

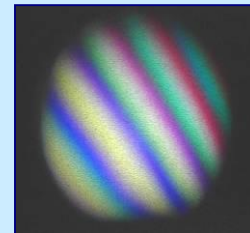


普通物理学

山东大学
余丰人

第9章 光的干涉

- § 1 光的相干性
- § 2 光程与光程差
- § 3 双缝干涉
- § 4 薄膜的等倾干涉
- § 5 薄膜的等厚干涉
- § 6 牛顿环
- § 7 迈克耳逊干涉仪



- 光学是研究光的现象、光的本性和光与物质相互作用的学科，是物理学的一个重要分科；
- 光的研究已有3000余年的历史，20世纪60年代激光问世后，光学有了飞速的发展，形成了现代光学；
- 光学分为几何光学、波动光学、量子光学。本章为波动光学。
 - **几何光学**：以光的直线传播规律为基础研究各种光学仪器的理论；
 - **波动光学**：研究光的电磁性质和传播规律，特别是干涉、衍射、偏振的理论和应用；
 - **量子光学**：以光的量子理论为基础，研究光与物质相互作用的规律。

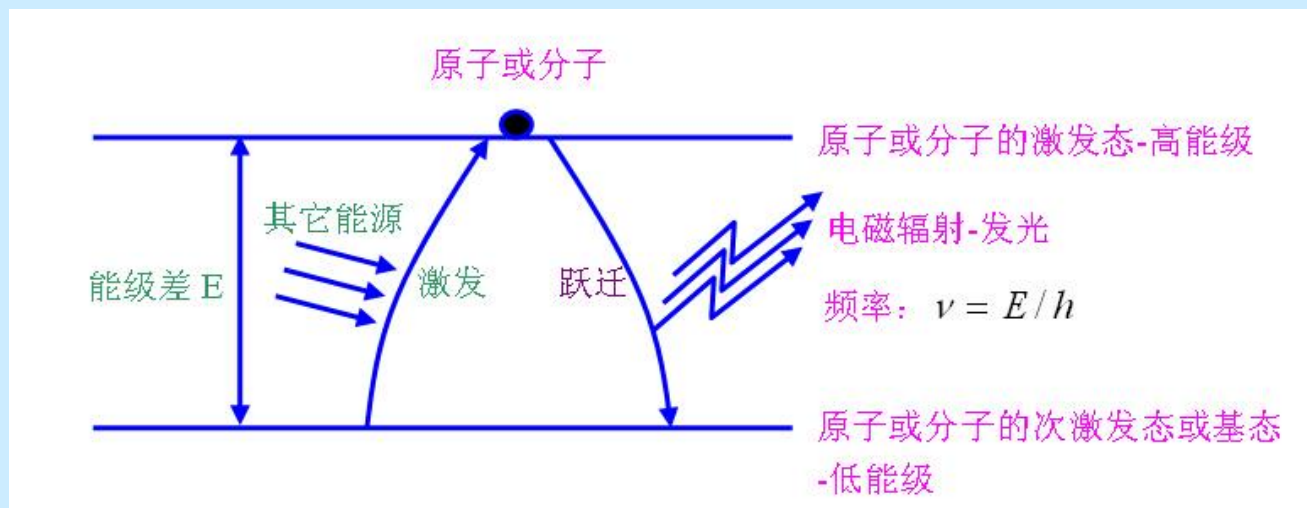
§ 1 光的相干性

1. 光源及其分类

- 发射光波的物质叫光源，光是一种波长很短的电磁波。
- 利用热能激发，产生热辐射发光的光源：钨丝等加热发光的白炽灯、弧光灯等。
- 利用电能激发，产生电致发光的光源：稀薄气体通电的发光、半导体发光二极管通电的发光等。
- 利用其他光能激发，产生光致发光的光源：在可见光或紫外线照射下，碱土金属氧化物的发光的荧光灯、磷光灯等。荧光灯在照射光移去时，它立即不发光。磷光灯在照射光移去时，它还能发光很长一段时间。
- 利用化学反应燃烧激发，产生化学发光的光源：碳燃烧的发光、萤火虫的发光、磷氧化发光等。
- 利用电能或光能激发，产生受激辐射的光源：各种激光光源。

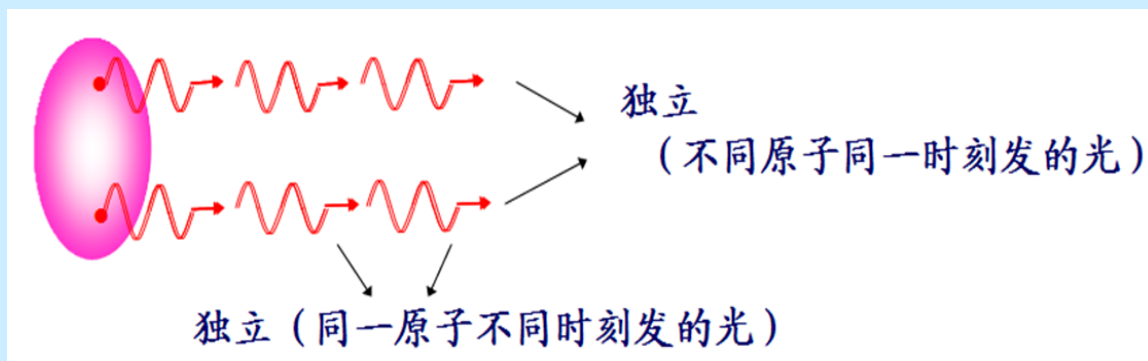
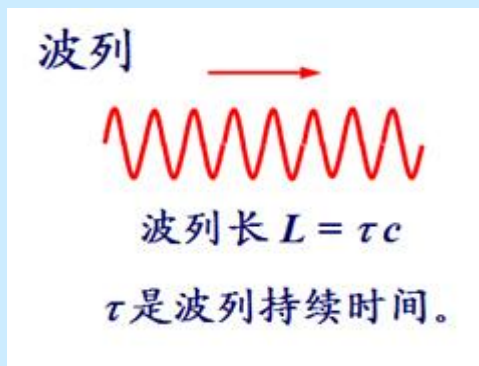
2. 光源的发光机理

- 任何光源的发光机理都相同，都是光源的原子或分子，通过一定的手段，从其它某种能源获取能量，被**激发**到一个高能级的激发态，然后，这些处在激发态的原子或分子，通过一定的方式**跃迁**回到原来低能级的次激发态或基态而发光。原子或分子原子或分子的激发态-高能级原子或分子的次激发态或基态-低能级跃迁激发电磁辐射-发光其它能源能级差 E 频率；
- 光源发光是大量原子或分子反复激发和跃迁发光的过程；
- 不同的物质原子或分子（能级不同），不同的激发手段，不同的激发能源，不同的跃迁方式，就有各种不同的光源。根据不同的跃迁方式可以将光源分为自然光源和激光光源两大类；



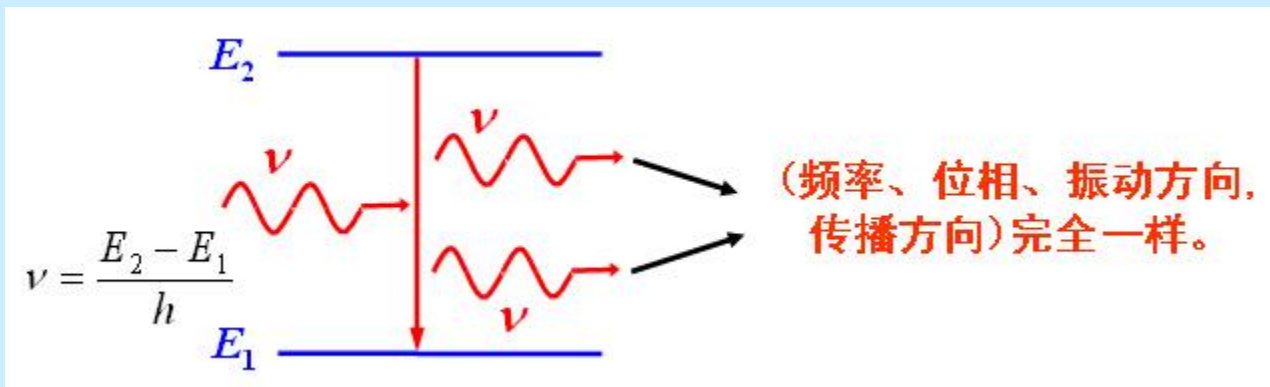
3. 自然光源

- 光源由大量原子或分子组成，光源的原子或分子在激发态的停留时间平均只有 $10^{-11} \sim 10^{-8} \text{s}$ ，是一个不稳定状态，不加以控制，各个原子或分子会随机自发跃迁到次激发态或基态而发光，每个原子或分子发光持续时间平均为 10^{-8}s ，大量这样的原子或分子不断发光，这就是自然光源的发光；
- 一个原子或分子发光持续时间有限，因此其发出的光波长度是有限的，这个光波叫波列。不同原子或分子、同一个原子或分子在不同时刻发出的光波列，其频率，初相，振动方向、长度都不一样；
- 自然光源发出的光是由大量的由大量频率，初相，振动方向、长度都不一样的光波波列组成，且波列很短。



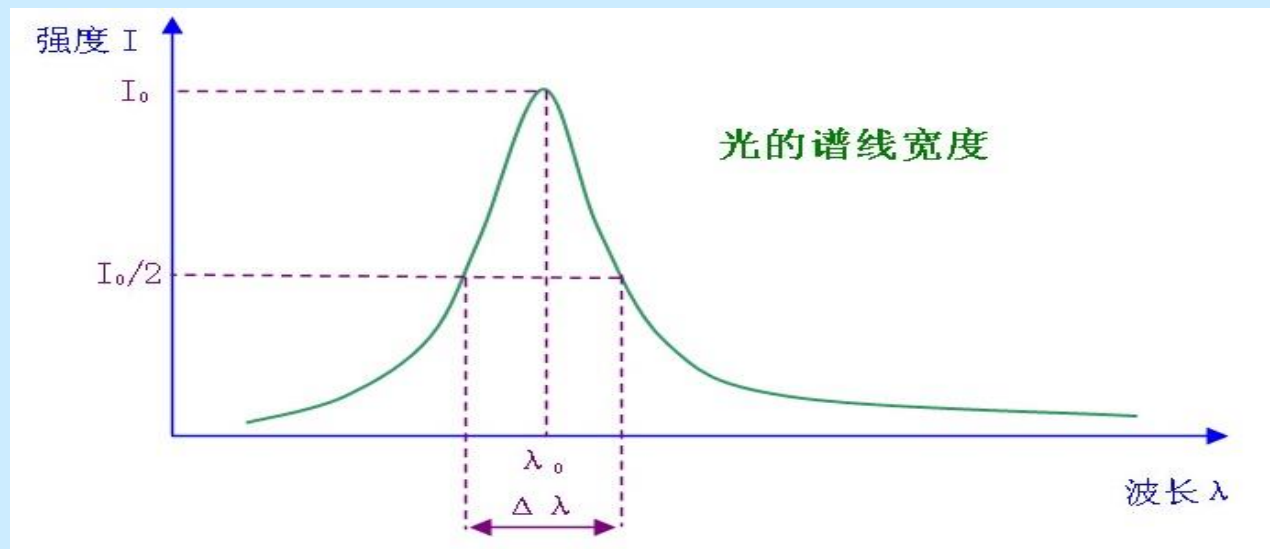
4. 激光光源

- 激光光源也由大量原子或分子组成，但它是一批原子或分子是在一个光波控制下，**受激跃迁**到次激发态或基态而发光，他们发出的光，其频率，初相，振动方向都与控制光一样。因此激光光源发出的光，其**频率，初相，振动方向都一样**，其**波列长度很长**。
- 激光光源要有谐振器来选择控制光波，其实控制光波也是发出的光波。这与电子振荡器产生正弦电流是一样的。
- 任何物质都可以做自然光发光介质。激光光源的原子或分子要有不同的几个激发态，所以不是什么物质都可以做激光发光介质。



