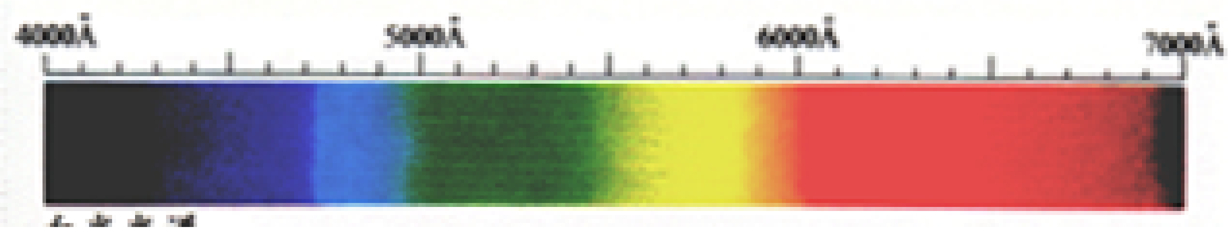
波 动 光 学

光的电磁波理论

1. 光是电磁波



波长范围： $\boxed{400nm \to 760nm}$

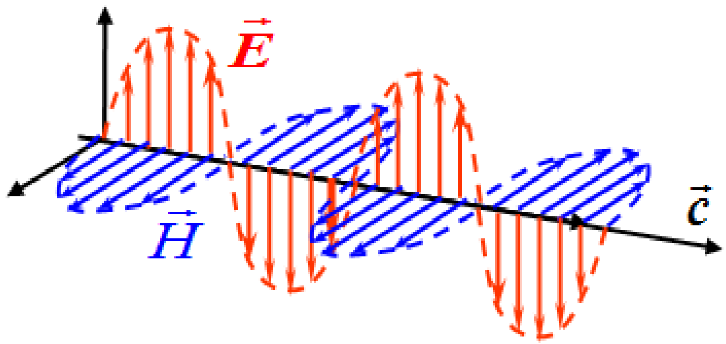
频率范围： $7.6\times10^{14}\,Hz \sim 3.9\times10^{14}\,Hz$

可见光光谱

红	760nm~620nm
橙	620nm~590nm
黄	590nm~570nm
绿	570nm~500nm
青	500nm~460nm
蓝	460nm~430nm
紫	430nm~400nm

2. 光强

光矢量 $\vec{E}$ 能产生感光作用及生理作用的是电场强度矢量



光强

$I \propto E_0^2$， 定义 $I = E_0^2 = A^2$

3. 光速

真空中 $c=\dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}=3.0\times10^8 ms^{-1}$

μ_0 真空磁导率

ε_0 真空介电常数

介质中 $u=\dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon\ \mu}}=\dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\varepsilon_r\mu_0\mu_r}}=\dfrac{c}{\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}}$

4. 介质的折射率

$$\boxed{n=\frac{c}{u}}=\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}$$

5. 光在介质中的波长

介质中 $\lambda_n=u/\nu$

真空中 $\lambda=\ c/\nu$

$$\boxed{\lambda_n=\frac{\lambda}{n}}$$

6. 光的单色性

单色光： 只有单一波长（或频率）的光。

准单色光： 波长范围很窄的光称为准单色光。

谱线：光强随波长变化的关系曲线。

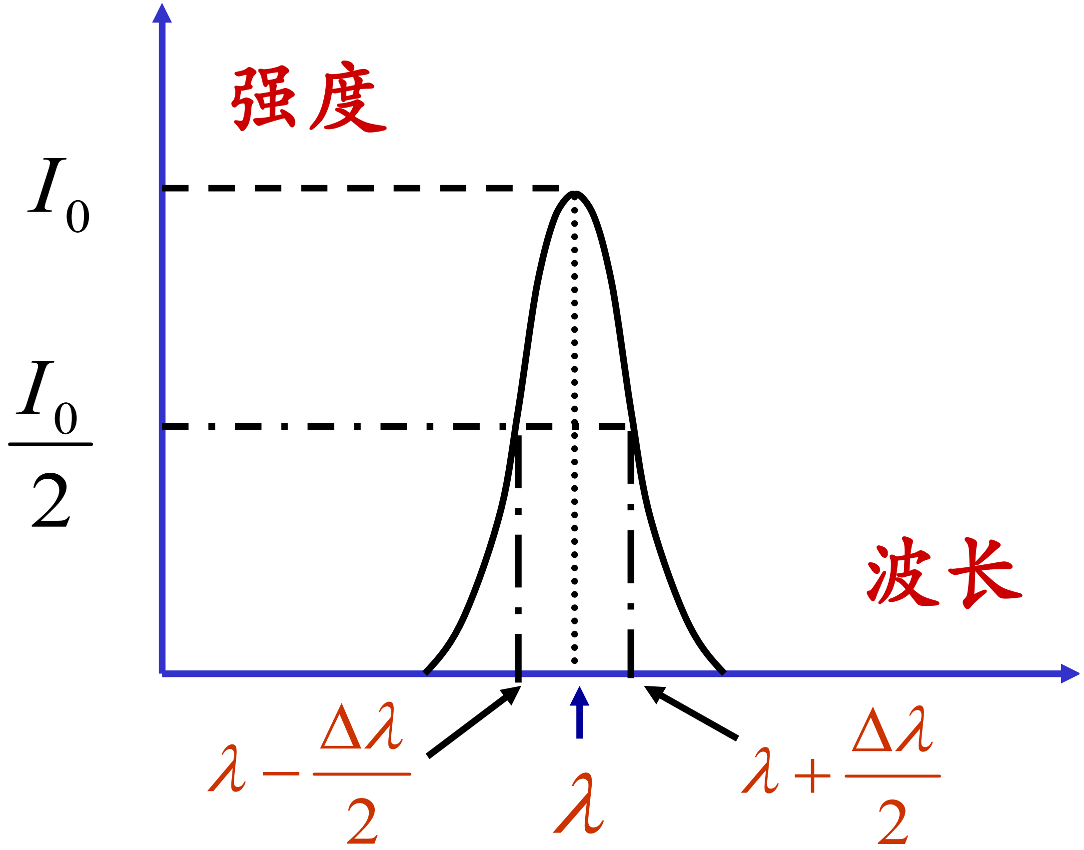
谱线宽度 $\Delta\lambda$

$\Delta\lambda$ 越小，光的单色性越好。

气体原子发光，如钠灯

或汞灯 $\Delta\lambda$ 约为 $10^{-1} \sim 10^{-3}$ nm

激光 $\Delta\lambda$ 约为 10^{-9} nm。



谱线及其宽度

光的干涉

11-2 相干光

11-3 杨氏双缝干涉

11-4 薄膜干涉

11-5 可见度、时间相干性和空间相干性*

11-6 迈克尔逊干涉仪*

11-2 相 干 光

自然界中光的干涉现象

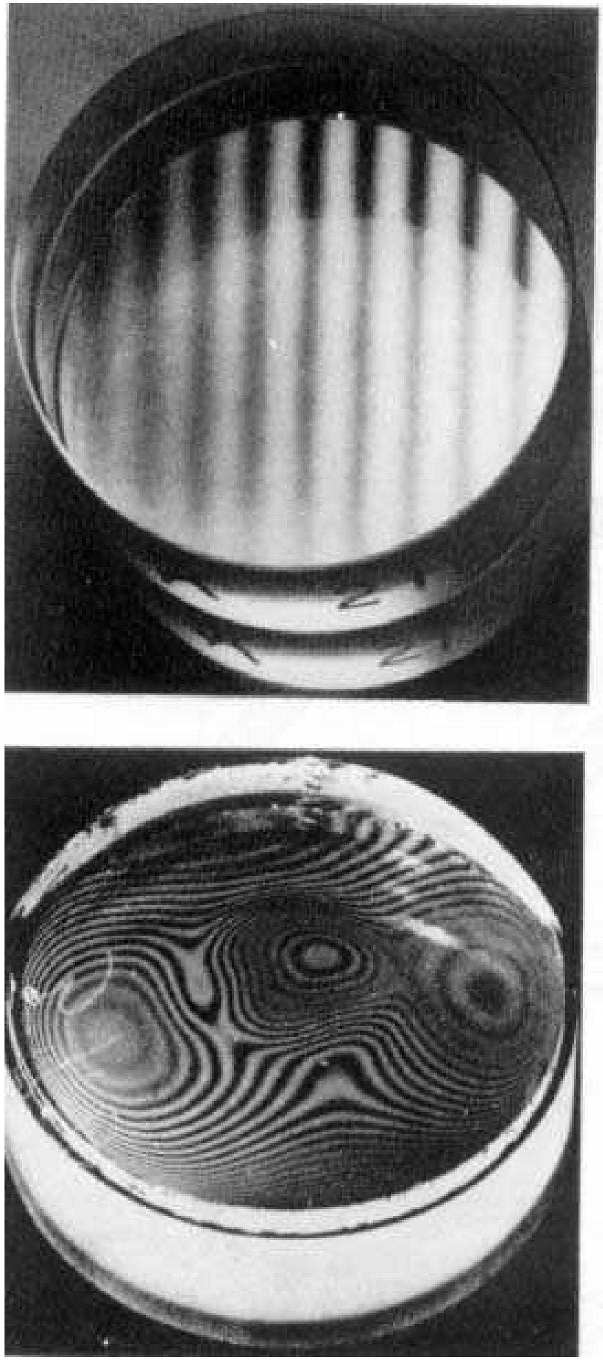
蝉翅在阳光下

蜻蜓翅膀在阳光下

白光下的油膜

肥皂泡玩过吗?

实验室中观察到的干涉现象



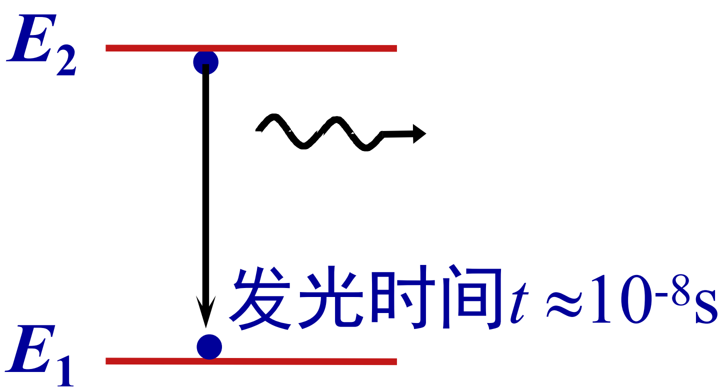
相干条件
- 频率相同
- 振动方向相同
- 有恒定相位差

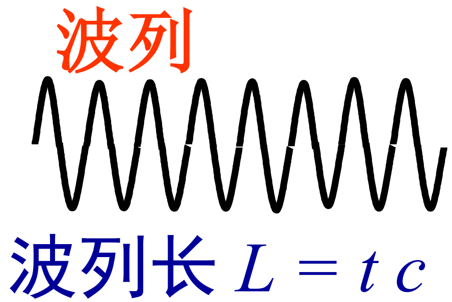
一. 相干光的获得

普通光源的发光特点

发光基本单元----原子、分子

发光机理----自发辐射





1) 一个原子一次发光只能发出 长度有限,

频率一定,振动方向一定的一段光波------波列;

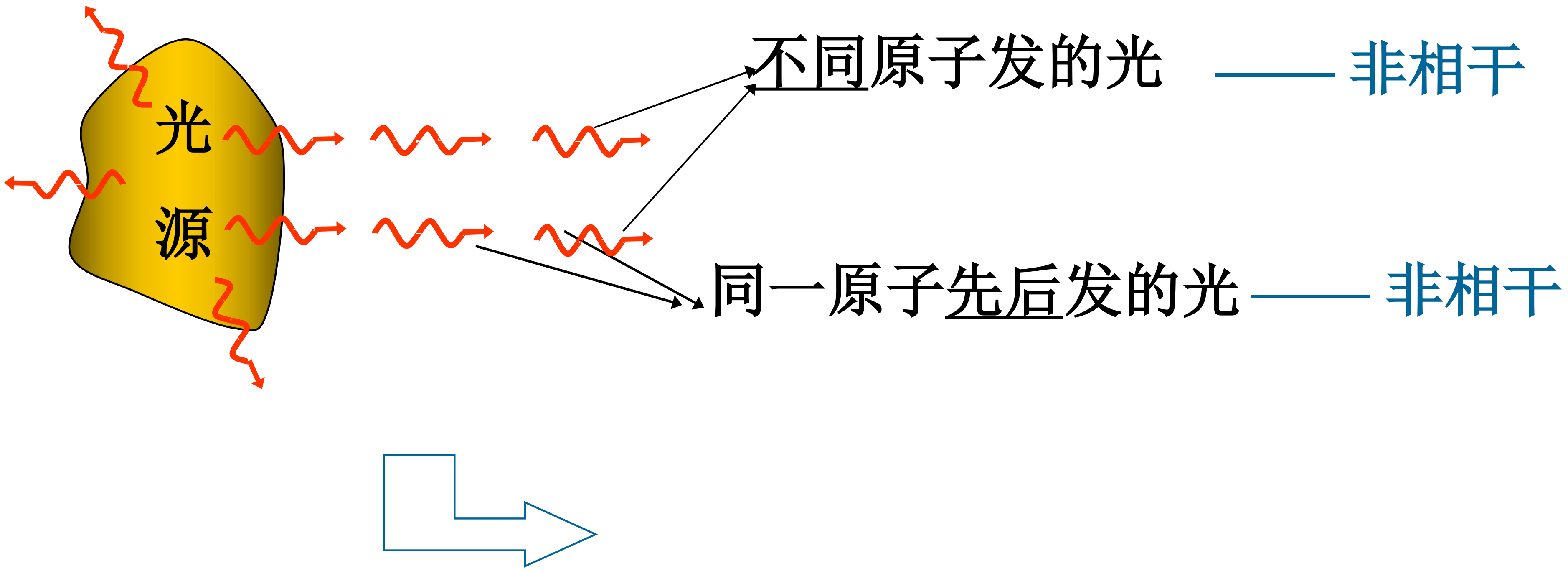
2) 每个原子发光是间歇的，随机的；

3）各个原子的发光彼此独立，互不相关.

1) 一个原子每一次发光只能发出长度有限， 频率一定，振动方向一定的一段光波------波列；

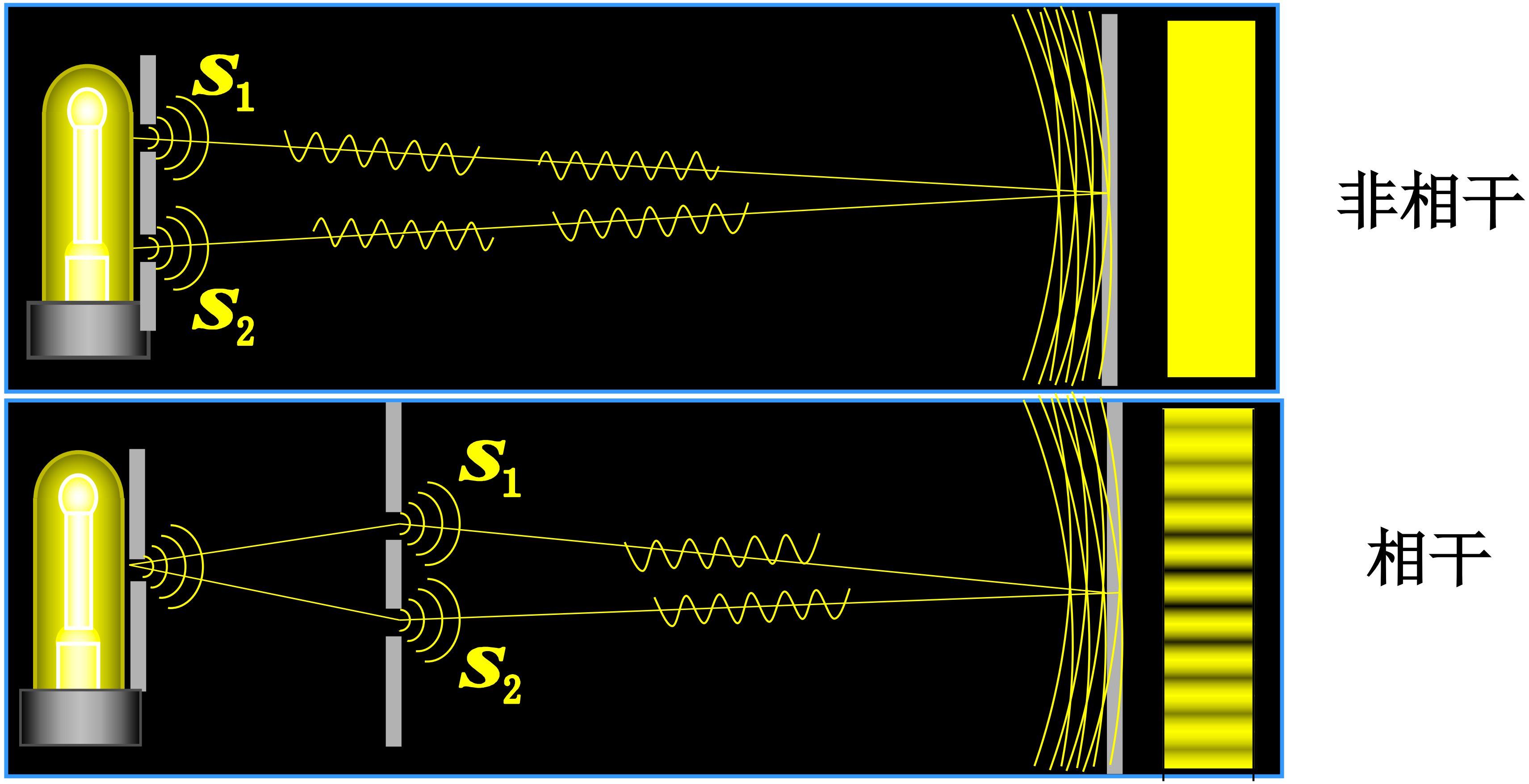
2) 每个原子发光是间歇的，随机的；

3）各个原子的发光彼此独立，互不相关.



