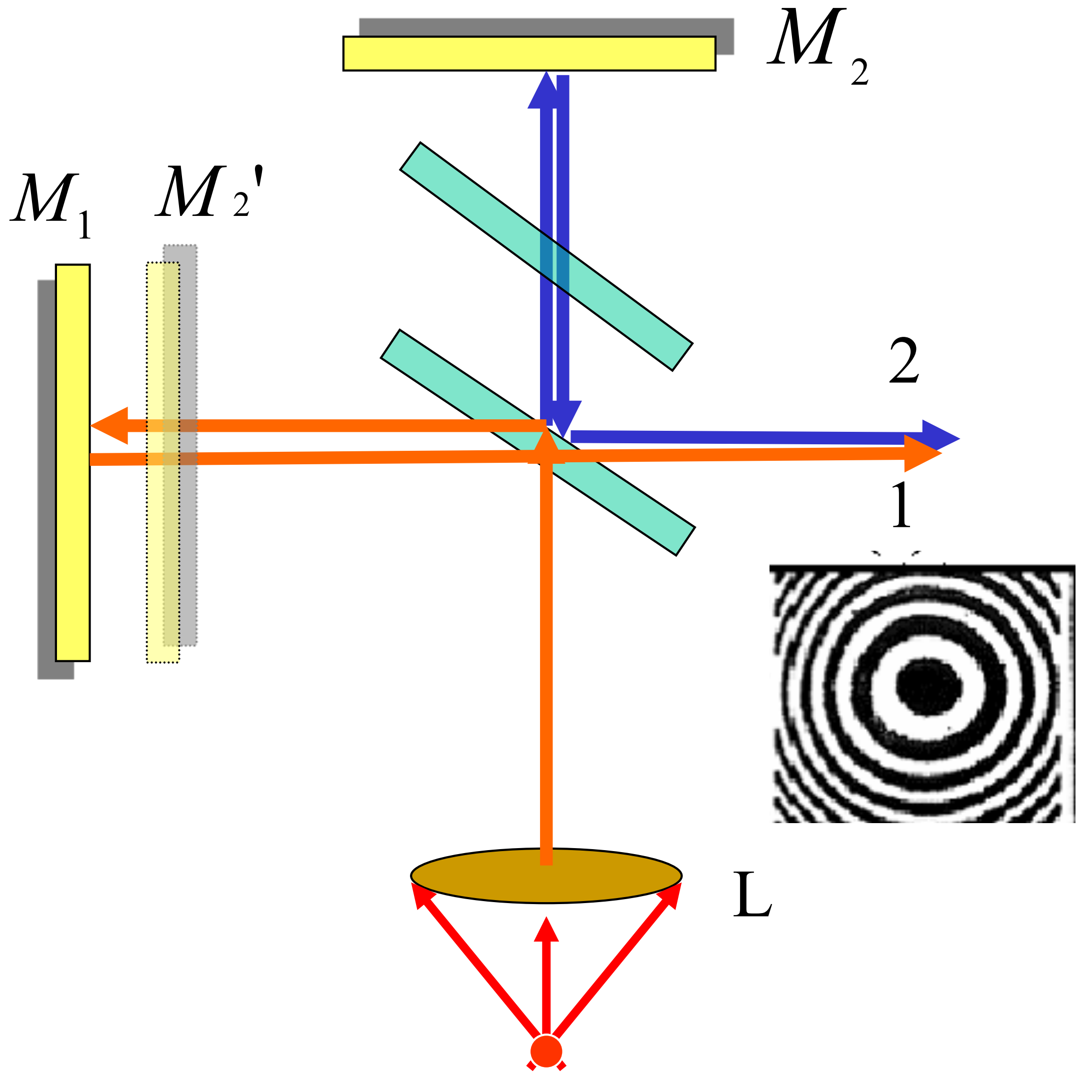
$M_1 // M_2'$

M_1与M_2垂直时 等倾

1、同心圆

2、内疏外密

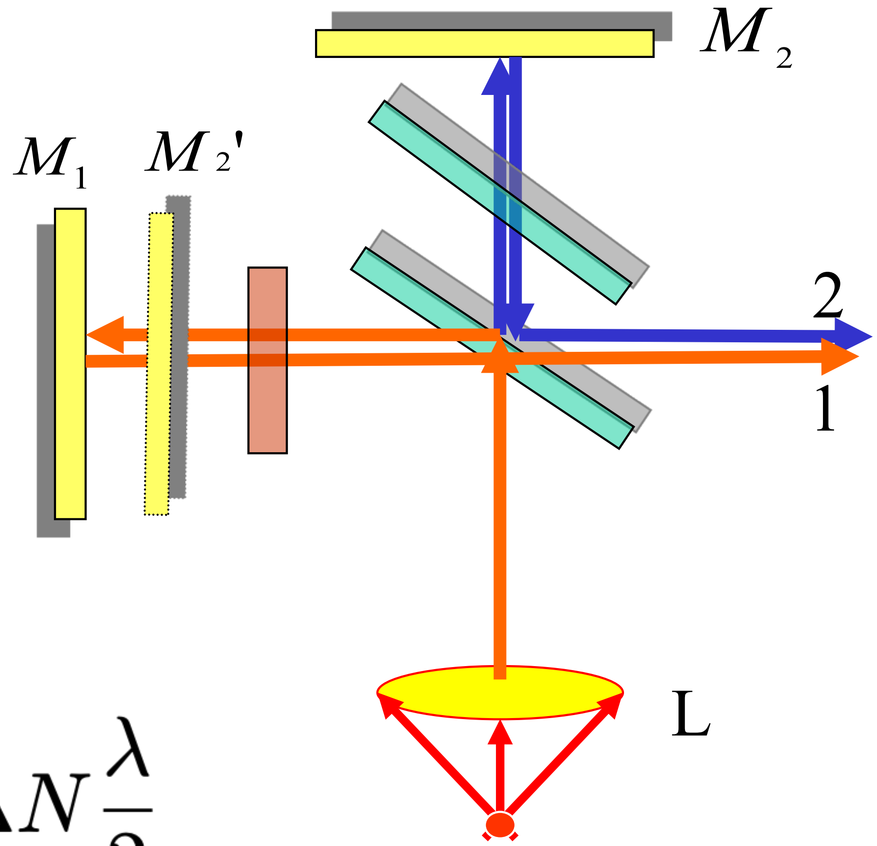
3、中心高级次



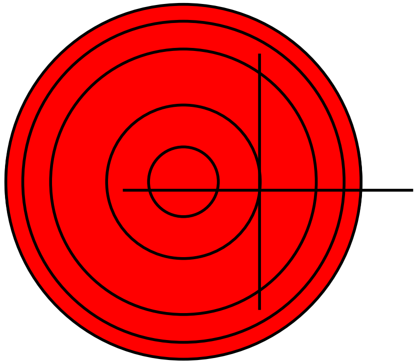
§ 4. 迈克耳孙干涉仪

平移M_1、d 变化、条纹分布变化

$$h\uparrow\rightarrow k\uparrow$$



更高级次的环从中心“涌出”所有的环都往外扩。



