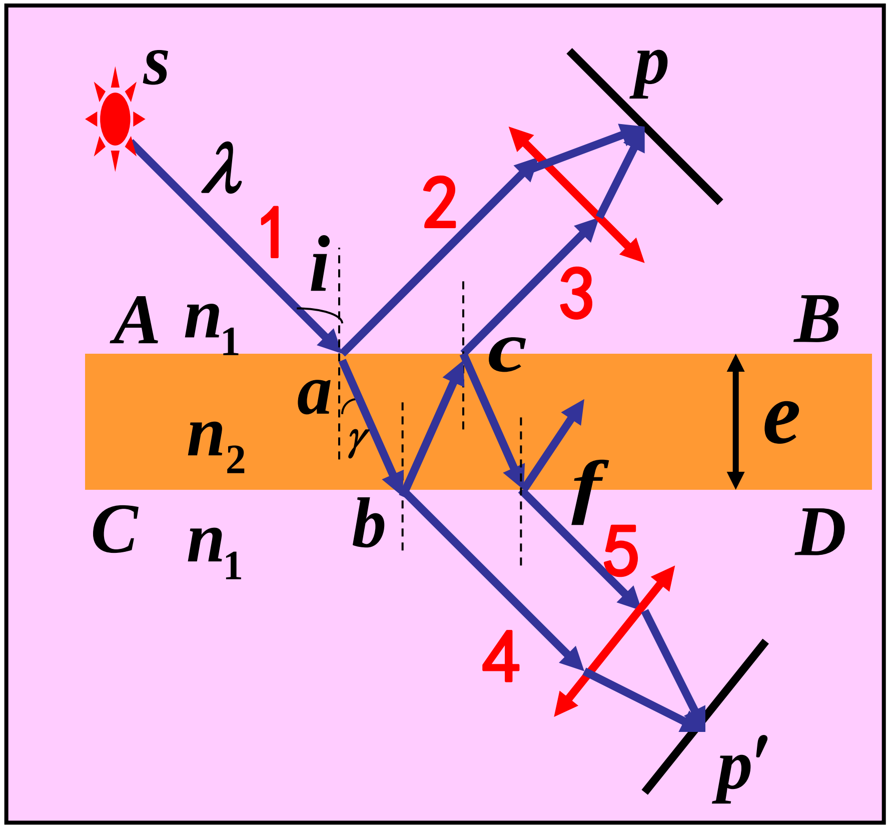
四、分振幅两束光的干涉

分振幅法：将透明薄膜两个面的反射（或透射）光作为相干光。



介质 n_1

薄膜 n_2, e

光波 λ、i、γ

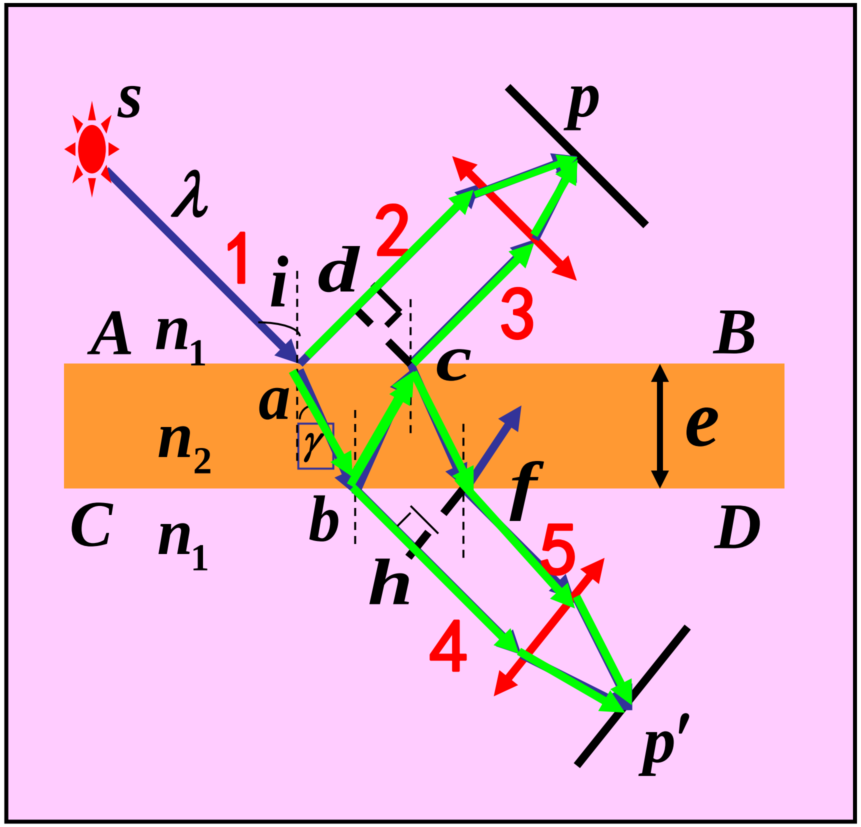
入射光 1

反射光2、3 为相干光，在P点相遇干涉。

透射光 4、5为相干光，在P'点相遇干涉

1.光的干涉现象

相遇 P，p' 点光强取决于Δ



光线2、3：

半波损失

$$\Delta_{反}=n_2(ab+bc)-n_1ad+\boxed{\frac{\lambda}{2}}$$

由几何关系、折射定律

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

光线4、5：

$$\Delta_{透}=n_2(bc+cf)-n_1bh$$

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

$\Delta_{透}$中无$\lambda/2$项

明暗条纹条件:(有半波损失项)

λ/2的偶数倍

$$\Delta_{反}=2e\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2 i}+\boxed{\frac{\lambda}{2}}=\begin{cases} k\lambda & 明\quad k=1、2、3\ldots \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & 暗\quad k=0、1、2\ldots \end{cases}$$

λ/2的奇数倍

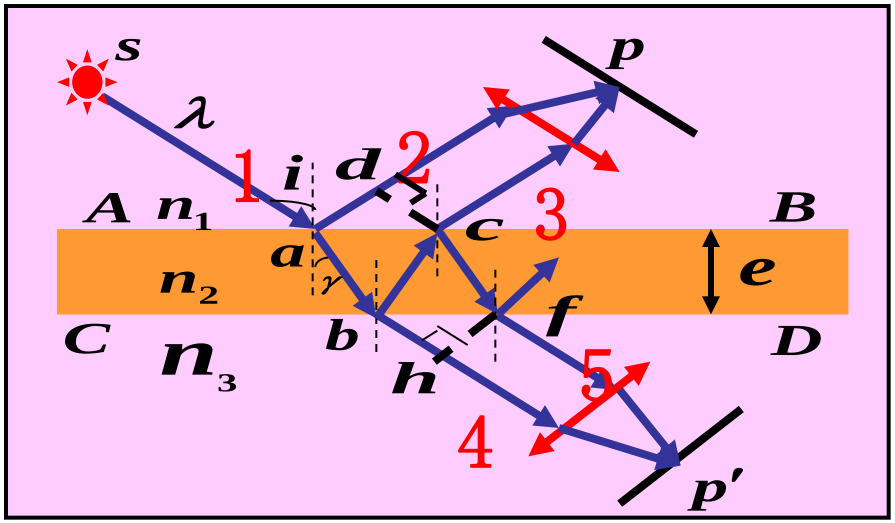
明暗条纹条件:(无半波损失项)

$$\Delta_{透}=2e\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2 i}=\begin{cases} k\lambda & 明\quad k=1、2、3\ldots \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & 暗\quad k=0、1、2\ldots \end{cases}$$

注意：对于等厚薄膜，透射光明纹公式中k不能取0。

讨论：

(1) Δ公式中有无$\lambda/2$项应该由具体情况决定



若 $n_1 < n_2, n_3 < n_2$ (n_2最大)；$n_1 > n_2, n_3 > n_2$ (n_2最小)：$\Delta_{反}$有$\lambda/2$项，$\Delta_{透}$无$\lambda/2$项

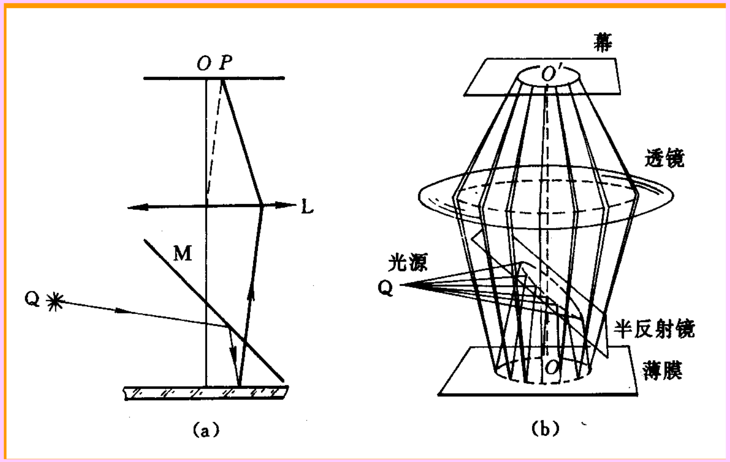
若 $n_1 < n_2 < n_3$ (n_2居中)；$n_1 > n_2 > n_3$ (n_2居中)：$\Delta_{反}$无$\lambda/2$项，$\Delta_{透}$有$\lambda/2$项

反射、透射光的光程差Δ总相差$\lambda/2$，

干涉条纹明暗互补，总的能量守恒。

$$\Delta_{反}=2e\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2 i}+\frac{\lambda}{2}$$
$$\Delta_{透}=2e\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2 i}$$
$$=\begin{cases} k\lambda & 明 \quad k=1、2、3\ldots \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & 暗 \quad k=0、1、2\ldots \end{cases}$$

