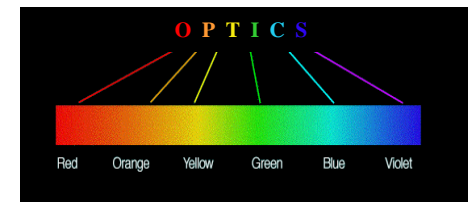
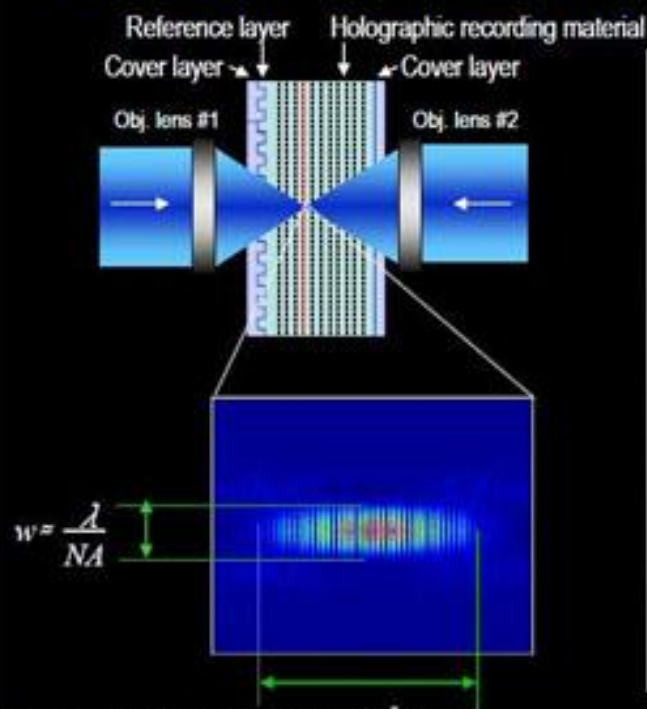


第四章 波动光学-干涉



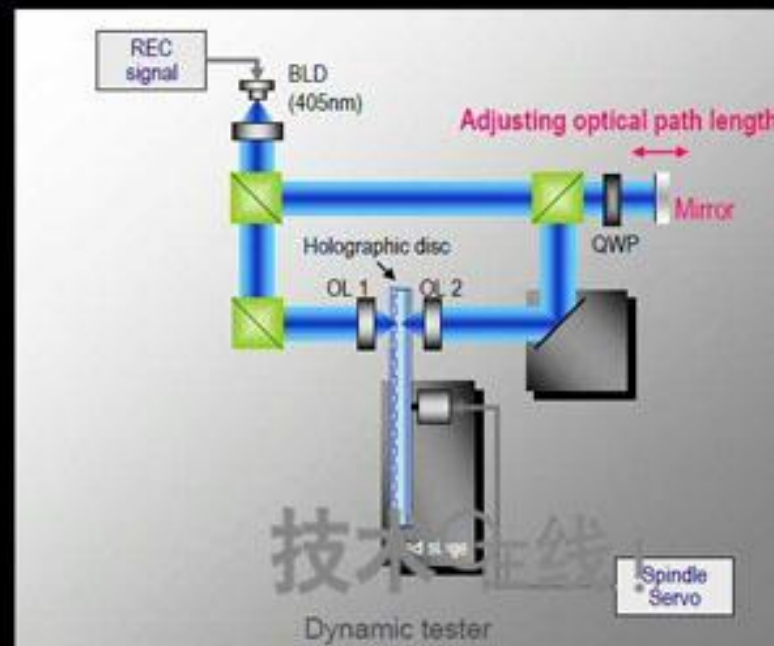
Recording Setup

Recording micrometer-sized holograms



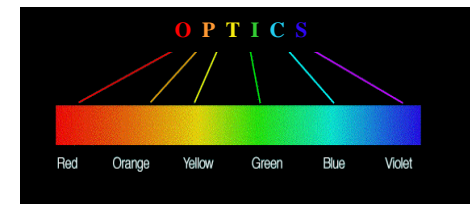
λ : wave length of the laser beam
 n : refractive index of the media
 NA : numerical aperture

Sony Corporation

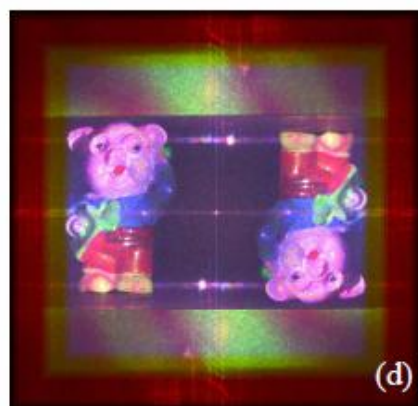
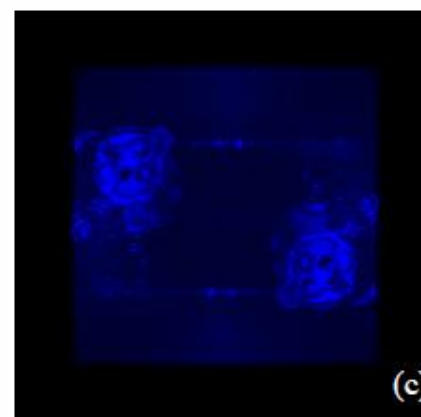
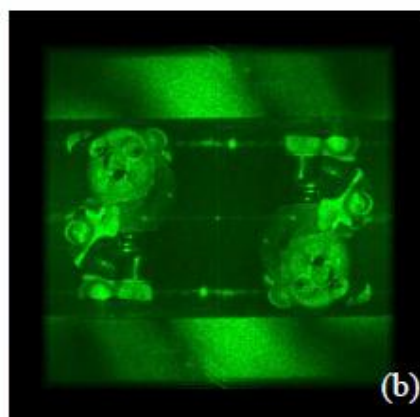
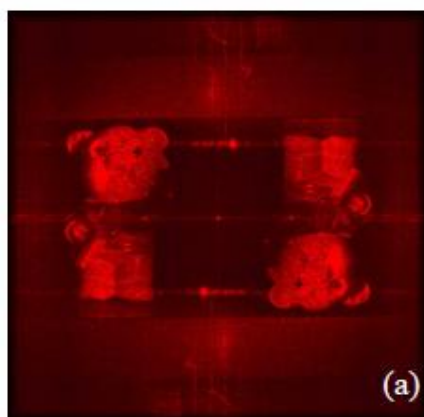


190416

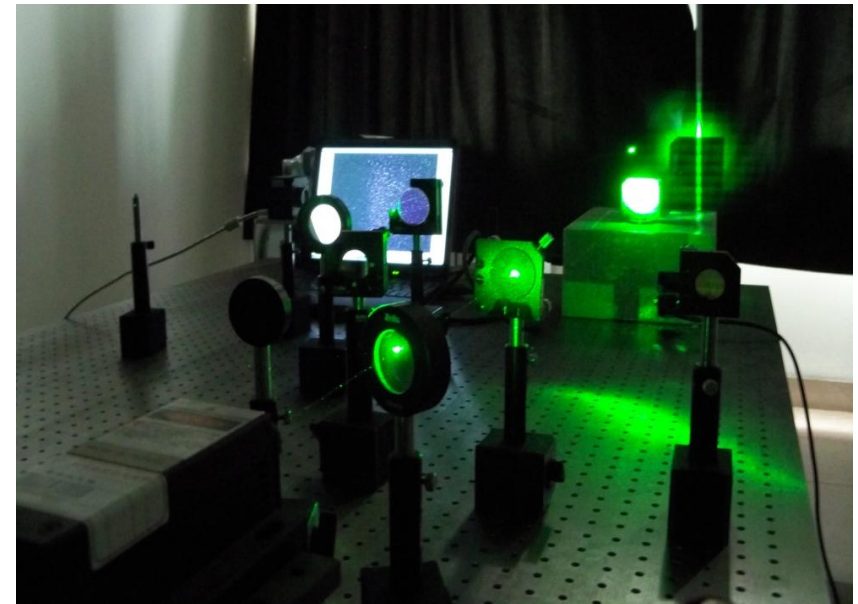
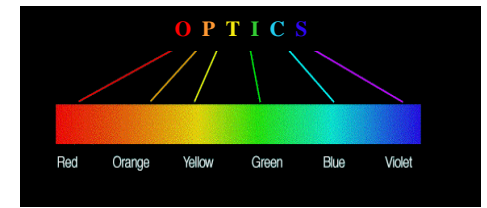
第四章 波动光学-干涉



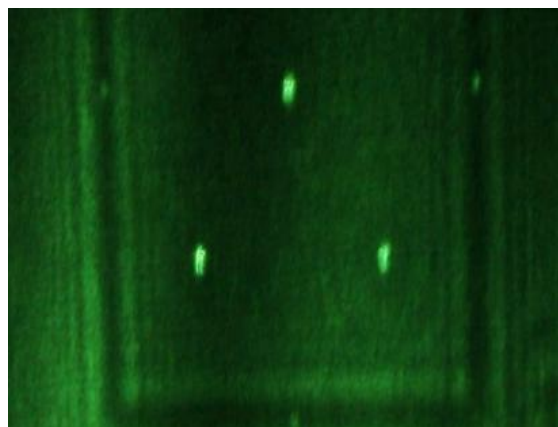
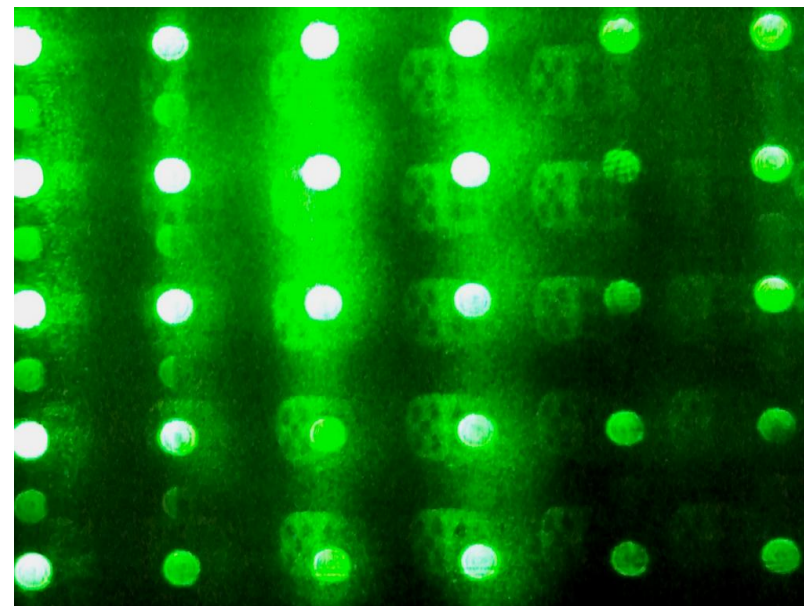
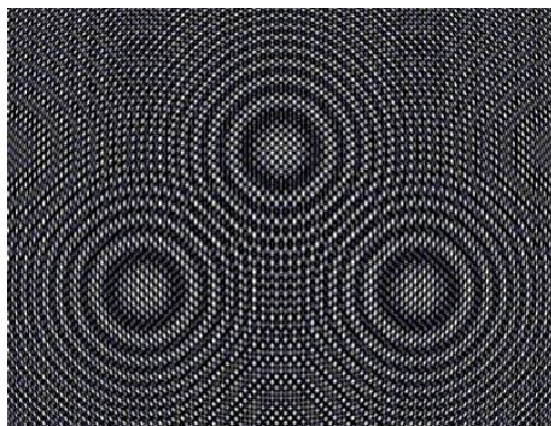
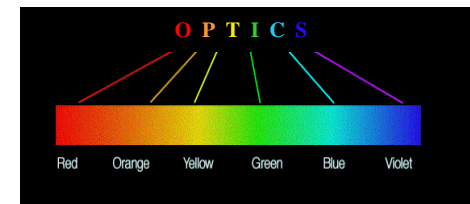
彩色数字全息成像



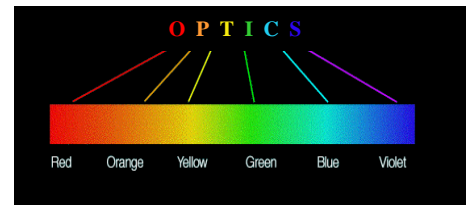
第四章 波动光学-干涉



第四章 波动光学-干涉



第四章 波动光学-干涉



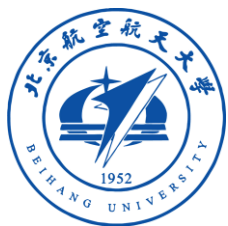
一，光波的复数和复振幅描述

标量波表示：

电场E—光矢量；E的振动—光振动
不考虑振动的方向性，只考虑振幅大小。

标量波的一般形式：

$$U(P, t) = A(P) \cos(\omega t - \phi(P))$$



第四章 波动光学-干涉



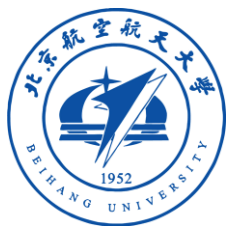
1.1 波函数的复数表示

$$U(P, t) = A(P)e^{-i(\omega t - \phi(P))} = A(P)e^{i\phi(P)} \cdot e^{-i\omega t}$$

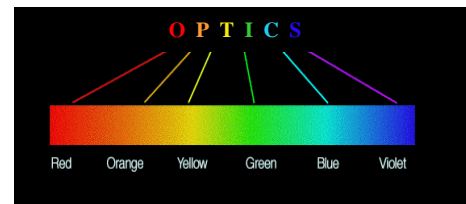
$$\text{平面波: } U(r, t) = Ae^{-i(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r})} = Ae^{i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}} \cdot e^{-i\omega t}$$

$$\text{球面波: } U(r, t) = \frac{a_1}{r} e^{-i(\omega t - kr)} = \frac{a_1}{r} e^{ikr} \cdot e^{-i\omega t}$$

$$\text{柱面波: } U(r, t) = \frac{b_1}{\sqrt{r}} e^{-i(\omega t - kr)} = \frac{b_1}{\sqrt{r}} e^{ikr} \cdot e^{-i\omega t}$$



第四章 波动光学-干涉



1.2 复振幅

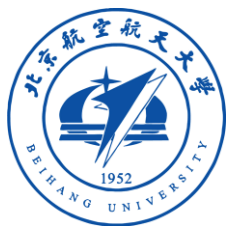
复振幅定义: $\tilde{U}(P) = A(P)e^{i\phi(P)}$

平面波复振幅:

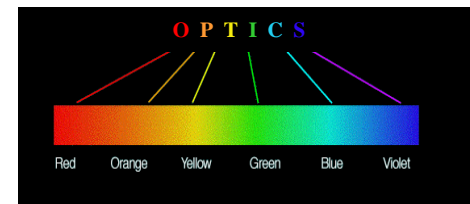
$$\tilde{U}(r) = Ae^{i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r}} = Ae^{ik(\cos\alpha\cdot x + \cos\beta\cdot y + \cos\gamma\cdot z)}$$

2个特点:

- a. 振幅常数;
- b. 相位因子是场点（坐标）的线性函数



第四章 波动光学-干涉



球面波复振幅:

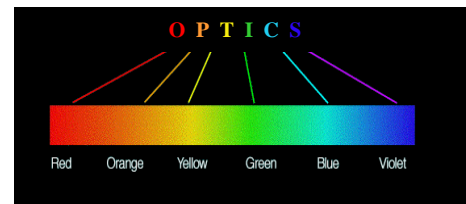
发散波: $\tilde{U}(r) = \frac{a_1}{r} e^{ikr}$

会聚波: $\tilde{U}(r) = \frac{a_1}{r} e^{-ikr}$

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}$$



第四章 波动光学-干涉

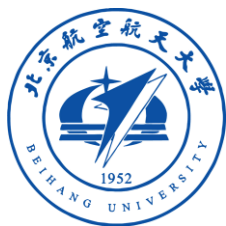


1.3 波前函数:

等相位面或走在最前面的波面。
(经典光学)

与接受面直接相互作用的光场。
(现代光学)

波前函数 \Leftrightarrow 波的类型和特征



第四章 波动光学-干涉



二，光驻波

波的迭加原理：

总扰动等于各分扰动之和（线性迭加）

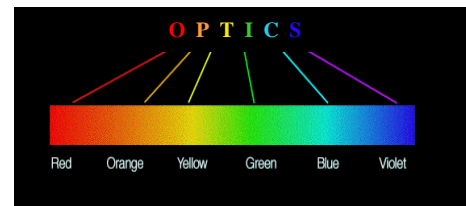
$$U(P, t) = U_1(P, t) + U_2(P, t)$$

驻波：

两个频率相同、振动方向相同、传播方向相反的单色光波迭加。



第四章 波动光学-干涉



入射波 $U_1(P, t) = A \cos(\omega t + kz)$

反射波 $U_2(P, t) = A \cos(\omega t - kz + \delta)$

$$U = U_1 + U_2$$

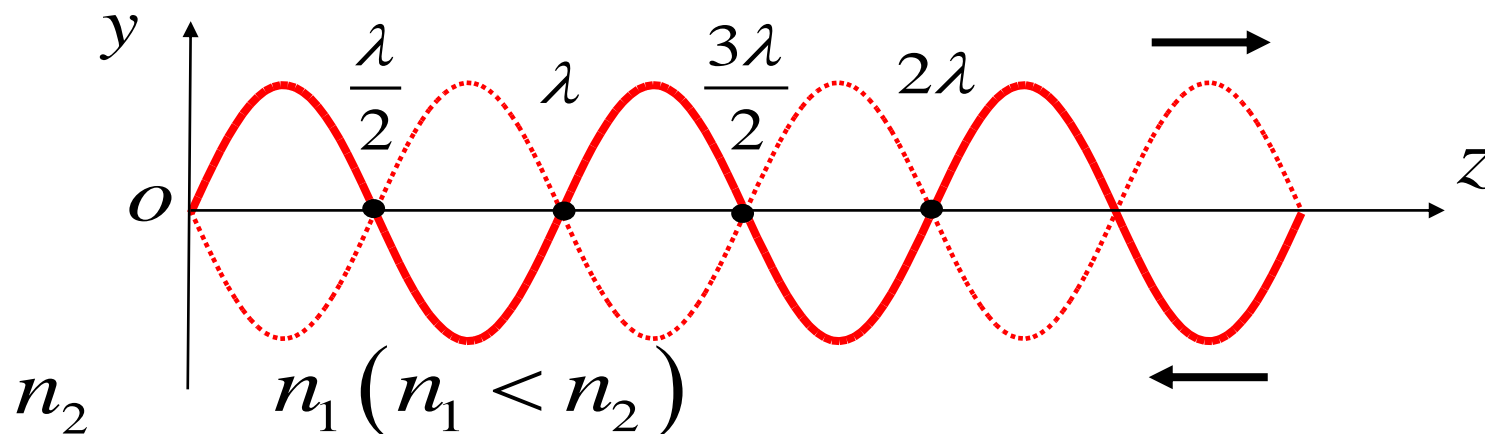
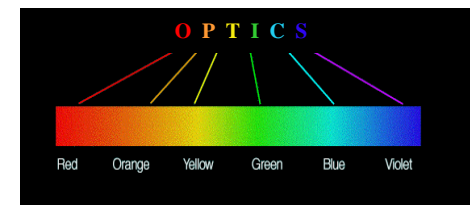
$$U = 2A \cos\left(kz - \frac{\delta}{2}\right) \cos\left(\omega t + \frac{\delta}{2}\right)$$

附加位相变化: $n_2 > n_1, \delta = \pi$

$$n_2 < n_1, \delta = 0$$



第四章 波动光学-干涉

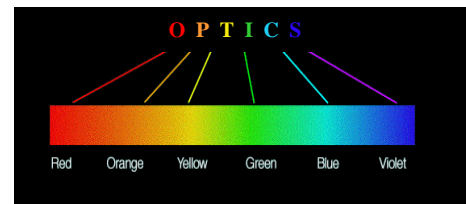


波节：振幅为零的点

波腹：振幅最大的点



第四章 波动光学-干涉

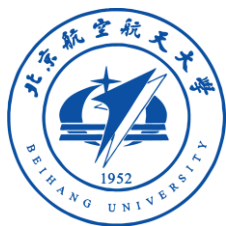


形成波节条件:

