第二讲主要内容

薄膜干涉 $\boxed{\delta = 2en_2\cos r + \lambda/2}$

等倾干涉

增透膜、增反膜 $= \begin{cases} k\lambda & k = 1,2,3,\cdots,\ \text{明纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k = 0,1,2,\cdots \text{暗纹} \end{cases}$

等厚干涉

$\Delta e = \lambda/(2n)$

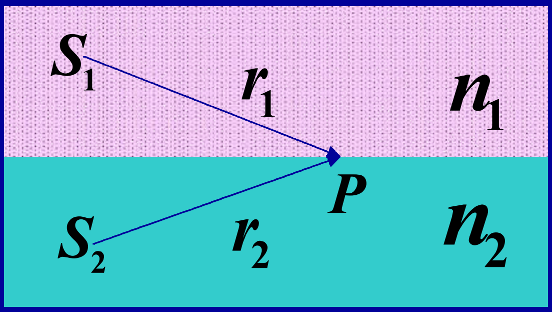
劈尖干涉 $\delta = 2ne + \lambda/2$ $\quad \therefore l \quad \lambda/(2n\theta)$

牛顿环 $e = \dfrac{r^2}{2R}$ 暗环半径 $r_k = \sqrt{kR\lambda}$

迈克尔孙干涉仪：半透板、补偿板 $\Delta d = \Delta N \dfrac{\lambda}{2}$

光程--相同时间内光在介质中传播的距离折算成光在真空中传播的距离。

$$光程 = nr = \frac{c}{u}r = c\Delta t$$

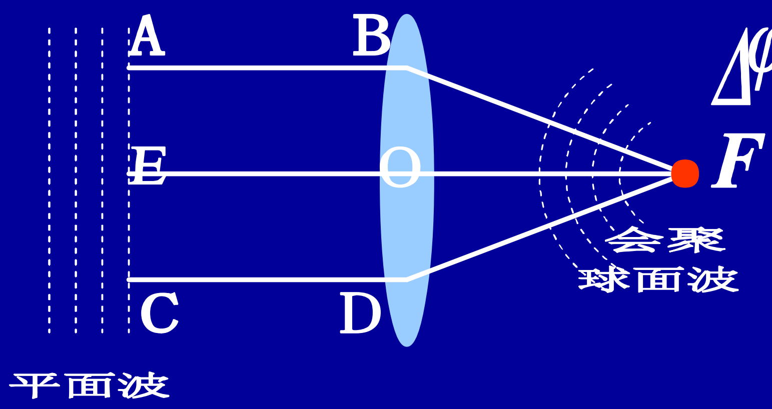


S_1、S_2同相

光程差δ

$$\delta = n_2 r_2 - n_1 r_1 = \begin{cases} \pm k\lambda, k = 0,1,2\ldots, 明纹 \\ \pm (2\mathrm{k}-1)\dfrac{\lambda}{2}, k = 1,2\ldots, 暗纹 \end{cases}$$