两个普通光源或同一普通光源的不同部分所发出的光是不相干的

普通光源获得相干光的方法

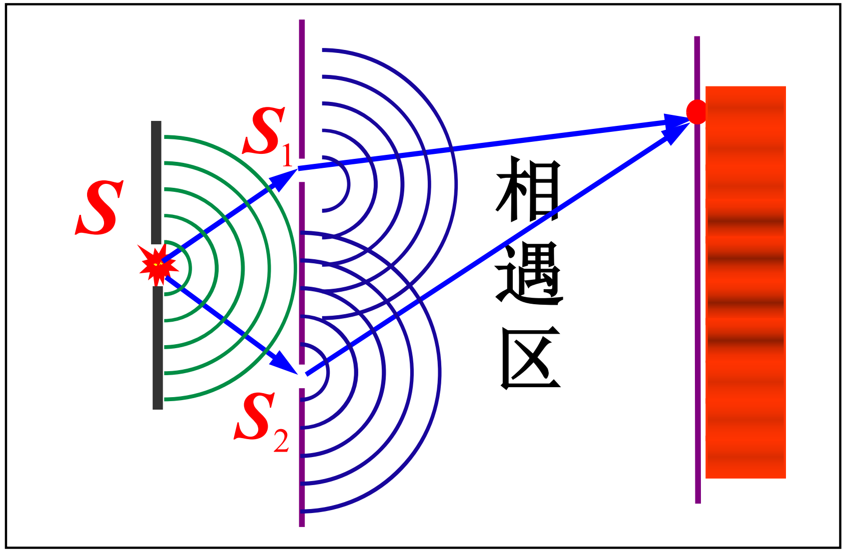


基本思想: 将光源上同一原子同一次发的光分成两部分，再使它们叠加

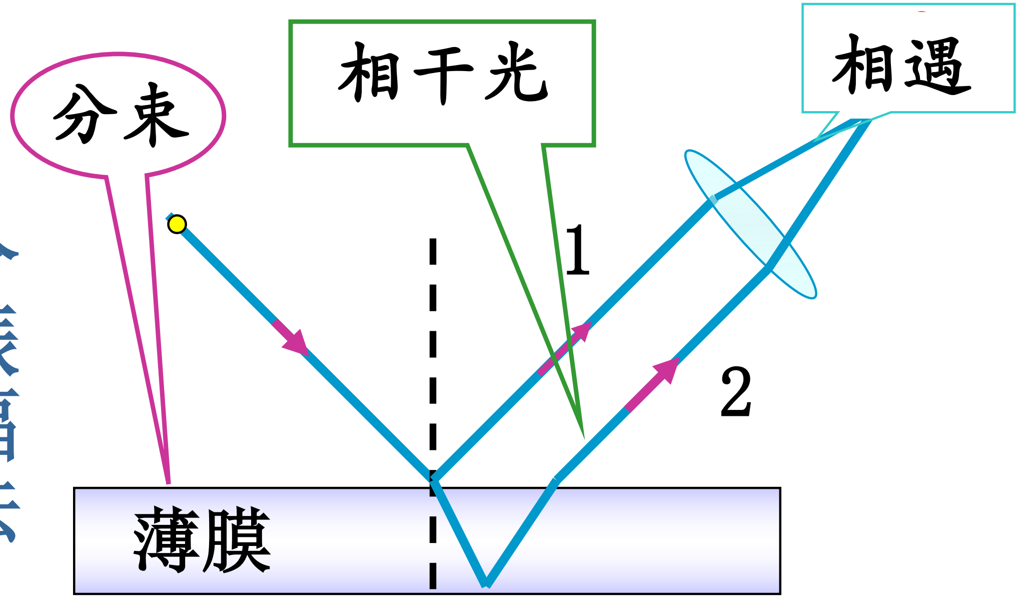
先分光 再相遇

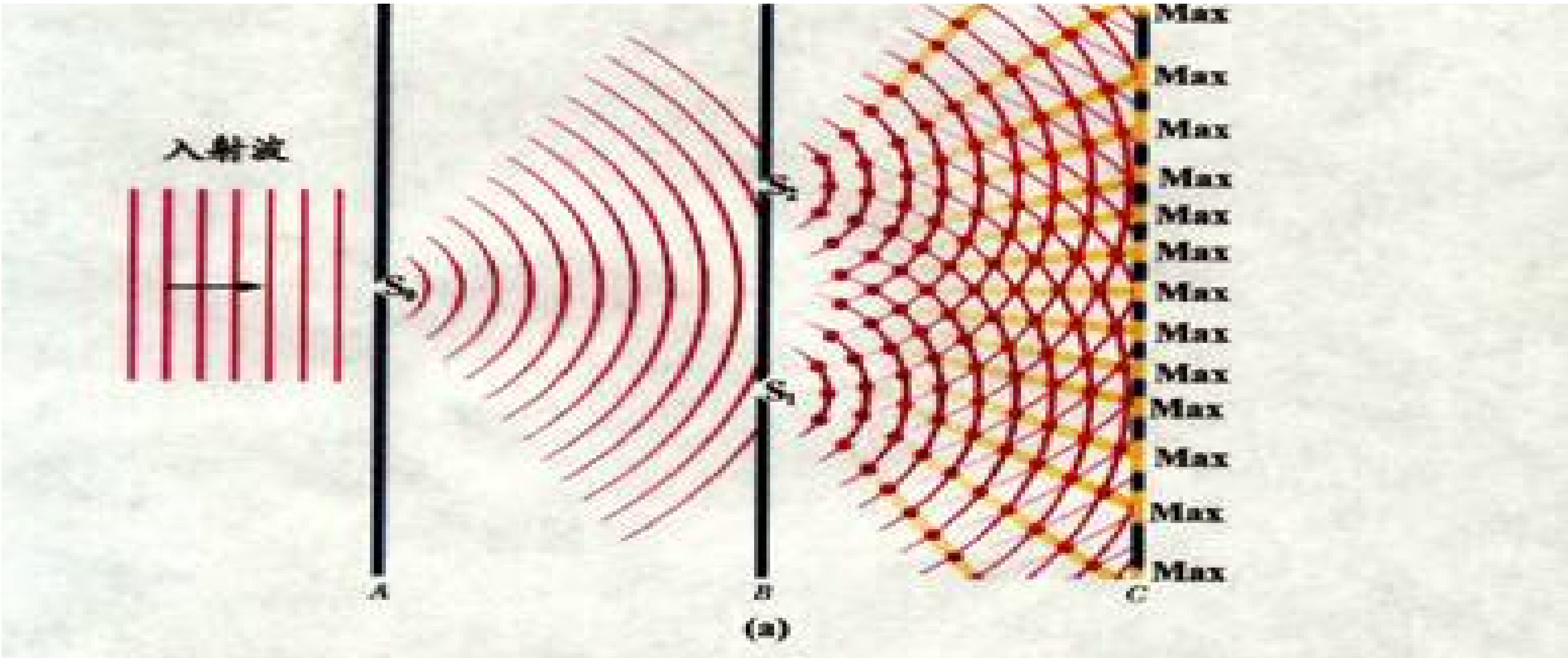
- 分波阵面法 ：双缝干涉
- 分振幅法 ： 薄膜干涉
- 分振动面法： 偏振光干涉

分波阵面法


S
S_1
S_2
相遇区

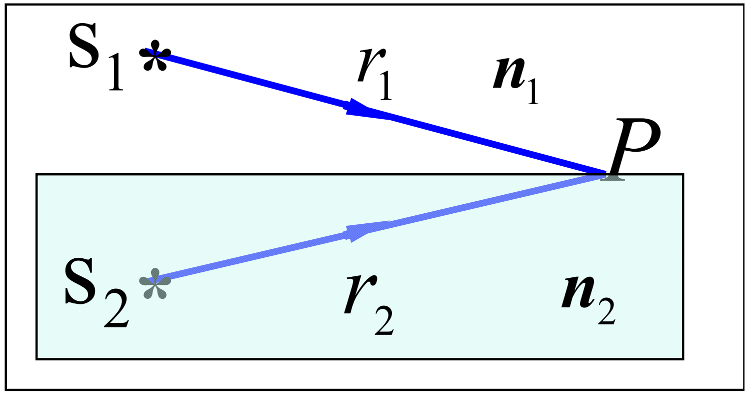
分振幅法


分束
相干光
相遇
1
2
薄膜


入射波
Max
Max
Max
Max
Max
Max
Max
Max
Max
Max
Max
Max
Max
A
B
C
(a)

二. 干涉加强与减弱的条件

相干光源 S_1 和 S_2 的光振动分别为



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

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

在 P点引起的光振动为

$$E_1 = A_1\cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda_1}r_1 + \varphi_1)$$

$$E_2 = A_2\cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda_2}r_2 + \varphi_2)$$

$$\lambda_1 = \frac{\lambda}{n_1} \qquad \lambda_2 = \frac{\lambda}{n_2}$$

λ为真空中的波长

合振动振幅 $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\Delta\varphi}$

相位差 $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 + \frac{2\pi}{\lambda}(n_2r_2 - n_1r_1)$

当 $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ 时 $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_2r_2 - n_1r_1)$

合振动振幅 $A=\sqrt{A_1^2+A_2^2+2A_1A_2\cos\Delta\varphi}$

相位差 $\Delta\varphi=\dfrac{2\pi}{\lambda}(n_2r_2-n_1r_1)$

$$\boxed{\Delta\varphi=\frac{2\pi}{\lambda}\delta}$$

合振动光强 $I=I_1+I_2+2\sqrt{I_1I_2}\cos\Delta\varphi$

光的强度或明暗在空间有稳定的分布—— 光的干涉

$$当\Delta\varphi=\begin{cases}\pm 2k\pi & 干涉加强\\ \pm(2k+1)\pi & 干涉减弱\end{cases}\qquad k=0,1,2,\Lambda$$

光程： nr

光程差：

$$\delta=n_2r_2-n_1r_1$$

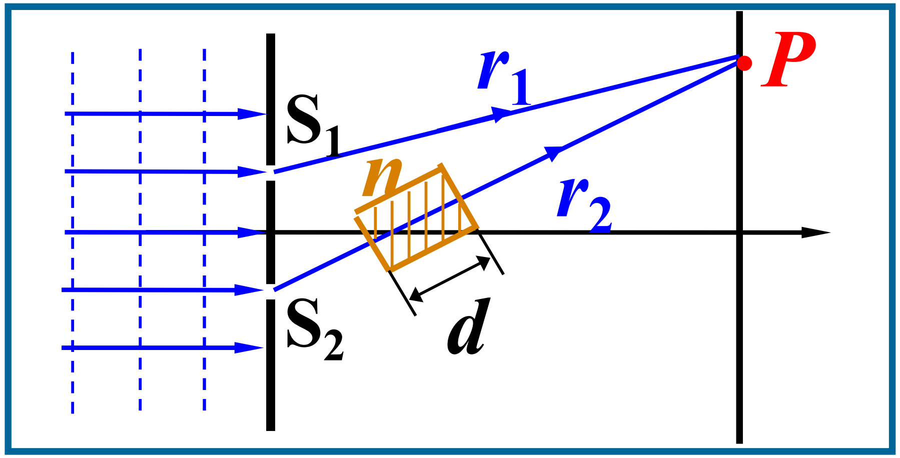
$$\delta=\begin{cases}\pm k\lambda & 干涉加强\\ \pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & 干涉减弱\end{cases}\qquad k=0,1,2,\Lambda$$

例:光程差的计算

S_1 S_2发出的光到达 p 点的**光程差**

$$\delta = \left[(r_2 - d)\cdot 1 + nd\right] - r_1 \cdot 1$$

$$= (r_2 - r_1) + (n-1)d$$

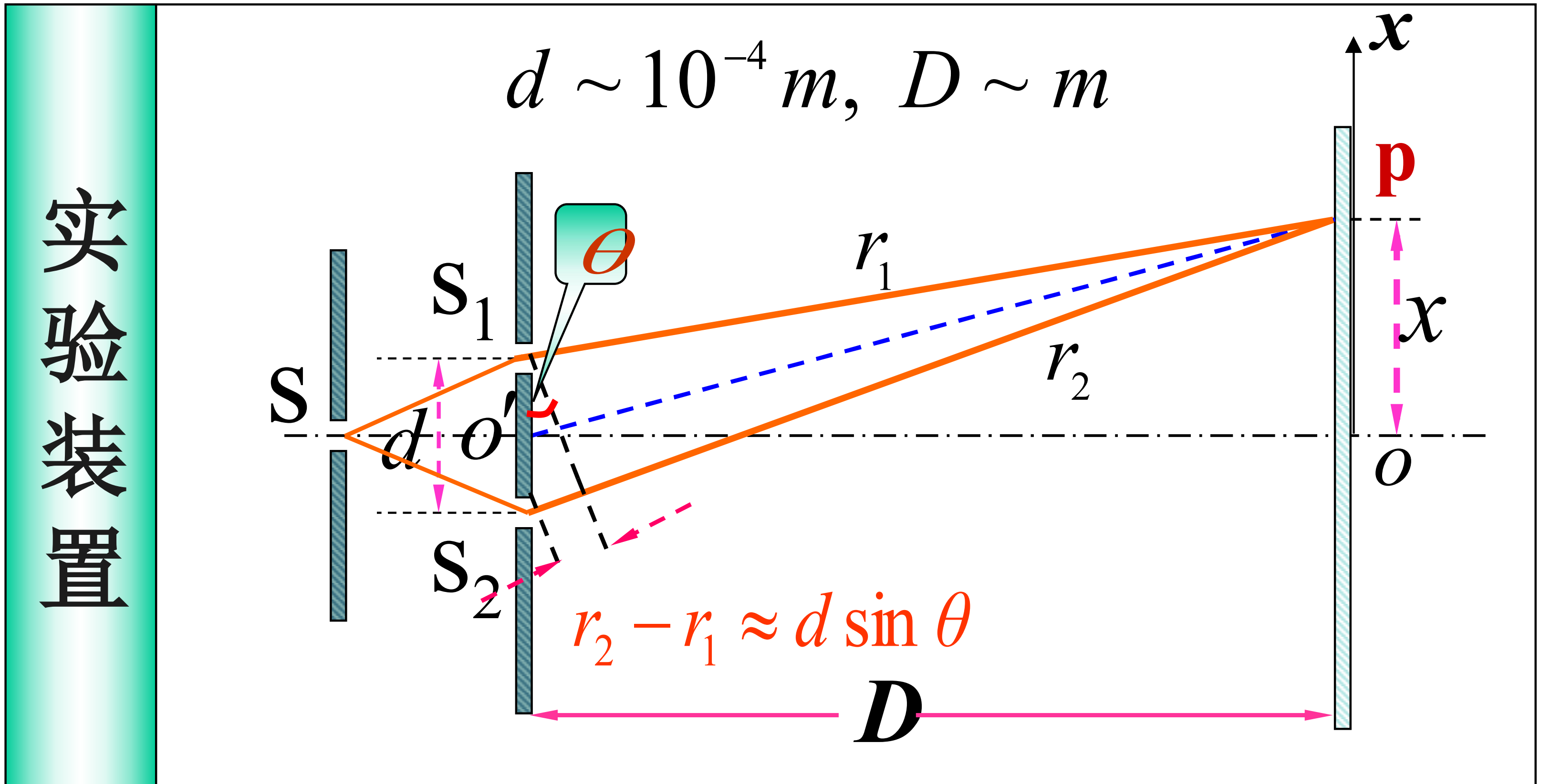


11-3 杨氏双缝干涉

一. 杨氏双缝干涉形成及特点

杨(T. Young)在1801
年首先发现光的干涉现象，
并首次测量了光波的波长。

1. 实验装置



2. 杨氏干涉特点

设实验在真空（或空气）中进行

$$\delta = r_2 - r_1 \approx d\sin\theta \approx d\tan\theta = d\frac{x}{D} = \begin{cases} \pm k\lambda & \text{明纹} \quad k = 0,1,2\Lambda \\ \pm(2k-1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗纹} \quad k = 1,2\Lambda \end{cases}$$

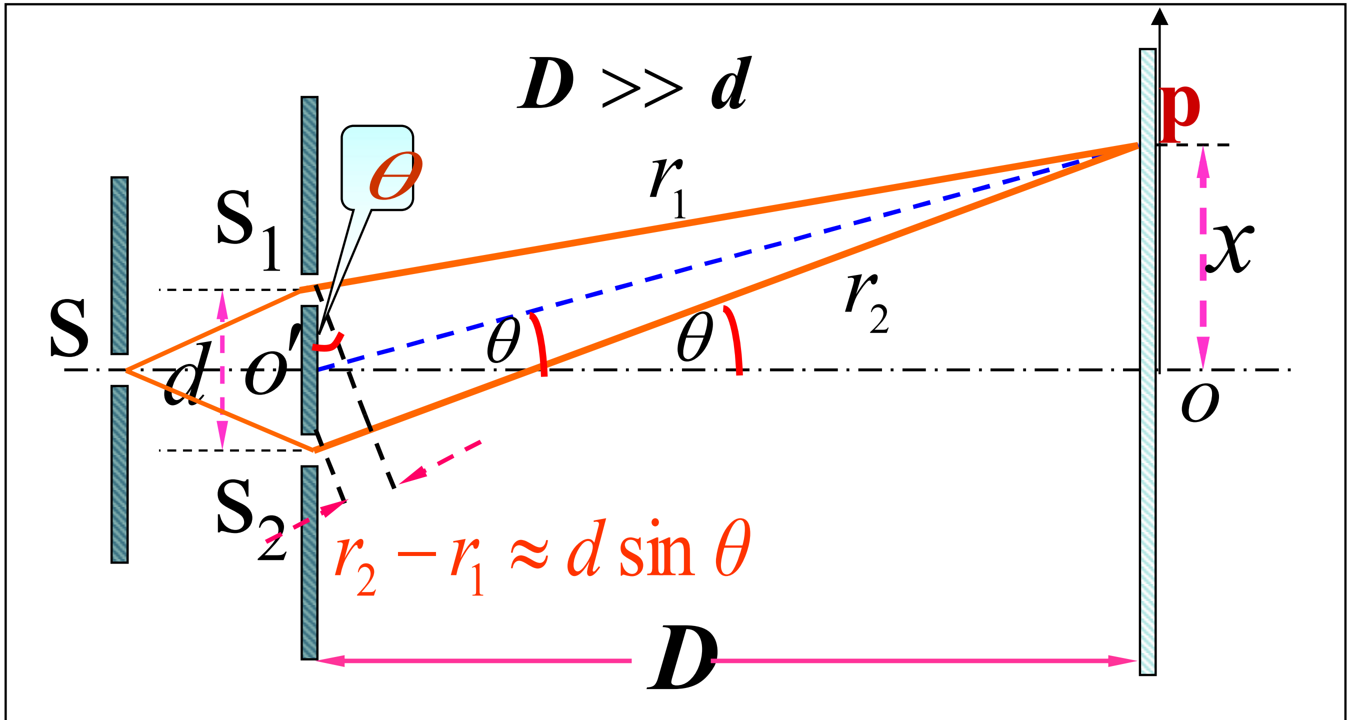
◆ 干涉条纹的位置坐标

明纹中心：

$$x = \pm k\frac{D}{d}\lambda \quad (k = 0,1,2,\Lambda)$$

暗纹中心：

$$x = \pm(2k-1)\frac{D}{2d}\lambda \quad (k = 1,2\Lambda)$$



◆ 干涉条纹的位置坐标

明纹中心：

$$x = \pm k\frac{D}{d}\lambda \quad (k = 0,1,2,\Lambda\ )$$

暗纹中心：

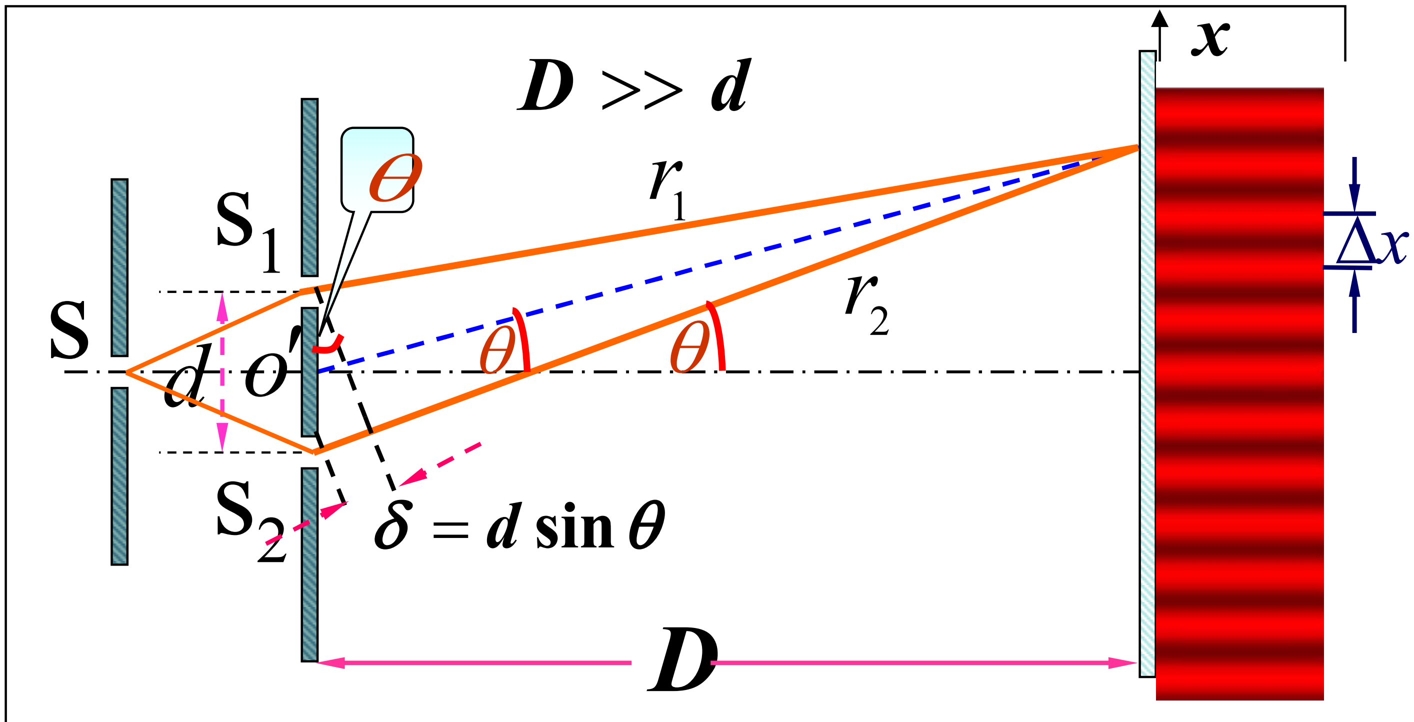
$$x = \pm(2k-1)\frac{D}{2d}\lambda \quad (k = 1,2\Lambda\ )$$

