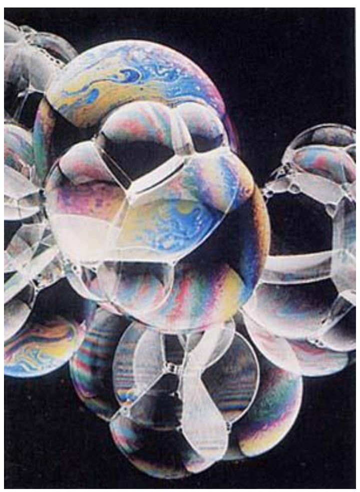
干涉

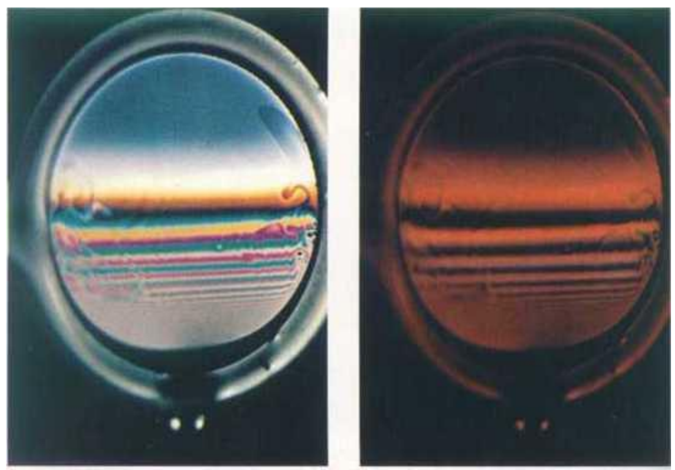
- 双光干涉(分波阵面法)
  - 杨氏双缝干涉
  - 菲涅尔双棱镜干涉
  - 洛埃境干涉
- 薄膜干涉(分振幅法)
  - 等厚干涉
    - 劈尖干涉
    - 牛顿环干涉
    - 迈克尔逊干涉仪
  - 等倾干涉
    - 迈克尔逊干涉仪
    - 平行平面薄膜干涉

§ 3　分振幅法产生的干涉

薄 膜 干 涉

薄膜是指：油膜、肥皂膜、透明的电介质薄板、夹在两块玻璃板之间的空气薄层或其它流体薄层等。

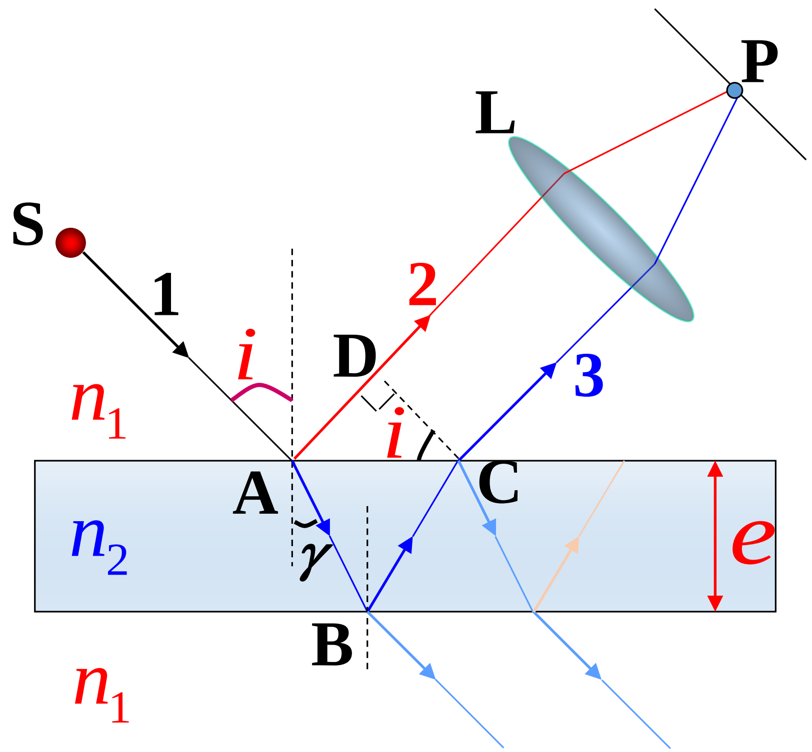




B. Interference produced by reflecting white light from a soap film. The picture on the right shows the pattern produced by red light.

一、相干光束 光程差 薄膜干涉公式

光照射到厚度为e的均匀透明介质，在薄膜的上下两表面产生的反射光束2、3，满足相干光的条件，经透镜汇聚，在焦平面上产生干涉。



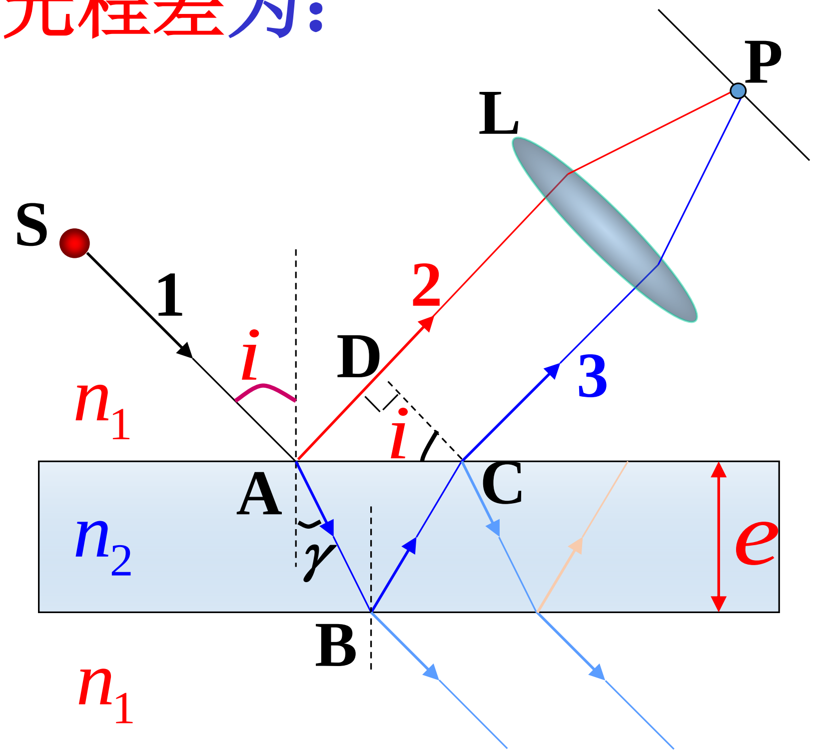
光束2、3的光程差：

从焦点 P 到 CD 波面，两条光的光程差为0，则在不考虑半波损失时光束2、3的光程差为：

不考虑半波损失时光束2、3的光程差为：

$$\delta = n_2(\overline{AB}+\overline{BC}) - n_1\cdot\overline{AD}$$

$$= 2n_2 e/\cos\gamma - 2n_1 e\tan\gamma\sin i$$



$$\overline{AB} = \overline{BC} = e/\cos\gamma$$

$$\overline{AD} = \overline{AC}\sin i$$

$$= 2e\cdot\tan\gamma\cdot\sin i$$

折射定律 $n_1\sin i = n_2\sin\gamma$

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

若半波损失而有附加半波长：

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

干涉的加强减弱条件

$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i}\ \boxed{+\frac{\lambda}{2}} = \begin{cases} k\lambda & \text{加强} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{减弱} \end{cases} \qquad (k = 0,1,2\cdots)$$

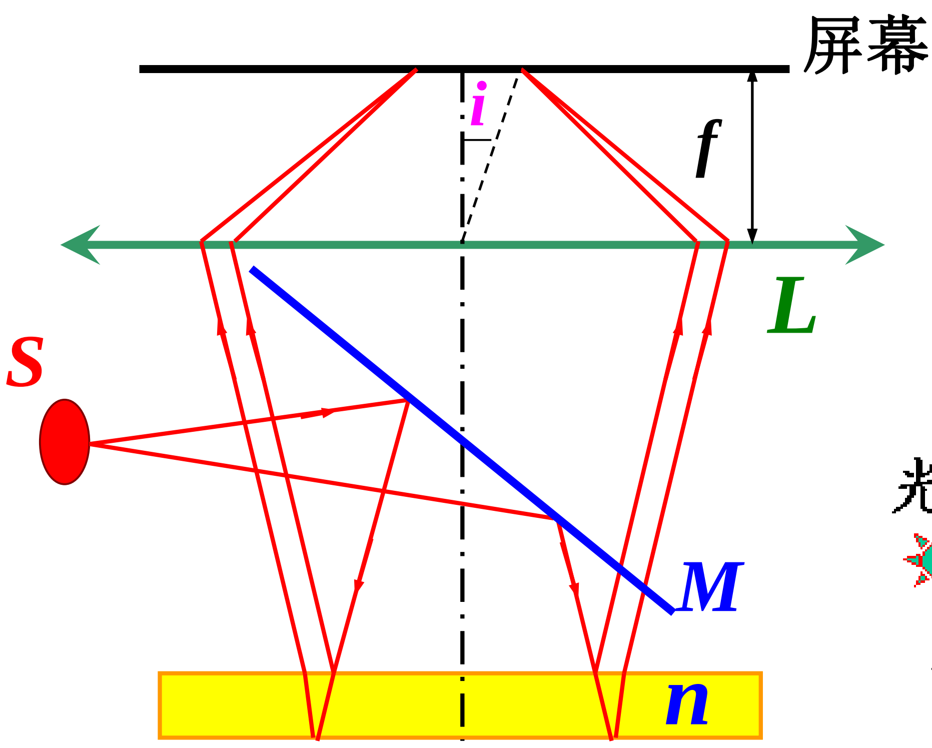
两种特殊情况

- 1. 厚度均匀的膜（e处处相等）---- 等倾干涉

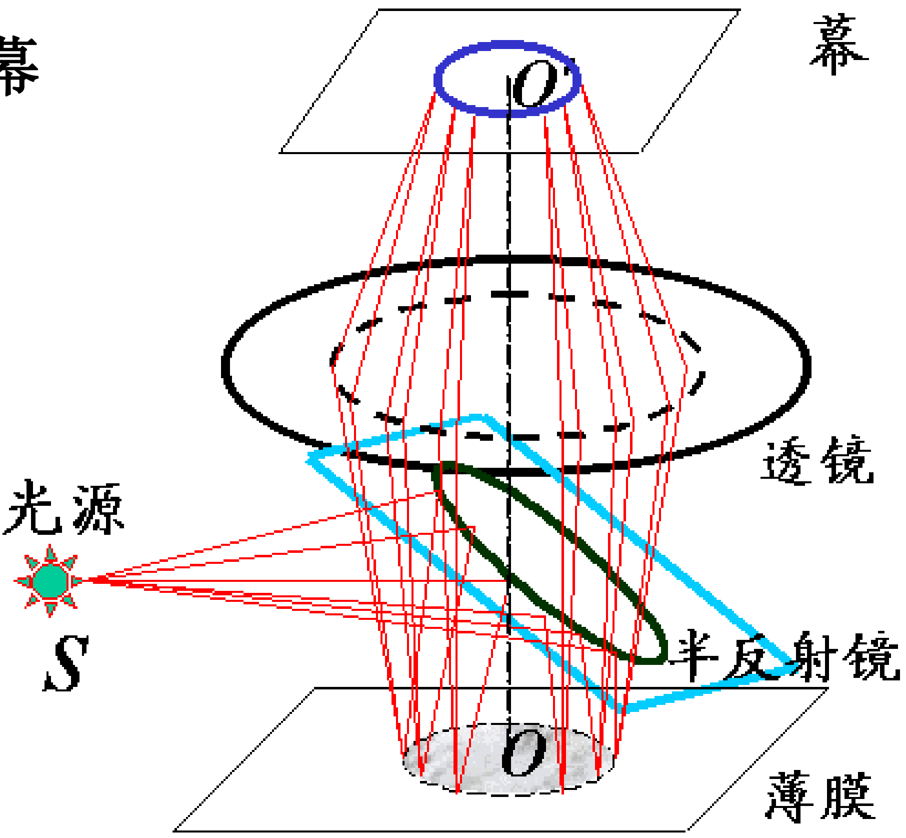
$\boxed{i\ \text{相同} \rightarrow \delta\text{相同} \rightarrow \text{同一条纹}}$