二、理想透镜不产生附加光程差

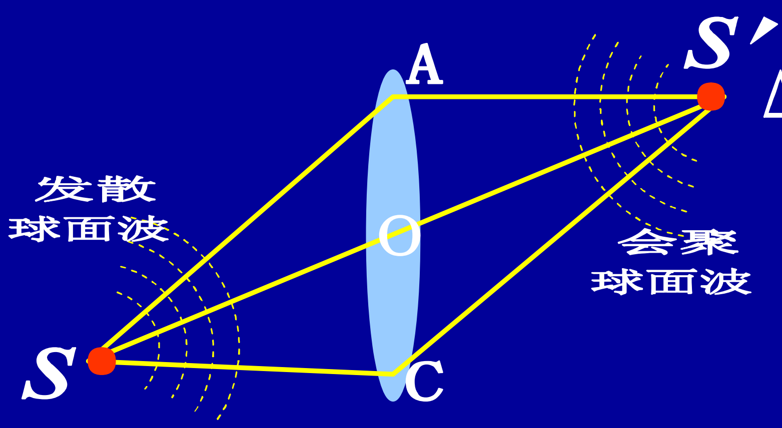


$\Delta\varphi = 0$

$\delta = 0$

即各路等光程

$$L_{ABF} = L_{EOF} = L_{CDF}$$

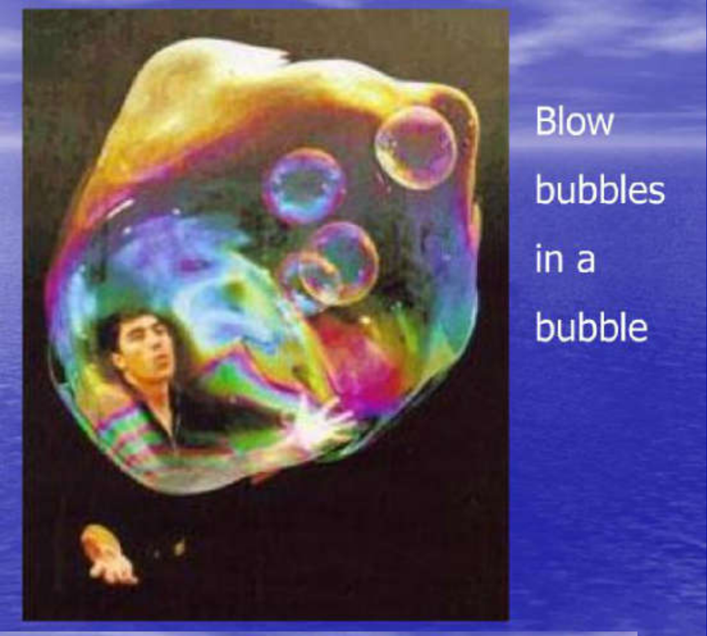


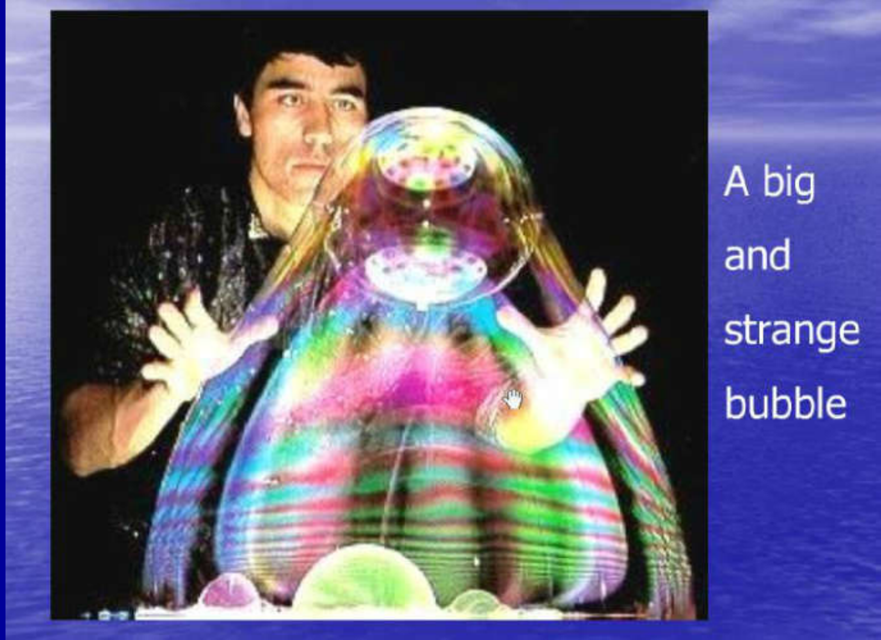
$\Delta\varphi = 0$

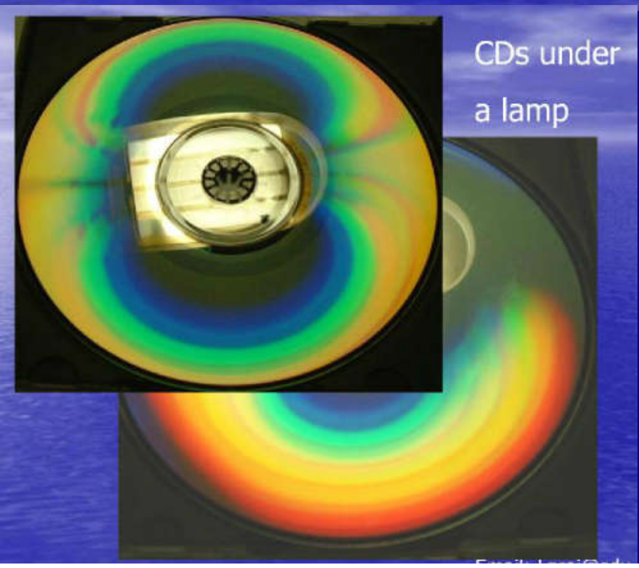
$\delta = 0$

即各路等光程

$$L_{SAS'} = L_{SOS'} = L_{SCS'}$$


Blow
bubbles
in a
bubble


A big
and
strange
bubble


CDs under
a lamp


Nacreous clouds

12.3 薄膜干涉

一、等倾干涉

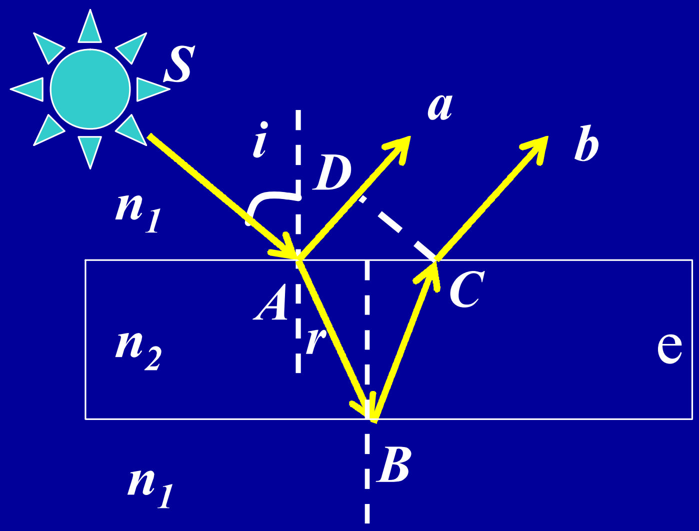
光程差公式

在一均匀透明介质n_1中放入上下表面平行，厚度为 e 的均匀介质 n_2 中，$n_1<n_2$

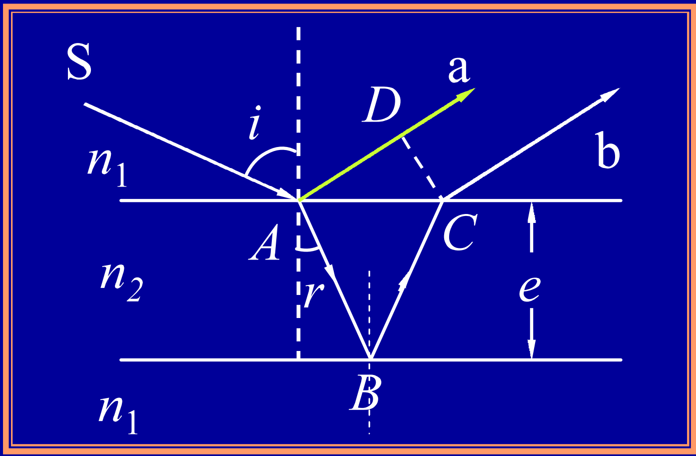
光a与光 b的光程差为：

$$\delta = (AB + BC)n_2 - ADn_1 + \lambda / 2$$

半波损失



$$\delta = (AB + BC)n_2 - ADn_1 + \lambda / 2$$



折射定律 $$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

$$AD = AC \sin i$$

$$AC = 2etgr$$

$$AB = BC = e / \cos r$$

