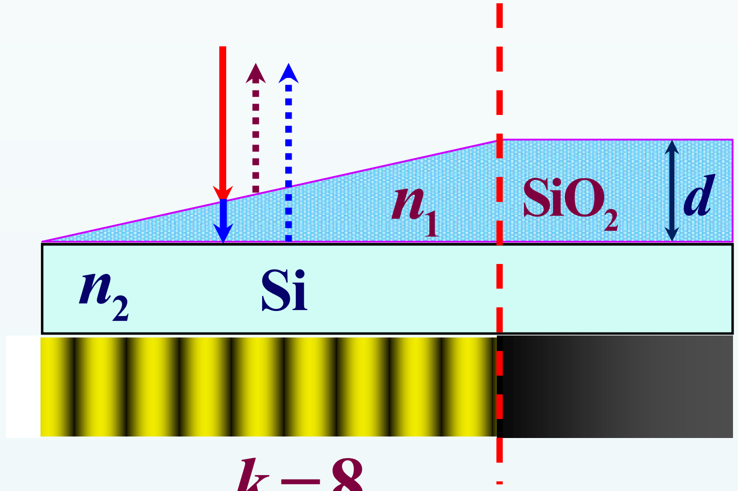
等厚干涉

薄膜厚度的测定

制造半导体元件时，须精确测定生长在硅片上的二氧化硅薄膜的厚度。



$k=8$

$$n_1 = 1.50 \quad n_2 = 3.42 \quad \lambda = 589.3\ \text{nm}$$

暗纹条件：

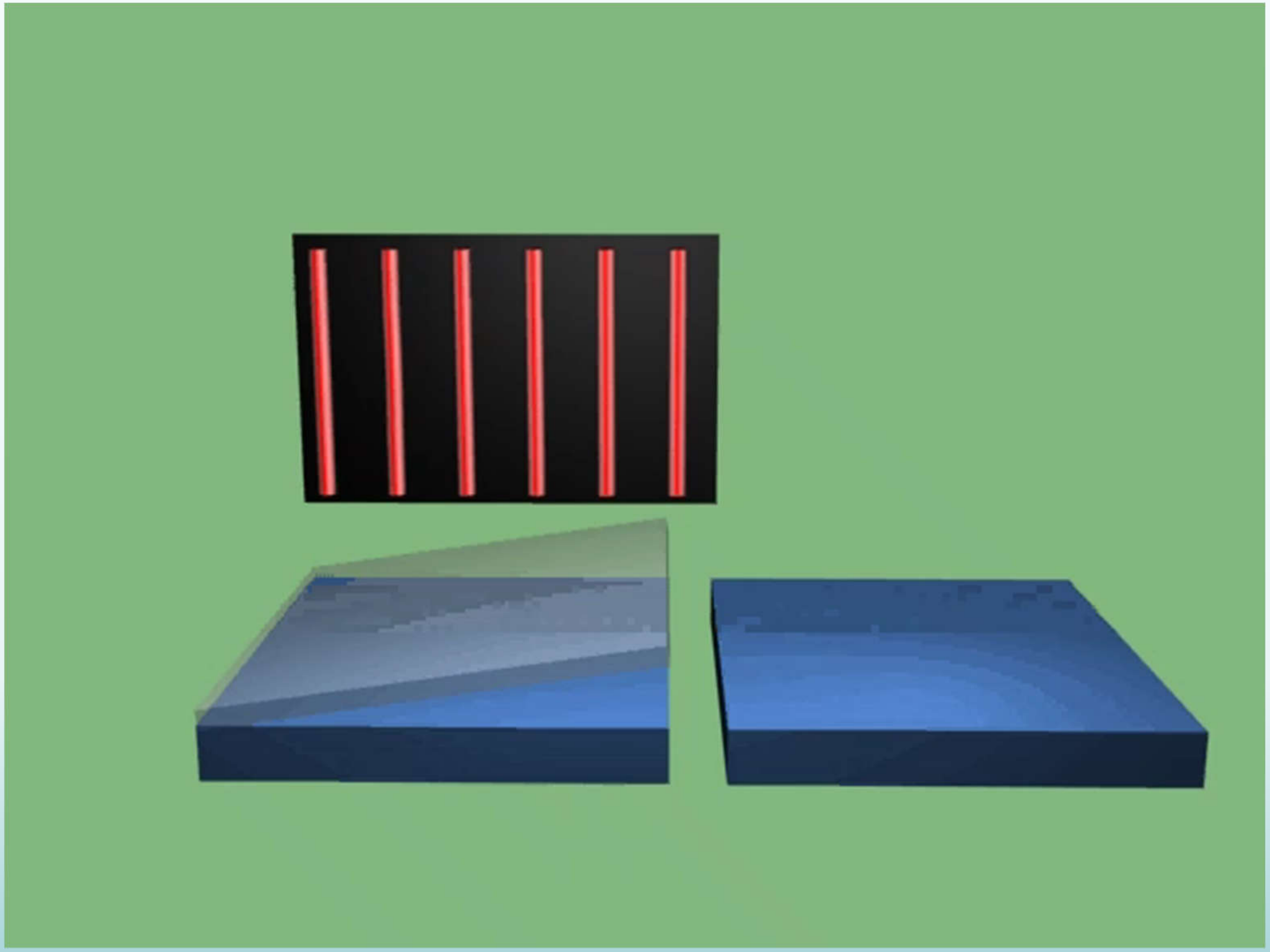
$$2n_1 d = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \longrightarrow d = \frac{(2k+1)\lambda}{4n_1}$$