$$\Delta h=\Delta N\frac{\lambda}{2}$$

M_1与M_2不垂直时 等厚

如果放一介质，光程差如何改变？

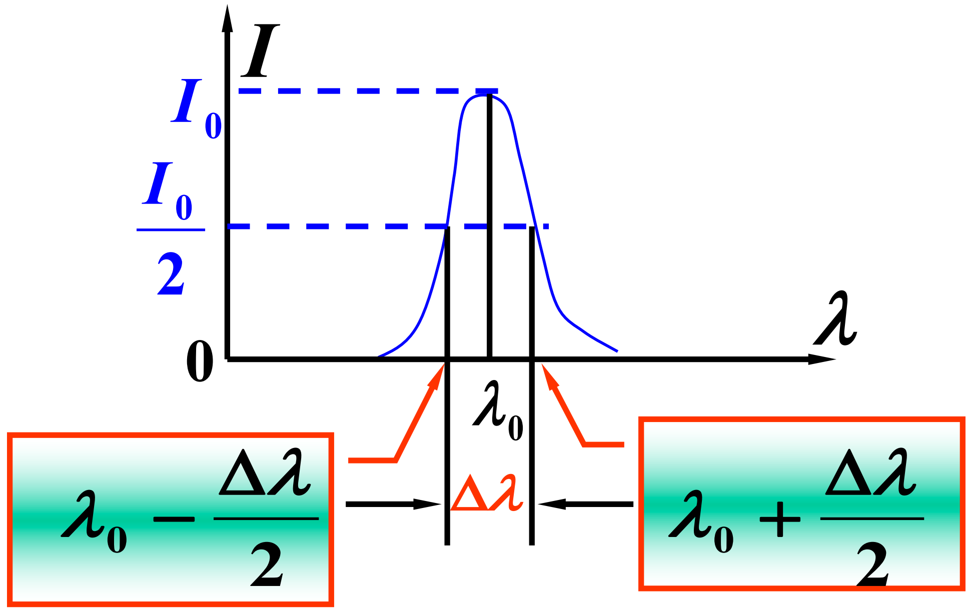
§ 5. 光的时空相干性

一、 时间相干性

1. 准单色光的谱线宽度

单色光 准单色光

光强降到一半时曲线的宽度—— **谱线宽度 Δλ**

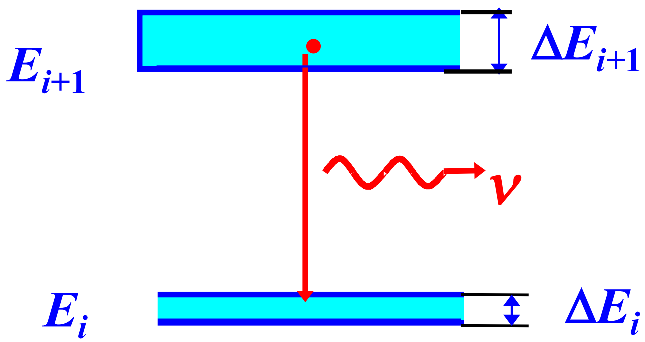


- 造成谱线宽度的原因

(1) 自然宽度

(2) 多普勒增宽

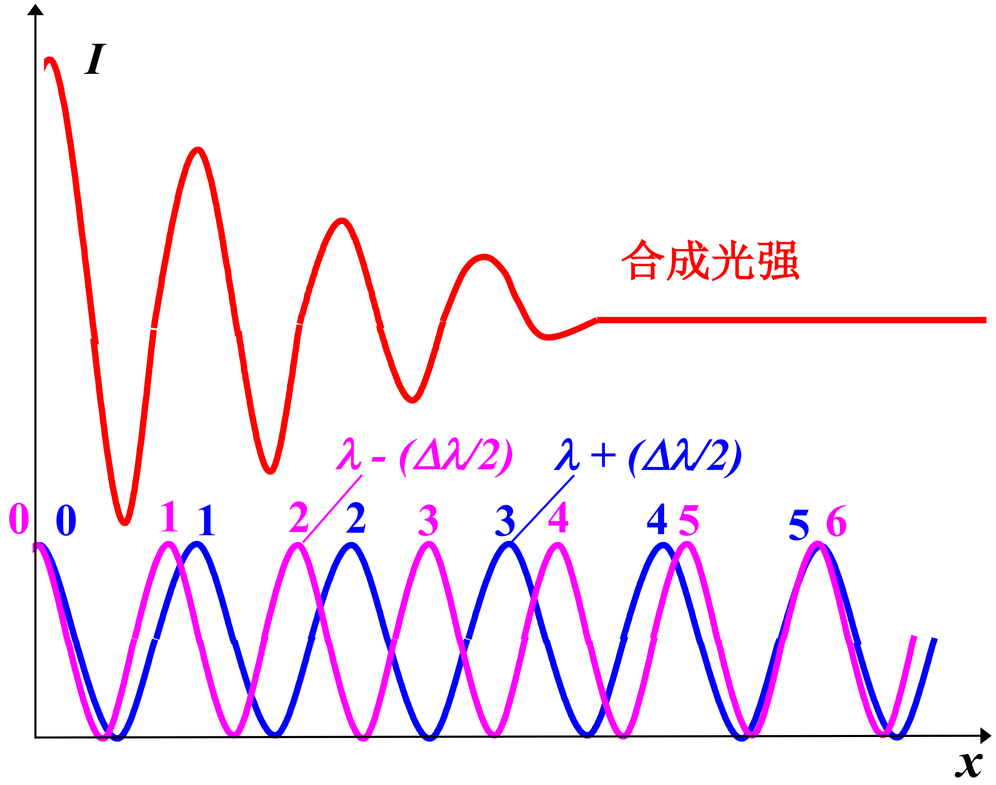