得： $$\delta = 2en_2\left(\frac{1}{\cos r} - \frac{\sin^2 r}{\cos r}\right) + \lambda/2$$

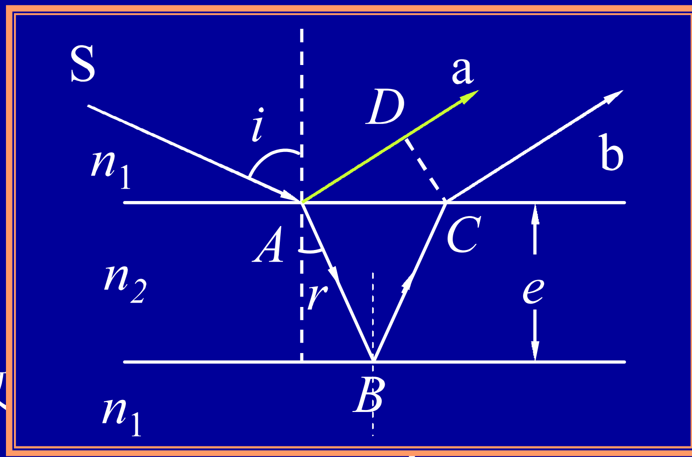
即： $$\boxed{\delta = 2en_2 \cos r + \lambda / 2}$$

$$= 2en_2\sqrt{1 - \sin^2 r} + \lambda / 2$$

$$\boxed{\delta = 2en_2\cos r + \lambda/2}$$

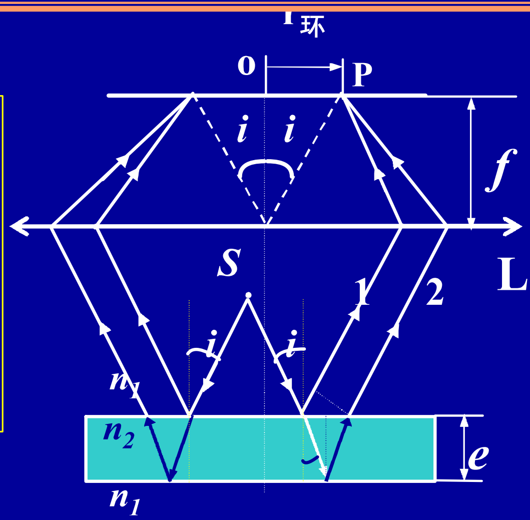
$$= 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i} + \lambda/2$$

$$= \begin{cases} k\lambda & k = 1,2,3,\cdots,\ \text{明纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k = 0,1,2,\cdots \text{暗纹} \end{cases}$$



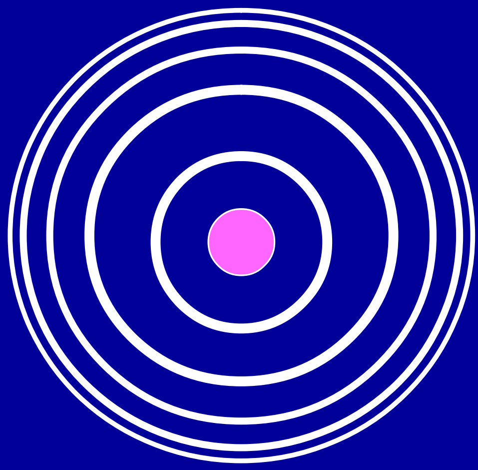
等倾干涉： 倾角相同的光线对应同一级干涉条纹

定域干涉： 两束相干光平行，应在透镜的焦平面上观察它们的相干结果，所以称它为定域干涉。



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

$$= \begin{cases} k\lambda & k = 1,2,3,\cdots,\ \text{明纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k = 0,1,2,\cdots \text{暗纹} \end{cases}$$