(2)若λ、n_1、n_2一定，薄膜厚度均匀(e一定)，$\Delta_{反}$或$\Delta_{透}$随入射角 i 变化。



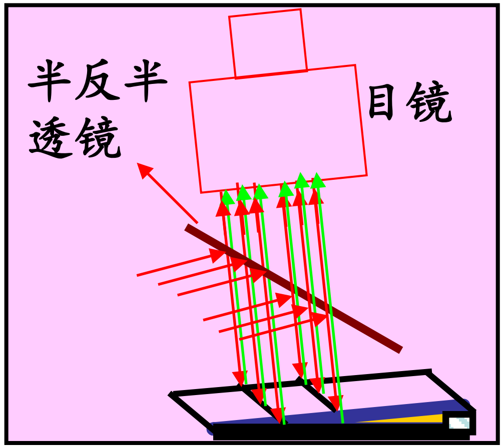
同一入射角i对应同一干涉条纹,不同入射角对应不同条纹,干涉条纹为一组同心圆环。——等倾干涉

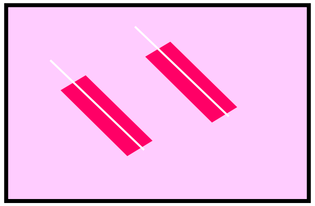
$$\Delta_{反} = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$$

$$\Delta_{透} = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i}$$

$$= \begin{cases} k\lambda & 明 \quad k = 1、2、3\ldots \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & 暗 \quad k = 0、1、2\ldots \end{cases}$$

(3)若λ、n_1、n_2一定，入射角i一定(平行光入射)，$\Delta_{透}$或$\Delta_{反}$随薄膜厚度e变化。





薄膜同一厚度处对应同一干涉条纹，薄膜不同厚度处对应不同干涉条纹。——等厚干涉

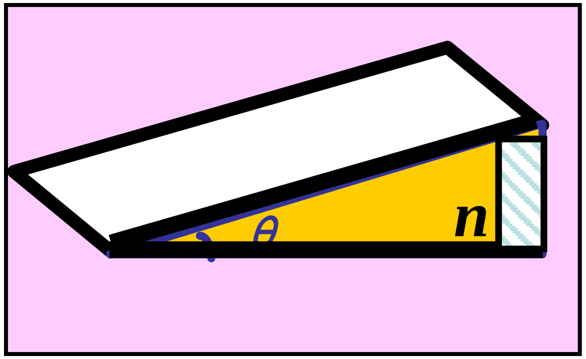
条纹形状与薄膜等厚线相同

2.分振幅法两束光干涉的典型装置

(1)劈尖

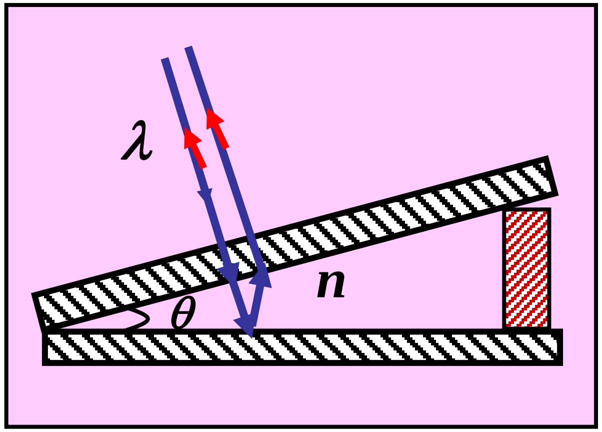
①装置

两光学平板玻璃一端接触，另一端垫一薄纸或细丝。



②明暗条纹条件

设介质折射率为n、玻璃折射率为$n_{玻}$、单色平行光垂直入射，即：$i=0$



$$\Delta = 2e\sqrt{n^2 - n_{玻}^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = 2ne + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & 明 \quad k = 1、2\cdots \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & 暗 \quad k = 0、1、2\cdots \end{cases}$$

$$\Delta = 2ne + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & 明 \quad k = 1、2\cdots \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & 暗 \quad k = 0、1、2\cdots \end{cases}$$