$$k = 8$$

$$d = 1.67\ \mu\text{m}$$

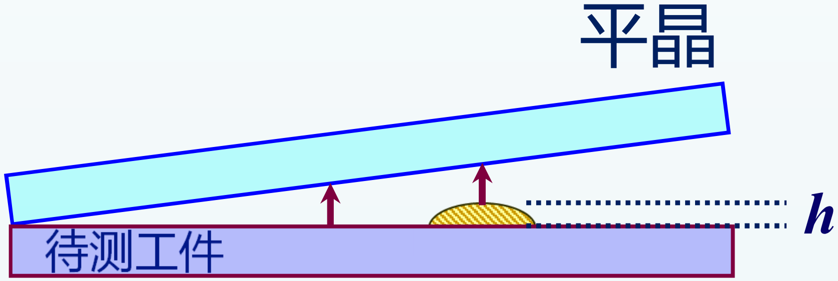
等厚干涉

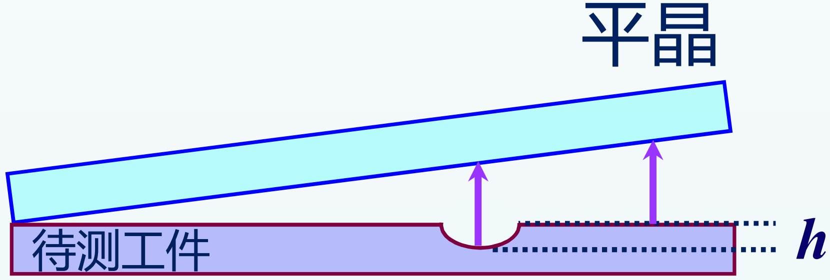
检测表面的平整度



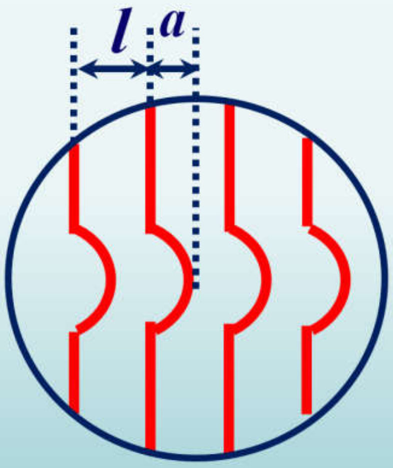
等厚干涉

检测表面的平整度

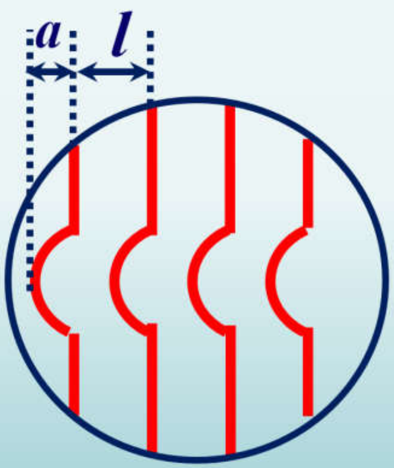




同一根干涉条纹代表同样的厚度



有凸起时的纹路



有凹陷时的纹路

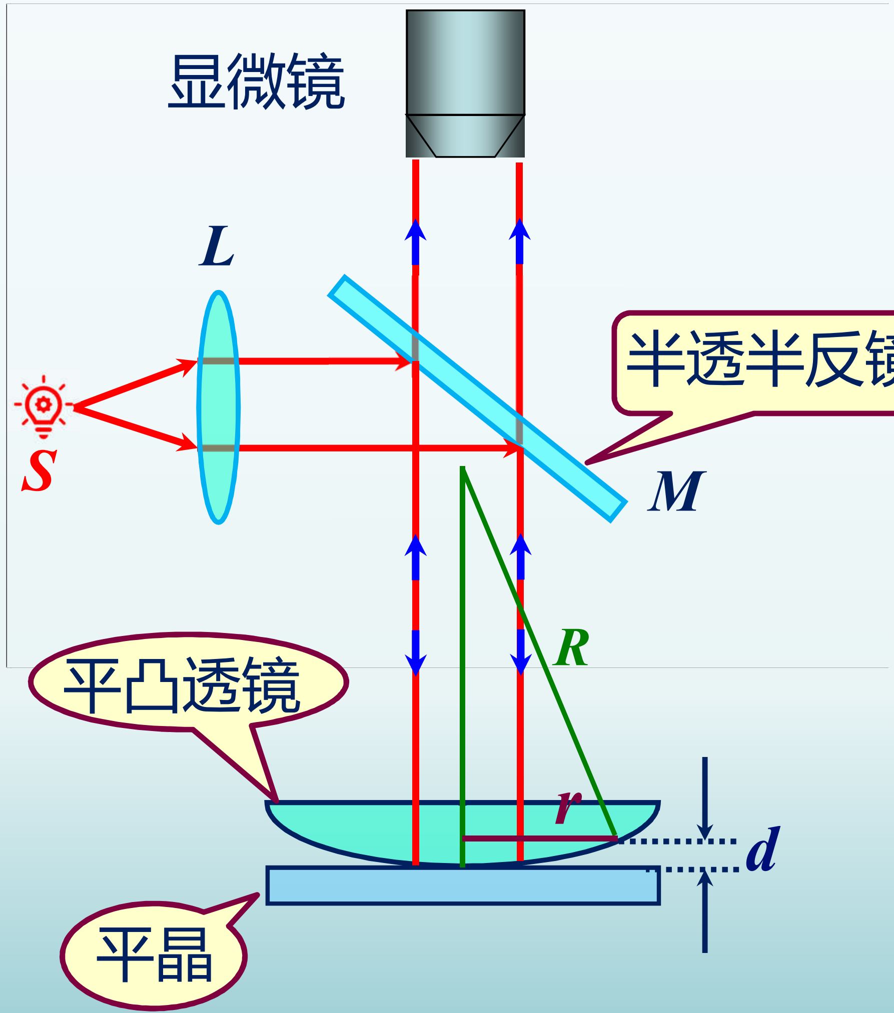
凸起的高度（凹陷的深度）

$$\begin{cases} n = 1 \\ l\sin\theta = \Delta d = \dfrac{\lambda}{2n} \\ a\sin\theta = h \end{cases}$$

