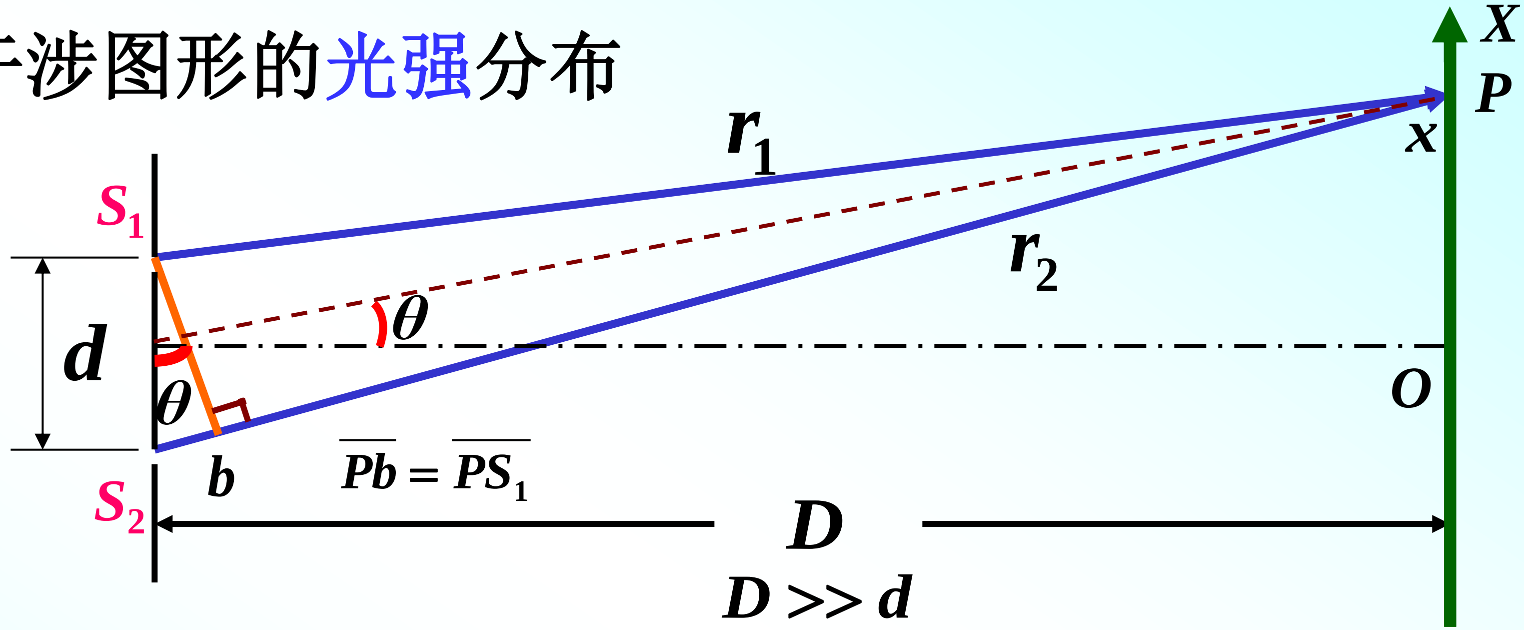
大学物理

College Physics

主讲
华 中 科 技 大 学
刘超飞

●干涉图形的光强分布



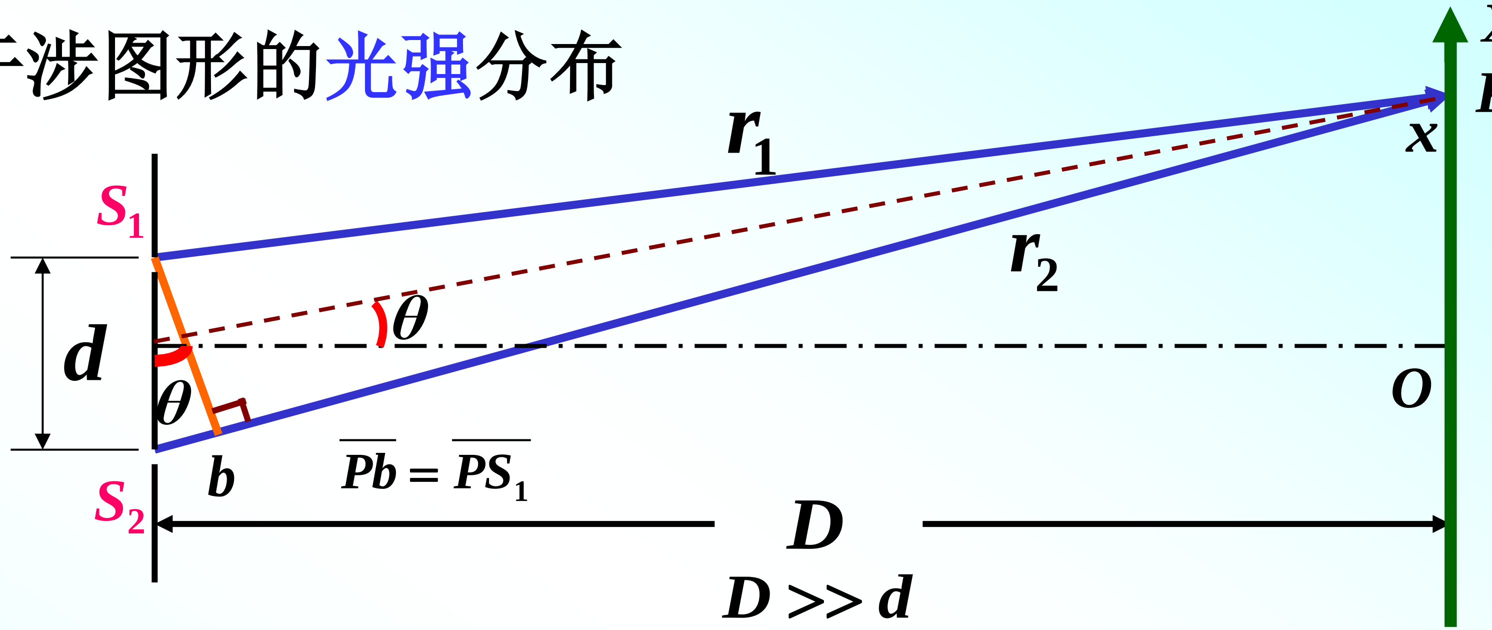
任意P点的光强为： $I_\theta = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\phi$

$$\begin{cases} \text{如果两光强相等}\ I_1 = I_2 = I_0 \Rightarrow I_\theta = 4I_0\cos^2\dfrac{\Delta\phi}{2} \\ \Delta\phi = 2\pi\dfrac{r_2 - r_1}{\lambda} = 2\pi\dfrac{d\sin\theta}{\lambda} \end{cases}$$

$\Rightarrow \boxed{I_\theta = 4I_0\cos^2\left(\dfrac{\pi d\sin\theta}{\lambda}\right)}$ 干涉光强的角分布

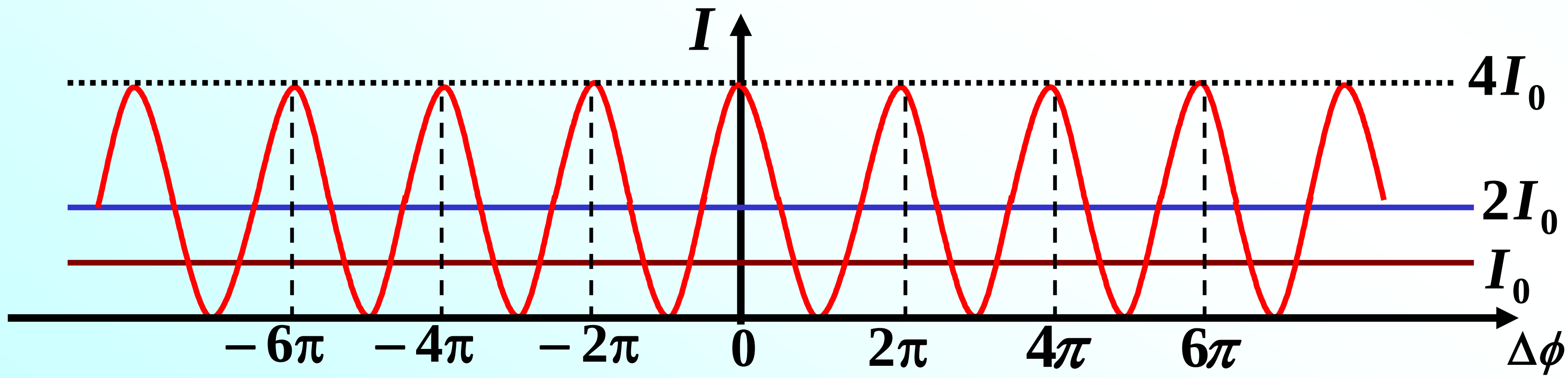
$\sin\theta \approx \dfrac{x}{D}$ ⟶ 还可求得光强的坐标分布：I_x