◆ 条纹间距

相邻两明或暗纹间距：

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{D}{d}\lambda$$

一系列明暗相间且等间距的直条纹



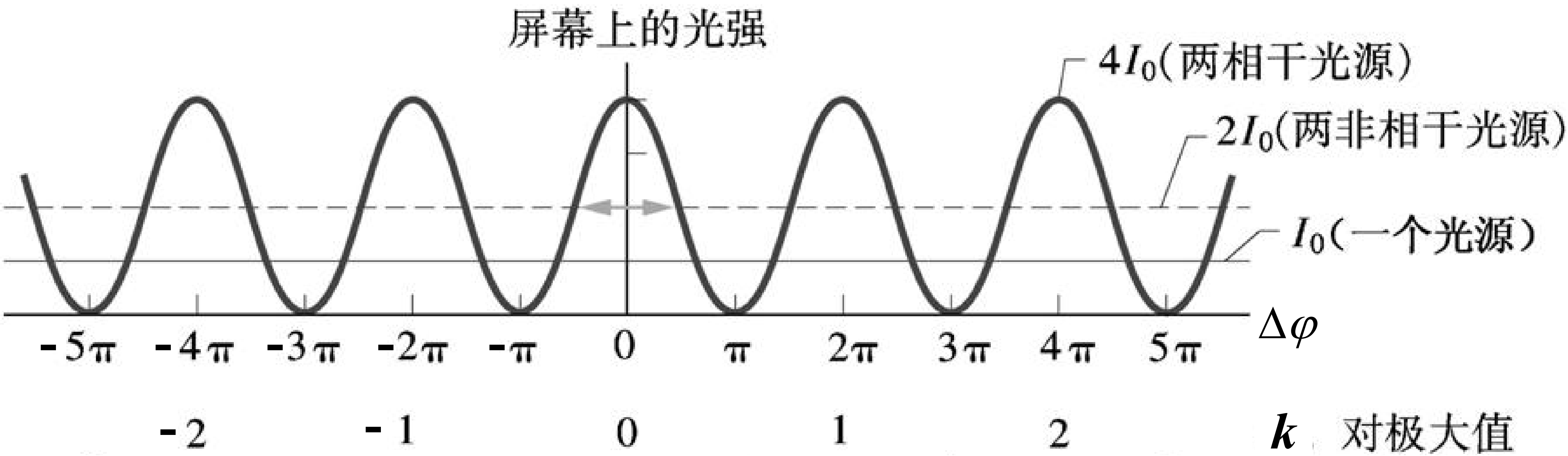
◈ 光强分布

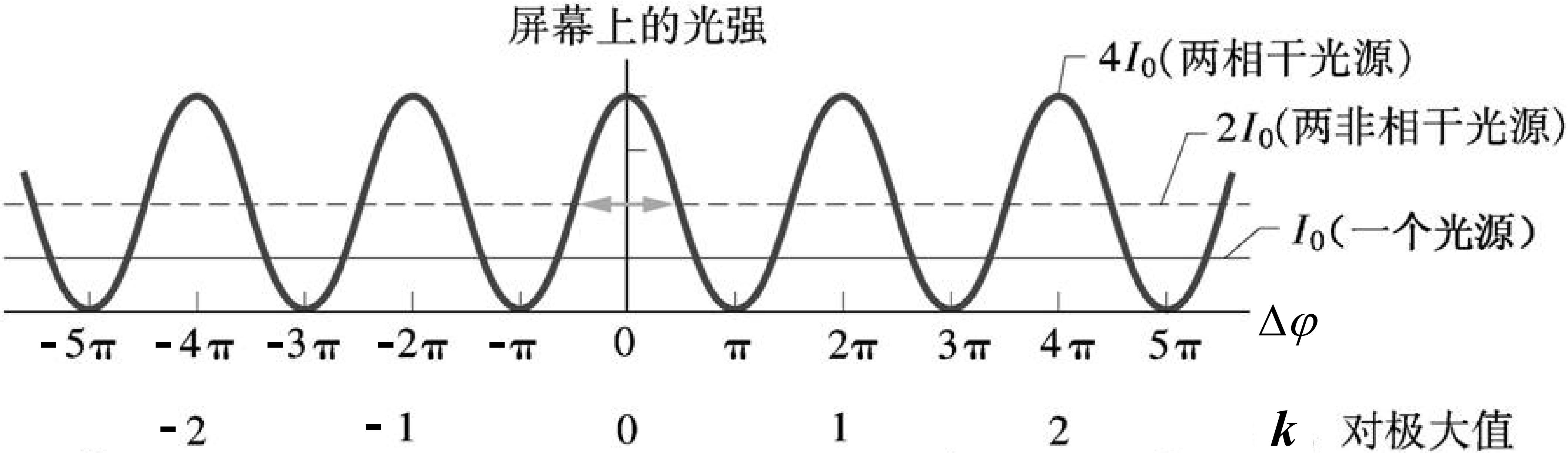
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\varphi$$

$$I_1 = I_2 = I_0$$

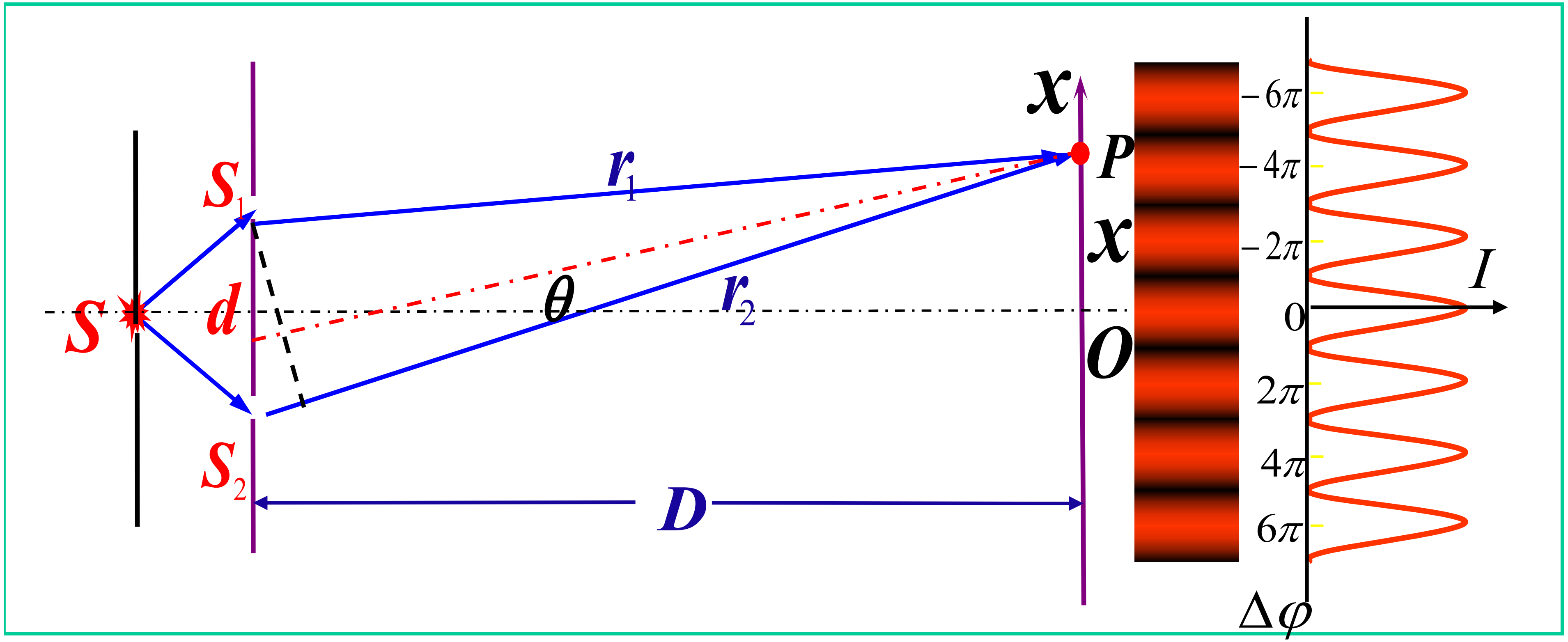
$$I = 2I_0 + 2I_0\cos\Delta\varphi = 2I_0(1+\cos\Delta\varphi)$$

$$= 4I_0\cos^2\frac{\Delta\varphi}{2}$$





屏幕上的光强
$4I_0$(两相干光源)
$2I_0$(两非相干光源)
I_0(一个光源)
$\Delta\varphi$
-5π -4π -3π -2π $-\pi$ 0 π 2π 3π 4π 5π
-2 -1 0 1 2
k 对极大值



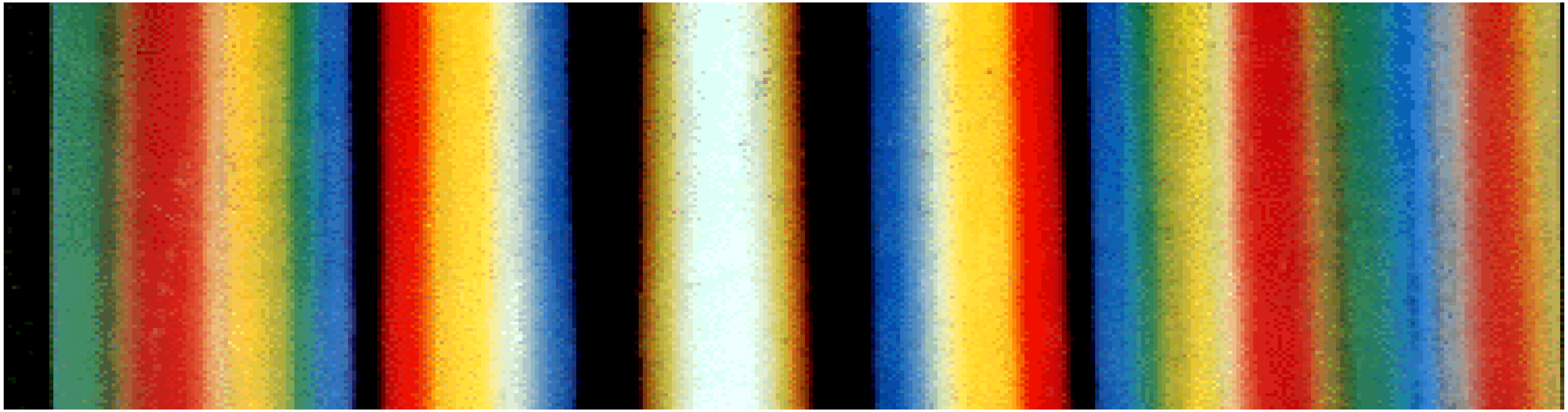
S
S_1
S_2
d
r_1
r_2
θ
x
P
x
O
D
-6π
-4π
-2π
0
2π
4π
6π
I
$\Delta\varphi$

讨论

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{D}{d}\lambda$$

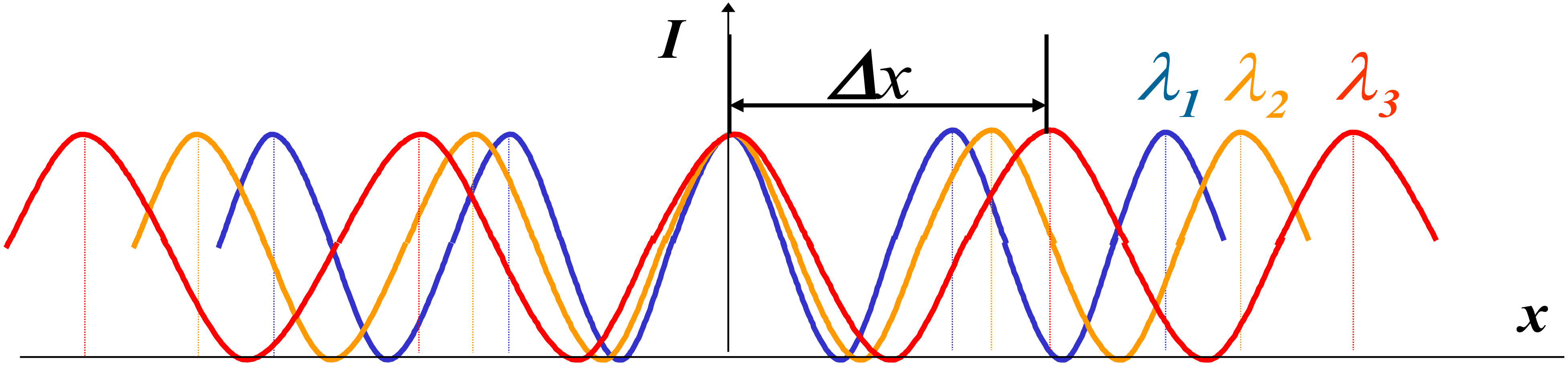
$$x = \pm k\frac{D}{d}\lambda(\text{明})$$

1. 已知D, d，测Δx确定光波波长λ.



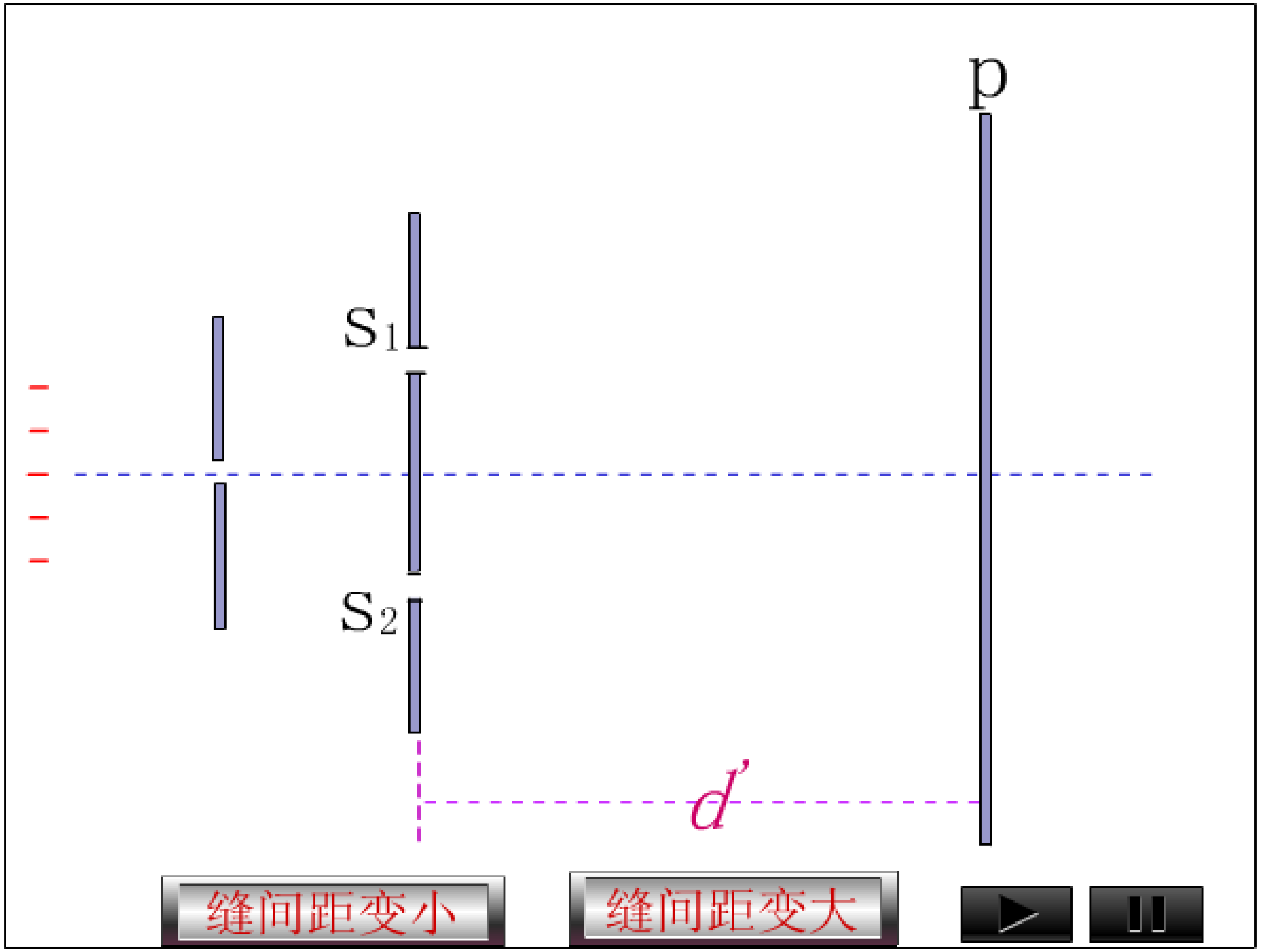
白光入射的杨氏双缝干涉照片

2. 白光照射，中央亮条纹仍是白的，其它为彩色



3. d小Δ x大，分辨率高.

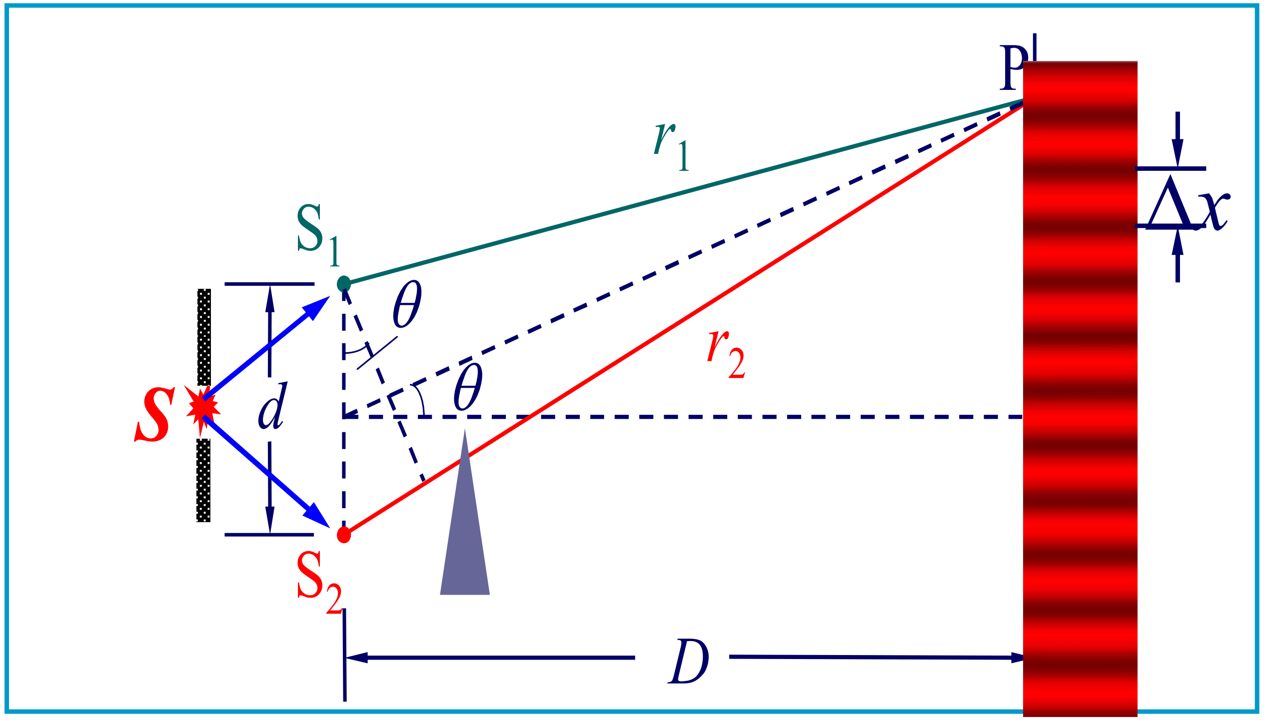
$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{D}{d}\lambda$$