- 2.厚度很小的不均匀薄膜----等厚干涉

二、 等倾干涉

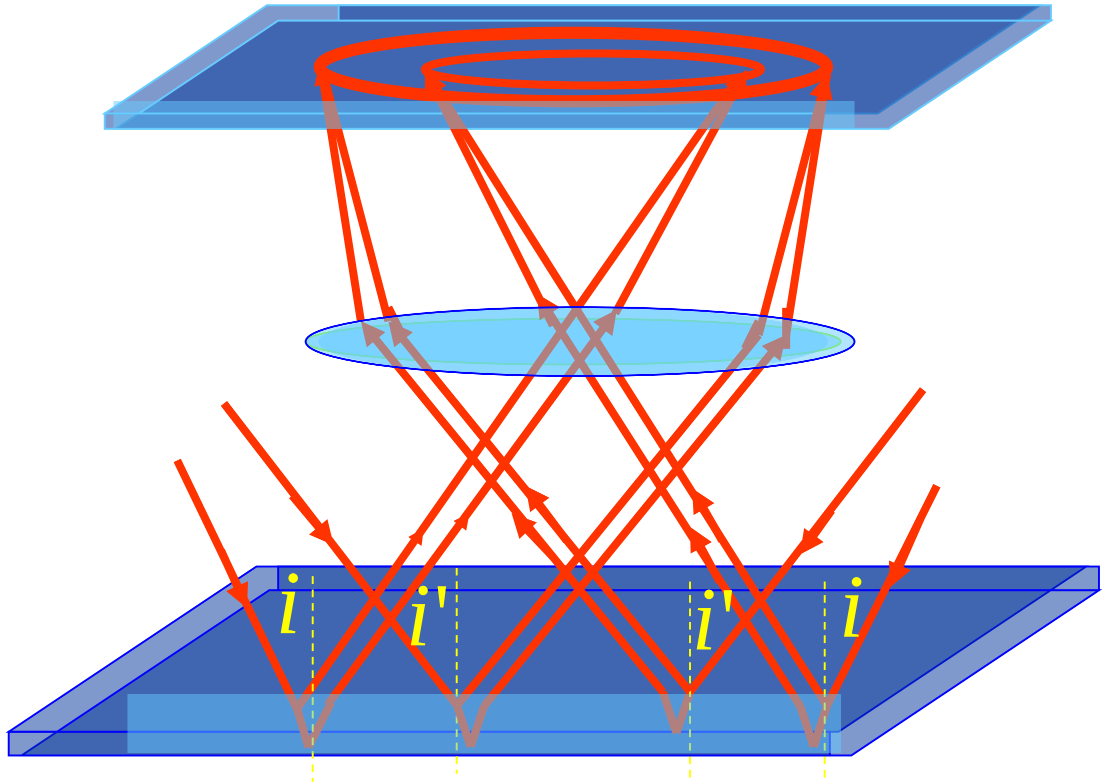


平面图



透视图

观察等倾条纹的实验装置和光路

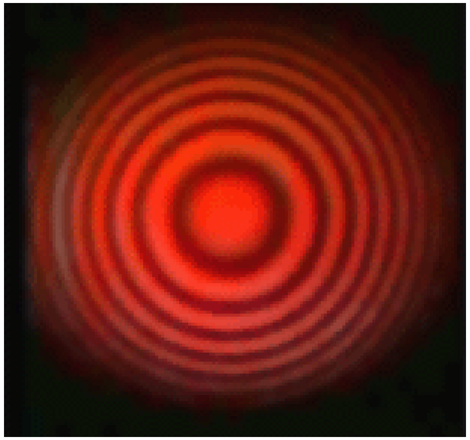


相同倾角的光在透镜焦平面上会聚于同一圆环上，故称等倾干涉

（等倾干涉条纹）

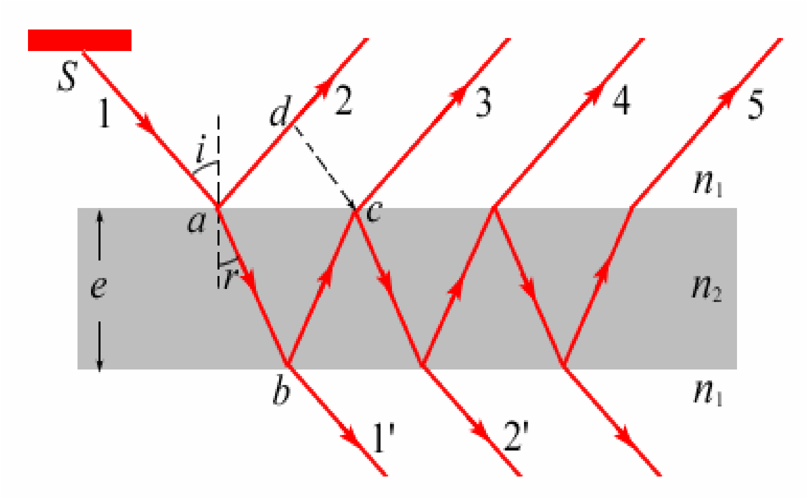
等倾干涉条纹是一系列

内稀外密的同心圆环



•透射光与反射光的干涉环互补

反射光干涉



透射光干涉

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

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

某入射角入射得到反射光干涉明纹，
则透射光干涉为暗纹。

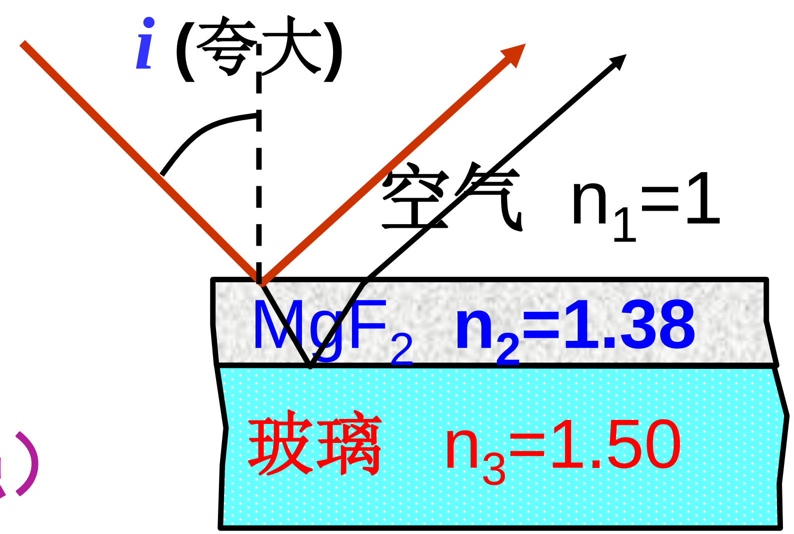
镜头颜色为什么发紫?

等倾干涉的应用：增透膜和高反射膜

1. 单层增透膜 --使膜上下表面的反射光满足干涉减弱

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

$n_1 < n_2 < n_3$



❖光程差 $\delta = 2ne$

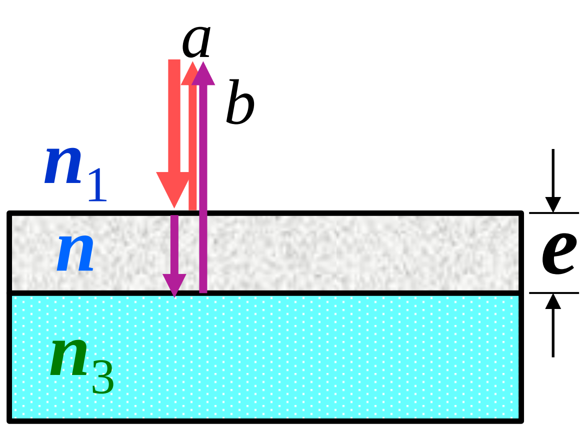
b光线比a光线多走的光程为：
在膜层中一来一回总共为$2ne$

❖反射光相消（透射光加强）

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

$$\therefore e = \frac{2k+1}{4n}\lambda$$

实际 $i \approx 0$，垂直入射



最小膜厚 $e_{\min} = \dfrac{\lambda}{4n}$ （$k = 0$）

2. 多层高反射膜

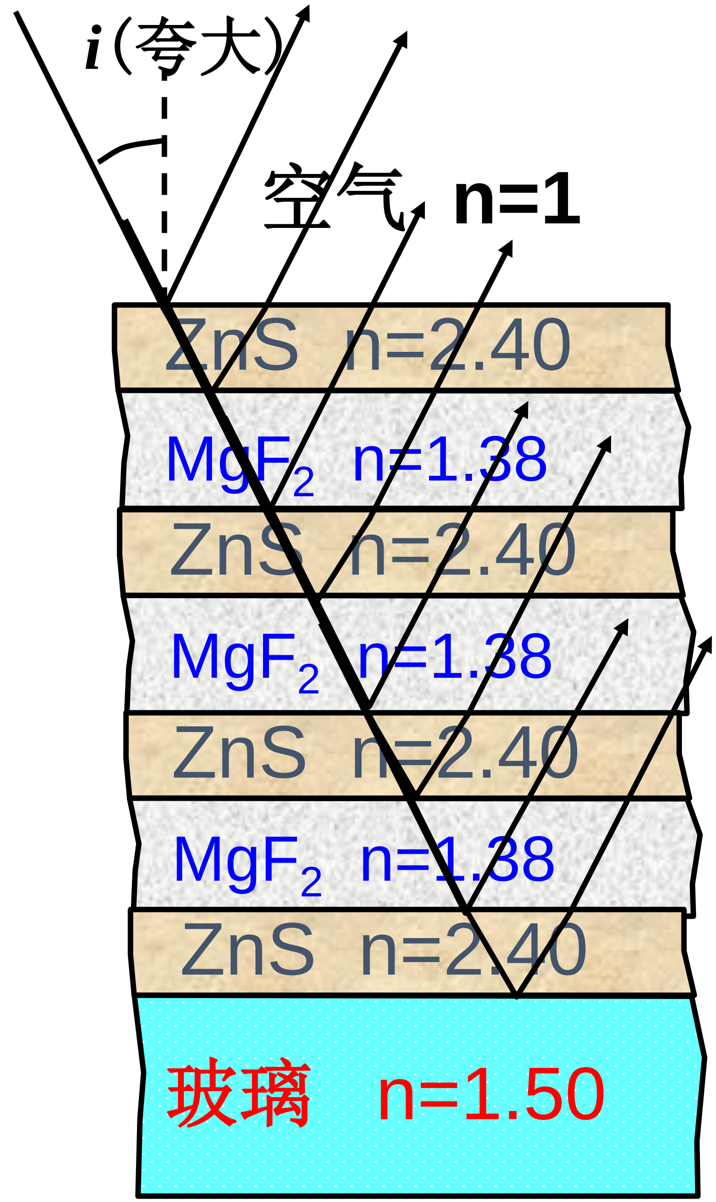
使每层膜上下两表面的反射光满足干涉加强，增强反射光。

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

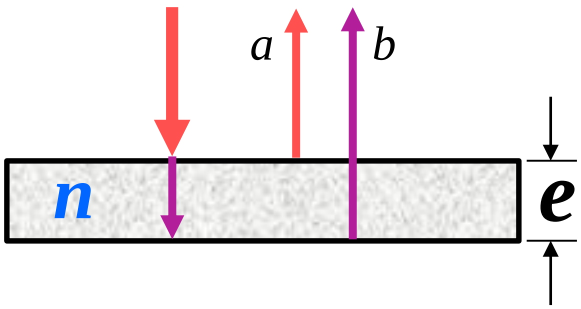
两反射光有附加半波长光程差，垂直入射，反射光干涉加强条件：

$$2ne + \frac{\lambda}{2} = k\lambda, k = 1,2,3\cdots$$

反射光增强，透射光减弱



例：白光垂直照射到空气中一厚度为380nm的肥皂膜上，肥皂膜折射率n=1.33,问肥皂膜正面是什么颜色？背面呈什么颜色？



解：正面所看到的是满足反射加强的颜色：

$$\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2} = 2\times1.33\times380 + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