●干涉图形的光强分布

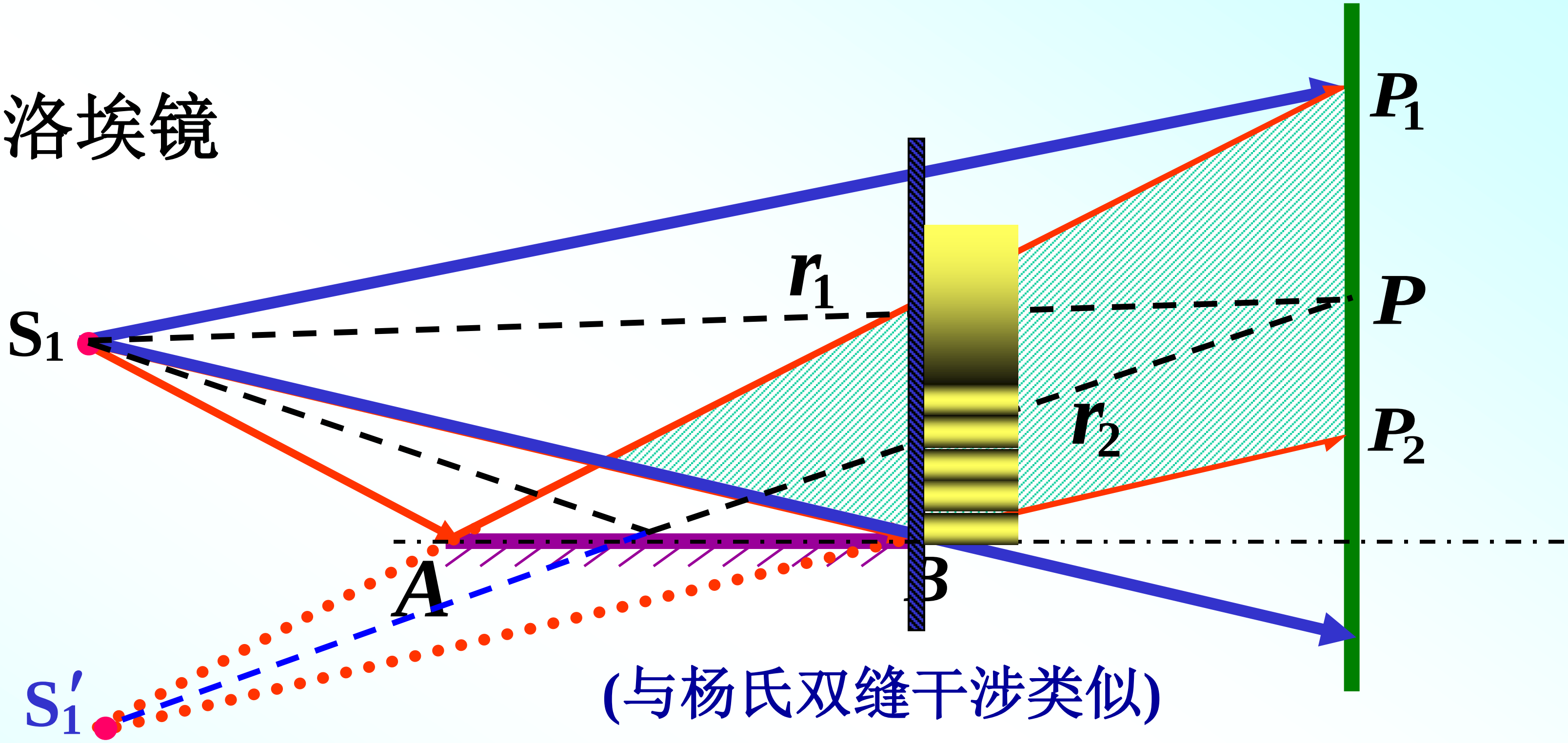


任意P点的光强为： $I_\theta = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\phi$

如果两光强相等 $I_1 = I_2 = I_0$ $\begin{cases} \text{明纹} & I = 4I_0 \\ \text{暗纹} & I = 0 \end{cases}$



● 洛埃镜



(与杨氏双缝干涉类似)

明暗条纹的位置：

真空中：
$$r_2 - r_1 + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & \text{明纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗纹} \end{cases} \quad (k=0,1,2\cdots)$$

将屏移到 B处，B处为暗纹证实了半波损失的存在。

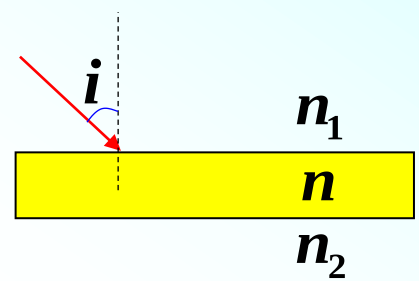
●分振幅干涉 (薄膜干涉)

● 1.等倾干涉 (薄膜厚度均匀)

$$2d\sqrt{n^2-n_1^2\sin^2 i}\ \boxed{+\frac{\lambda}{2}} = \begin{cases} k\lambda & (k=1,2,\cdots)\ \cdots\text{明纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & (k=0,1,2\cdots)\cdots\text{暗纹} \end{cases}$$

(1) 是否考虑半波损失:

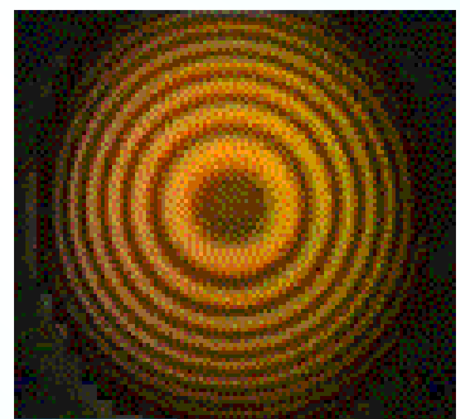
$\left.\begin{matrix} n_1>n>n_2 \\ n_1<n<n_2 \end{matrix}\right\}$ 不考虑!　　$\left.\begin{matrix} n_1>n<n_2 \\ n_1<n>n_2 \end{matrix}\right\}$ 要加 $\dfrac{\lambda}{2}$!



(2) 愈往中心，条纹级次愈高。若变d: 视频

(3) 条纹呈内疏外密。

(4) 白光入射，发生色散，产生彩色条纹。



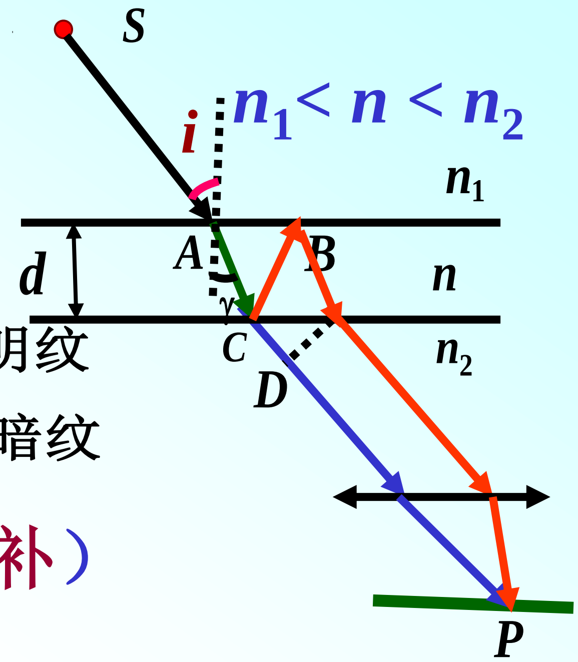
视频

说明：

（1）透射光也有干涉现象，

明暗条件为：

$$2d\sqrt{n^2-n_1^2\sin^2 i}+\boxed{\frac{\lambda}{2}}=\begin{cases}k\lambda & (k=1,2,\cdots)\ \cdots\text{明纹}\\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & (k=0,1,2\cdots)\cdots\text{暗纹}\end{cases}$$