其他条件不变，条纹间距 Δx 随d 的变化

请思考

杨氏双缝干涉，下述情况中，干涉条纹将如何变化？



$$x_k = \pm k\frac{D}{d}\lambda\text{(明)}$$

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

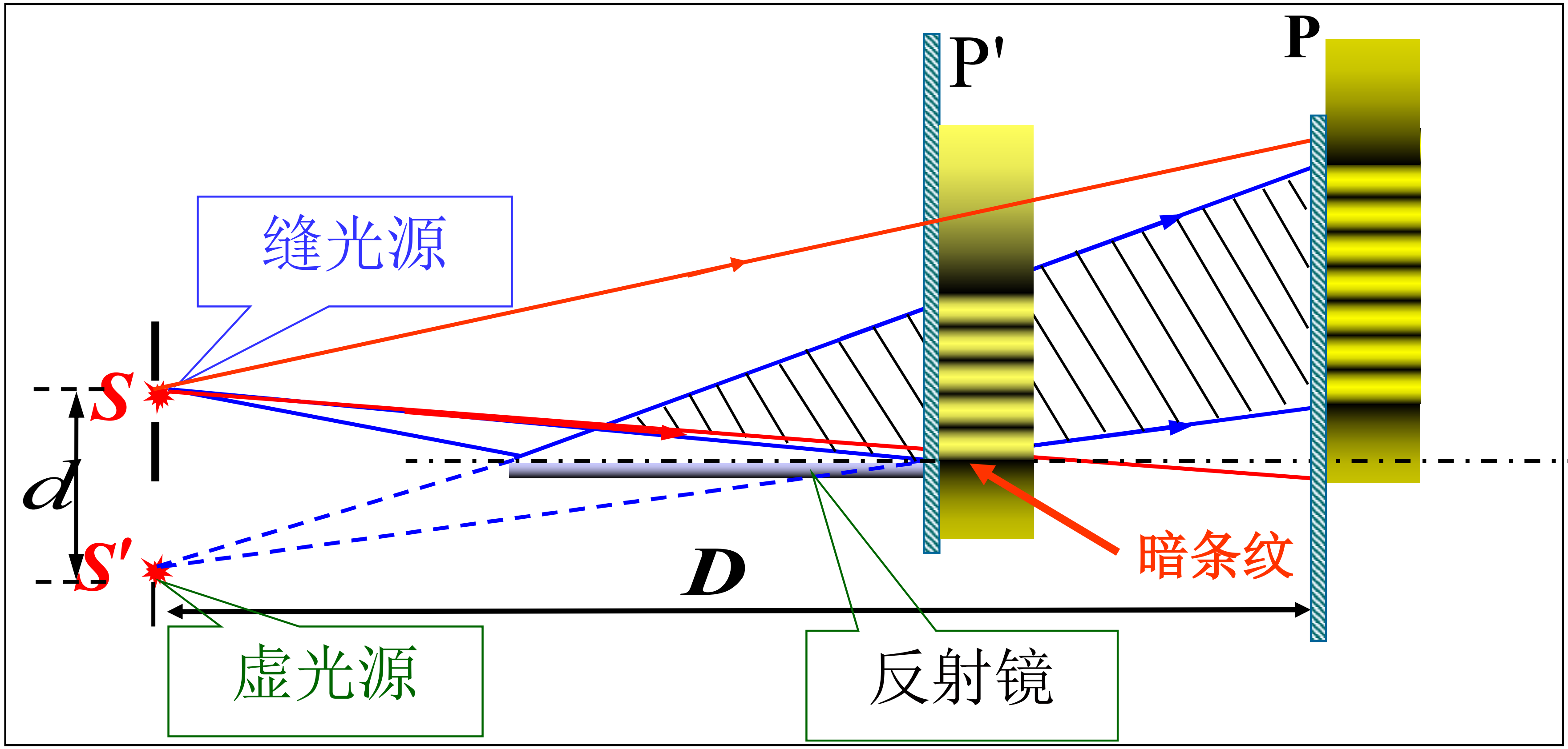
（1） 把整个装置浸入水中

（2） 分别用红、蓝滤色片各遮住S_1和S_2

（3） 在缝S_2处慢慢向上插入一块楔形玻璃片

（4）S缝下移动时，条纹如何变化？

二. 其他类似装置（劳埃镜 菲涅耳双面镜 菲涅耳双棱镜）

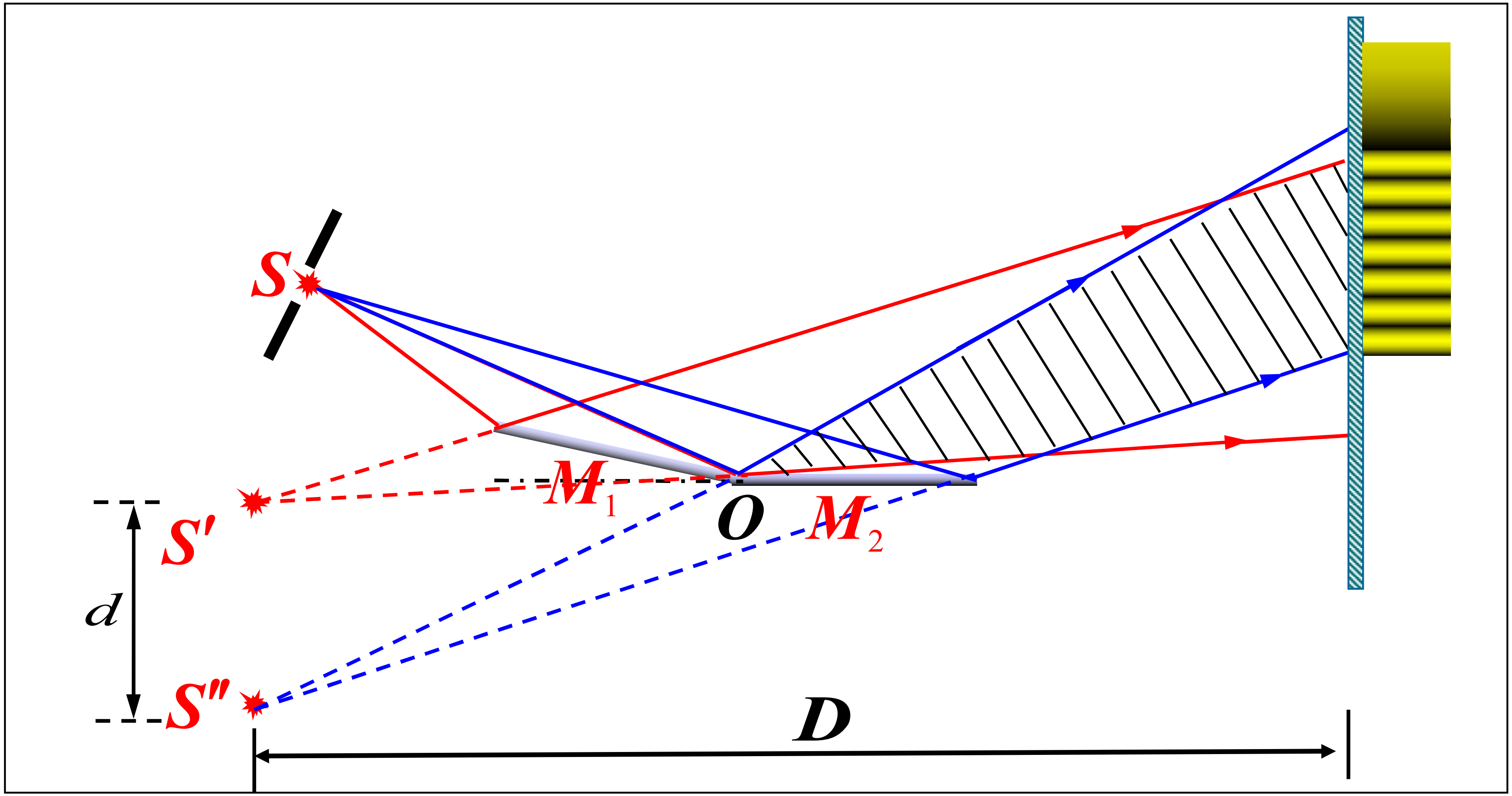


劳 埃 镜

处理办法：等效双缝 $\delta = d\sin\theta + \boxed{\frac{\lambda}{2}}$ （半波损失）

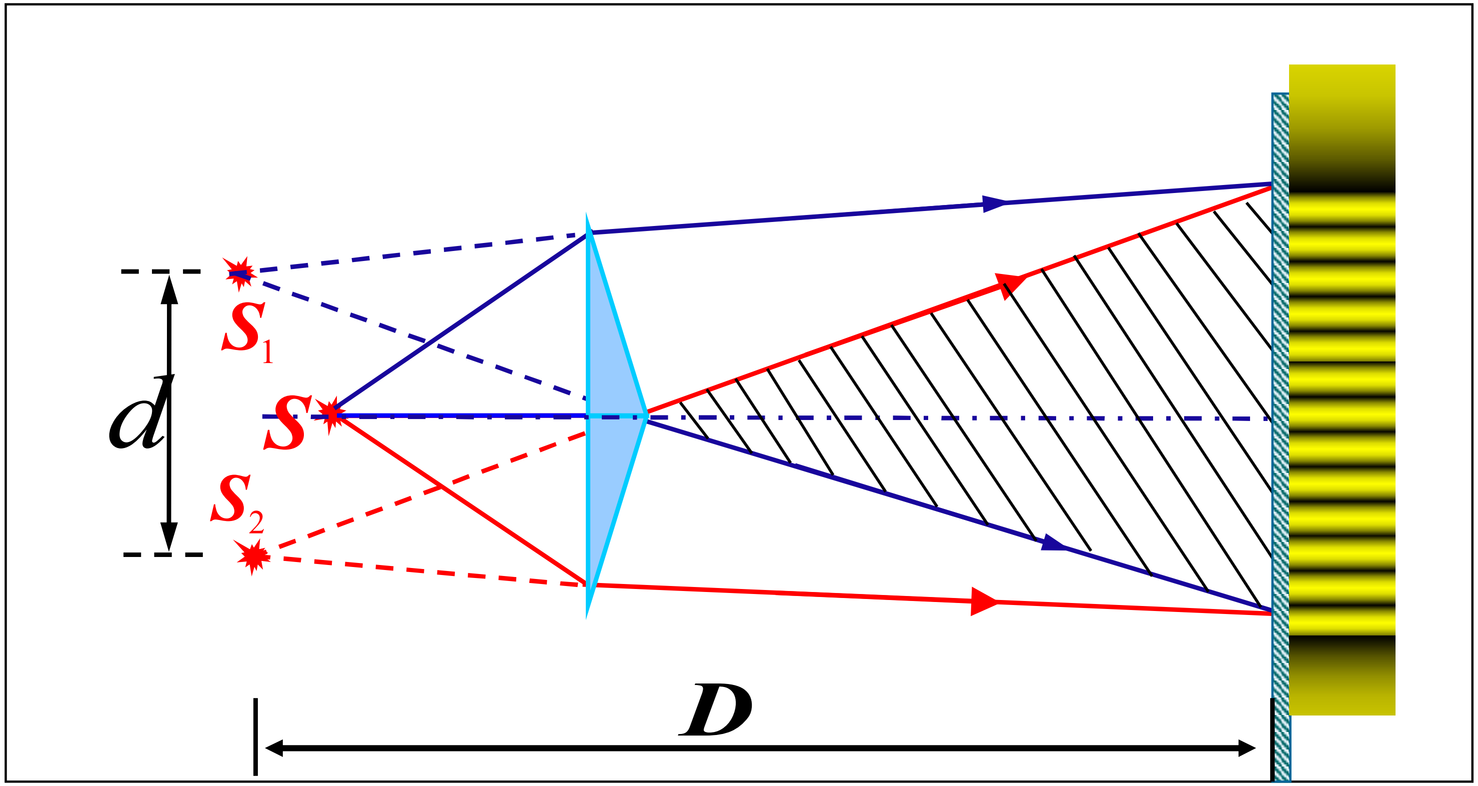
对比双缝干涉： ① 明暗条纹位置反转。

② 条纹分布限于屏的上半部分。



双 面 镜 的 干 涉

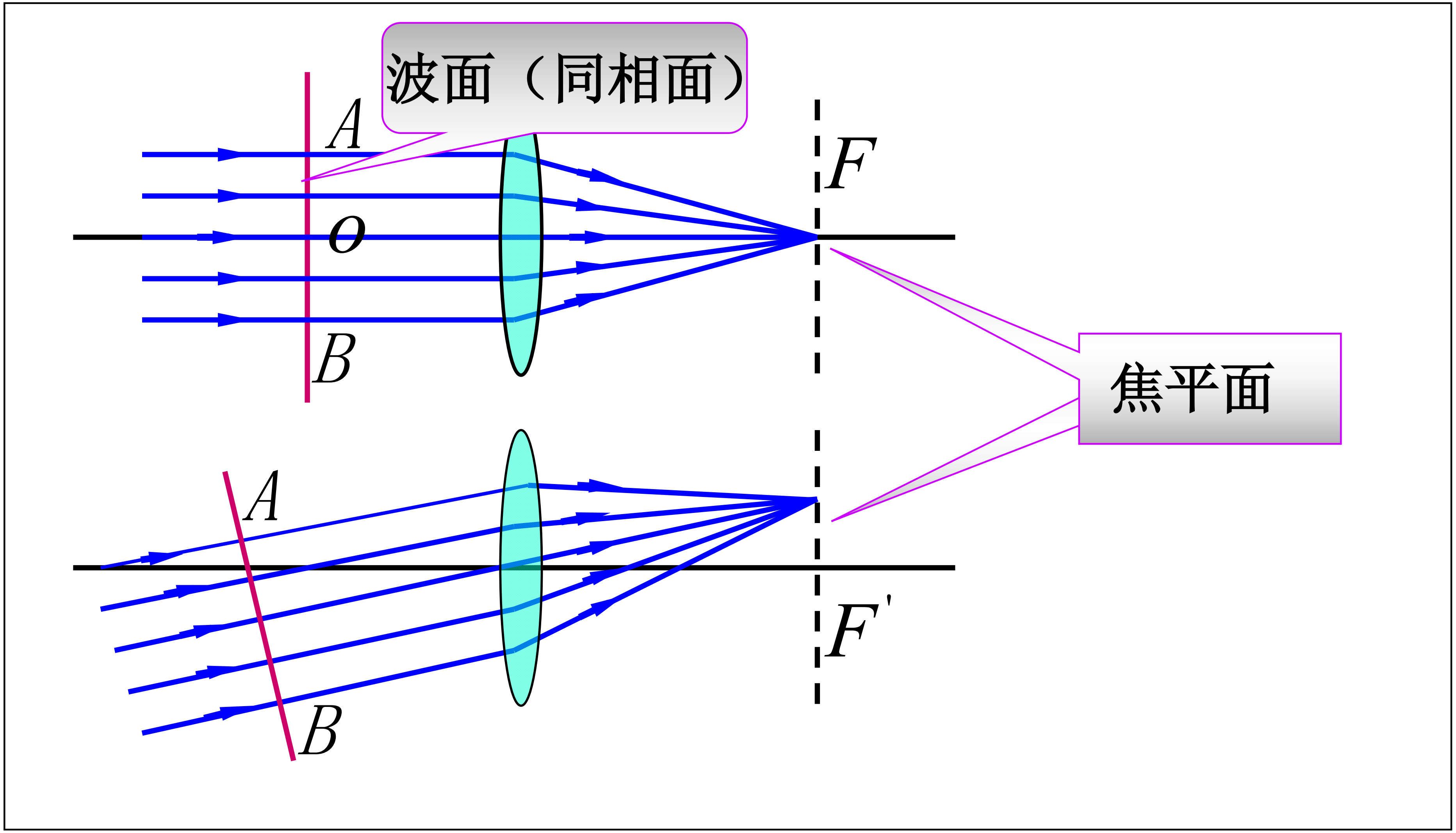
双缝干涉



菲 涅 尔 双 棱 镜

双缝干涉

三. 透镜存在时光程差的计算



透镜成像不会引入附加光程差

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;

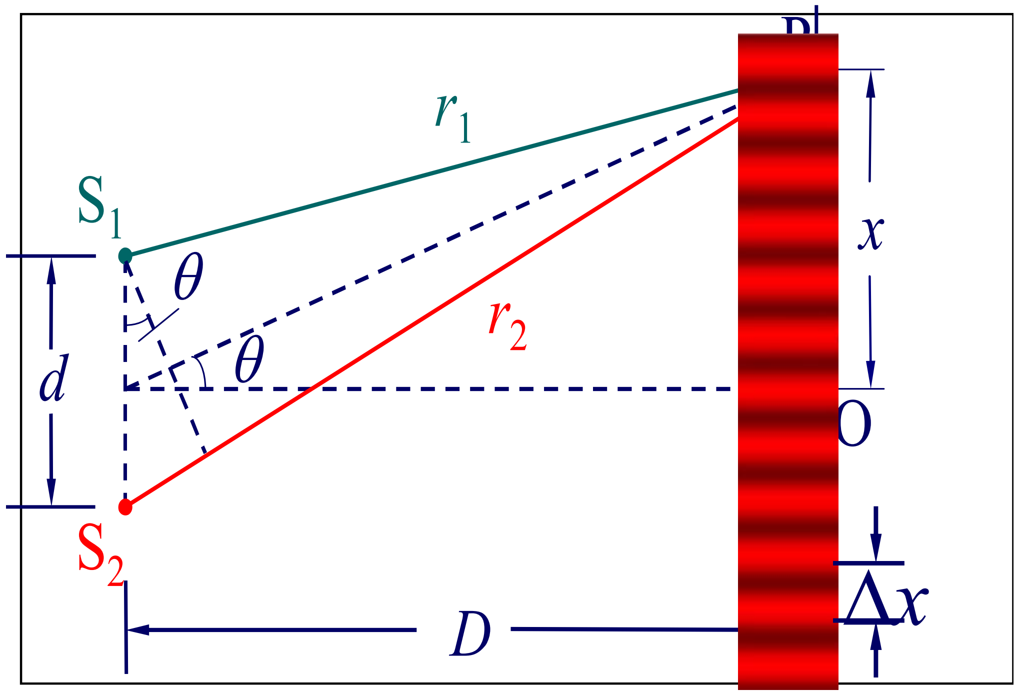
(2) 若入射光的波长为600nm,求相邻两明纹间的距离.

解 （1）

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

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

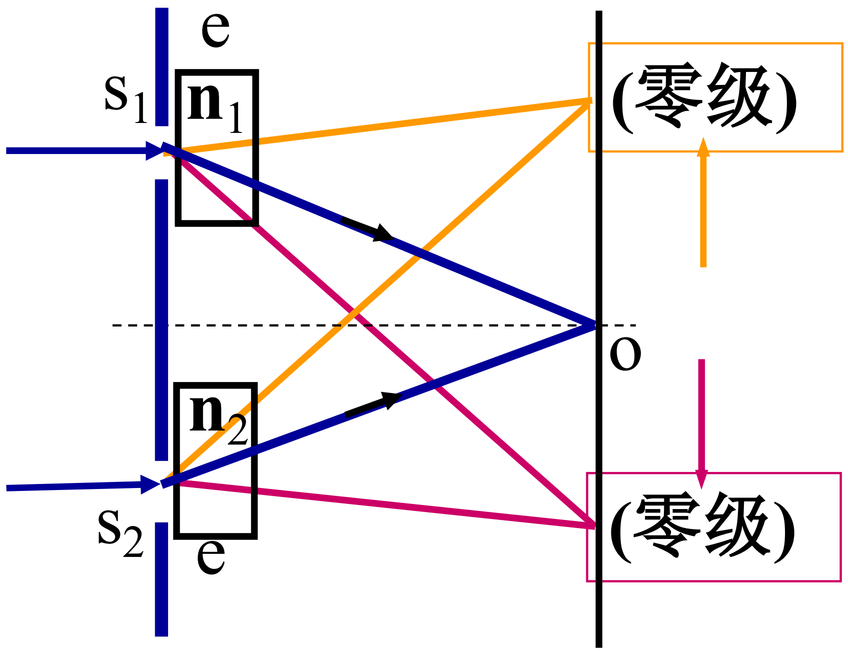
$$\lambda = \frac{d}{D} \frac{\Delta x_{14}}{(k_4 - k_1)} = 500\text{nm}$$



（2）$\Delta x = \dfrac{D}{d}\lambda = 3.0\,\text{mm}$

干涉条纹动态变化问题讨论

【例2】将双缝用厚e、折射率分别为n_1=1.4、n_2=1.7的透明薄膜盖住，发现原中央明纹处被第五级明纹占据,如图所示。所用波长λ=600nm,问：原中央明级移到何处？膜厚e=?