可见光范围（400-700nm)内：　K取2和3

λ=404.32nm　（紫）及 673.87nm(红）

背面所看到的是满足透射加强（反射减弱）的颜色：

$$2\times1.33\times380 + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\lambda$$　λ=505. 4 nm（兰绿）

所以水膜正面是紫红色，背面是兰绿色。

三、厚度很小的不均匀薄膜----等厚干涉

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

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

e同→δ同→k同, 同一级条纹

等厚干涉

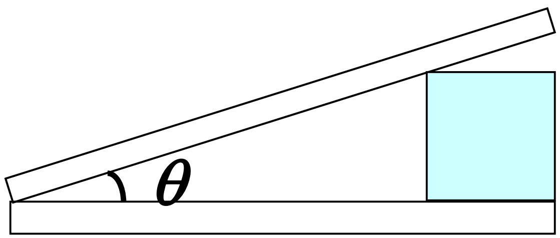
薄膜上厚度相同的点对应同一干涉条纹

1. 劈尖膜干涉
2. 牛顿环

21:57:20

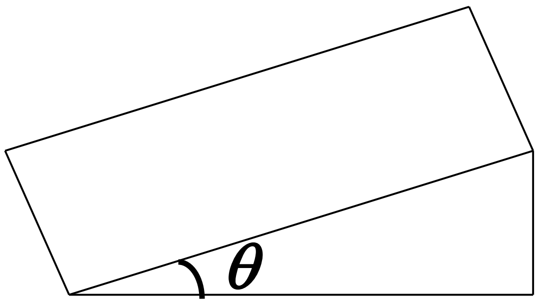
1.劈尖膜干涉

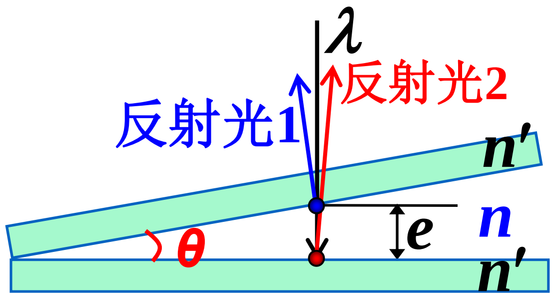
两块平面玻璃片，一端接触，另一端用一薄片隔开，两玻璃片间形成劈尖状空气层，便是空气劈尖。劈尖状的介质薄膜便是介质劈尖。



夹角很小

$\theta \approx 10^{-4} \sim 10^{-5}$ rad



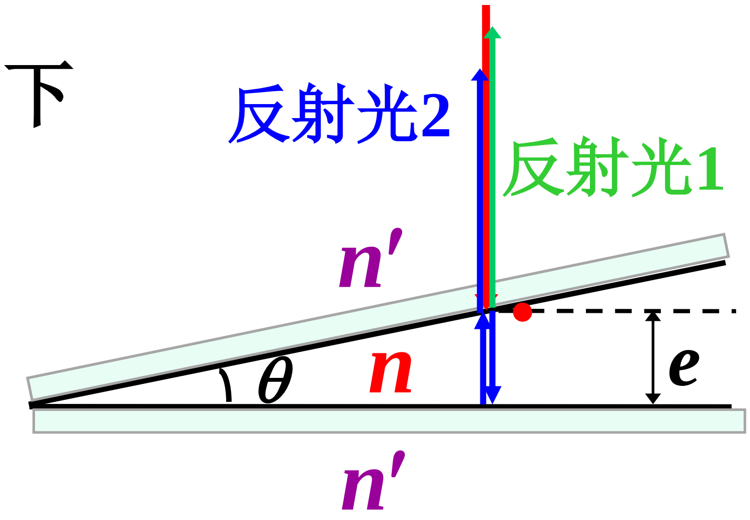


光束垂直入射到劈尖：

劈尖夹角极小，e很薄，劈间膜上、下表面的反射光路简化为：

21:57:20

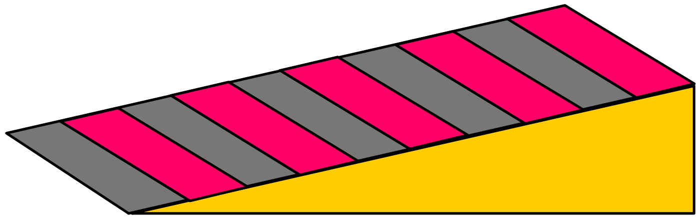
光束垂直入射，劈间膜上、下表面的反射光路图：



反射光1、 2的光程差：

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

（1）条纹形状



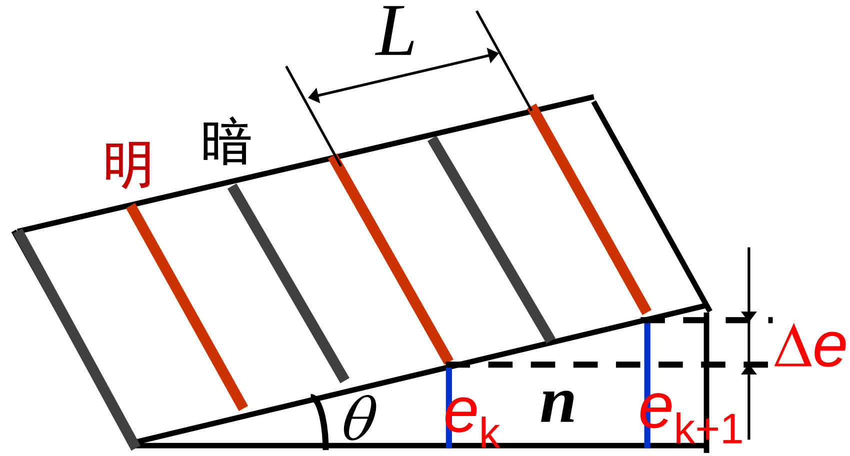
一组平行于棱边的直条纹！

空气劈尖： 棱边处 $e=0$，暗纹

（2）条纹间距

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

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



$$2n\Delta e=\lambda$$

$$L\sin\theta=e_{k+1}-e_k=\Delta e$$

$$\sin\theta\approx\theta$$

$$\boxed{L=\frac{\lambda}{2n\theta}}$$

空气劈尖$n=1$

θ大，条纹密而不可辨

∴必需“尖”！

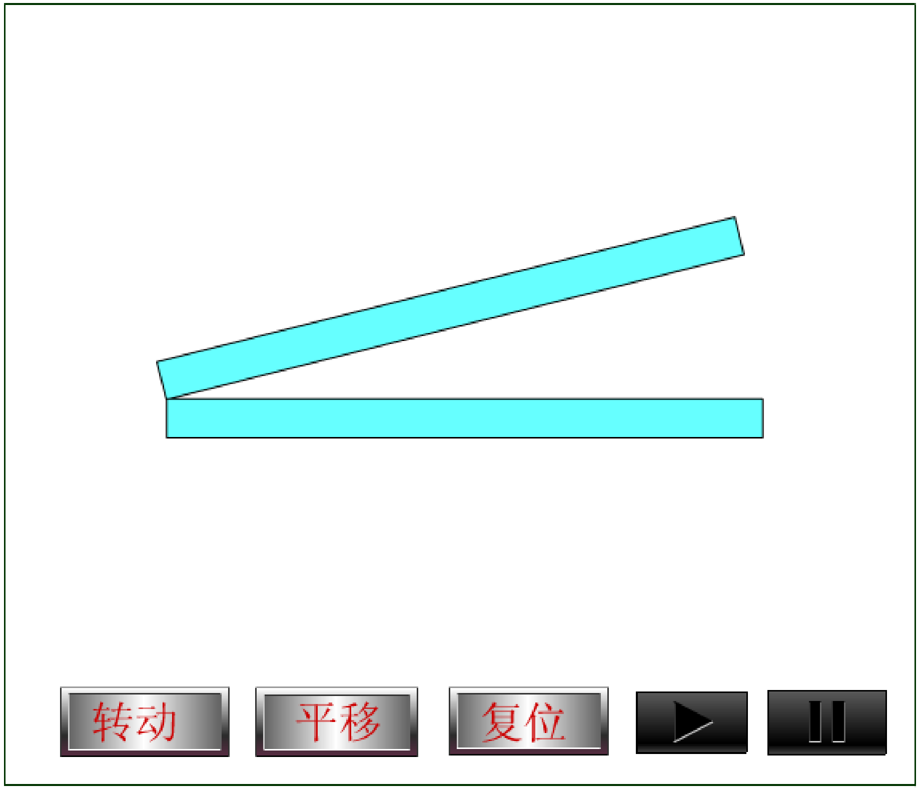
相邻条纹的光程差为一个波长!

21:57:20

（3） 劈尖干涉条纹的变化

每一条纹对应劈尖内的一个厚度，当此厚度位置改变时，对应的条纹随之变化。

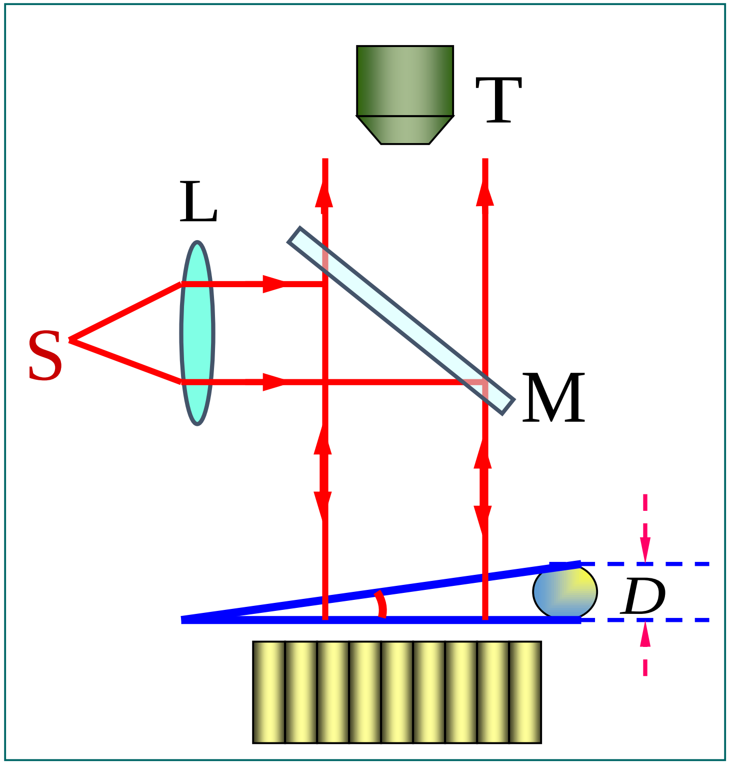
移动和间隔?