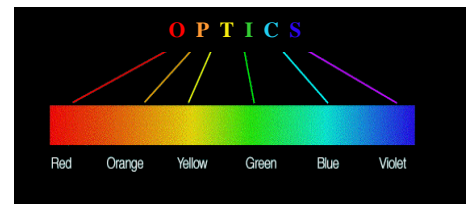
$$kz - \frac{\delta}{2} = \pm n \frac{\pi}{2} \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

形成波腹条件:

$$kz - \frac{\delta}{2} = \pm n \frac{\pi}{2} \quad n = 0, 2, 4, \dots$$



第四章 波动光学-干涉



几点结论:

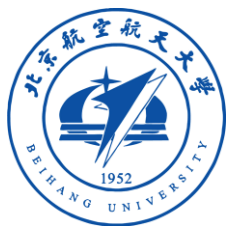
➤ 相邻波节或波腹的间距: $\lambda/2$

➤ 波节与最近波腹的距离: $\lambda/4$

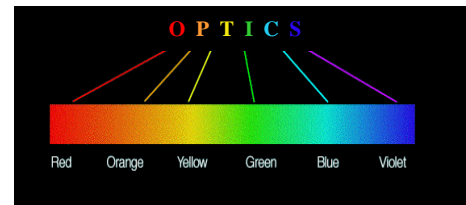
➤ 在分界面

$\delta = \pi$, 形成波节

$\delta = 0$, 形成波腹



第四章 波动光学-干涉



三，光的干涉

3.1 光波的相干叠加

总光强：

$$I(P) = I_1(P) + I_2(P) + \Delta I(P)$$

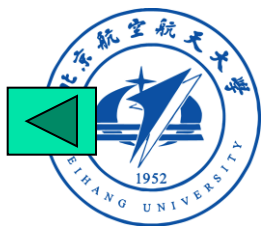
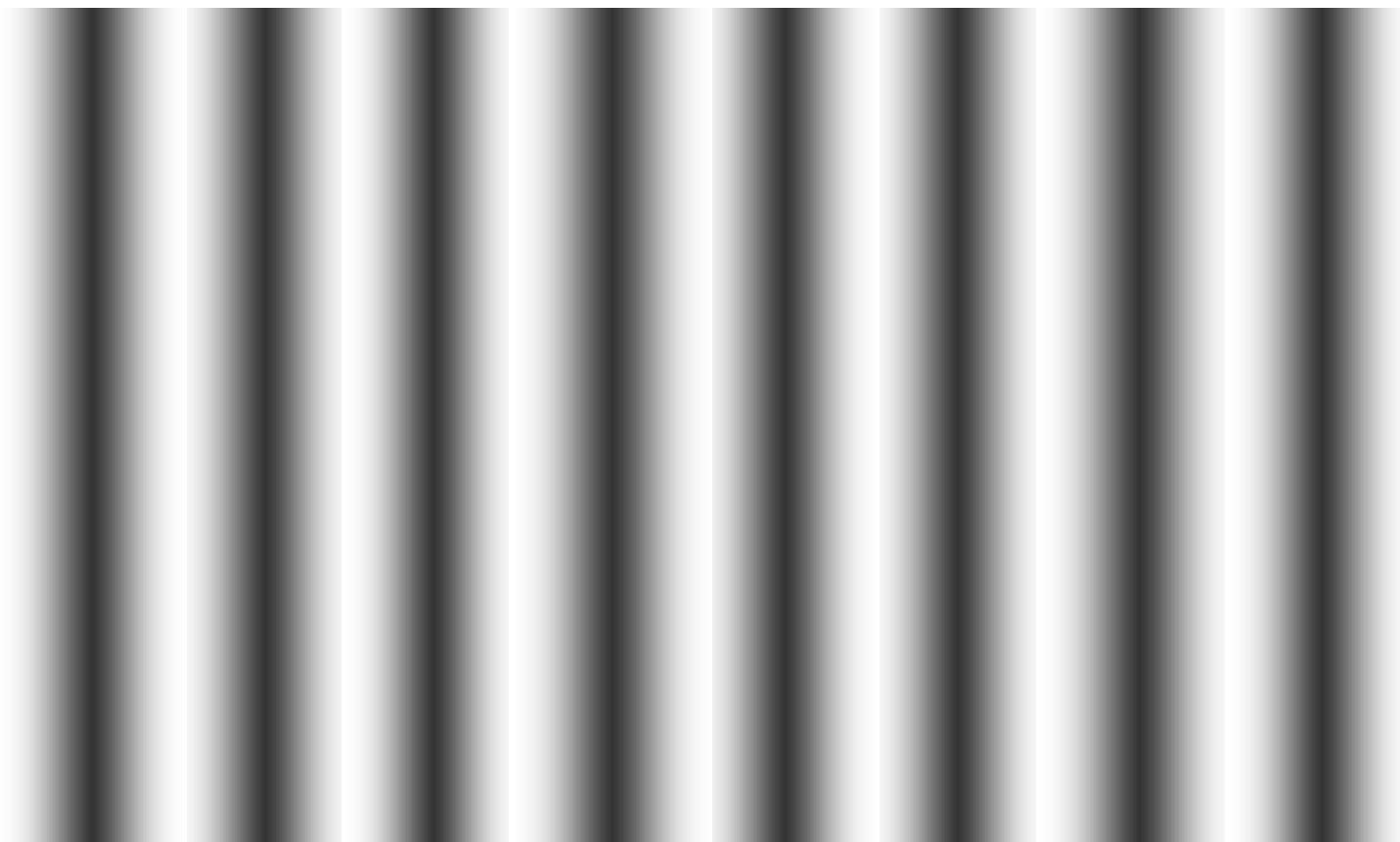
$$\Delta I(P) = 0 \quad \text{光的非相干叠加}$$



第四章 波动光学-干涉



光波的相干叠加



第四章 波动光学-干涉

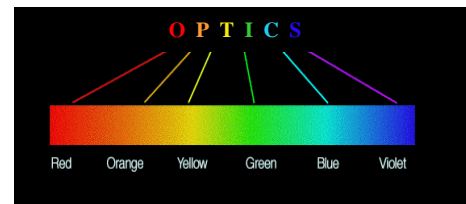


产生光波相干叠加的充要条件：

- (1) 振动方向相同或有方向相同的振动分量；
- (2) 频率相同；
- (3) 场点有稳定的相位差 δ 。



第四章 波动光学-干涉



双光束干涉强度公式（*证明自学）：

$$U_1 = a_1 \cos \phi$$

$$U_2 = a_2 \cos(\phi + \delta)$$

$$U = U_1 + U_2 = A \cos \delta$$

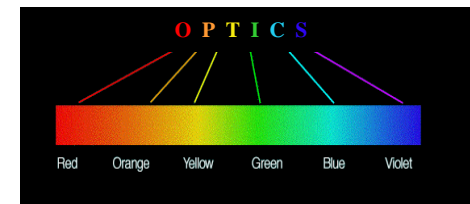
$$A^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos \delta$$

或

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta$$

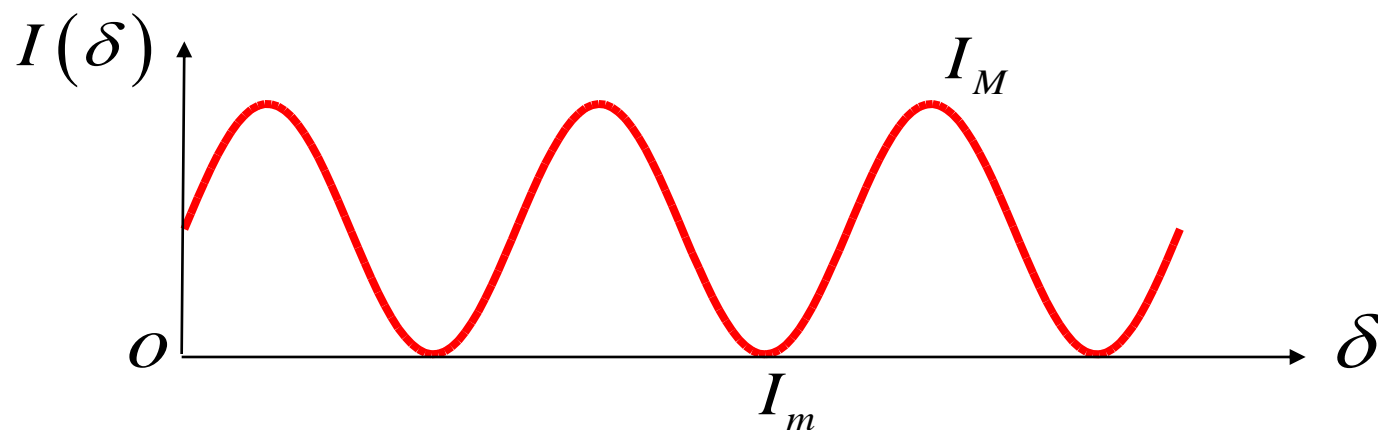


第四章 波动光学-干涉

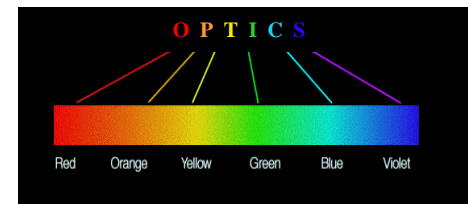


3.2 干涉场的衬比度

$$\gamma = \frac{I_M - I_m}{I_M + I_m}$$



第四章 波动光学-干涉



双光束干涉衬比度:

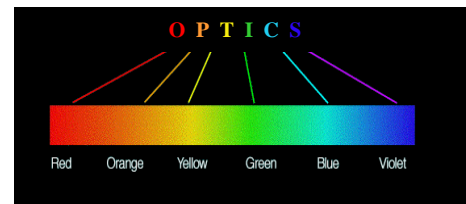
$$\gamma = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2}$$

or

$$\gamma = \frac{2(A_1/A_2)}{1 + (A_1/A_2)^2}$$



第四章 波动光学-干涉



结论:

参与相干叠加的两束光的振幅越接近
则衬比度 γ 值越大, 取值范围:

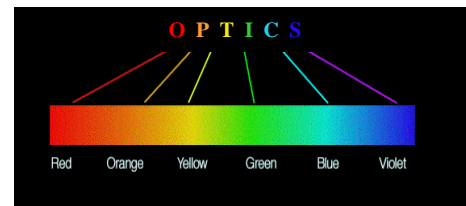
$$0 \leq \gamma \leq 1$$

干涉强度公式:

$$I(P) = I_0 (1 + \gamma \cos \delta(P))$$



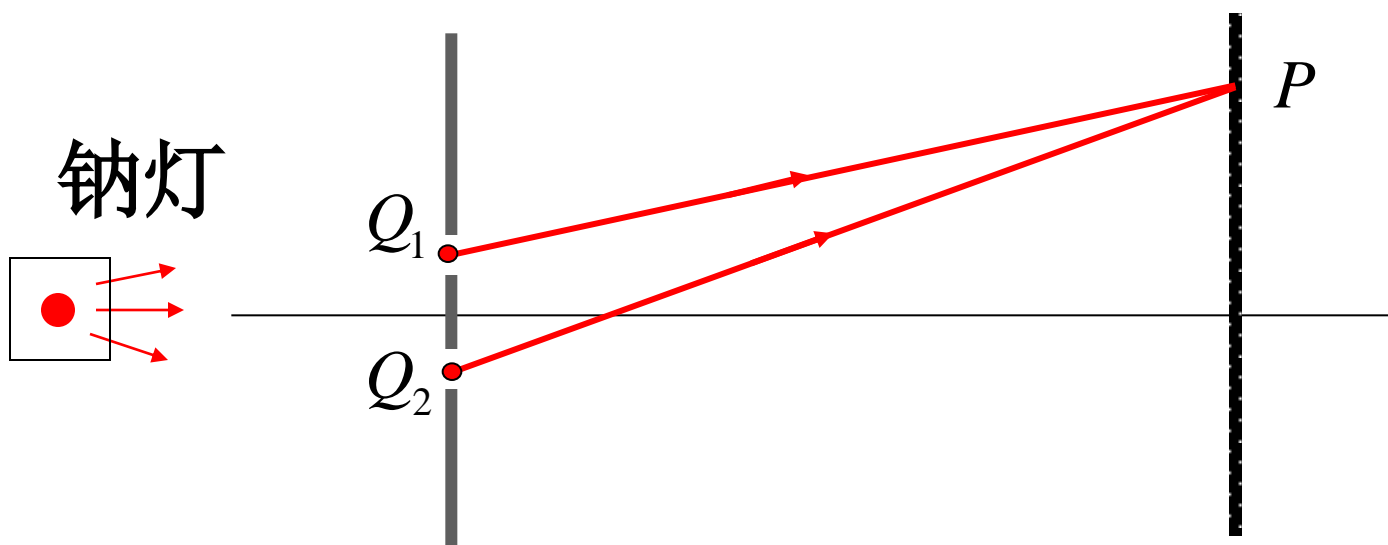
第四章 波动光学-干涉



3.3 分波前干涉

(1) 杨氏干涉实验

光波叠加的特殊性，相干长度



第四章 波动光学-干涉



光源特性对比:

普通光源:

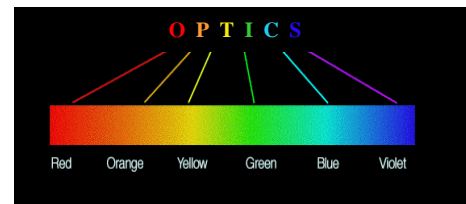
- 发光断续性;
- 相位无规律性;
- 发光独立性。

理想单色光:

- 频率单一;
- 波列无限长;
- 初相位固定;
- 振幅不变。



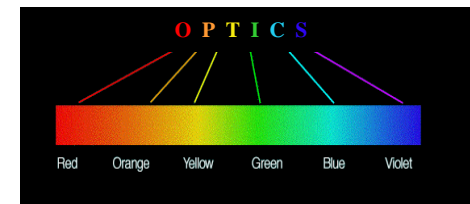
第四章 波动光学-干涉



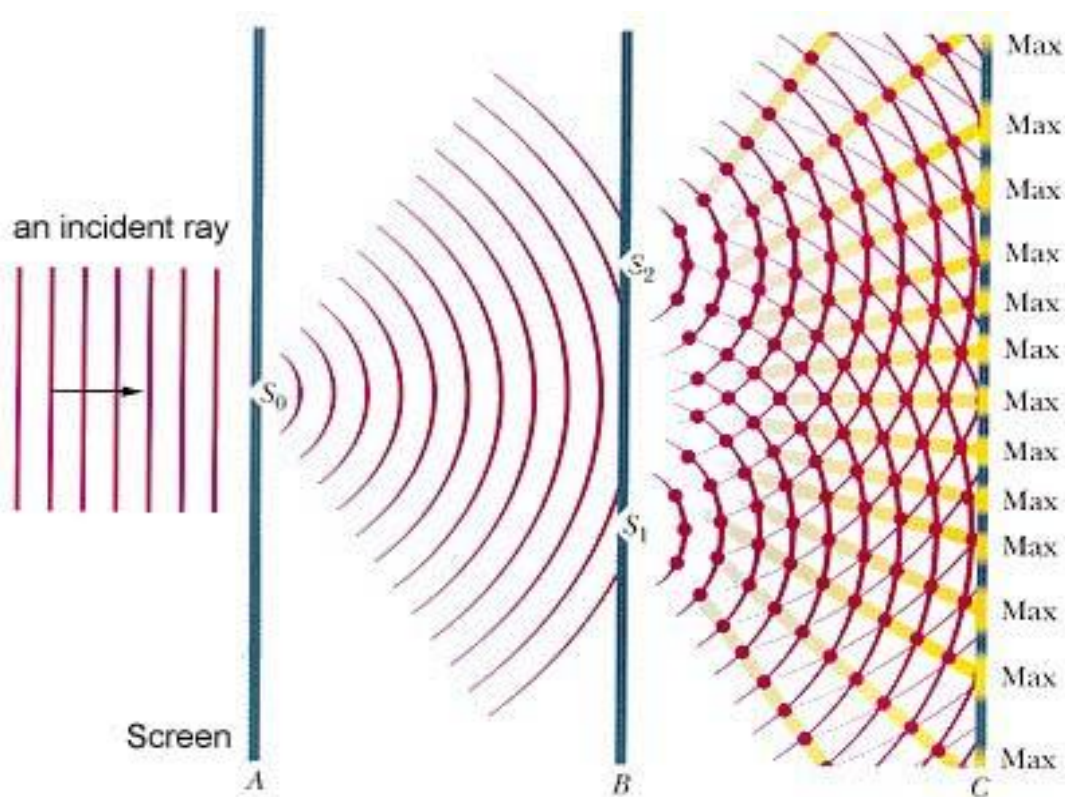
- 光束相干的时间尺度：
参与迭加的两光束在其它相干条件都满足的条件下，只要在观测时间内相位差 δ 相对不变，则产生干涉。
- 相干长度：
两叠加光波能发生干涉的最大光程差，即光波的波列长度。

