回顾:

相干条件及相干光的获取

a) 条件

- 振动方向相同（ 存在相互平行的振动分量）
- 频率相同
- 有恒定的位相差

b) 获得相干光的方法

原则：将同一波列的光分成两束，经不同路径后相遇，产生干涉。

分波阵面法
- 杨氏实验
- 菲涅耳双镜(自学)
  - 双面镜
  - 双棱镜
- 劳埃德镜(半波损失)

分振幅法 薄膜干涉
- 等倾干涉
- 等厚干涉

分振动面的方法 偏振光干涉

回顾:

1. 分波阵面的方法—— 杨氏双缝干涉、洛埃镜(半波损失)

$$d\sin\theta=\begin{cases}\pm k\lambda & \text{明纹}\\ \pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗纹}\end{cases}\qquad \sin\theta\approx\frac{x}{D}$$

条纹间距: $\Delta x=\dfrac{D\lambda}{d}$

若: $I_1=I_2=I_0$

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

2. 分振幅的方法 —— 等倾干涉、等厚干涉

等倾干涉

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

$(2nd\cos\gamma)$

$n_1>n<n_2$

$n_1<n>n_2$

条纹间距: $\Delta\gamma_k=\dfrac{\lambda}{2nd\sin\gamma_k}$

半波损失分析

回顾：干涉条纹特征

1^o 倾角 i 相同的光线对应同一条干涉圆环条纹

2^o 不同倾角 i 构成的等倾条纹是一系列同心圆环

3^o 愈往中心，条纹级别愈高

$$2d\sqrt{n^2 - n_1^2 \sin^2 i} = k\lambda \quad d\text{一定时，} k\uparrow \to i\downarrow \to r_k\downarrow$$

即：中心O点处的干涉级最高

*若改变d $\begin{cases} d\uparrow \text{中心向外冒条纹} \\ d\downarrow \text{中心向内吞条纹} \end{cases}$

等倾干涉

4^o 条纹间隔分布：内疏外密

$$\left.\begin{aligned} 2nd\cos\gamma_k &= k\lambda \\ 2nd\cos\gamma_{k+1} &= (k+1)\lambda \end{aligned}\right\} \Rightarrow |\Delta\gamma_k| \approx \frac{\lambda}{2nd\sin\gamma_k} \qquad \begin{aligned} &\gamma_k\uparrow \\ &\Delta\gamma_k\downarrow \end{aligned}$$

5^o 光源是白光

k, d 一定 $\lambda\uparrow \to i\downarrow \to r_k\downarrow$ —彩色干涉条纹

说明

1° 透射光也有干涉现象

干涉极大和极小与反射光干涉比较?

2° 平行光垂直入射的干涉现象

单色光垂直入射时

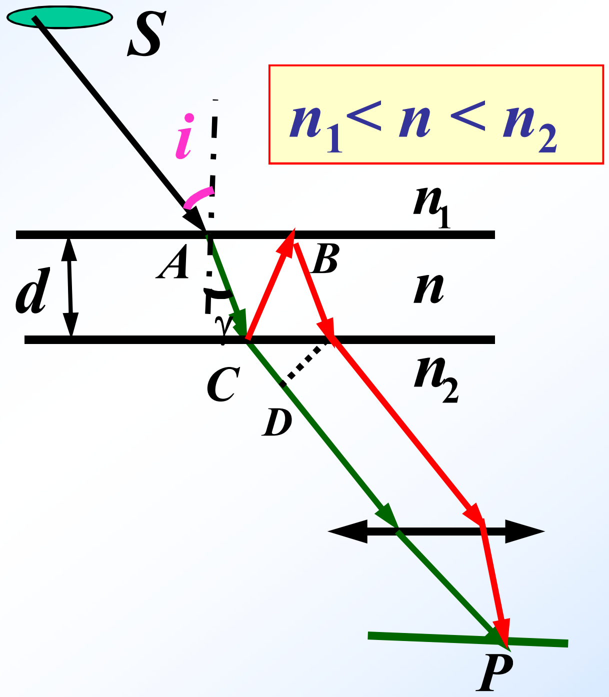
$$2nd=\begin{cases} k\lambda, & k=1,2,\cdots \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2}, & k=0,1,2,\cdots \end{cases}$$