5. 单色光

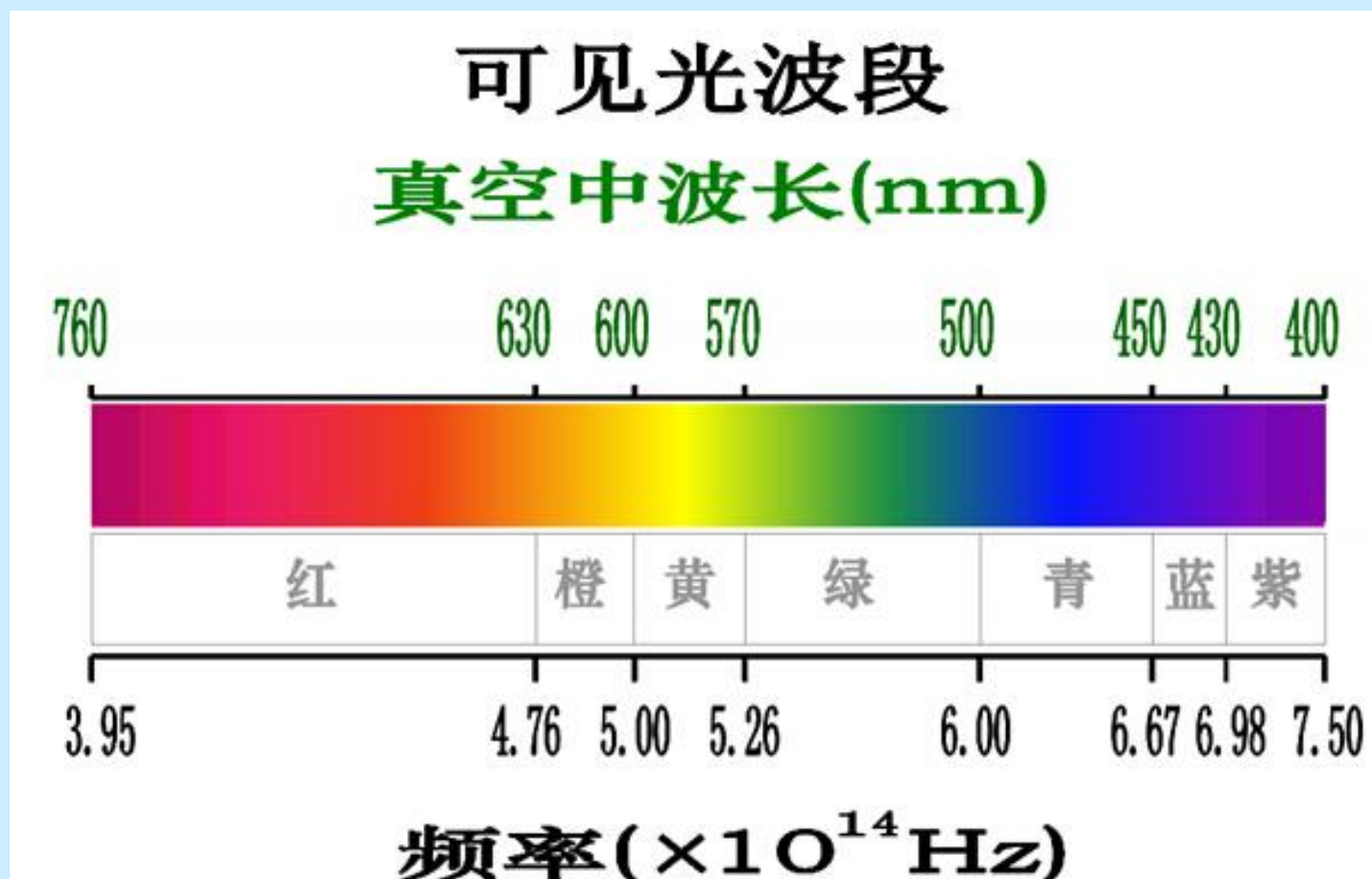
- **单色光**：频率或波长不同的光具有不同的颜色，频率或波长单一的光叫单色光，但严格的单色光是不存在的，实际的单色光是频率或波长在一个很窄范围的光。
- **光谱曲线**：一束光中含有不同频率或波长的光，不同频率或波长的光具有不一样的强度，为了描述这个特性，引入光谱曲线（谱线）的概念，它是强度关于频率或波长的特性曲线。



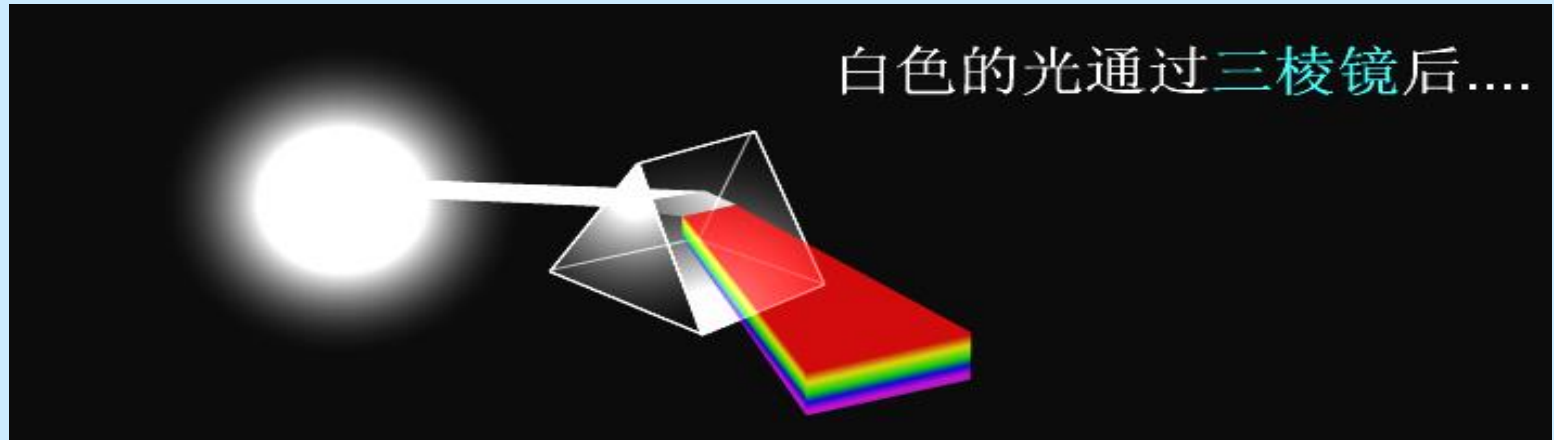
- 谱线宽度 $\Delta\lambda$: 强度下降到最大强度1/2的谱线范围叫谱线宽度。
- 光的单色性: 光的单色性用谱线宽度描述, 谱线宽度越小, 光的单色性越好, 谱线宽度越大, 光的单色性越差。
- 实际光源的单色性比较:
 - 钠光灯、镉灯、汞灯: $\Delta\lambda \approx 10^{-1} \sim 10^{-3} nm$, 单色性差。
 - 激光: $\Delta\lambda \approx 10^{-9} nm$ 以下, 单色性好。
- 决定谱线宽度大小的因素:
 - 与发光原子或分子的持续时间, 即波列长度有关, 波列长度越大, 傅立叶分解的频率成分越少, 谱线宽度越小, 单色性越好。
 - 与发光原子或分子的热运动的速度分布有关, 原子或分子的热运动的速度分布范围越大, 多普勒效应使频率分布越大, 谱线宽度也越大, 单色性就越差。

6.可见光

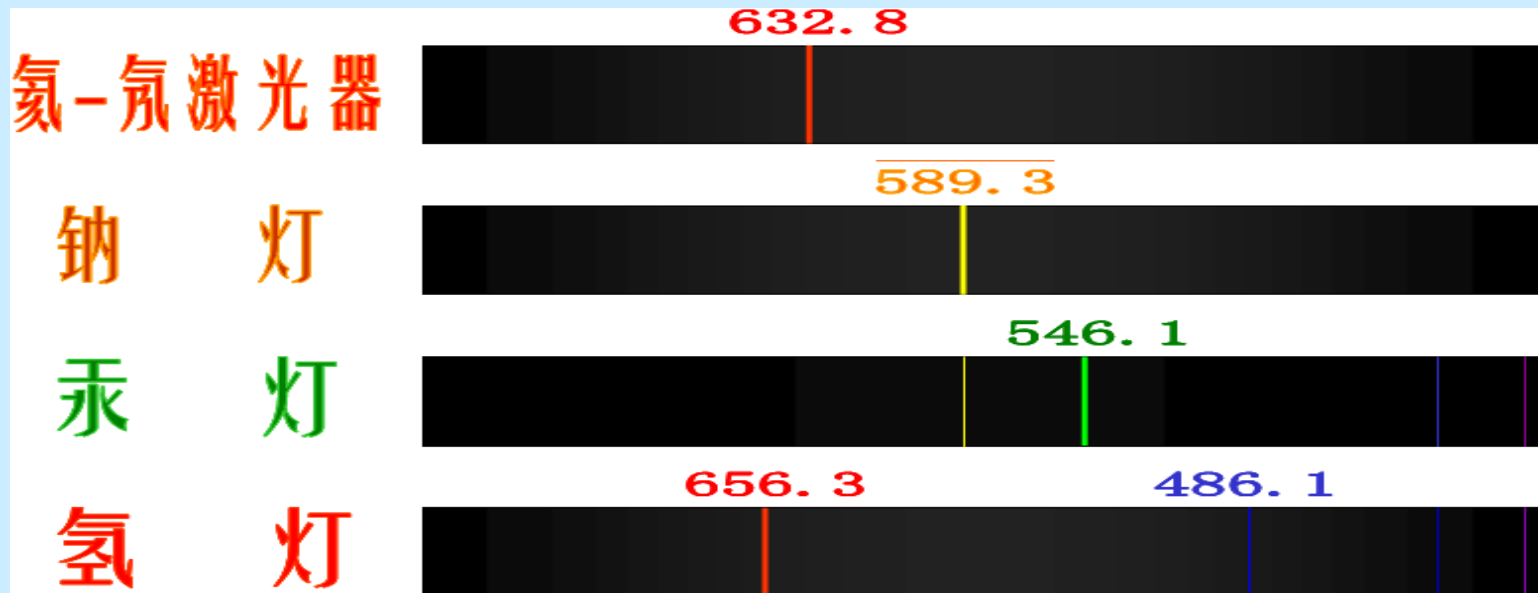
- 可见光：它是波长为400~760nm之间的电磁波；



- 太阳光：它是复色光，通过三棱镜可以分解出各种频率的光，即太阳光的光谱。

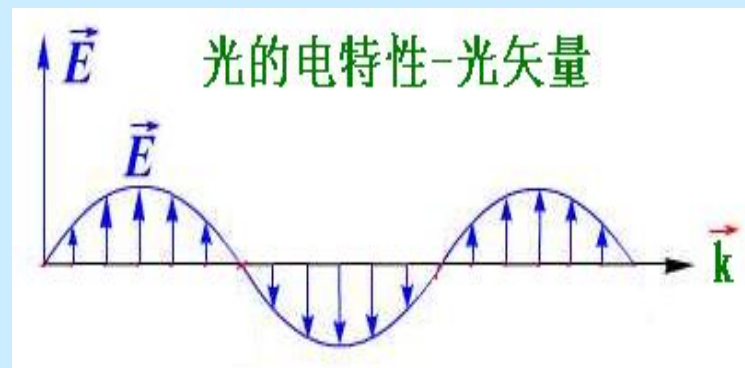
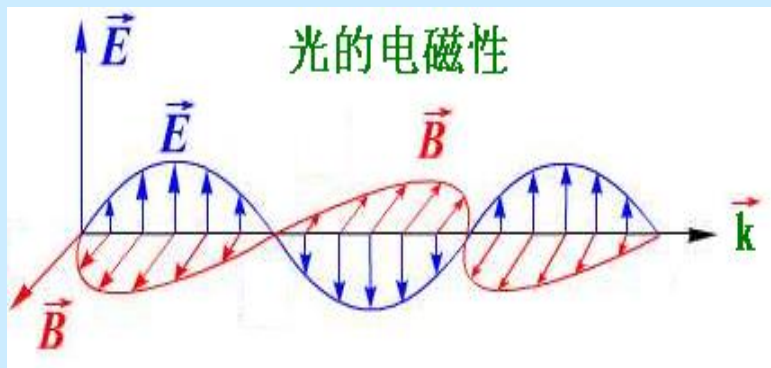


- 常用单色光：它有激光，也有自然光，波长如下（nm）



7.光的横波性和电特性

- **光的横波性**：光是电磁波，一个平面电磁波，它由其电场强度和磁场强度组成，电场强度和磁场强度互相垂直，并都垂直于传播方向，所以电磁波是横波，即光是横波。
- **光的电特性**：光有电和磁两方面的特性，但一般光在与物质相互作用时候，光的磁特性作用很小，主要起作用的是其电特性，所以光的特性用其电场强度描述，电场强度的振动方向就是光的振动方向。光的电场强度矢量就是**光矢量**。



8.相干光

- 两列光的频率一样，电场强度振动方向相对不变，初相的相对值不随时间变化，则称这两列光是相干的。
- 下面只讨论光矢量同方向的两列光，这时，相干光就是频率一样，初相的相对值不随时间变化的光。光矢量同方向的两列光的，其强度分别为 I_1, I_2 （光强度正比于光的电场强度），则

非相干光的合成光强度为： $I = I_1 + I_2$

相干光的合成光强度为： $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\phi_2 - \phi_1)$