条纹的特点：

形状： 一系列同心圆环 $r_{环} = f\,\mathrm{tg}\, i$

条纹间隔分布： 内疏外密

条纹级次分布： 内高外低 $r_k \downarrow \rightarrow i \downarrow \rightarrow \delta \uparrow \rightarrow k \uparrow$

膜变厚，环纹扩大： k一定，$e^{\uparrow} \rightarrow i^{\uparrow} \rightarrow r_k^{\uparrow}$

波长对条纹的影响：k，e 一定，$\lambda^{\uparrow} \rightarrow i \downarrow \rightarrow r_k \downarrow$

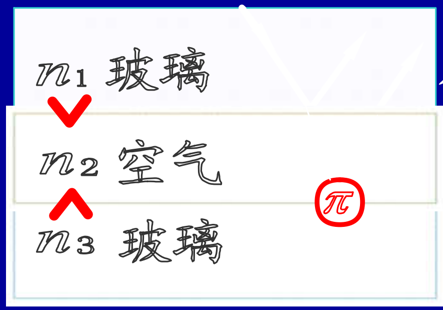
讨论

（1）半波损失：一般地，若$n_1>n_2>n_3$,或$n_1<n_2<n_3$,则公式中不含半波损失项；反之则含半波损失项。

反射条件相同

附加光程差

$$\delta' = \frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{2} = 0$$



反射条件不同

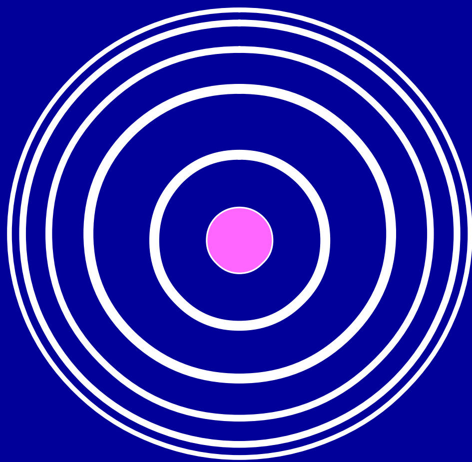
附加光程差

$$\delta' = \frac{\lambda}{2} - 0 = \frac{\lambda}{2}$$

（2）薄膜厚度的影响

$$\delta = 2n_2 e\cos r + \frac{\lambda}{2}$$

膜厚e越大，中心干涉级k越大



如玻璃厚度$e=1mm$，

对$\lambda_1=400nm$, $\delta_1=2500\lambda$，$k_1=2500$；

$\lambda_2=760nm$, $\delta_2=1315\,\lambda$，$k_2=1315$；

无干涉现象。

增透膜和增反膜

增透膜(antireflection film) 在透镜表面镀一层厚度均匀的透明介质膜，使其上、下表面对某种色光的反射光产生相消干涉，其结果是减少了该光的反射，增加了它的透射。

照相机镜头

眼镜

增反膜 利用薄膜干涉原理，使薄膜上、下表面对某种色光的反射光发生相长干涉，其结果是增加了该光的反射，减少了它的透射。

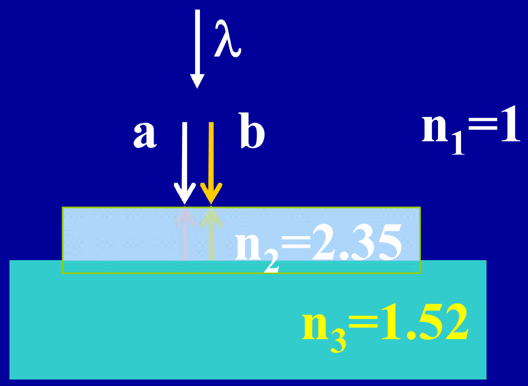
激光器谐振腔

宇航服

12.4 增反膜 一般光学器件的反射率只有5%左右，为增加反射率，常在表面镀一层膜称增反膜。如在$n_3=1.52$的玻璃上镀ZnS ($n_2=2.35$)。为了使$\lambda=632.8$nm的红光增强反射，问ZnS的最小厚度为多少？