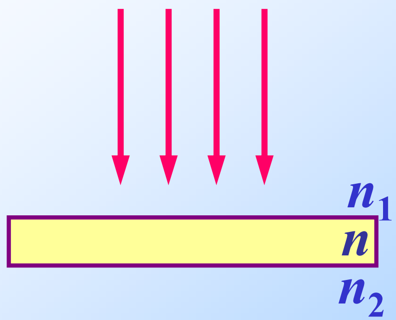
薄膜表面或全亮、或全暗、或全居中。

复色光垂直入射时,

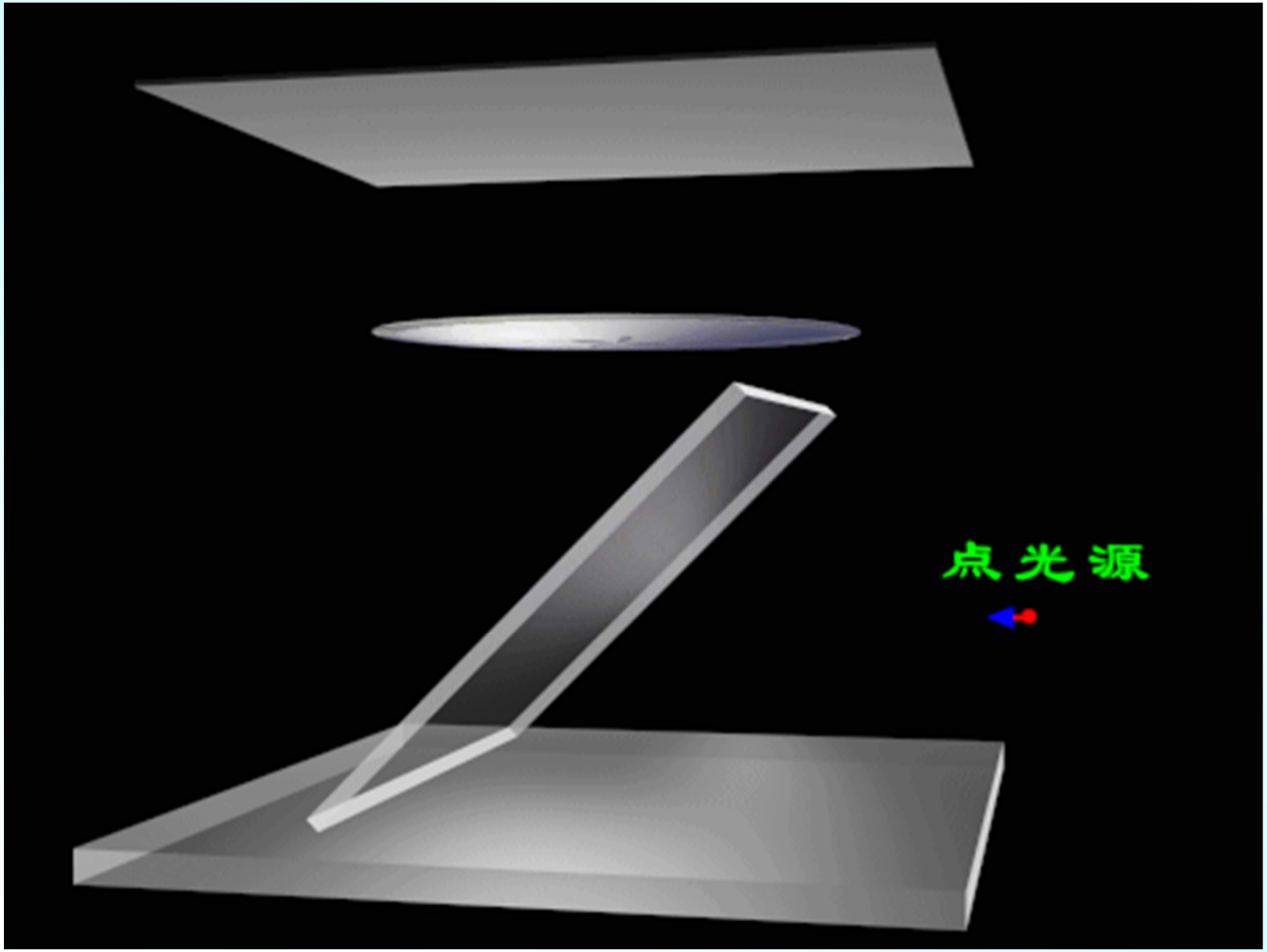
薄膜表面有的颜色亮,有的消失。

3° 另外一种等顷干涉装置

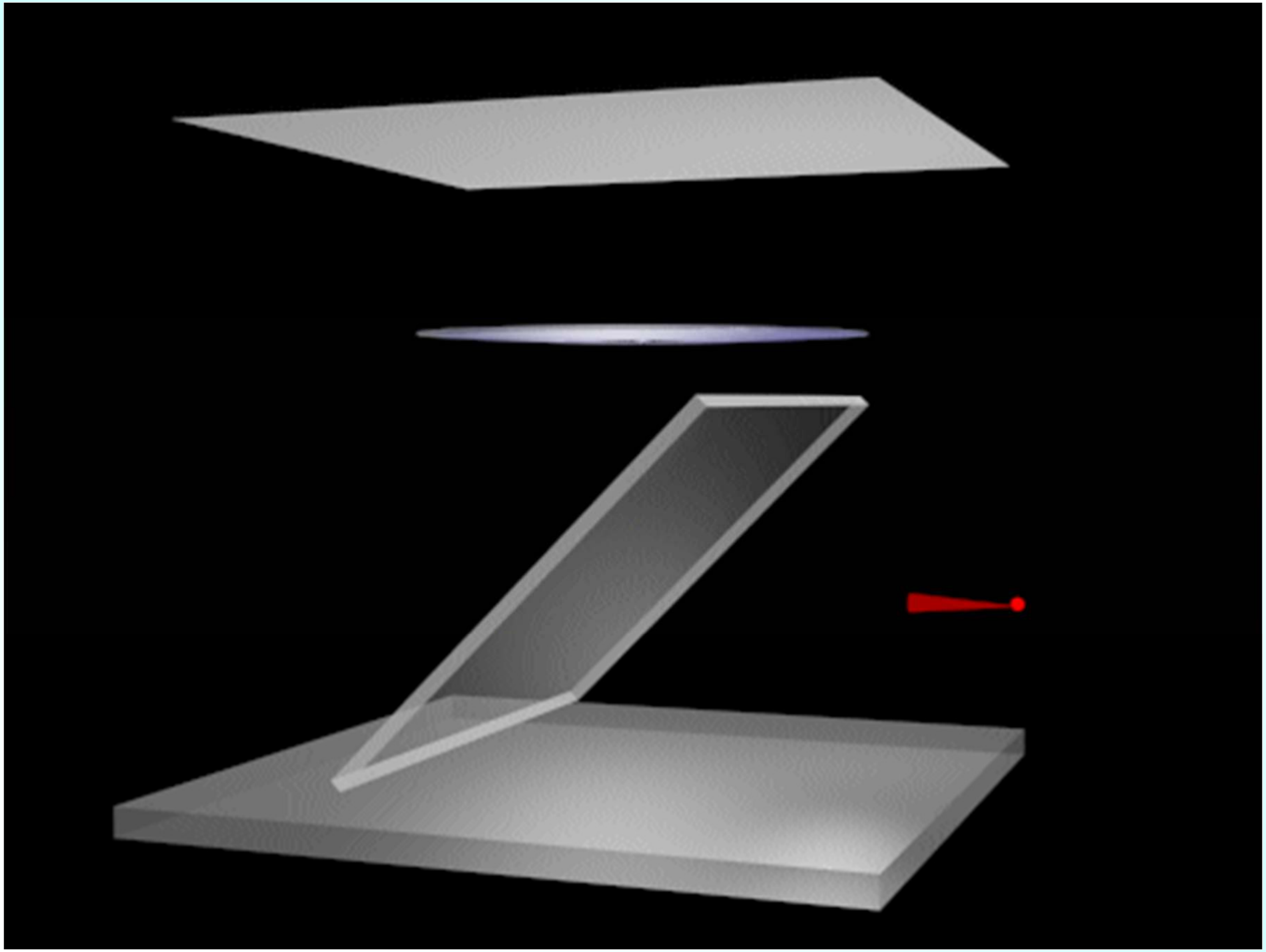




等倾干涉装置



从点光源发出的单条光线的光路



从点光源发出的锥体内光线的光路

应用

* 照相机镜头、珠宝、太阳能电池、激光谐振腔反射镜表面都镀有增透膜或增反膜;
* 判断薄膜（ SiO_2）生长情况,隐形飞机 ……等。

等倾干涉的应用1 —增透膜:

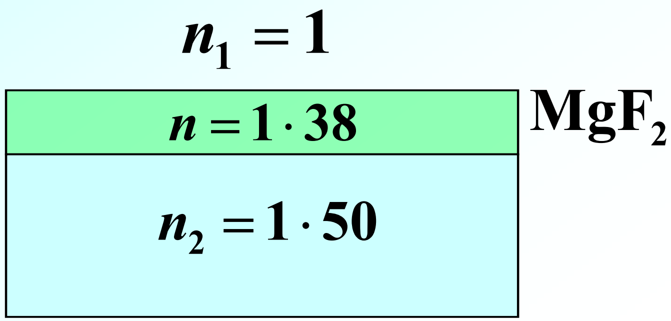
使某些颜色的单色光在表面的反射干涉相消,增加透射.

等倾干涉的应用2 —多层膜（ 增加反射）

使某些颜色的光反射本领高达99%，而使透射减弱.

例2. 折射率 n=1.50的玻璃表面涂一层 MgF_2(n=1.38)，为使它在 550nm波长处产生极小反射，这层膜应多厚？

解: 假定光垂直入射　$\because$ $\boxed{(n_1<n<n_2)\text{, 不加}\lambda/2}$



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

(k=0, 1, 2, …)暗条纹

最薄的膜 $k=0$，此时

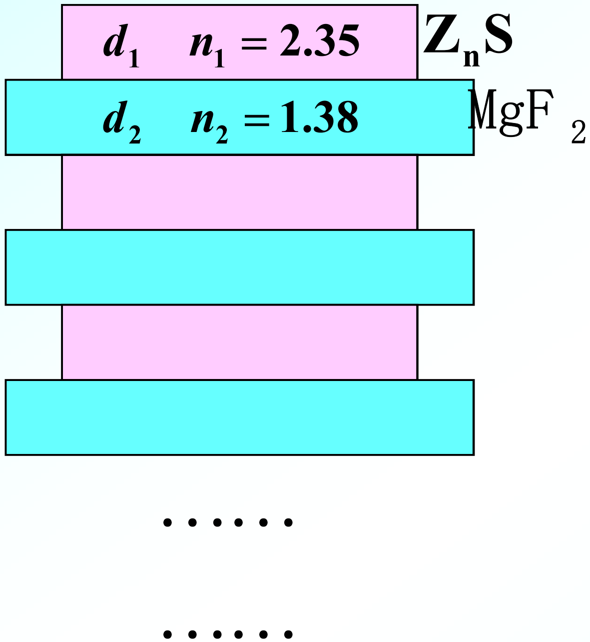
$$d = \frac{\lambda}{4n} = \frac{550}{4\times 1\cdot 38} \approx 99.6\ \text{nm}$$

k 取其它值亦可，但d 不能太厚。

如：照相机镜头呈现蓝紫色 — 消除黄绿色的反射光。

思考：为什么不能在普通玻璃窗上看到干涉现象？

例3 氦氖激光器中的谐振腔反射镜，对波长λ=632.8nm的单色光的反射率要求达99%以上，为此反射镜采用在玻璃表面镀上$Z_nS(n_1=2\cdot 35)$，$MgF_2(n_2=1\cdot 38)$的多层膜，求每层薄膜的实际厚度（按最小厚度要求，光近似垂直入射）



解: 第一层: $1<2\cdot 35>1\cdot 38$

$$2n_1d_1+\frac{\lambda}{2}=k\lambda \qquad (k=1,2\cdots)$$

取 $k=1$, $d_1=\dfrac{(2k-1)\lambda}{4n_1}=\dfrac{632.8}{4\times 2\cdot 35}=67.3\ \text{nm}$

第二层: $2\cdot 35>1\cdot 38<2\cdot 35$

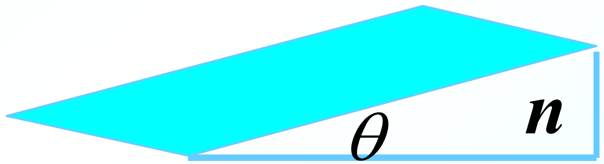
$$2n_2d_2+\frac{\lambda}{2}=k\lambda \qquad (k=1,\ 2\cdots)$$

取 $k=1$, $d_2=\dfrac{(2k-1)\lambda}{4n_2}=\dfrac{632.8}{4\times 1\cdot 38}=114.6\ \text{nm}$

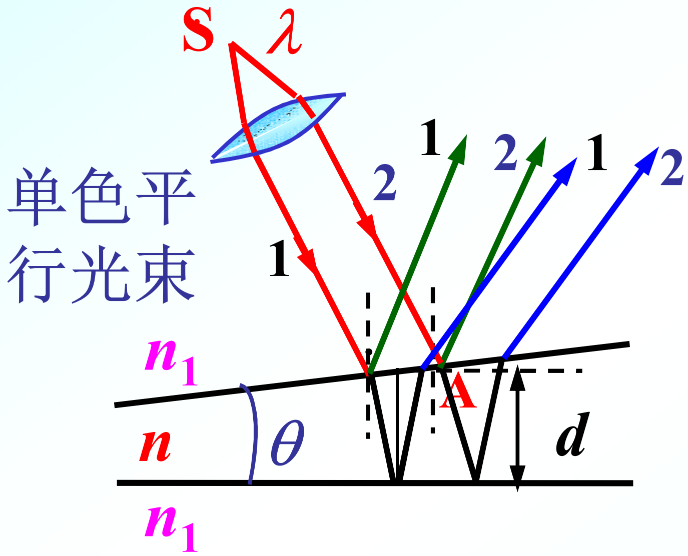
二、等厚干涉（厚度不均匀的薄膜干涉）

1. 劈尖（劈形膜）

夹角很小的两个平面所构成的薄膜



一般两平面夹角 θ: $10^{-4} \sim 10^{-5}$ rad



1、2 两束反射光来自同一束入射光，它们可以产生干涉.

A处(厚度为 d)的明暗条件

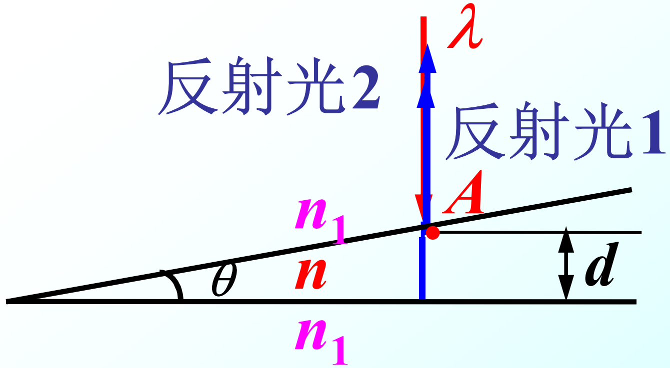
$$2d\sqrt{n^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & (k = 1, 2, \cdots) \cdots \text{明条纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & (k = 0, 1, 2 \cdots) \cdots \text{暗条纹} \end{cases}$$

实际应用中，大都是平行光垂直入射到劈尖上。

考虑到劈尖夹角极小，反射光1、2在膜面的光程差可简化为图示情况计算。

A: 1、2的光程差

$$\delta = 2nd + \frac{\lambda}{2} = \delta(d)$$



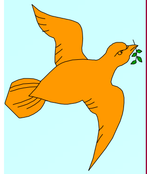
明纹:

$$\delta(d) = k\lambda,\ k = 1, 2, 3, \cdots$$

暗纹:

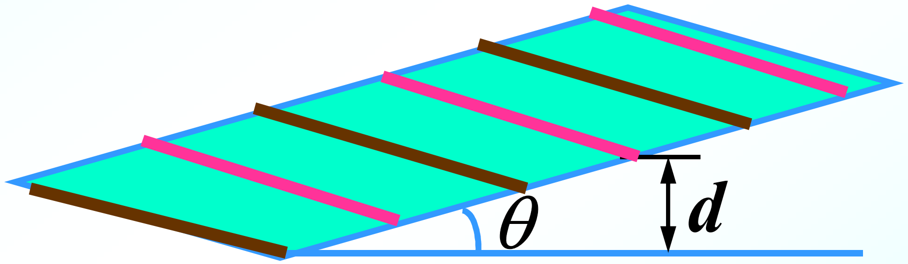
$$\delta(d) = (2k+1)\frac{\lambda}{2},\ k = 0, 1, 2, \cdots$$

同一厚度d对应同一级条纹 — 等厚条纹



$$2nd+\frac{\lambda}{2}=\begin{cases}k\lambda\\(2k+1)\frac{\lambda}{2}\end{cases}\quad 或\quad 2nd=\begin{cases}(2k-1)\frac{\lambda}{2} & (k=1,2,\cdots)\cdots 明条纹\\ k\lambda & (k=0,1,2\cdots)\cdots 暗条纹\end{cases}$$

干涉条纹的分布特征



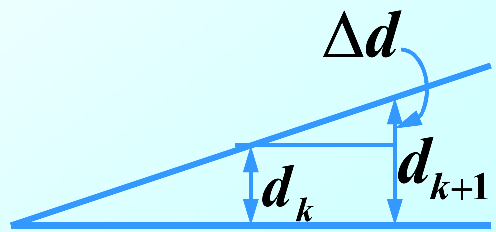
1° 每一 k 值对应劈尖某一确定厚度 d，即同一厚度对应同一干涉级—等厚条纹

干涉条纹是一组与棱边平行的明暗相间的条纹.