③干涉条纹特点

形态：平行于棱边，明、暗相间条纹。

楔边处e=0，$\Delta = \frac{\lambda}{2}$为暗纹，远离棱边

从楔边数：第1条暗纹，k=0

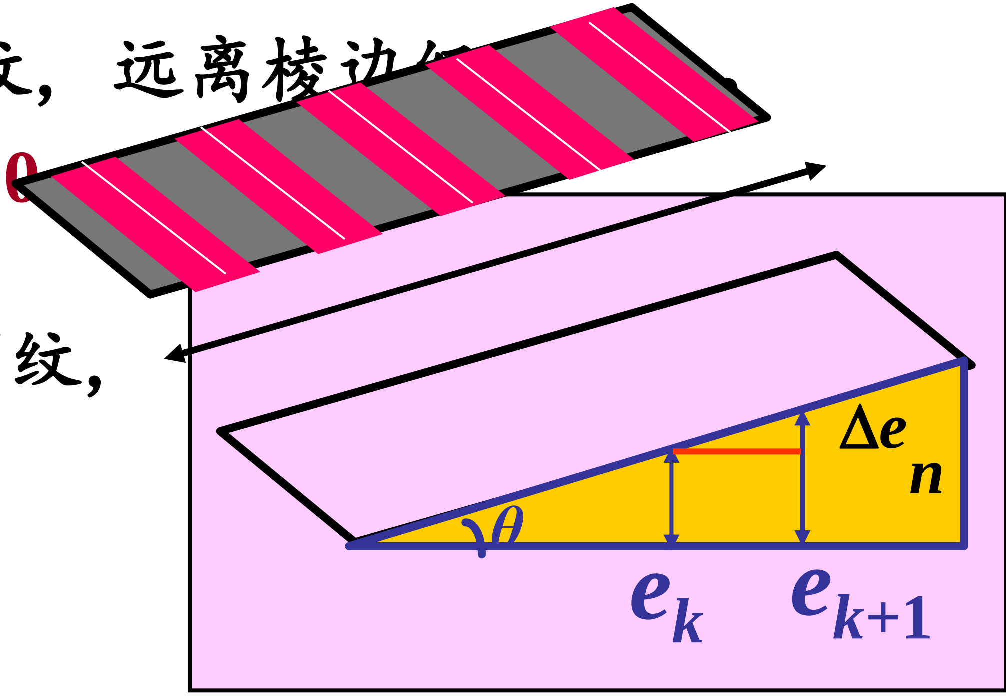
第2条暗纹，k=1……

第1条明纹，k=1，第2条明纹，

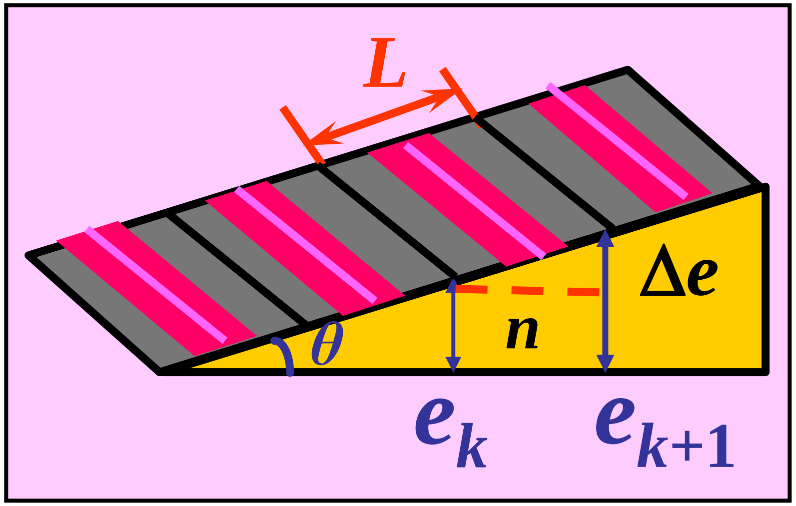
k=2……

相邻明纹（暗）对应薄膜厚度差：

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

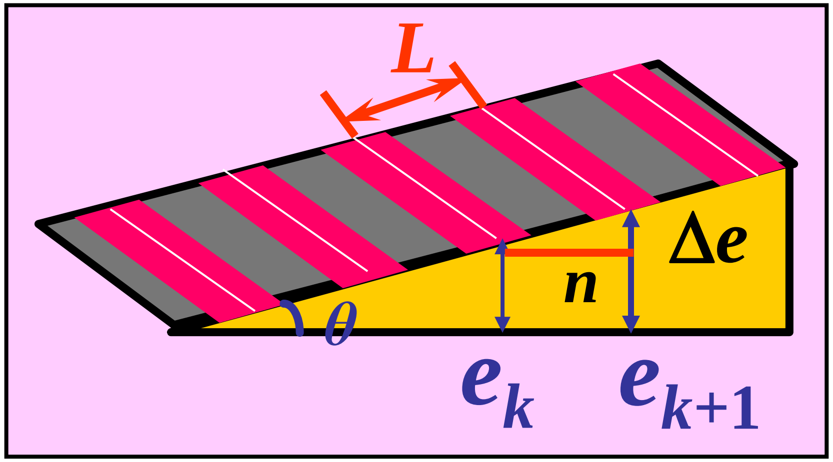


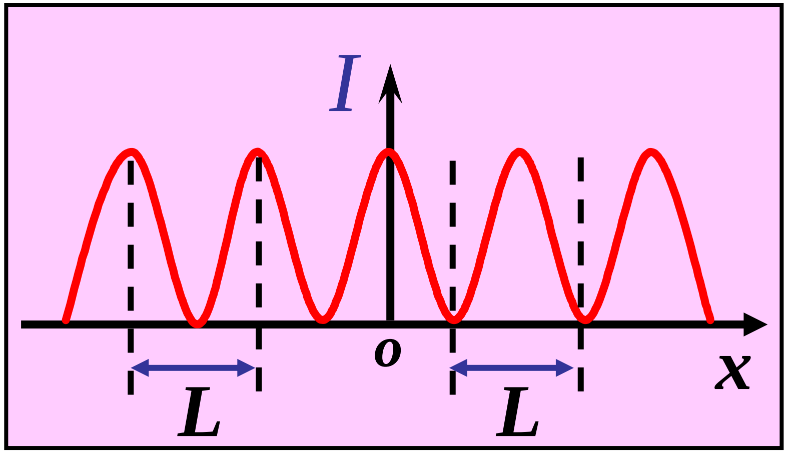
条纹宽度L：两相邻暗纹（明纹）中心间距。



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

—— 等间距条纹





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

条纹变化：

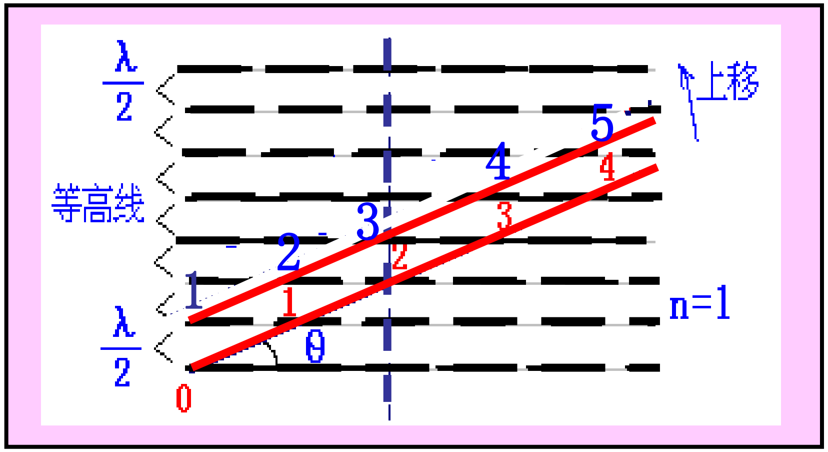
n、λ一定，$\theta\uparrow$ $L\downarrow$ 条纹变密

n、θ一定，$\lambda\uparrow$ $L\uparrow$ $L_{红}>L_{紫}$ 白光入射出现彩条

λ、θ一定，$n\uparrow$ $L\downarrow$ 空气劈尖充水条纹变密

$$\Delta = 2ne + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & 明 \quad k = 1、2\cdots \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & 暗 \quad k = 0、1、2\cdots \end{cases} \qquad L \approx \frac{\lambda}{2n\theta}$$