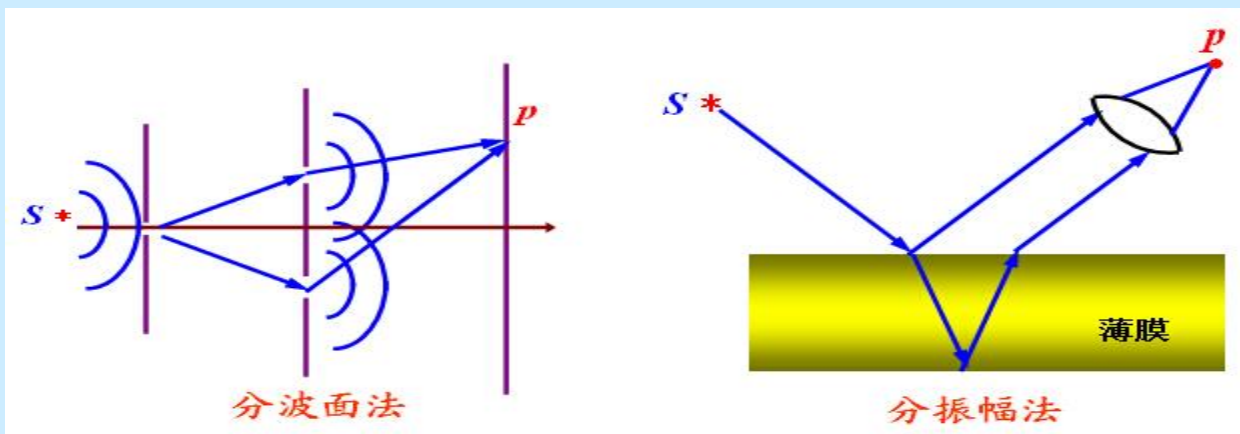
- 非相干光的合成光强度在空间没有细致的明暗变化。
- 相干光的合成光强度在空间有细致的明暗变化，如果在空间某点，两列光相位相同时，合成光最亮，它叫干涉相长，如果在空间某点，两列光相位相反时，合成光最暗，它叫干涉相消。即：

$$I = \begin{cases} I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} & \Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 = \pm 2k\pi \dots\dots\dots k = 0, 1, 2, \dots \\ I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} & \Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 = \pm (2k + 1)\pi \dots\dots \end{cases}$$

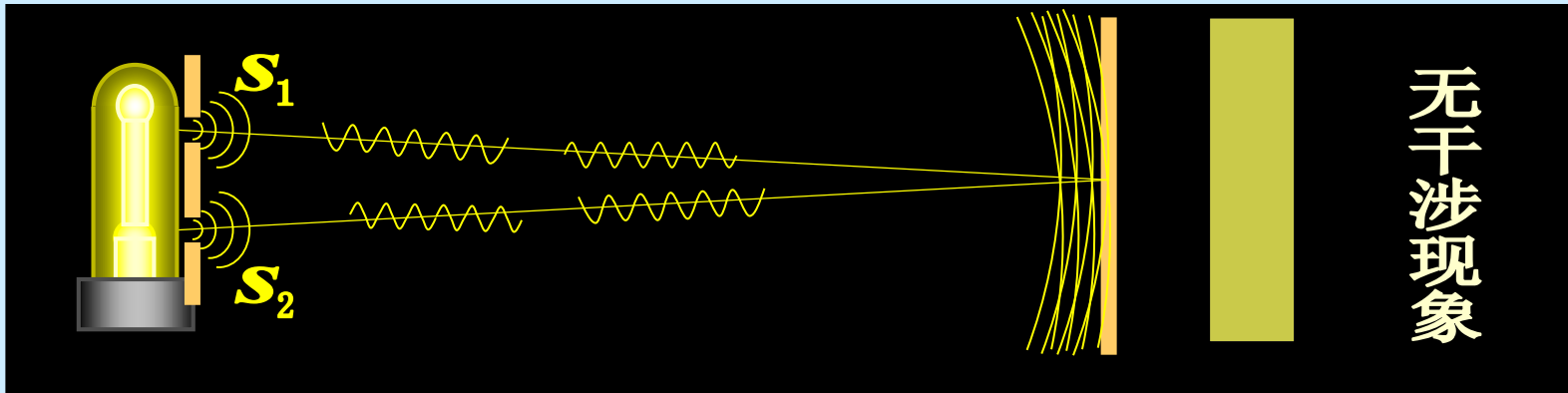
- 两相干光的相位差 $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$ 在空间不同点而变化，所以合成光在空间有细致的明暗变化。

9. 相干光的获取

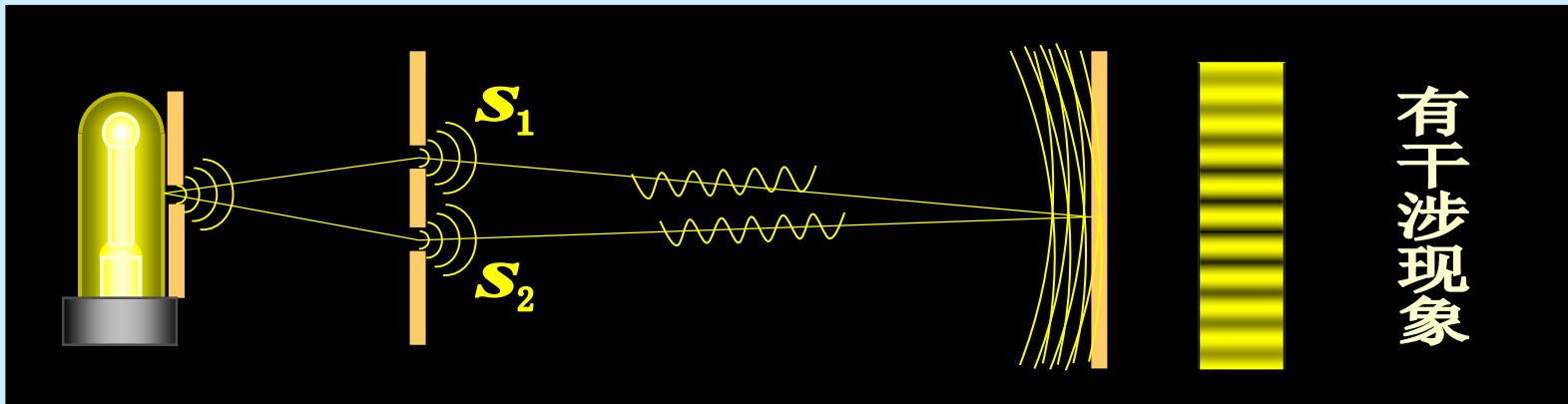
- 由同一个激光光源容易获得两列相干光，甚至可以从两个独立的激光光源获得两列相干光，只有激光的出现光的干涉应用才成为可能。
- 由自然光源不同点发出的两列光不相干，由自然光源同一点发出的不同时间的两列光不相干。要从自然光源获取两列相干光，只有从自然光源的同一点取一列光，将它一分为二，这时这两列光才是相干的。
- **分波阵面法获得相干光：**从一个波的同个波阵面上的不同两点获取两个同初相位的相干光。
- **分振幅法获得相干光：**从一个波通过反射和折射获取两个有固定初相位差的相干光。



相干光与非相干光



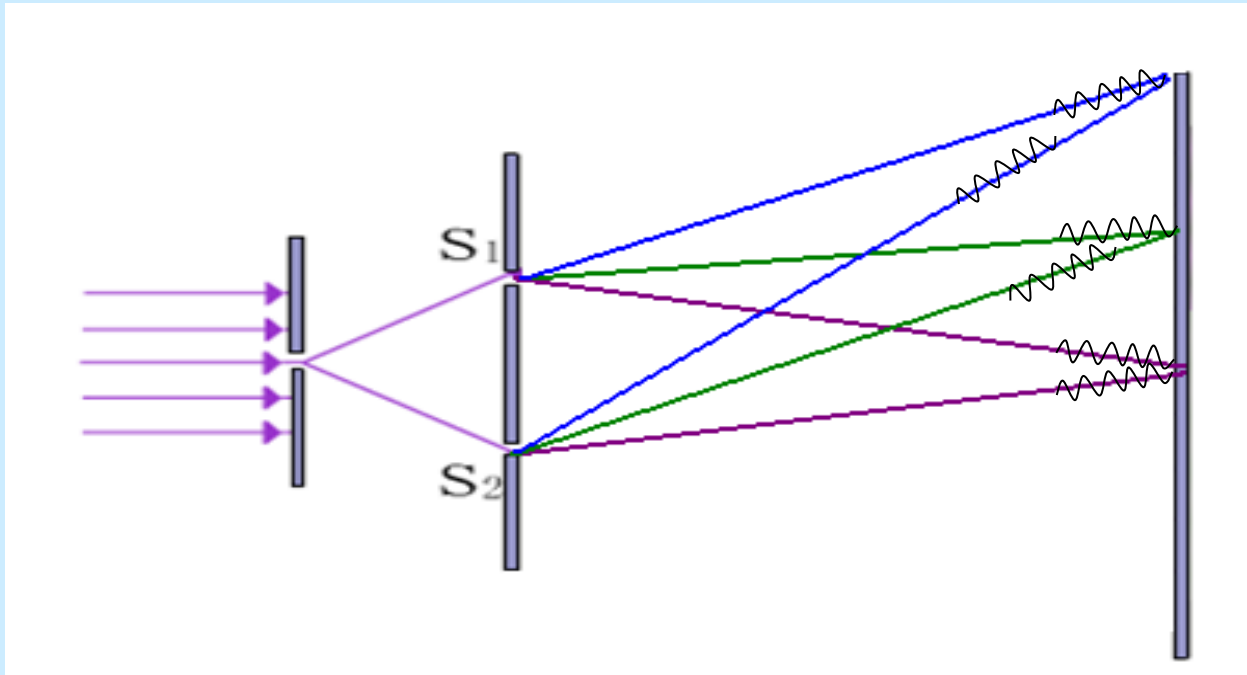
来自 S_1 、 S_2 的光为**非相干光**（不满足光的干涉条件）



来自 S_1 、 S_2 的光为**相干光**（满足光的干涉条件）

10. 相干范围

- 同一束光被分成两束光，这两束光只在空间一定范围内是相干的；
- 光的波列越长，光的相干范围越大，波列越短，相干范围越小。



§ 2 光程与光程差

1.光在介质中的传播特性

- 光在介质中传播时，不管介质是什么，其频率不变。
- 光在介质中传播时，介质不同，其光的速度不同，即：

$$u = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r\mu_r}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r\mu_r}} \approx \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{c}{n}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} \text{为真空中的光速} \quad n = \sqrt{\epsilon_r} \text{为光的折射率}$$

- 光在介质中传播时，介质不同，其光的波长不同，即：

$$\lambda' = \frac{u}{\nu} = \frac{c/n}{\nu} = \frac{1}{n} \frac{c}{\nu} = \frac{\lambda}{n} \quad \lambda = \frac{c}{\nu} \text{为光在真空中的波长}$$

- 光在介质中传播时，介质不同，其光的角波数不同，即：

$$k' = \frac{2\pi}{\lambda'} = \frac{2\pi}{\lambda/n} = nk \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{为光在真空中的角波数}$$

2. 光程

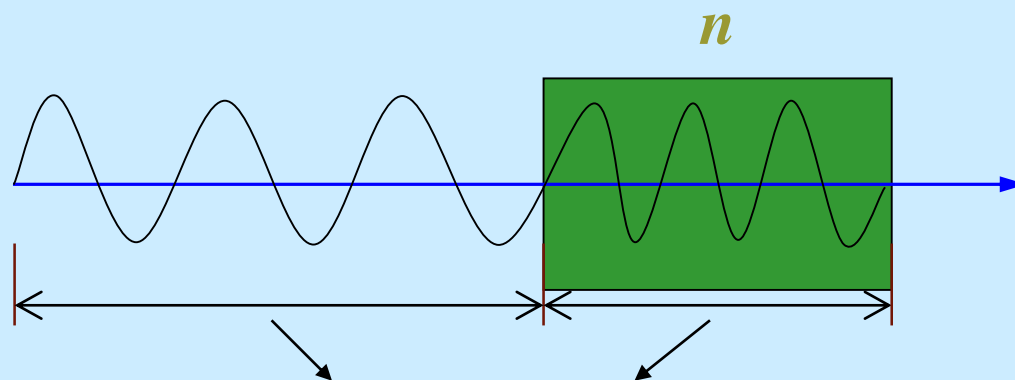
- 光程：如果光在介质 n 中传播的几何路程为 l ，则其光程 L 为：

$L = nl$ 在真空中 $n=1$ ，所以真空中的光程等于路程

- 光在介质中传播时，其相位变化完全由其光程决定：

$$\phi = k'l = (nk)l = k(nl) = kL = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)L$$

- 光在不同介质中走过相同的光程时，光的相位变化也相同。



几何路程不同，但光程一样，其中的相位变化相同

3. 光程差

- 两列光的光程之差叫光程差： $\delta = (L_2 - L_1)$
- 两列光的相位差： $\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta$
- 两列光干涉的强度： $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\phi$