$$h = a \cdot \frac{\lambda}{2l}$$

等厚干涉

□ 牛顿环



装置简图

平凸透镜和平晶构成上表面为球面，下表面为平面的空气劈尖。

光程差：$\delta = 2d + \dfrac{\lambda}{2}$

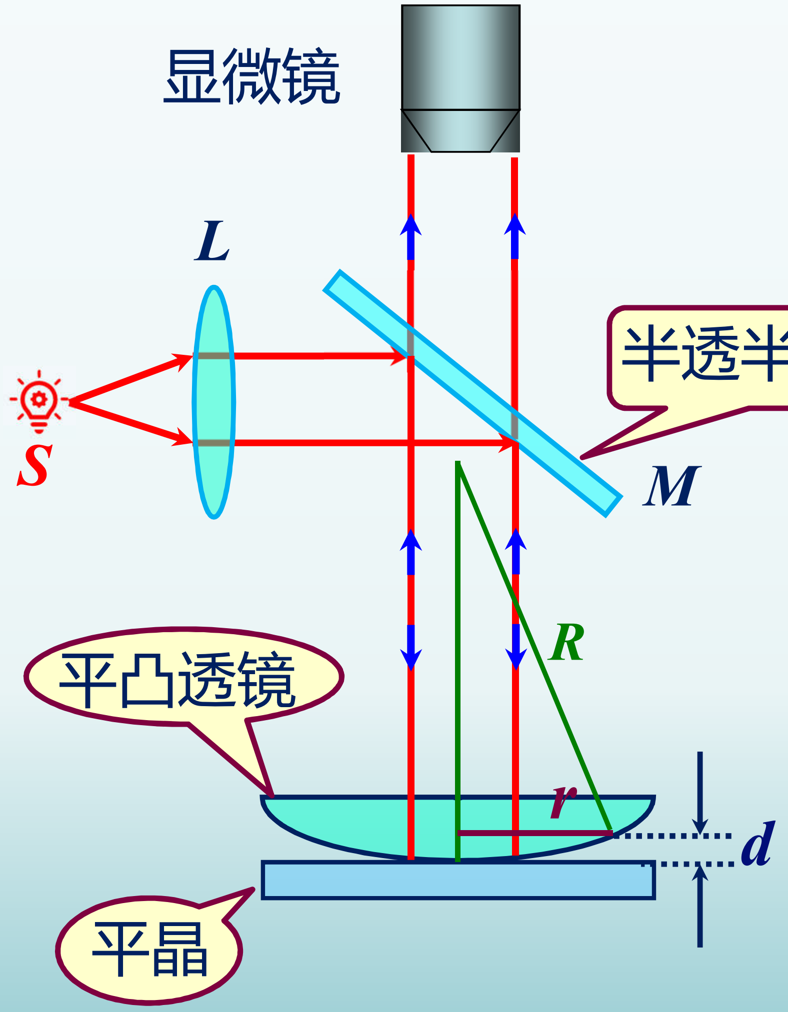
根据几何关系，

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

$$\because R >> d \qquad \therefore r^2 \approx 2Rd$$

等厚干涉

□ 牛顿环



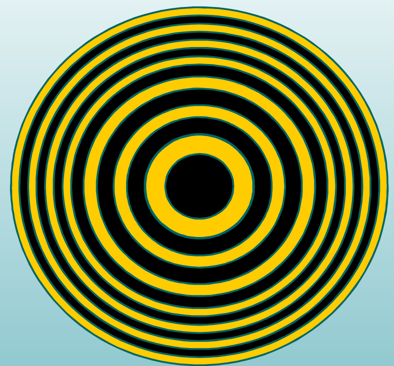
光程差：$\delta = 2d + \dfrac{\lambda}{2}$

根据几何关系，$\therefore r^2 \approx 2Rd$

不同厚度的等厚点的轨迹是以接触点为圆心的一系列同心圆。

条纹形状：

一系列明暗相间的同心圆。



越向内，条纹稀疏

越向外，条纹密集

等厚干涉

越向内，条纹稀疏

越向外，条纹密集　　**为什么会出现如此现象?**

干涉光明暗条件

$$\delta = 2d + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & k = 1,2,3\ldots\ldots \quad \text{明纹中心} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k = 0,1,2\ldots\ldots \quad \text{暗纹中心} \end{cases}$$

$$\because \; r^2 \approx 2Rd$$

干涉环半径 $$r = \begin{cases} \sqrt{\left[(2k-1)R\lambda\right]/2} & k = 1,2,3\ldots\ldots \quad \text{明环} \\ \sqrt{kR\lambda} & k = \boxed{0},1,2\ldots\ldots \quad \text{暗环} \end{cases}$$

等厚干涉

越向内，条纹稀疏

越向外，条纹密集　　**为什么会出现如此现象？**

干涉环半径 $r = \begin{cases} \sqrt{\left[(2k-1)R\lambda\right]/2} & k = 1,2,3\ldots\ldots \quad \text{明环} \\ \sqrt{kR\lambda} & k = \boxed{0},1,2\ldots\ldots \quad \text{暗环} \end{cases}$

相邻两暗环的间距：

$$\Delta r = r_{k+1} - r_k = \sqrt{kR\lambda}\left(\sqrt{1+\frac{1}{k}} - 1\right) \approx \sqrt{kR\lambda}\left(1+\frac{1}{2k} - 1\right) = \frac{\sqrt{R\lambda}}{2\sqrt{k}}$$