- 上膜上移：条纹向棱边移动，间距不变
- 楔角改变： θ变大 变密 θ变小 变疏

（4）劈尖干涉的应用

1）测微小的厚度、角度、折射率、波长

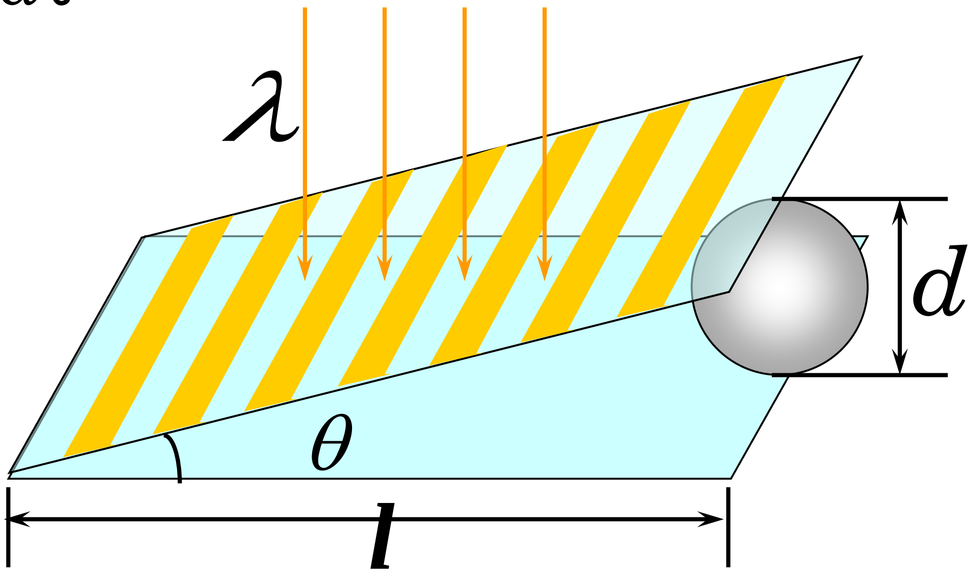


例：用波长为589.3nm的钠黄光垂直照射长 l=20mm 的空气劈尖，测得条纹间距为 $1.18\times10^{-4}\text{m}$,求：钢球直径d。

解： $d = l\theta$　　又：$\theta = \dfrac{\lambda}{2nL}$

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

$$= 5\times10^{-5}\text{m}$$



例　制造半导体元件时，常需精确测定硅片上镀有二氧化硅薄膜的厚度,可用化学方法把薄膜的一部分腐蚀成劈尖形,用波长λ =589.3nm的单色光从空气垂直照射,二氧化硅的折射率 n=1.5，硅的折射率为 3.42,若观察到如图所示的7条明纹。问二氧化硅膜的厚度d =?

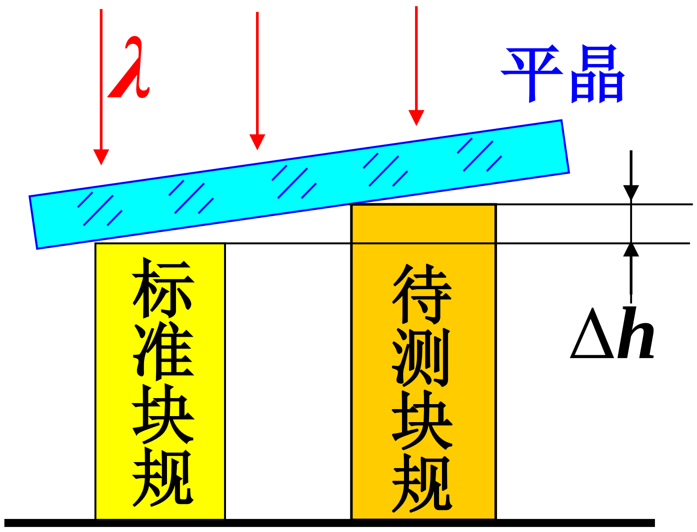
解：上下两面都有半波损失，互相抵消，明纹处的光程差为:

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

棱边处 d=0 , 对应于 k=0 的明纹, 所以厚度为 d 处的明纹对应于 k=6 , 故二氧化硅膜的厚度为:

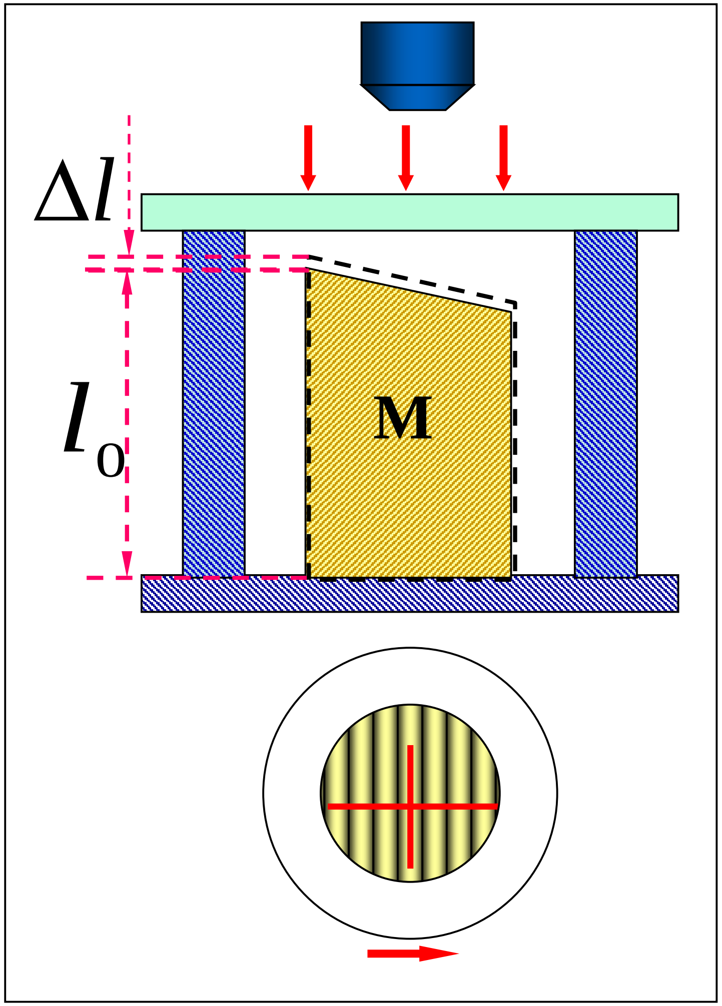
$$d = \frac{6\lambda}{2n} = \frac{6\times 589.3\times 10^{-9}}{2\times 1.5} = 1.1786\times 10^{-6}\,\mathrm{m}$$

2) 测微小的长度变化



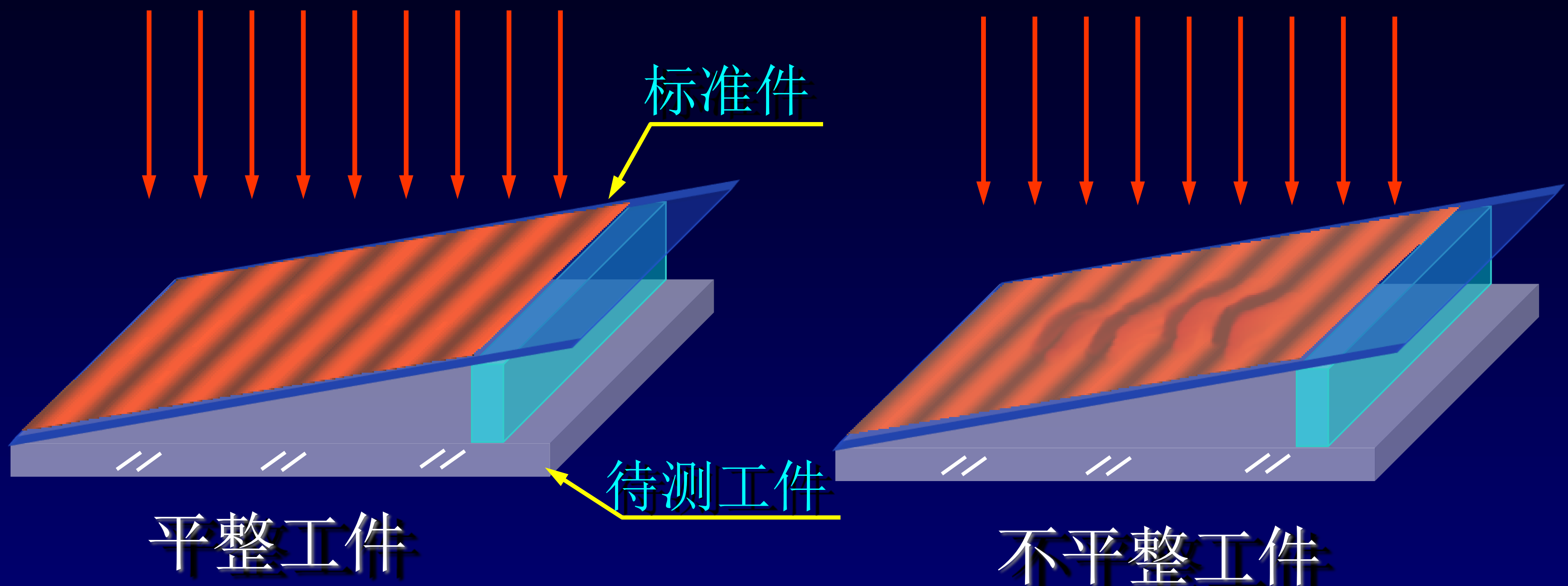
M顶面与平晶形成劈尖。$T\uparrow$, M 膨胀微小 Δl，条纹平行移动→测得热膨胀系数。

干涉膨胀仪



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

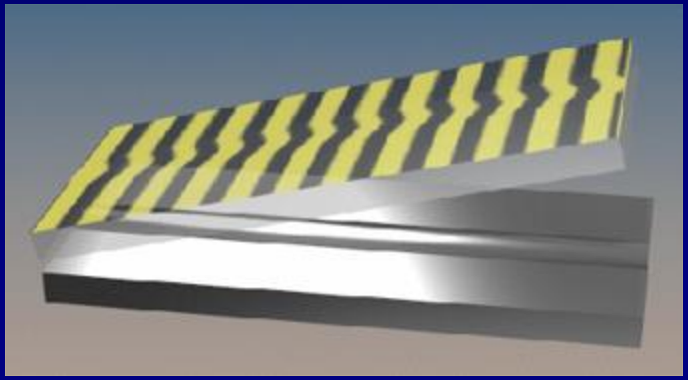
3）检验光学元件表面的平整度



条纹向棱边弯曲:待测平面上有沟槽

反之，待测平面上有凸起

凹槽深度？凸起厚度？



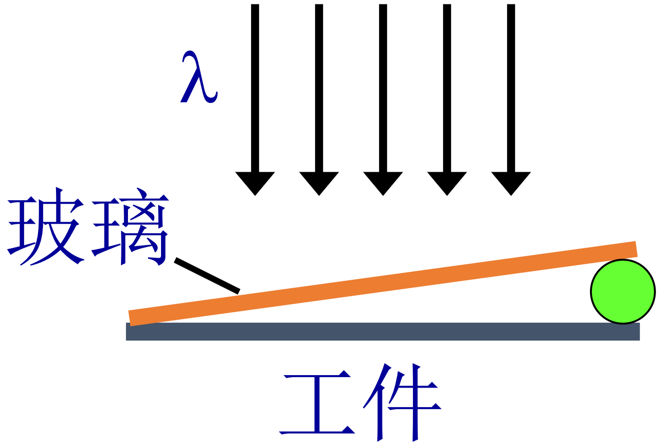
例：如图劈尖干涉条纹中，每一条纹弯曲部分的顶点恰与其左边条纹直线部分的连线相切, 则工件表面与条纹弯曲处对应的部分　　(C)