思考：(1) 劈尖上表面平行上移，条纹如何变化？

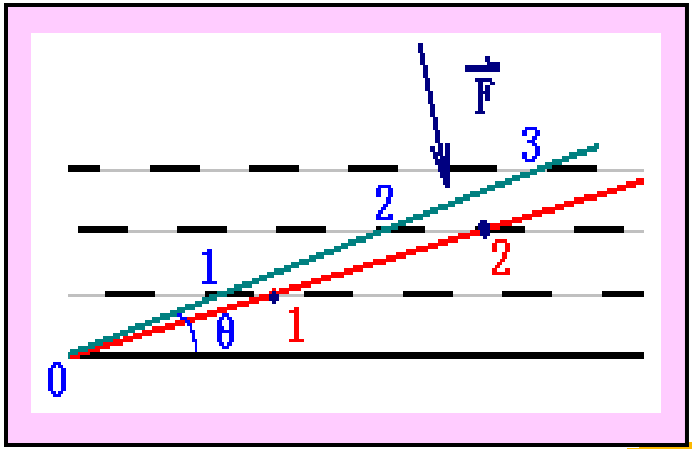


θ不变,条纹宽度不变。

条纹左移(向棱边方向移)。

棱边处明暗交替。

(2) 轻压劈尖上表面，条纹如何变化？

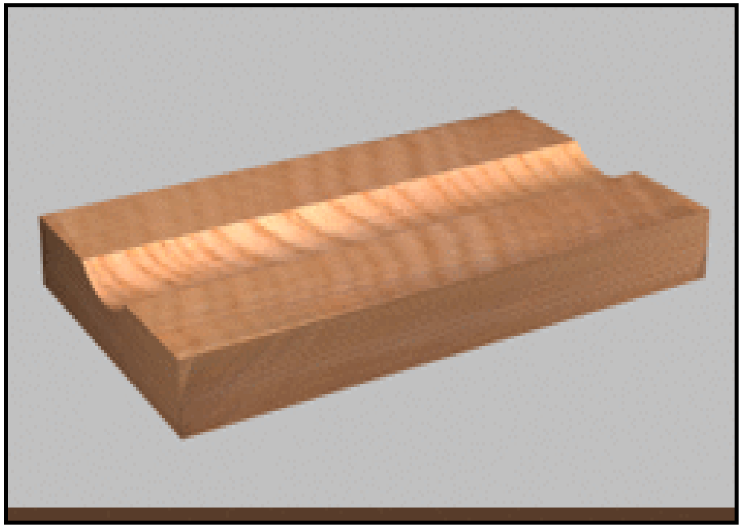


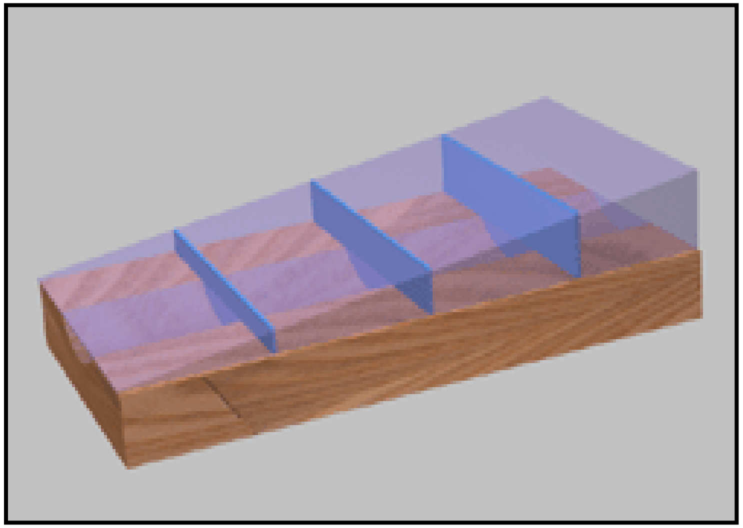
θ 变小，条纹变宽。

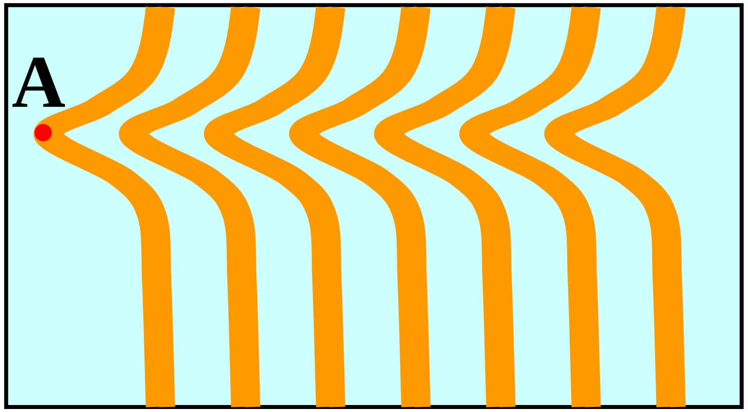
条纹右移(远离棱边方向移)。

棱边处始终为暗纹。

(3) 劈尖底面有一凹槽，条纹形状如何？







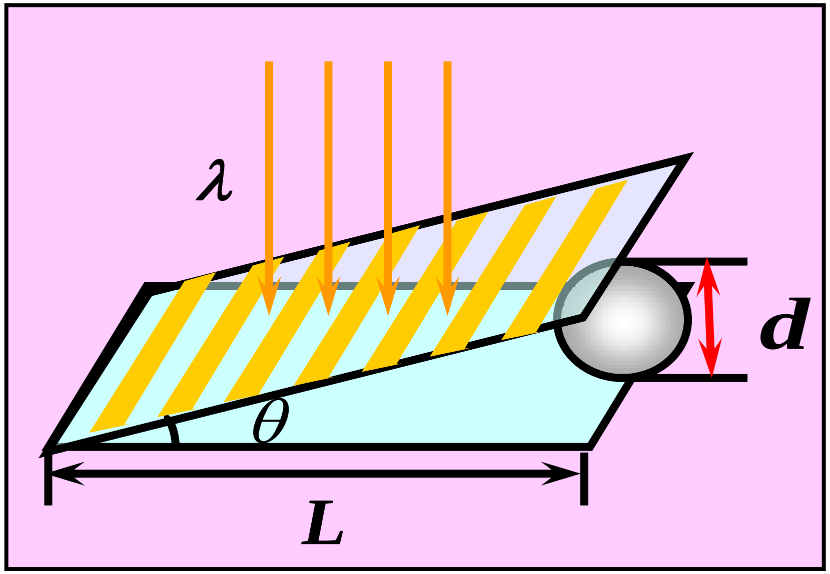
由于同一条纹下的空气薄膜厚度相同，当待测平面上出现沟槽时条纹向左弯曲。

应用举例：

测量钢球直径

用波长为589.3nm的钠黄光垂直照射长 L=20mm 的空气劈尖，测得条纹间距为

$$l = 1.18\times10^{-4}\,\text{m}$$

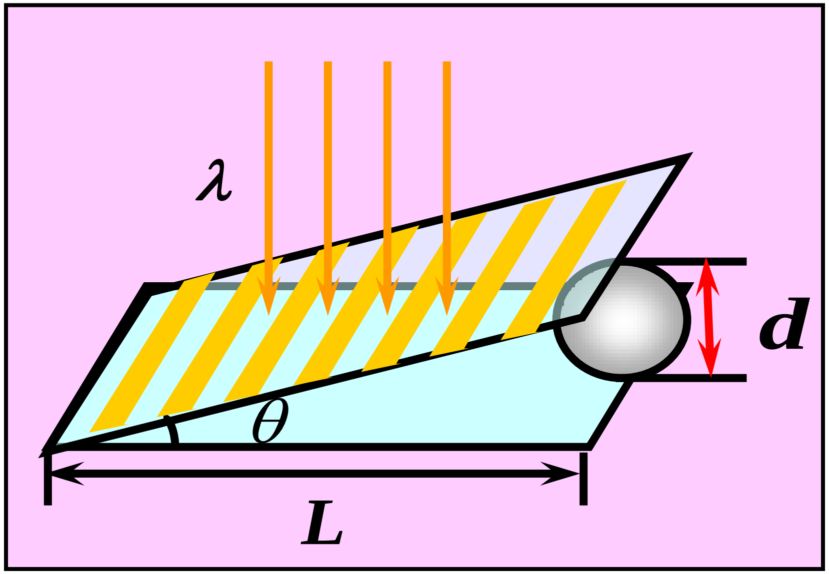


求：钢球直径d。

解：由 $d = L\theta$

$$l = \frac{\lambda}{2n\theta}$$

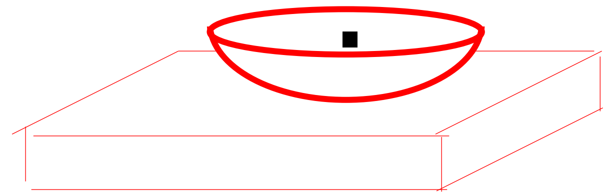
有 $$\boxed{d = \frac{L\lambda}{2nl}}$$



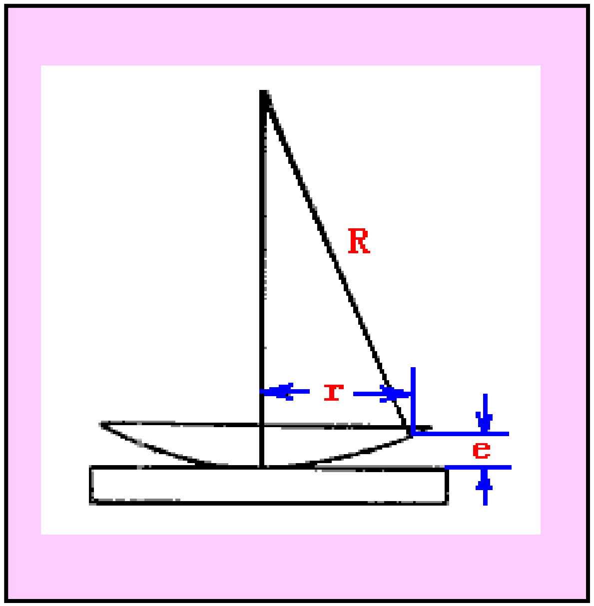
$$d = \frac{L\lambda}{2nl} = \frac{589.3\times10^{-9}\times20\times10^{-3}}{2\times1.18\times10^{-4}}$$

$$= 5\times10^{-5}\,(\mathrm{m})$$

（2）牛顿环



①装置：平板玻璃上放置曲率半径很大的平凸透镜。



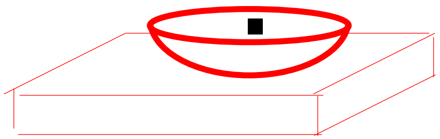
②明暗纹条件

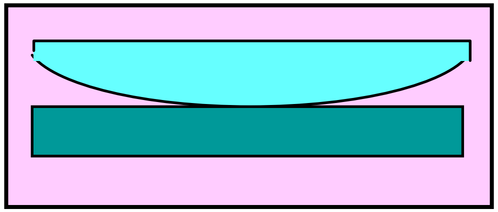
设介质折射率为n，单色平行光垂直入射，即：$i=0$

$$\Delta = 2ne + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & \text{明} \quad k = 1、2、3\cdots \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗} \quad k = 0、1、2\cdots \end{cases}$$

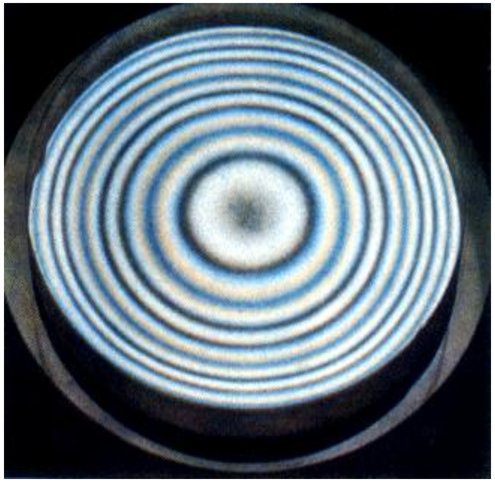
③条纹特点

牛顿环等价于由角度逐渐增大的劈尖围成。





条纹的形状取决于膜等厚线的形状。



条纹为以接触点为中心的明暗相间的内疏外密的同心圆环，为牛顿环。

中心：$e=0$，$\Delta=\dfrac{\lambda}{2}$为暗斑，远离中心方向，级次逐渐增加。

从中心向外数：暗斑，k=0；第1个暗环，k=1……

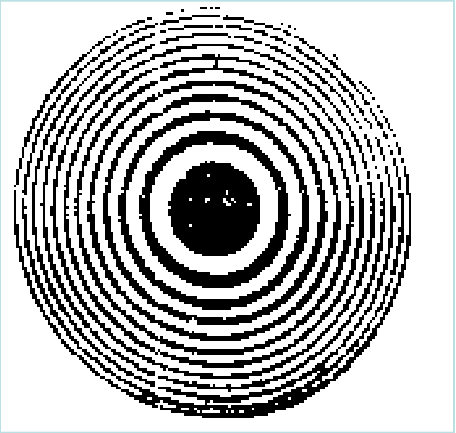
第1个明环，k=1，第2个明环，k=2……

明暗纹半径：

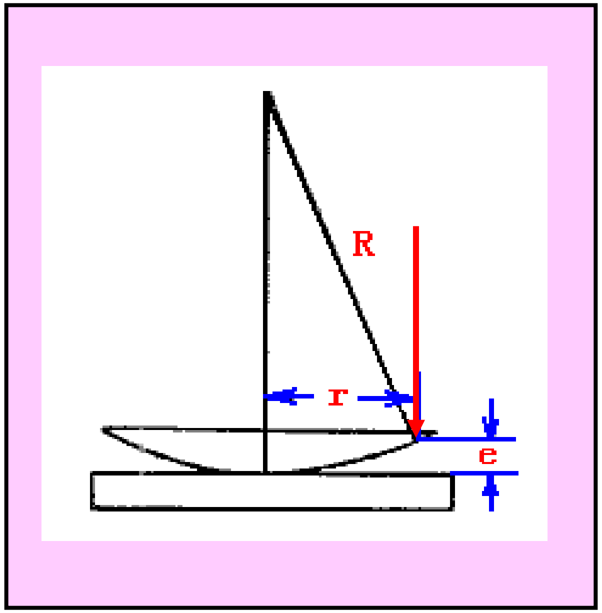
$$R^2 = r^2 + (R-e)^2 = r^2 + R^2 - 2Re + \underline{e^2}$$

略去

得 $\boxed{e = \dfrac{r^2}{2R}}$ 代入明暗纹条件：



$$r = \begin{cases} \sqrt{\dfrac{(2k-1)R\lambda}{2n}} & \text{明} \quad k = 1,2,3\cdots \\ \sqrt{\dfrac{kR\lambda}{n}} & \text{暗} \quad k = 0,1,2\cdots \end{cases}$$