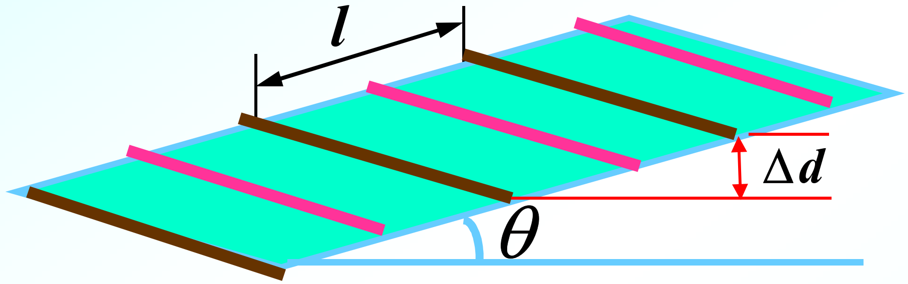
2° 棱边处 $d=0$ $\begin{cases}n_1=n_2\neq n & 对应着暗纹\\ n_1<n<n_2 & 对应着亮纹\end{cases}$

3° 相邻两明（暗）纹间对应的厚度差为

$$\left.\begin{aligned}2nd_k+\lambda/2&=k\lambda\\2n(d_k+\Delta d)+\lambda/2&=(k+1)\lambda\end{aligned}\right\}\Rightarrow \Delta d=\frac{\lambda}{2n}$$

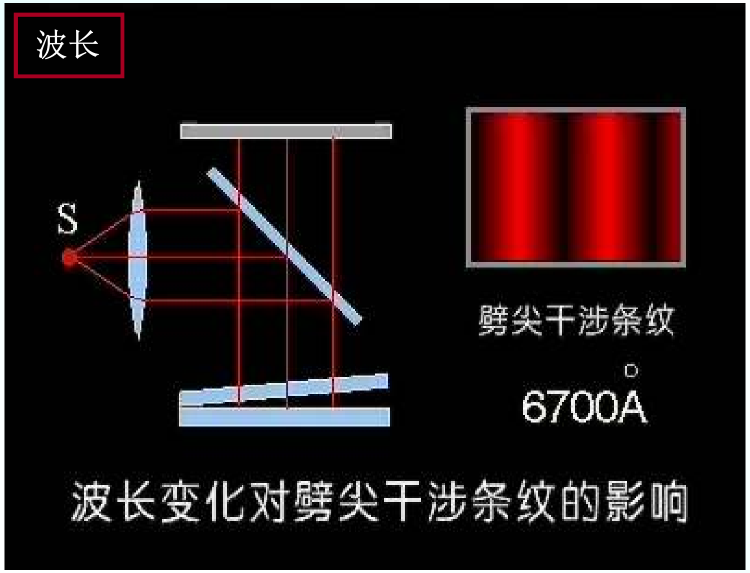


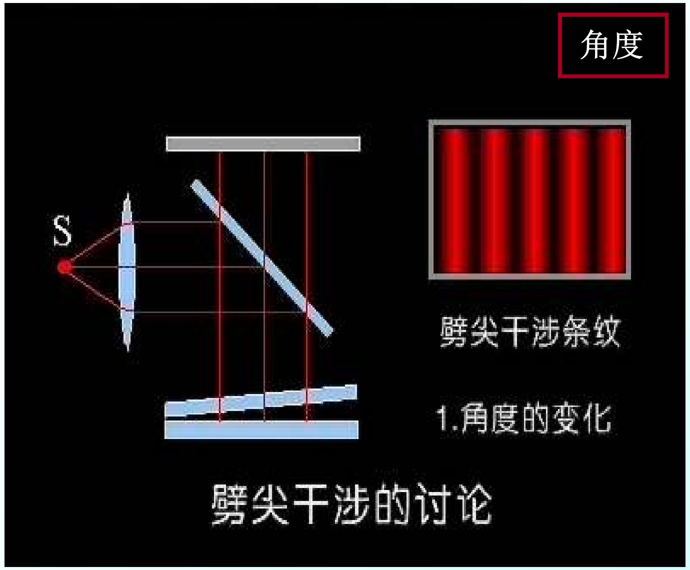
4° 明（ 暗）纹间距 l



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

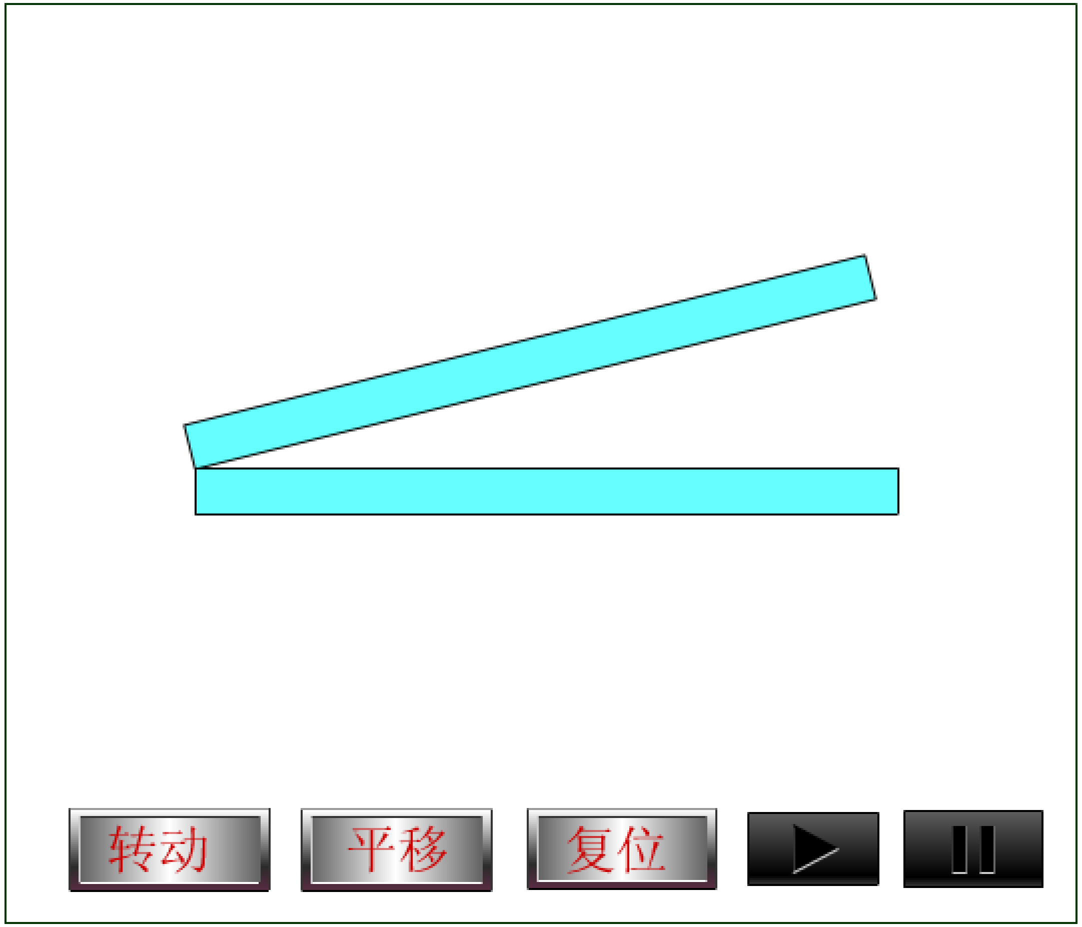
$$l = \frac{\lambda}{2n\sin\theta}\begin{cases}\theta、\lambda\text{一定，}l\text{确定，条纹等间距}\\ \theta\text{一定，}\lambda\uparrow、l\uparrow;\ \lambda\downarrow、l\downarrow\\ \theta\uparrow\ l\downarrow\text{(条纹变密)},\theta\downarrow\ l\uparrow\text{(条纹疏远)}\end{cases}$$



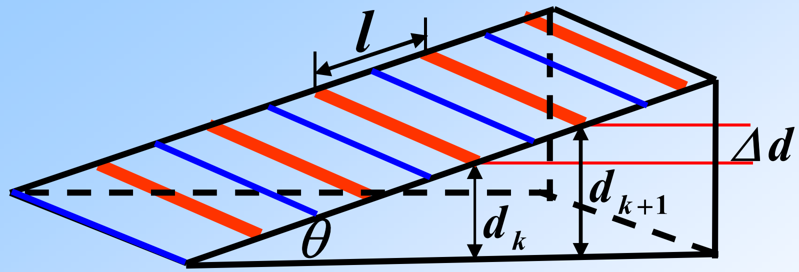


5° 复色光入射得彩色条纹

劈尖干涉条纹的移动



每一条纹对应劈尖内的一个厚度，当此厚度位置改变时，对应的条纹随之移动.