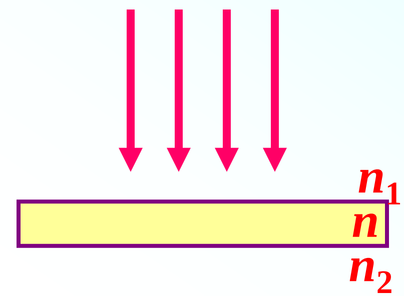
反射光加强的点，透射光正好减弱（互补）

（2）平行光垂直入射的干涉现象：

单色光垂直入射时：

薄膜表面为同一亮度。

（可能全亮、也可能全暗）



复色光垂直入射时，

薄膜表面有的颜色亮，有的消失。

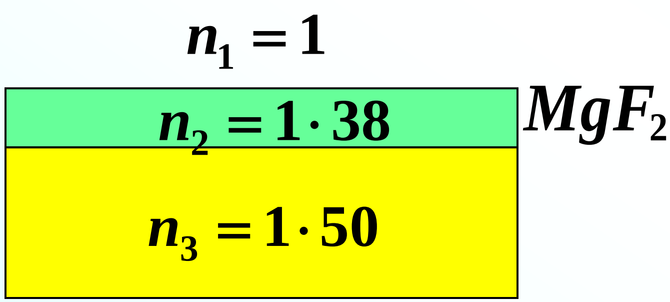
等倾干涉的应用——**增透(反)膜**：

使某些颜色的单色光在表面的反射干涉相消，增加透射。

$$\delta = 2d\sqrt{n^2 - n_1^2 \sin^2 i} = \begin{cases} k\lambda & (k=1,2,\cdots) \cdots \text{明纹} \\ (2k+1)\lambda/2 & (k=0,1,2\cdots)\cdots \text{暗纹} \end{cases}$$

例: 折射率 n=1.50的玻璃表面涂一层 MgF_2(n=1.38),为使它在 5500Å波长处产生极小反射，这层膜应多厚?

解:



$\because n_1 < n_2 < n_3$

不加λ/2

假定光垂直入射，极小反射处有:

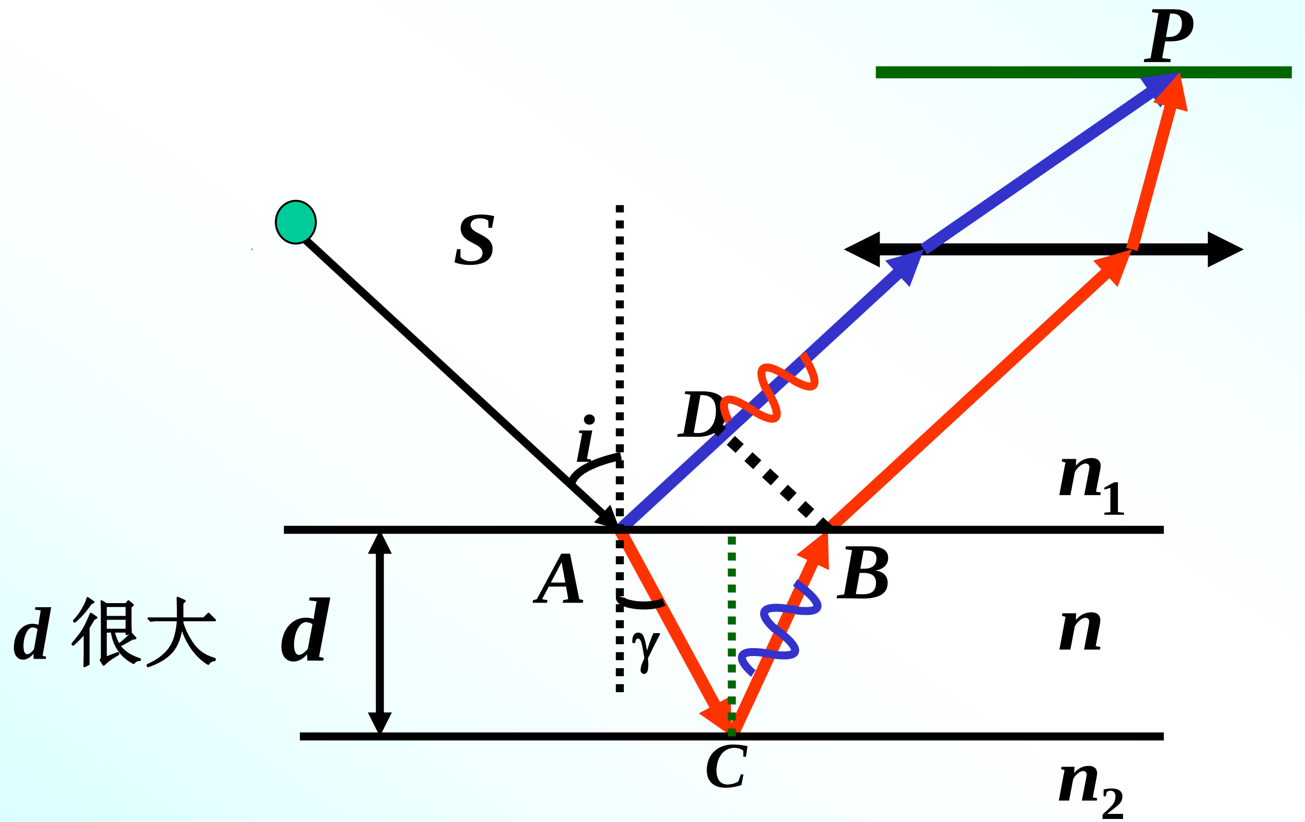
$$\begin{cases} \delta = 2n_2 d = (2k+1)\lambda/2 \quad k=0,1,2\cdots \text{暗} \\ \text{最薄的膜 对应于} k=0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow d = \frac{\lambda}{4n_2} = \frac{5500}{4\times 1\cdot 38} \approx 1000\,\text{Å}$$

k取其它值亦可，但d不能太大。为什么?

应用: 照相机镜头、太阳能电池表面镀增透膜，激光谐振腔反射镜增反膜，飞机隐形...

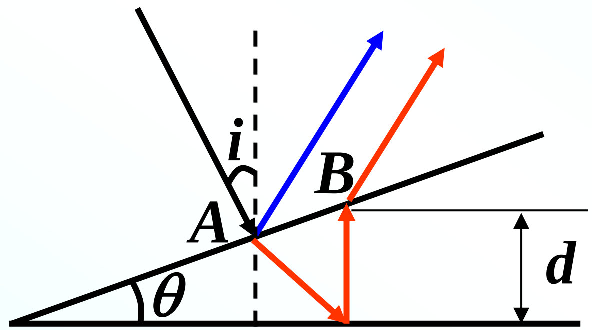
问题：为什么在玻璃板上看不到干涉现象？

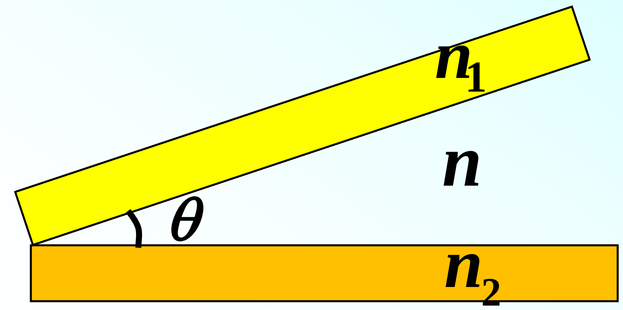


答曰：时间相干性的限制。

2.等厚干涉（厚度不均匀的薄膜干涉）

1）劈尖干涉 （两表面有一定夹角）





***B*处（厚度为*d*）的明暗条件:**

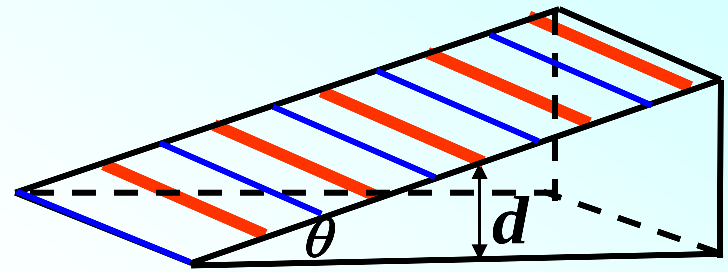
$$\delta=2d\sqrt{n^2-n_1^2\sin^2 i}\boxed{+\frac{\lambda}{2}}=\begin{cases}k\lambda & (k=1,2,\cdots)\ \cdots\text{明纹}\\(2k+1)\frac{\lambda}{2} & (k=0,1,2\cdots)\cdots\text{暗纹}\end{cases}$$