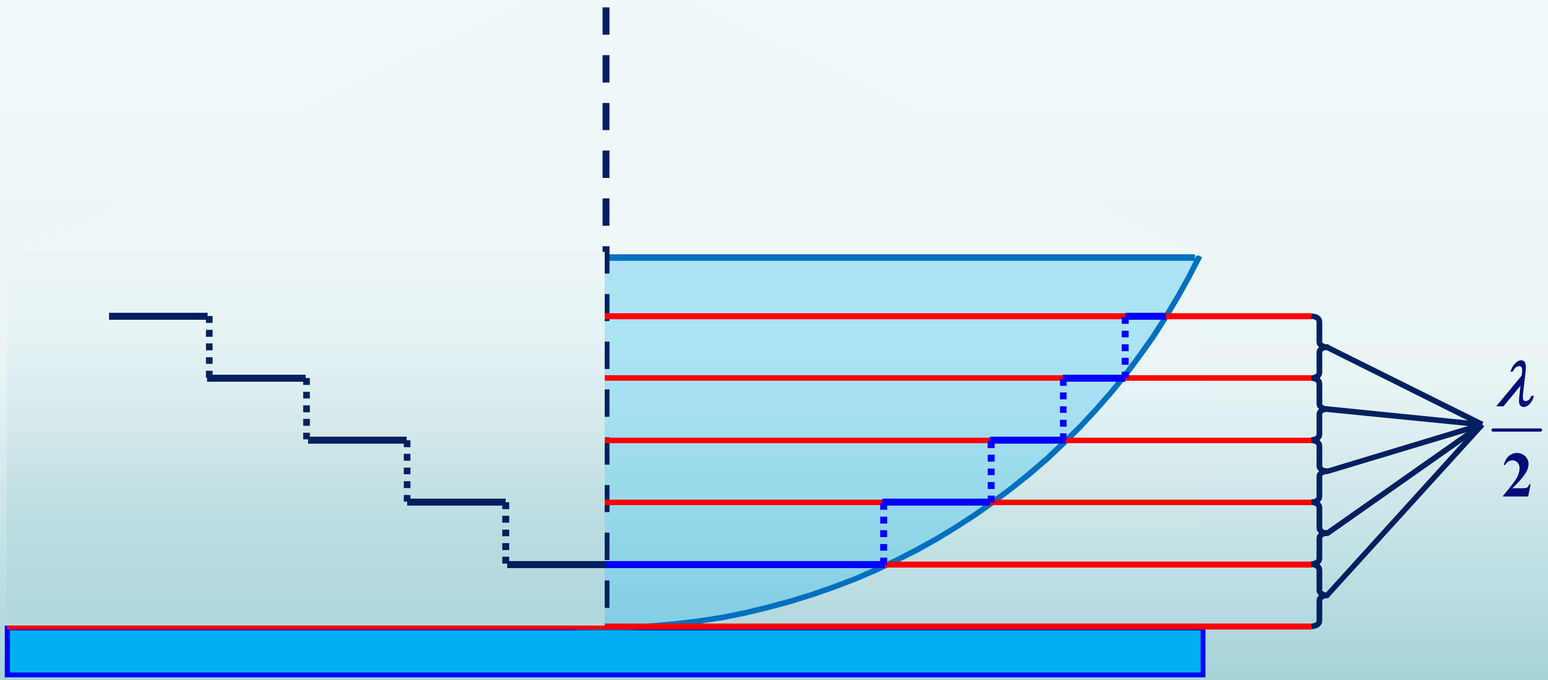
$k\uparrow \longrightarrow \Delta r\downarrow$　圆环中心疏，圆环外围密

等厚干涉

越向内，条纹稀疏

越向外，条纹密集

用等高度线法判定



等厚干涉

牛顿环

条纹内疏外密

等倾干涉圆环

讨 论:

① 越往外，条纹级数越高

$$r^2\uparrow \approx 2Rd\uparrow$$

$$\delta = 2d\uparrow + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\uparrow\lambda \\ (2k\uparrow+1)\dfrac{\lambda}{2} \end{cases}$$

② 牛顿环中心为**暗斑**

越往中心，条纹级数越高

$$\delta = 2d\sqrt{n^2 - n_1^2\sin^2 i} = k\lambda$$

当d一定时　$k\uparrow \longrightarrow i\downarrow \longrightarrow r_{环}\downarrow$

等倾干涉圆环中心可明可暗

也可以不为条纹中心

等厚干涉

条纹内疏外密

讨 论:

牛顿环 等倾干涉圆环

③ 牛顿环和等倾干涉圆环，二者透射光的干涉与反射光的干涉明暗互补。能量守恒

牛顿环有什么用?

等厚干涉

- **牛顿环的应用**

暗环公式：$r=\sqrt{kR\lambda}$

① 测透镜球面的半径R

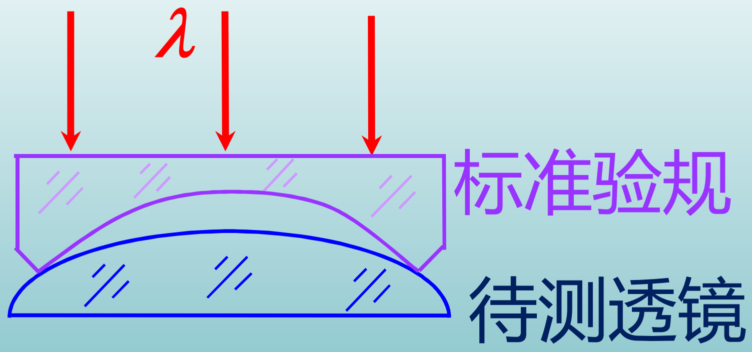
已知λ，测$\boxed{m、}$ r_{k+m}、 r_k $\longrightarrow R=\dfrac{r_{k+m}^2-r_k^2}{m\lambda}$

两暗环的级数差

② 测波长λ

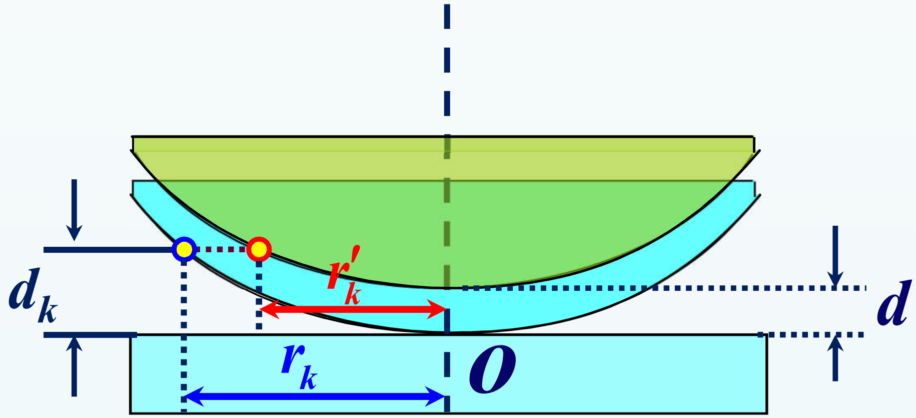
已知R，测 m、 r_{k+m}、 $r_k \longrightarrow \lambda=\dfrac{r_{k+m}^2-r_k^2}{mR}$