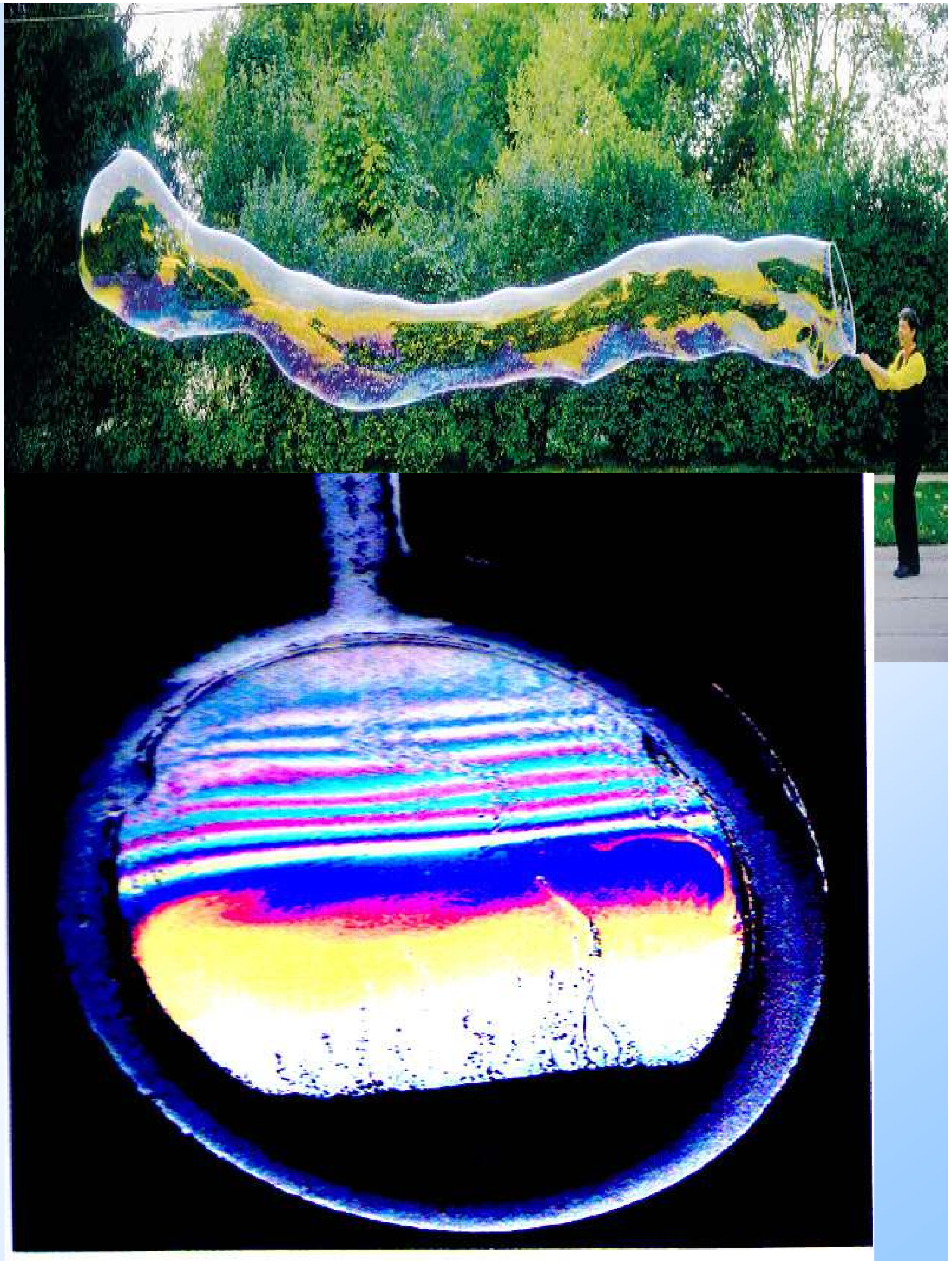


第k级明纹：

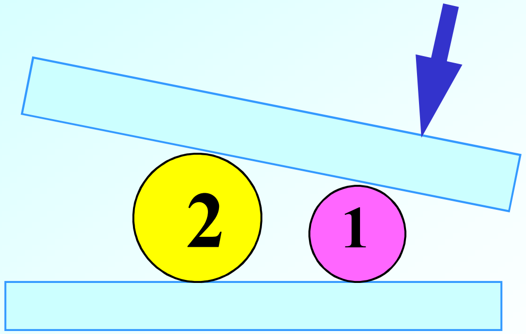
$$\boxed{2d_k+\frac{\lambda}{2}=k\lambda\quad(k=1,2,\cdots)}$$

(5)复色光入射得彩色条纹

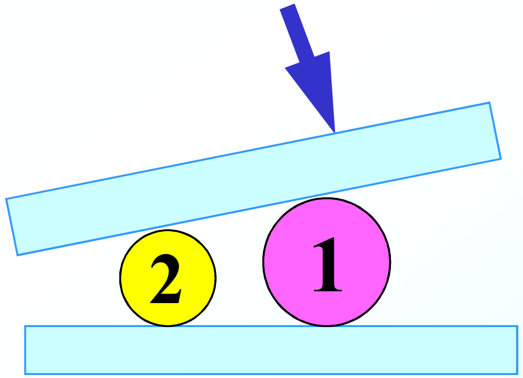
肥皂膜



例4 如何判断两个直径相差很小的滚珠的大小？
（ 测量工具：两块平板玻璃）



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



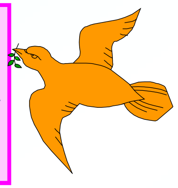
在靠近 “1”那端轻轻压一下

若发现等厚条纹间隔变密 说明 $\theta\uparrow$: 1 珠小

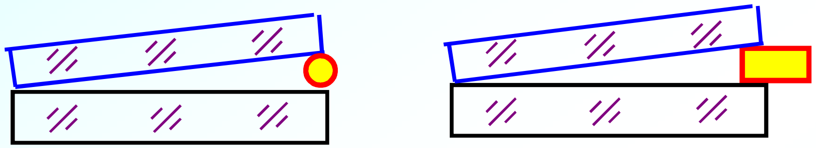
若发现等厚条纹间隔变宽 说明 $\theta\downarrow$: 1 珠大

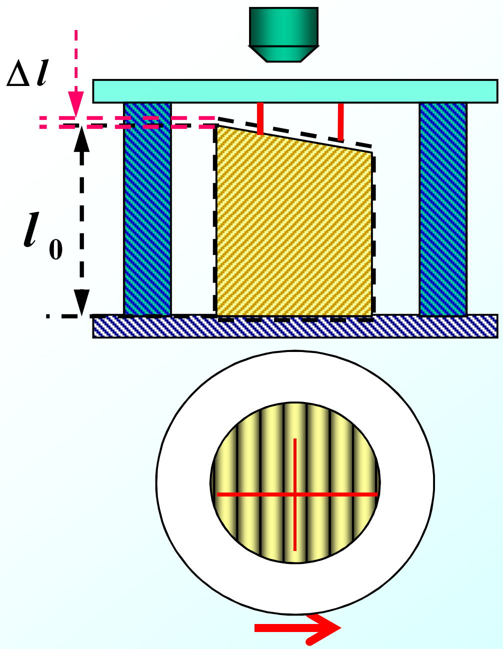
2. 劈尖干涉的应用

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



- 测 波 长：已知 θ、n，测 l 可得 λ
- 测折射率：已知 θ、λ，测 l 可得 n
- 测细小直径、厚度、微小变化

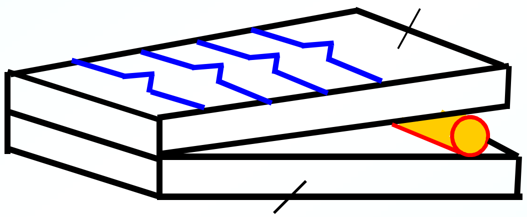




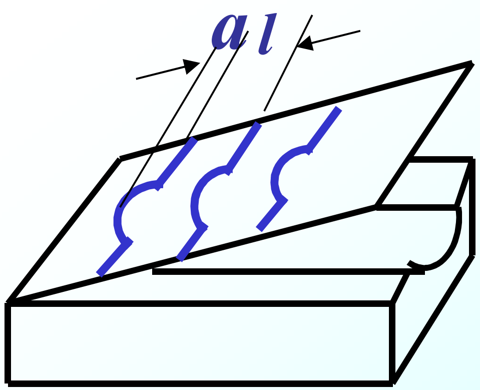
$$\Delta l = N\frac{\lambda}{2}$$

干涉膨胀仪

- 测表面平行度

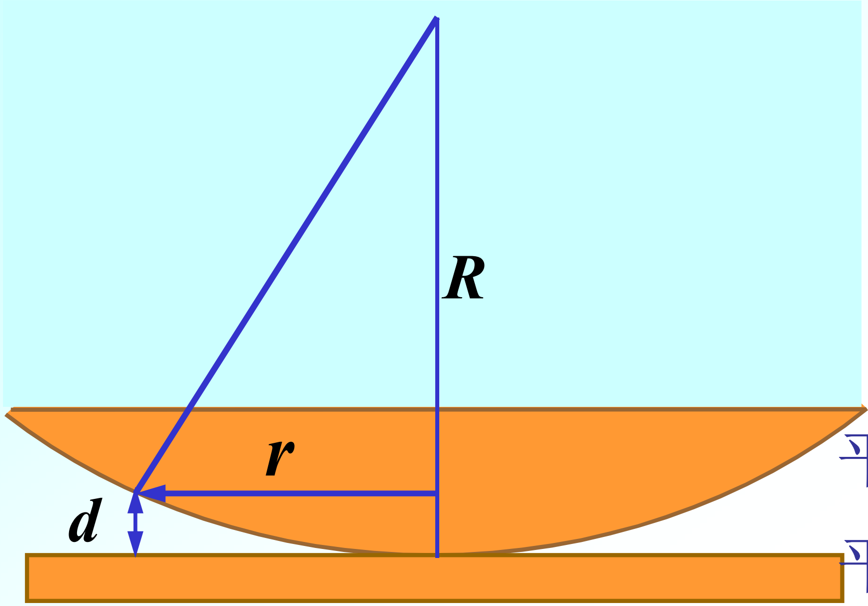


光洁度



$$h \approx a\sin\theta \approx \frac{a\lambda}{2l}$$

3. 牛顿环（平凸透镜的曲率半径很大）

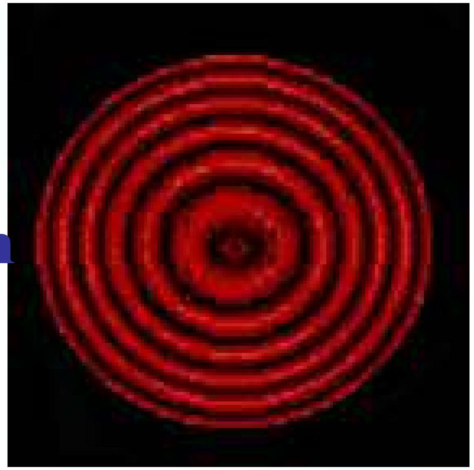


明暗条件：$2nd+\dfrac{\lambda}{2}=\begin{cases} k\lambda & k=1,2\cdots \max \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k=0,1,2\cdots \min \end{cases}$