(A)凸起且高度为λ/4

(B)凸起且高度为λ/2

(C)凹陷且深度为λ/2

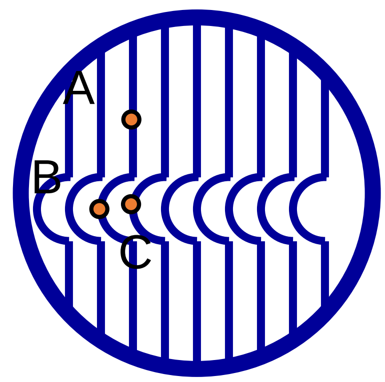
(D)凹陷且深度为λ/4



解：A、B两点下的膜厚相等---凹陷

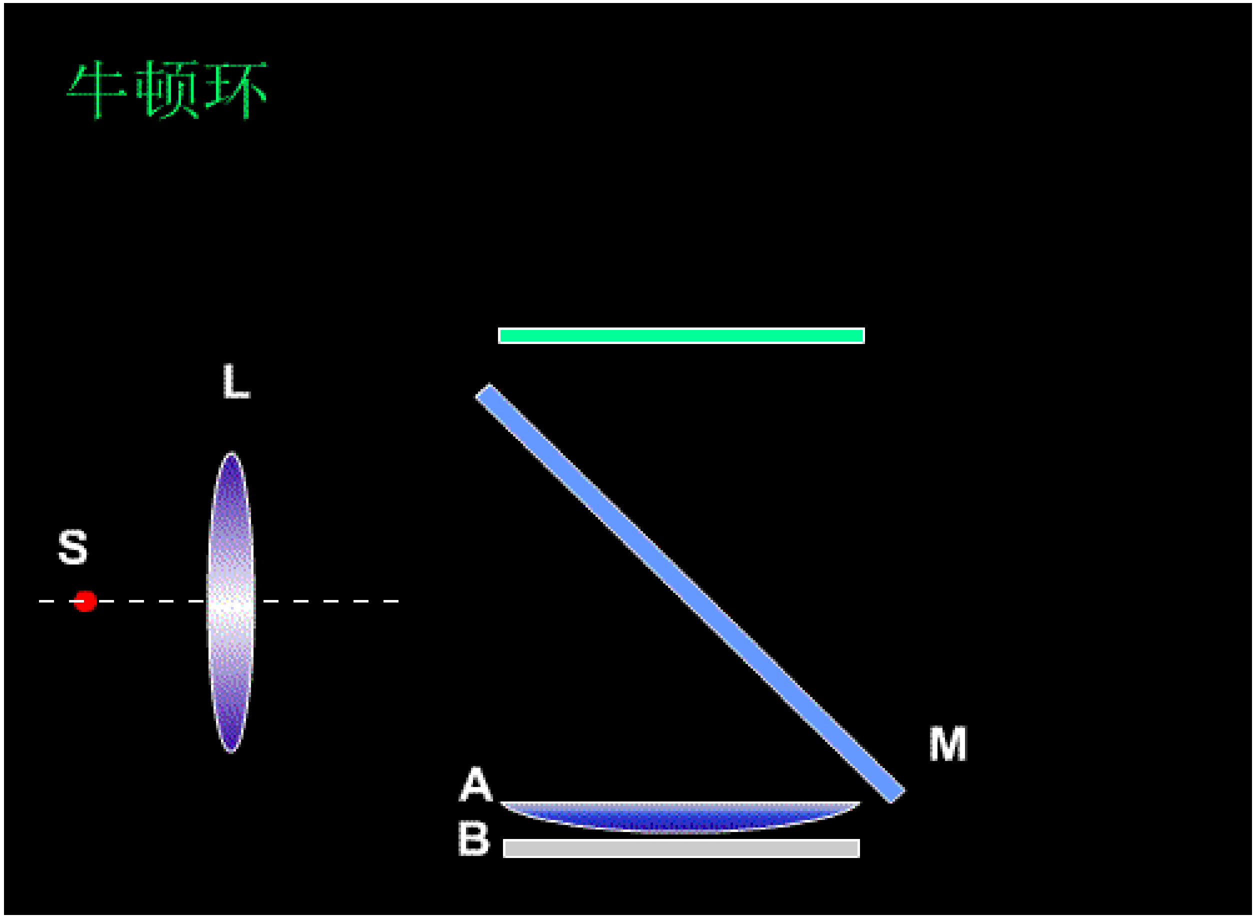
A、C两点下的膜厚差λ/ 2

—凹槽深度



2.牛顿环

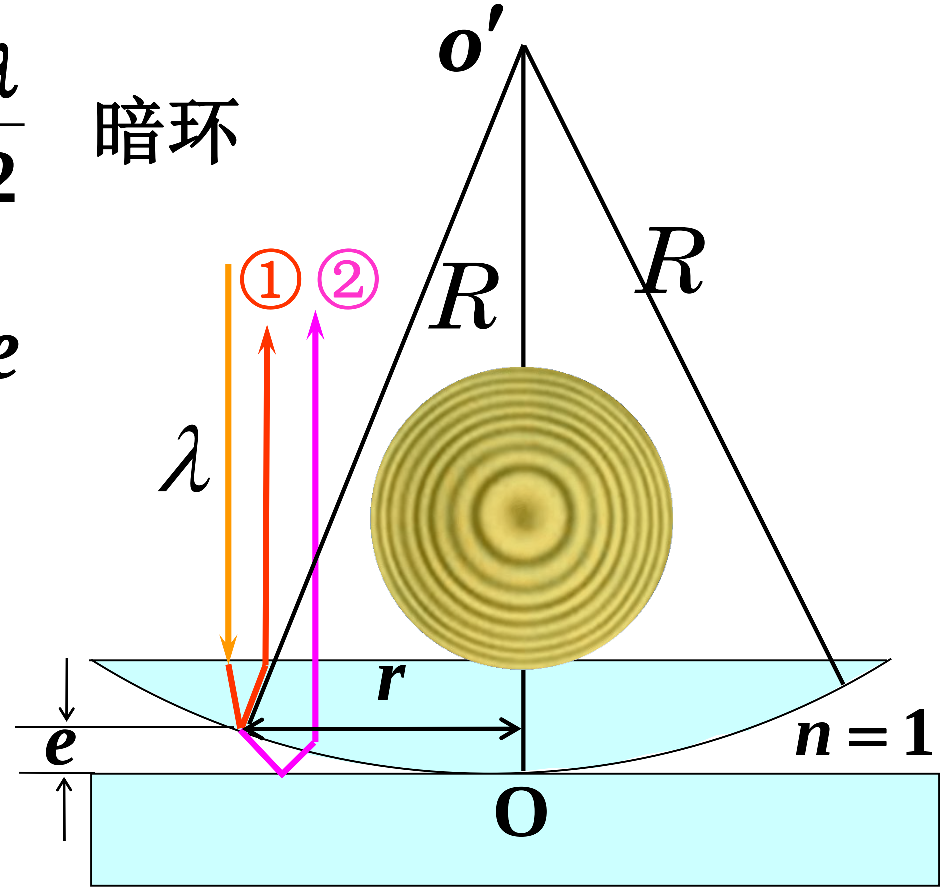
曲率半径很大的平凸透镜放在平玻璃板上，在其之间形成环状劈形空气层。用单色光垂直照射在平凸透镜上，则可以观察到一组明暗相间的同心圆环。