③ 检验透镜球表面品质



等厚干涉

例. 关于牛顿环，平凸透镜缓慢向上平移到距平晶d的过程中，条纹的变化？



解：考虑第 k 级明环：$2d_k + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$

平凸透镜向上平移时，空气膜的厚度增大，

与 d_k 对应的厚度向中心移进 ⟶ 第 k 级明环向中心逐渐缩进

区别：等倾干涉中，膜厚d增加 ⟶ 从中心往外冒条纹

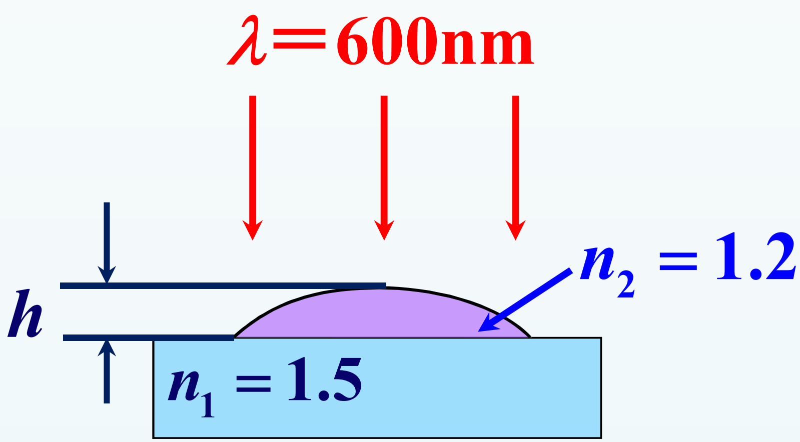
平凸透镜向上平移$\lambda/2$，就有一条明纹移过某观察点。

向上平移d的过程中，有$2d/\lambda$条明纹移过某观察点。

对暗纹也成立

等厚干涉

例. 油膜问题。如图所示，h=800nm，问：(1)干涉条纹的分布；(2) 可看到几条明纹；(3)明纹处油膜的厚度？



解：明纹处油膜的厚度满足：

$$\delta = 2n_2 d = k\lambda, \quad k = 0,1,2,\cdots$$

$$\left.\begin{array}{l} k = 0,\ d_0 = 0 \\ k = 1,\ d_1 = 250\text{nm} \\ k = 2,\ d_2 = 500\text{nm} \\ k = 3,\ d_3 = 750\text{nm} \end{array}\right\} \text{可观察到4条明纹}$$

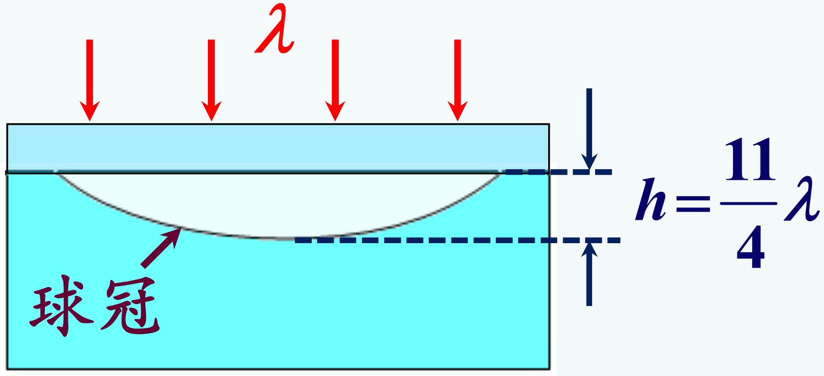
$$k = 4,\ d_4 = 1000\text{nm} > h$$

干涉条纹为明暗相间的同心圆环

若油滴继续展开，条纹如何？

等厚干涉

例. 大致画出装置反射光的干涉暗纹，并标出级次。



解： 暗条纹条件 $\delta = 2d + \dfrac{\lambda}{2} = (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} \quad k = 0,1,2,\cdots$

凹面与平晶间等厚线轨迹为圆 $\longrightarrow$ 干涉条纹为一系列同心圆环

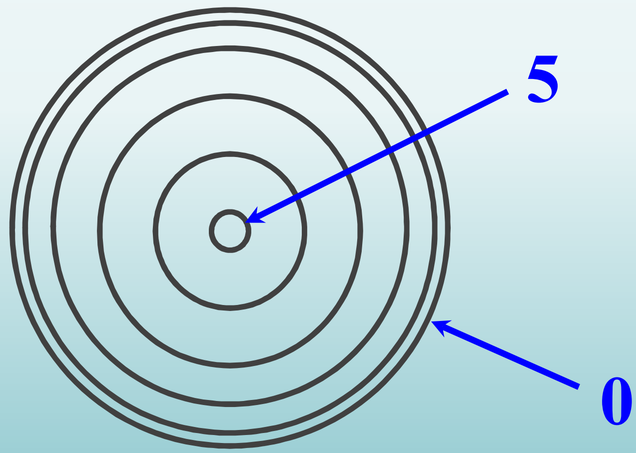
$k = 0,\ \boxed{d_0 = 0}$ $\longrightarrow$ 边缘处

$k = 1,\ d_1 = \lambda/2$

$\vdots$

$k = 5,\ d_5 = 5\lambda/2$

$k = 6,\ d_6 = 3\lambda > h$ 不出现



等厚干涉

□ 迈克尔逊干涉仪

Albert Abraham Michelson

(1852~1931)

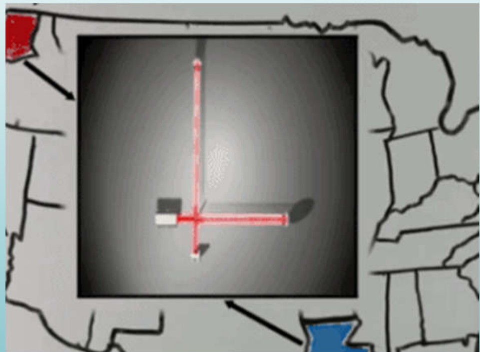
- 美国物理学家
- 光速测定的国际中心人物
- 为验证以太漂移，发明了迈克尔逊干涉仪