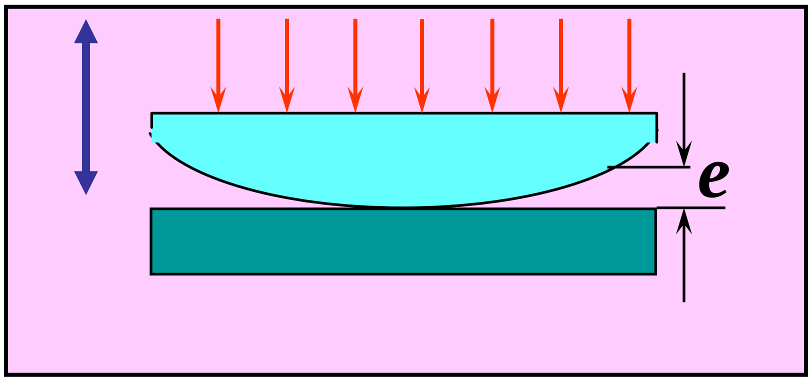


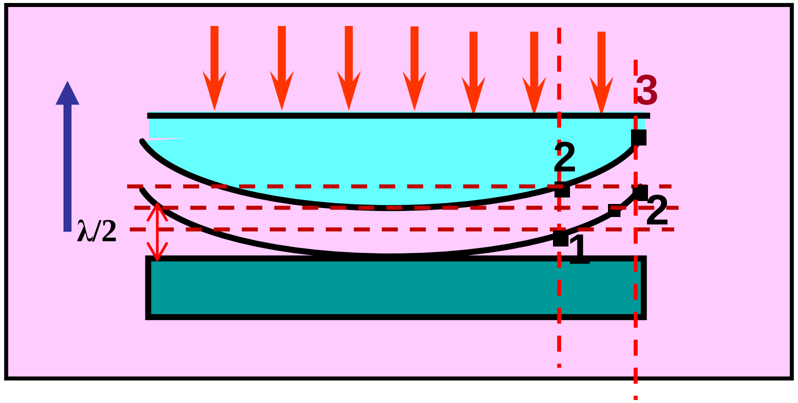
$r \propto \sqrt{k}$ 条纹内疏外密

$r \propto \sqrt{\lambda}$ 白光照射出现彩环

思考：

(1)平凸透镜上（下）移动，条纹怎样变化？





平凸透镜向上移动，将引起条纹向中心收缩。

平凸透镜向下移动，将引起条纹向外扩张。

中心处明暗交替变化。

(2)怎样利用牛顿环测量单色平行光的波长?

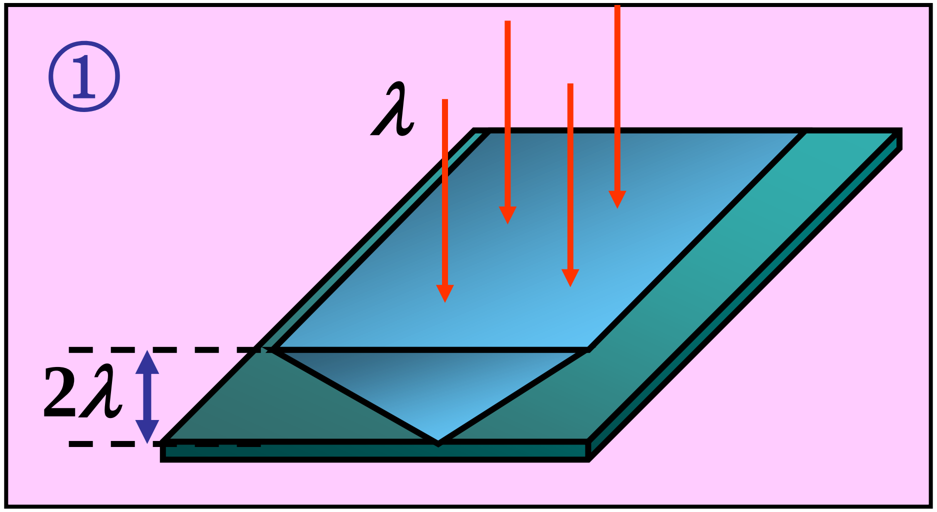
用读数显微镜测量第k级和第m级暗环半径 r_k、r_m

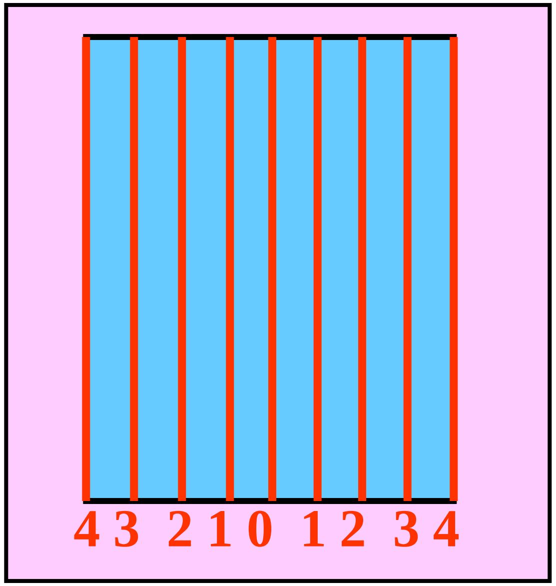
$$r_k=\sqrt{kR\lambda/n} \qquad r_m=\sqrt{mR\lambda/n}$$