垂直入射，空气层厚度e处上下表面反射光的光程差：

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

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



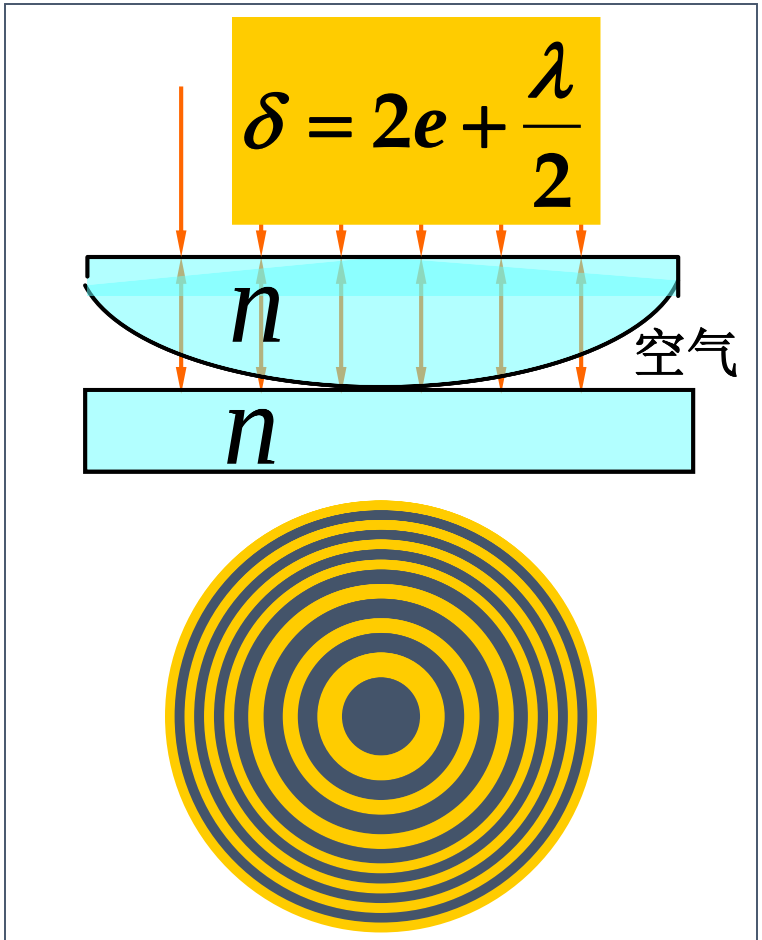
暗环半径：

$$r_k = \sqrt{kR\lambda}$$

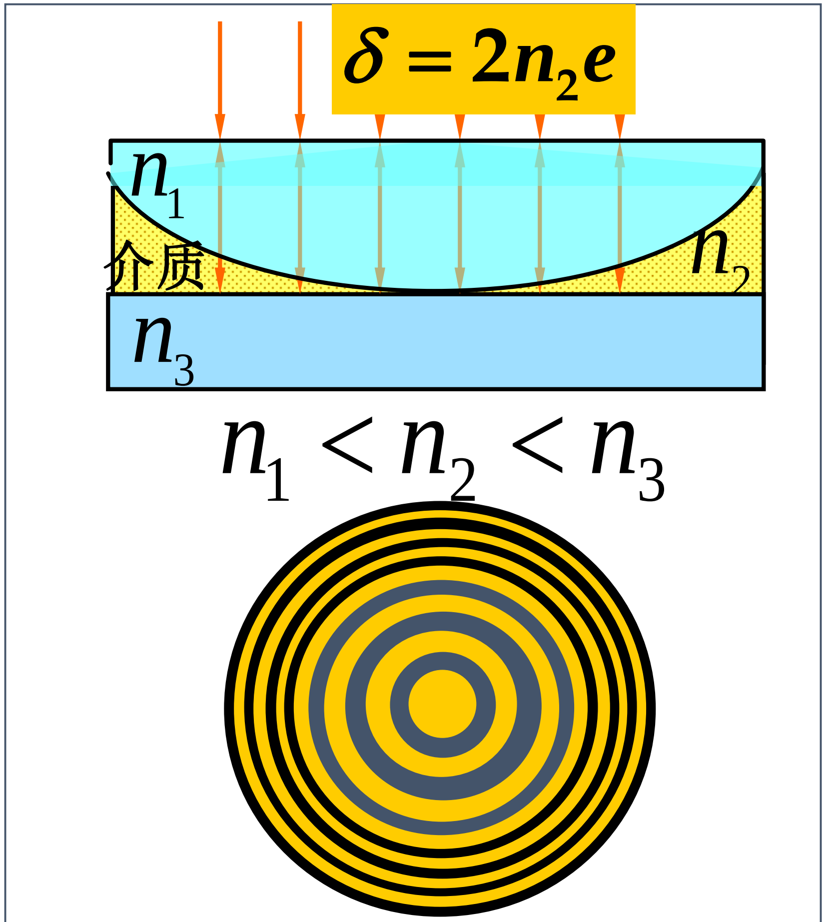
（k=0,1,2, …）

中心处，$e=0$，$k_{\min}=0$

（1）以接触点为中心的不等间距的（内疏外密）明暗相间的同心圆环。

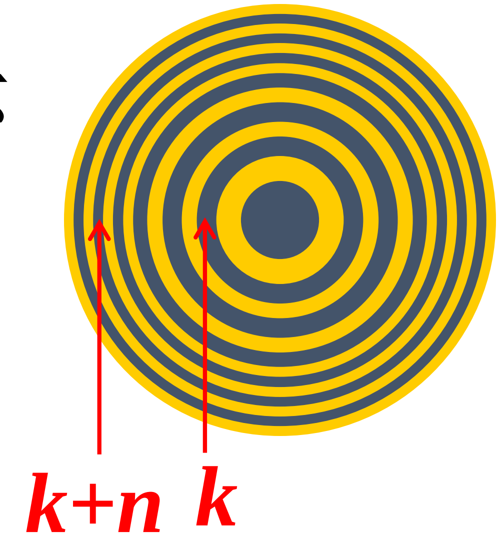


中心为暗斑



中心为亮斑

$$2ne+\frac{\lambda}{2}=(2k+1)\frac{\lambda}{2}$$ 暗环



（2）条纹收缩或扩张。

平凸透镜向上平移 $e\uparrow \longrightarrow k\uparrow$

中心处陷入条纹各级条纹向内收缩

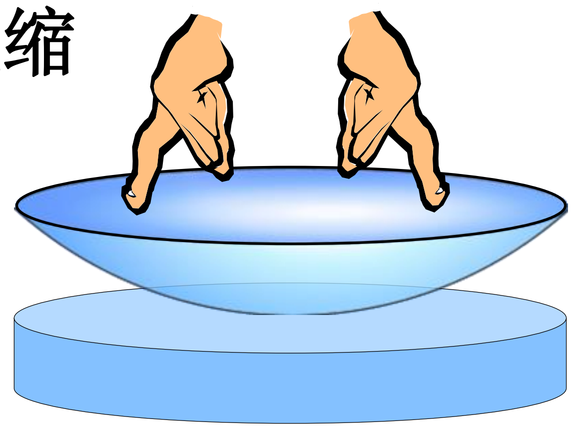
反之，$e\downarrow \longrightarrow k\downarrow$ 条纹向外扩张。

例 如图轻压透镜，干涉条纹将发生哪种变化：

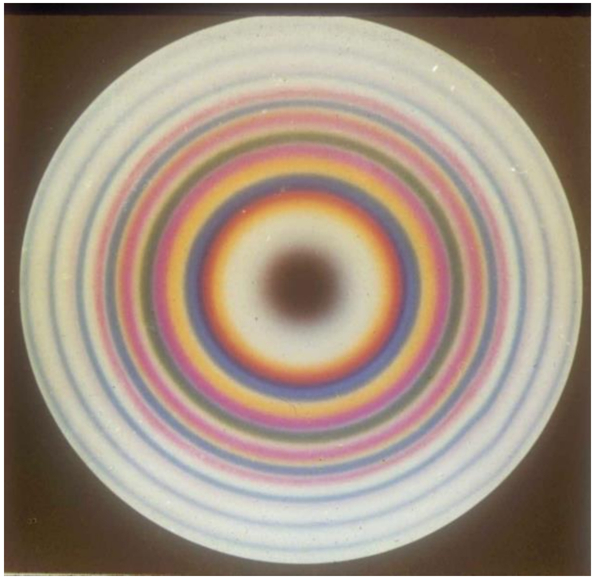
(A) 条纹向右平移 (B) 条纹向中心收缩

(C) 条纹向外扩张 (D) 条纹静止不动

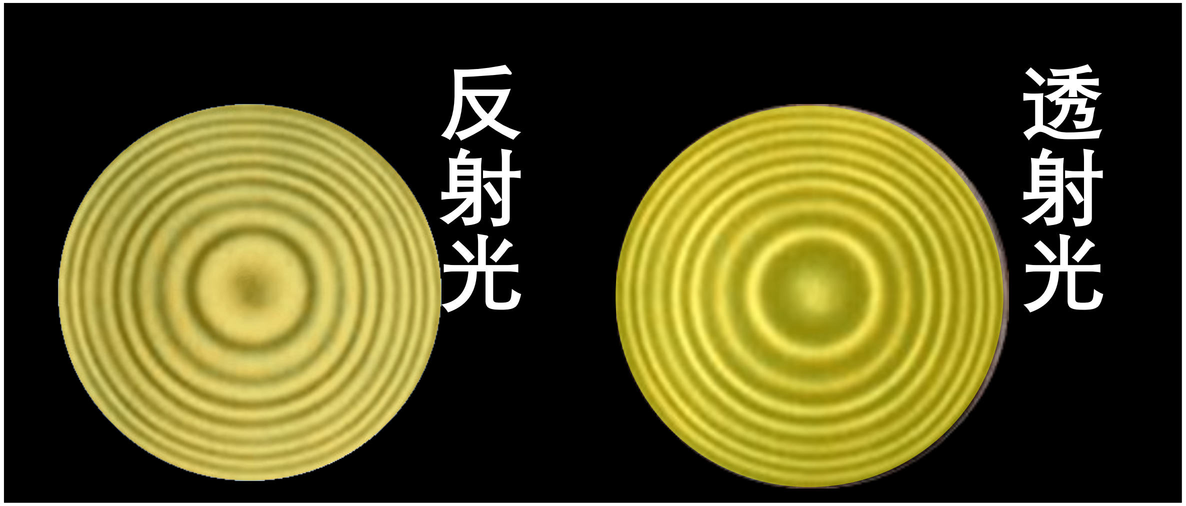
(E) 条纹向左平移



（3） 若白光入射，便可得到彩色条纹，在高级次出现重迭。



（4）反射光与透射光干涉互补



◆ 牛顿环的应用

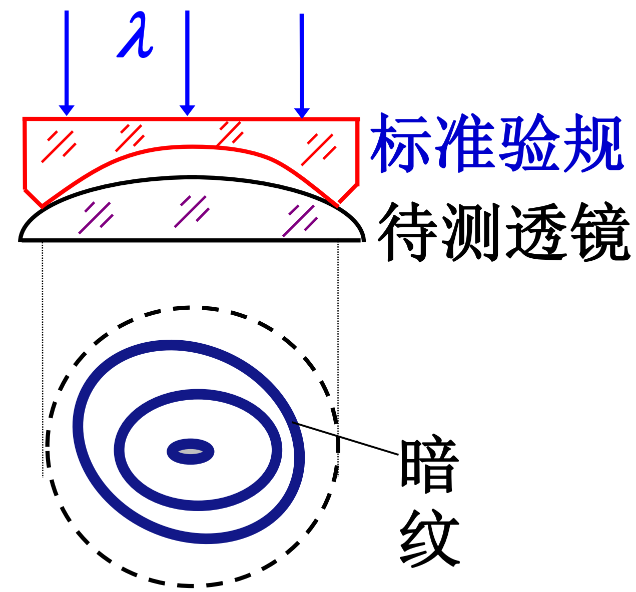
◎测量平凸透镜的曲率半径 ***R***、测量光波波长 λ 等

设第k_1、k_2暗环的半径为r_1、r_2

$$r_1^2 = k_1 R\lambda \qquad r_2^2 = k_2 R\lambda \quad \Rightarrow \quad R = \frac{r_2^2 - r_1^2}{(k_2 - k_1)\lambda}$$