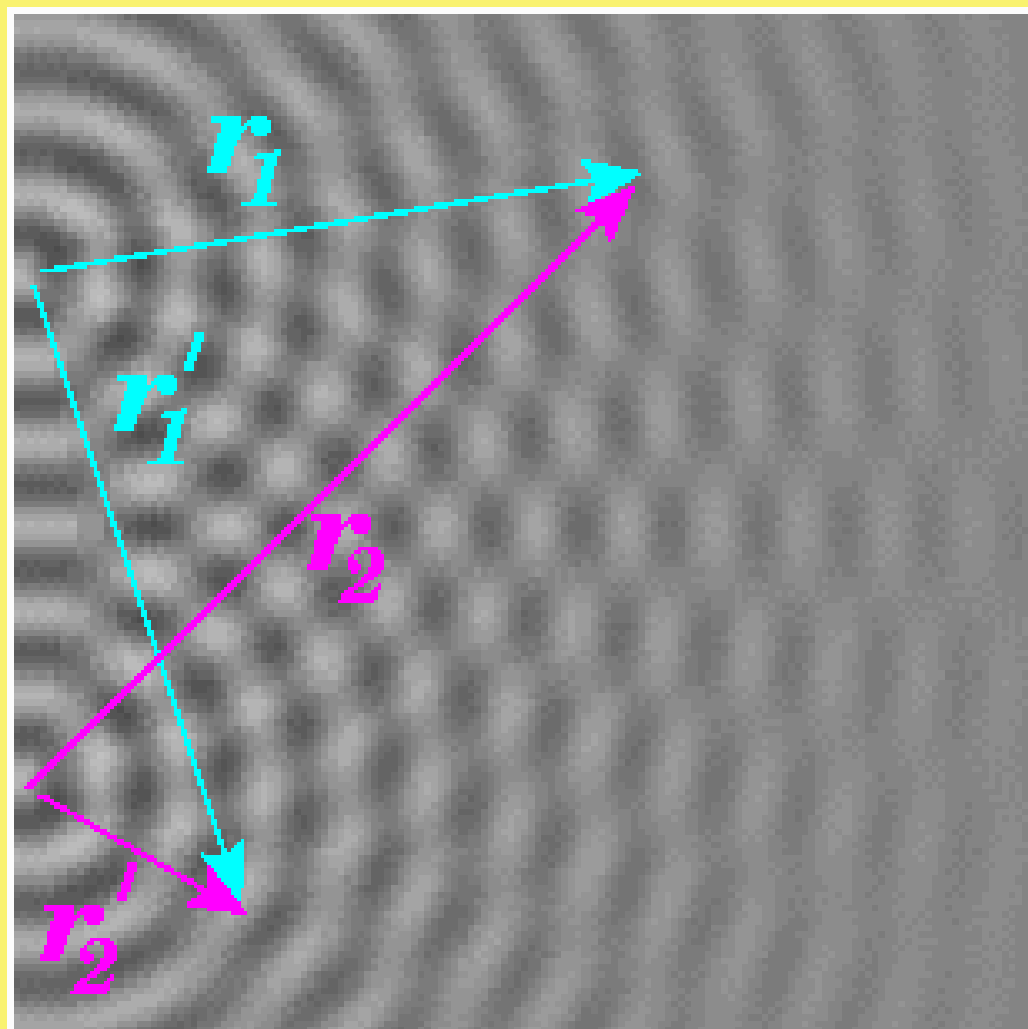


第四章 波动光学-干涉

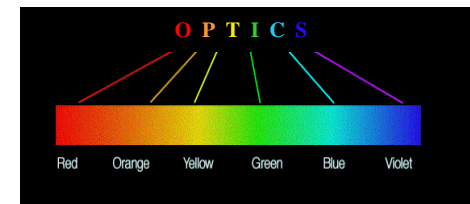


杨氏双孔干涉



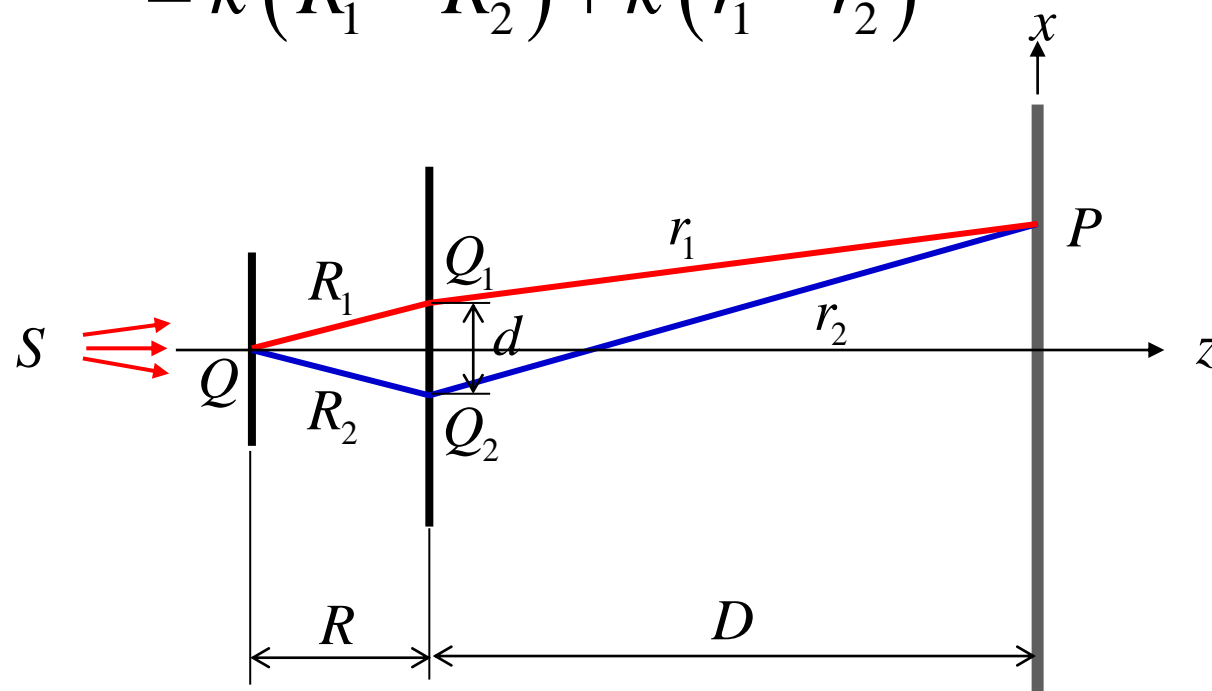


第四章 波动光学-干涉



两束光的相位差:

$$\begin{aligned}\delta(P) &= \phi_1(P) - \phi_2(P) \\ &= k(R_1 - R_2) + k(r_1 - r_2)\end{aligned}$$



第四章 波动光学-干涉



点源位于轴上: $R_1 = R_2$

光程差: $\Delta = r_1 - r_2 = \frac{xd}{D}$

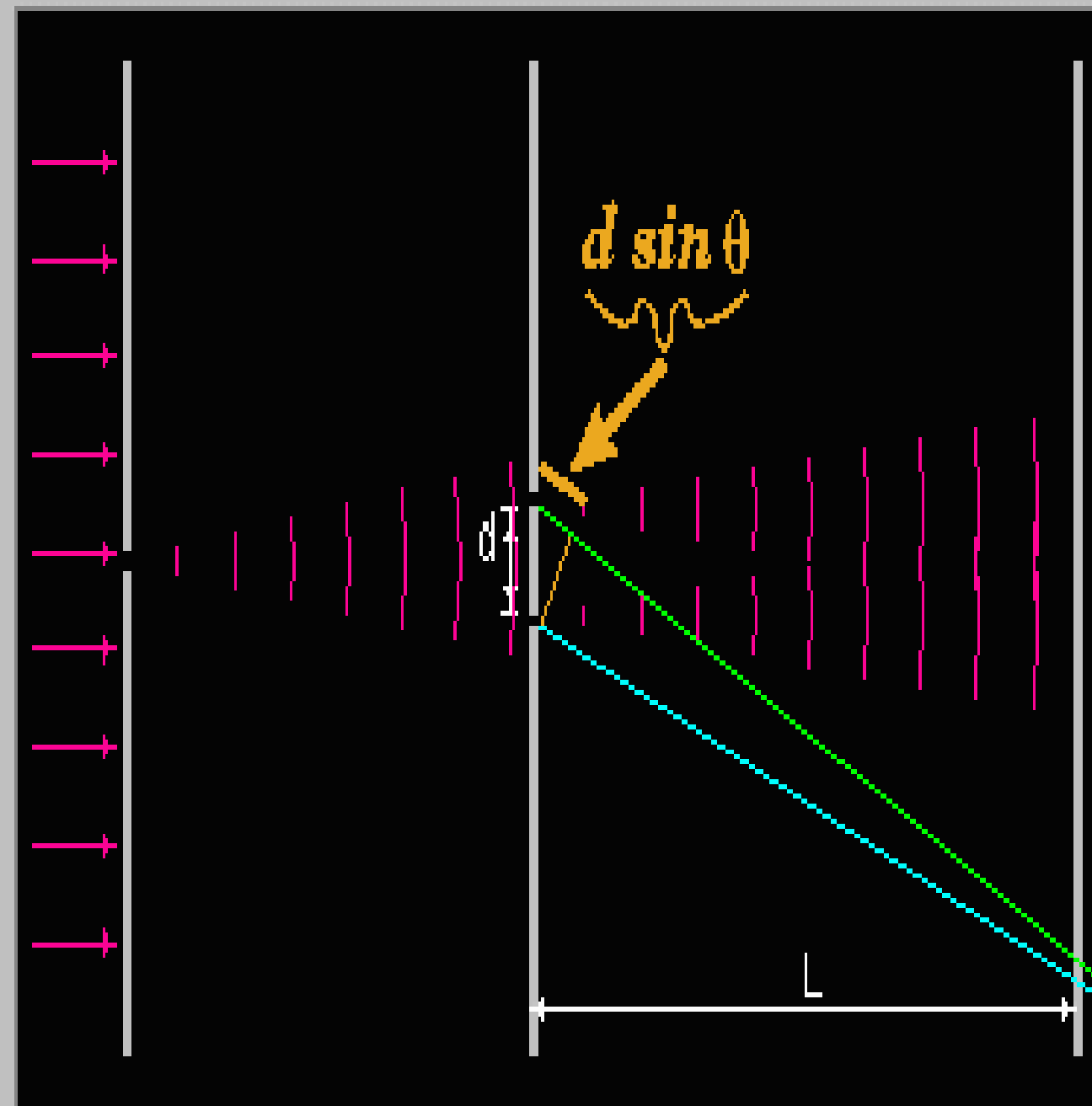
干涉光强分布:

$$I(x, y) = I_0 \left(1 + \cos k \frac{xd}{D} \right)$$

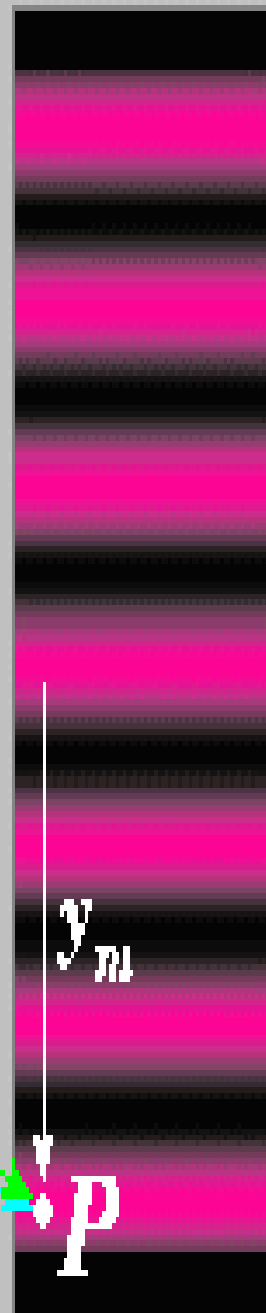
一组平行等距的亮暗带，其走向与两个点光源的连线垂直。



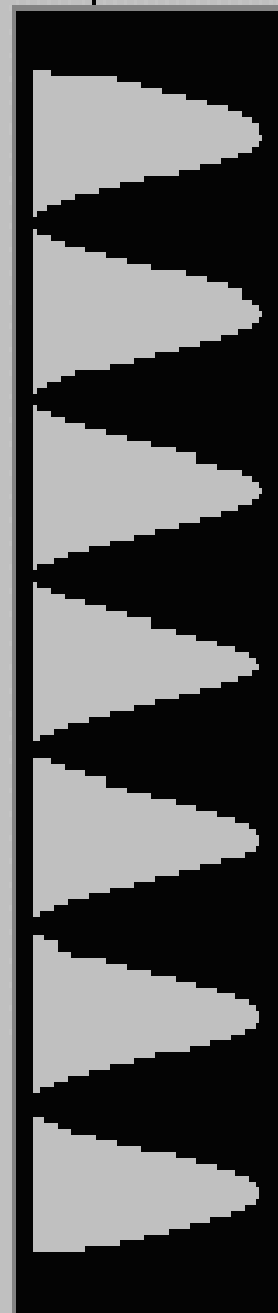
Scheme



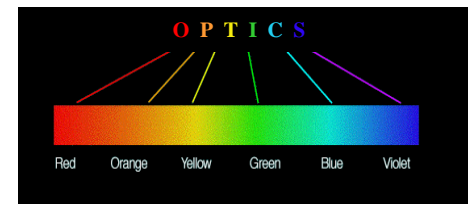
Screen



Graph



第四章 波动光学-干涉



极大强度点位置:

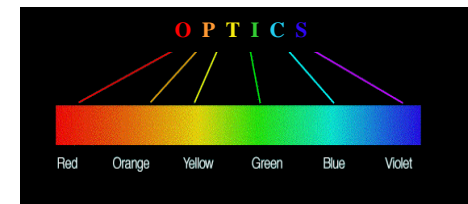
$$x = m \frac{D}{d} \lambda \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

极小强度点位置:

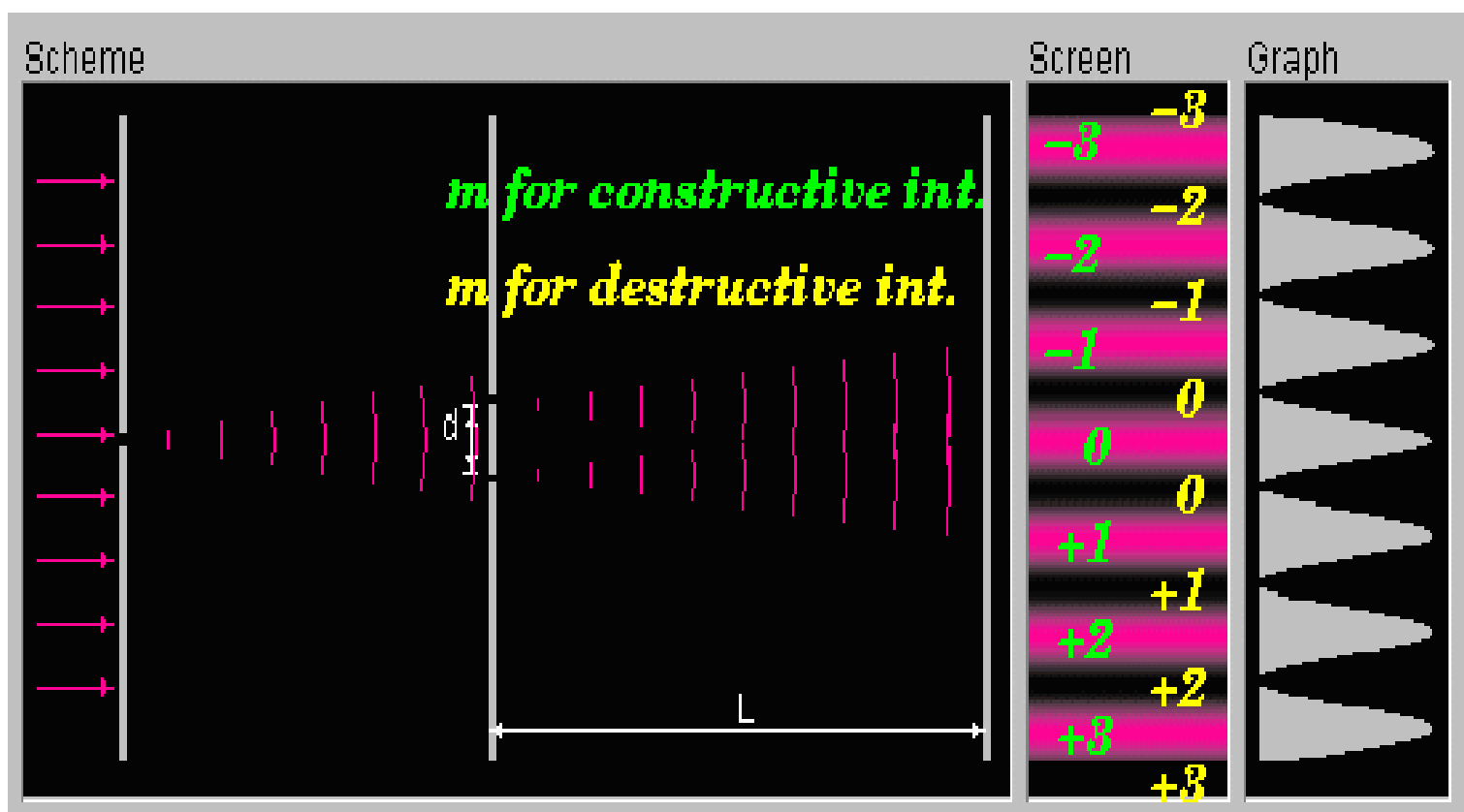
$$x = \left(m + \frac{1}{2} \right) \frac{D}{d} \lambda \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$



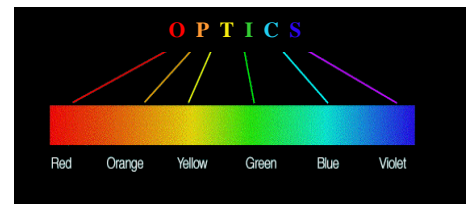
第四章 波动光学-干涉



m : 条纹的干涉级



第四章 波动光学-干涉



条纹间距（相邻亮条纹或暗条纹间距）

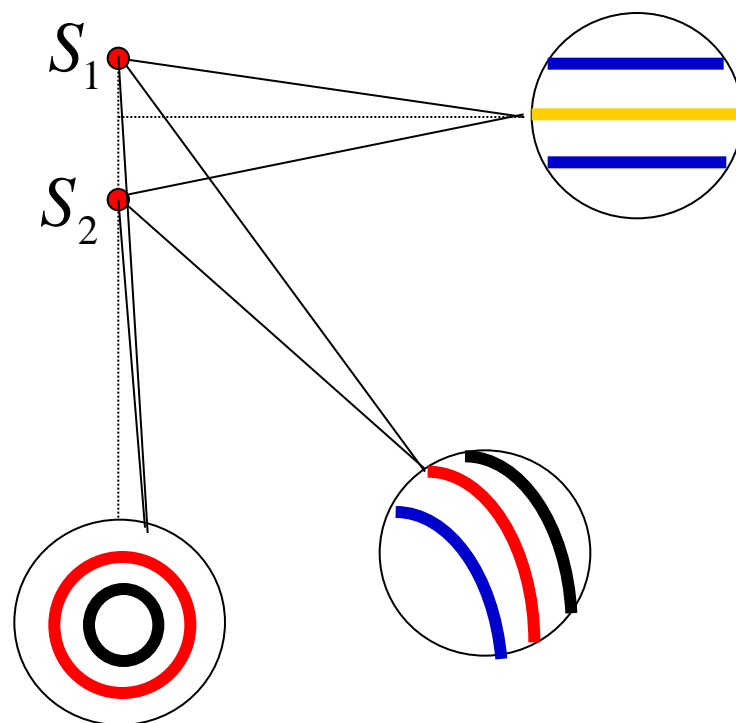
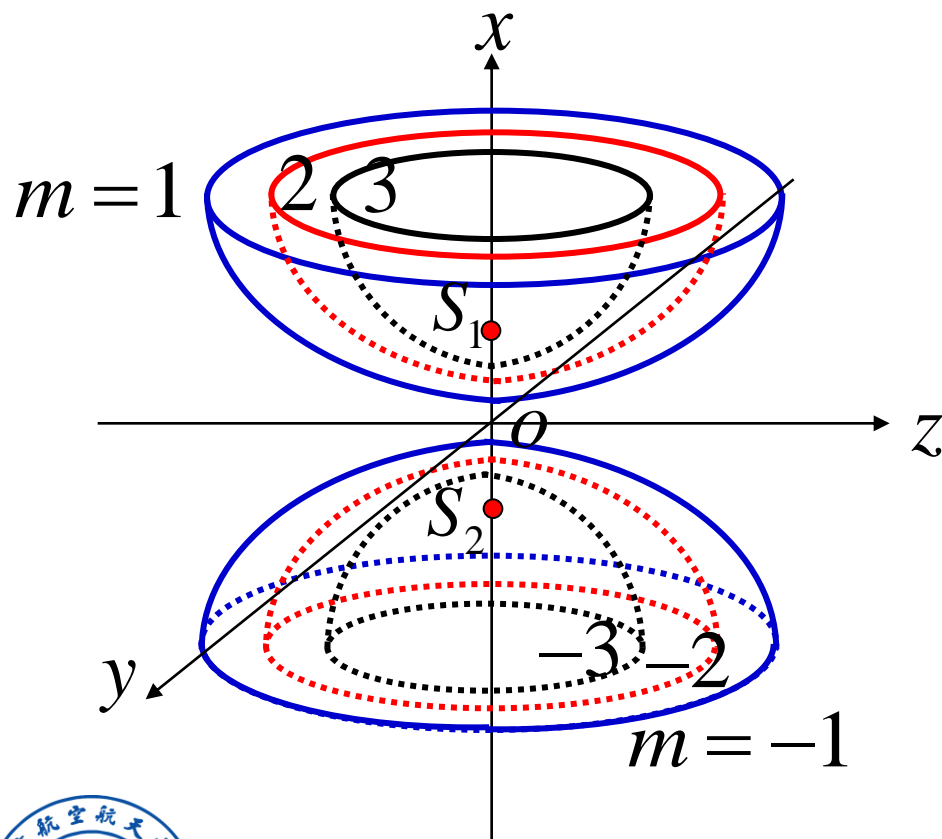
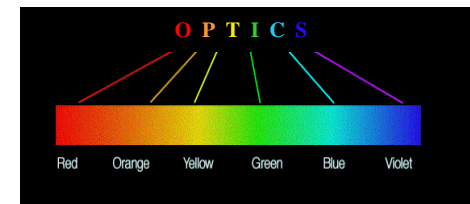
$$\Delta x = \frac{D}{d} \lambda$$