干涉环半径：$r_k=\sqrt{R^2-(R-d)^2}=\sqrt{2Rd-d^2}\approx\sqrt{2Rd}$

$$r_k\approx\begin{cases} \sqrt{\dfrac{(2k-1)R\lambda}{2n}} & (k=1,\ 2\cdots)\max \\ \sqrt{\dfrac{kR\lambda}{n}} & (k=0,1\cdots)\min \end{cases}$$

$$r_k \approx \begin{cases} \sqrt{\dfrac{(2k-1)R\lambda}{2n}} & (k=1,\ 2\cdots)\ \max \\ \sqrt{\dfrac{kR\lambda}{n}} & (k=0,1\cdots)\ \min \end{cases}$$



干涉条纹特征

1° $2nd + \dfrac{\lambda}{2} = k\lambda \Longrightarrow d\uparrow,\ k\uparrow$

与等倾干涉的本质区别

愈往边缘，条纹级别愈高

2° 相邻两暗环的间隔 $\Delta r = r_{k+1} - r_k \approx \sqrt{\dfrac{R\lambda}{4nk}}\quad (k>1)$

可见：干涉环中心疏、外缘密。

3° 复色光入射，彩色圆环

4° 动态显示

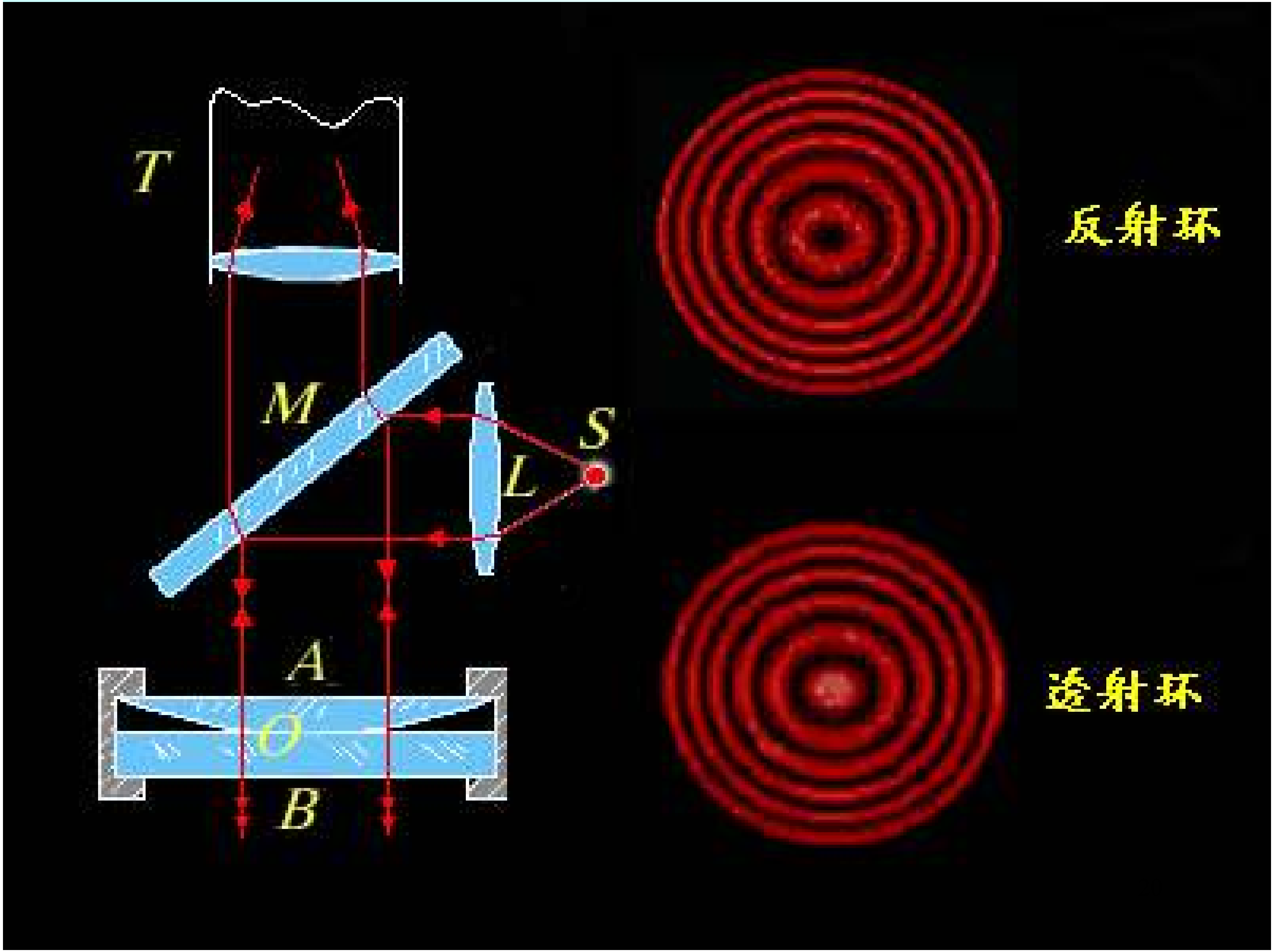
牛顿环动态显示

连续增加薄膜的厚度，视场中条纹缩入。反之，冒出。

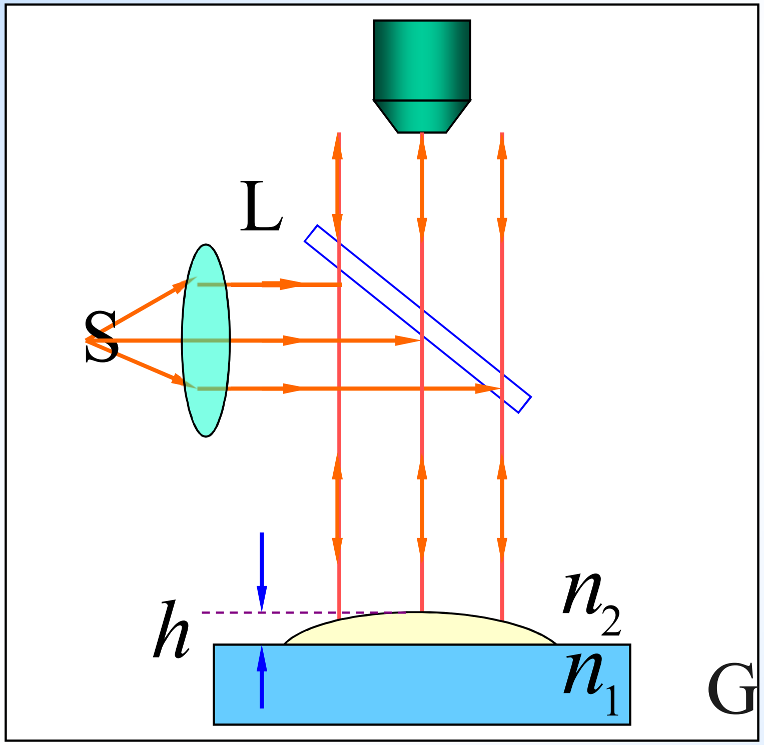
5° 透射光与反射光互补

应用举例 $\begin{cases} \text{已知 } \lambda \text{ 可求 } R \\ \text{已知 } R \text{ 可求 } \lambda \end{cases}$

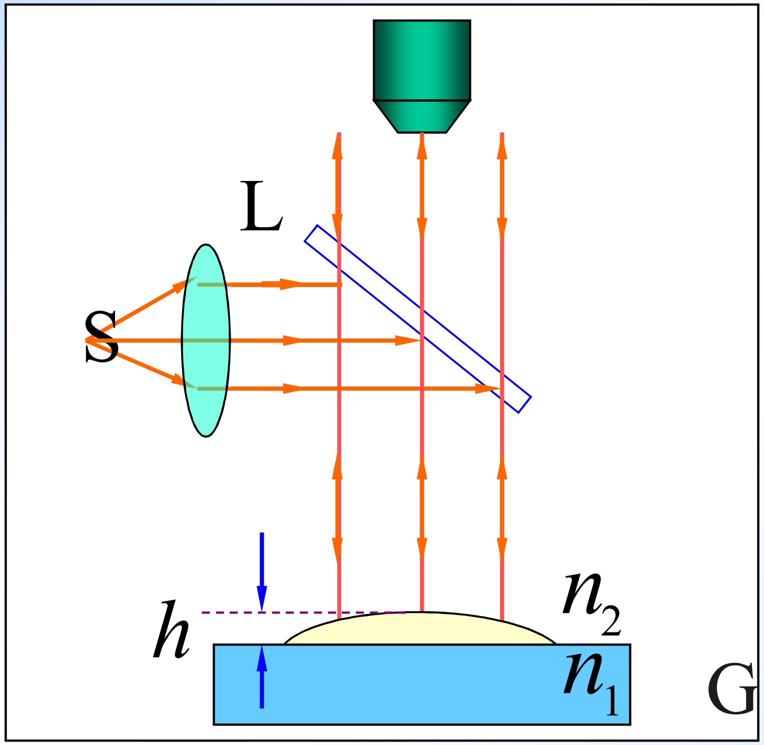
$$\lambda = \frac{r_{k+m}^2 - r_k^2}{mR/n}$$


T
M
S
L
A
O
B
反射环
透射环

例 如图所示为测量油膜折射率的实验装置，在平面玻璃片G上放一油滴，并展开成圆形油膜，在波长 $\lambda = 600\ \mathrm{nm}$ 的单色光垂直入射下，从反射光中可观察到油膜所形成的干涉条纹．已知玻璃的折射率为 $n_1 = 1.50$，油膜的折射率 $n_2 = 1.20$，问：当油膜中心最高点与玻璃