$$r_m^2-r_k^2=\frac{mR\lambda-kR\lambda}{n}$$

$$\boxed{\lambda=\frac{(r_m^2-r_k^2)n}{(m-k)R}}$$

例题：(1) 平行光垂直入射图中装置，画出反射光暗条纹并标明级次。



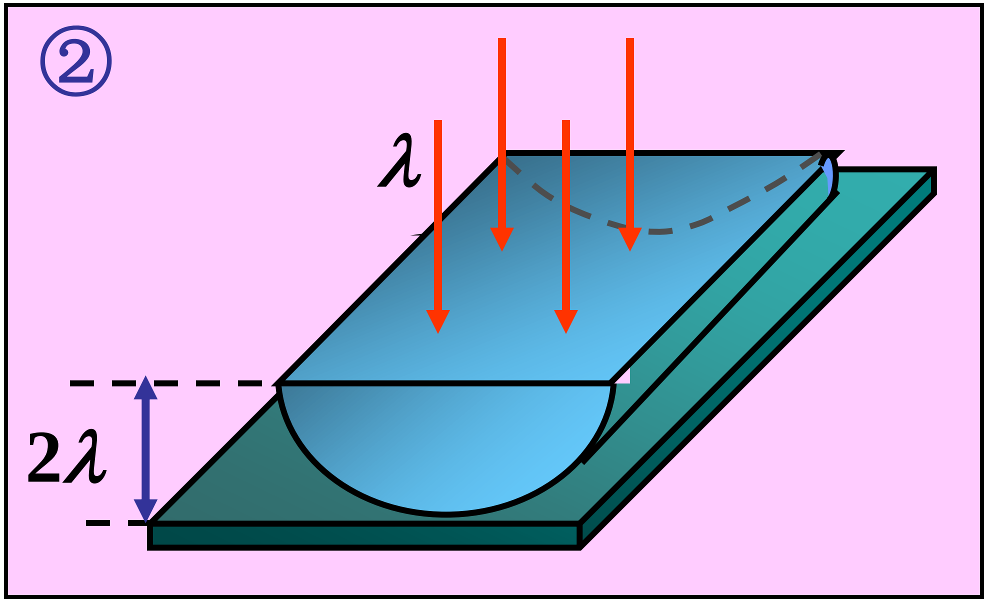


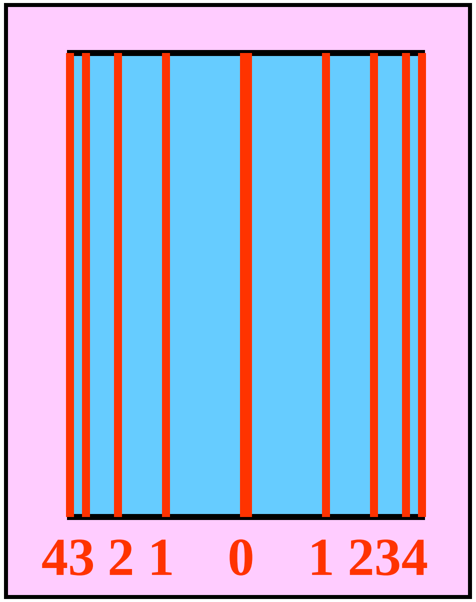
$$\Delta = 2e + \frac{\lambda}{2}$$

中心 $e = 0$ $\Delta = \frac{\lambda}{2}$ 暗 $k=0$

边沿 $e = 2\lambda$ $\Delta = \frac{9}{2}\lambda$ 暗 $k=4$

条纹为平行于棱边，等间距直条纹，共9条。





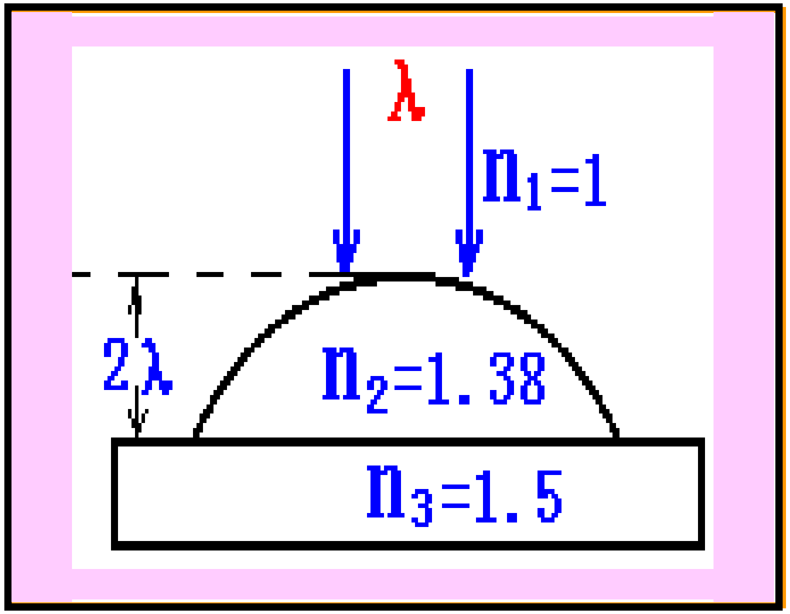
$$\Delta = 2e + \frac{\lambda}{2}$$

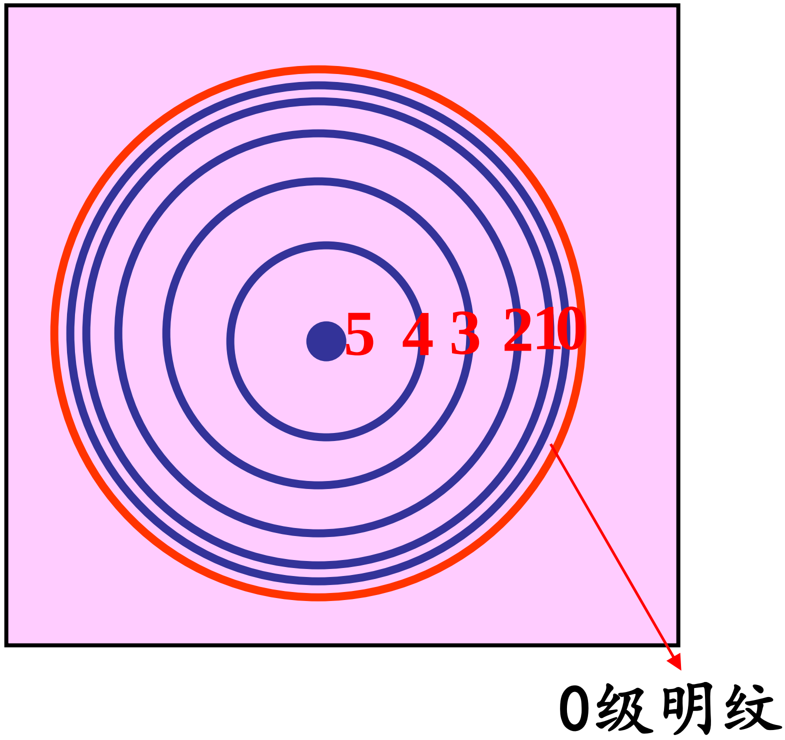
中心 $\Delta = \frac{\lambda}{2}$ 暗 $k=0$

边沿 $\Delta = \frac{9}{2}\lambda$ 暗 $k=4$

条纹为平行于棱边，内疏外密直条纹，共9条。

③



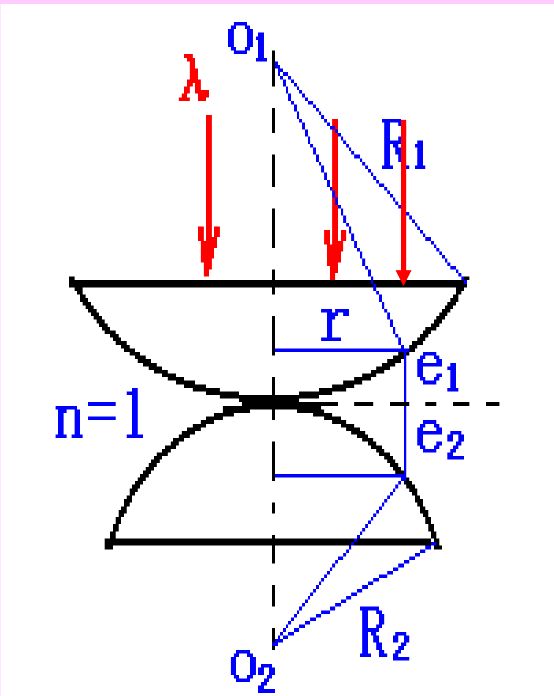


Δ中有无$\lambda/2$项？

$$\Delta = 2n_2 e \begin{cases} \text{边沿} \quad e=0 \quad \Delta=0 \quad \text{明} \quad k=0 \\ \text{中心} \quad e=2\lambda \quad \Delta=4n_2\lambda \approx 5\cdot 5\lambda \quad \text{暗} \quad k=5 \end{cases}$$

等厚线：圆环，条纹为内疏外密同心圆， 共6条暗纹。

(2). P121 14.15



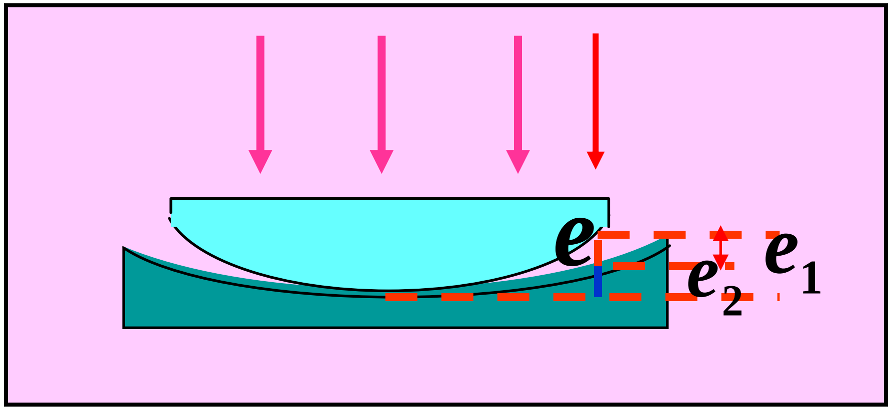
$$e_1 = \frac{r^2}{2R_1} \qquad e_2 = \frac{r^2}{2R_2}$$

将 $e = e_1 + e_2 = \dfrac{r^2}{2R_1} + \dfrac{r^2}{2R_2}$ 代入

$$\Delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & 明\ k = 1,2\cdots \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & 暗\ k = 0,1,2\cdots \end{cases}$$

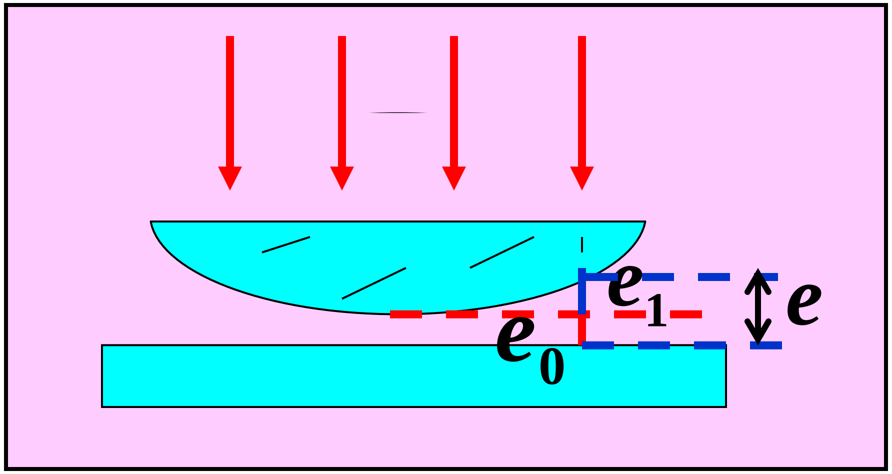
$\longrightarrow$ $r_{明}$ 和 $r_{暗}$ 公式

(3). 求下面两种空气膜的厚度。



$$e_1 = \frac{r^2}{2R_1} \qquad e_2 = \frac{r^2}{2R_2}$$

$$e = e_1 - e_2 = \frac{r^2}{2R_1} - \frac{r^2}{2R_2}$$



$$e_1 = \frac{r^2}{2R}$$

$$e = e_1 + e_0 = \frac{r^2}{2R} + e_0$$

作业

1 . No.5;