【解】零级处,由s_1和s_2发出的两光线的光程差为零，由此推知，原中央明纹向下移到原第负五级明纹处。

现在,原中央处被第五级明纹占据,两光线到达中央处的光程差：

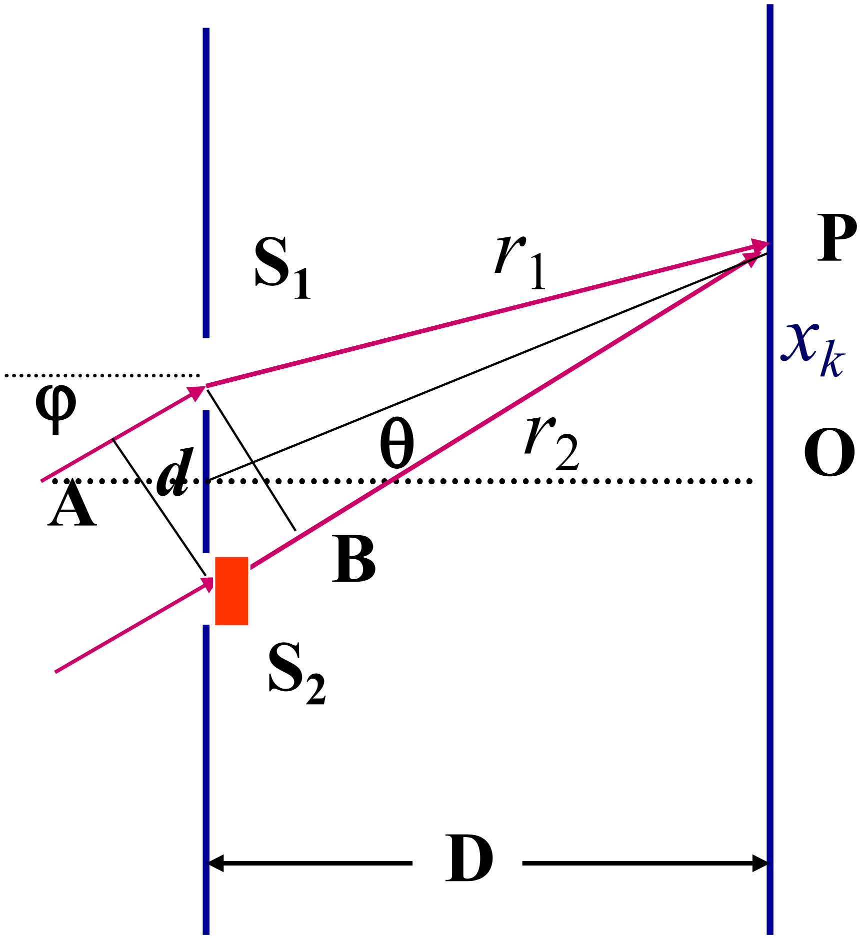
$$\delta=(n_2-n_1)e$$
$$=5\lambda$$

$$\therefore e=\frac{5\lambda}{n_2-n_1}=10^{-5}\text{m}$$

【例3】. 波长为λ的平面单色光以φ角斜入射到双缝，已知d，D（D>>d) 试求：(1) 各级明纹的位置; (2)条纹的间距;

(3)若使零级明纹移至 屏幕O点处，则应在哪个缝处放置一厚度为多少的折射率 n的透明介质薄片。

解：(1)P点处的光程差为： $\delta = d(\sin\theta - \sin\varphi)$



k 级明纹条件：

$$d(\sin\theta - \sin\varphi) = k\lambda \quad k = 0, \pm 1, \ldots$$

$$x_k = D\tan\theta \approx D\sin\theta = D\left(\frac{k\lambda}{d} + \sin\varphi\right)$$

条纹上移

(2)条纹间距： $\Delta x = \dfrac{D\lambda}{d}$

(3)零级明纹移至屏幕O点应满足：

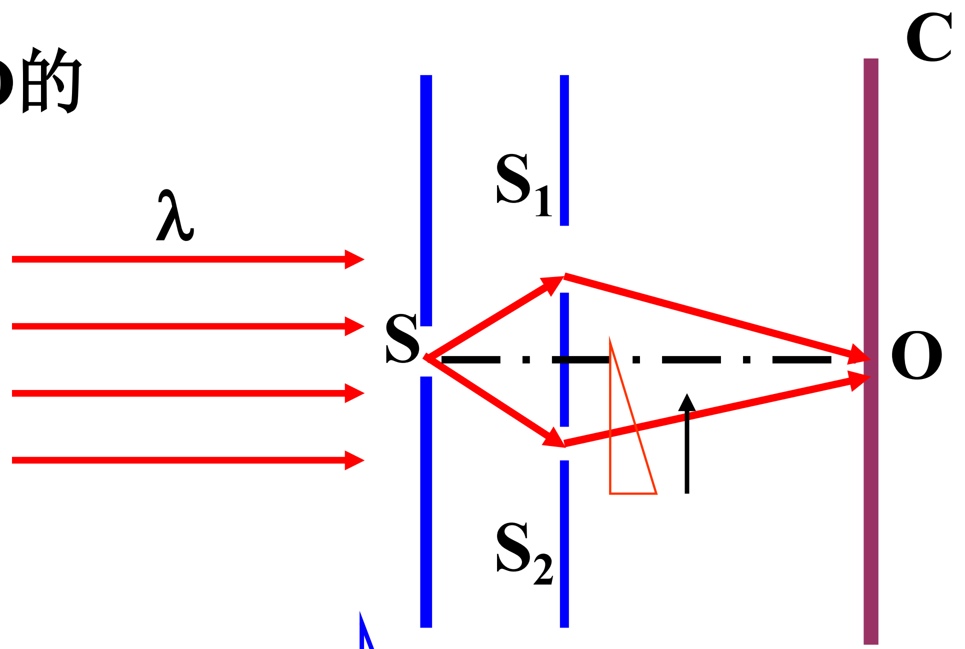
$r_1 = r_2$ 故介质薄片应放在S_2缝处

$$(n-1)e = d\sin\varphi \quad \therefore e = \frac{d\sin\varphi}{n-1}$$

【例4】 如图所示,用波长为λ的单色光照射双缝干涉实验装置,并将一折射率为n,劈角为α(α很小)的透明劈尖插入光路2中.

问:要使O点的光强由最亮的变为最暗,劈尖至少应向上移动多大距离 b (只 遮住S_2)?

【解】 O点最亮时,双缝分别到达O的

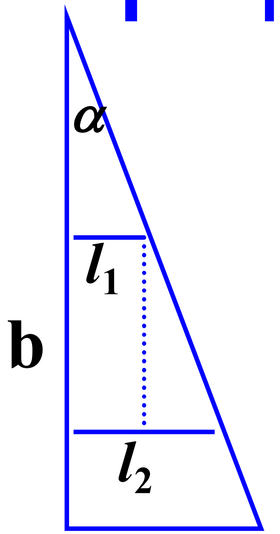


光程差满足: $(n-1)l_1 = k\lambda$

O点由此第一次变暗时,光程差满足:

$$(n-1)l_2 = k\lambda + \frac{\lambda}{2}$$

两式相减,得: $(n-1)(l_2 - l_1) = \frac{1}{2}\lambda$

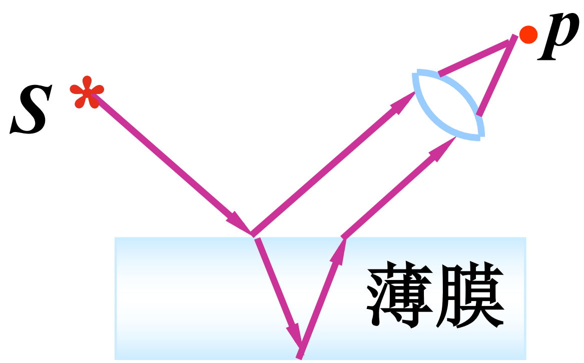


其中: $l_2 - l_1 = b\tan\alpha$

$$\therefore b = \frac{\lambda}{2(n-1)\tan\alpha}$$

11-4 薄膜干涉

◆ 薄膜干涉是分振幅干涉。



◆ 薄膜干涉的两种情形：

等厚干涉 ——同一级条纹对应膜的 同一厚度。

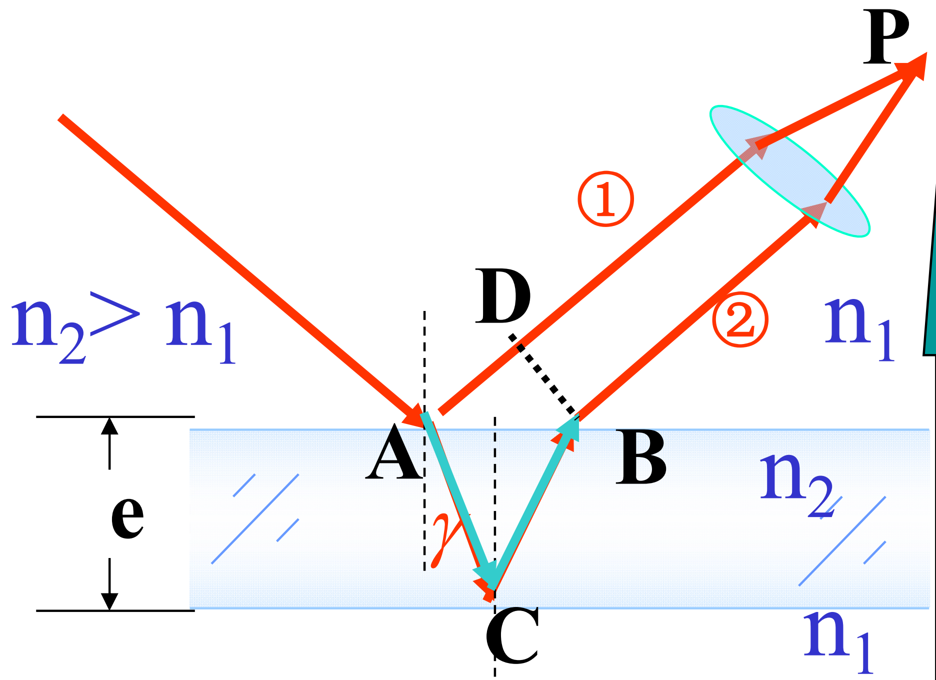
由厚度不均匀的薄膜产生

等倾干涉 ——同一级条纹对应入射光的 同一倾角。

由厚度均匀的薄膜产生

一. 光程差的一般表达式(反射光干涉)

两表面平行的薄膜，结论普遍适用。



$$\delta = n_2(\overline{AC} + \overline{CB}) - n_1\overline{AD} \boxed{+\frac{\lambda}{2}}$$

$$\overline{AC} = \overline{CB} = \frac{e}{\cos\gamma}$$

$$\overline{AD} = \overline{AB}\sin i = 2e\tan\gamma\sin i$$

$$\delta = 2n_2\frac{e}{\cos\gamma} - 2n_1 e\tan\gamma\sin i + \frac{\lambda}{2}$$

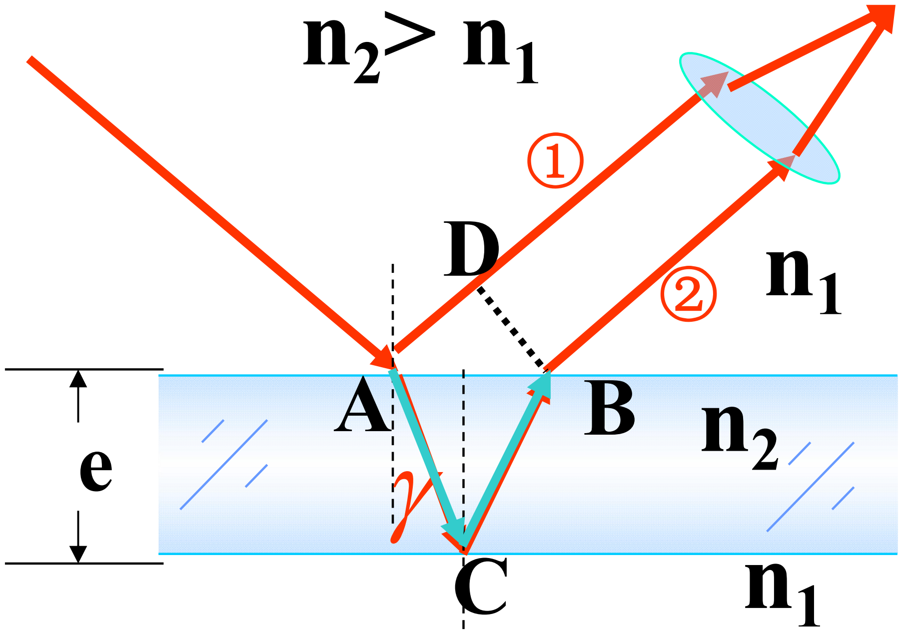
$$= 2n_2\frac{e}{\cos\gamma} - 2n_1 e\frac{\sin\gamma}{\cos\gamma}\sin i + \frac{\lambda}{2}$$

$$\boxed{\because\ n_1\sin i = n_2\sin\gamma}$$

$$= \frac{2n_2 e}{\cos\gamma}(1 - \sin^2\gamma) + \frac{\lambda}{2}$$

$$\boxed{= 2n_2 e\cos\gamma + \frac{\lambda}{2}}$$

$$= 2n_2 e\sqrt{1 - \sin^2\gamma} + \frac{\lambda}{2}$$



$$\boxed{n_1 \sin i = n_2 \sin \gamma}$$

$$\delta = 2n_2\overline{AC} - n_1\overline{AD} + \frac{\lambda}{2}$$

$$\boxed{= 2n_2 e\cos\gamma + \frac{\lambda}{2}}$$

$$= 2n_2 e\sqrt{1-\sin^2\gamma} + \frac{\lambda}{2}$$

或：$$\boxed{\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}}$$

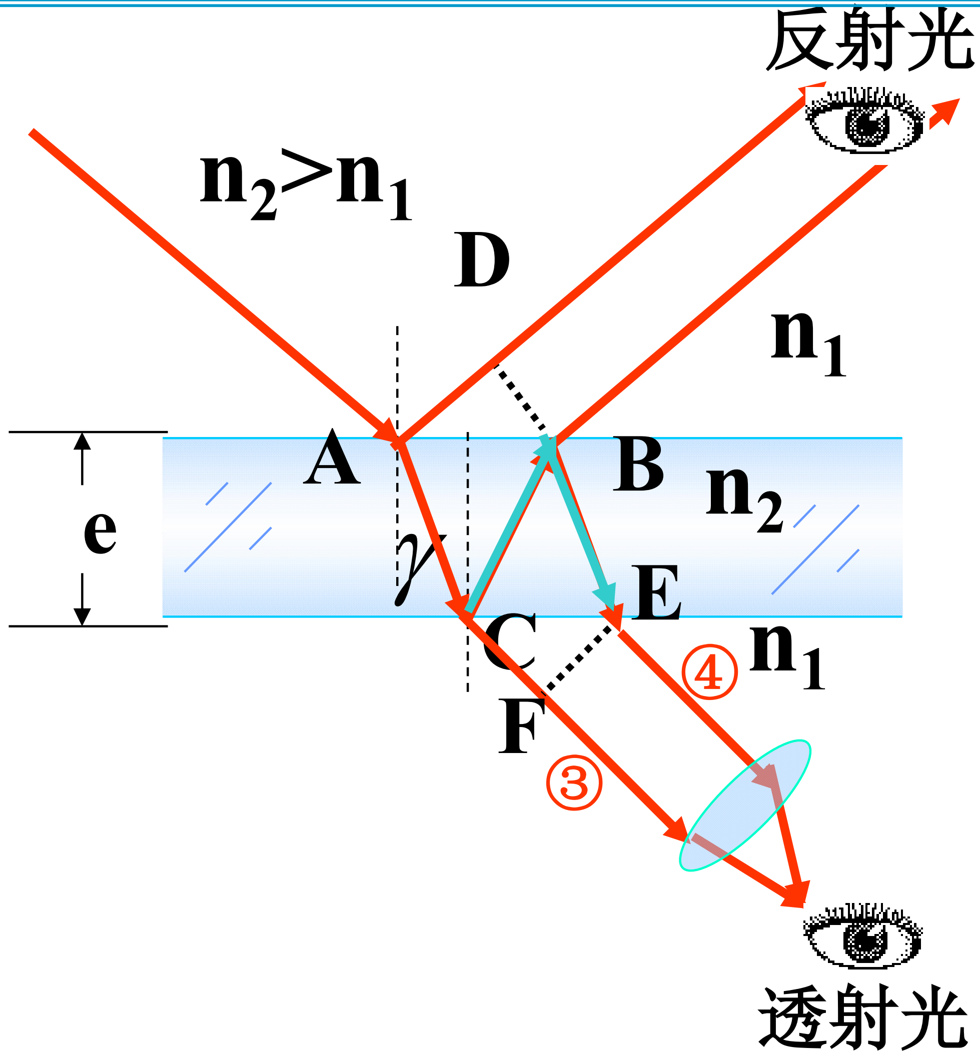
明暗纹条件：

$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$$

$$= \begin{cases} k\lambda & k = 1.2.3.\Lambda \quad \text{明纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k = 0.1.2.3.\Lambda \quad \text{暗纹} \end{cases}$$

$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$$

$$= \begin{cases} k\lambda & k = 1.2.3.\Lambda \quad \text{明纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k = 0.1.2.3.\Lambda \quad \text{暗纹} \end{cases}$$



讨论

1）透射光的干涉

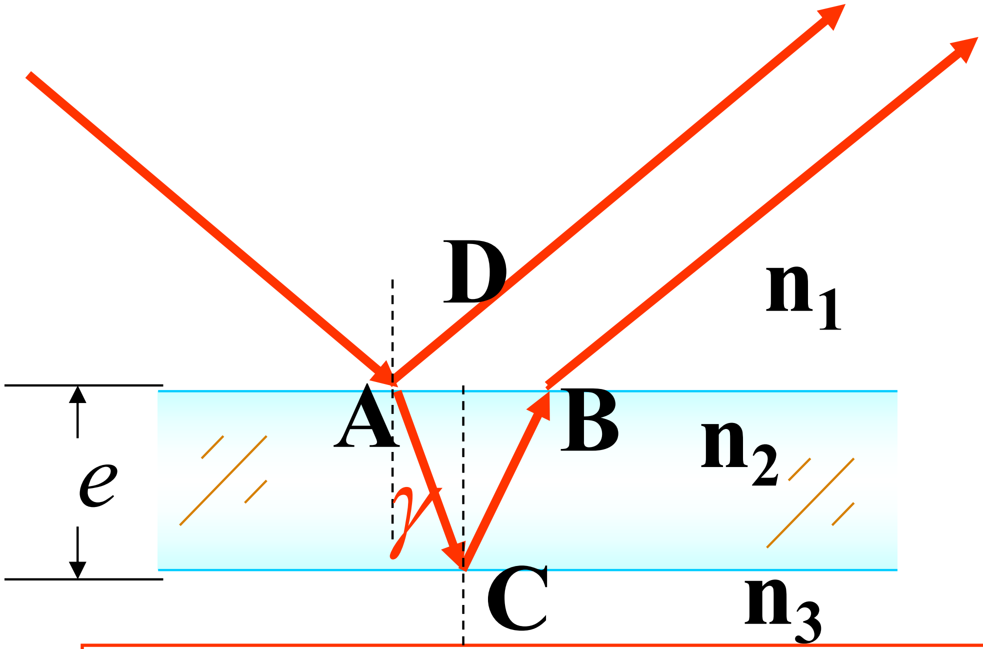
由于：$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i}$