- 两列光干涉的亮纹条件：

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta = \pm 2k\pi$$

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

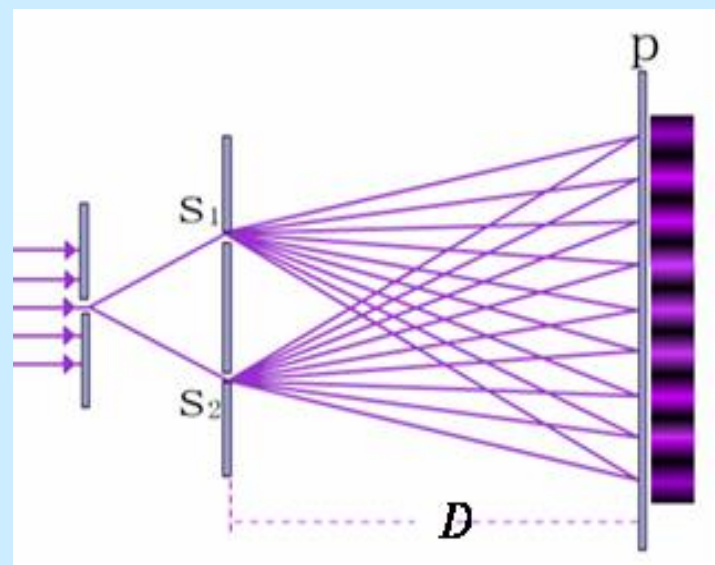
$$\delta = L_2 - L_1 = \pm k\lambda$$

- 两列光干涉的暗纹条件：

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta = \pm (2k + 1)\pi$$

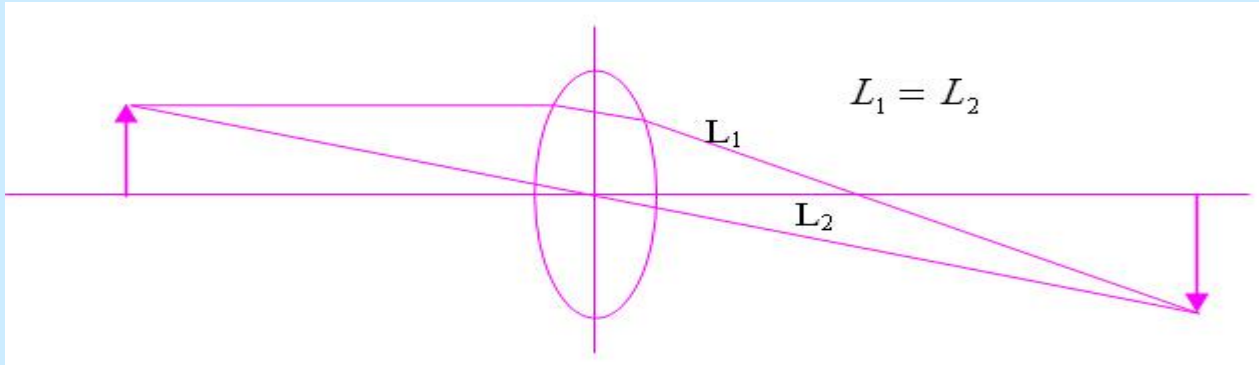
$$k = 0, 1, 2, \dots$$

$$\delta = L_2 - L_1 = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

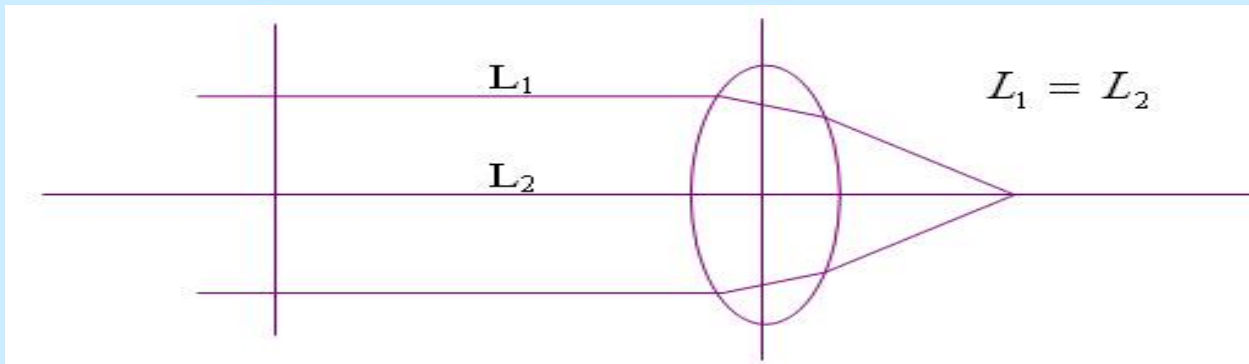


4. 等光程性

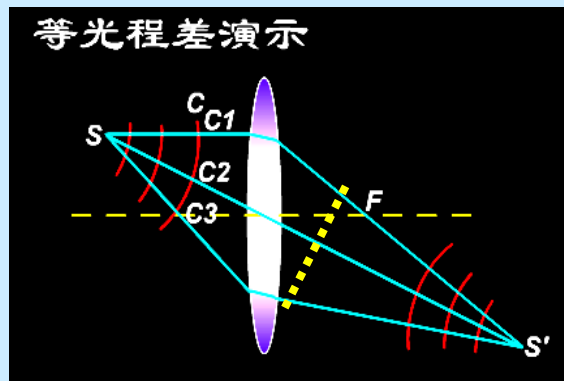
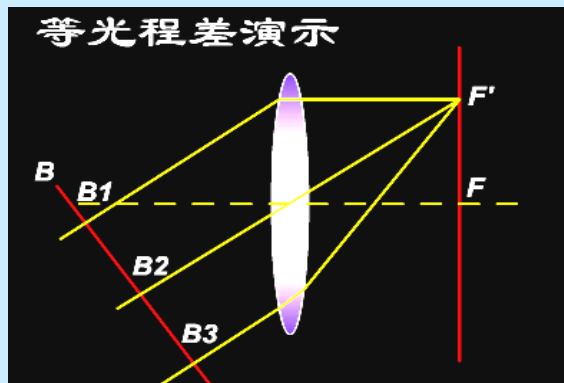
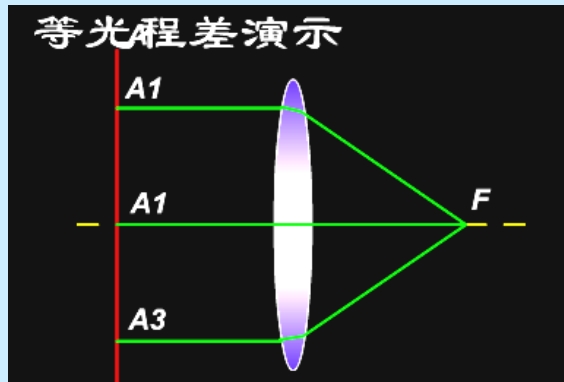
- 透镜成像时的等光程性：



- 平行光通过透镜会聚时的等光程性：



- 等光程性演示：



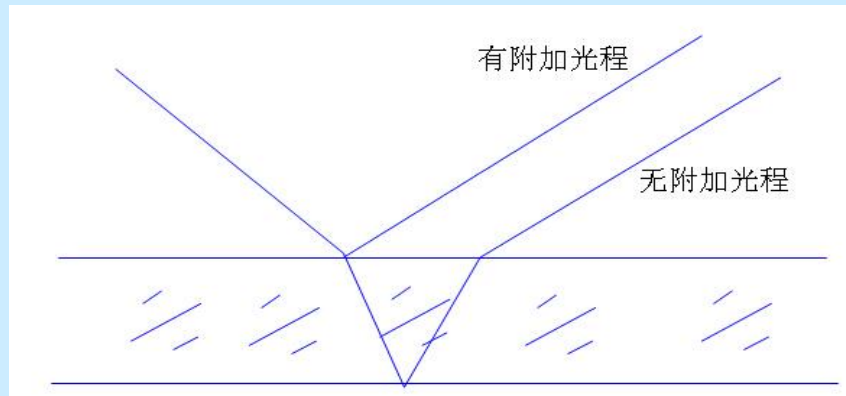
平行光的同相面与光线垂直，所以从入射平行光内任一与光线垂直的平面算起，直到会聚点，各光线的光程都是相同的！

对透镜成象，从物点到象点，沿各条传播路径(光线)的光程相等，**即物点到象点各光线之间的光程差为零**，使用透镜不会产生附加的光程差。

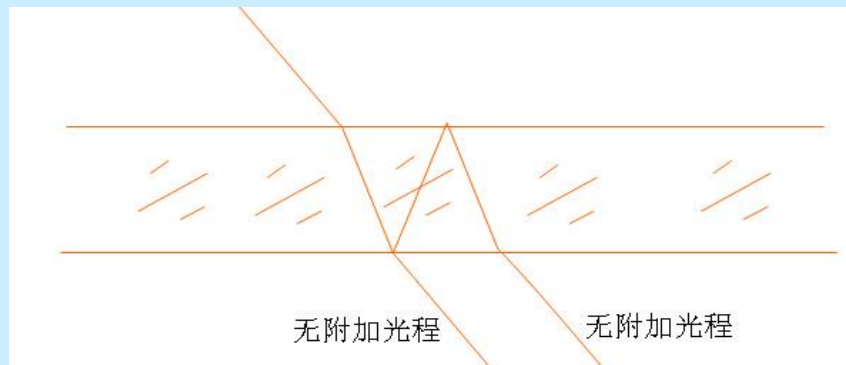
5. 光的相位突变和附加光程差

- 光从光疏介质到光密介质的反射有相位的突变，等效有 $\lambda/2$ 的附加光程；
- 光从光密介质到光疏介质的反射没有相位的突变，没有附加光程；
- 光的任何折射都没有相位的突变，没有附加光程。

- 有附加光程的例子：



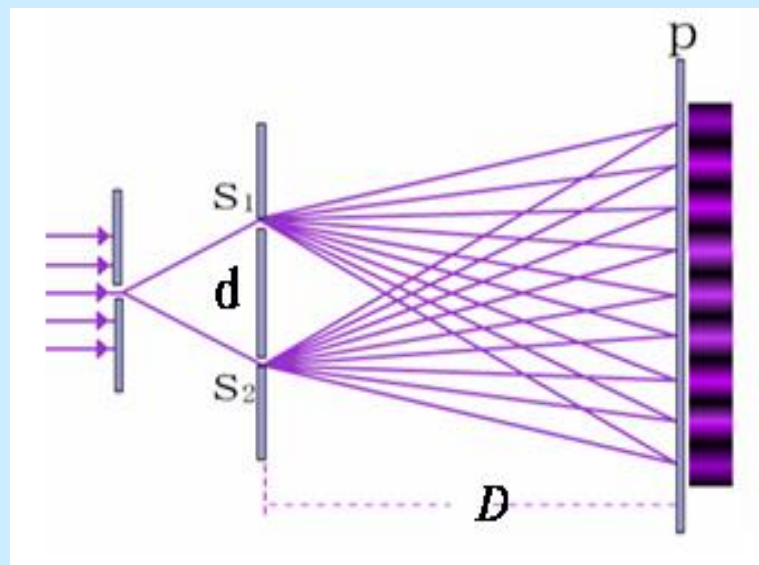
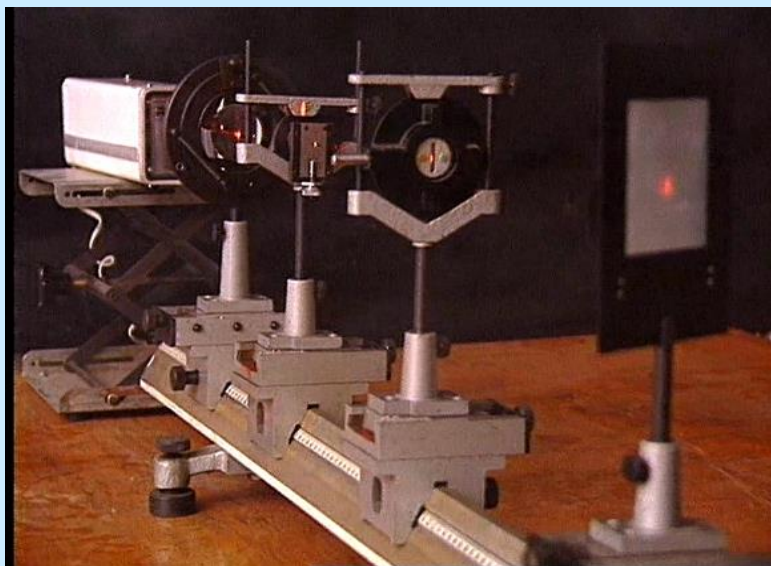
- 无附加光程的例子：