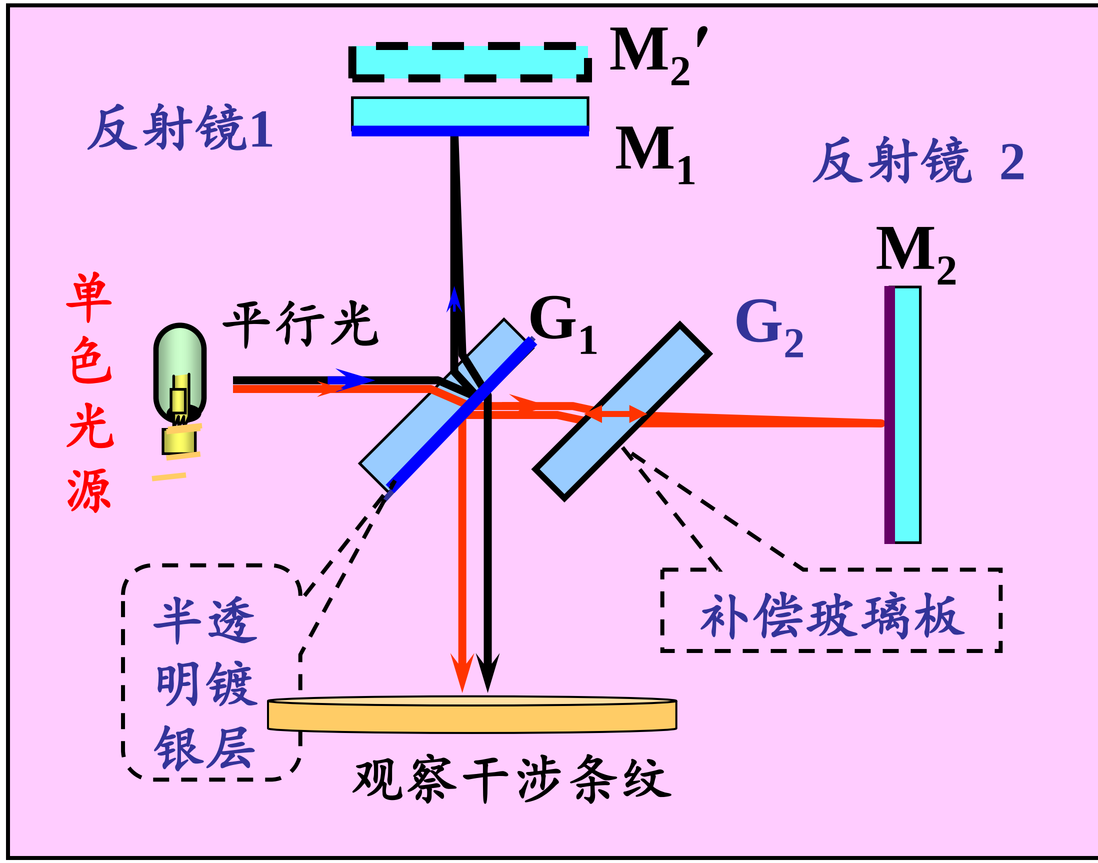
2. 自学本章各例题并完成书上的习题

(对照书后的参考答案自己订正)。

第八周星期三交作业

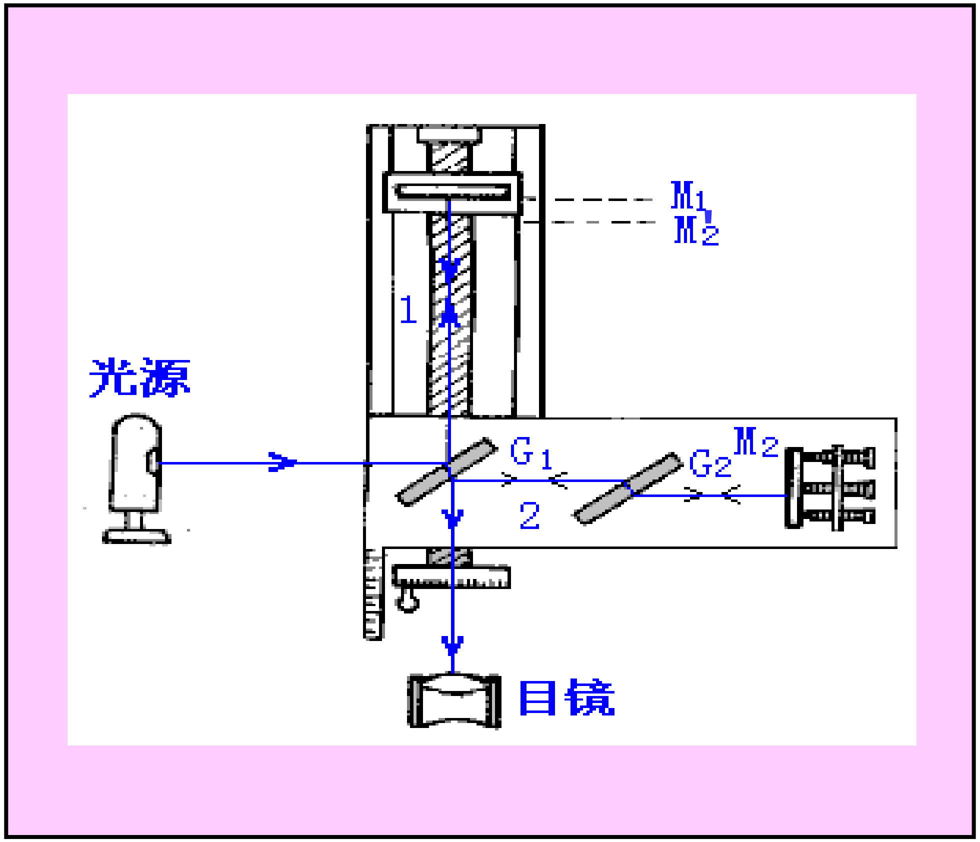
(3)迈克尔孙干涉仪

①装置



相当于分别从M_1，M_2'反射的光发生干涉。

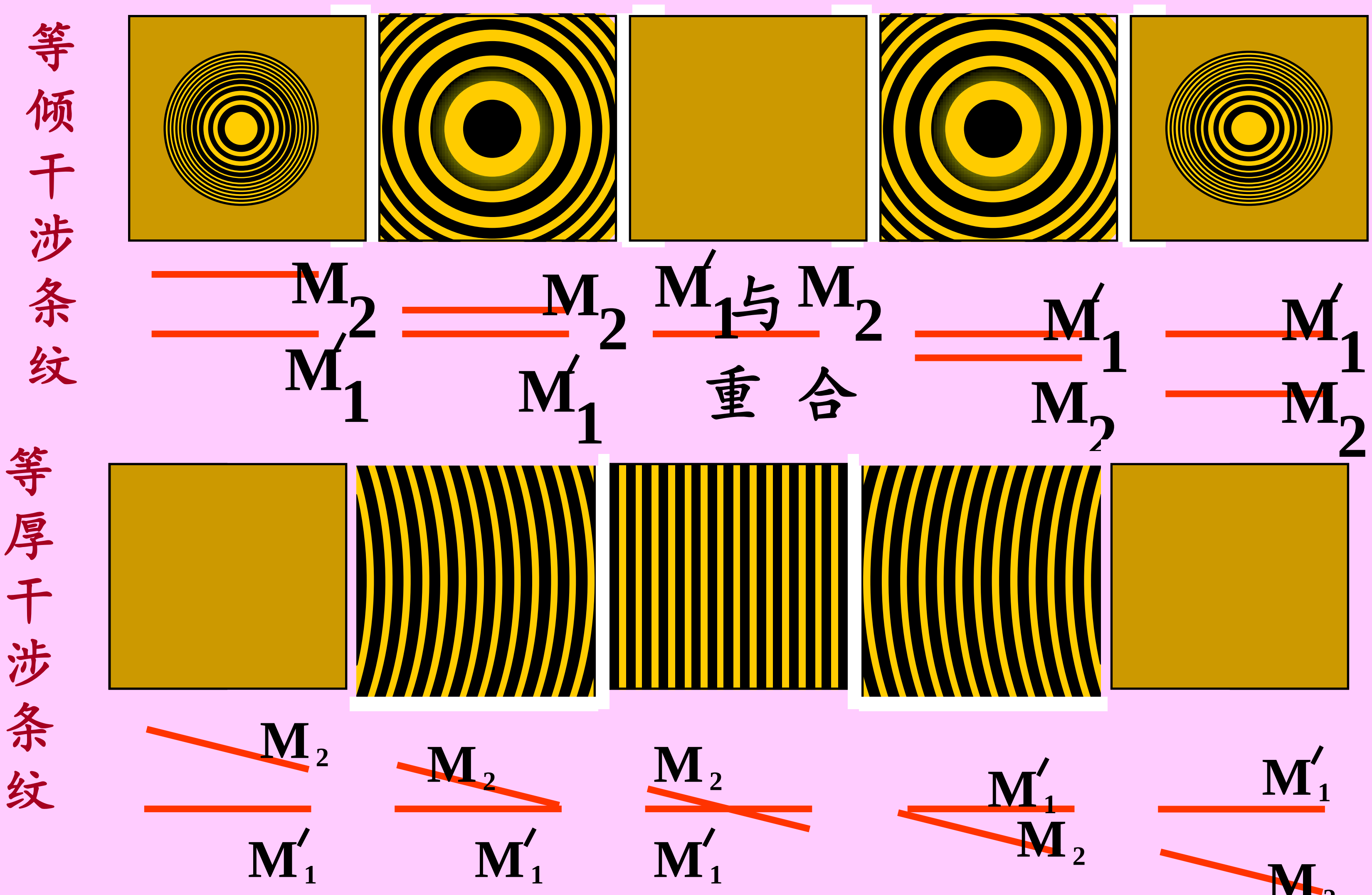
②条纹特点



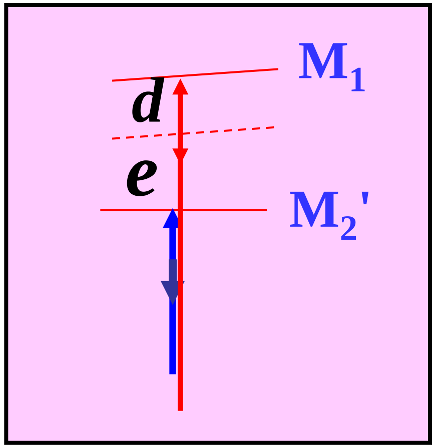
M_1垂直于M_2，$M_1 // M_2'$ 为等倾干涉，条纹为一组同心圆环.