与反射光的光程差相差λ/2

反射光加强（减弱）时，

透射光减弱（加强）

——————干涉条纹互补



2) 何时考虑半波损失？

若$n_1 < n_2 < n_3$ 或$n_1 > n_2 > n_3$ ，无附加光程差$\lambda/2$

若 $n_1 < n_2 > n_3$ 或 $n_1 > n_2 < n_3$ ，有附加光程差$\lambda/2$

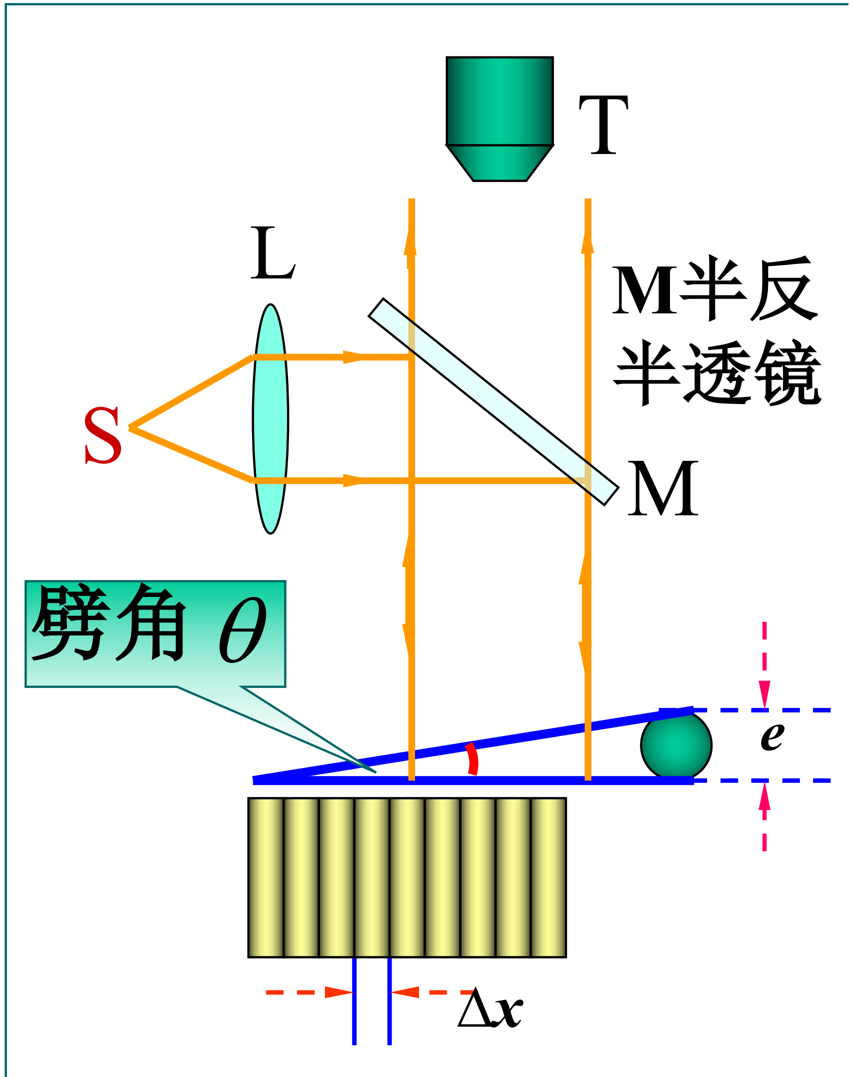
二. 薄膜干涉（一） —— 等厚干涉

是指同一方向的入射光(通常是垂直入射)在厚度不均匀的膜上产生的干涉现象 。

同一级条纹对应膜的 同一厚度 ——等厚干涉

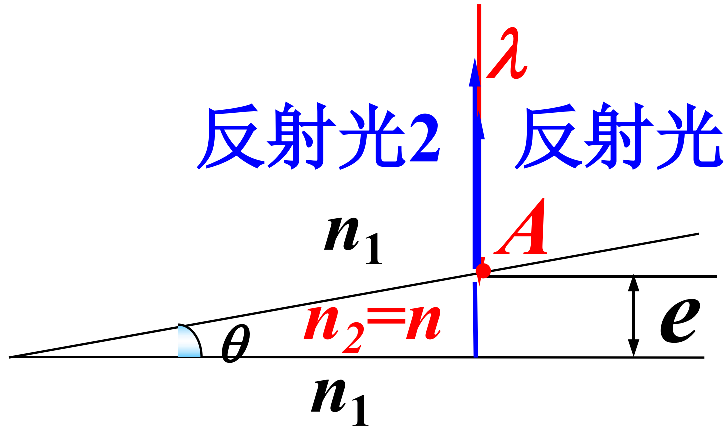
1. 劈尖干涉

夹角很小的两个平面所构成的薄膜叫劈尖。



$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} \end{cases}$$

单色平行光垂直入射



反射光1有半波损失，

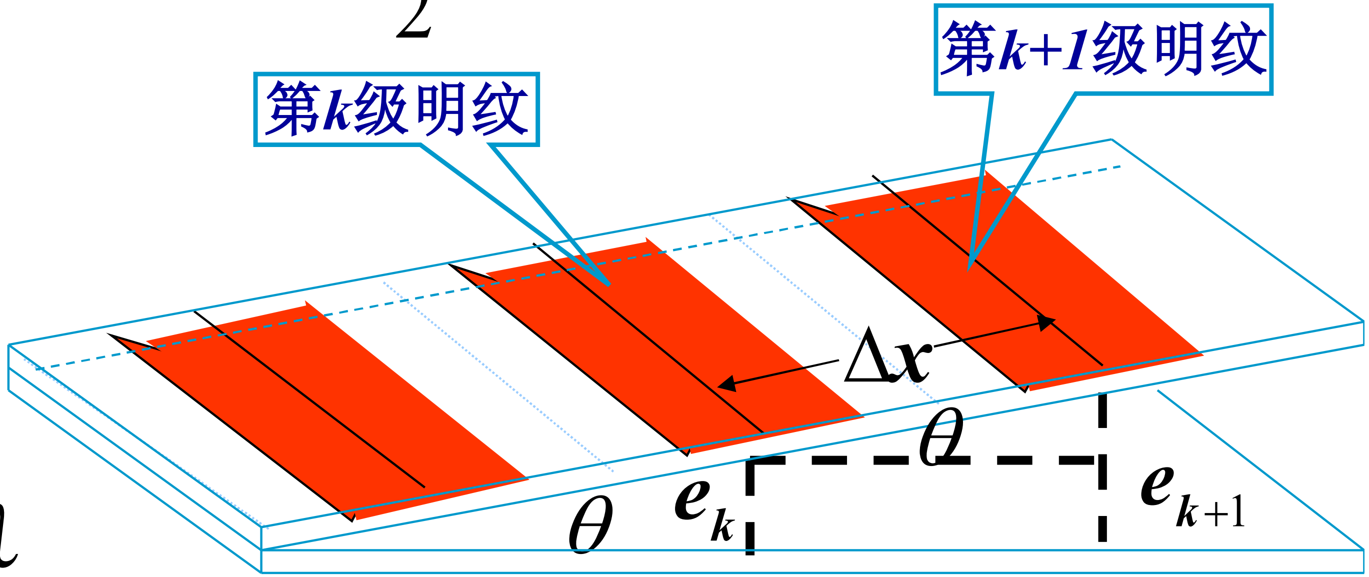
光程差为

$$\boxed{\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}} = \begin{cases} k\lambda & k = 1.2.3.\Lambda \quad \text{明纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k = 0.1.2.3.\Lambda \quad \text{暗纹} \end{cases}$$

劈尖 → 等厚干涉

对空气劈尖： $\delta = 2e + \lambda/2$

$$\boxed{\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}} = \begin{cases} k\lambda & k = 1.2.3.\Lambda \quad \text{明纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k = 0.1.2.3.\Lambda \quad \text{暗纹} \end{cases}$$

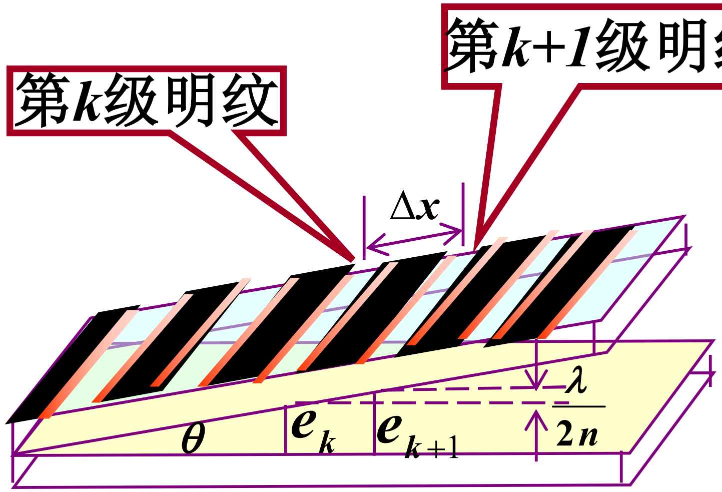


由明纹条件:

$$\begin{cases} 2ne_k + \dfrac{\lambda}{2} = k\lambda \\ 2ne_{k+1} + \dfrac{\lambda}{2} = (k+1)\lambda \end{cases}$$

相邻明（暗）纹间的膜厚差 $\Rightarrow$ $\Delta e = e_{k+1} - e_k = \dfrac{\lambda}{2n}$

相邻明（暗）条纹间距 $\Rightarrow$ $\Delta x = \dfrac{\lambda}{2n\sin\theta} \approx \dfrac{\lambda}{2n\theta}$



一般劈尖：

$$\Delta x=\frac{\lambda}{2n\sin\theta}\approx\frac{\lambda}{2n\theta}$$

$$\Delta e=e_{k+1}-e_k=\frac{\lambda}{2n}$$

空气劈尖：

$$\Delta x=\frac{\lambda}{2\sin\theta}\approx\frac{\lambda}{2\theta}$$

$$\Delta e=e_{k+1}-e_k=\frac{\lambda}{2}$$

讨 论

$$\delta=2ne+\frac{\lambda}{2}=\begin{cases}k\lambda & k=1.2.3.\Lambda \quad \text{明纹}\\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & k=0.1.2.3.\Lambda \quad \text{暗纹}\end{cases}$$

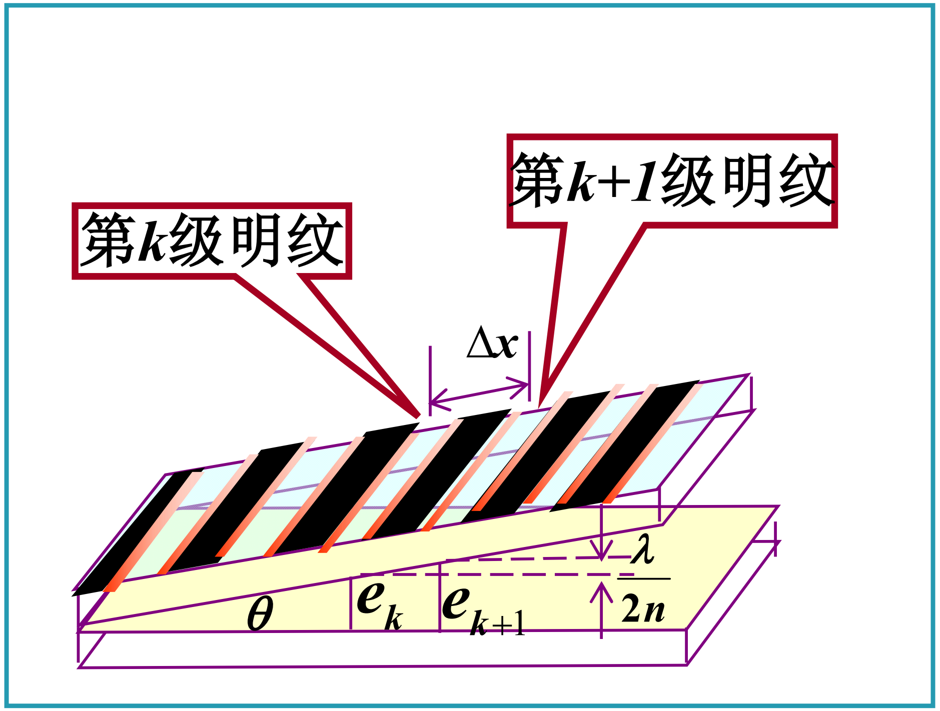
① 在 e =0 的棱边处， 为 暗纹，因有半波损失，$\delta=\lambda/2$。

② 空气劈尖第k级暗纹对应的空气层厚度 $(e_k=k\frac{\lambda}{2})$

③ 条纹特点：等间距的平行直条纹。

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2n\sin\theta} \approx \frac{\lambda}{2n\theta}$$

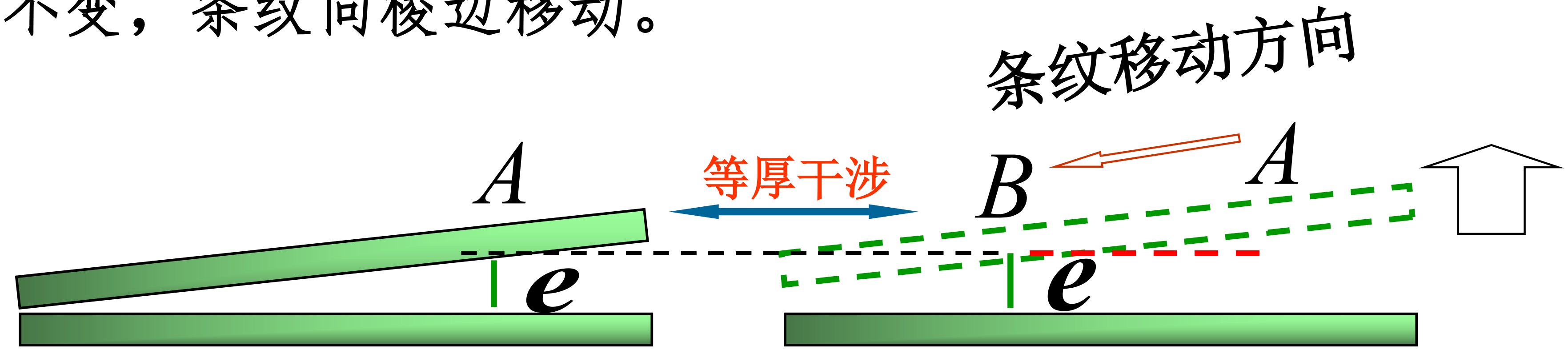
$$\Delta e = e_{k+1} - e_k = \frac{\lambda}{2n}$$



④干涉条纹的动态变化.(λ一定）

- θ变化时： $\theta\downarrow \to \Delta x\uparrow$
- 劈尖上表面向上平移时:

Δx 不变，条纹向棱边移动。



若从视场中移动过N个条纹，

则薄膜厚度改变量: $\Delta d = N\frac{\lambda}{2n}$

空气劈尖: $\Delta d = N\frac{\lambda}{2}$

应用

依据公式 $\boxed{\Delta x=\dfrac{\lambda}{2n\sin\theta}\approx\dfrac{\lambda}{2n\theta}}$

▲ 测波长：已知θ、n，测 Δx 可得λ

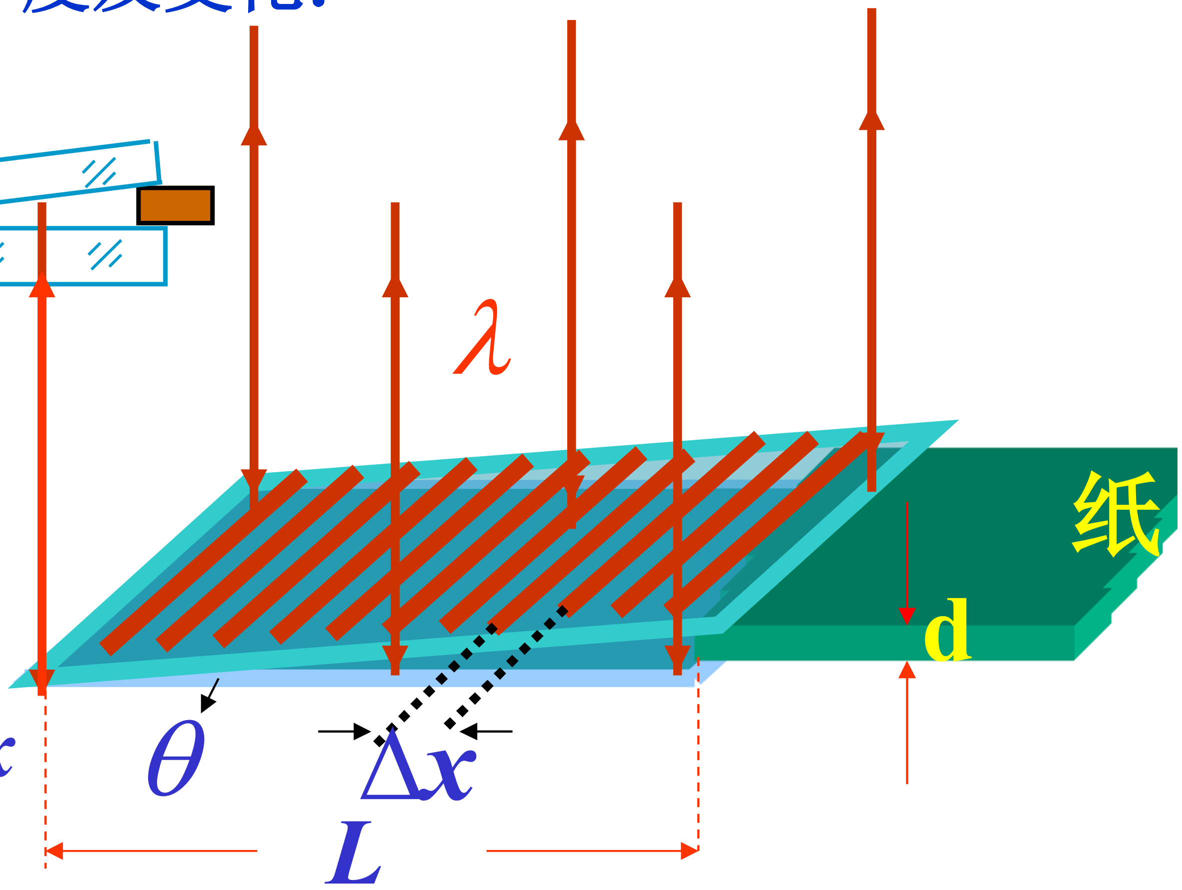
▲ 测折射率：已知θ、λ，测 Δx可得 n

▲ 测细小直径、微小厚度及变化：

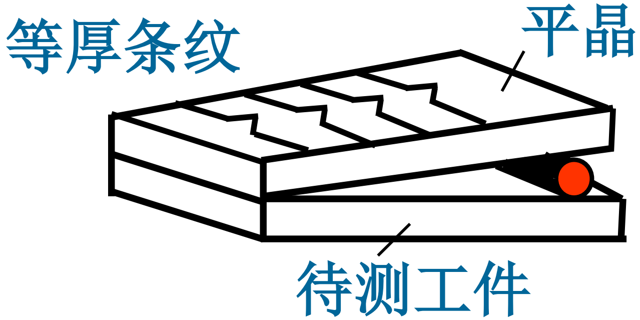
n=1

$$d=L\tan\theta\approx L\sin\theta=\frac{L\lambda}{2\Delta x}$$

用测微显微镜测出L、Δx，即可得到d



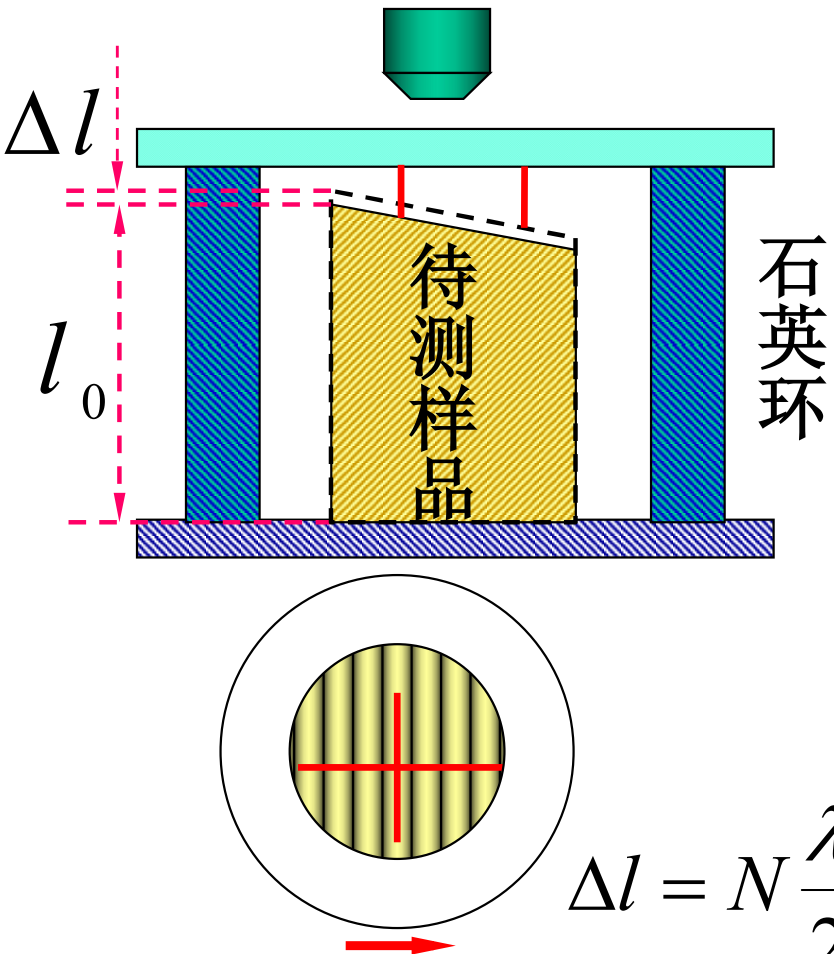
▲ 检测工件表面的平整度



请问：此待测工件表面上，
有一条凹纹还是一条凸纹？

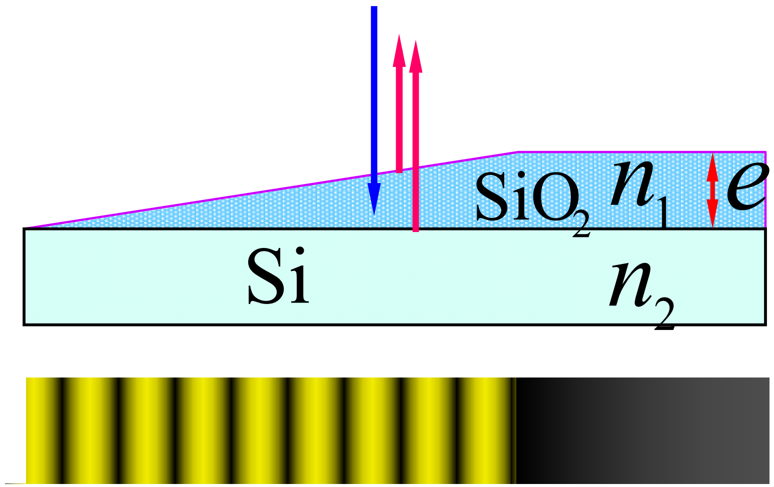
答：凸纹

干涉膨胀仪



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

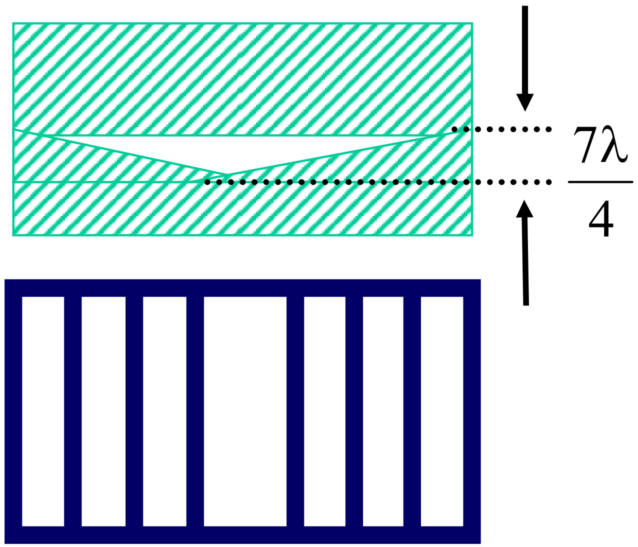
测膜厚



$$e = N\frac{\lambda}{2n_1}$$

【例1】 用波长为λ的平行单色光垂直照射图中的装置,观察空气膜上下表面反射光形成的等厚干涉条纹.试在装置图下方的方框内画出相应的干涉条纹,只画暗条纹,表示出它们的形状,条数和疏密.