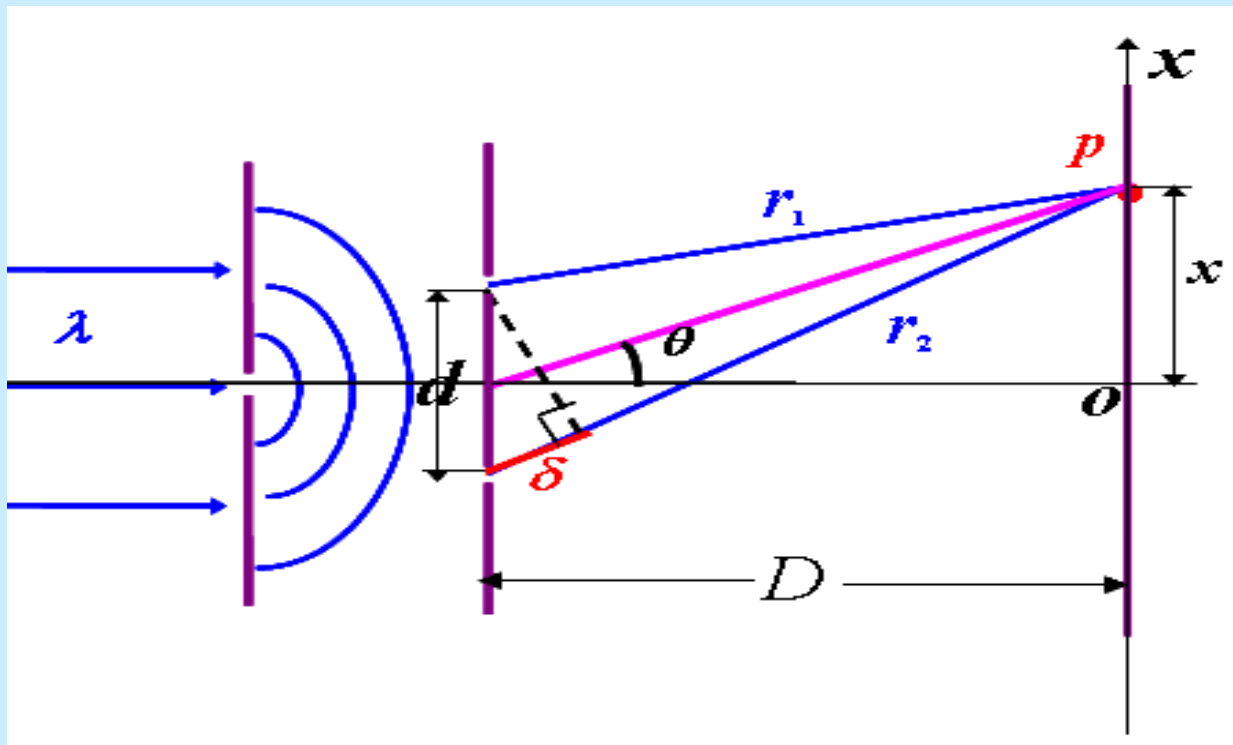
§ 3 双缝干涉

1. 杨氏双缝干涉实验

- 分波阵面法获得相干光；
- 杨氏双缝实验第一次测定了光的波长这个重要的物理量。



2. 杨氏双缝干涉实验光路原理



- 实验条件: $d \gg \lambda$, $D \gg d$ ($d \sim 10^{-4}\text{m}$, $D \sim \text{m}$)
- 光程差: $\delta = r_2 - r_1 \approx d \sin \theta \approx d \tan \theta = d \cdot \frac{x}{D}$

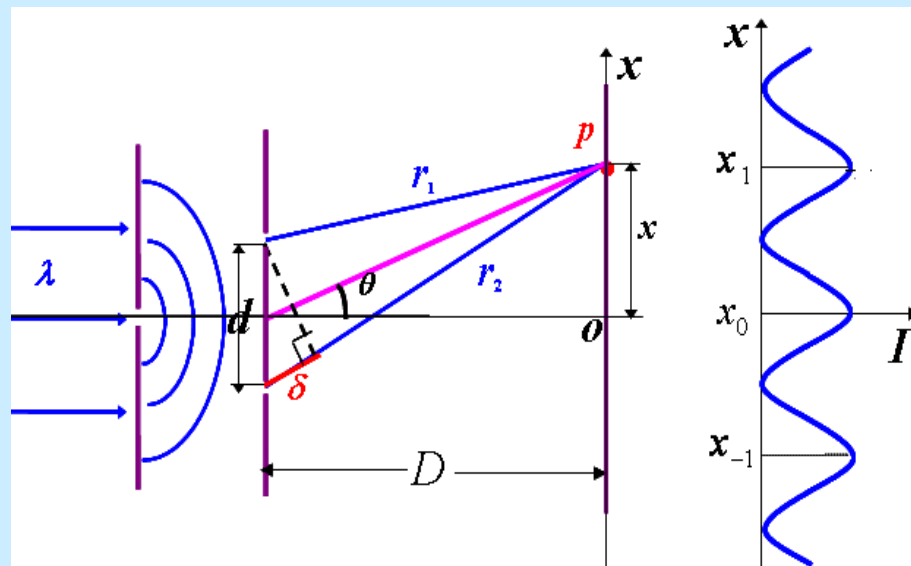
3. 扬氏双缝干涉实验干涉明暗条纹的位置

- 明纹中心（干涉相长）：

$$\delta = d \cdot \frac{x}{D} = \pm k\lambda$$

$$x_{\pm k} = \pm k \frac{D}{d} \lambda$$

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

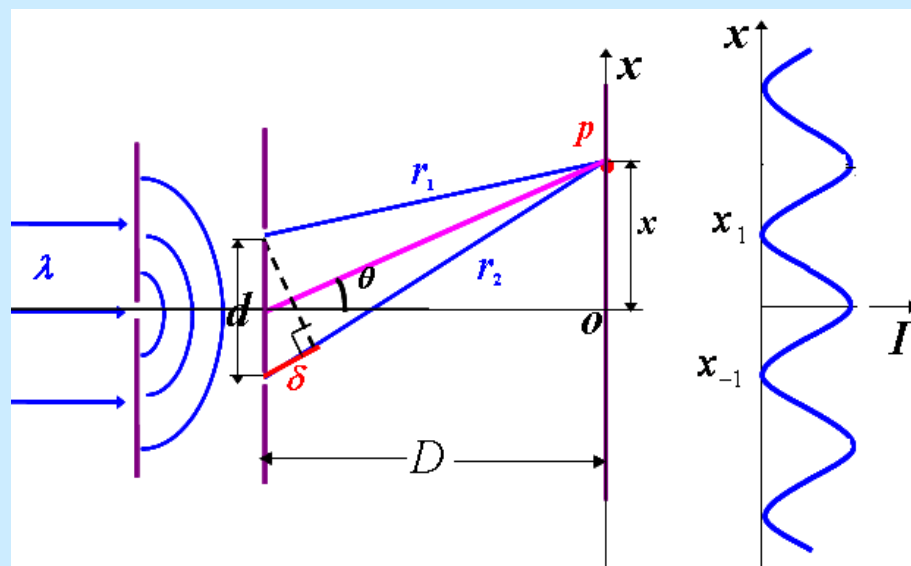


- 暗纹中心（干涉相消）：

$$\delta = d \cdot \frac{x}{D} = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$x_{\pm(k+1)} = \pm (2k + 1) \frac{D}{2d} \lambda$$

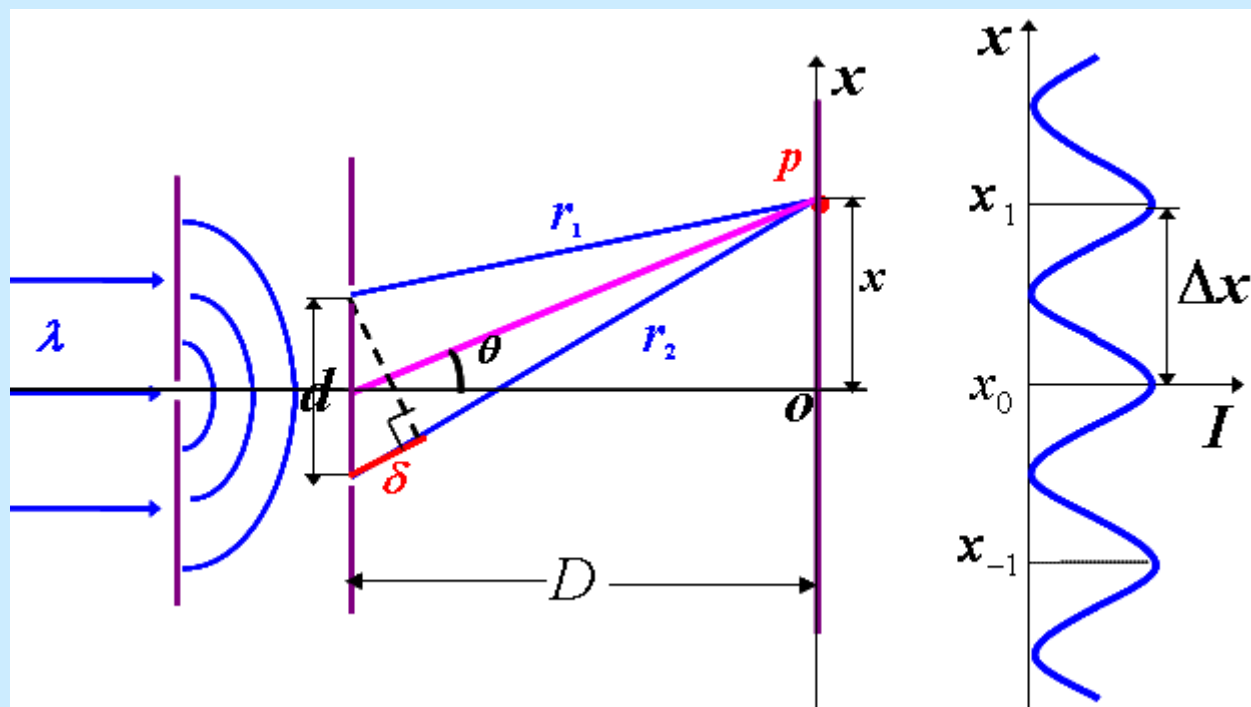
$$k = 0, 1, 2, \dots$$



4. 杨氏双缝干涉实验干涉明纹间隔

- $k=0$ 的明纹叫中央明纹， $k=1$ 的明纹叫一级明纹， $k=2$ 的明纹叫二级明纹等等；
- 两相邻明纹之间的间距叫明纹间隔，任意明纹间隔都相同，所以明纹是均匀分布的；

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = (k+1)\frac{D}{d}\lambda - (k)\frac{D}{d}\lambda = \frac{D}{d}\lambda$$



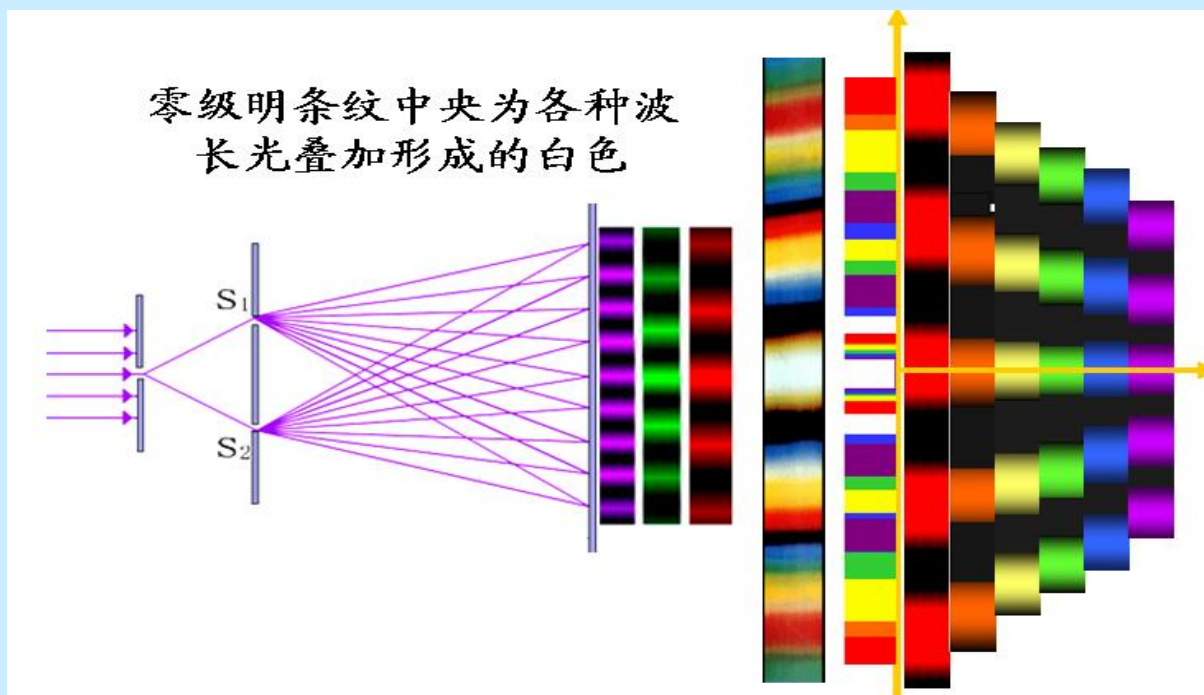
$$\Delta x = \frac{D}{d}\lambda$$

5. 扬氏双缝干涉实验干涉明纹的分辨率

- 明纹间隔: $\Delta x = \frac{D}{d} \lambda$
- 明纹间隔越小，干涉条纹越难分辨；
- 明纹间隔与波长成正比，波长 λ 大，明纹间隔越大，干涉条纹越好分辨，但光波波长本来就小，所以光的干涉实验难度较大；
- 明纹间隔与 D 成正比， D 越大，明纹间隔越大，干涉条纹越好分辨，但 D 不能太大， D 越大整个干涉条纹越暗，也使分辨率下降；
- 明纹间隔与 d 成反比， d 越小，明纹间隔越大，干涉条纹越好分辨，但是 d 不能小到小孔直径的程度；
- 相干长度的因素，级次(k)越大，明纹越暗，干涉条纹只能在小角度范围内观察。氦氖激光的相干长度远比普通光源好，所以用氦氖激光可以得到较大的干涉范围。