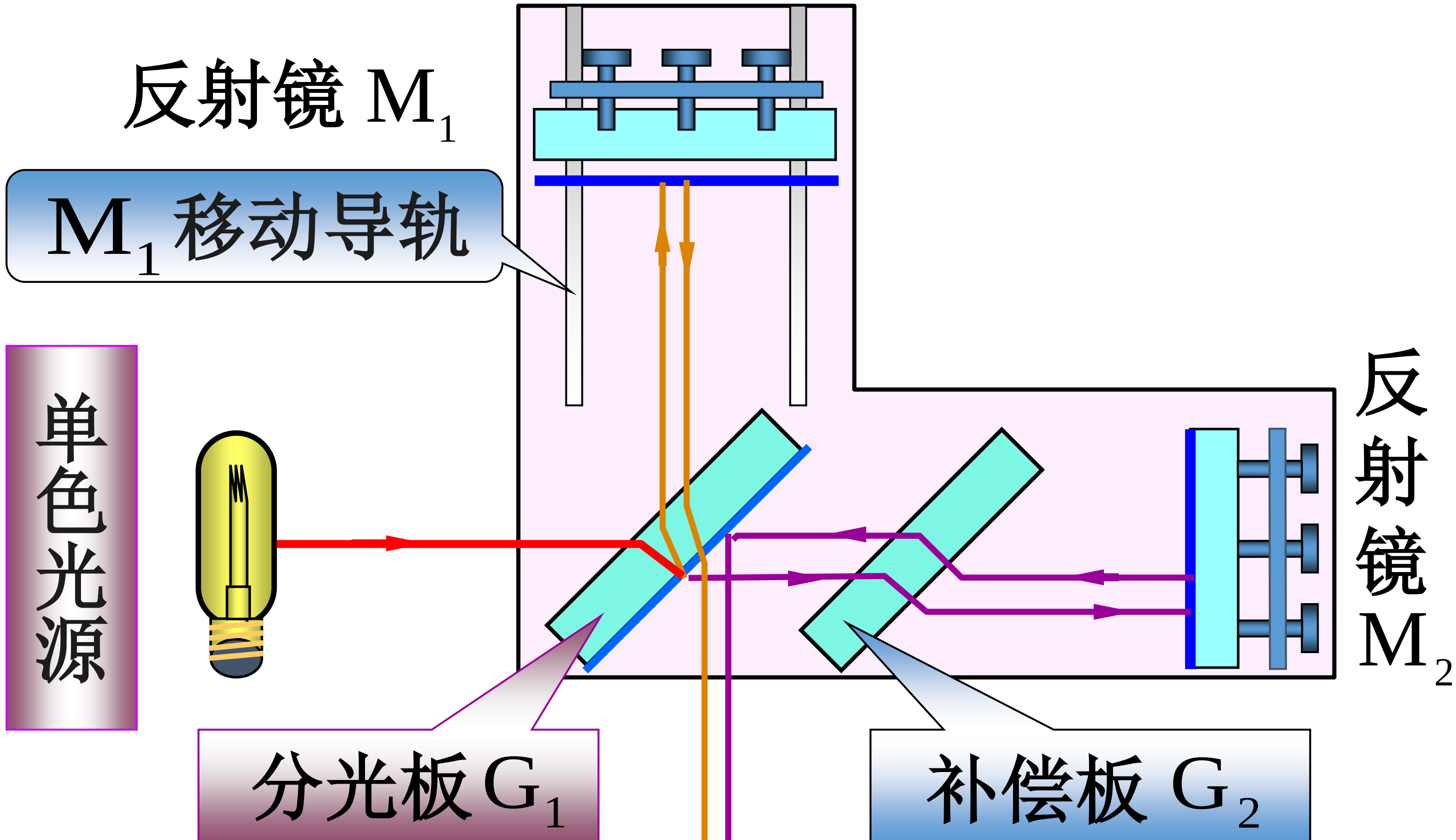
◎检验透镜球表面质量

将玻璃验规盖于待测镜头上，两者间形成空气薄层，因而在验规的凹表面上出现牛顿环，当某处光圈偏离圆形时，则该处有不规则起伏。



§4 迈克耳孙干涉仪

一. 仪器结构、光路及工作原理



$G_1 // G_2$ 与 M_1, M_2 成 45^0 角

光束2′和1′发生干涉

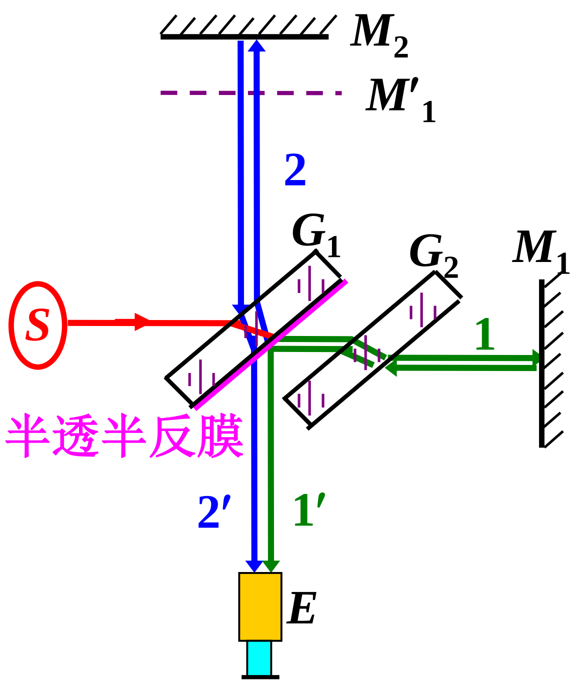
补偿板G_2的作用

无G_2时的光程差：

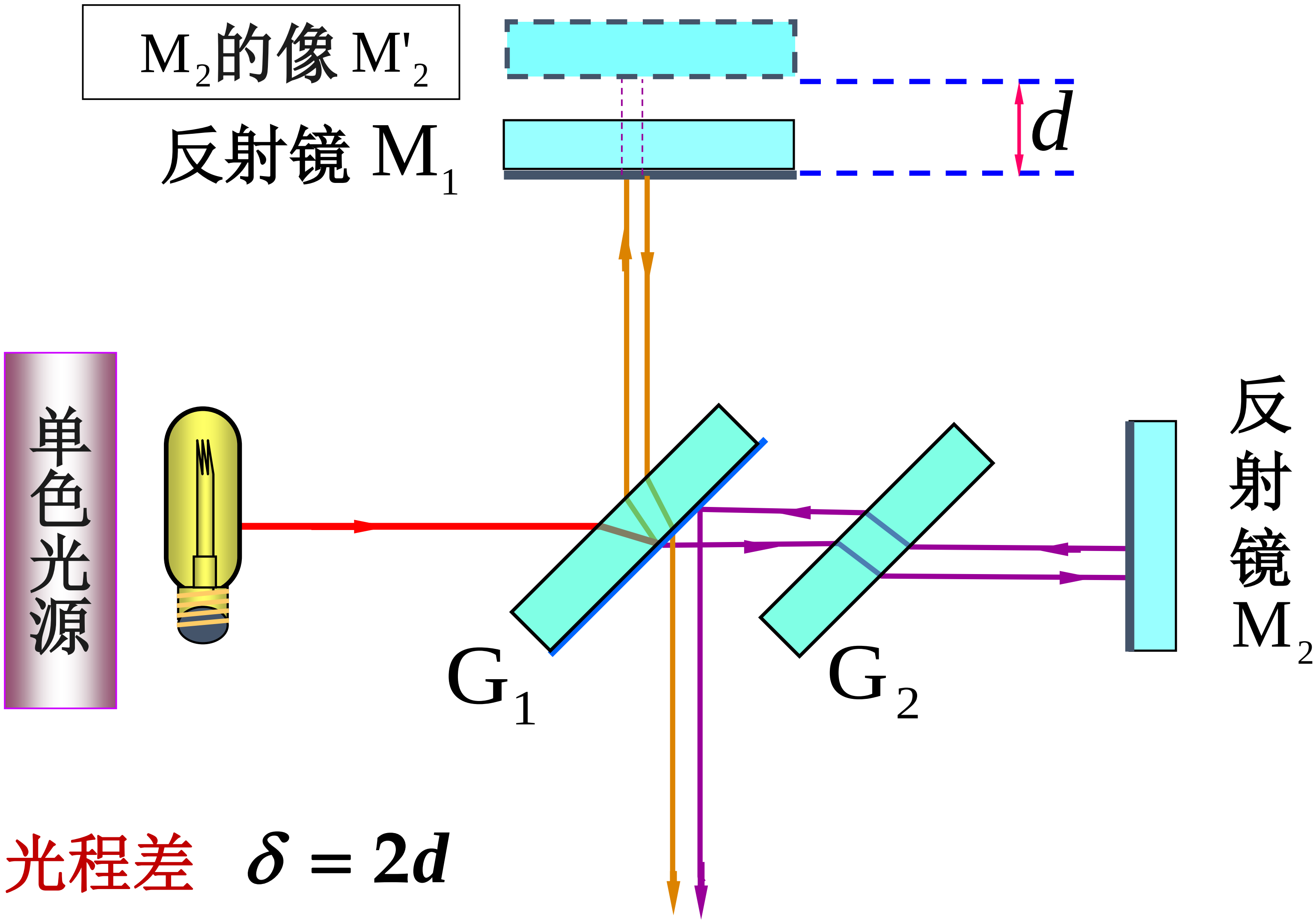
$$\delta = 2nt + 2l_2 - 2l_1$$

有G_2时的光程差：

$$\delta = 2l_2 - 2l_1$$

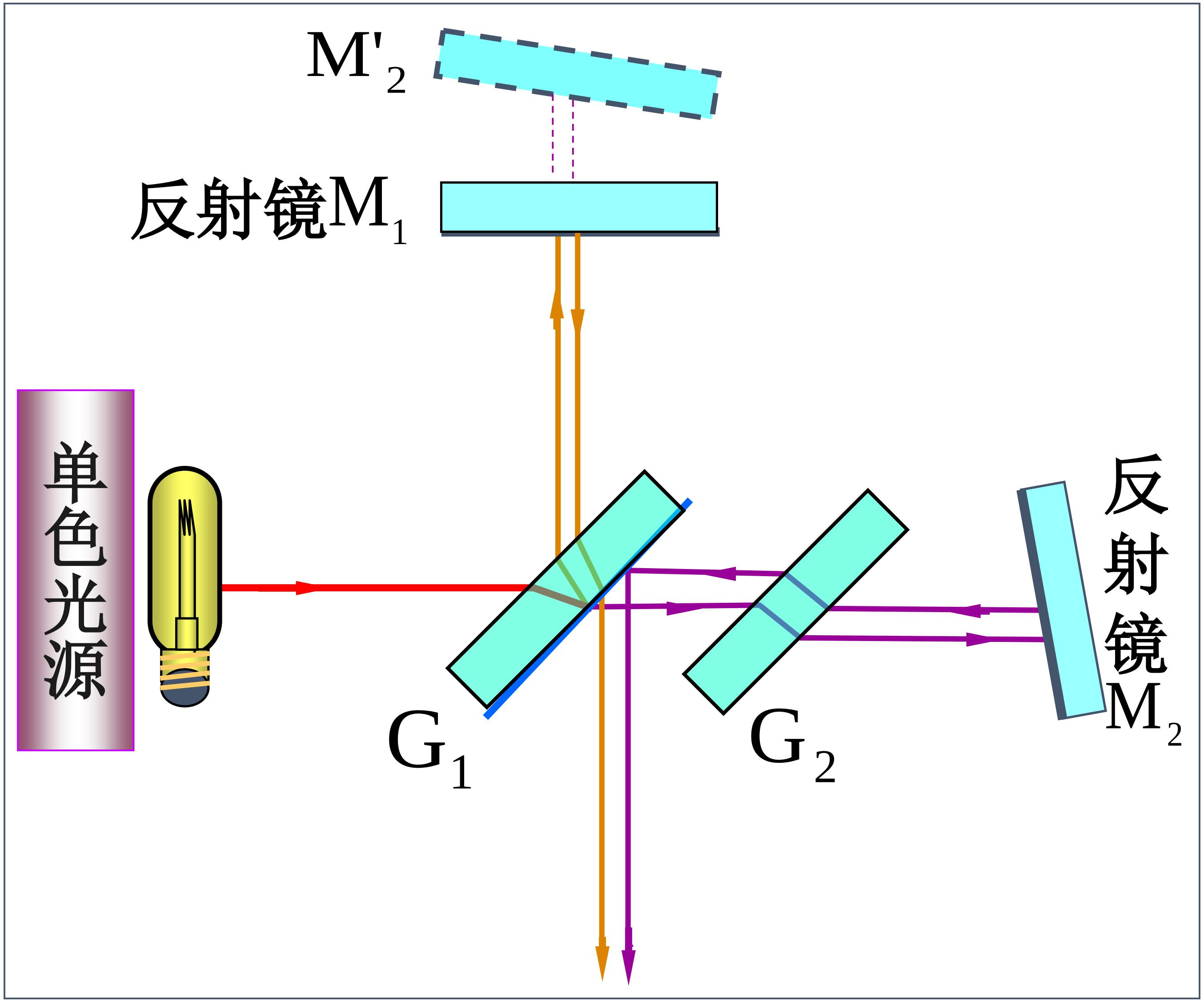


当$M_2 \perp M_1$时，$M_2 // M_1'$，可形成薄膜的等倾干涉条纹

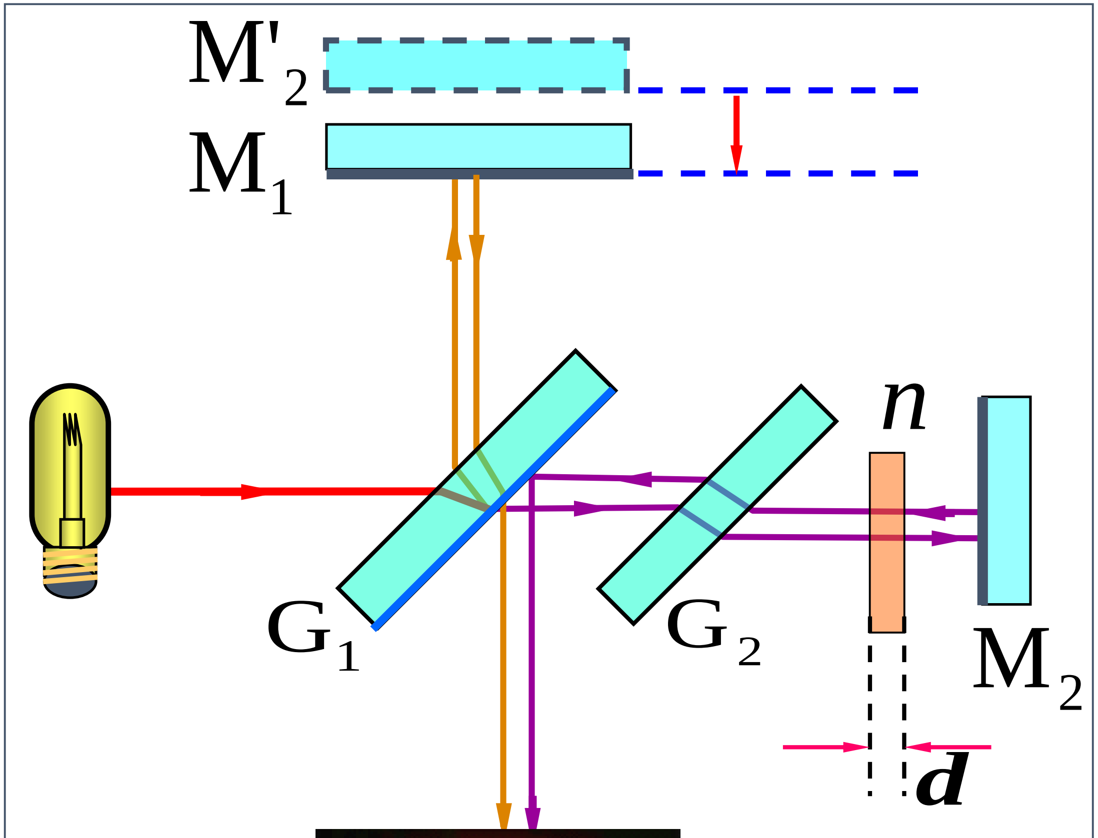


光程差 $\delta = 2d$

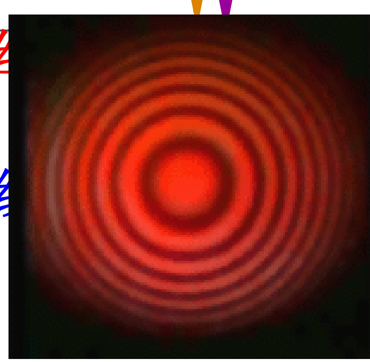
当 M_1 不垂直于 M_2 时，可形成劈尖型等厚干涉条纹



二、应用 •微小位移测量 •测介质折射率 •膜的厚度



十字叉



等厚条

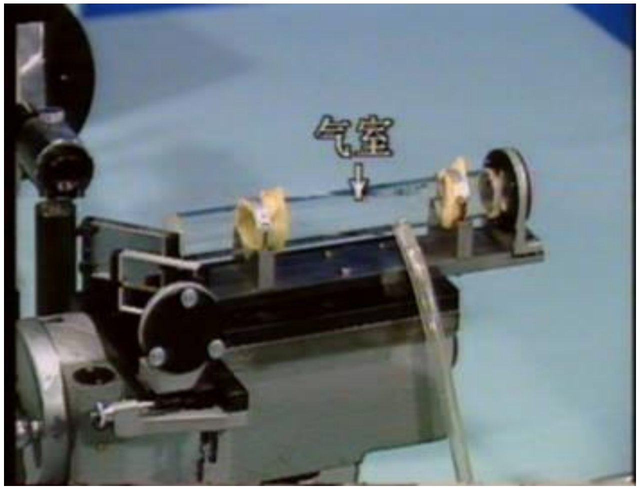
① M_1平移d 时，条纹移过(或冒出/缩进)N条，则：

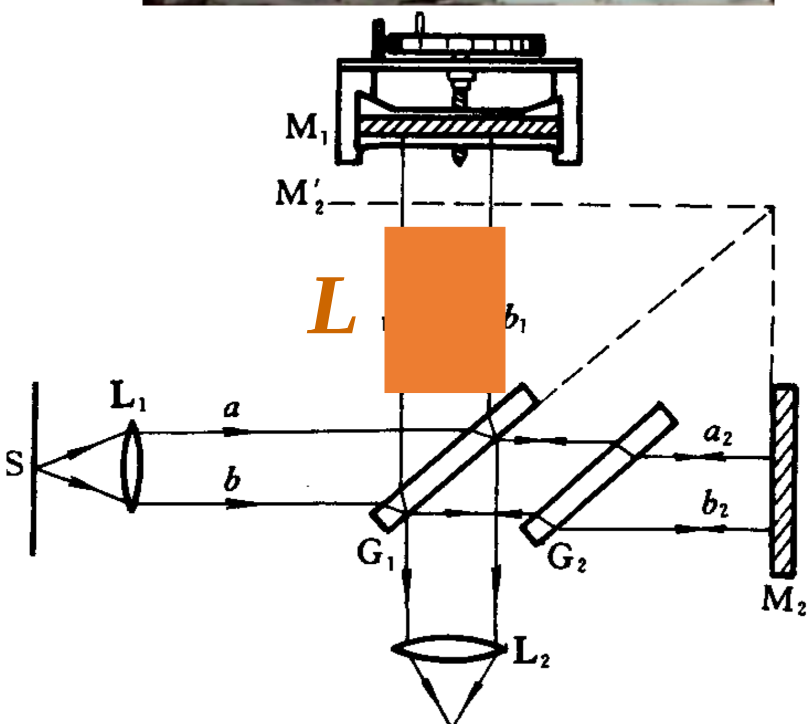
$$2d = N\lambda$$

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

②光路中插入介质片时，条纹移过(或冒出/缩进)N条，则：

$$2(n-1)d = N\lambda$$





利用干涉仪测气体折射率

充入折射为 n 的气体后，这条光路的光程改变了：

$2(n-1)L=N\lambda$

例:在迈克耳孙干涉仪的一条光路，放入一厚度为 d，折射为 n 的透明薄片，放入后，这条光路的光程改变了