对于**垂直入射**，有 $i=0$：

$$\boxed{\Rightarrow\delta=2nd\boxed{+\frac{\lambda}{2}}=\begin{cases}k\lambda & (k=1,2,\cdots)\ \cdots\text{明纹}\\(2k+1)\frac{\lambda}{2} & (k=0,1,2\cdots)\cdots\text{暗纹}\end{cases}}$$

$$\delta = 2nd \boxed{+\frac{\lambda}{2}} = \begin{cases} k\lambda & (k=1,2,\cdots) \cdots \text{明纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & (k=0,1,2\cdots) \cdots \text{暗纹} \end{cases}$$

干涉条纹的分布特征：



(1)每一 k 值对应劈尖某一确定厚度d。
即同一厚度对应同一干涉级

——等厚条纹 (等厚线)

干涉条纹是一组与棱边平行的明暗相间的条纹

(2)棱边处 $d=0$

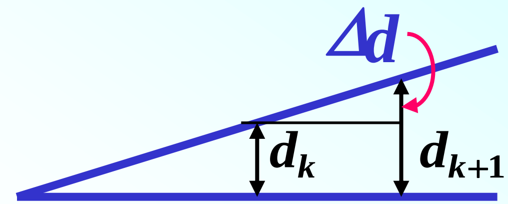
$$\begin{cases} n_1 = n_2 \neq n & \Rightarrow \delta = \dfrac{\lambda}{2} \quad \text{暗纹} \\ n_1 < n < n_2 & \Rightarrow \delta = 0 \quad \text{亮纹} \end{cases}$$

$$\delta = 2nd \boxed{+\frac{\lambda}{2}} = \begin{cases} k\lambda & (k=1,2,\cdots) \quad \cdots \text{明纹} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & (k=0,1,2\cdots)\cdots \text{暗纹} \end{cases}$$

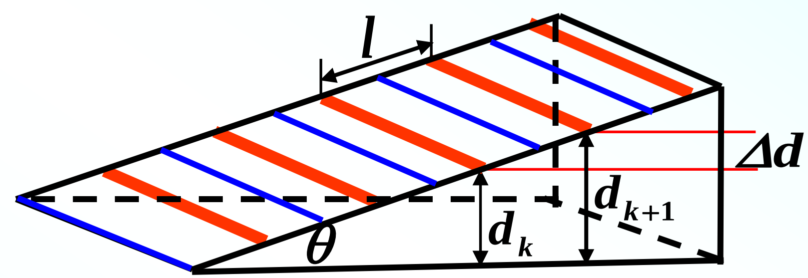
(3)相邻两明（暗）纹间对应的厚度差为:

$$2nd+\frac{\lambda}{2}=k\lambda \quad \Rightarrow d_k=\frac{1}{2n}(k\lambda-\frac{\lambda}{2})$$

$$\Rightarrow \Delta d = d_{k+1} - d_k = \frac{\lambda}{2n}$$



(4)明（暗）纹间距 l:

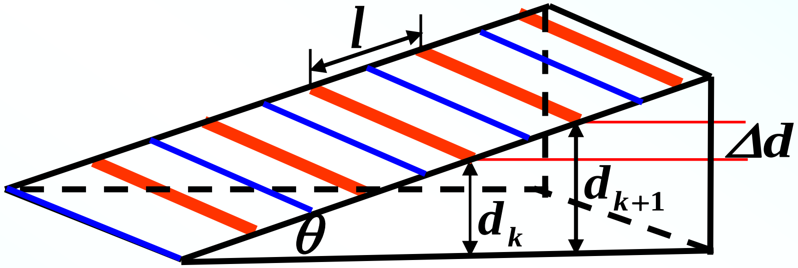


$$\begin{cases} \Delta d = l\sin\theta \\ \Delta d = \frac{\lambda}{2n} \end{cases}$$

$$\Rightarrow l = \frac{\lambda}{2n\sin\theta} \quad \begin{cases} \theta\text{、}\lambda\text{一定，则 } l \text{ 确定，所以条纹等间距} \\ \theta\text{一定，} \lambda\uparrow\text{则}l\uparrow\text{；}\lambda\downarrow\text{则 }l\downarrow \\ \theta\uparrow\text{则}l\downarrow\text{条纹变密；}\theta\downarrow\text{ 则}l\uparrow\text{条纹变疏} \end{cases}$$

视频

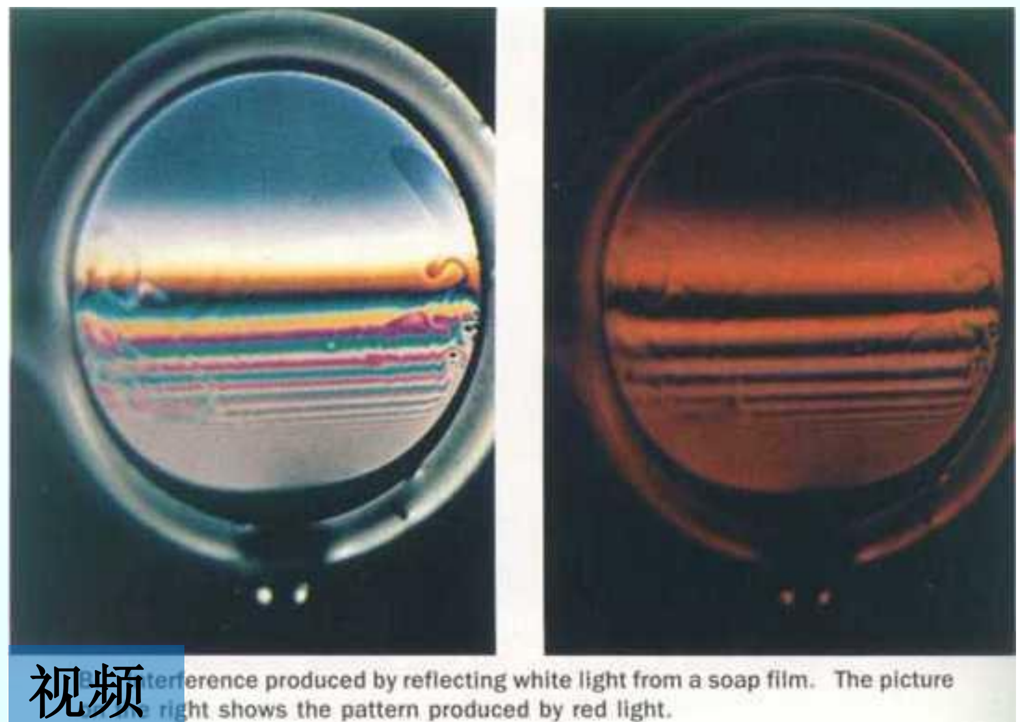
视频



第k级明纹：

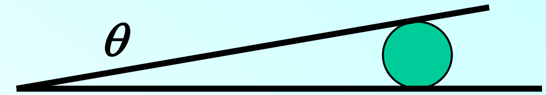
$$\boxed{2nd_k + \frac{\lambda}{2} = k\lambda \qquad (k = 1, 2, \cdots)}$$