1907年诺贝尔奖

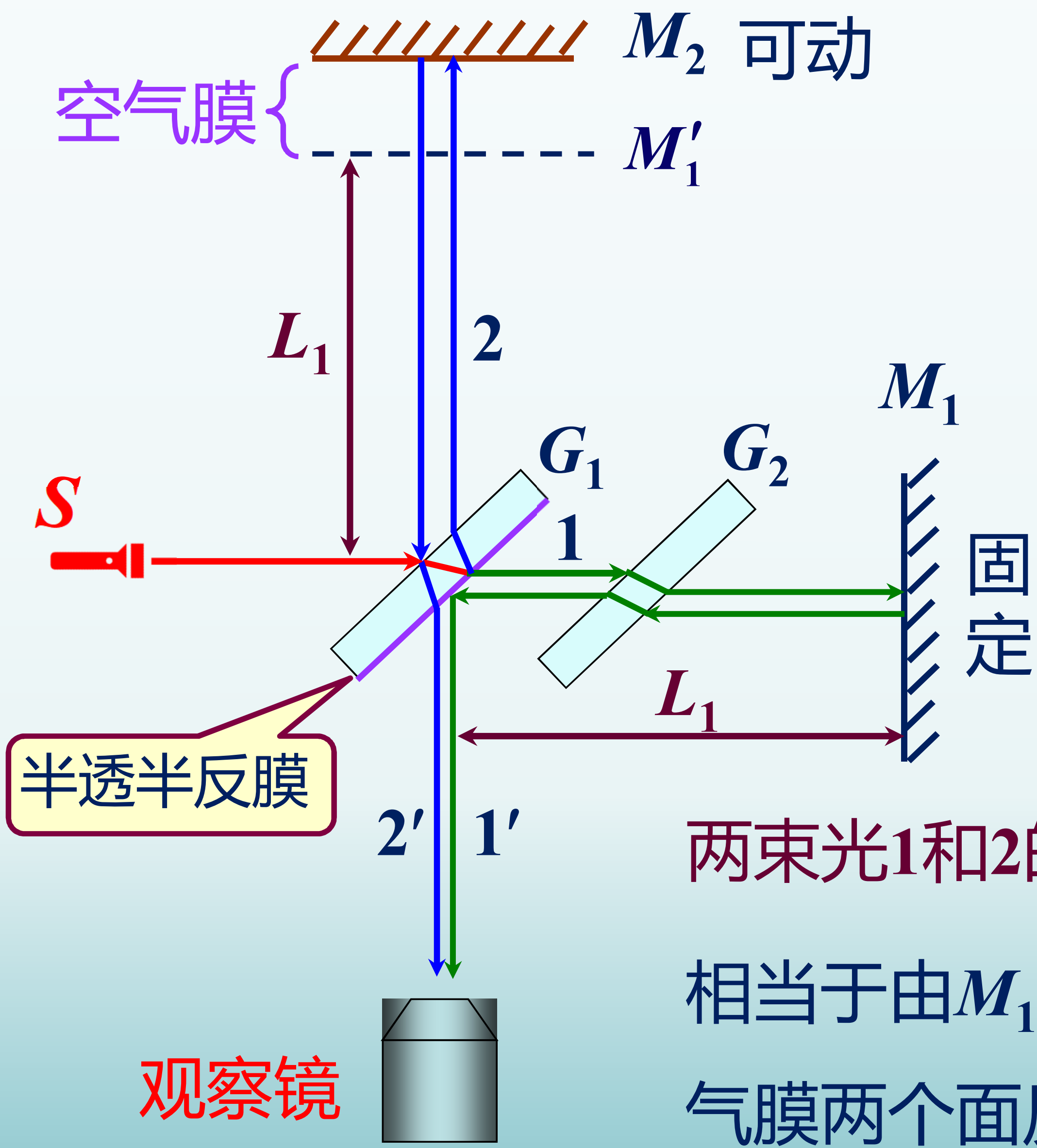
迈克尔逊--莫雷实验

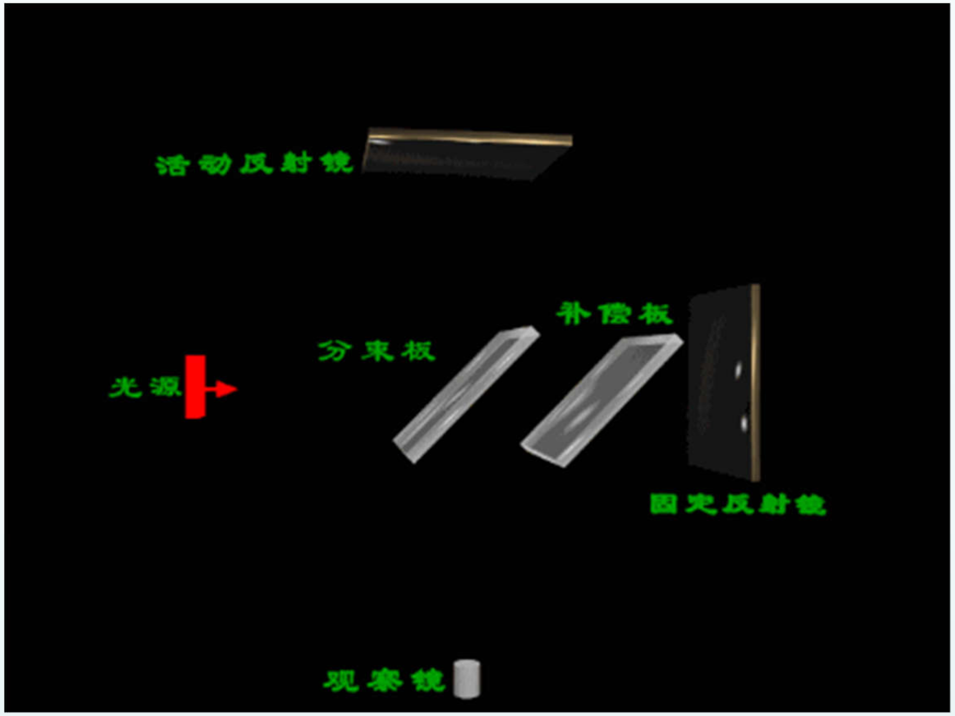
著名的否定性实验

⇨ 动摇了经典物理的根基



等厚干涉



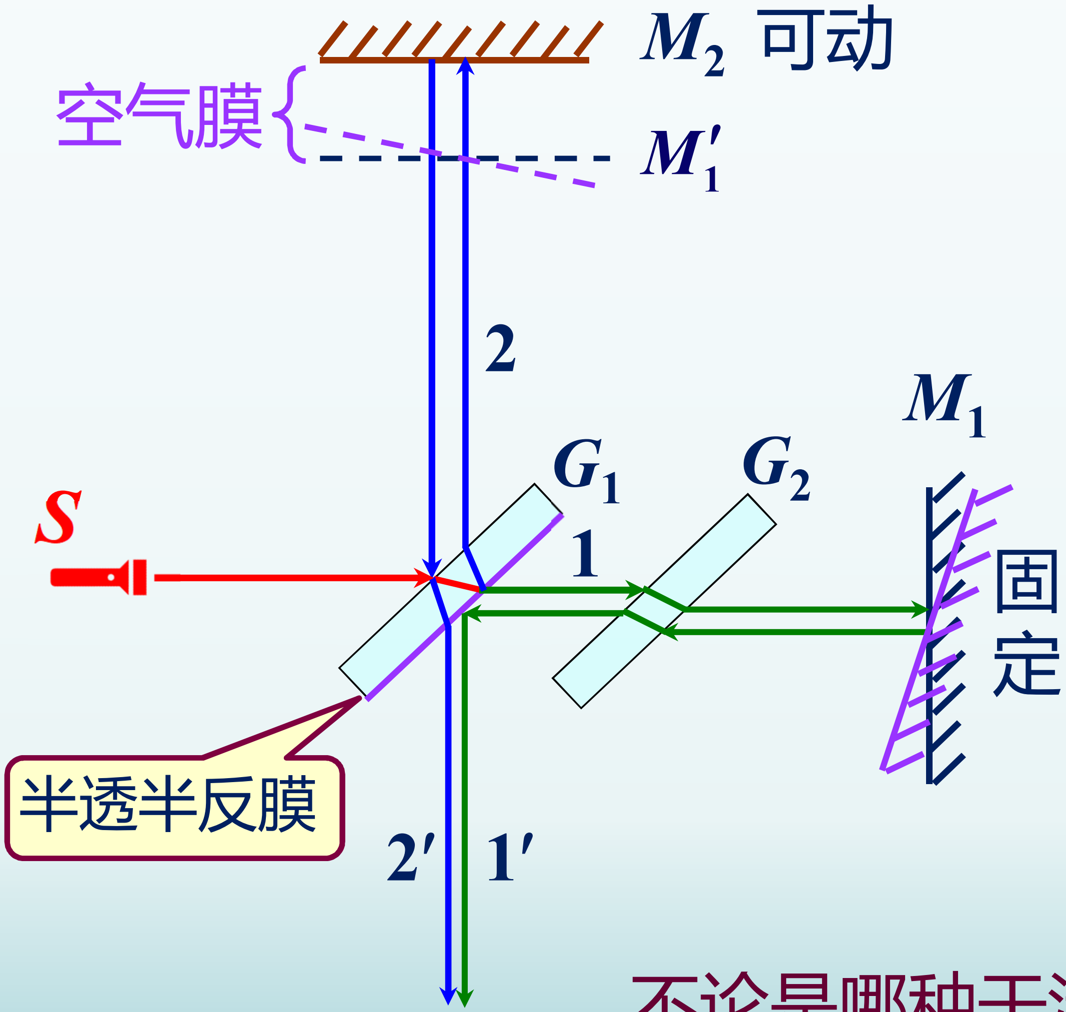


两束光1和2的光程差?

相当于由M_1'和M_2形成的空气膜两个面反射光的光程差。

薄膜干涉

等厚干涉



薄膜干涉

当$M_1 \perp M_2$时$\longrightarrow M_2 // M_1'$

M_2与M_1'形成厚度均匀的薄膜

——等倾条纹

当$M_1 \not\perp M_2$时$\longrightarrow M_2 \not\parallel M_1'$

M_2与M_1'形成空气劈尖

——等厚条纹

不论是哪种干涉条纹，

测距原理 当M_2发生微小移动$\longrightarrow$光程差改变$\longrightarrow$条纹移动

等厚干涉

测距原理 当M_2发生微小移动→光程差改变→条纹移动

光程差：$\delta = 2d = k\lambda$　若δ改变λ，或M_2移动$\lambda/2$;→一条明纹移动

(暗纹也同样适用)