两点说明：

- 点源移至轴外，条纹移动，但间距不变。
- 直线等距条纹是有条件的（ $d \ll D$ ），对整个空间，干涉条纹由等光程差点决定。



第四章 波动光学-干涉



第四章 波动光学-干涉



(2) 空间频率

定义：空间频率等于条纹间距的倒数。

单位： mm^{-1}

杨氏干涉空间频率：

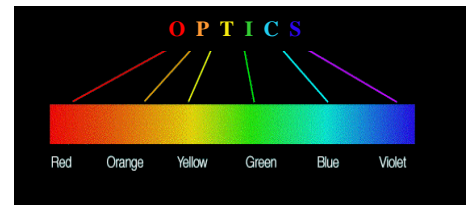
$$f = \frac{1}{\Delta x} = \frac{d}{D\lambda}$$

空间频率描述的干涉条纹强度：

$$I(x, y) = I_0 \left[1 + \gamma \cos(2\pi fx + \phi_0) \right]$$



第四章 波动光学-干涉

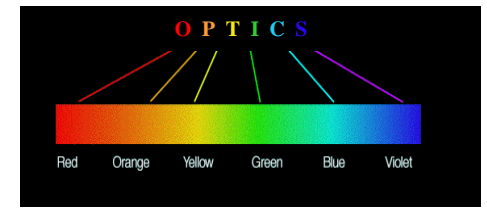


(3) 其它分波前干涉装置 (*自学)

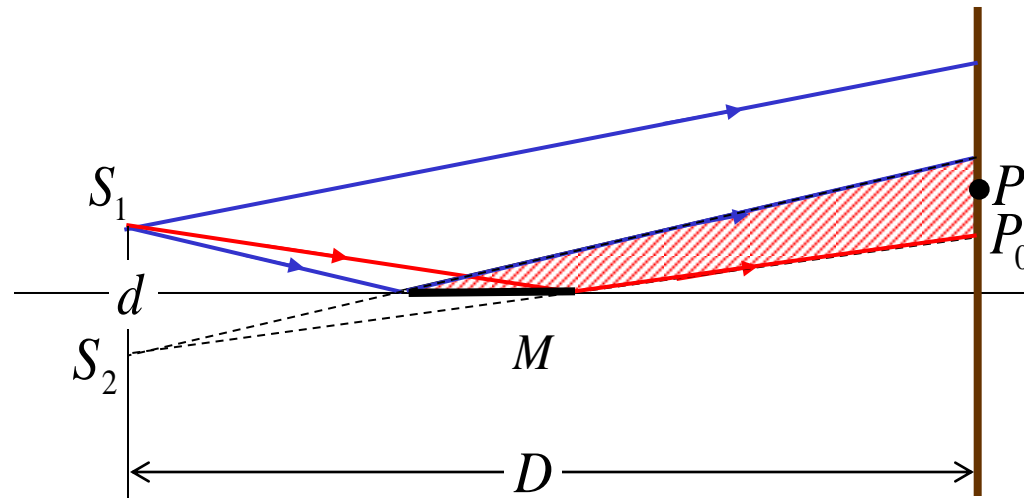
- ✓ 菲涅耳双面镜
- ✓ 菲涅耳双棱镜
- ✓ 劳埃德 (Lloyd) 镜
- ✓ 比累对切透镜
- ✓ 梅斯林 (Meslin) 镜



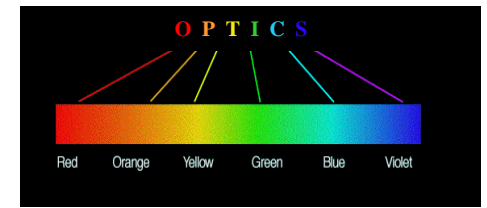
第四章 波动光学-干涉



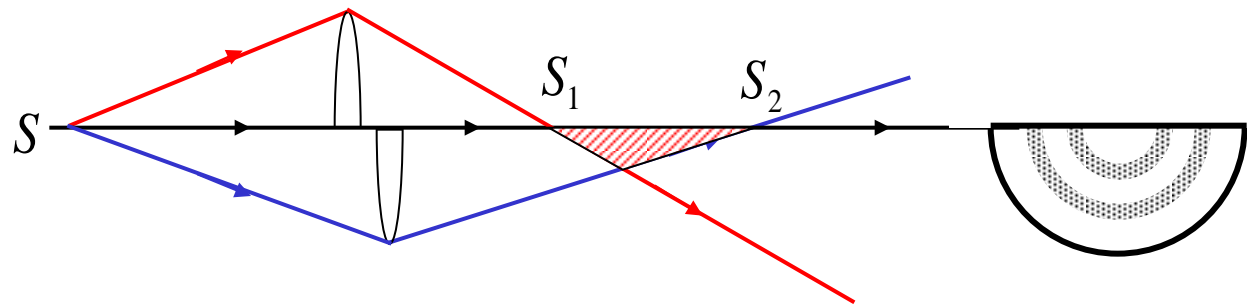
劳埃德 (Lloyd) 镜



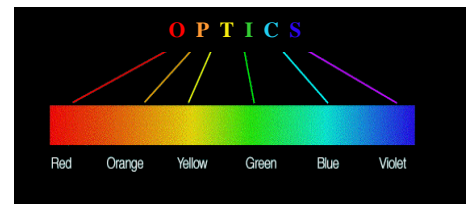
第四章 波动光学-干涉



梅斯林 (Meslin) 镜



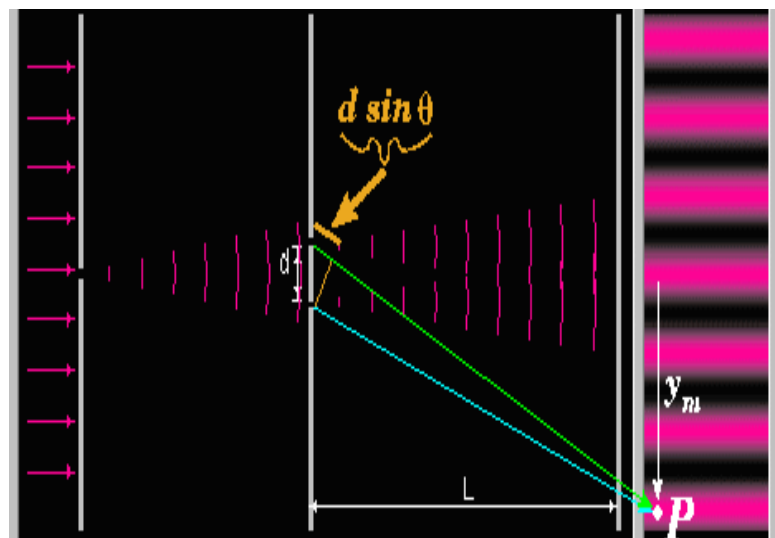
第四章 波动光学-干涉



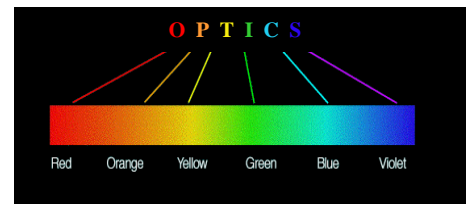
3.4 光场的空间相干性

干涉场中 P 点光程差
变化 $\delta(\Delta L) = N\lambda_0$

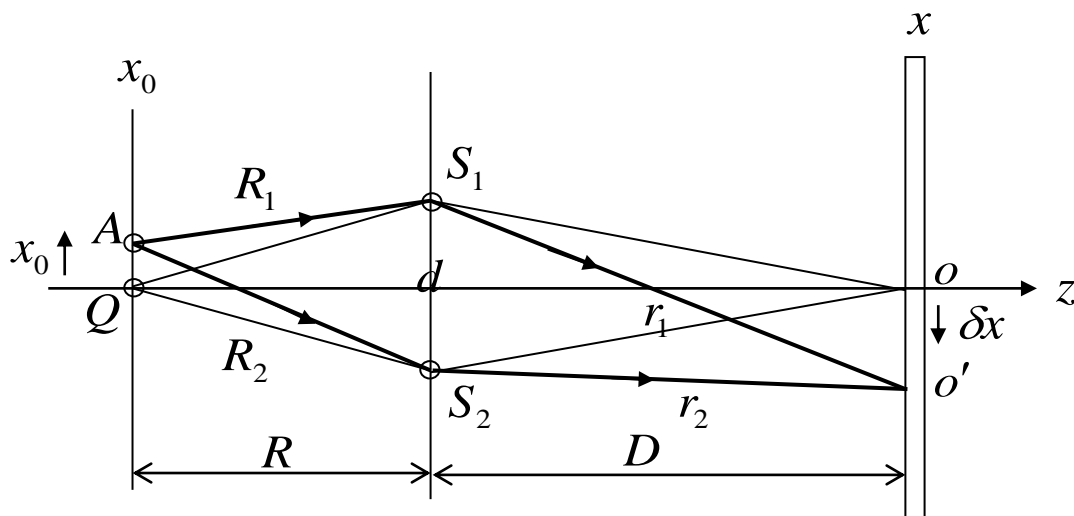
干涉场中 P 点干涉强
度 $I(P)$ 变化 N 次，即
有 N 个条纹移过 P 点。



第四章 波动光学-干涉



(1) 点源位移引起的条纹变动



条纹移动距离:

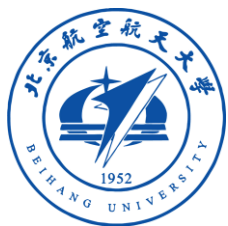
$$\delta x = \frac{D}{R} x_0$$

点源移动:

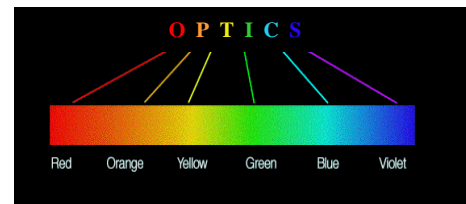
条纹移动但形状和间距不变。

移过的条纹数:

$$N = \frac{\delta x}{\Delta x} = \frac{d}{R\lambda} x_0$$



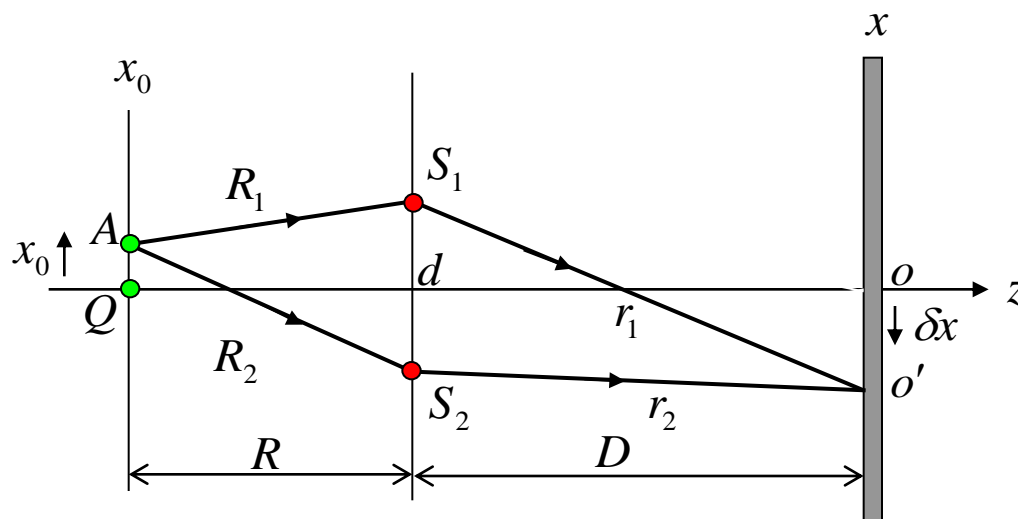
第四章 波动光学-干涉



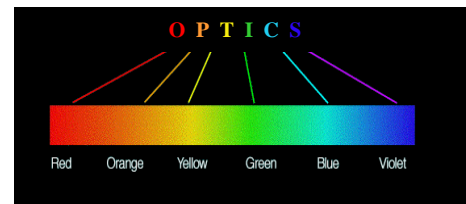
(2) 光源宽度对干涉场衬比度的影响

扩展光源：大量独立点源的集合。

a. 两个分离点源照明的干涉场：



第四章 波动光学-干涉

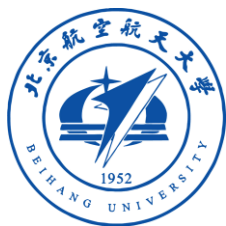


干涉光强度:

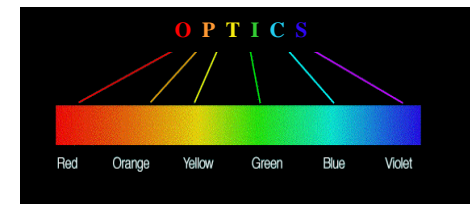
$$I_Q = I_0(1 + \cos 2\pi fx), \quad \gamma_Q = 1$$

$$I_A = I_0(1 + \cos 2\pi fx + \phi_0), \quad \gamma_A = 1$$

$$I = I_Q + I_A = 2I_0 \left[1 + \cos \frac{\phi_0}{2} \cos \left(2\pi fx + \frac{\phi_0}{2} \right) \right]$$



第四章 波动光学-干涉



$$\text{衬比度: } \gamma = \left| \cos \frac{\phi_0}{2} \right|$$

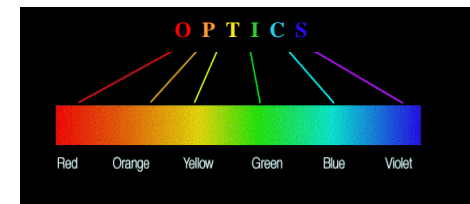
$$\text{附加相位差: } \phi_0 = 2\pi \cdot \frac{\delta x}{\Delta x}$$

结论:

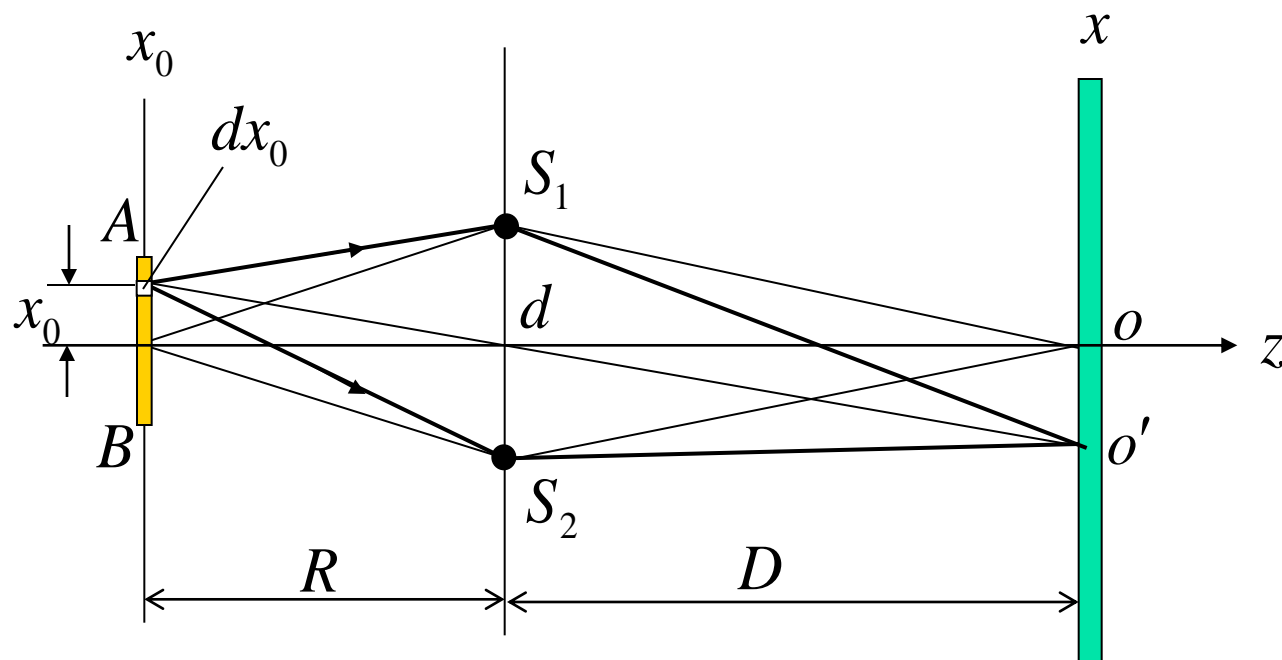
干涉衬比度随点源移动周期变化。



第四章 波动光学-干涉



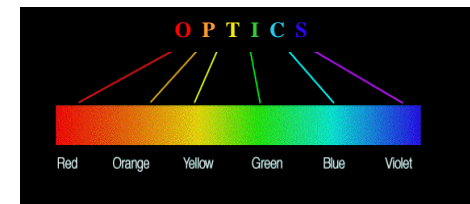
b. 线光源照明的干涉场



$$AB = b$$



第四章 波动光学-干涉

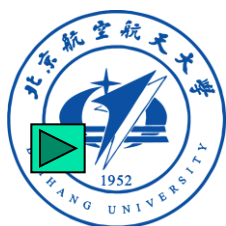


干涉场强度:

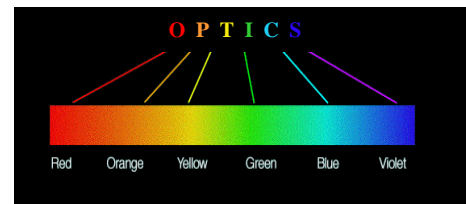
$$I(x, y) = I_0 b \left[1 + \frac{\sin(\pi f_0 b)}{\pi f_0 b} \cdot \cos(2\pi f x) \right]$$

衬比度:

$$\gamma = \left| \frac{\sin(\pi f_0 b)}{\pi f_0 b} \right| = \left| \frac{\sin u}{u} \right|, \quad u = \pi \frac{db}{R\lambda}$$

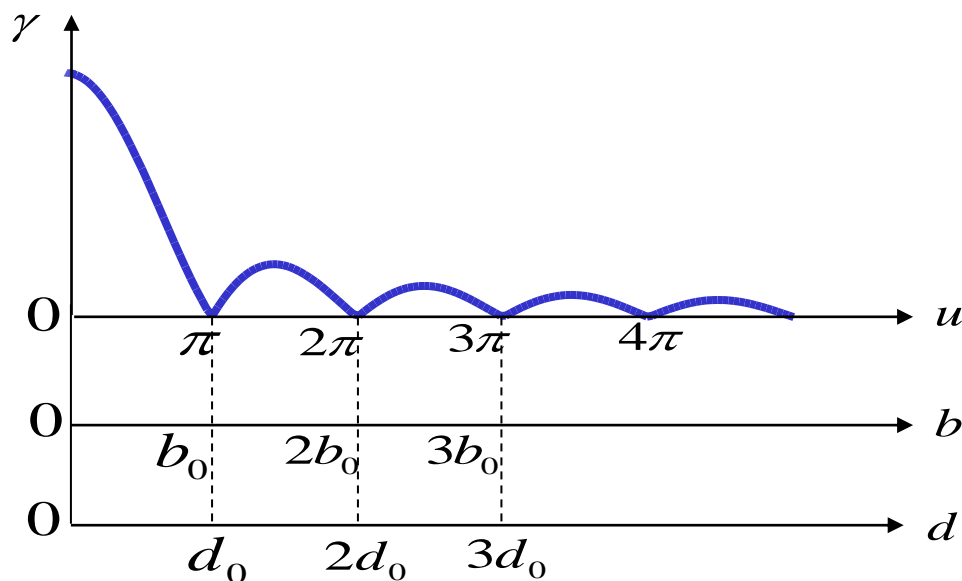


第四章 波动光学-干涉

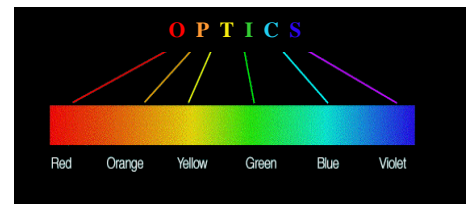


结论:

干涉场衬比度随光源线度增加而周期性下降。



第四章 波动光学-干涉



(3) 光源临界（极限）宽度

定义：

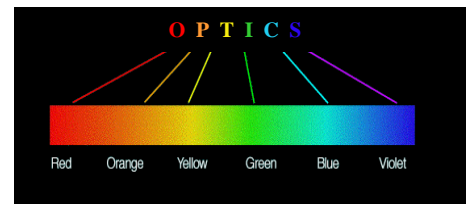
衬比度 γ 第一次降为零时的光源宽度为光源临界（极限）宽度

$$b_0 = \frac{R\lambda}{d}$$

双孔间距临界值： $d_0 = \frac{R\lambda}{b}$



第四章 波动光学-干涉



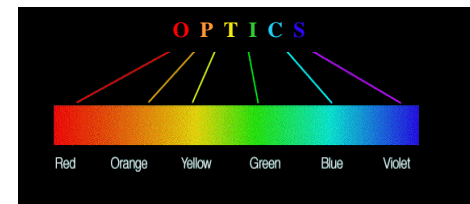
一般情况下，光源宽度选取临界值的一半较好，衬比度为 $\gamma=0.64$

如果不超过临界值的1/4，条纹有很好的衬比度， $\gamma\sim 0.9$ ，光源宽度称为许可宽度。

$$b_p = \frac{R\lambda}{4d}$$



第四章 波动光学-干涉



光源临界宽度的一般表达：

$$b_0 = K \frac{R\lambda}{d}$$

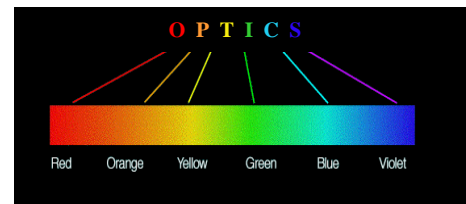
$K=0.78$ ，环状光源；

$K=1.0$ ，线光源，矩形光源；

$K=1.1$ ，圆形光源

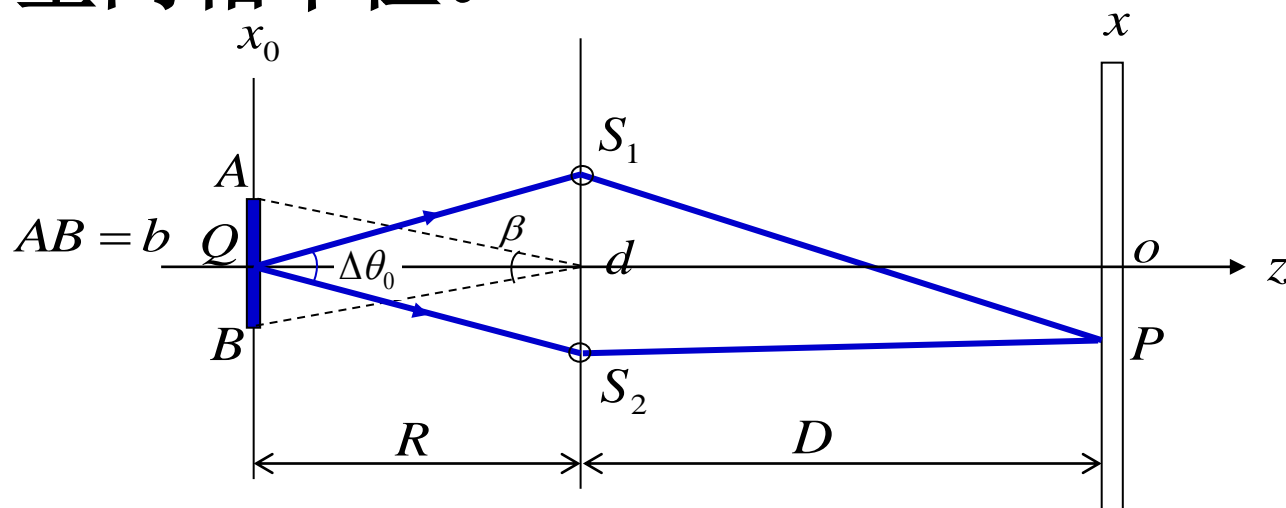


第四章 波动光学-干涉



(4) 光场的空间相干性

在非相干扩展光源照明空间中，如果通过两点 S_1 和 S_2 的光在空间再度相遇时能够发生干涉，则称通过空间这两点的光具有空间相干性。



第四章 波动光学-干涉



横向相干长度:

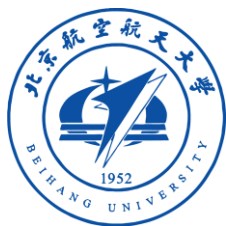
$$d_0 = R\lambda/b$$

干涉场衬比度 $\gamma = 0$ 时的空间两点 S_1 和 S_2 的距离。

空间相干性反比公式:

$$b \cdot \Delta\theta_0 \approx \lambda$$

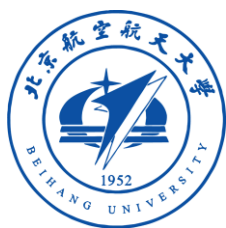
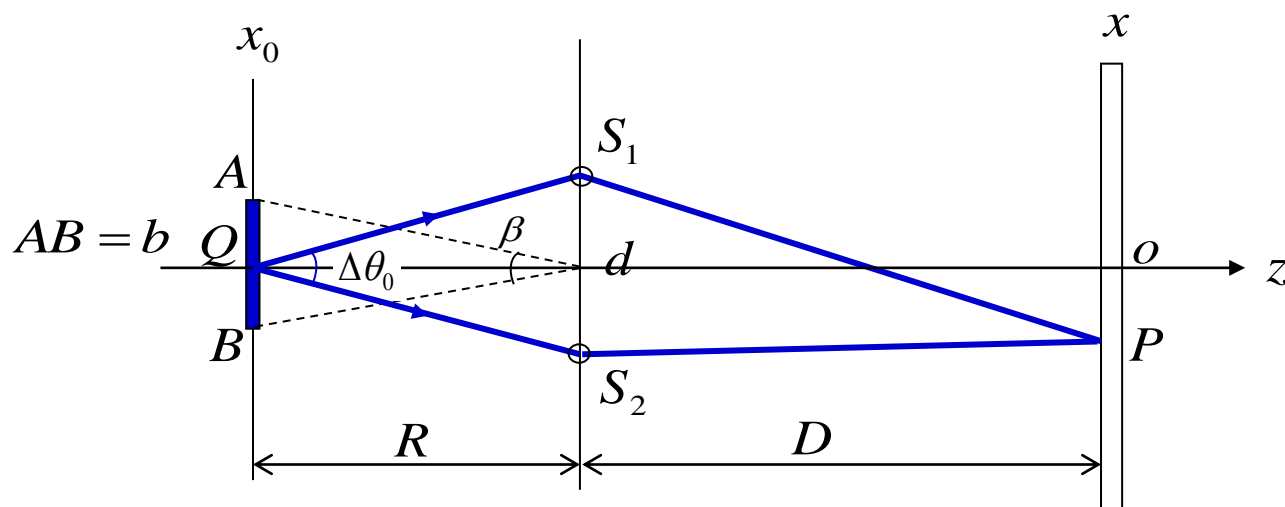
$$\Delta\theta_0 = \frac{d_0}{R} \quad \text{相干孔径角}$$



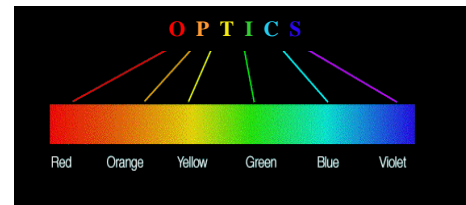
第四章 波动光学-干涉



物理意义: $\Delta\theta \approx \Delta\theta_0$ $\gamma \approx 0$, 非相干
 $\Delta\theta > \Delta\theta_0$ $\gamma \rightarrow 0$, 非相干
 $\Delta\theta < \Delta\theta_0$ $0 < \gamma < 1$, 相干



第四章 波动光学-干涉



3.5 分振幅干涉

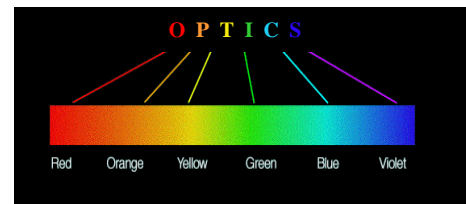
分波前干涉：光源尺寸小，条纹亮度受到限制。

分振幅干涉：扩展光源，条纹清晰和亮度高。

- 楔形平板 \Rightarrow 等厚干涉条纹
- 平行平板 \Rightarrow 等倾干涉条纹



第四章 波动光学-干涉



(1) 干涉定域

非定域干涉：

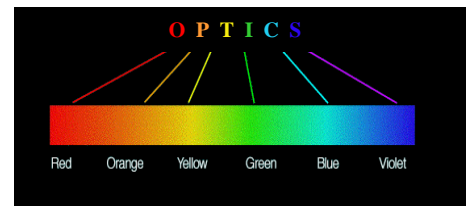
点光源，在空间任意区域都有清晰的干涉条纹。

定域干涉：

扩展光源，干涉条纹衬比度随光源大小变化只在空间特定区域慢变或不变。

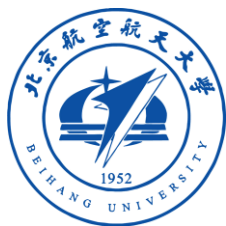
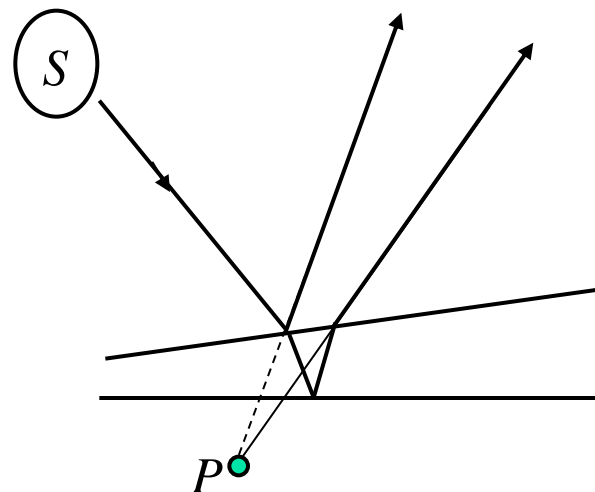
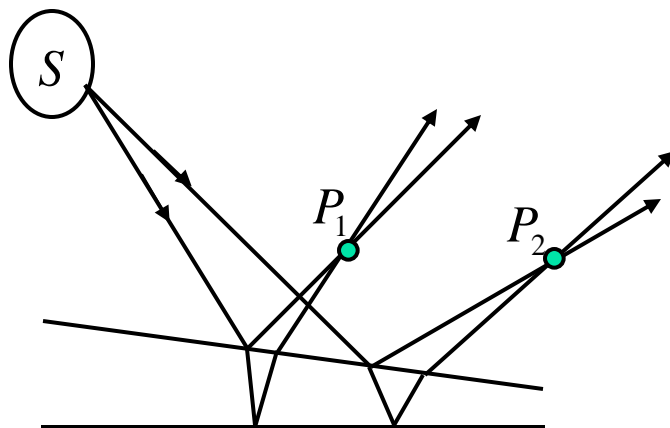


第四章 波动光学-干涉

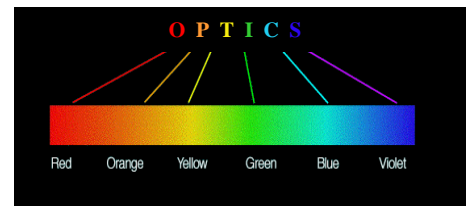


(2) 楔形平板产生的干涉—等厚干涉

定域面位置和定域深度:



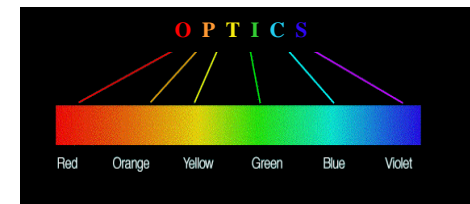
第四章 波动光学-干涉



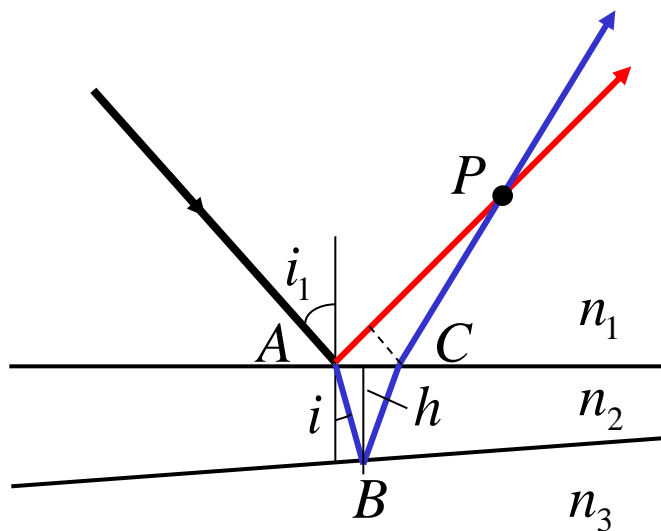
- a. 光源与棱边各在一边：定域面在平板上方；
- b. 光源与棱边同在一边：定域面在平板下方；
- c. 光源为点源：定域面为空间曲面；
- d. 楔角越小，定域面越远；平行平面，定域无穷远；
- e. 厚度越薄，定域面越接近平板表面；
- f. 扩展光源越小，定域深度越大；点光源，非定域。



第四章 波动光学-干涉



等厚干涉条纹:



$$\Delta L \approx 2n_2 h \cos i \pm \Delta L'$$

$$n_1 < n_2 < n_3$$

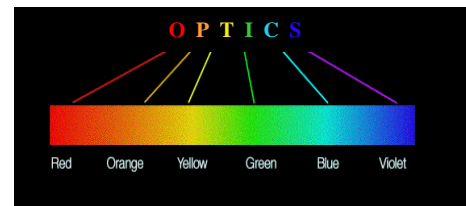
$$\Delta L' = 0$$

$$n_1 < n_2 > n_3$$

$$\Delta L' = \lambda/2$$



第四章 波动光学-干涉



如果平板折射率均匀，平行光照明，入射角不变，则条纹是厚度相同点的轨迹——等厚条纹。

正入射或入射角很小情况：

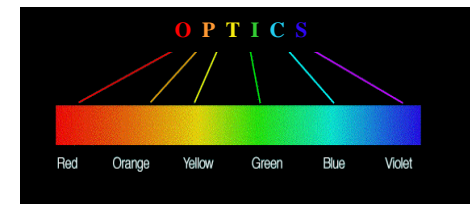
$$\Delta L \approx 2n_2h \pm \Delta L'$$

亮纹条件： $\Delta L \approx 2n_2h \pm \Delta L' = k\lambda$, $k = 0, 1, 2, 3 \dots$

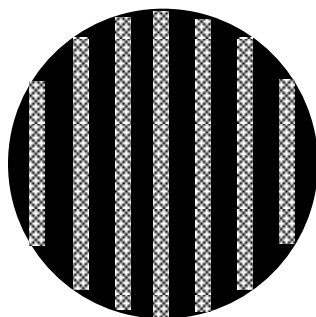
暗纹条件： $\Delta L \approx 2n_2h \pm \Delta L' = (k + 1/2)\lambda$



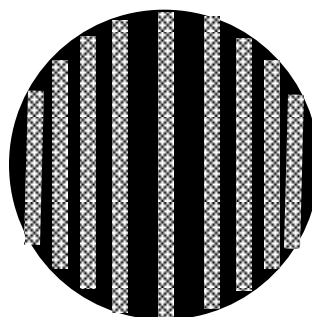
第四章 波动光学-干涉



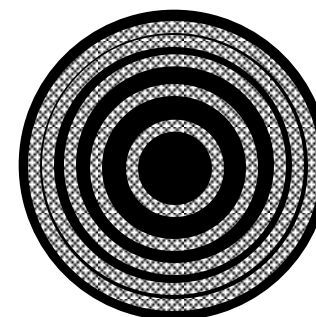
楔形



柱形



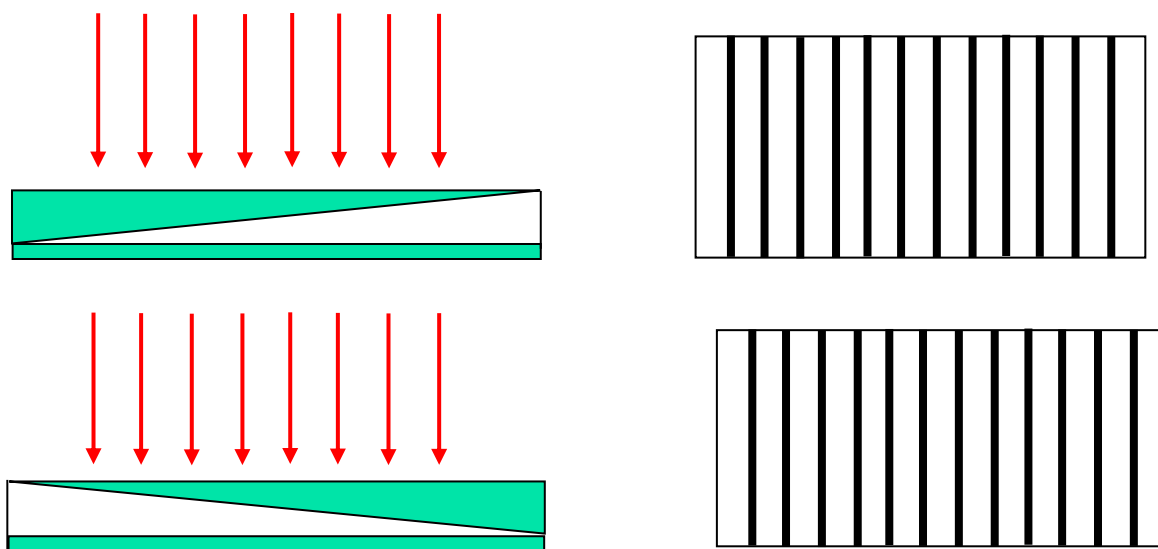
球形



第四章 波动光学-干涉



由条纹移动方向判别厚度变化：

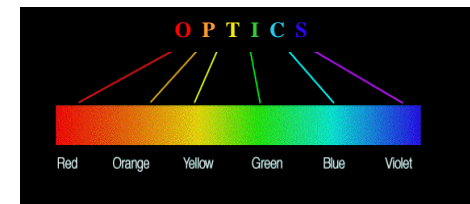


等厚条纹应用(*自学)