$$\boxed{\delta = 2n_2 e + \frac{\lambda}{2} = k\lambda}$$

$$e = \frac{(2k-1)}{4n_2}\lambda$$



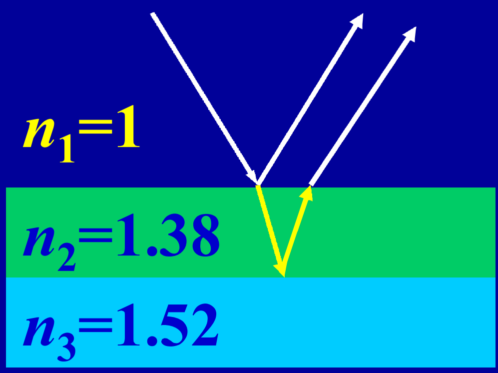
最小的取k=1

$$e = \frac{6.328\times10^{-7}}{4\times2.35} = 6.73\times10^{-8}(m)$$

例12.5 为增加照相机镜头的透光强度，往往在镜头上镀氟化镁（n_2=1.38）透明薄膜，为使可见光谱中 λ=550nm的光有最小反射，求膜的最小厚度？

解： 反射最小

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



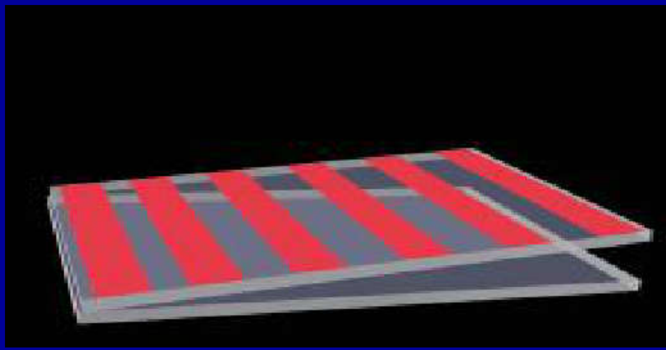
对应于最小厚度，$k=0$

$$e_{\min} = \frac{\lambda}{4n_2} = \frac{550}{4\times 1.38}\text{nm} = 99.6\text{nm}$$

说明：入射光能量一定，反射光能量减弱必然使透射能量增强，所以这种膜称为增透膜。

二、等厚干涉

1、劈尖干涉

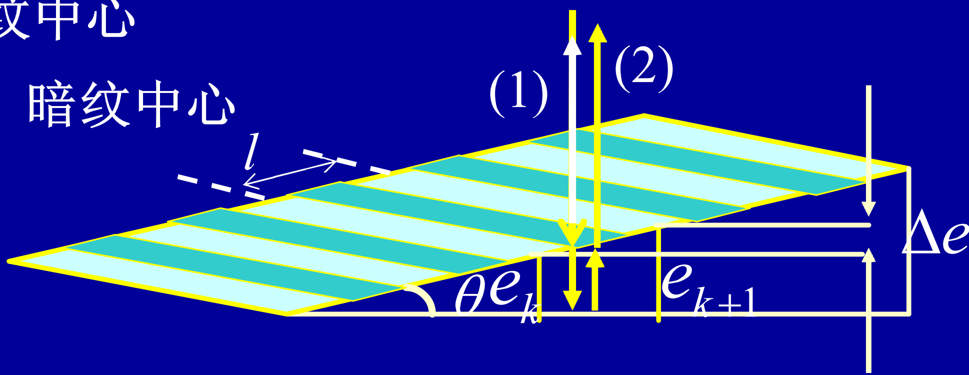


光程差：δ=2e+λ/2

$$2e+\lambda/2=k\lambda$$ 明纹中心

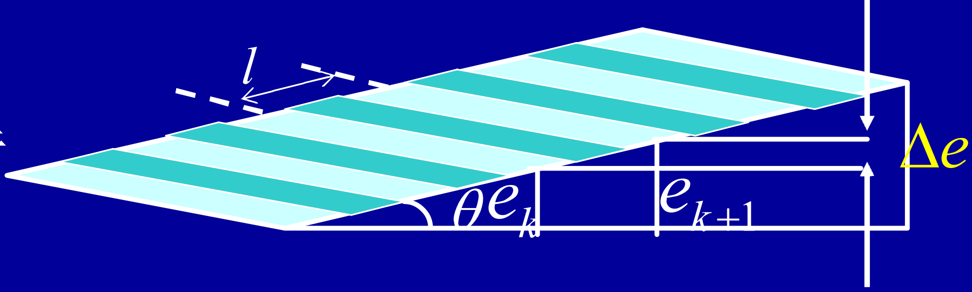
$$2e+\lambda/2=(2k-1)\lambda/2$$ 暗纹中心

$$k=1,2,3\cdots$$



干涉条纹定域在膜附近。条纹形状由膜的等厚点轨迹所决定。

特点:



- 等间距、明暗相间的平行于棱边的直条纹。

- 相邻明(或暗）条纹对应膜的厚度差： $\boxed{\Delta e = \lambda / 2}$

若劈尖为折射率 n 的介质，则： $\boxed{\Delta e = \lambda /(2n)}$

相邻级次的薄膜厚度差为膜内光波长的一半。

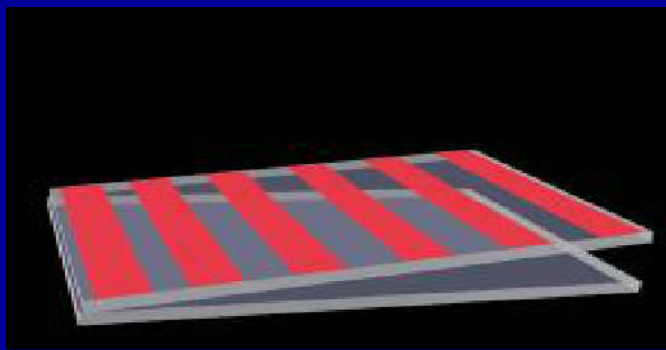
- 明纹或暗纹间距l

$$\because \theta \approx \tan\theta = \Delta e / l$$

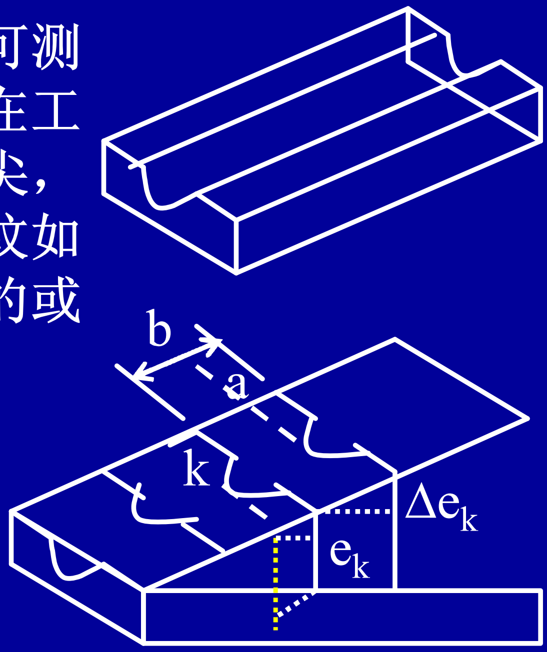
$$\therefore l = \lambda /(2n\theta)$$

讨论:

波长、折射率、劈尖夹角对条纹间距的影响



例12.7：利用空气劈尖的等厚干涉条纹，可测量精密加工件表面极小纹路的深度，如图在工件表面放一平板玻璃，使其间形成空气劈尖，以单色光垂直照射玻璃表面，观察干涉条纹如图。试根据条纹形状，说明工件表面是凹的或是凸的？并证明纹路的深度可用下式表示：



$$H = \frac{a}{b}\frac{\lambda}{2}$$

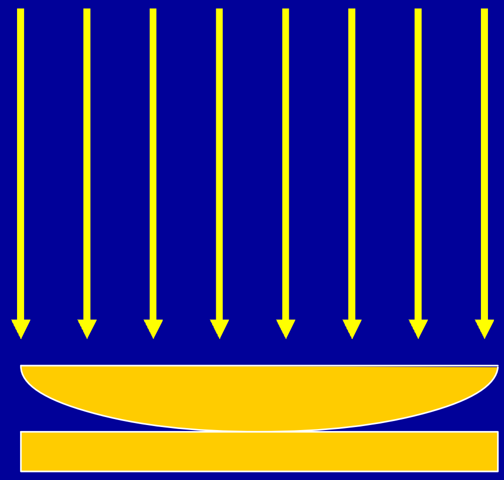
$$\delta = 2e_k + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

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

$$\frac{H}{\Delta e_k} = \frac{a}{b}$$

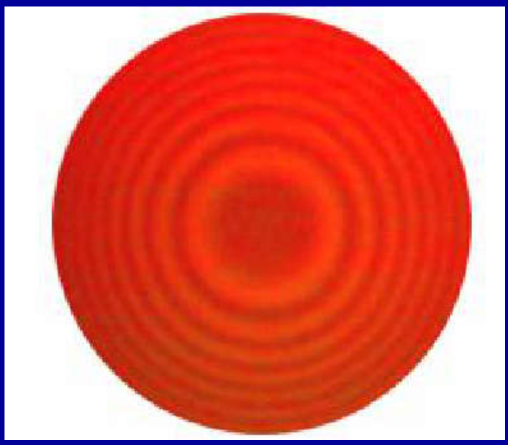
$$H = \frac{a}{b}\frac{\lambda}{2}$$

2、牛顿环(Newton ring)



牛顿环的特点：

干涉条纹是以平凸透镜与平面玻璃板的接触点为圆心的明暗相间的圆环，中心为暗点；条纹间距不相等，且内疏外密。



明、暗环半径推导

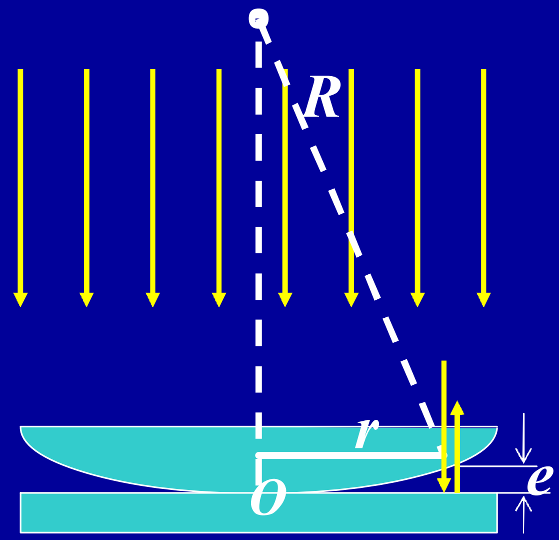
$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2}$$

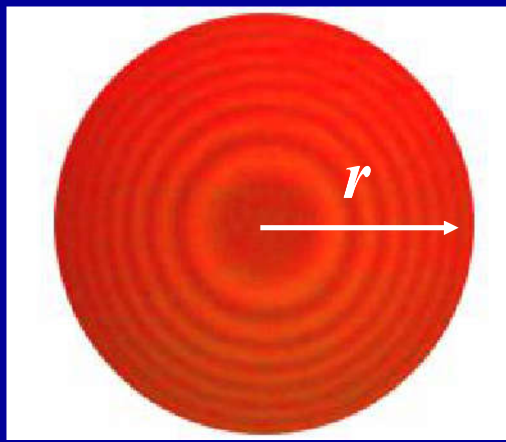
$$r^2 = R^2 - (R-e)^2 = 2Re - e^2$$

$$\because \quad R >> e \Rightarrow 2Re >> e^2$$

$$e = \frac{r^2}{2R}$$

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & \text{明纹} \\ (2k+1)\lambda/2 & \text{暗纹} \end{cases}$$