(5)复色光入射得彩色条纹



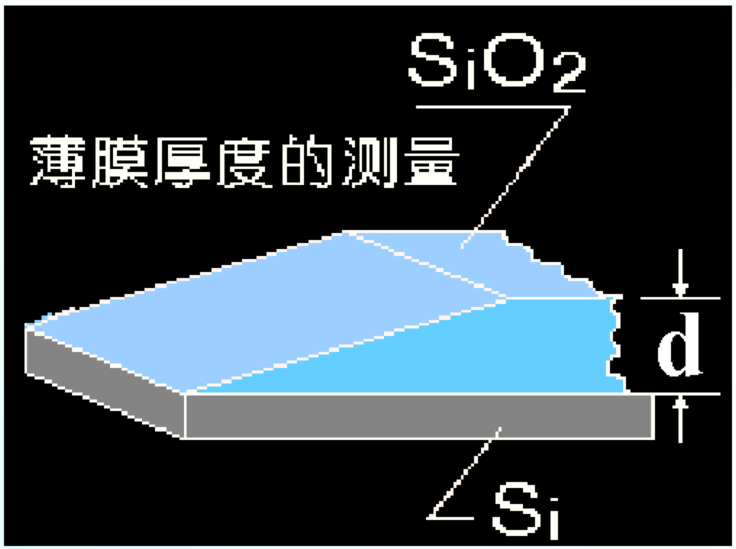
视频

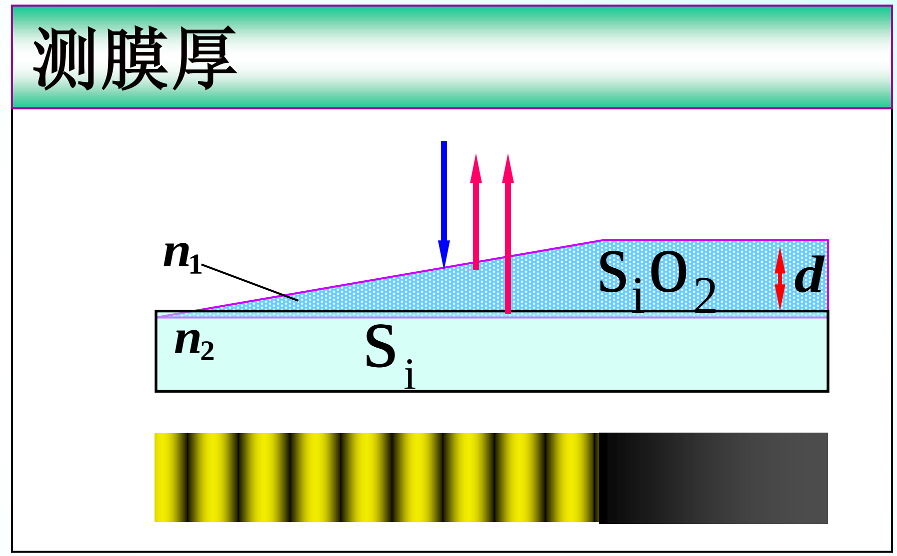
劈尖干涉的几个应用：



▲通过已知λ，可求得金属丝直径、薄膜厚度。

例：利用劈尖干涉判断薄膜（SiO_2）的生长情况



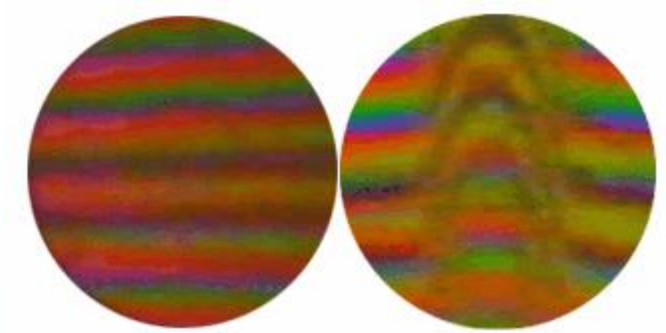


$$\left.\begin{aligned} 2n_1 d_k + \boxed{\frac{\lambda}{2}} &= k\lambda \\ 2n_1 d_{k+1} + \boxed{\frac{\lambda}{2}} &= (k+1)\lambda \end{aligned}\right\} \Rightarrow \Delta d = d_{k+1} - d_k = \frac{\lambda}{2n_1}$$

N条明纹对应厚度为：$d = N\dfrac{\lambda}{2n_1}$

劈尖干涉的几个应用：

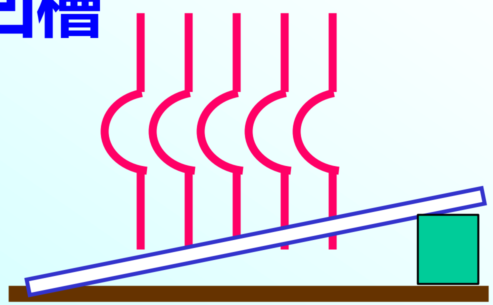
▲可检测工件的平整度



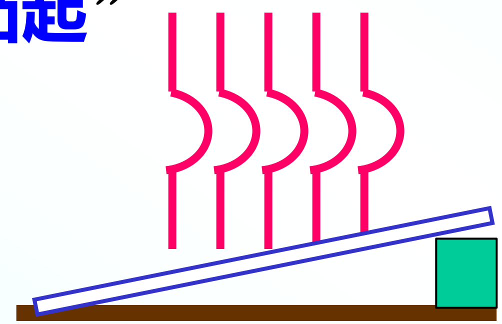
(a) (b)

每个条纹对应空气劈尖的等厚线

有“**凹槽**”

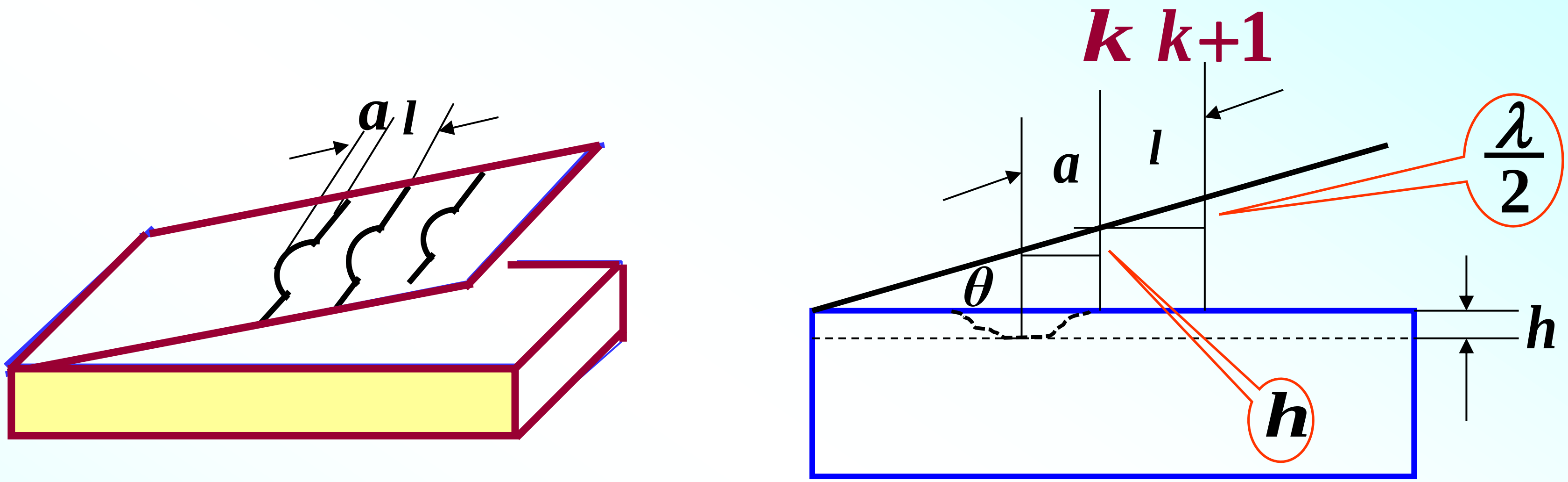


有“**凸起**”



视频：光洁度检测

例：分析下图中工件表面的缺陷情况。



解：分析可知缺陷为坑或槽。那么，坑或槽的深度h=?

明纹处满足条件：

$$\begin{cases} 2nd+\dfrac{\lambda}{2}=k\lambda \Rightarrow \Delta d=\dfrac{\lambda}{2n} \\ \Delta d=l\sin\theta \\ h=a\sin\theta \end{cases}$$