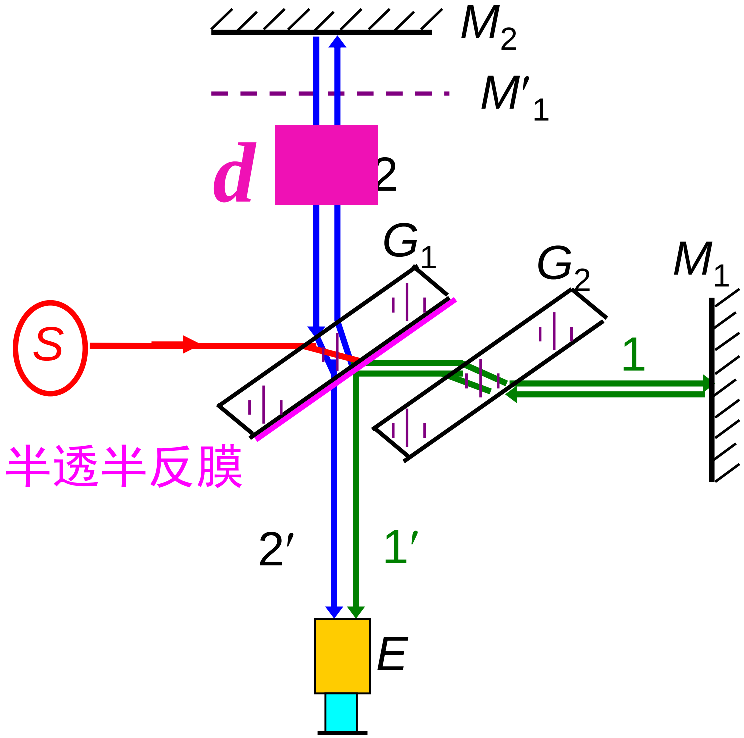
(A) 2(n-1)d

(B) 2nd

(C) 2(n+1)d+λ /2

(D) nd

(E) (n–1)d



答: [A]

迈克耳孙在工作

迈克耳孙

（A.A.Michelson）

美籍德国人

因创造精密光学仪器，用以进行光谱学和度量学的研究，并精确测出光速，获1907年诺贝尔物理奖。

迈克耳孙干涉仪至今仍是许多光学仪器的核心。

爱因斯坦赞誉道:

“我总认为迈克尔逊是科学中的艺术家，
他的最大乐趣似乎来自实验本身的优美和所使用方法的精湛，他从来不认为自己在科学上是个严格的‘专家’，事实上的确不是，但始终是个艺术家。”

许多著名的实验都堪称科学中的艺术，如：全息照相实验，吴健雄实验，兰姆移位实验等等。

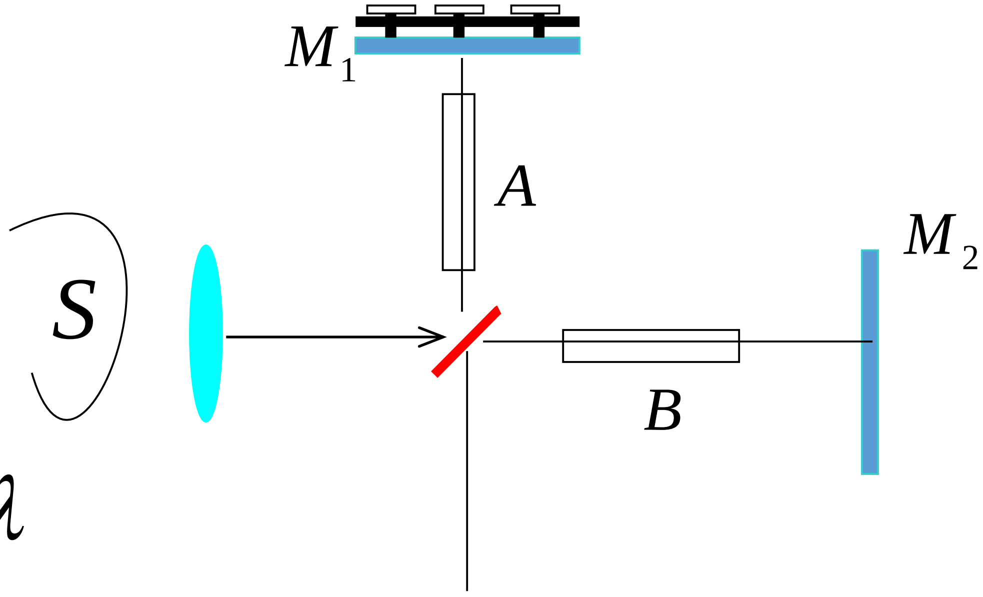
重要的物理思想＋巧妙的实验构思＋精湛的实验技术 → 科学中的艺术

基于迈克尔逊干涉仪原理的引力波探测器

- 美国建造的引力波激光干涉观察台——LIGO，臂长 4km×2（垂直）。

位于美国华盛顿州汉福德附近的臂长**4km**的激光干涉仪引力波探测器

例：在迈克耳逊干涉仪的两臂中分别引入 10 厘米长的玻璃管 *A*、*B*，其中一个抽成真空，另一个在充以一个大气压空气的过程中观察到107.2 条条纹移动，所用光波波长为546nm。求空气的折射率？



解：设空气的折射率为 n

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

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

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

例.　当把折射率n = 1.40的薄膜放入迈克耳孙干涉仪的一臂时，如果产生了7.0条条纹的移动，求薄膜的厚度。（已知钠光的波长为λ = 5893A）

解：　按题意，有 $2(n-1)e=7\lambda$

于是 $$e=\frac{7\lambda}{2(n-1)}$$

$$=\frac{7\times5893\times10^{-10}}{2(1.4-1)}$$

$$=5.516\times10^{-6}m$$