M_2不严格垂直于M_1 M_1不平行于M_2'，为等厚干涉，条纹为等间距条纹。

迈克尔孙干涉仪条纹


等倾干涉条纹
M2
M1′
M2
M1′
M1′与M2
重 合
M1′
M2
M1′
M2
等厚干涉条纹
M2
M1′
M2
M1′
M2
M1′
M1′
M2
M1′
M2

③计算公式



调节M_1位置，改变e，从而改变Δ，引起条纹移动。

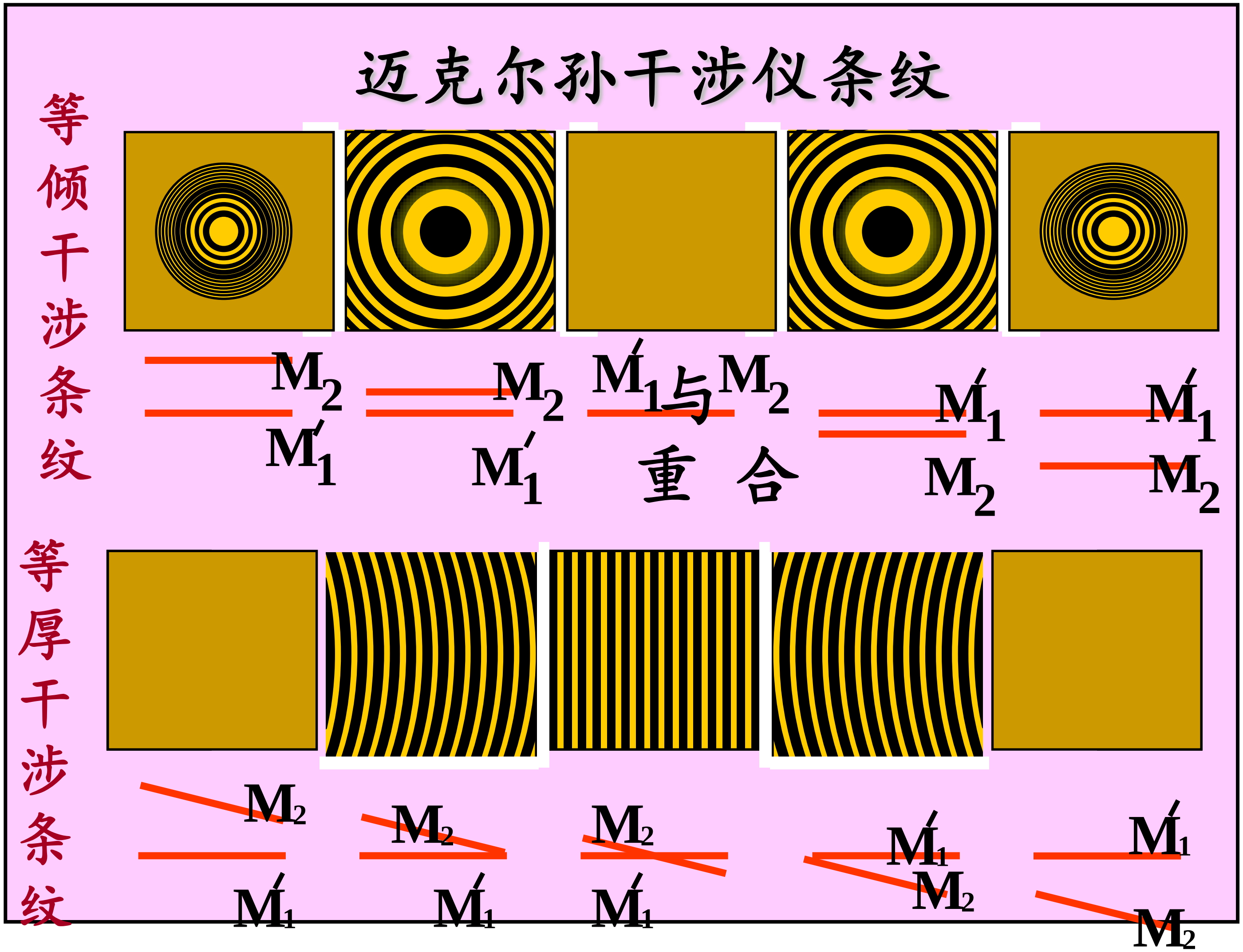
设M_1移动位移d，若$d \geq \lambda/2$，视场中移过的条纹数为：

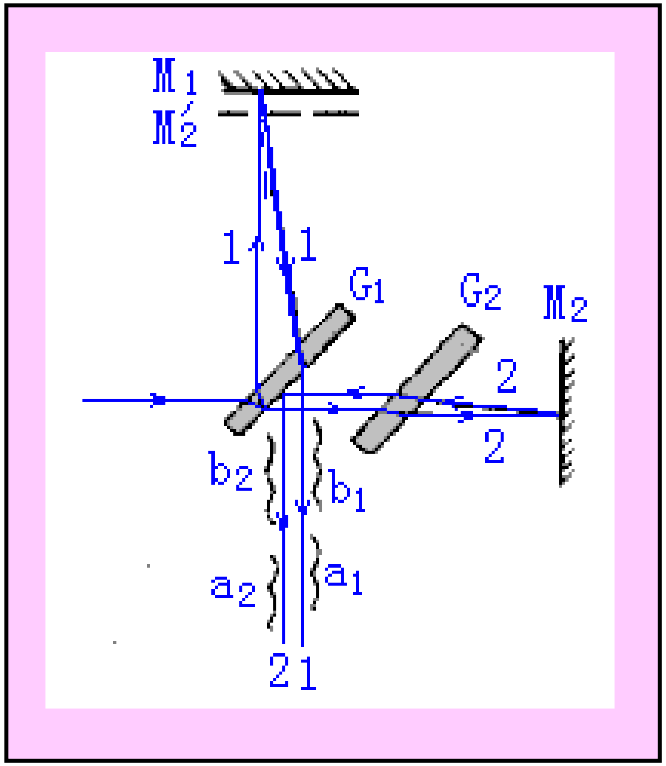
$$\boxed{N = d/(\frac{\lambda}{2})} \longrightarrow \boxed{d = N \cdot \frac{\lambda}{2}} \longrightarrow \boxed{\lambda = 2d/N}$$

例：$d=\lambda/2$, Δ改变λ, $N=1$，视场中有一条纹移过。

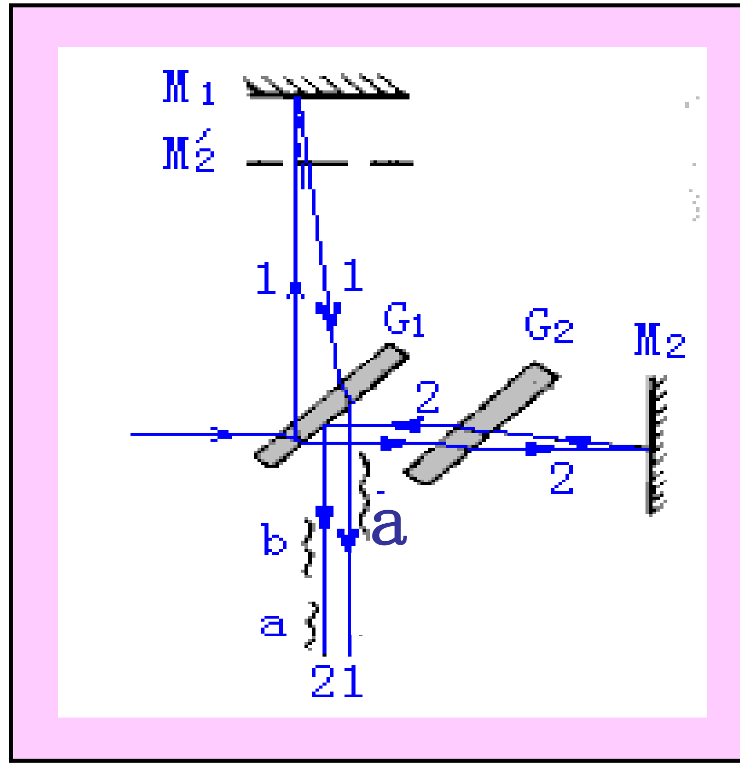
可测量10^{-7}m 的微小位移。

五、光的时间相干性


迈克尔孙干涉仪条纹
等倾干涉条纹
M2
M1′
M2
M1′
M1′与M2
重 合
M1′
M2
M1′
M2
等厚干涉条纹
M2
M1′
M2
M1′
M2
M1′
M1′
M2
M1′
M2



(*a*)属于同一光波列的两部分相遇发生干涉



(*b*)不同光波列的两部分相遇不能干涉

若光程差太大，超过了波列长度，同一波列分成的两列波不能相遇，而相遇的两列波不是从同一波列所得，不能形成干涉条纹。

两列相干波干涉的最大光程差：

$$\Delta_m < L = c \cdot \Delta t$$

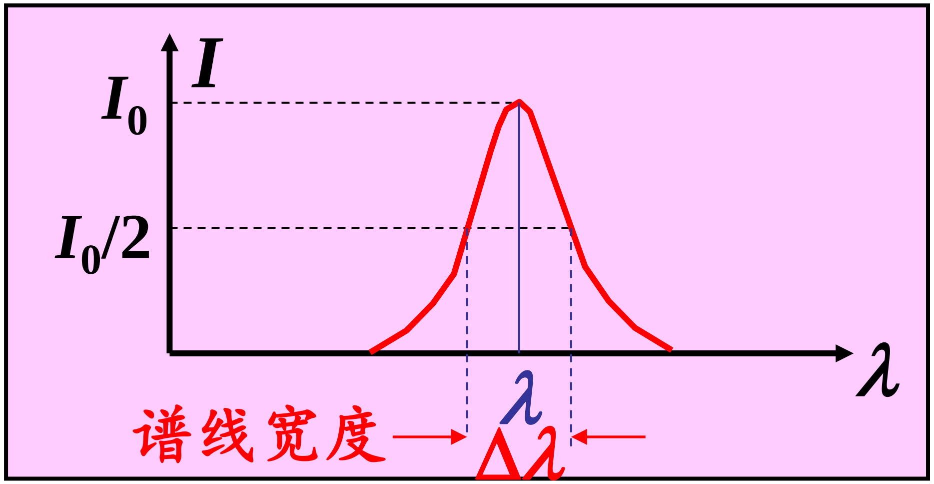
Δt → 相干时间

L → 相干长度（波列长度）

时间相干性：光源的相干性受到相干时间制约的性质。

描述波列长度对干涉条纹的影响，反映原子发光的断续性。

光源光谱特性曲线



相干长度：$L = \dfrac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$