【解】 该干涉条纹应该是两个劈尖干涉的合成.



$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2}$$

中心处: $\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = 2 \times \frac{7\lambda}{4} + \frac{\lambda}{2} = 4\lambda$

在中心处是亮纹.

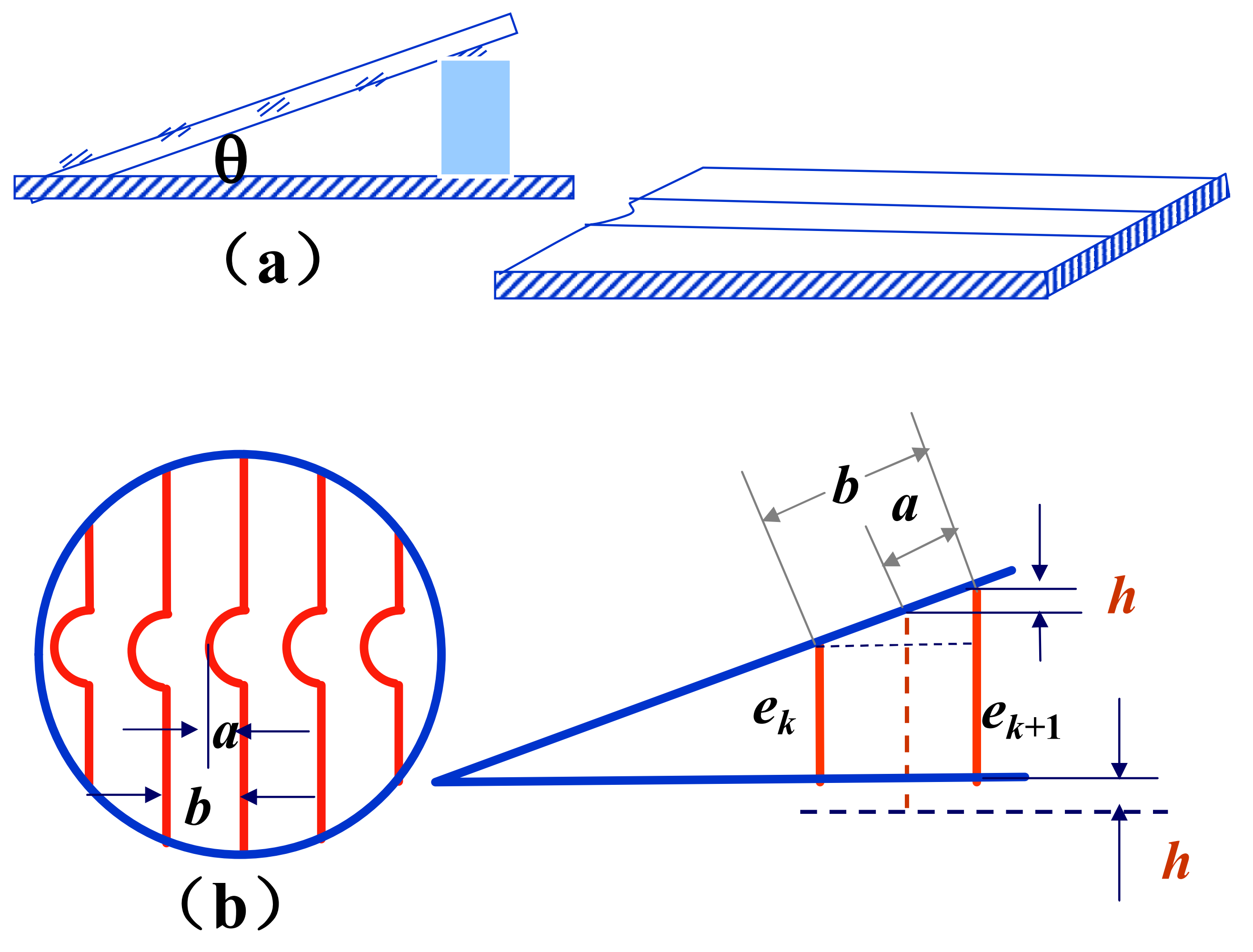
$$\delta_{暗} = (2k+1)\frac{\lambda}{2} < 4\lambda \quad \Rightarrow k < 3.5$$

$$\therefore k = 0,1,2,3$$

所能观察到的暗纹的条数为:

当e=0时,k=0.即边界处出现两条暗纹,无法观察到.在可见区域内见到的暗纹数共为6条。

【例2】. 欲测一工件表面的平整度，将一平晶（非常平的标准玻璃放在待测工件上，使其间形成空气劈尖，如图（a）示，现用波长$\lambda = 500$ nm的光垂直照射时，测得如图（b）示的干涉条纹。问（1）不平处是凸的还是凹的？（2）如果相邻条纹间距 b = 2 mm，条纹的最大弯曲处与该条纹的距离 a = 0.8 mm，则不平处的高度或深度是多少？



【解】等厚干涉, 凹的。

设凹处的深度为h

利用相似三角形关系可得

$$\frac{\Delta e}{b} = \frac{h}{a}$$

$$\Delta e = e_{k+1} - e_k = \frac{\lambda}{2}$$

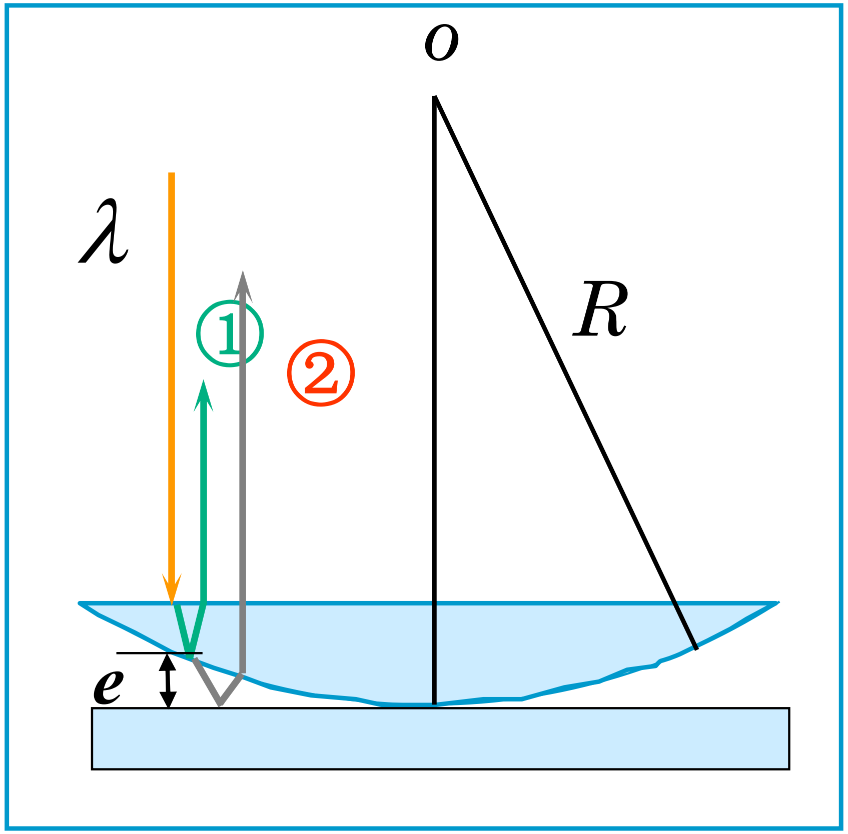
纹路凹下的深度

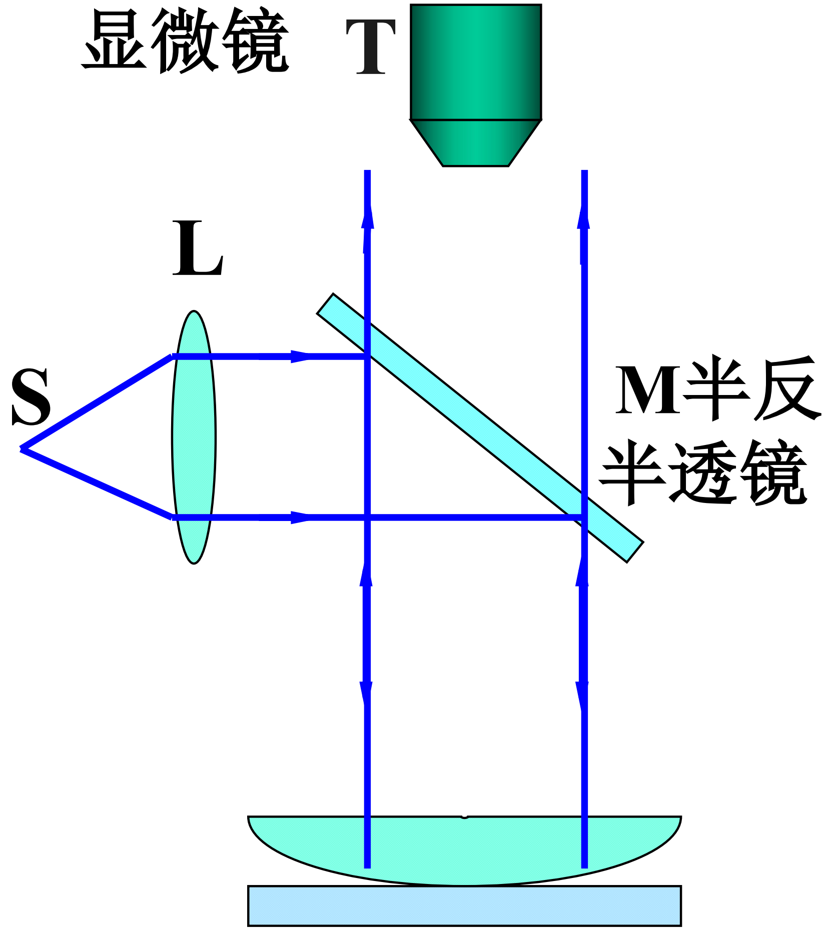
$$h = \frac{a}{b} \cdot \Delta e = \frac{a}{b} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

2. 牛顿环干涉

实验装置

由一块平板玻璃和一曲率半径很大的平凸透镜组成





光程差

$$\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}$$

牛顿环干涉图样

定量分析

设n=1，垂直入射

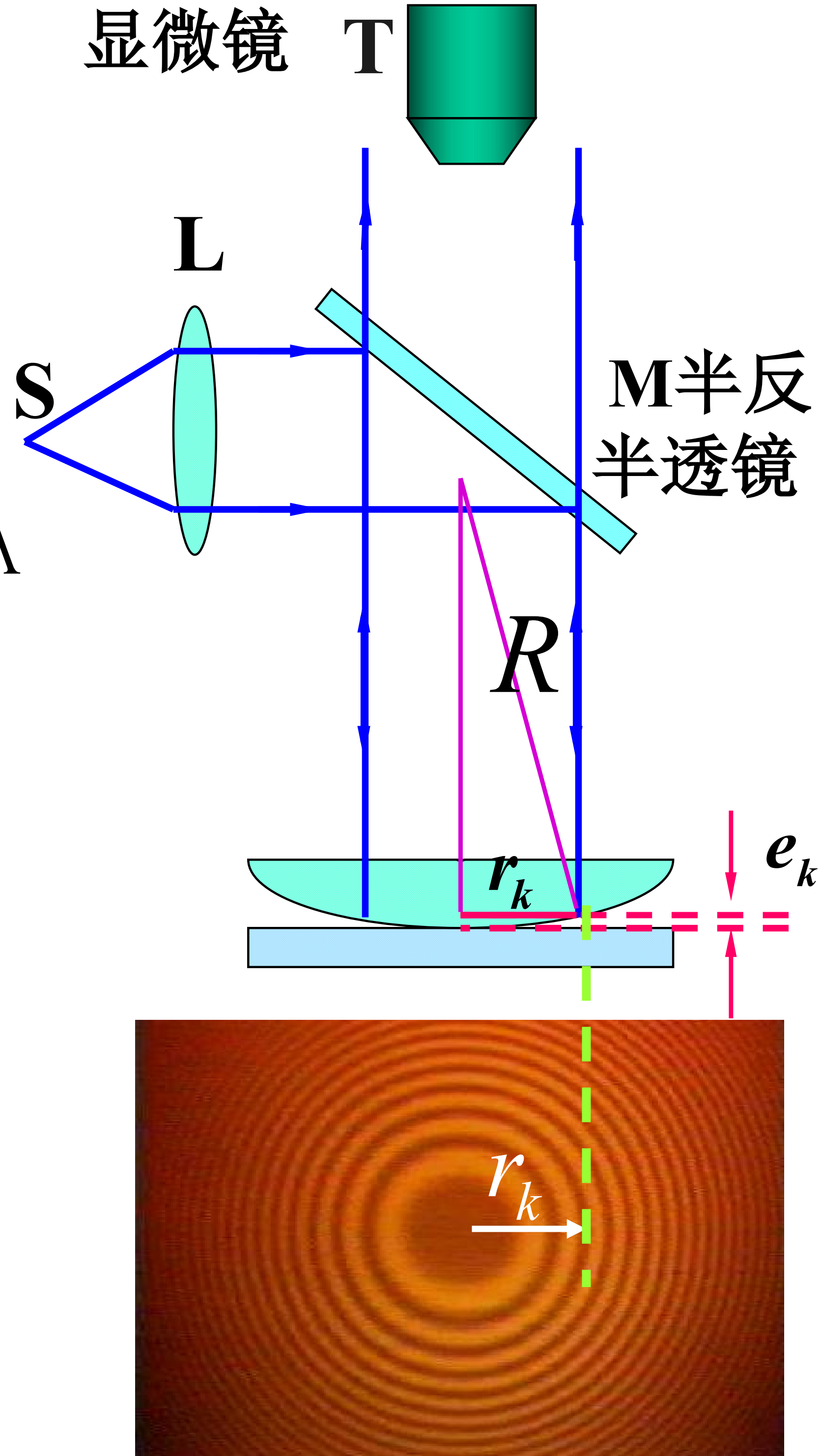
光程差：

$$\delta = 2e_k + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & \text{明环} \quad k = 1.2.3.\Lambda \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗环} \quad k = 0.1.2.3.\Lambda \end{cases}$$

牛顿环 ⟶ 等厚干涉

第k级暗环：

空气膜厚度 $e_k = \dfrac{1}{2}k\lambda$



$$r_k^{\ 2} = R^2 - (R - e_k)^2$$

$$= 2Re_k - e_k^{\ 2}$$

$$\because R \gg e_k$$

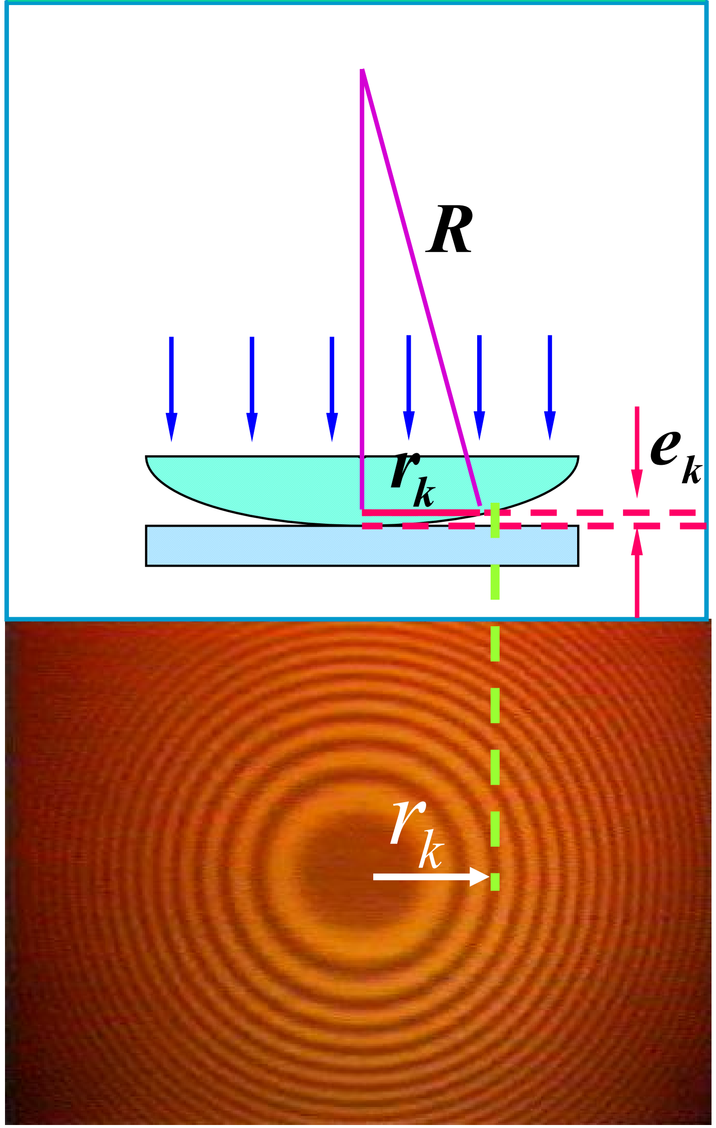
$$\therefore r_k^{\ 2} = 2Re_k$$

$$\because \quad e_k = \frac{1}{2}k\lambda$$

$$\Rightarrow \boxed{r_k^2 = kR\lambda}$$

暗环

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



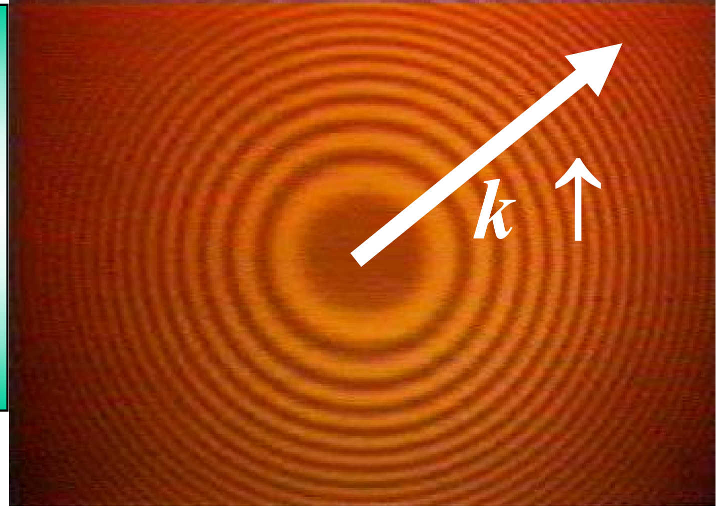
暗环半径 $r_k = \sqrt{kR\lambda} \quad (k = 0,1,2,\Lambda\ )$

明环半径 $r_k = \sqrt{(k - \frac{1}{2})R\lambda} \quad (k = 1,2,3,\Lambda\ )$

讨论

明环半径 $r_k = \sqrt{(k-\frac{1}{2})R\lambda} \quad (k = 1,2,3,\Lambda)$

暗环半径 $r_k = \sqrt{kR\lambda} \quad (k = 0,1,2,\Lambda)$



1）从反射光中观测，中心点是暗点还是亮点？从透射光中观测呢？

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

反射光暗环

2）条纹级次和间距有何特点？

由暗环 $r_k \propto \sqrt{k}$ $\quad k\uparrow \rightarrow r_k\uparrow$

$r_1 : r_2 : r_3 \Lambda = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3} \Lambda$ $\quad k\uparrow \rightarrow \Delta r\downarrow$

级次—内低外高

间距—内疏外密

3）将牛顿环置于 $n > 1$ 的液体中，条纹如何变？

(暗$r_k = \sqrt{\frac{kR\lambda}{n}}$)