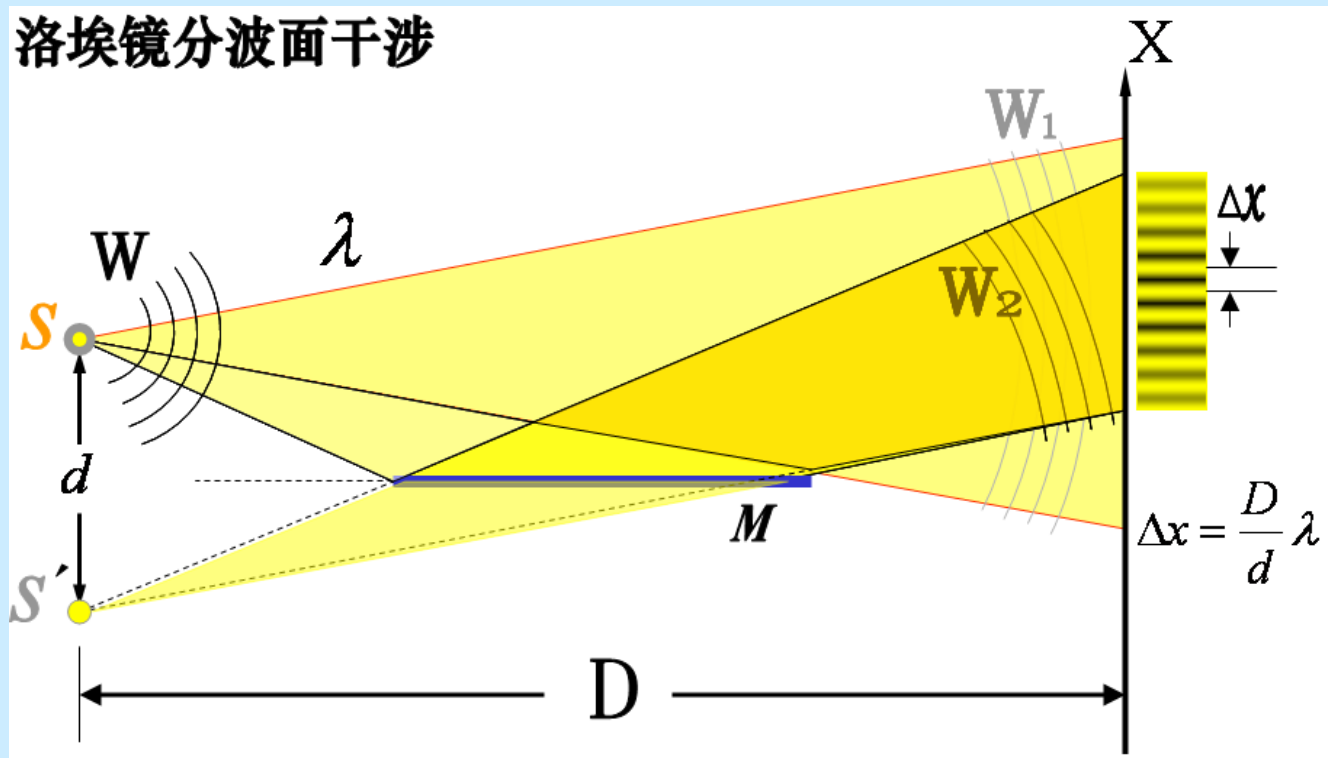
6. 复色光扬氏双缝干涉实验

- 干涉明纹位置与波长有关：
$$x_{\pm k} = \pm k \frac{D}{d} \lambda \quad k = 0, 1, 2, \dots$$
- 由于干涉条纹位置与波长有关，不同波长的光其干涉条纹位置不同，所以复色光的干涉条纹是彩色的。
- 由于不同波长的光其干涉条纹位置，这将使得复色光的干涉彩色条纹分辨率远小于单色光。



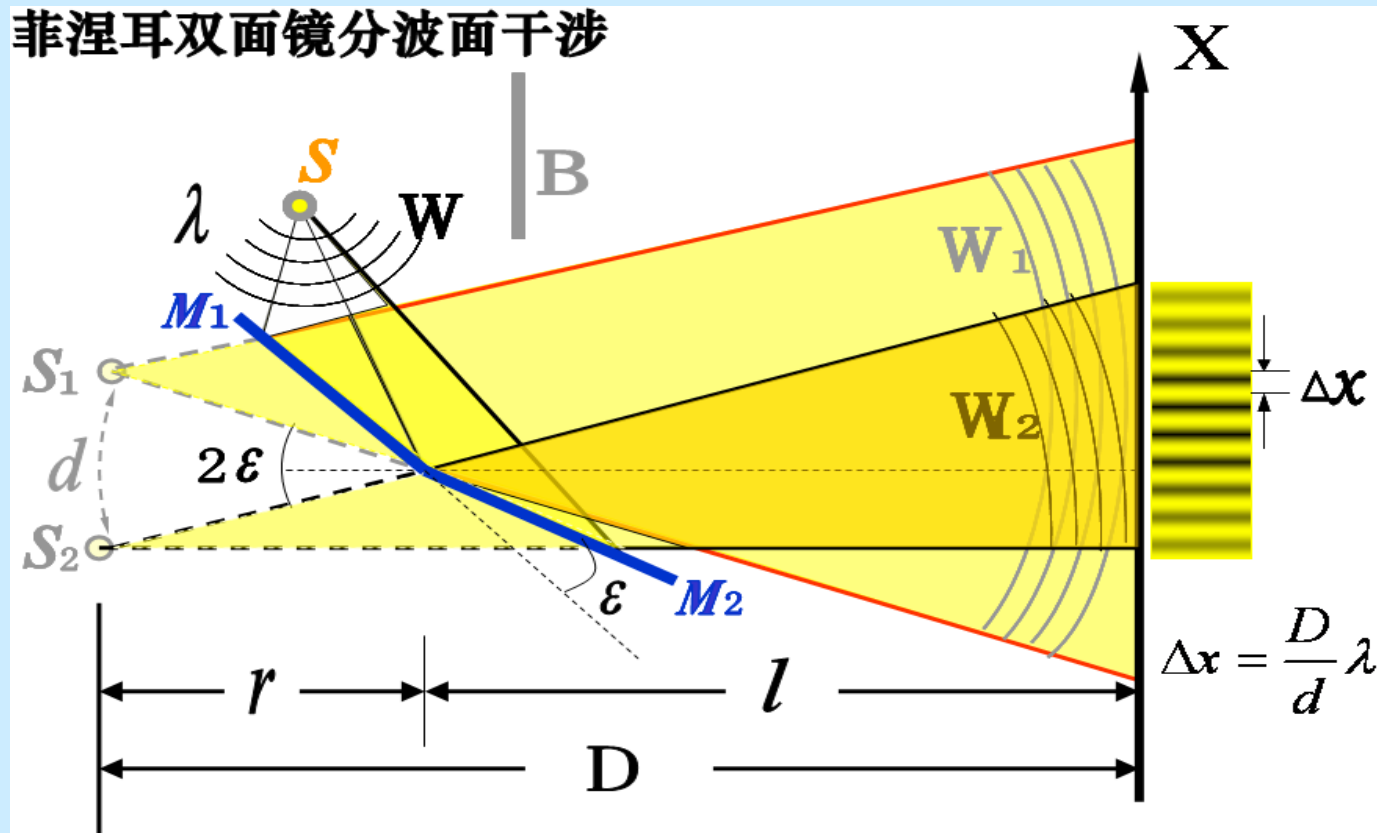
7. 洛埃得镜干涉实验

- 克服杨氏双缝实验要求缝不能太宽的问题，干涉的基本原理与杨氏双缝实验一样。



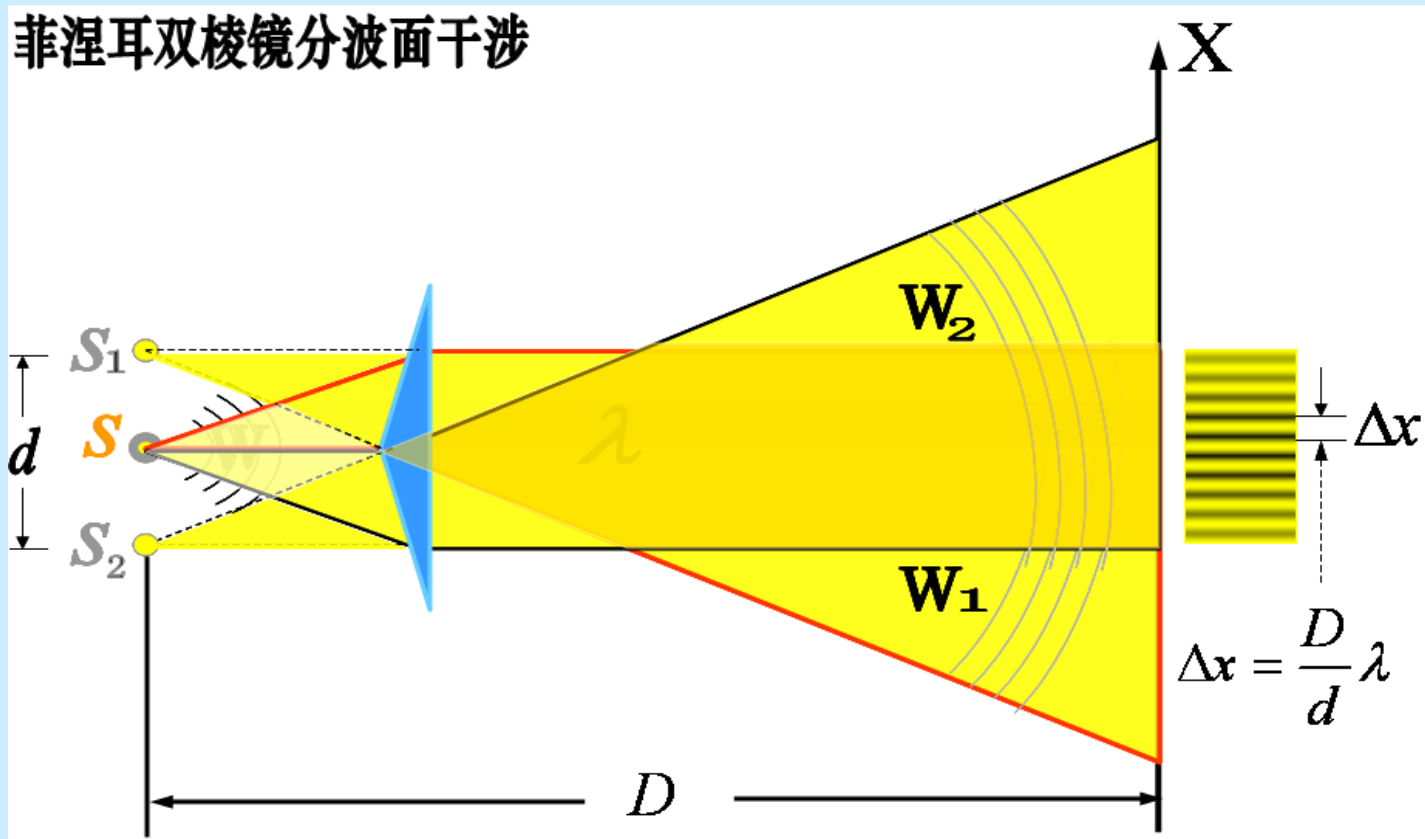
8. 菲涅耳双面镜干涉实验

- 克服杨氏双缝实验要求缝不能太宽的问题，干涉的基本原理与杨氏双缝实验一样。



9. 菲涅耳双菱镜干涉实验

- 克服杨氏双缝实验要求缝不能太宽的问题，干涉的基本原理与杨氏双缝实验一样。



例:用白光作双缝干涉实验时，能观察到几级清晰可辨的彩色光谱？

解: 用白光照射时，除中央明纹为白光外，两侧形成**内紫外红**的对称彩色光谱. 当 k 级红色明纹位置 $x_{k\text{红}}$ 大于 $k+1$ 级紫色明纹位置 $x_{(k+1)\text{紫}}$ 时，光谱就发生重叠。据前述内容有

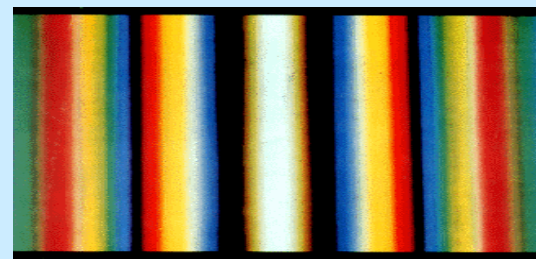
$$x_{k\text{红}} = k \frac{D}{d} \lambda_{\text{红}} \quad x_{(k+1)\text{紫}} = (k+1) \frac{D}{d} \lambda_{\text{紫}}$$

由 $x_{k\text{红}} = x_{(k+1)\text{紫}}$ 的临界情况可得 $k\lambda_{\text{红}} = (k+1)\lambda_{\text{紫}}$

将 $\lambda_{\text{红}} = 7600\text{\AA}$ ， $\lambda_{\text{紫}} = 4000\text{\AA}$ 代入得 $k=1.1$