(3) 碰撞增宽



2. 非单色性对干涉条纹的影响

$$\left.\begin{aligned} x_k &= \pm\frac{D}{2a}k\lambda = x_{k'} \\ k' &= k+1 \end{aligned}\right\} \quad k\left(\lambda+\frac{\Delta\lambda}{2}\right)=(k+1)\left(\lambda-\frac{\Delta\lambda}{2}\right)$$

不同波长的叠加：非相干叠加
—— 光强叠加



由于光源的非单色性，
k 级以上条纹消失！

干涉的最大级次

$$k_m = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (\lambda \gg \Delta\lambda)$$

两列波能发生干涉的最大光程差：

$$\delta_m = k_m\lambda$$

3. 相干长度与相干时间

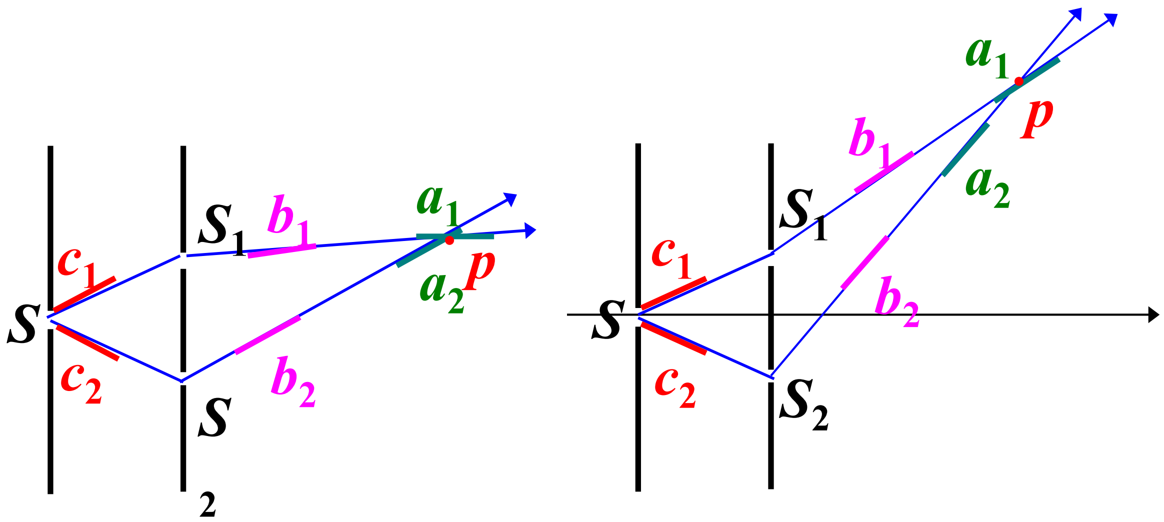
相干长度： 两束光能发生干涉的最大光程差

$$\delta_m = k_m\lambda = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} = L$$