当$M_2 // M_1'$时→等倾干涉→条纹为一系列同心圆环

M_2每平移$\lambda/2$时，将看到一个条纹从中心**冒出**或**陷入**。

冒出→d增加　陷入→d减小

当$M_2 \cancel{//} M_1'$时→等厚干涉→条纹为$\boxed{\text{等间距直线}}$→平行于M_2与M_1'的交线

M_2每平移$\lambda/2$时，一条明（或暗）条纹将移过视场中某一固定直线。

等厚干涉

测距原理　当M_2发生微小移动→光程差改变→条纹移动

当$M_2 \cancel{\parallel} M_1'$ 时→等厚干涉→条纹为等间距直线→平行于M_2与M_1'的交线

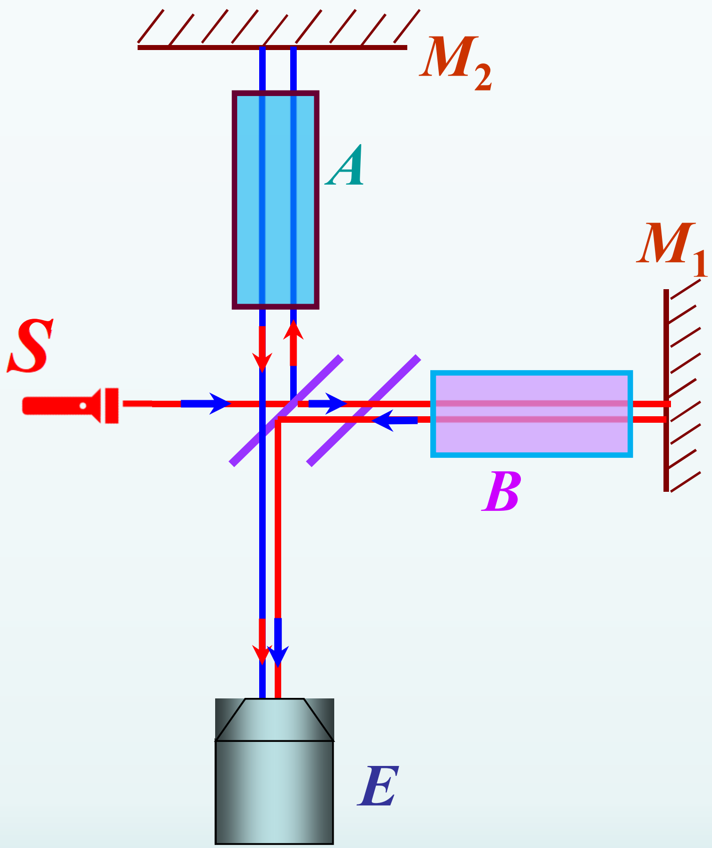
M_2每平移$\lambda/2$时，一条明（或暗）条纹将移过视场中某一固定直线。

条纹移动的数目N与M_2镜移动距离相关

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

等厚干涉

例1. 在迈克耳孙干涉仪的两臂中分别引入 10 厘米长的玻璃管 A、B，均为真空状态，在其中一个玻璃管中充以一个大气压的空气，过程中观察到107.2 条条纹移动，所用波长为546nm。求空气的折射率？



解： 设空气的折射率为n

空气冲入前后光程差的改变：

$$\Delta\delta = 2nl - 2l = 2l(n-1)$$

条纹移动一条时，对应光程差的变化为一个波长，

等厚干涉

设空气的折射率为n

空气冲入前后光程差的改变：

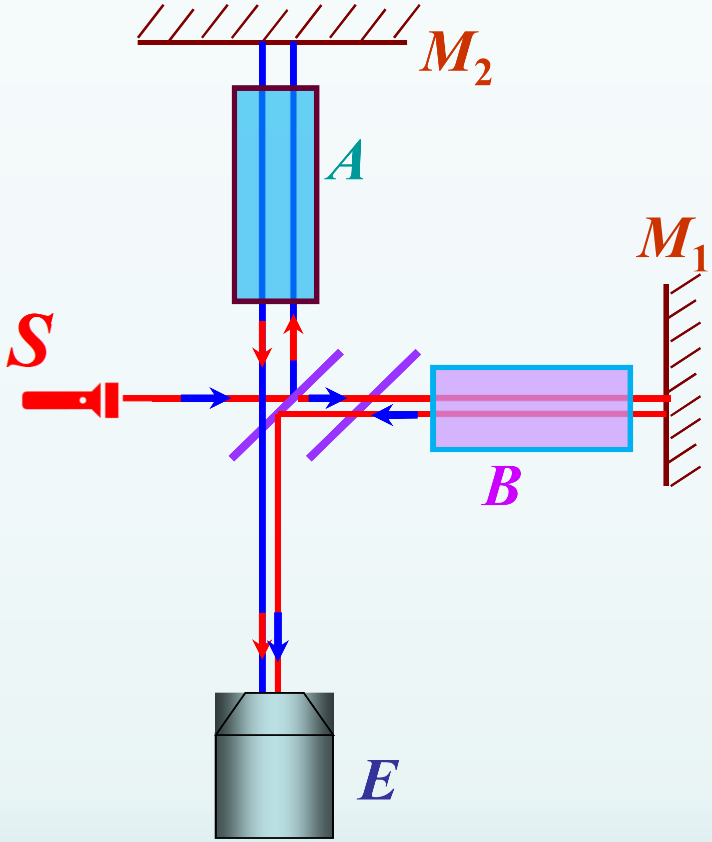
$$\Delta\delta = 2nl - 2l = 2l(n-1)$$

条纹移动一条时，对应光程差的变化为一个波长，

当观察到107.2 条移过时，光程差的改变量满足：

$$2l(n-1) = 107.2 \times \lambda$$

$$n = \frac{107.2 \times \lambda}{2l} + 1 = 1.0002927$$



等厚干涉

例2. 在迈克耳孙干涉仪的一条光路中，放入一折射率为n厚度为d的透明薄片，放入后这条光路的光程改变了

A、$2(n-1)d$　　B、$2nd$

C、$2(n-1)d+\lambda/2$　　D、nd

例3. 在迈克耳孙干涉仪的可动反射镜移动d的过程中，若观察到干涉条纹移动了N条，则所用光波的波长= $2d/N$ 。

等厚干涉

例．波长为λ_1的单色光照射劈尖，在反射光干涉条纹中A点为暗纹，若连续改变入射光波长到$\lambda_2(>\lambda_1)$时，A点再次变为暗纹，求A点的空气薄膜厚度。

解：设A点处空气薄膜的厚度为d

$$\left.\begin{array}{l}\delta = 2d + \dfrac{\lambda_1}{2} = (2k+1)\dfrac{\lambda_1}{2} \longrightarrow 2d = k\lambda_1 \\ \text{改变波长后有：}\quad 2d = (k-1)\lambda_2\end{array}\right\} k\lambda_1 = (k-1)\lambda_2$$

$$k = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \qquad d = \frac{1}{2}k\lambda_1 = \frac{1}{2}\frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

作业：13T7 ~T14

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. 每周四交上周的作业。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。