$$\Rightarrow h=\frac{a\lambda}{2nl} \quad =\frac{a\lambda}{2l}$$ 空气中

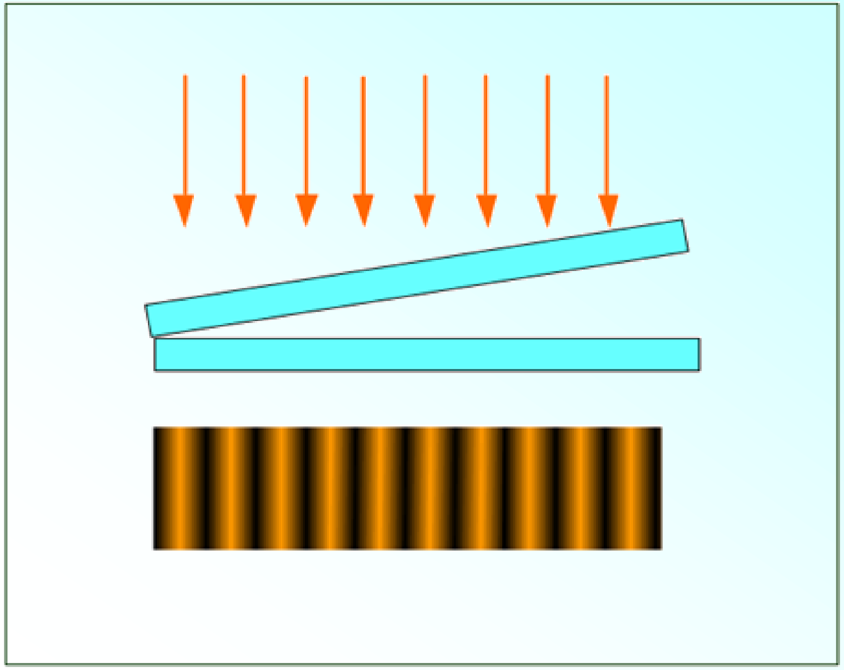
▲劈尖干涉条纹的移动

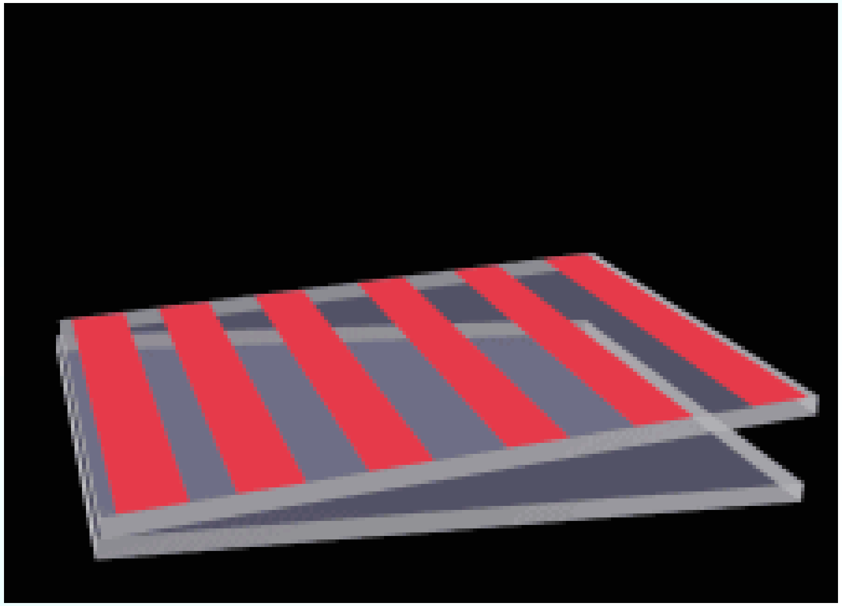
每个条纹对应劈尖内的一个确定的厚度。

相当于地图上的“等高线”

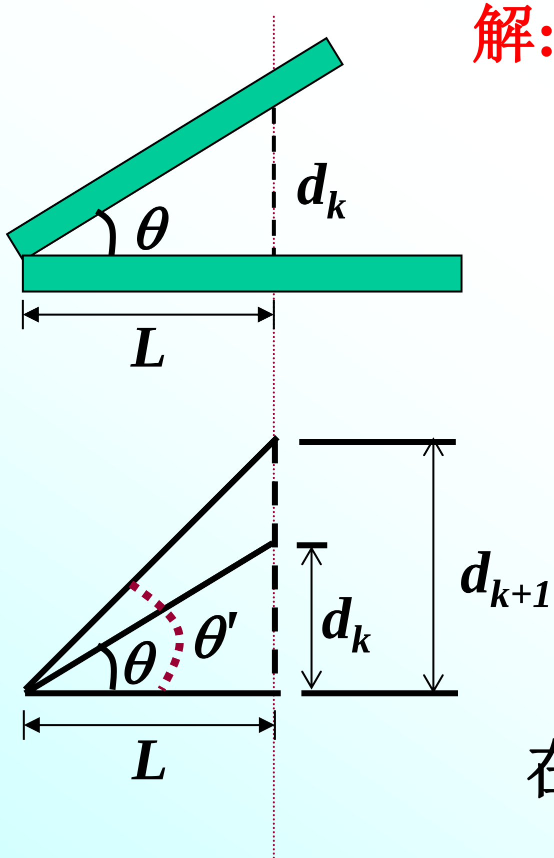
当此厚度对应的位置改变时，对应的条纹随之移动。

条纹间距也随之变化。





例: 用波长为λ的单色光垂直照射到空气劈尖上，从反射光中观察干涉条纹，距顶点L处是暗条纹。使劈尖角θ连续变大，直到该点再次出现暗条纹为止。则劈尖角的改变量$\Delta\theta$是多少？



解: 设L处是第k级暗纹,空气膜厚为d_k,
则光程差满足

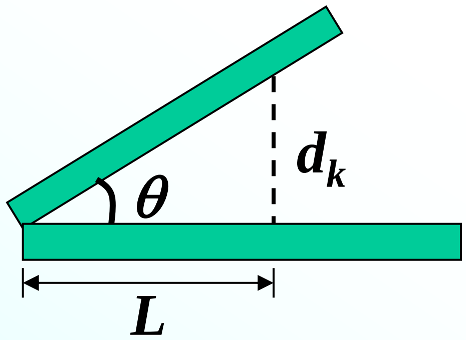
$$\begin{cases} 2nd_k + \dfrac{\lambda}{2} = (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} \\ n = 1 \end{cases}$$

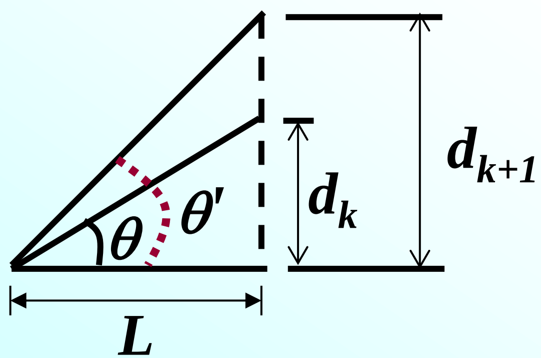
$$\Rightarrow d_k = k\frac{\lambda}{2} \quad \Rightarrow d_{k+1} = (k+1)\frac{\lambda}{2}$$

故，第k +1级暗纹在第k 级暗纹的右侧。

在劈尖角θ连续变大的过程中，条纹向左平移。

L处再次出现暗条纹，表明第$(k+1)$暗纹移到了L处。设此时劈尖角为θ'。



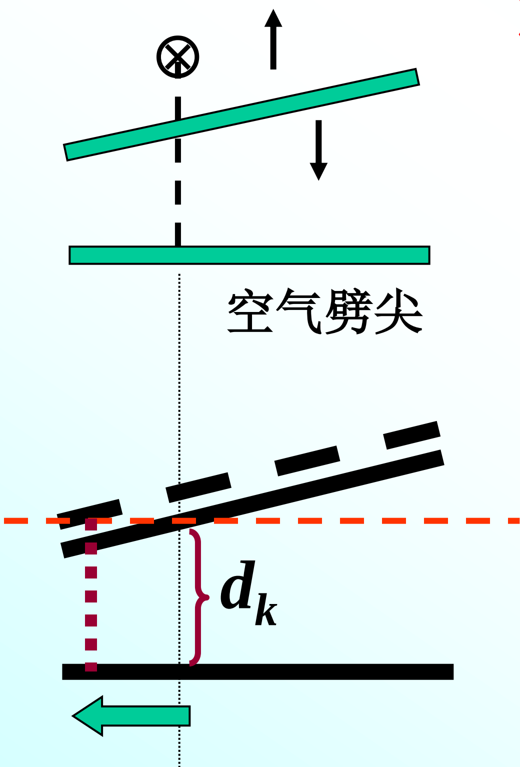


$$\begin{cases} \begin{cases} 2nd_k + \dfrac{\lambda}{2} = (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} \\ n = 1 \end{cases} \\ \Rightarrow d_k = k\dfrac{\lambda}{2} \\ \Rightarrow d_{k+1} = (k+1)\dfrac{\lambda}{2} \\ \theta = \mathrm{tg}\theta = d_k / L \\ \theta' = \mathrm{tg}\theta' = d_{k+1} / L \\ \Delta\theta = \theta' - \theta \end{cases}$$

$$\Rightarrow \Delta\theta = \frac{(k+1)\lambda}{2L} - \frac{k\lambda}{2L}$$

$$= \frac{\lambda}{2L}$$

例: 如图，显微镜的叉丝正对着一条暗纹，当劈尖的上表面向上平移时，观察到的干涉条纹会发生怎样的变化？若向下平移呢？



解: 设此处是第 k 级暗纹，且此处空气膜厚为d_k，则光程差满足

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

$$\Rightarrow d_k = k\frac{\lambda}{2}$$

由上式可知，第k级暗纹所对应的空气膜的厚度是确定的。

先考虑向上平移的情况。

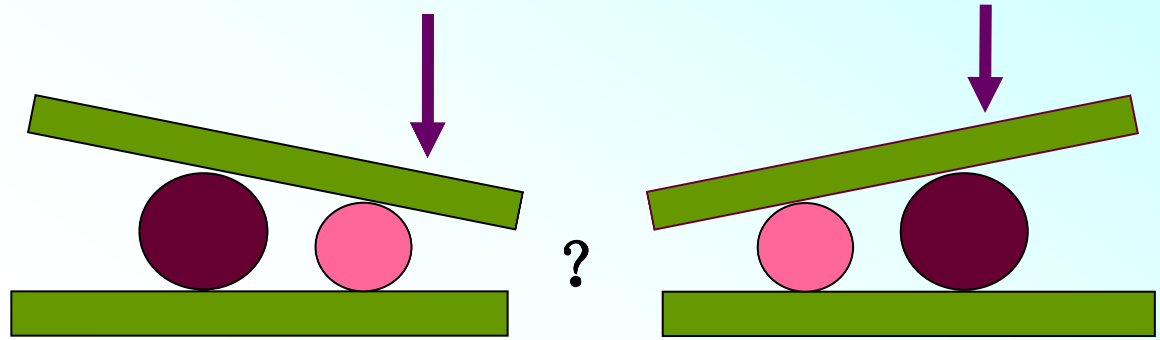
在上表面向上平移的过程中，第k级暗纹向左移。

所以，在上表面向上平移的过程中，全部条纹整体向左平移。

向下平移时可作类似分析，条纹整体向右平移。

例：用两块平面玻璃板能否判别两个直径相差很小的钢珠？

解：如图，构成劈尖，通过观察干涉条纹来判别。钢珠的排列有右边两种可能。



条纹间距为 $l=\dfrac{\lambda}{2n\sin\theta}$ 所以通过改变θ可以改变条纹间距.