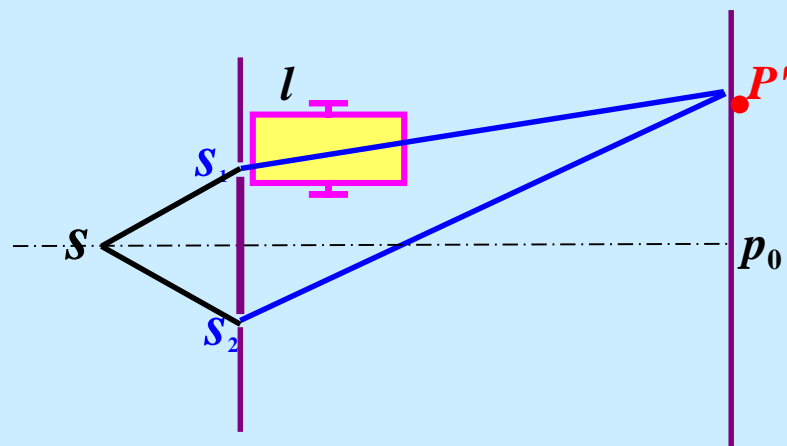
因为 k 只能取整数，所以应取 $k=2$

这一结果表明：在中央白色明纹两侧，只有第一级彩色光谱是清晰可辨的。



例:图示一种利用干涉现象测定气体折射率的原理图。在缝 S_1 后面放一长为 l 的透明容器，在待测气体注入容器而将空气排出的过程中，屏幕上的干涉条纹就会移动。通过测定干涉条纹的移动数可以推知气体的折射率，问

1. 若待测气体的折射率大于空气折射率，干涉条纹如何移动？

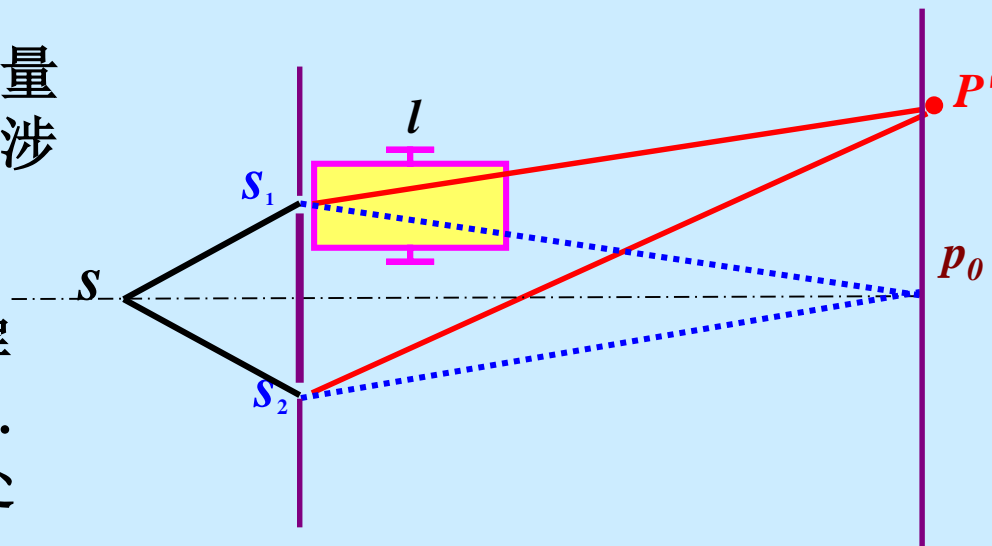


2. 设 $l=2.0\text{cm}$ ，光波波长 5893\AA ，空气折射率为 1.000276 ，充以某种气体后，条纹移过20条，这种气体的折射率为多少（不计透明容器的器壁厚度）？

解：1. 讨论干涉条纹的移动，可跟踪屏幕上某一条纹(如零级亮条纹)，研究它的移动也就能了解干涉条纹的整体移动情况。

当容器未充气时，测量装置实际上是杨氏双缝干涉实验装置。

其零级亮纹出现在屏上与 S_1 、 S_2 对称的 P_0 点。从 S_1 、 S_2 射出的光在此处相遇时光程差为零。



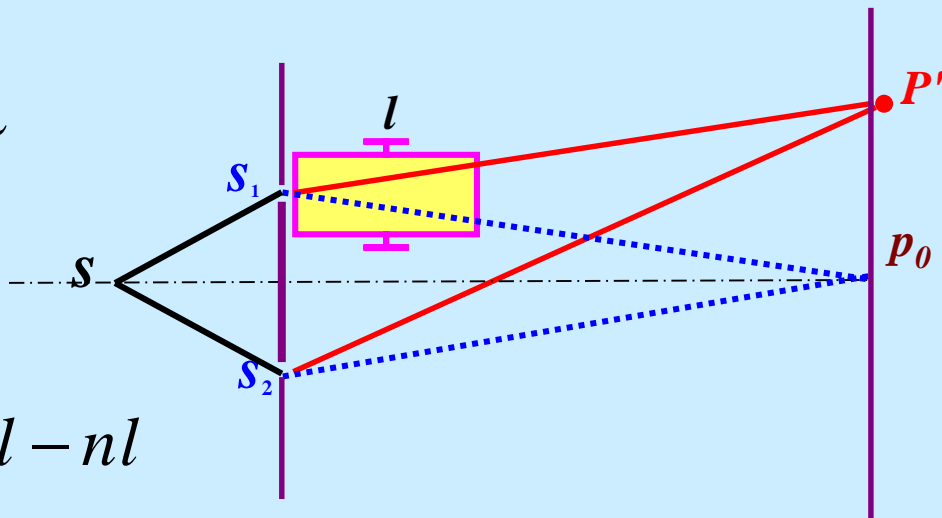
容器充气后， S_1 射出的光线经容器时光程要增加，零级亮纹应在 P_0 的上方某处 P' 出现，因而整个条纹要向上移动。

2. 按题义，条纹上移20条， P_0 处现在出现第20级亮条纹，
因有

光程差： $\delta_{(S_1P_0-S_2P_0)} = N\lambda$

其中 $N = 20$ ，
为移过的条纹数，即

光程差： $\delta_{(S_1P_0-S_2P_0)} = n'l - nl$



n' ， n 分别为气体和空气的折射率，所以有

$$n'l - nl = N\lambda$$

$$n' = n + \frac{\lambda}{l} \approx 1.000276 + 20 \times 5893 \times 10^{-8} / 20 = 1.000335$$

12. 历史的回顾

古代光学基本上停留在几何光学的研究和总结上。公元前5世纪《墨经》、北宋时期沈括的《梦溪笔谈》都有记载。古希腊欧几里德(Euclid, 约公元前330-275) 研究光的反射。托勒密 (C. Ptolemaeus, 希, 约公元100-170) 研究光的折射。荷兰人斯涅耳最早提出折射定律, 由法国数学家费马 (1601-1665) 提出费马原理, 予以确定, 使几何光学理论很快发展。1666-1704年间, 牛顿用色散原理解释了天界神秘而瑰丽的彩虹。

胡克以发现弹性定律而著称于世。他同时也是光的波动说的最早倡议人之一。他明确提出光是一种在媒质中传播的“振动”，类似于水波。



牛顿不同意波动说，他认为光不是波动，而是微粒（光子）。光子从光源射出，进入观测者眼睛，传递过来的是实实在在的微粒流，光传递是真实的物质传递。

牛顿的微粒说能够解释光的直线传播、反射、折射等现象。1666-1704年间,牛顿用色散原理解释了神秘而瑰丽的彩虹。



重大的转折发生在1801年，那一年托马斯·杨完成了光的双缝干涉实验，干涉现象是微粒说无论如何无法解释的，波动说终于战胜了微粒说。

1800年正是**微粒说**占上风的时期，托马斯·杨发表了《关于光和声的实验与研究提纲》的论文，文中他公开向牛顿的微粒说提出挑战。

从1801年起，他担任皇家学院的教授期间，完成了干涉现象的一系列杰出的研究工作。他做了著名的杨氏干涉实验，先用双孔后来又用双缝获得两束相干光，在屏上得到干涉花样。这一实验为**波动光学**的研究作出了开创性的工作，由于它的重大意义，**已作为物理学的经典实验之一流传于世。**

1807年出版的《自然哲学讲义》中描述了现在众所周知的双缝干涉的基本实验。但是，他的理论却没有立即得到重视，被说成是“没有任何价值”的、“荒唐”和“不合逻辑”的。这个自牛顿以来在物理光学上最重要的成果，就这样被缺乏科学讨论气氛的守旧的舆论压制埋没了将近二十年。直到菲涅耳提出他的波动理论后，托马斯·杨才获得了应有的荣誉。



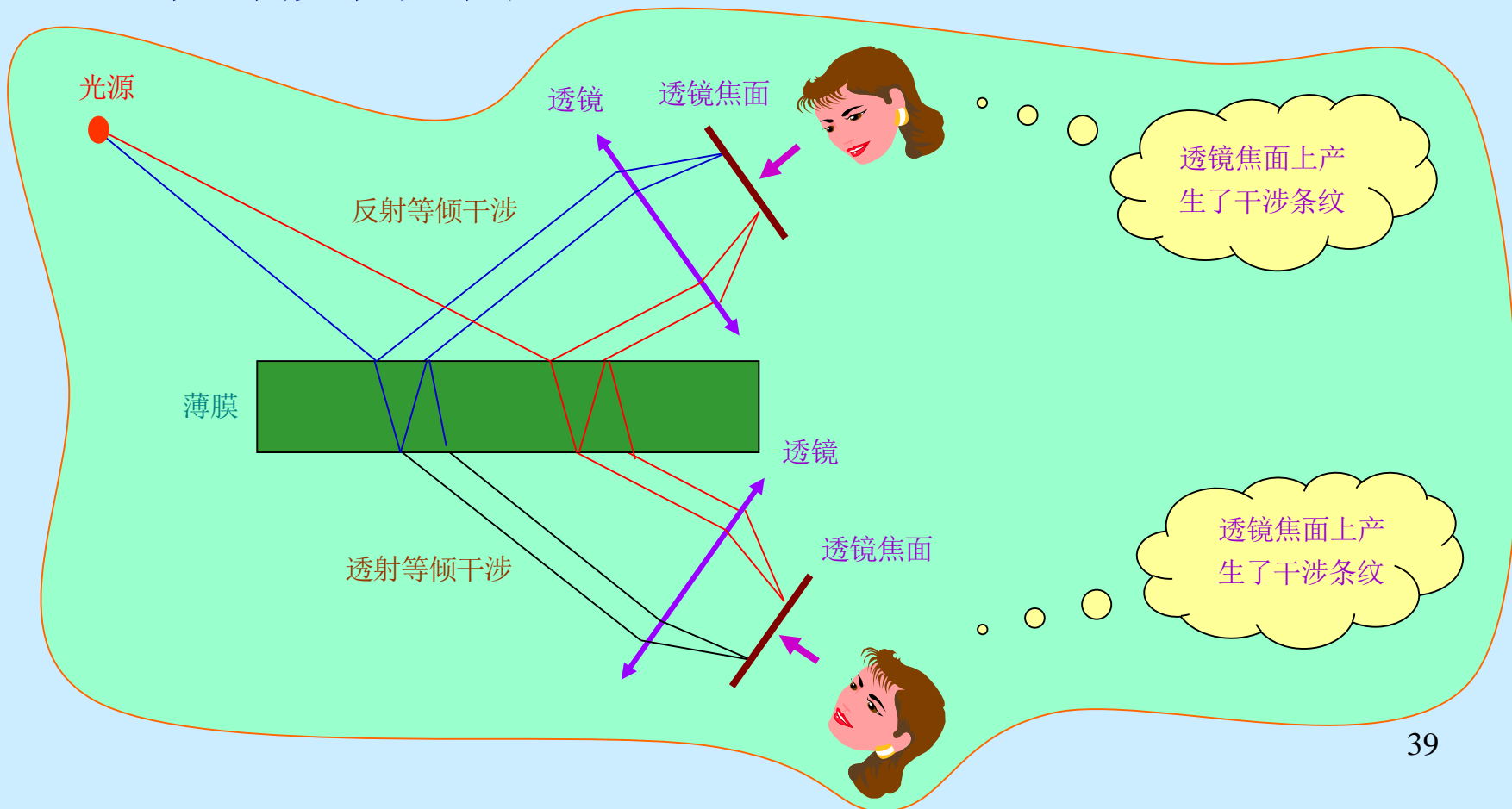
托马斯·杨
Thomas Young
(1773~1829)

**波动光学的
奠基人之一**

§ 4 薄膜的等倾干涉

1. 等倾干涉现象

- 当一束非平行光入射到厚度均匀的透明介质薄膜上，薄膜的反射光或透射光，在透镜的焦面上可以产生干涉现象-等倾干涉条纹。



2. 等倾干涉分析

- 折射定律和附加光程差：

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

$$\frac{n_1}{n_2} \sin r \cdot \sin i = \sin^2 r$$

$$\delta' = \frac{\lambda}{2} \quad n_1 < n_2 > n_3 \text{ 或 } n_1 > n_2 < n_3$$

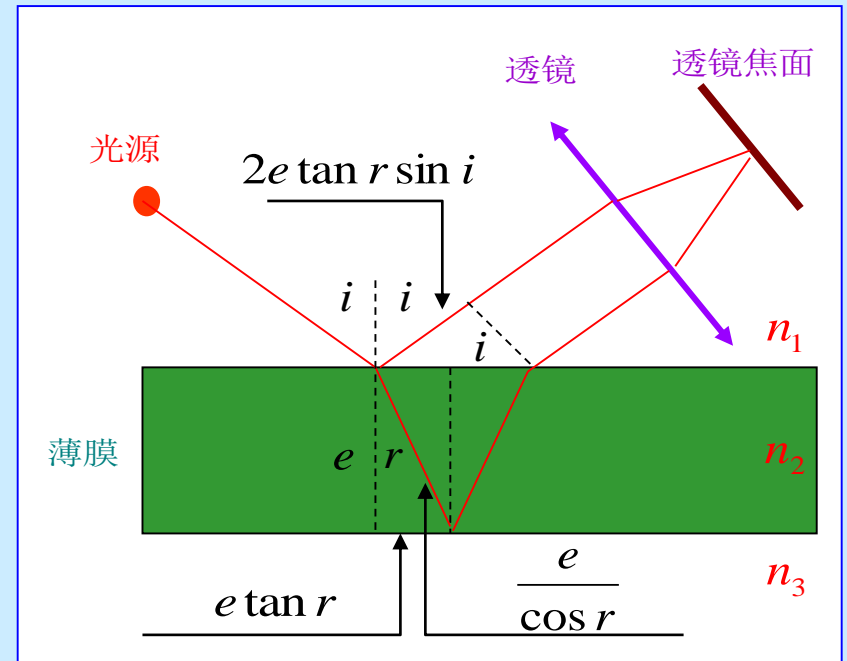
$$\delta' = 0 \quad n_1 > n_2 > n_3 \text{ 或 } n_1 < n_2 < n_3$$