4）白光入射呢？ $r_k \propto \sqrt{\lambda}$

应用

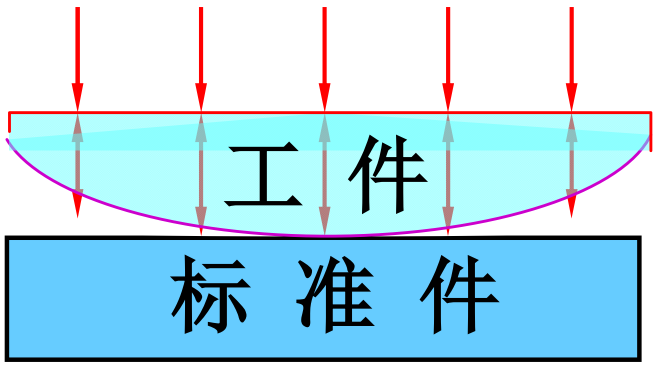
实用的观测公式：

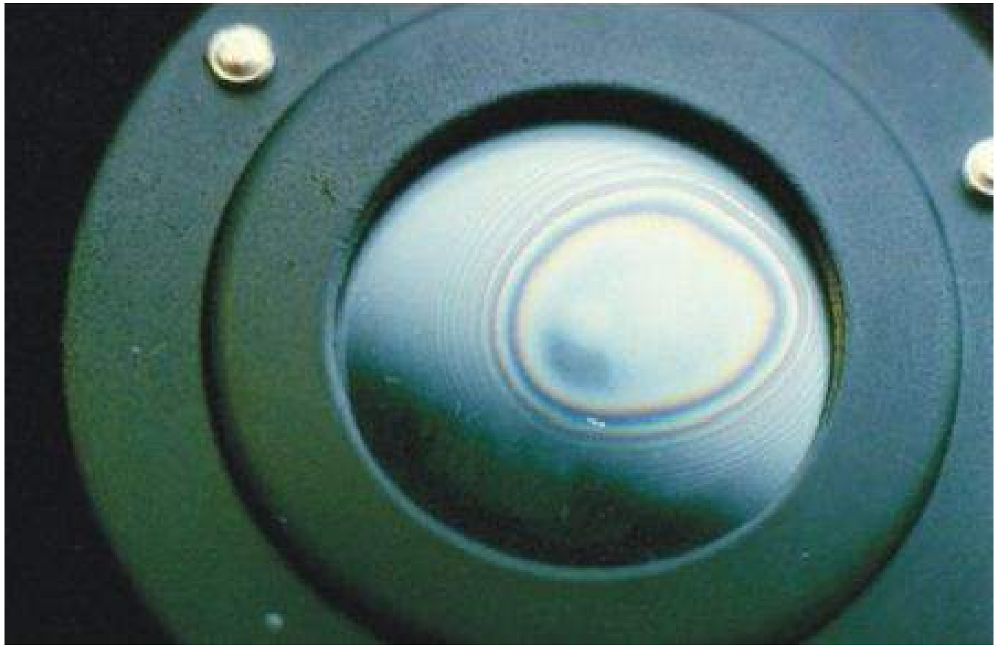
$$\boxed{r_k = \sqrt{kR\lambda}}$$ （n=1,暗纹）

▲ 测波长λ

▲ 测透镜球面的曲率半径R

▲ 检验透镜球面质量





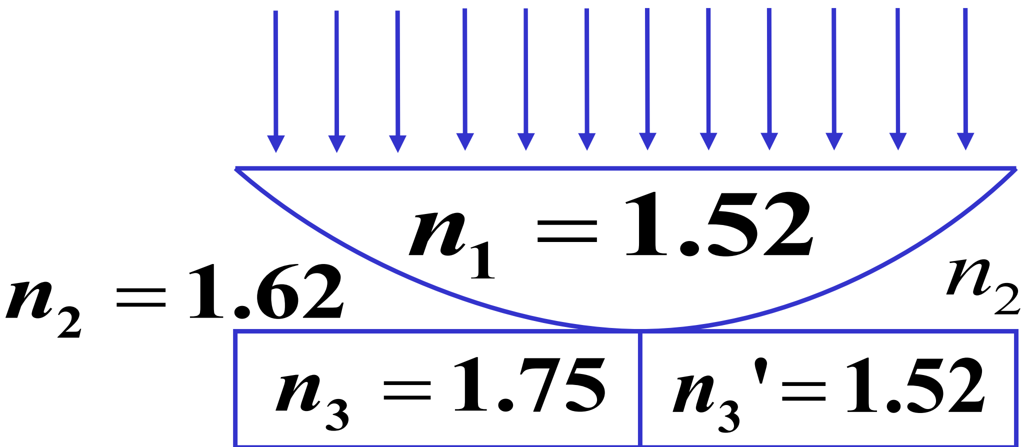
【例1】. 若用三种透明材料构成牛顿环装置，用单色光垂直照射，在反射光中看到干涉条纹，则在接触点 p处形成的圆斑为

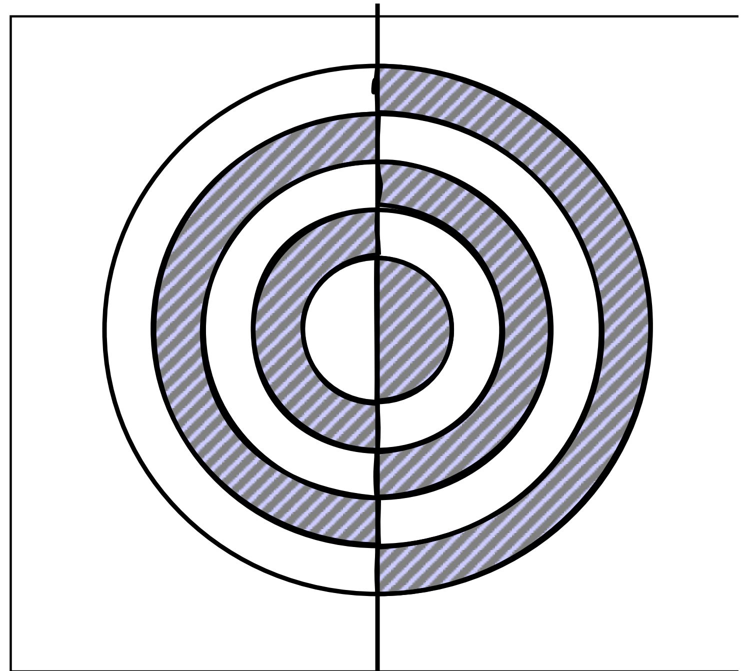
（A）全明，　（C）左半部明，右半部暗

（B）全暗，　（D）左半部暗，右半部明　　答:（C）

讨论：分别写出左右两侧的反射光的光程差表示式（对应同一厚度）

$$\delta_{左} = 2n_2e \qquad \delta_{右} = 2n_2e + \frac{\lambda}{2}$$





例2. 油船失事，把大量石油（n=1.2)泄漏在海面上，形成一个很大的油膜。试求：（1）如果你从飞机上竖直地向下看油膜厚度为460nm的区域，哪些波长的可见光反射最强？（2）如果你戴了水下呼吸器从水下竖直的向上看这油膜同一区域，哪些波长的可见光透射最强？（水的折射率为1.33）

解：因为在油膜上下表面反射光都有半波损失，

（1）反射光干涉加强：$2ne=k\lambda$

$$\lambda=\frac{2nd}{k}=\frac{1}{k}\times 2\times 1.2\times 460\times 10^{-9}=\frac{1104\times 10^{-9}}{k}$$

当k=2时，λ=552nm*为可见光反射最强*。

（2）反射光干涉相消时，透射光加强：$2ne=(k+1/2)\lambda$

$$\lambda=\frac{2nd}{k+1/2}=\frac{1}{2k+1}\times 4\times 1.2\times 460\times 10^{-9}=\frac{2208\times 10^{-9}}{2k+1}$$

当 $k=1$ 时，$\lambda=736$ nm；$k=2$ 时，$\lambda=442$ nm

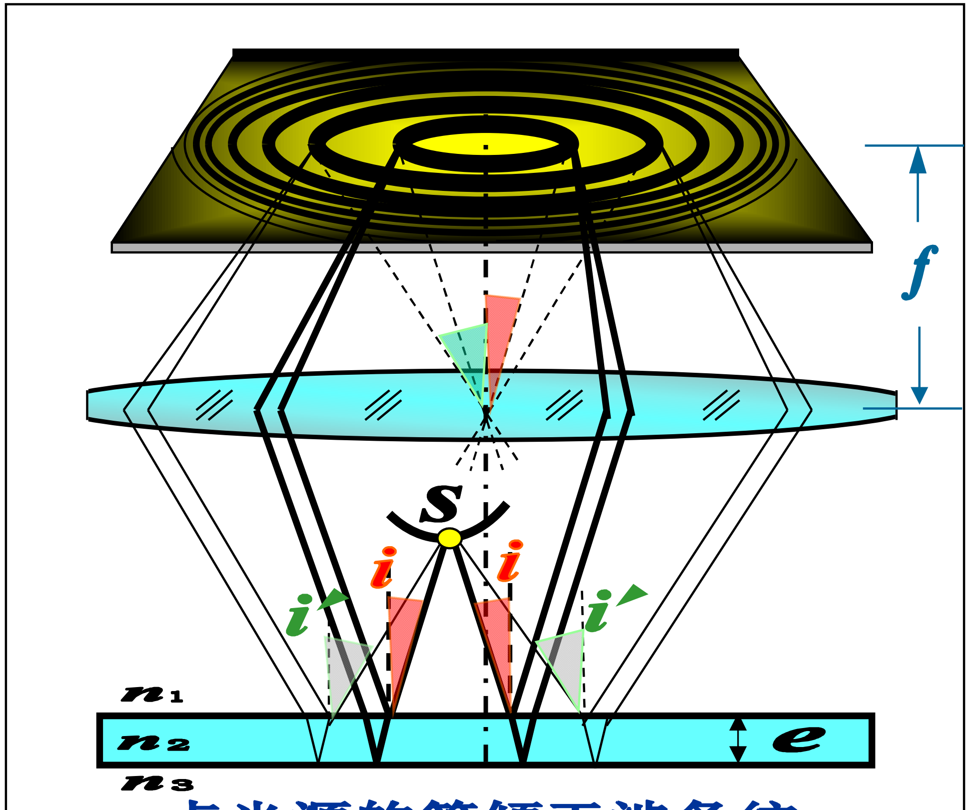
为*可见光透射最强*。

三. 薄膜干涉（二）-----等倾干涉

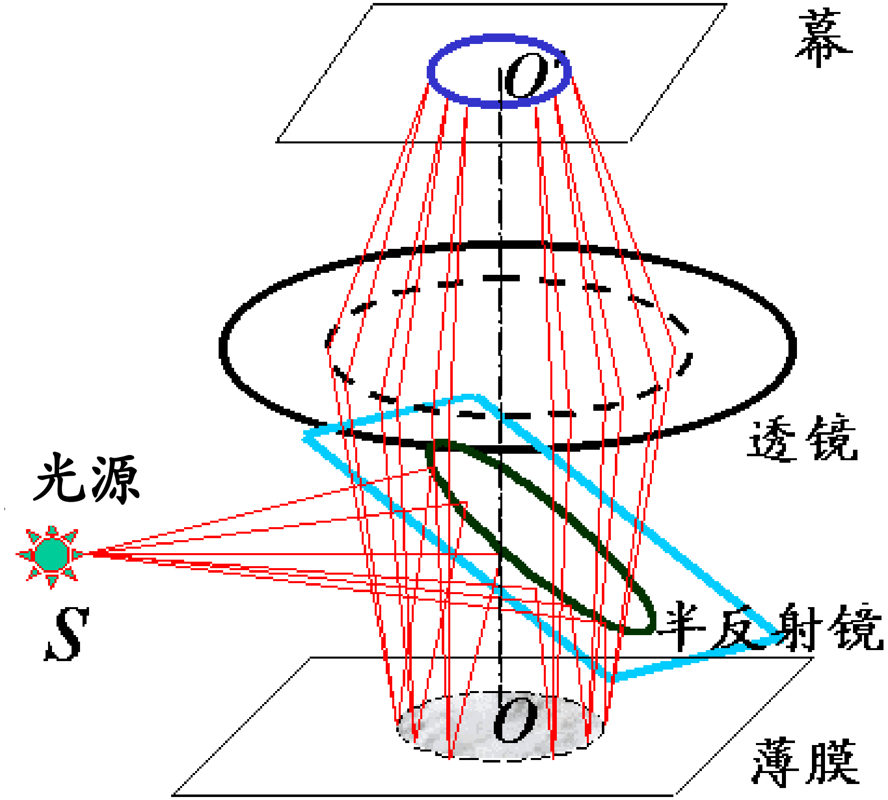
当 薄膜厚度均匀时，

入射倾角相同的光线经反射和透射后，具有相同光程差，构成同一级条纹，称等倾干涉。

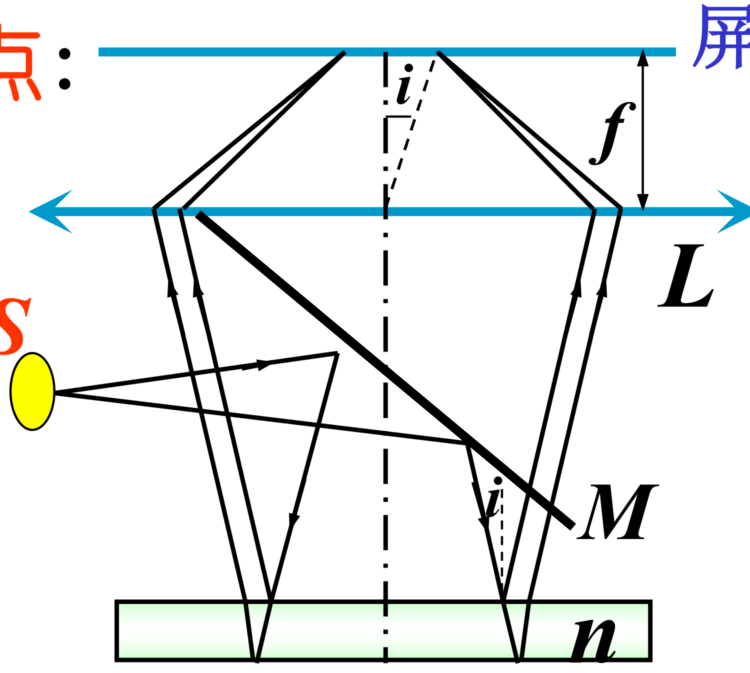
$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$$



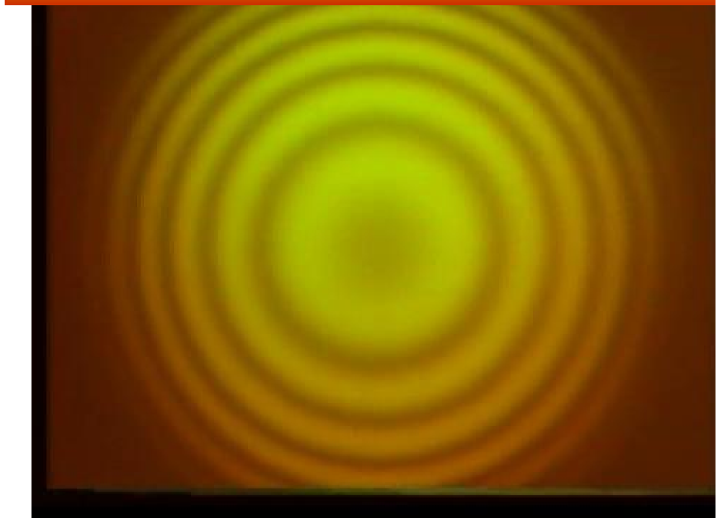
点光源的等倾干涉条纹



等倾干涉条纹特点：



$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$$



- 形状

  一系列同心圆环

- 条纹间隔分布

  内疏外密

- 条纹级次分布

  $\boxed{\text{中间级次最高（入射角 } i = 0\text{）}}$ ‘内高外低’

  牛顿环呢？

- 膜厚变化时，条纹移动

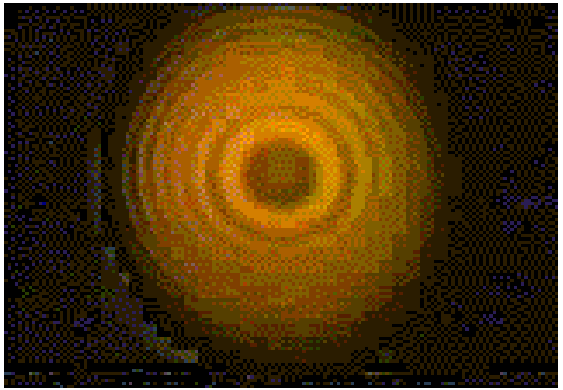
中心点明纹条件 $\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2} = k_c \lambda$ 中心点暗纹条件 $\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2} = (2k_c + 1)\frac{\lambda}{2}$

薄膜厚度 e 每增加一个λ/2n ，就有亮→暗→亮（或暗→亮→暗）

级次就增加1级，中心就冒出一个亮(暗)斑。

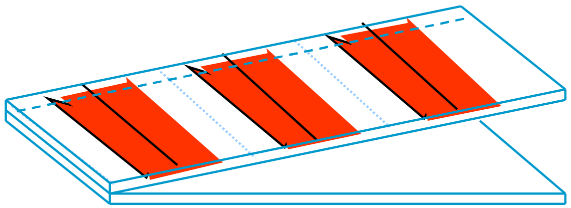
薄膜厚度 e 每减少一个λ/2n ，

级次就减小1级，中心就缩进一个亮(暗)斑。

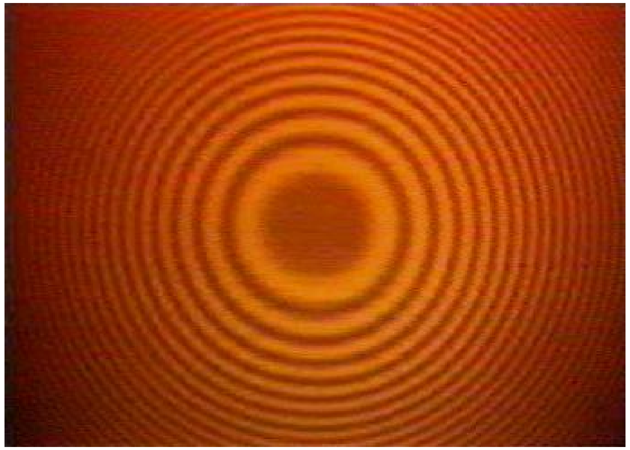


问题 如何区分劈尖干涉、牛顿环干涉和等倾干涉？

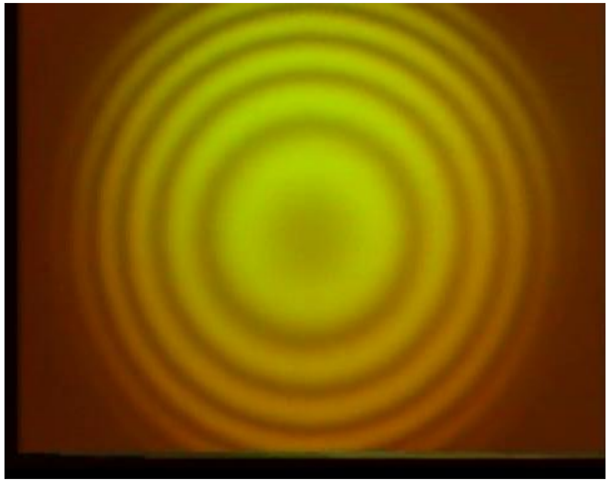
1. 劈尖干涉



2. 牛顿环干涉



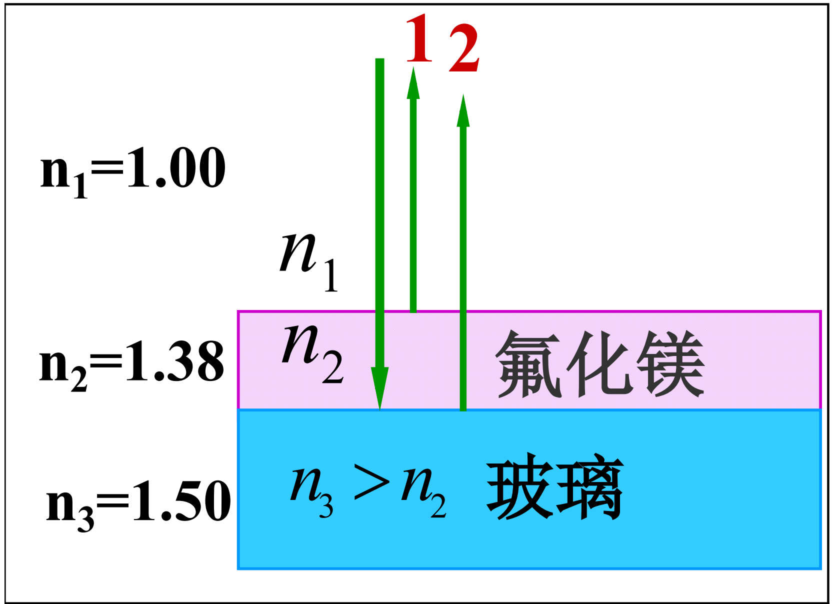
3. 等倾干涉



薄膜干涉的应用举例：增透膜与增反膜

- 增透膜　　反射光相消 = 增透

适当选择n和e→对某一波长反射相消 →透射增强



MgF_2 (氟化镁)为增透膜

反射相消条件：

$$\delta = 2n_2 e = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \quad k = 0,1,2$$

若$k = 0$，$e_{min} = \dfrac{\lambda}{4n_2}$

- 增反膜　　反射光相长 = 增反

适当选择n和e→使某一波长反射相长→反射增强。

多层高反膜

一些光学系统中希望光学表面具有很高的反射率(如He–Ne激光器要求反射99%)，这时可在元件表面多层镀膜以增强反射，这类薄膜称为增反膜或高反射膜。