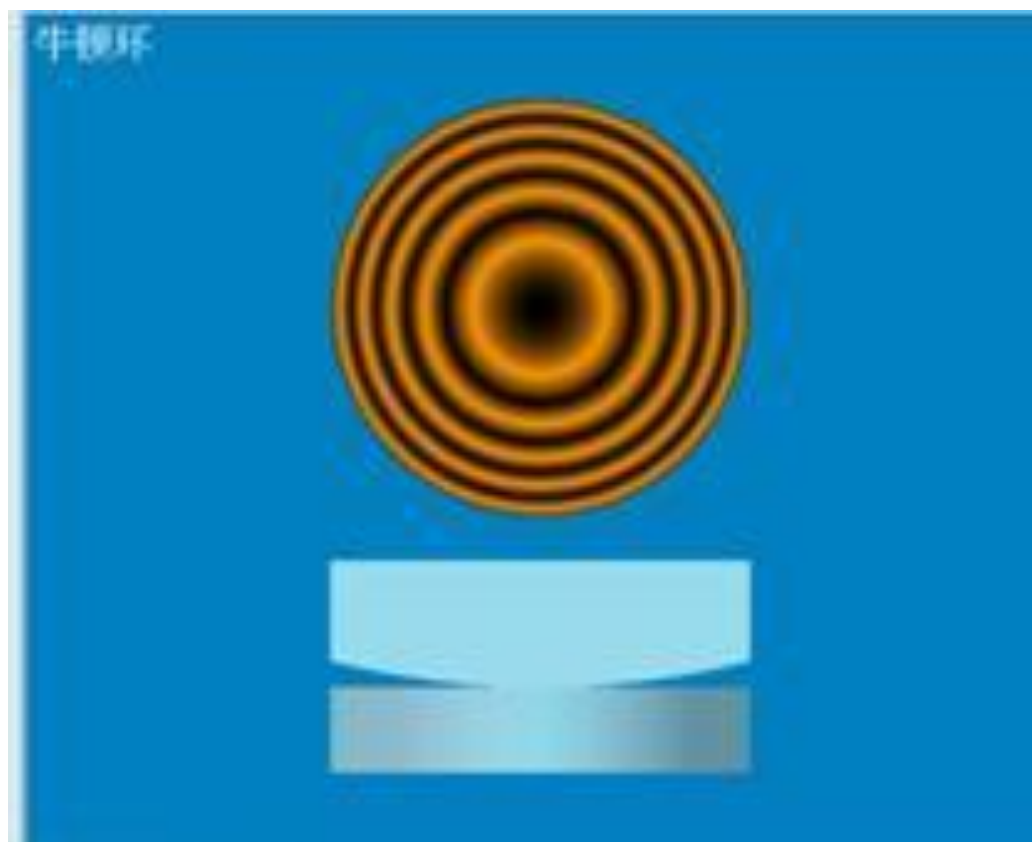
表面形貌、误差测量、牛顿环。



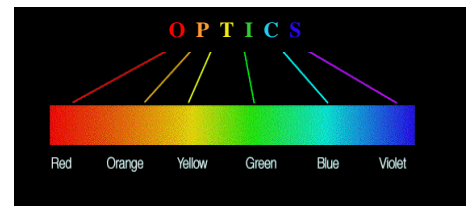
第四章 波动光学-干涉



牛顿环

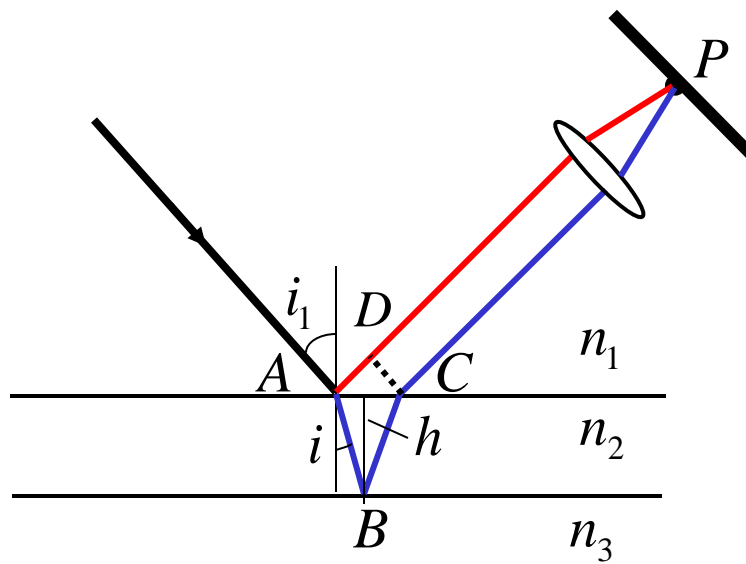


第四章 波动光学-干涉

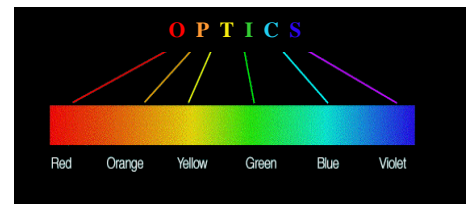


(3) 平行平板产生的干涉—等倾干涉

条纹定域：在无穷远或透镜焦平面



第四章 波动光学-干涉



光程差和干涉强度分布：

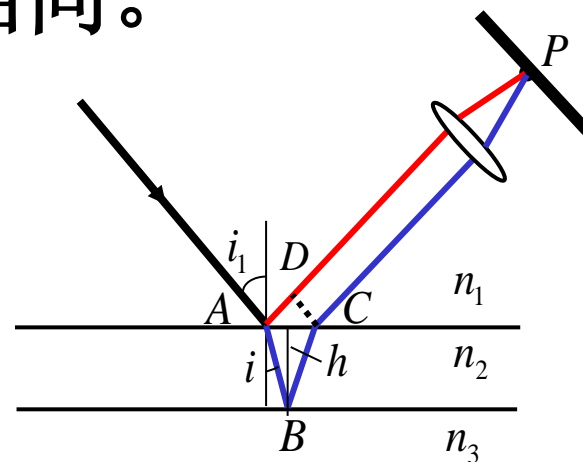
光程差： $\Delta L = 2n_2 h \cos i \pm \Delta L'$

等倾条纹：角度相同的光形成同一条纹。

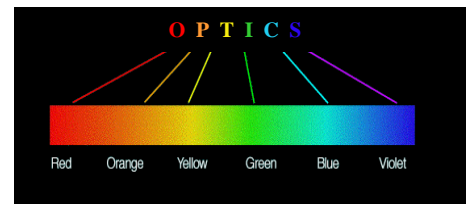
半波损失与等厚干涉情况相同。

$$n_1 < n_2 < n_3 \quad \Delta L' = 0$$

$$n_1 < n_2 > n_3 \quad \Delta L' = \lambda/2$$



第四章 波动光学-干涉

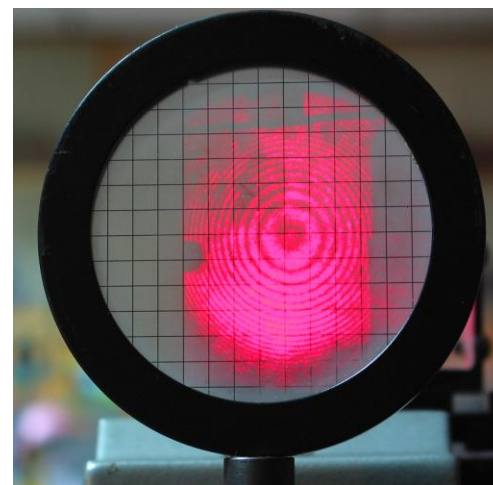
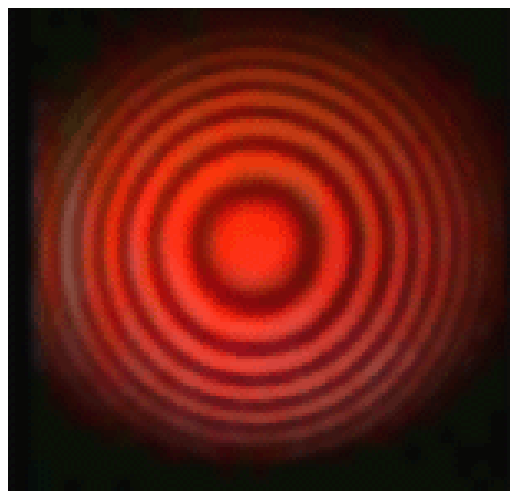


亮条纹条件:

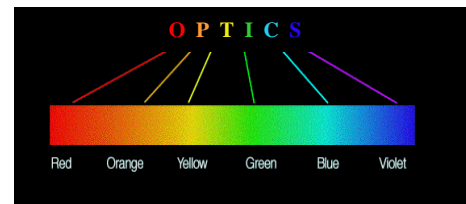
$$\Delta L = 2n_2 h \cos i \pm \Delta L' = k\lambda, \quad k = 0, 1, 2, 3 \dots$$

暗条纹条件:

$$\Delta L = 2n_2 h \cos i \pm \Delta L' = (k + 1/2)\lambda, \quad k = 0, 1, 2, 3 \dots$$



第四章 波动光学-干涉

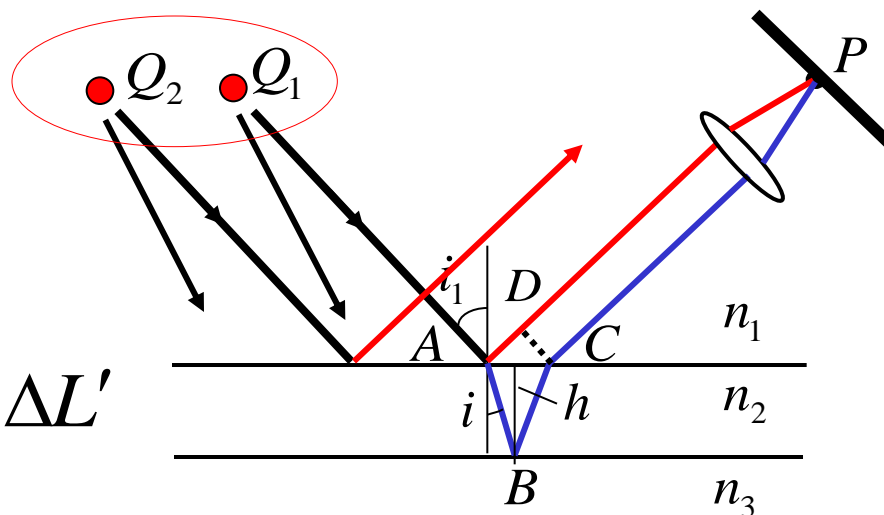


等倾条纹特点:

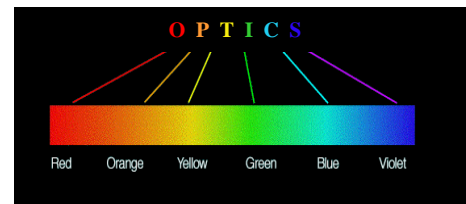
条纹位置只与入射角有关，与光源位置无关。因此，光源的扩展只会增加条纹的强度，不影响衬比度。

光程差:

$$\Delta L = 2n_2 h \cos i \pm \Delta L'$$



第四章 波动光学-干涉



等倾条纹的角半径和间距：

由中心第 N 个亮
纹角半径：

$$i_N = \sqrt{N + c - 1} \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{n_2 h}}$$

条纹角间距：

相邻两条纹对透镜中心的张角。

$$\Delta i \approx \frac{\lambda}{2n_2 h i} \quad \text{or} \quad \Delta i_1 \approx \frac{n_2 \lambda}{2n_1^2 h i_1}$$



第四章 波动光学-干涉



结论:

- 1) 等倾条纹分布为内疏外密;
- 2) 不同的板厚导致条纹半径和间距不同;
- 3) 可用等倾条纹检验平板质量;
- 4) 增透膜和增反膜应用。



第四章 波动光学-干涉



透射光的等倾条纹:

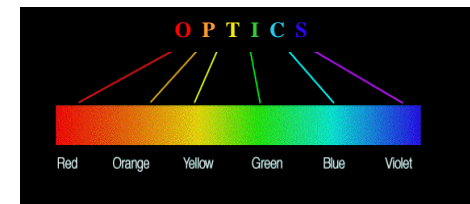
透射光的等倾条纹和反射光等倾条纹互补。

注意两点:

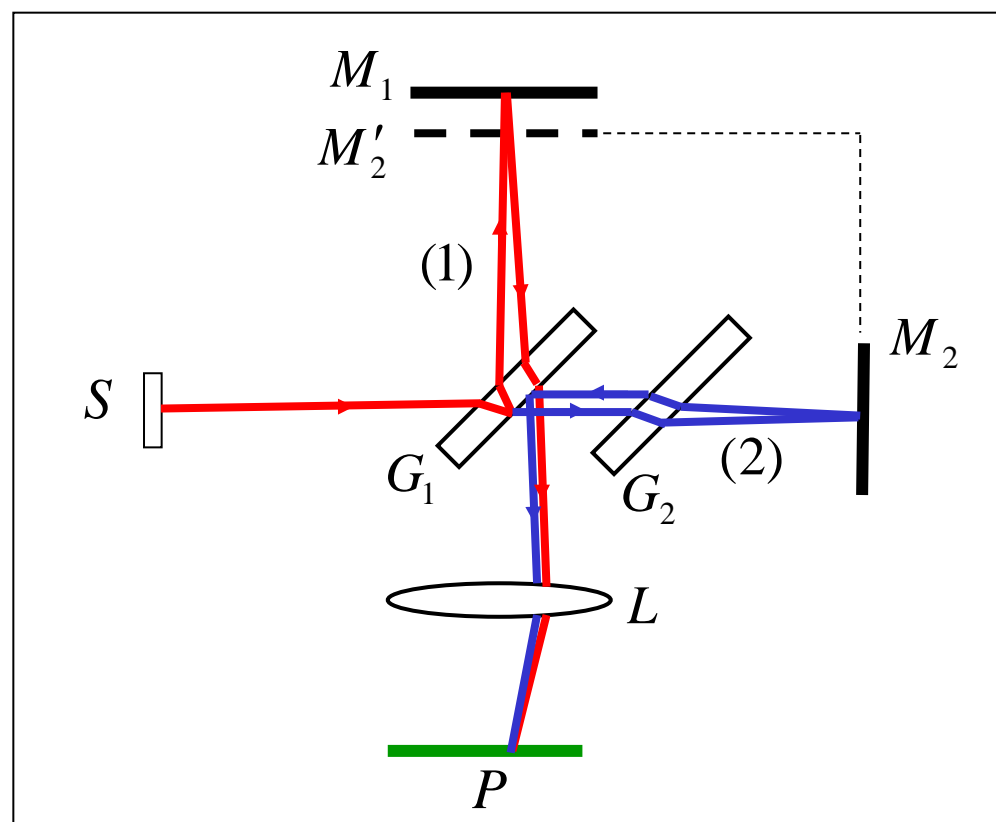
- a. 如果反射光有半波损失, 则透射光没有;
- b. 如果反射率很低, 则透射的两光束强度相差很大, 透射条纹衬比度差。



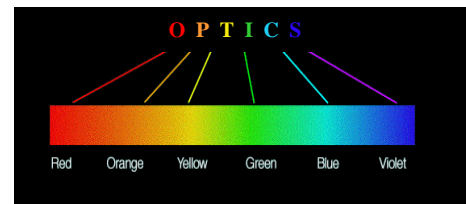
第四章 波动光学-干涉



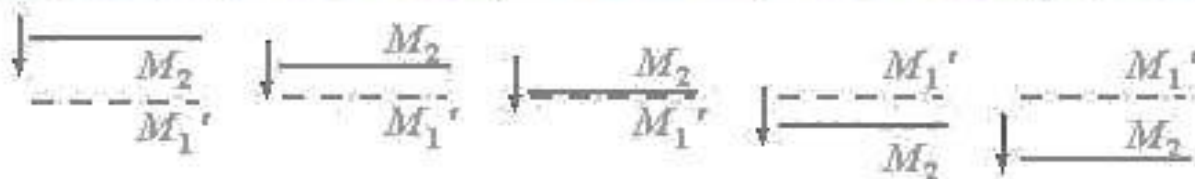
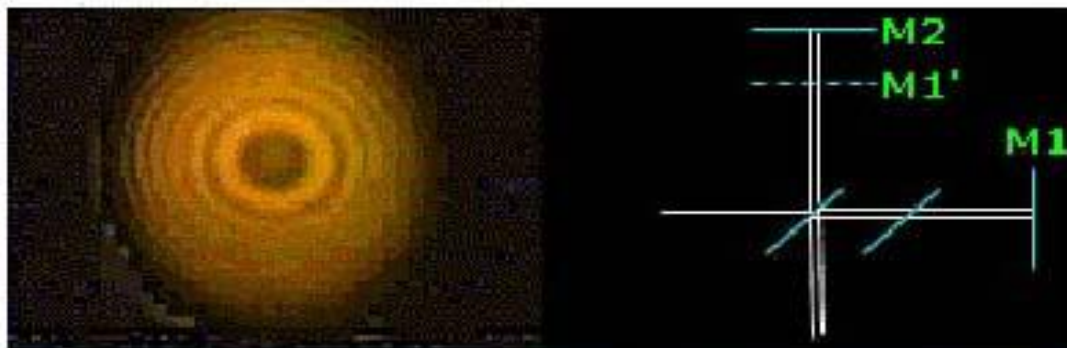
(4) 迈克耳逊干涉仪



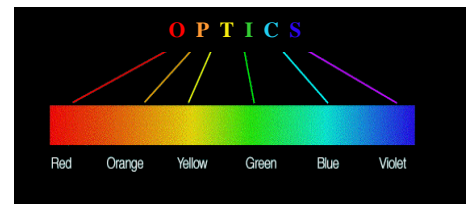
第四章 波动光学-干涉



干涉条纹变化特点:



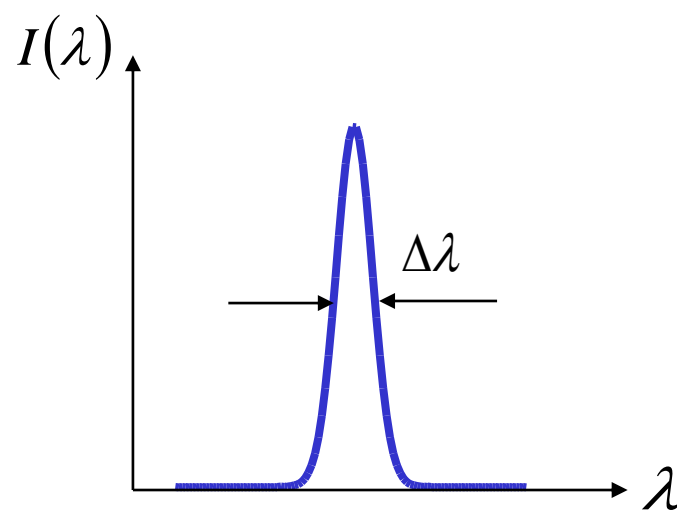
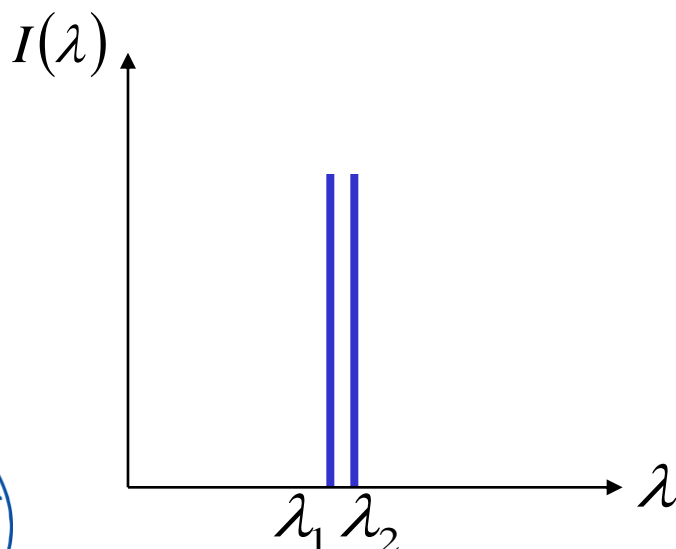
第四章 波动光学-干涉



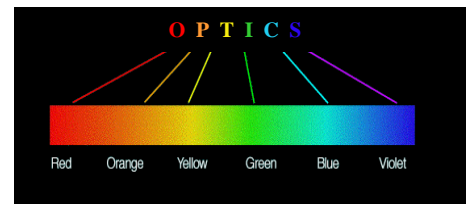
3.6 非单色性对干涉场衬比度的影响

(1) 光的非单色性

存在双线结构或单色线宽



第四章 波动光学-干涉



特点:

双线结构 $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 \ll \lambda_1, \lambda_2$

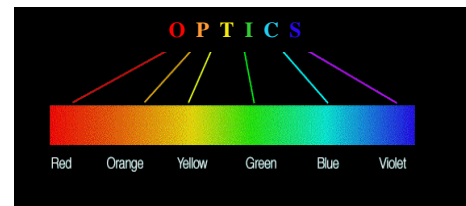
准单色光 $\Delta\lambda \ll \lambda_0 \quad \Delta\lambda/\lambda_0 \sim 10^{-6}$