在右边那颗上方端轻轻地压一下，若：

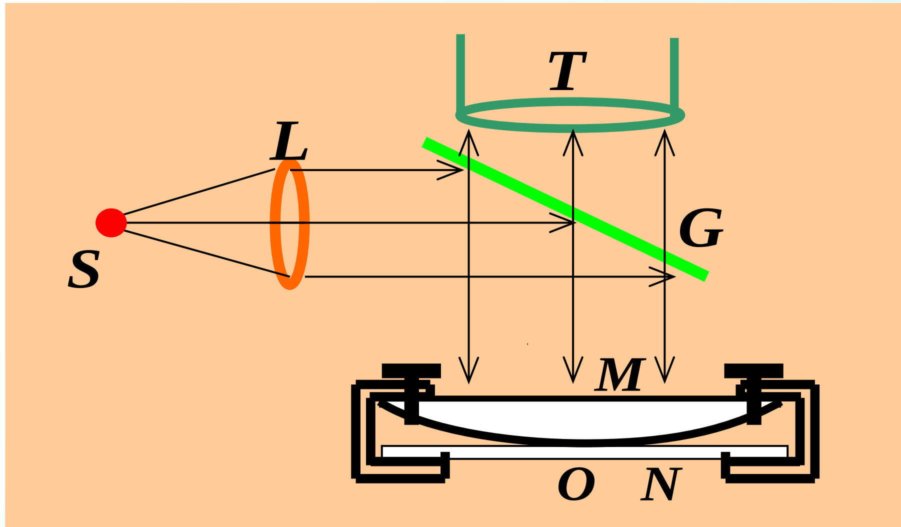
$\begin{cases}\text{右边的小，则压后}\theta\text{增大，条纹间距变小，等厚干涉条纹变密；}\\ \text{右边的大，则压后}\theta\text{减小，条纹间距变大，等厚干涉条纹变疏。}\end{cases}$

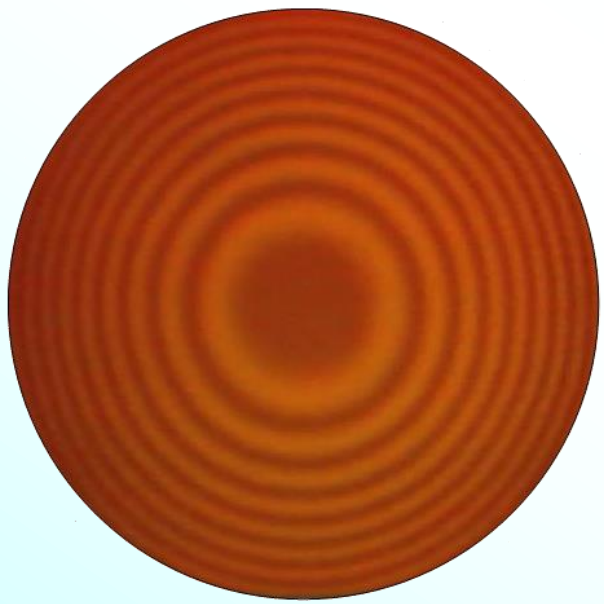
另：用白光入射,形成彩带。

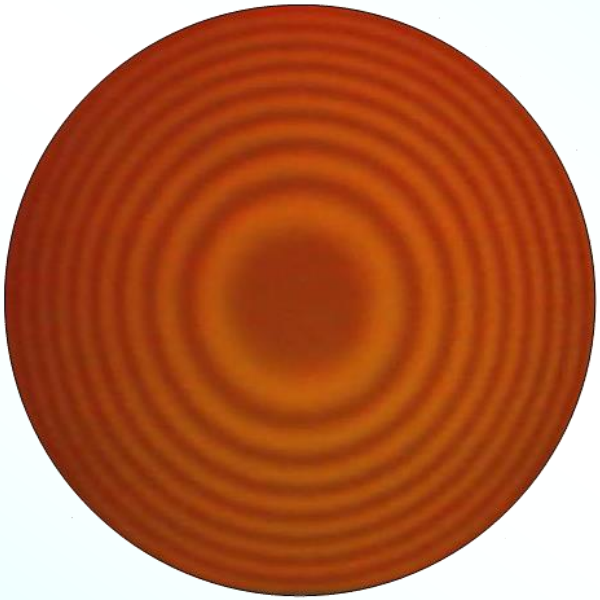
$$2nd_k+\frac{\lambda}{2}=k\lambda$$

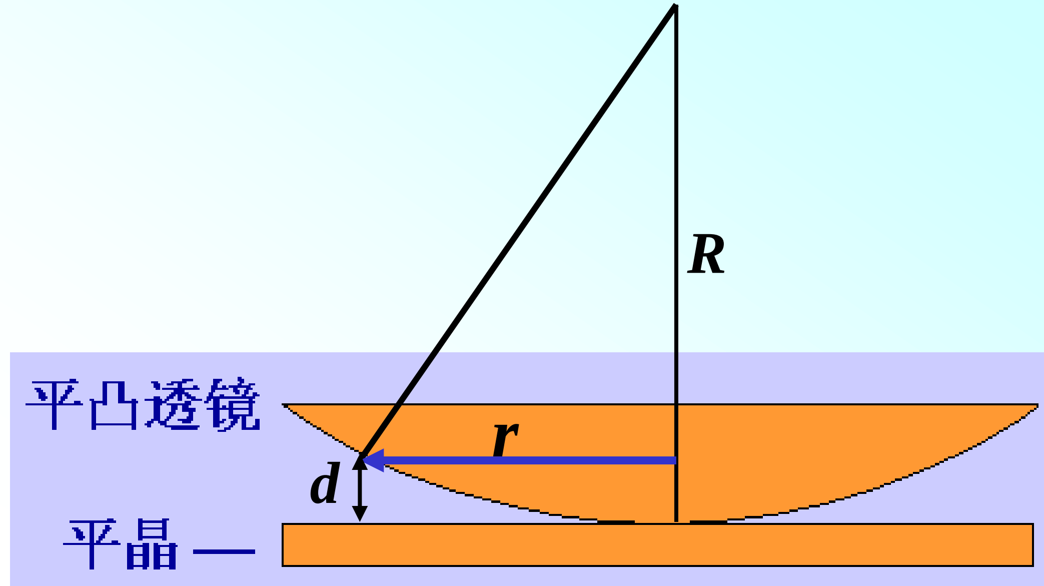
对同一级条纹，波长大(红色)的d_k大，故靠近红色一端的钢珠大。

2）牛顿环（平凸透镜的曲率半径很大）







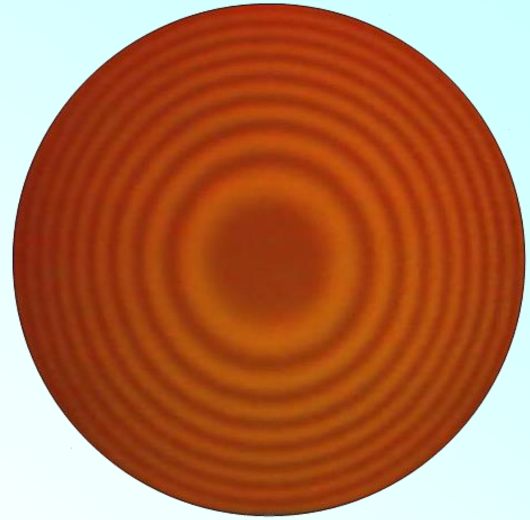


$$
\left\{\begin{array}{l}
\text{明暗条件：} \delta = 2d + \dfrac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & k = 1,2\cdots \quad \text{明} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k = 0,1,2\cdots \quad \text{暗} \end{cases} \\[2ex]
\text{干涉环半径为} r\text{，有：} r^2 = R^2 - (R-d)^2 = 2Rd - d^2 \approx 2Rd
\end{array}\right.
$$

$$
\Rightarrow \left\{\begin{array}{ll}
\text{明纹：} d = (k - \dfrac{1}{2})\dfrac{\lambda}{2} & \Rightarrow r = \sqrt{\dfrac{(2k-1)R\lambda}{2}} \quad (k = 1,2\cdots) \\[2ex]
\text{暗纹：} d = \dfrac{k\lambda}{2} & \Rightarrow r = \sqrt{kR\lambda} \quad (k = 0,1\cdots)
\end{array}\right.
$$