片的上表面相距 $h=8.0\times10^{2}\,\mathrm{nm}$ 时，干涉条纹是如何分布的？可看到几条明纹？明纹所在处的油膜厚度为多少？

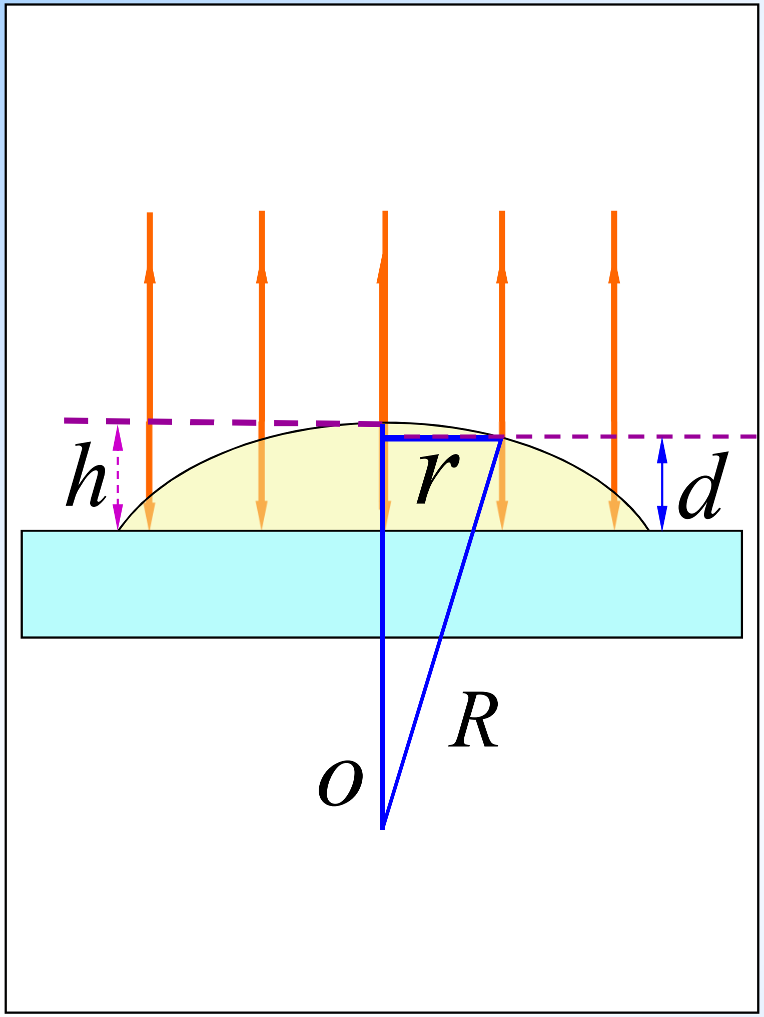


解　条纹为同心圆

$$\Delta = 2n_2 d_k = k\lambda \quad \text{明纹}$$

$$d_k = k\frac{\lambda}{2n_2}$$

$$k = 0,1,2,\cdots$$



油膜边缘$k=0, d_0=0$

$k=1,\quad d_1=250\ \mathrm{nm}$

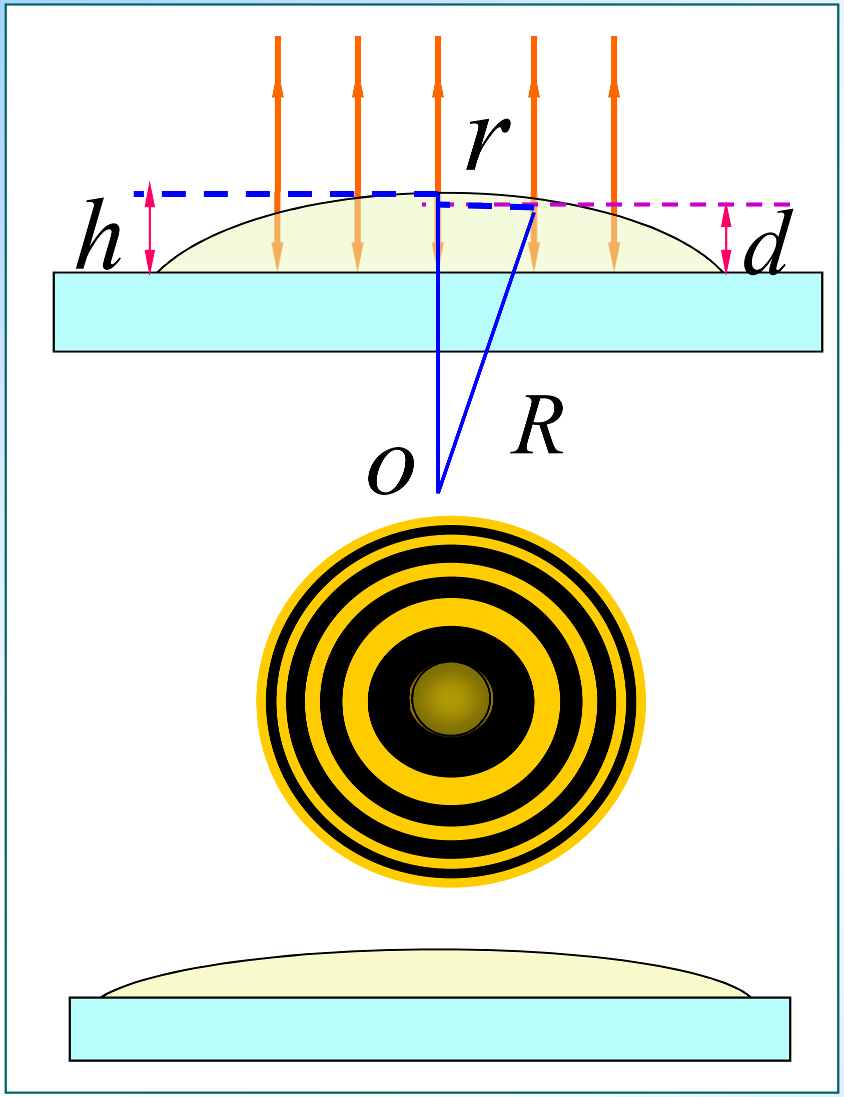
$k=2,\quad d_2=500\ \mathrm{nm}$

$k=3,\quad d_3=750\ \mathrm{nm}$

$k=4,\quad d_4=1000\ \mathrm{nm}$

由于 $h=8.0\times10^2\ \mathrm{nm}$ 故

可观察到四条明纹 .