非单色性影响:

$\Delta\lambda$ 内每一波长的光产生各自的一组条纹，除零级外，其它各级相互错移重叠，使衬比度下降。



第四章 波动光学-干涉



(2) 双谱线导致的衬比度周期变化

$$I_1(\Delta L) = I_0(1 + \cos k_1 \Delta L)$$

$$I_2(\Delta L) = I_0(1 + \cos k_2 \Delta L)$$

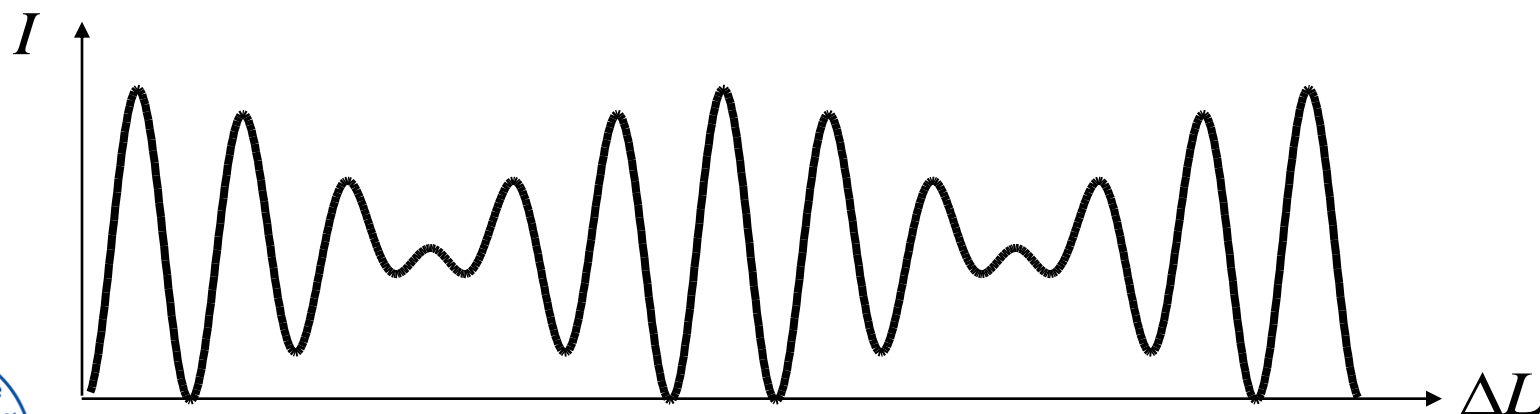
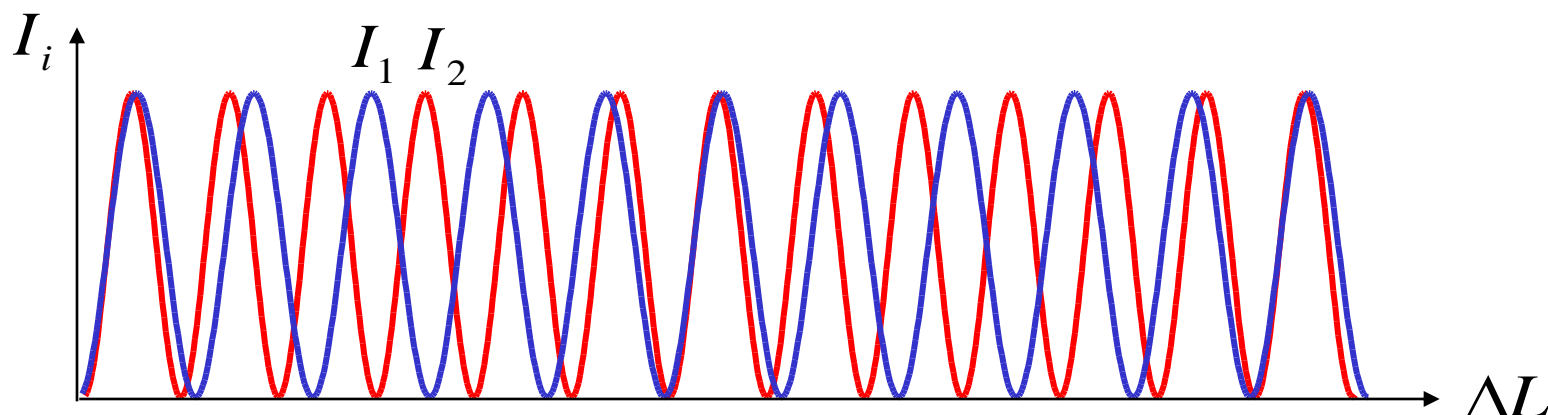
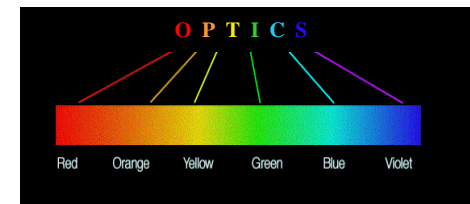
$$I = 2I_0 \left[1 + \cos \left(\frac{\Delta k}{2} \Delta L \right) \cdot \cos \left(\frac{k_1 + k_2}{2} \Delta L \right) \right]$$

$$\Delta k = k_1 - k_2$$

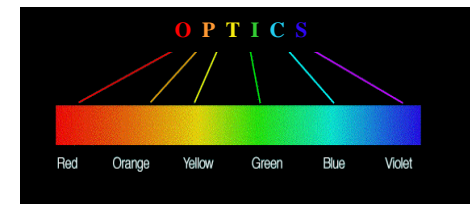
光强 I 被低频因子调制—拍现象



第四章 波动光学-干涉

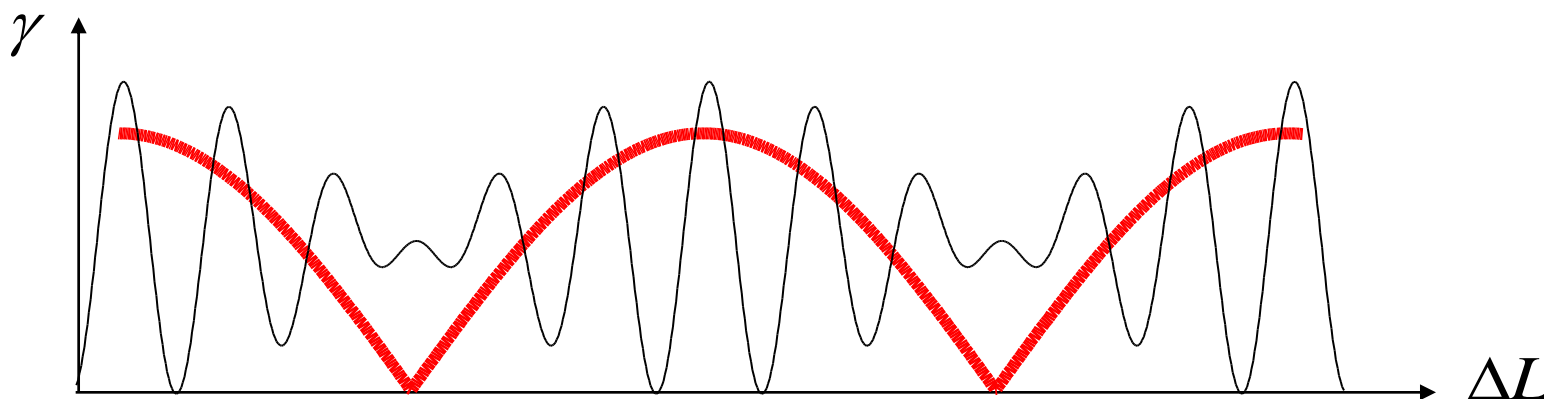


第四章 波动光学-干涉



$$\text{衬比度: } \gamma = \left| \cos \left(\frac{\Delta k}{2} \Delta L \right) \right|$$

$$\text{半周期: } \Delta L_0 \approx \frac{\bar{\lambda}^2}{2\Delta\lambda}$$



第四章 波动光学-干涉

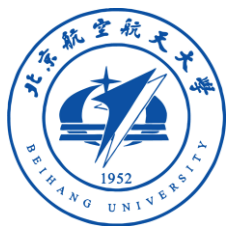


半周期条纹数:

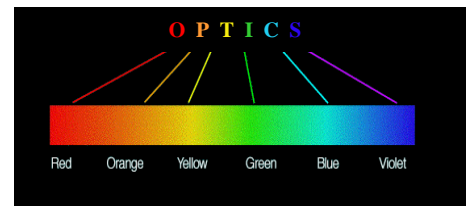
$$N_0 \approx \frac{\bar{\lambda}}{2\Delta\lambda}$$

双谱线的区分:

$$\lambda_1 = \bar{\lambda} - \frac{\Delta\lambda}{2}, \quad \lambda_2 = \bar{\lambda} + \frac{\Delta\lambda}{2}$$



第四章 波动光学-干涉



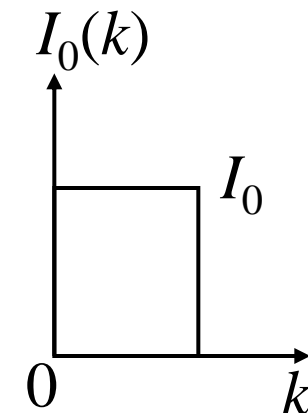
(3) 光谱线宽导致的衬比度下降

线宽 $\Delta\lambda$ 准单色光产生的干涉场强度:

$$I = \int_0^{\infty} I_0(k) (1 + \cos k\Delta L) dk$$

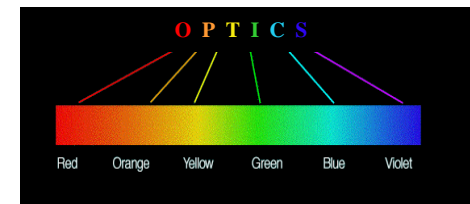
$I_0(k)$: 频率或光谱光强;

矩形波谱: $I = I_0 \left(1 + \frac{\sin u}{u} \cos k\Delta L \right)$

$$u = \frac{\Delta k}{2} \Delta L$$
A graph showing a rectangular pulse function. The vertical axis is labeled $I_0(k)$ and the horizontal axis is labeled k . The pulse has a constant height of I_0 from $k=0$ to a certain value, then drops to zero.

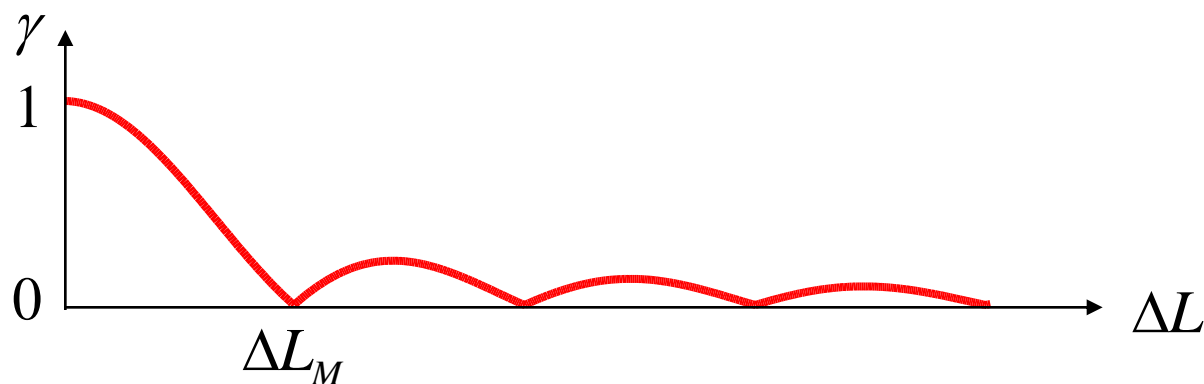


第四章 波动光学-干涉

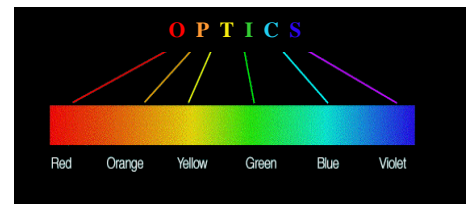


调制因子或衬比度:

$$\gamma = \left| \frac{\sin u}{u} \right| = \left| \frac{\sin \left(\frac{\Delta k}{2} \Delta L \right)}{\left(\frac{\Delta k}{2} \Delta L \right)} \right|$$



第四章 波动光学-干涉

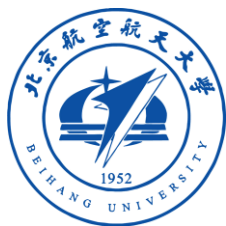


(4) 最大光程差

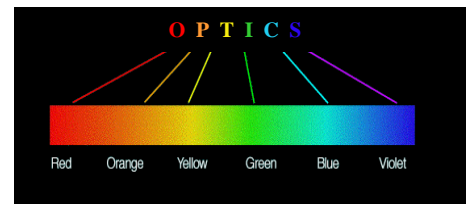
衬比度第一次等于零对应的光程差为**最大光程差**。

$$\Delta L_M = \frac{2\pi}{\Delta k} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda/\lambda}$$

结论：光源单色性越好，最大光程差越大，即相干长度大。



第四章 波动光学-干涉



3.7 光场的时间相干性

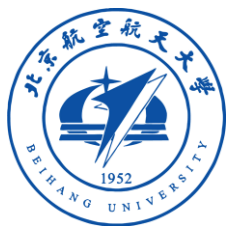
相干时间：光源持续发光时间 τ_0

波列长度： $L_0 = c\tau_0$

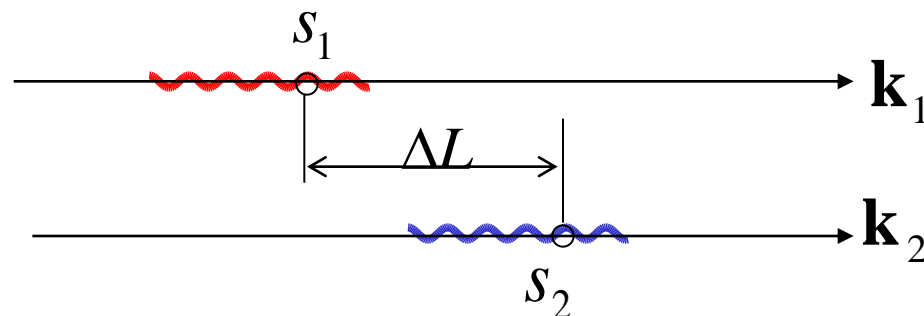
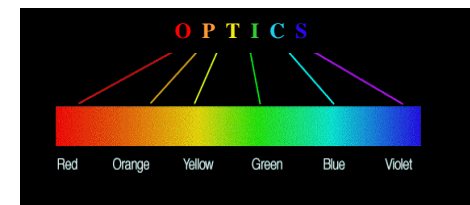
L_0 ：相干长度=最大光程差 ΔL_M

时间相干性反比公式：

$$\tau_0 \cdot \Delta\nu \approx 1$$



第四章 波动光学-干涉



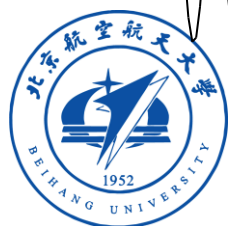
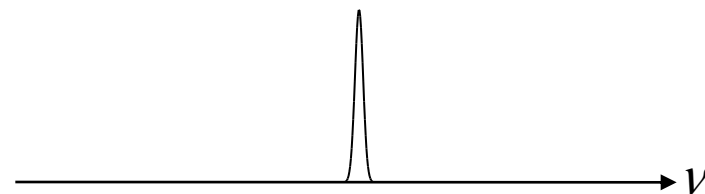
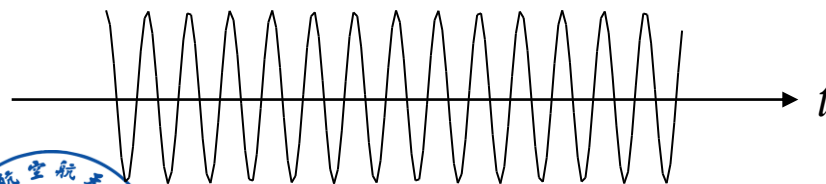
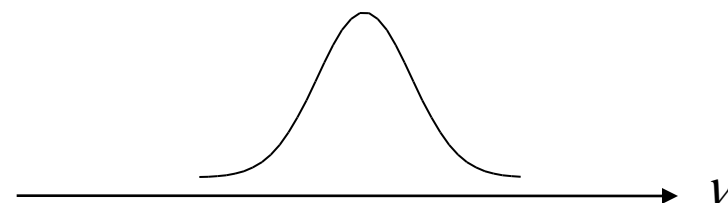
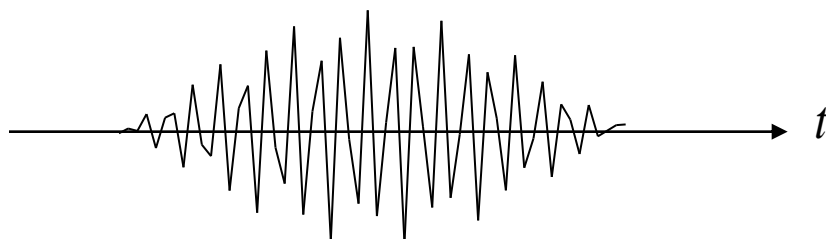
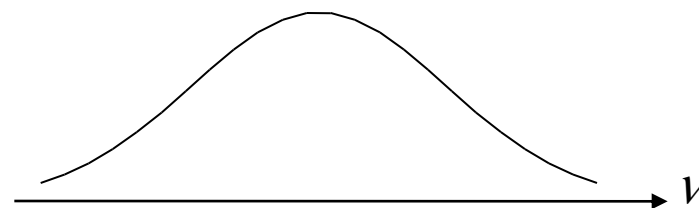
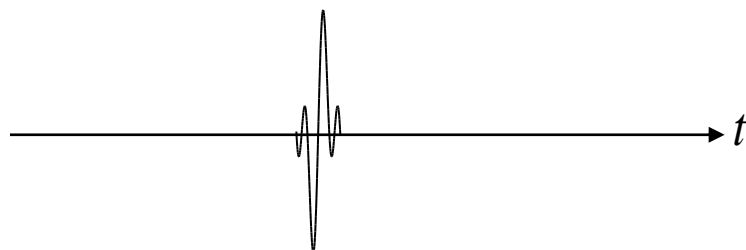
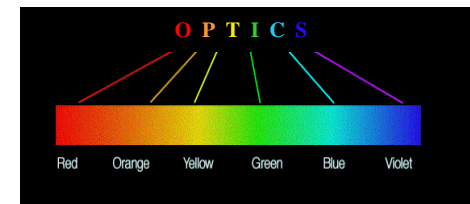
$\Delta L > L_0$, or $\Delta t > \tau_0$ S_1, S_2 非相干

$\Delta L < L_0$, or $\Delta t < \tau_0$ S_1, S_2 部分相干

$\Delta L \approx 0$, or $\Delta t \approx 0$ S_1, S_2 完全相干



第四章 波动光学-干涉

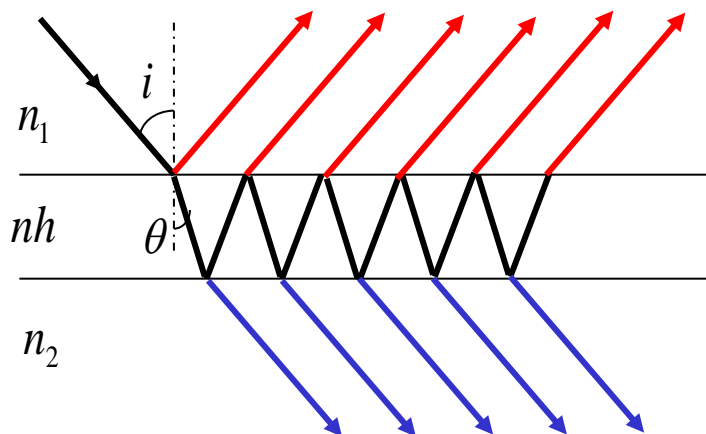


第四章 波动光学-干涉



3.8 多光束干涉，法布里-珀罗干涉仪

(1) 反射、透射相干多光束



第四章 波动光学-干涉



反射光振幅:

$$\tilde{U}_r = \tilde{U}_{r1} + \tilde{U}_{r2} + \tilde{U}_{r3} + \dots$$

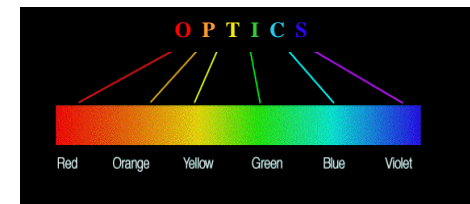
$$\tilde{U}_r = \frac{\sqrt{R}(1 - e^{i\delta})}{1 - Re^{i\delta}} A_0$$