干涉环半径：

$$r=\begin{cases}\sqrt{\dfrac{(2k-1)R\lambda}{2}}\ (k=1,2\cdots) & \text{明纹}\\ \sqrt{kR\lambda}\ (k=0,1\cdots) & \text{暗纹}\end{cases}$$



讨论：

（1） $2d+\dfrac{\lambda}{2}=k\lambda \longrightarrow d\uparrow,\ k\uparrow$

愈往边缘，条纹级别愈高。

与等倾干涉不同

（2） $r_k=\sqrt{kR\lambda} \quad k=0,1,2\cdots$

牛顿环的中心一定是暗点。

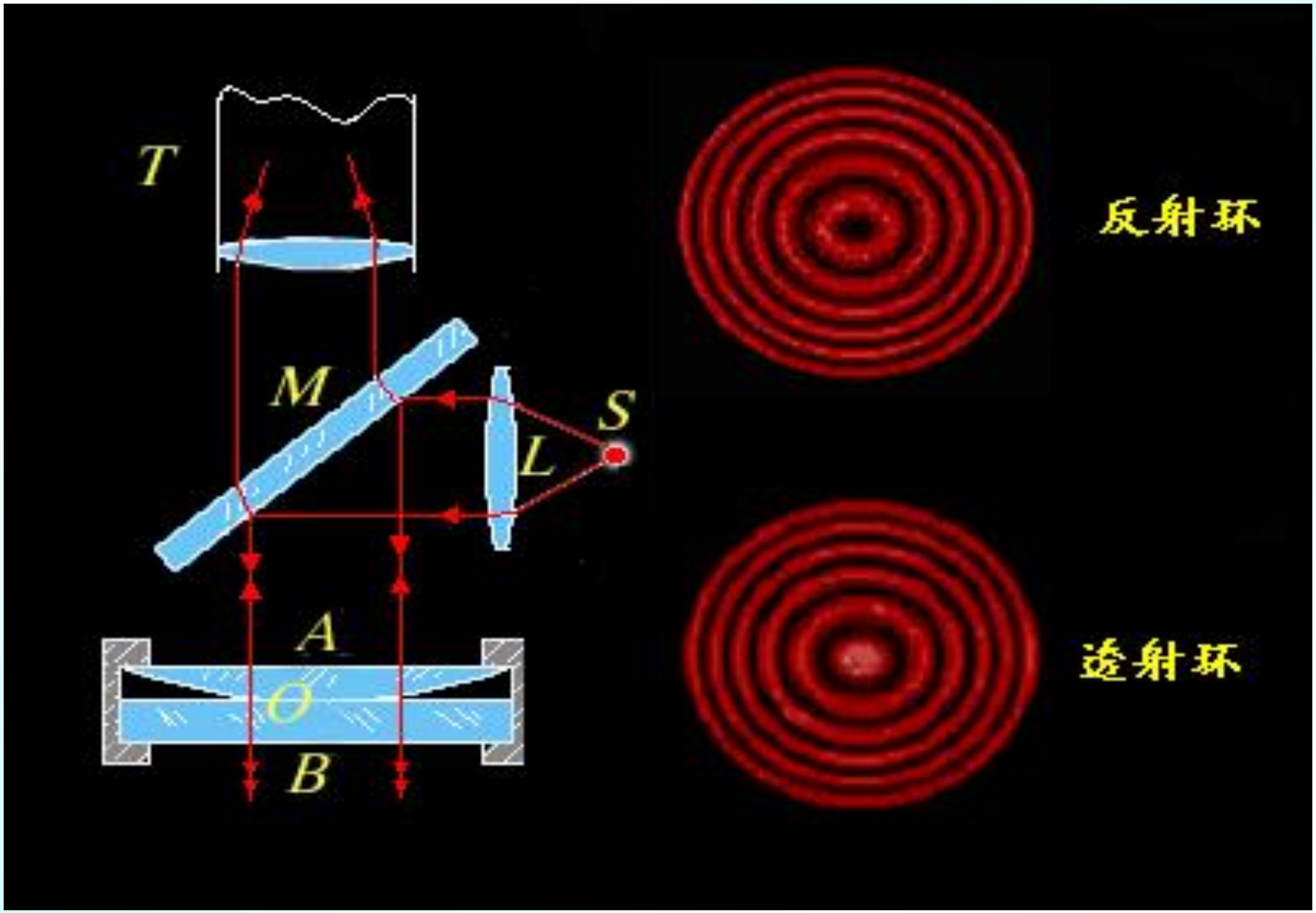
（3）相邻两暗环的间隔 $\Delta r_k=r_{k+1}-r_k\approx\sqrt{\dfrac{R\lambda}{4k}} \quad (k\gg1)$

可见，环中心疏，旁边密。

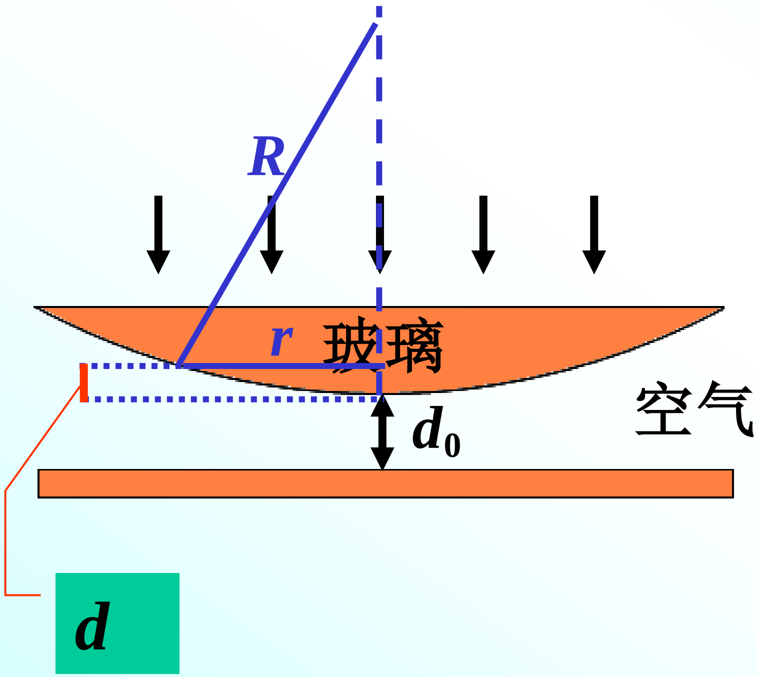
（4）可求出 R： $R=\dfrac{r_{k+m}^2-r_k^2}{m\lambda}$

（5）已知R可求λ

（6）透射光与之互补



例: 如图，用波长为λ的单色光垂直入射。平凸透镜的曲率半径为R，平凸透镜与平板玻璃间有一小间距d_0。求牛顿环中各暗环的半径。



解: 设第 k 级暗环的半径为r，有：

$$\delta_k = 2(d+d_0)+\frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

$$\Rightarrow d = \frac{k\lambda}{2} - d_0$$

由几何关系可知：

$$r^2 = R^2-(R-d)^2 = 2Rd-d^2$$

$$\Rightarrow r^2 \approx 2Rd$$

$$\Rightarrow r = \sqrt{kR\lambda - 2Rd_0}$$

第 k 级暗环的半径

作业：13 —T6-T11

作业要求

1. 独立完成作业。
2. 图和公式要有必要的标注或文字说明。
3. 作业纸上每次都要写姓名以及学号(或学号末两位)。
4. 课代表收作业后按学号排序，并装入透明文件袋。
5. 每周二交上周的作业。迟交不改。
6. 作业缺交三分之一及以上者综合成绩按零分计。