讨论

油滴展开时，条纹间距变大，条纹数减少

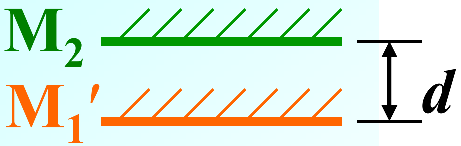
$$R^2 = r^2 + [R-(h-d)]^2$$

$$r^2 \approx 2R(h-d)$$

$$R \approx \frac{r^2}{2(h-d)}$$

迈克尔逊干涉仪

当 $M_1 \perp M_2 \Rightarrow M_2 \parallel M_1'$



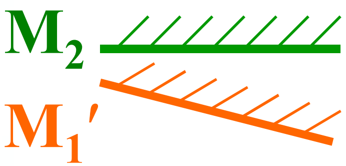
M_2与M_1'形成厚度均匀的薄膜，

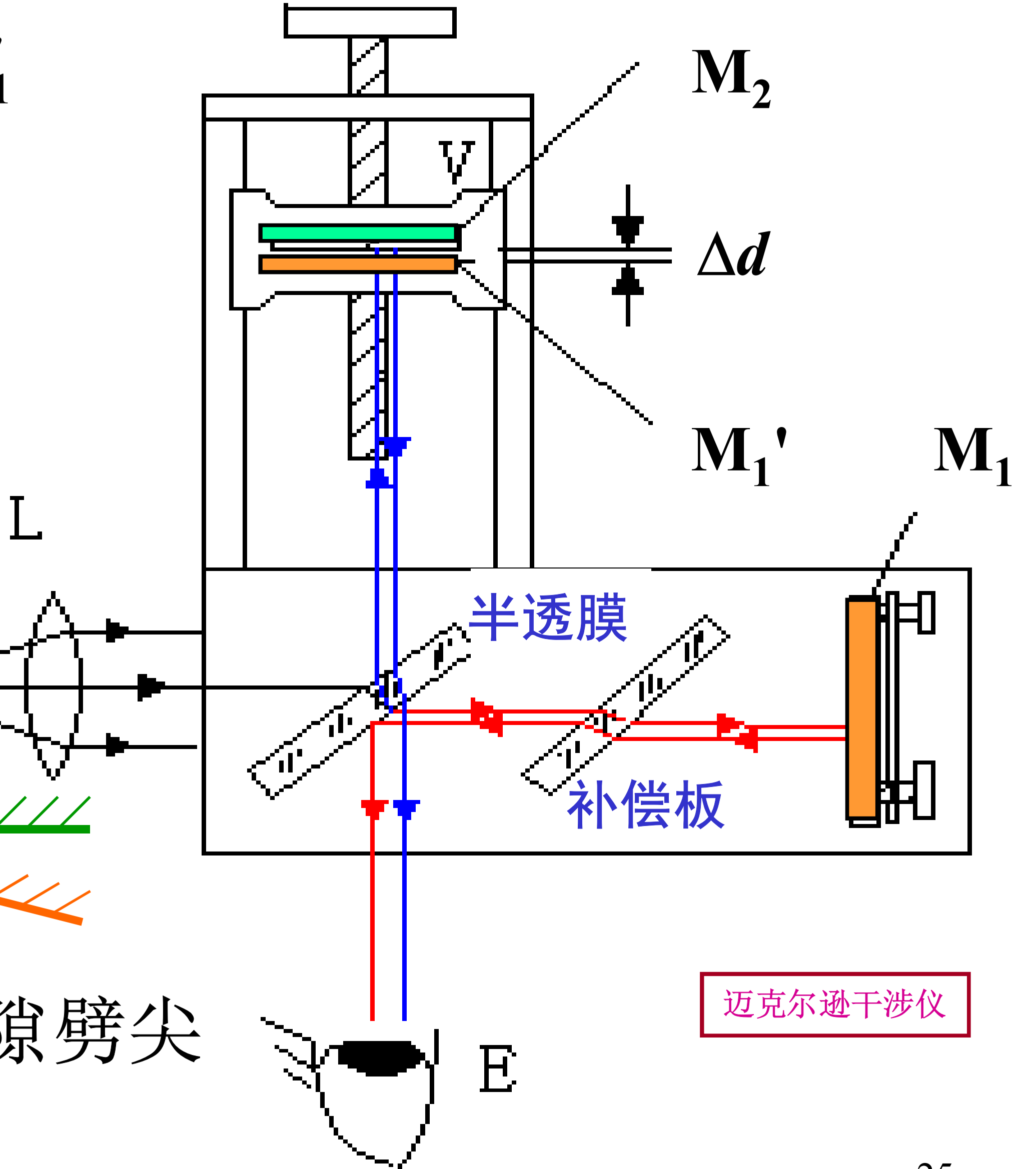
等倾干涉条纹

当 $M_1 \cancel{\perp} M_2$

$\Downarrow$

$M_2 \cancel{\parallel} M_1'$





M_2与 M_1'形成一空气隙劈尖

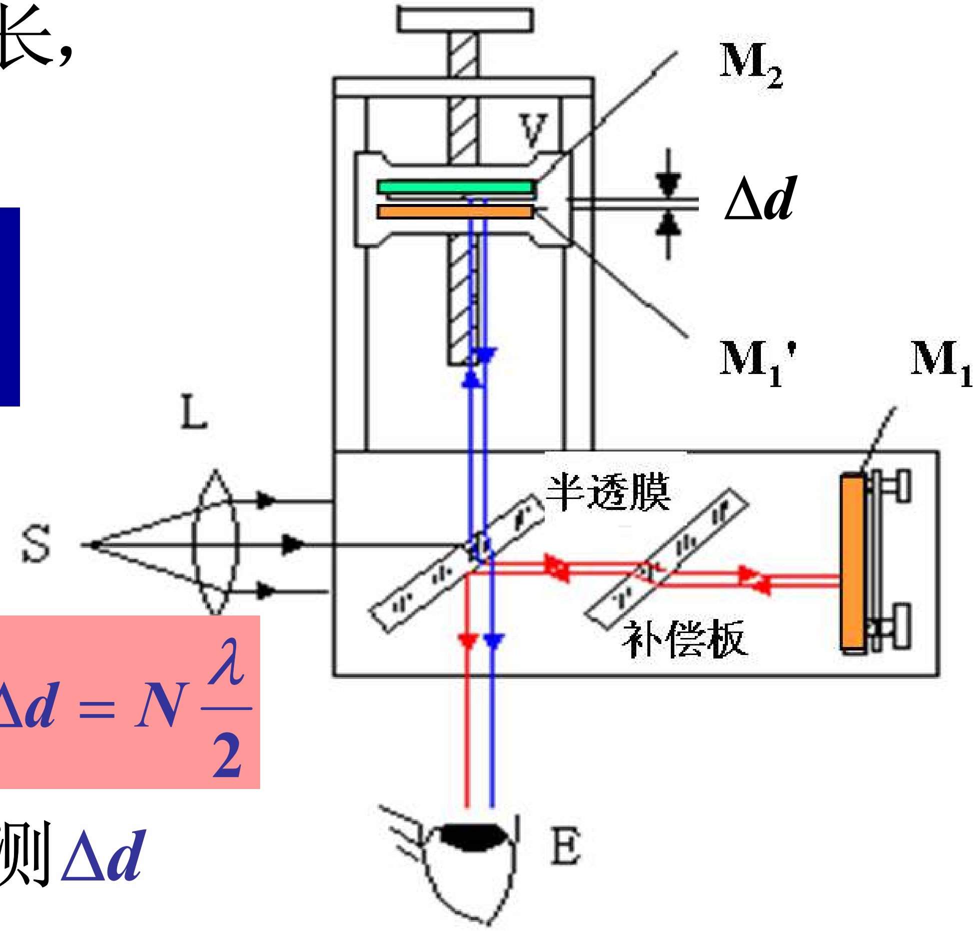
等厚干涉条纹

干涉条纹的位置取决于光程差，只要光程差有微小的变化，干涉条纹就发生可鉴别的移动。

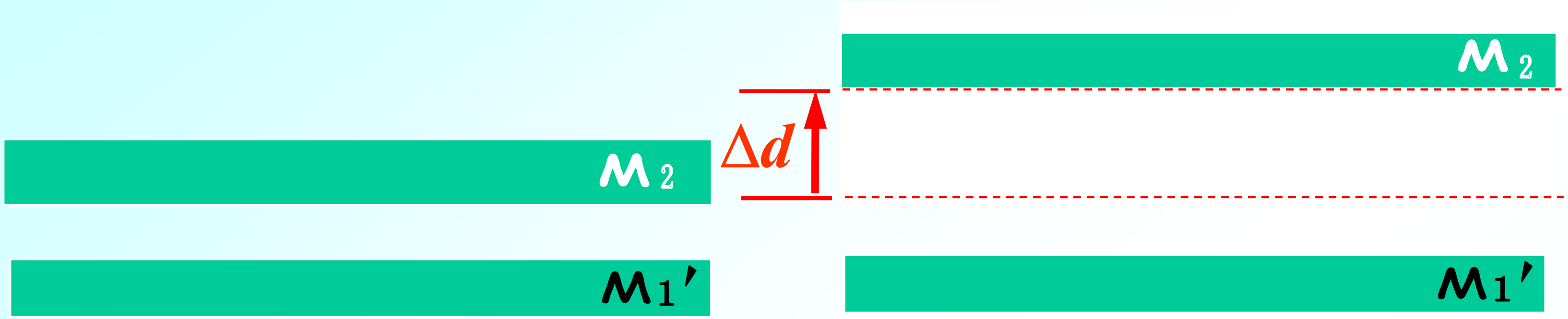
若 δ改变‘λ’这么长，就有一条明纹移动

M_2平移 $\frac{\lambda}{2}$ → 一条明纹移动

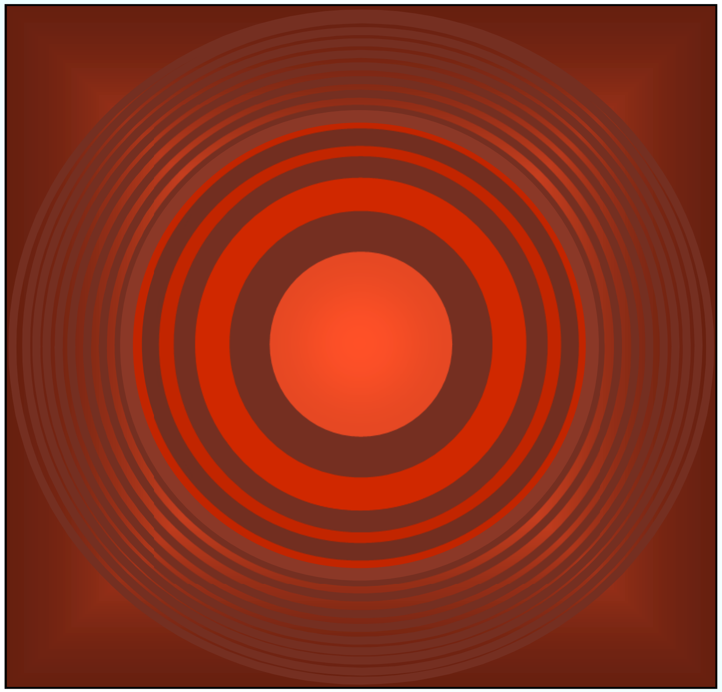
明纹移动的数目 N → M_2平移的距离 $\Delta d = N\frac{\lambda}{2}$

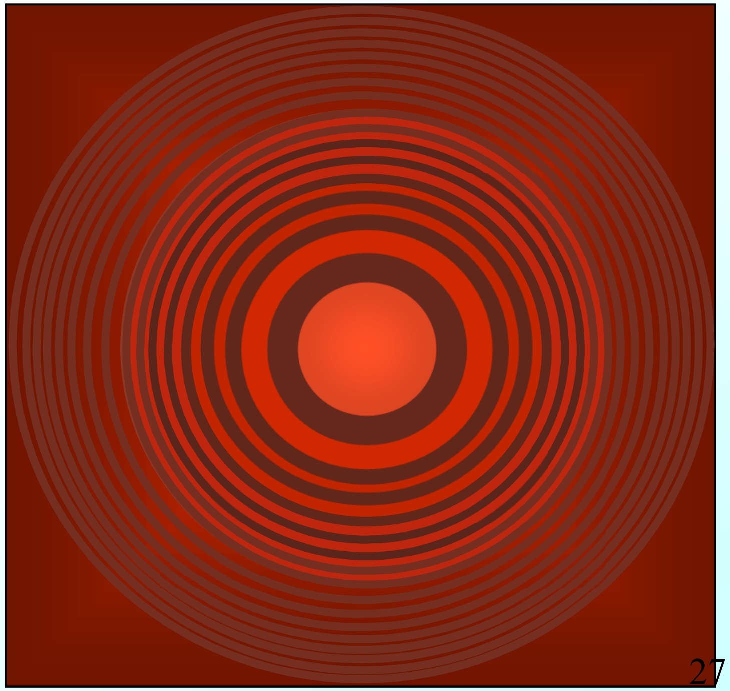


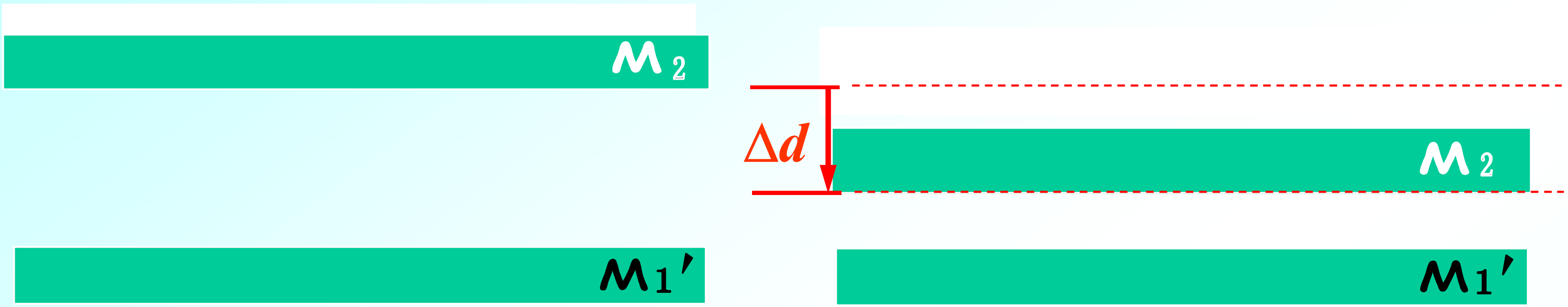
$$\boxed{\Delta d = N\frac{\lambda}{2}}\begin{cases}\text{已知}\lambda\text{，可测}\Delta d\\ \text{已知}\Delta d\text{，可测}\lambda\end{cases}$$