反射光强:

$$I_r = \frac{4R \sin^2 \delta/2}{(1 - R)^2 + 4R \sin^2 \delta/2} I_0$$

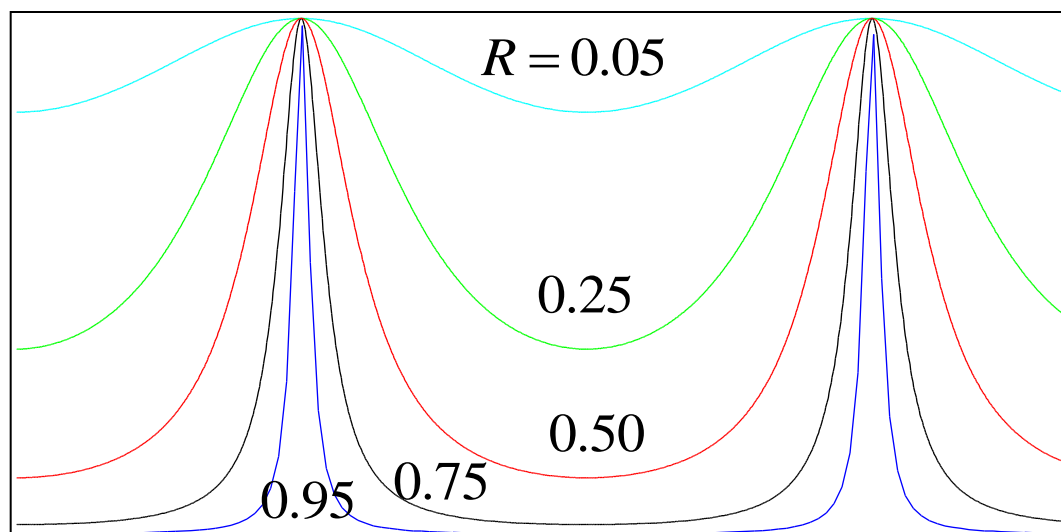


第四章 波动光学-干涉

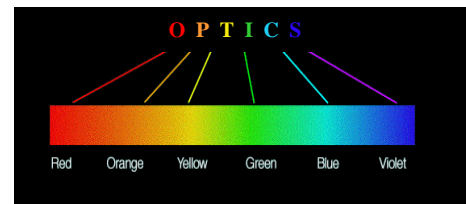


透射光强:

$$I_T = \frac{(1-R)^2}{(1-R)^2 + 4R \sin^2 \delta/2} I_0$$



第四章 波动光学-干涉



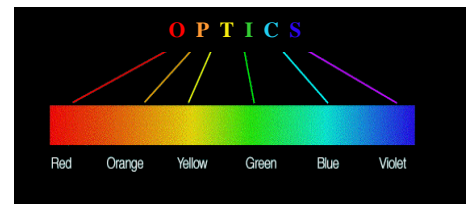
光强与反射率关系:

- a. 反射率增加, 透射光暗条纹强度下降, 亮条纹变窄, 条纹锐度和衬比度上升;
- b. 反射率低, 与双光束干涉近似, 可以只考虑头两束光干涉。

$$\text{相位差: } \delta = \frac{4\pi}{\lambda} nh \cos \theta$$



第四章 波动光学-干涉



(2) 干涉图样特征

- 具有等倾条纹特征
- 反射光和透射光干涉图样互补

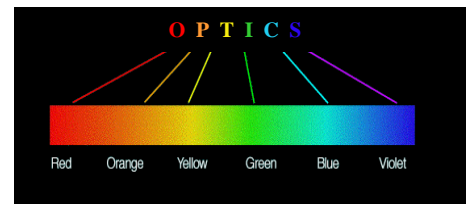
反射光:

亮条纹:
$$\delta = \frac{4\pi}{\lambda} nh \cos \theta = (2k + 1)\pi$$

$$I_{rM} = \frac{4R}{(1-R)^2 + 4R} I_0$$



第四章 波动光学-干涉



暗条纹:
$$\delta = \frac{4\pi}{\lambda} nh \cos \theta = 2k\pi$$

$$I_{rm} = 0$$

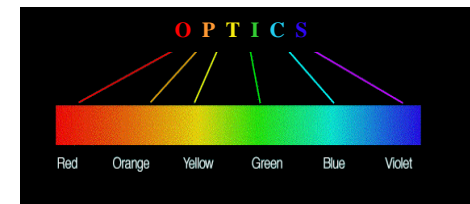
透射光:

亮条纹:
$$\delta = \frac{4\pi}{\lambda} nh \cos \theta = 2k\pi$$

$$I_{tM} = I_0$$



第四章 波动光学-干涉



暗条纹: $\delta = \frac{4\pi}{\lambda} nh \cos \theta = (2k + 1)\pi$

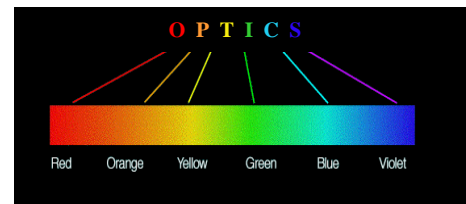
$$I_{tm} = \frac{(1-R)^2}{(1-R)^2 + 4R} I_0$$

忽略平板吸收

$$\frac{I_r}{I_0} + \frac{I_t}{I_0} = 1$$



第四章 波动光学-干涉



(3) 干涉条纹锐度

条纹半宽度：强度等于峰值一半的两点间距

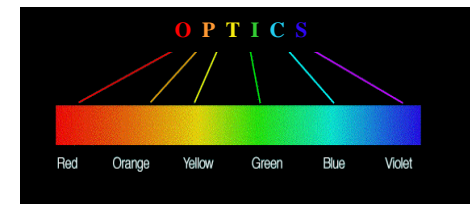
$$\varepsilon = \Delta\delta = \frac{2(1-R)}{\sqrt{R}}$$

条纹精细度：相邻两条纹间距 2π 与 $\Delta\delta$ 之比

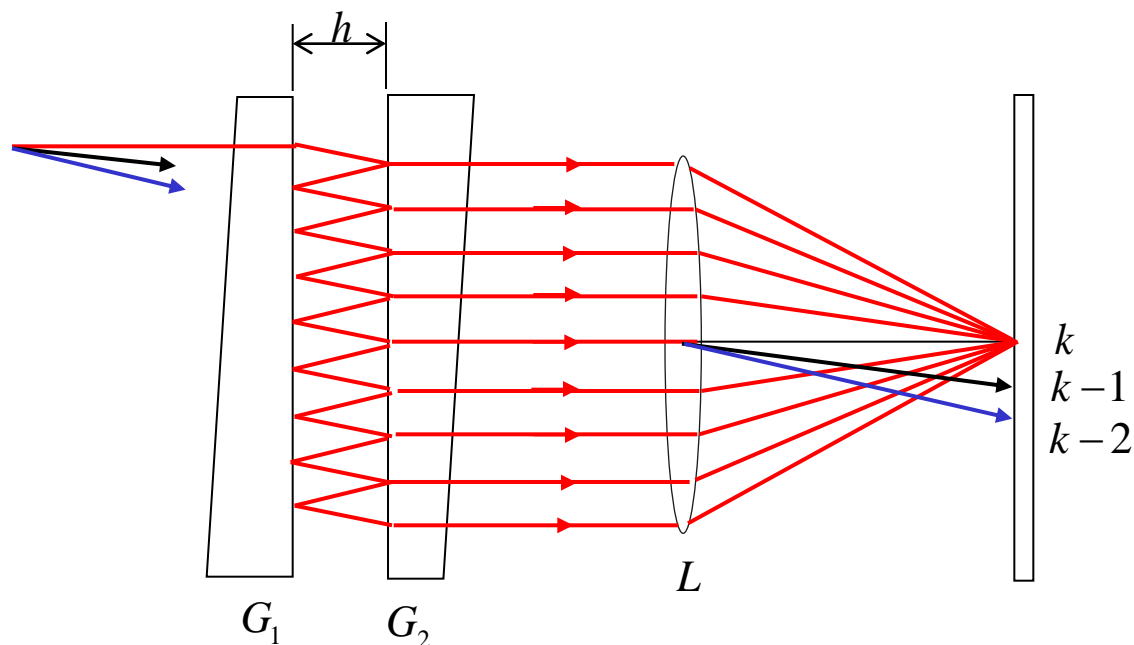
$$S = \frac{2\pi}{\Delta\delta} = \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R}$$



第四章 波动光学-干涉



(4) 法布里-珀罗 (F-P) 干涉仪

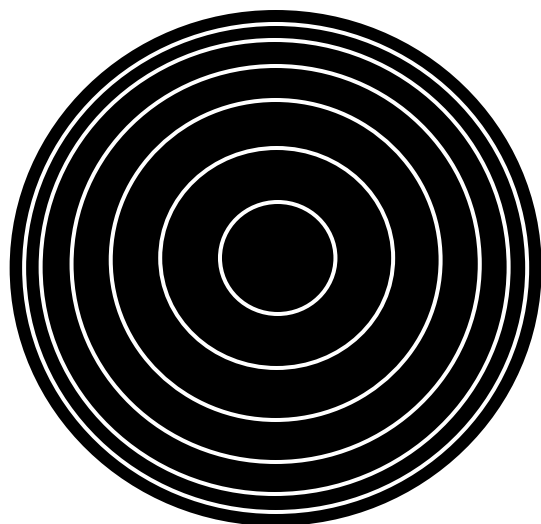


第四章 波动光学-干涉

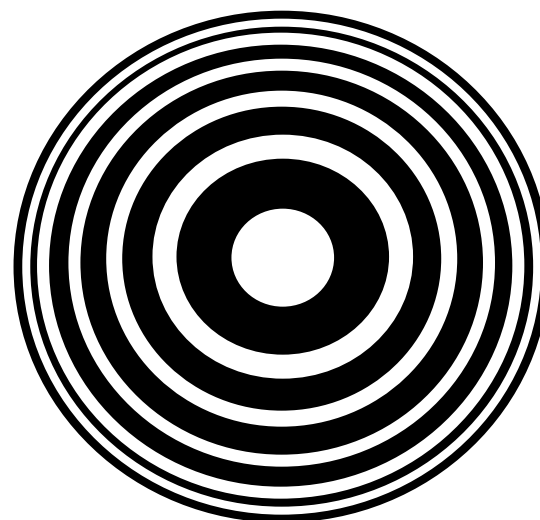


干涉图样特征:

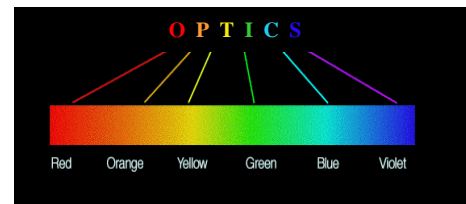
F-P干涉图样



迈克耳逊干涉图样



第四章 波动光学-干涉



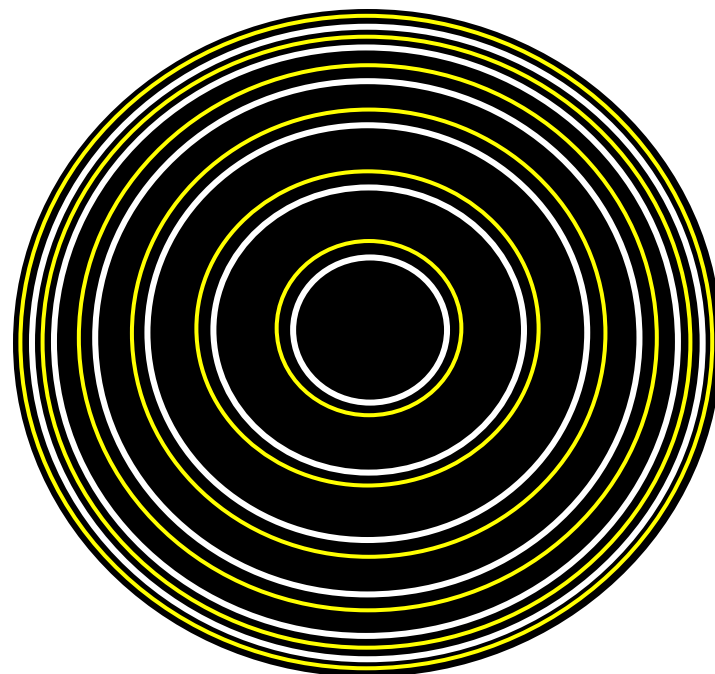
分辨本领:

第K级两亮环的角间隔

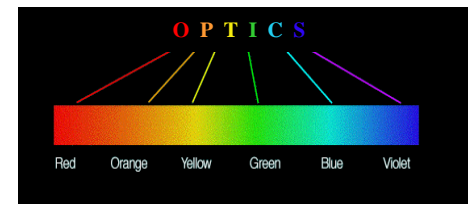
$$\delta\theta \approx \frac{k \cdot \delta\lambda}{2nh \sin \theta_k}$$

亮环半角宽度

$$\Delta\theta_k \approx \frac{\lambda}{2\pi nh \sin \theta_k} \cdot \frac{1-R}{\sqrt{R}}$$



第四章 波动光学-干涉

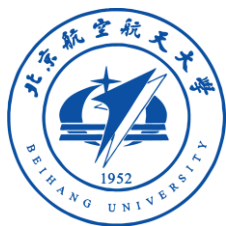


最小可分辨波长间隔

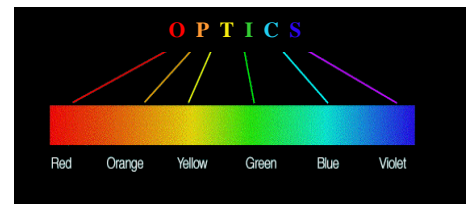
$$\delta\lambda_m \approx \frac{\lambda}{\pi k} \cdot \frac{1-R}{\sqrt{R}}$$

光谱仪分辨率

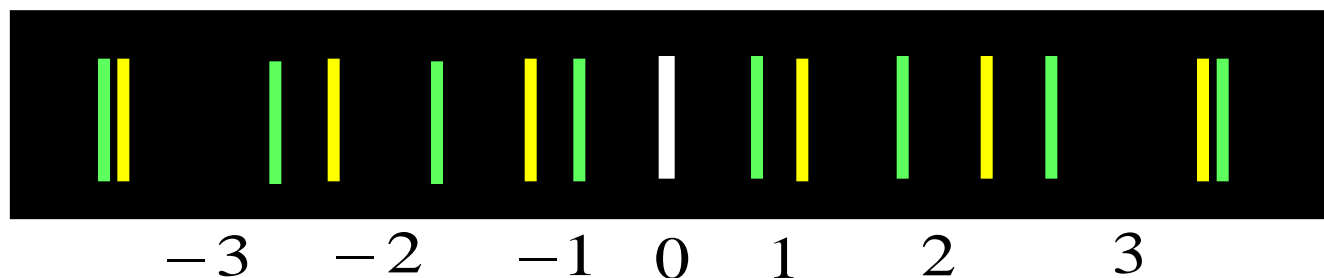
$$R_c = \frac{\lambda}{\delta\lambda_m} = \pi k \frac{\sqrt{R}}{1-R}$$



第四章 波动光学-干涉



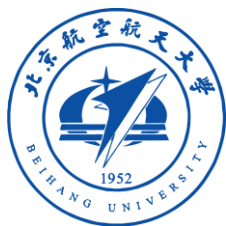
F-P自由光谱范围



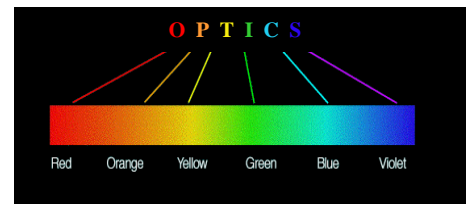
$$\text{令: } k\lambda_M = (k+1)\lambda_m$$

自由光谱范围:

$$\Delta\lambda = \lambda_M - \lambda_m \approx \frac{\lambda}{k} \approx \frac{\lambda^2}{2nh}$$

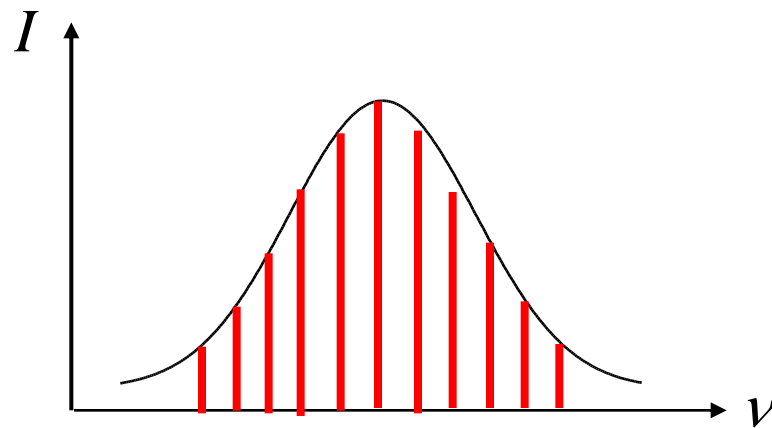
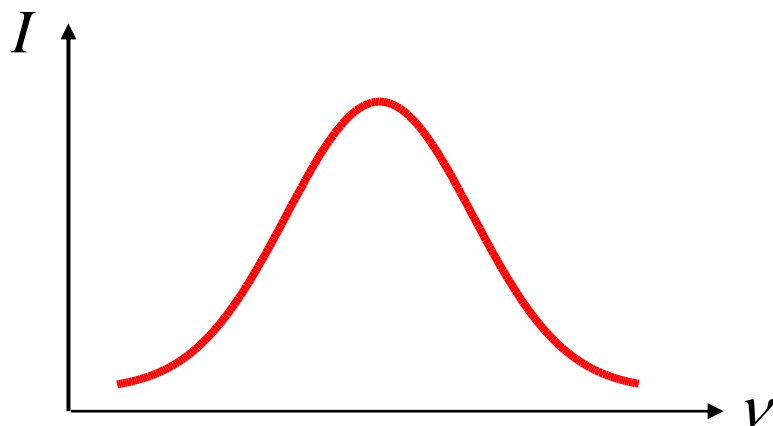


第四章 波动光学-干涉

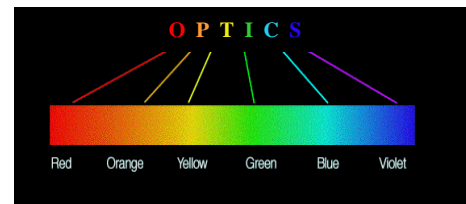


F-P 选频功能

入射光是连续光谱，而透射光是准分立光谱。



第四章 波动光学-干涉



透射峰频率条件: $2nh = k\lambda_k$

透射峰频率: $\nu_k = \frac{c}{\lambda_k} = k \frac{c}{2nh}$

相邻谱线的频率间隔:

$$\Delta\nu = \frac{c}{2nh}$$

谱线宽度: $\Delta\nu_k \approx \frac{c}{2\pi nh} \cdot \frac{1-R}{\sqrt{R}} (\text{MHz})$