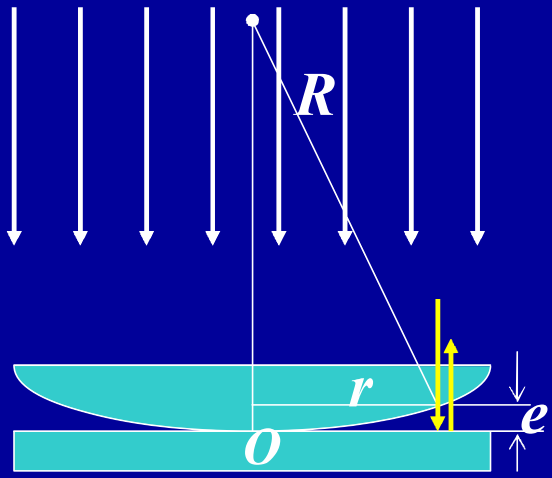




牛顿环半径公式

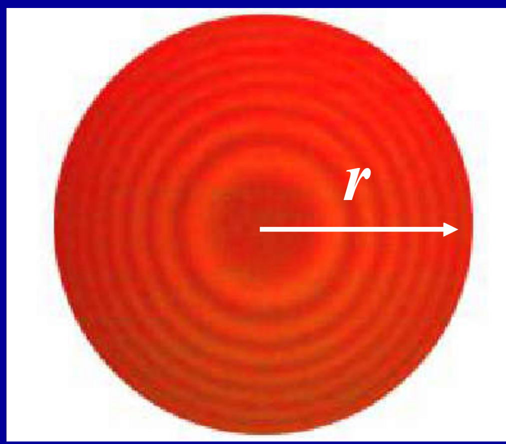
明环 $$r=\sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda}{2}}\quad(k=1,2,\cdots)$$

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



$$r_k\propto\sqrt{k}$$

$$\rightarrow r_1:r_2:r_3=1:\sqrt{2}:\sqrt{3}$$



$k\uparrow\ \rightarrow r_k\uparrow$ 条纹间距↓，

内圈的条纹级次低。

例题：用He-Ne激光器发出的λ=0.633μm的单色光，在牛顿环实验时，测得第k个暗环半径为5.63mm，第k+5个暗环半径为7.96mm，求平凸透镜的曲率半径R。