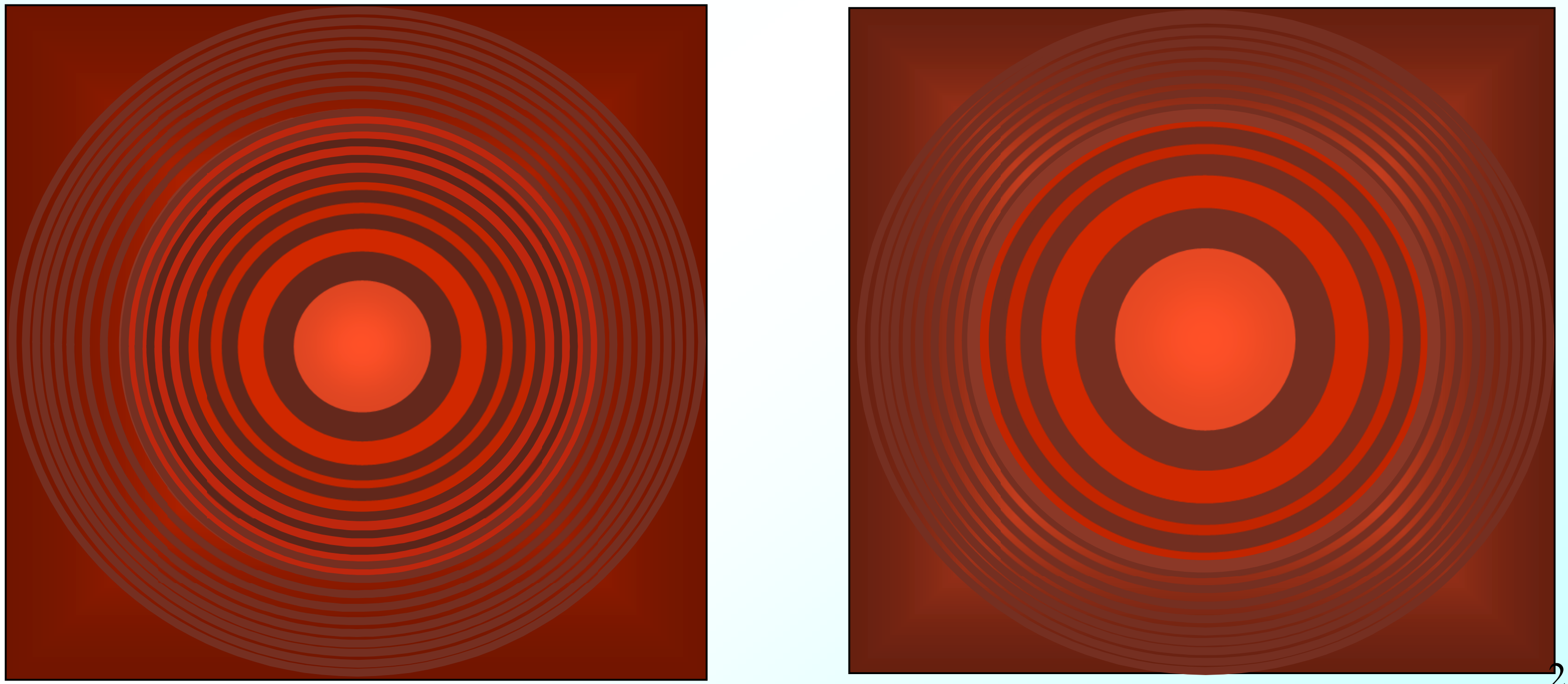
若M_2平移Δd使空气膜加厚时吐出了N级条纹，则：$\Delta d = N\dfrac{\lambda}{2}$

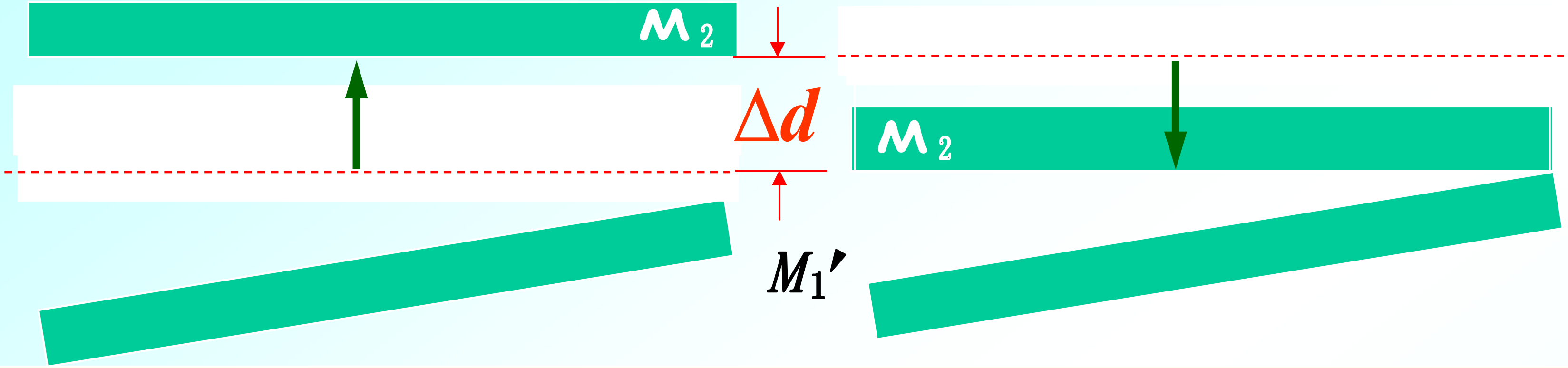




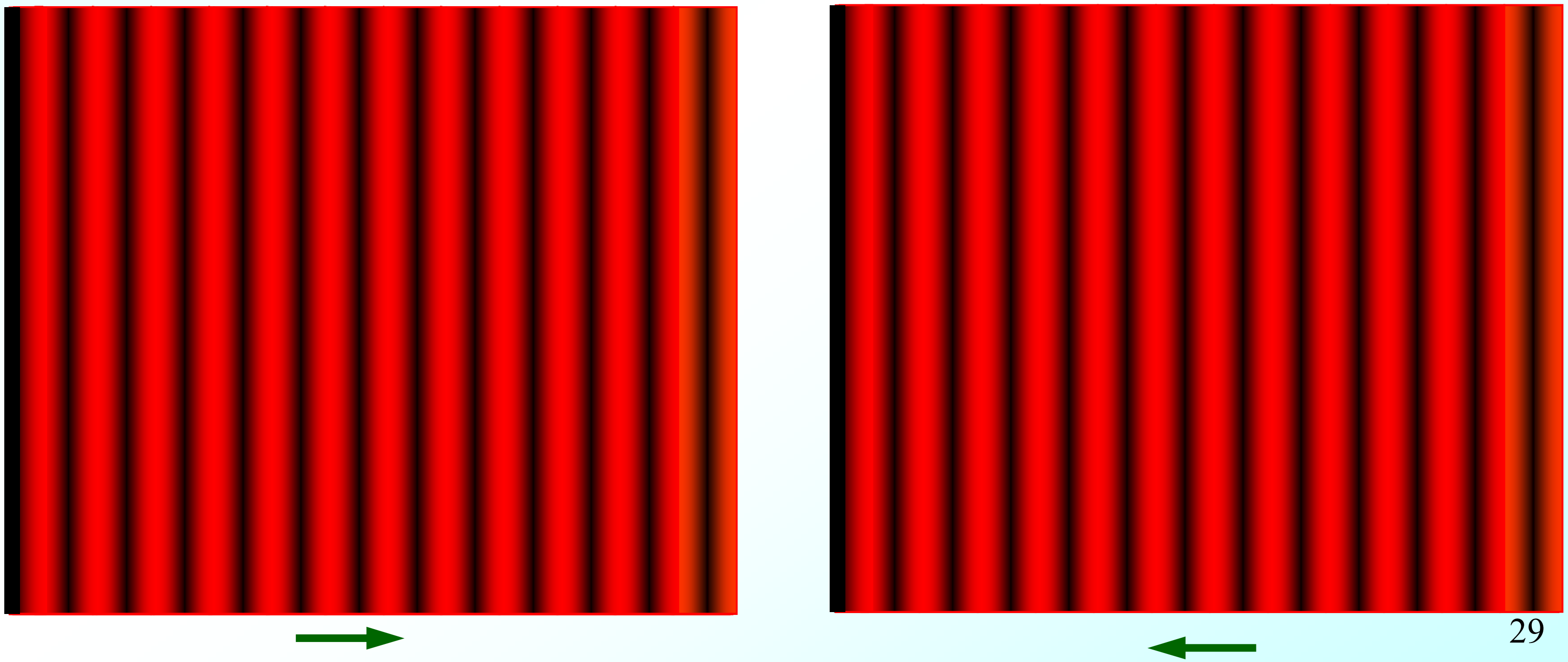


若M_2平移Δd使空气膜减薄时吞进了N级条纹，则：$\Delta d = N\dfrac{\lambda}{2}$





若M_2平移Δd，条纹右移(或左移)N级，则：$\Delta d = N\dfrac{\lambda}{2}$



例　在迈克耳孙干涉仪的两臂中，分别插入$l = 10.0\ \mathrm{cm}$长的玻璃管，其中一个抽成真空，另一个则储有压强为 $1.013\times10^5\ \mathrm{Pa}$ 的空气，用以测量空气的折射率n. 设所用光波波长为546 nm，实验时，向真空玻璃管中逐渐充入空气，直至压强达到$1.013\times10^5\ \mathrm{Pa}$为止. 在此过程中，观察到107.2条干涉条纹的移动，试求空气的折射率n.

已知 $l = 10.0\ \mathrm{cm} \quad \lambda = 546\ \mathrm{nm}$

解 $\Delta_1 - \Delta_2 = 2(n-1)l = 107.2\lambda$

$$n = 1 + \frac{107.2\lambda}{2l} = 1 + \frac{107.2 \times 546 \times 10^{-7}\ \mathrm{cm}}{2 \times 10.0\ \mathrm{cm}}$$

$$= 1.000\,29$$