相干时间： 光通过相干长度所需时间 $\tau = \dfrac{\delta_m}{c}$

波列长度就是<u>相干长度</u>

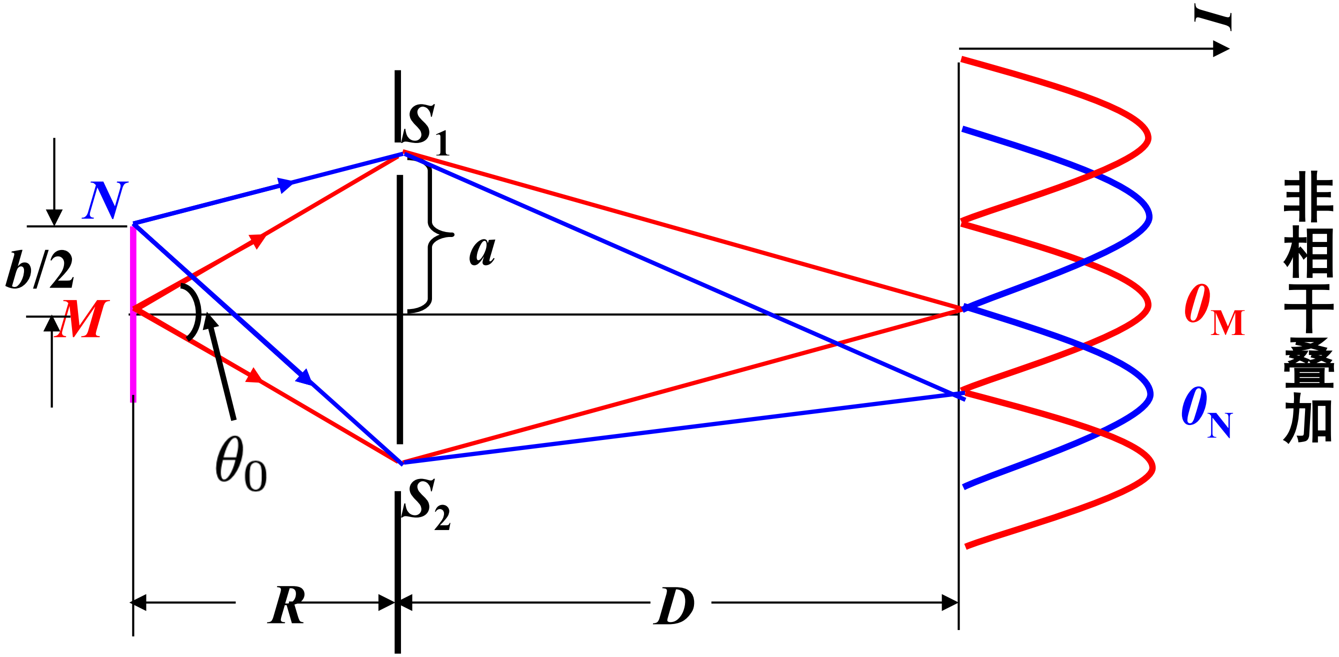
只有同一波列分成的两部分经不同的光程再相遇时才能发生干涉。



二、空间相干性 ---光源宽度对干涉条纹的影响

设光源宽度为b

临界宽度b_0



当$b=b_0$时，
干涉条纹刚好消失

$$\delta=\frac{2a(b_0/2)}{R}=\frac{\lambda}{2}$$

$$b_0=\frac{R}{2a}\lambda=\frac{\lambda}{\theta_0}$$

$$\theta_0=\frac{2a}{R}$$ —— 相干孔径角