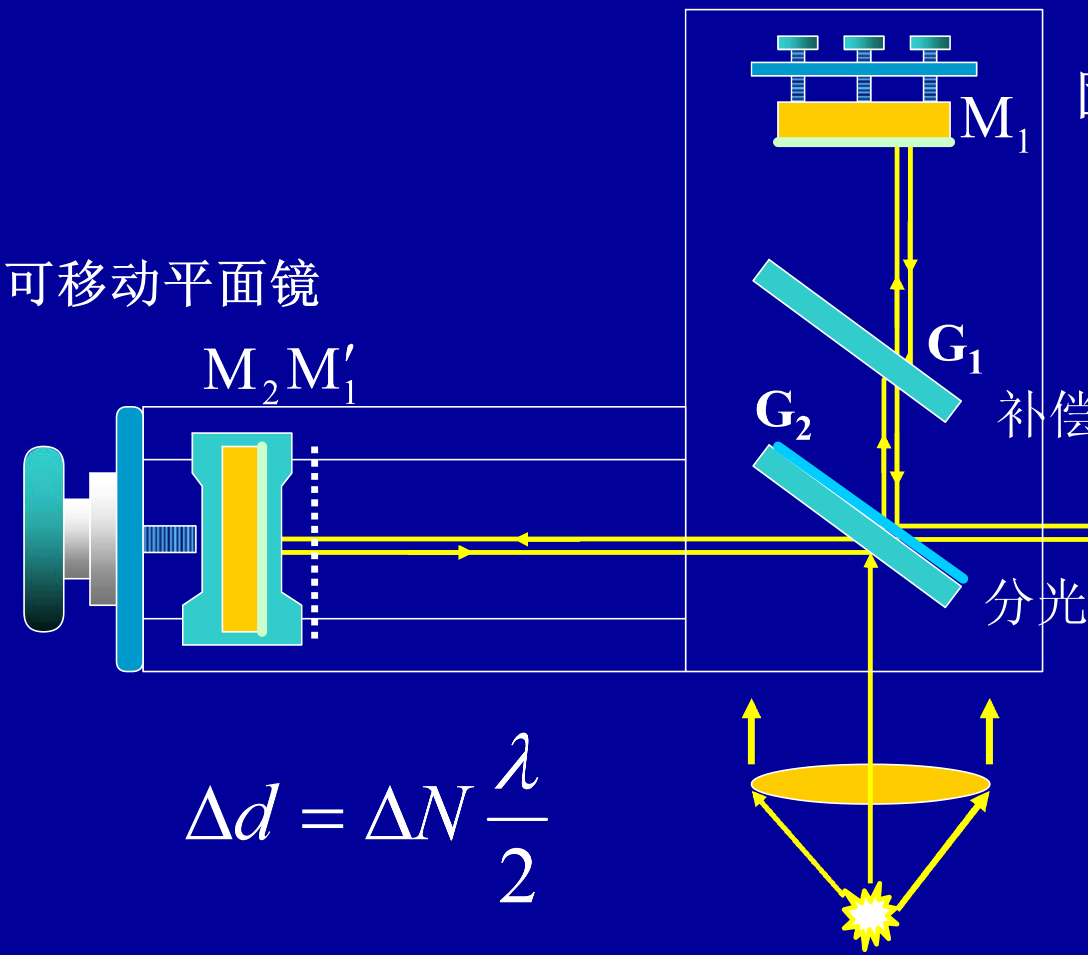
解：由暗纹公式，可知 $$r_k = \sqrt{kR\lambda}$$

$$r_{k+5} = \sqrt{(k+5)R\lambda}$$

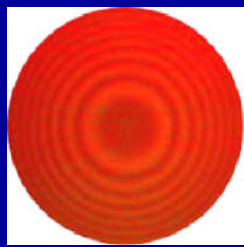
$$5R\lambda = r_{k+5}^2 - r_k^2$$

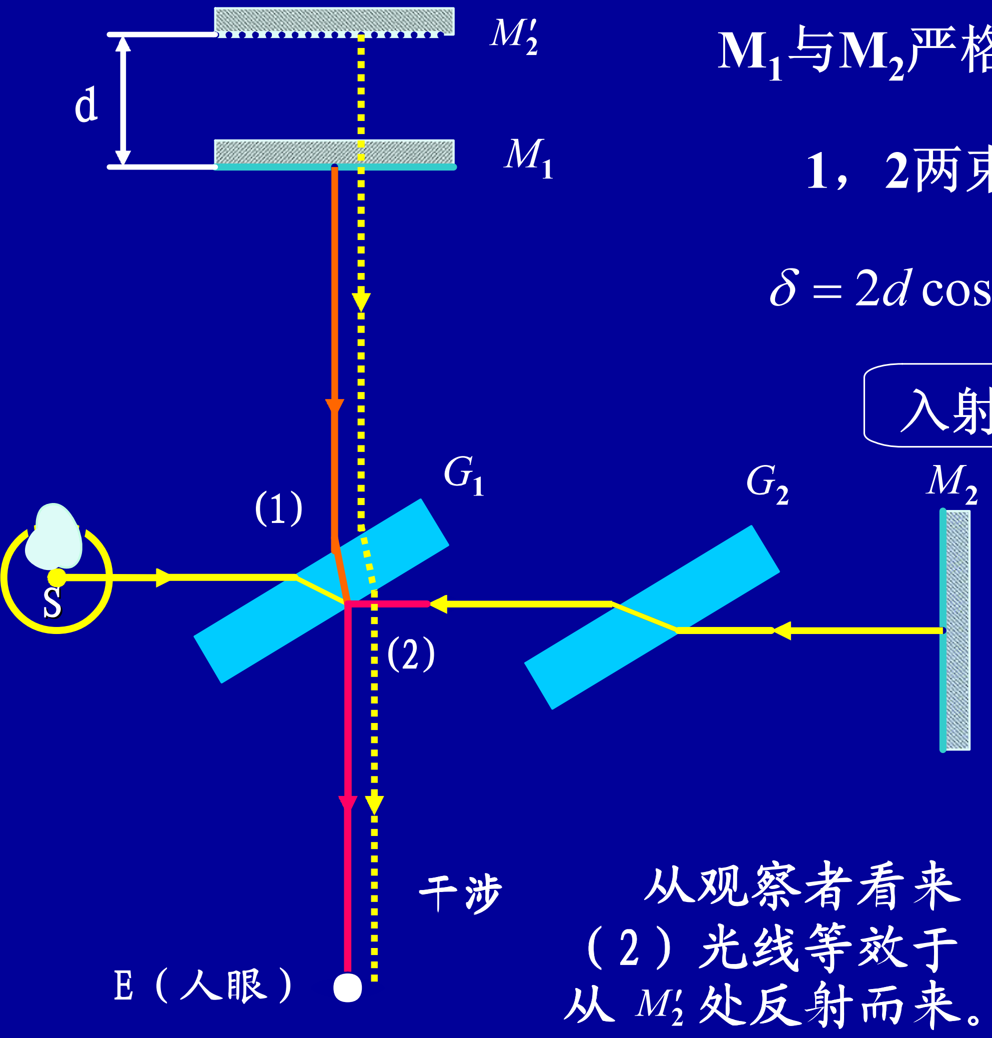
$$R = \frac{r_{k+5}^2 - r_k^2}{5\lambda} = \frac{(7.96^2 - 5.63^2)\times 10^{-6}}{5\times 6.33\times 10^{-10}} = 10.0m$$

12.4 迈克尔逊干涉仪



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





原理图

M_1与M_2严格垂直——薄膜干涉

1，2两束光的光程差

$$\delta = 2d\cos i = \begin{cases} k\lambda & \text{明条纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗条纹} \end{cases}$$

入射角

$k = 0,1,2\ldots$

干涉圆环中心，***i*=0**

$$k_0 = \frac{2d}{\lambda}\ \text{级次最大}$$

***k*自内向外依次递减**

如果$\Delta d = \dfrac{\lambda}{2}, \Delta k = 1$

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