- 光程差

$$\delta = \left(2 \cdot \frac{e}{\cos r} \cdot n_2 \right) - \left(2 \cdot e \frac{\sin r}{\cos r} \sin i \cdot n_1 \right) + \delta'$$

$$= 2en_2 \cdot \frac{1 - \frac{n_1}{n_2} \sin r \cdot \sin i}{\cos r} + \delta' = 2en_2 \cdot \frac{1 - \sin^2 r}{\cos r} + \delta' = 2en_2 \cos r + \delta'$$

$$= 2en_2 \sqrt{1 - \sin^2 r} + \delta' = 2e \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \delta' = 2e \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \delta'$$



- 干涉条件

$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \delta' = \begin{cases} \pm k\lambda & k = 0.1.2\cdots \text{明} \\ \pm (2k+1)\frac{\lambda}{2} & k = 0.1.2\cdots \text{暗} \end{cases}$$

$$\delta' = 0 \text{ 或 } \frac{\lambda}{2} \quad \downarrow$$

$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \delta' = \begin{cases} k\lambda & k = 1.2\cdots \text{明} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & k = 0.1.2\cdots \text{暗} \end{cases}$$

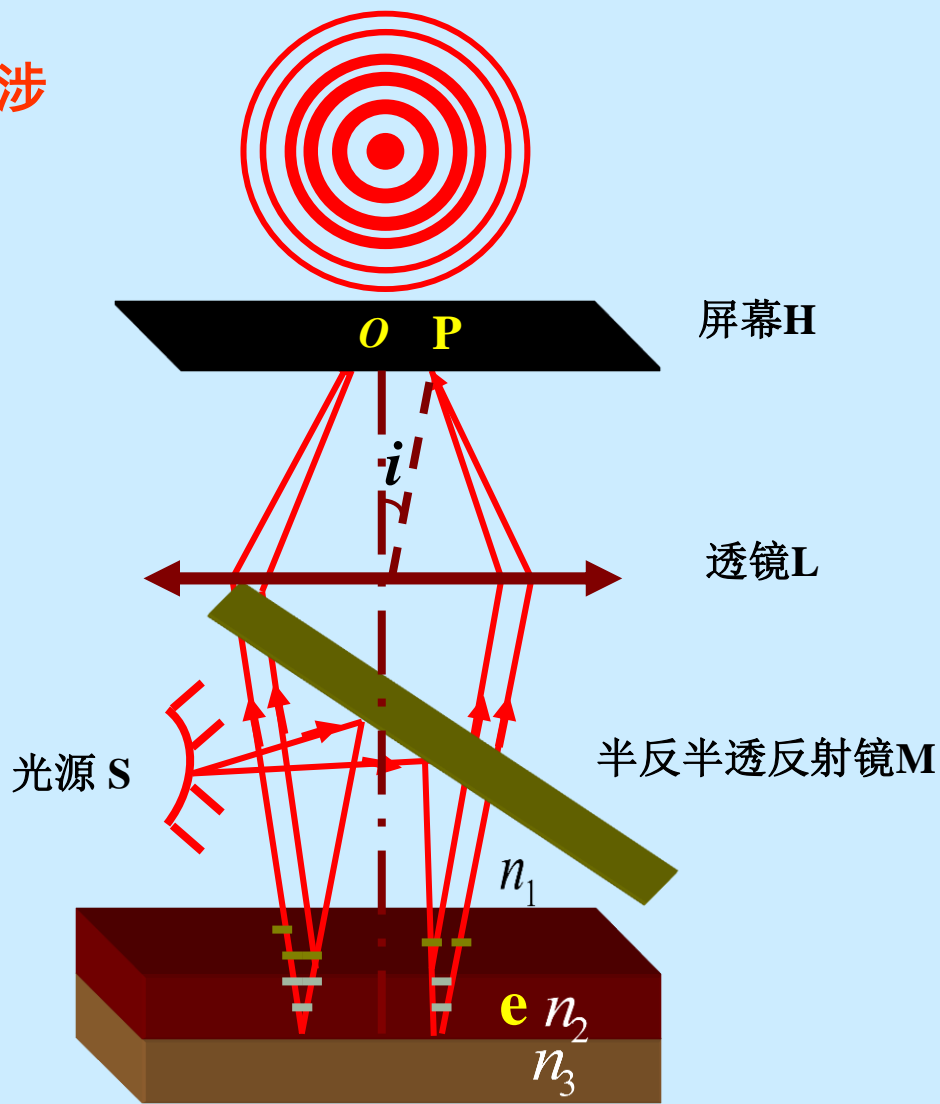
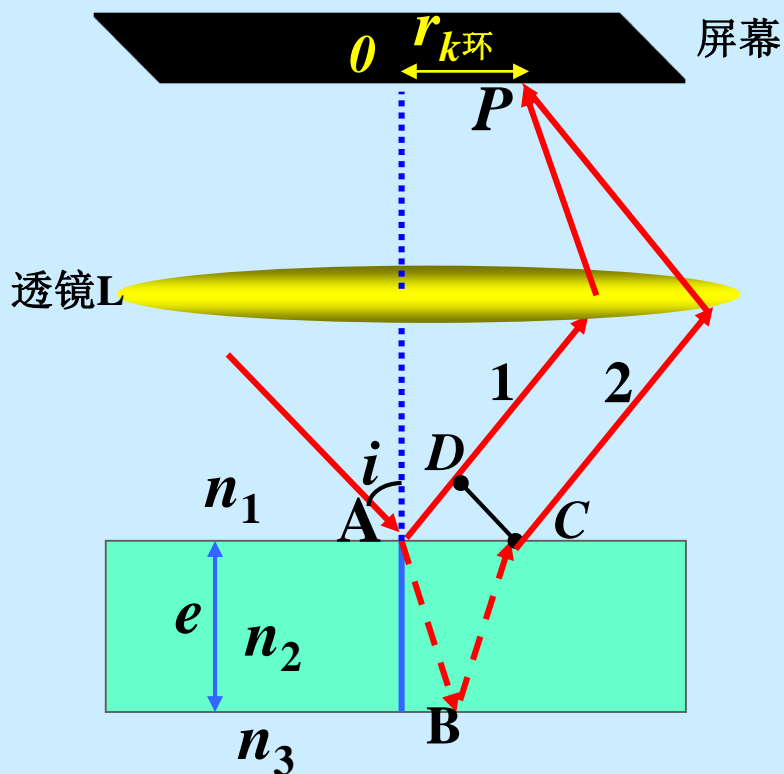
- 干涉条件中薄膜厚度不变，入射角不同，干涉明暗不同，所以在透镜焦面上产生干涉条纹。
- 以上为反射干涉条件，同样可得透射干涉条件，它与反射干涉条件恰好相反，当某个入射角的反射干涉为明纹时，其透射干涉就是暗纹，当某个入射角的反射干涉为暗纹时，其透射干涉就是明纹。这也是能量守恒所要求的。

$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \delta' = \begin{cases} k\lambda & k = 1.2\cdots \text{暗} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & k = 0.1.2\cdots \text{明} \end{cases}$$

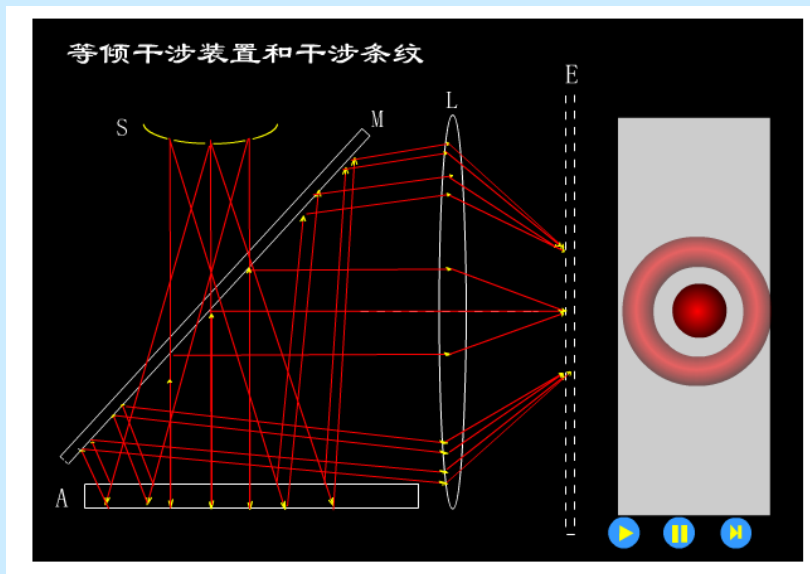
3. 等倾干涉装置

e 一定, i 变化时, 产生等倾干涉

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



4. 等倾干涉的特点



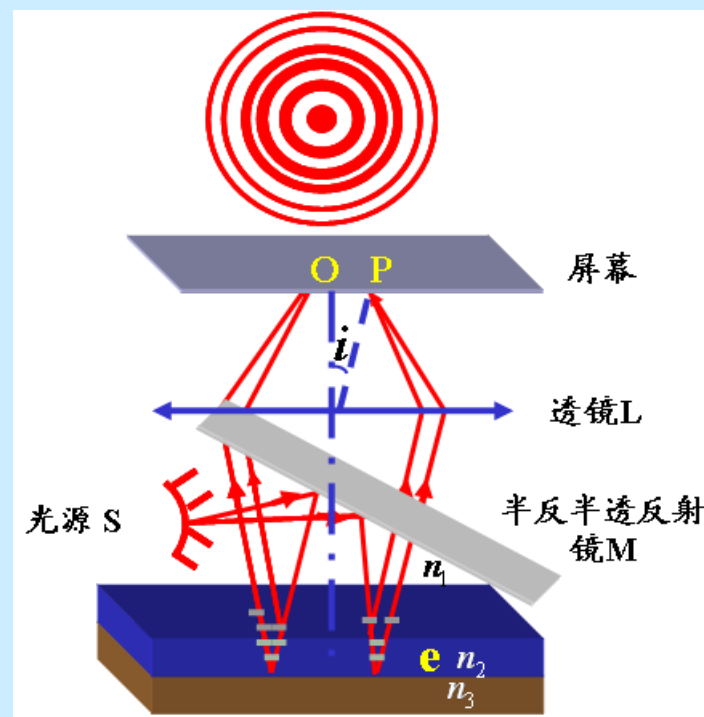
倾角 i 相同的光线对应同一条干涉条纹 — 等倾条纹。

条纹特点

形状：条纹是以 o 为中心的同
心圆环(在透镜焦平面上)圆环
在透镜光心张的角即为 i 。

等倾条纹形成基本特点：

1. 膜厚均匀(e 不变),
2. 入射光各向都有(点、面光源照明),
3. 条纹定域在无穷远处。



5. 增透膜

利用薄膜干涉使反射光减小，
这样的薄膜称为增透膜。



为使反射光减弱，所涂薄膜厚度 e 应满足下列条件：

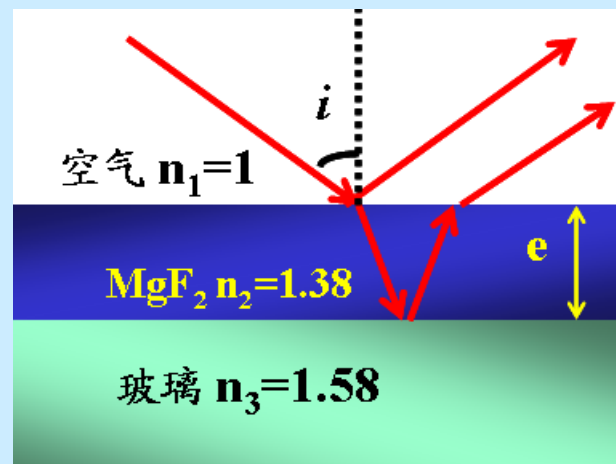
$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} = (2k + 1)\frac{\lambda}{2} \quad (k = 0.1.2\cdots)$$

当 $i = 0$

$$\delta = 2en_2 = (2k + 1)\frac{\lambda}{2} \quad (k = 0.1.2\cdots)$$

$k = 0$

$$n_2 e = \frac{\lambda}{4} \quad \text{—增透膜的光学厚度}$$



6. 高反射膜

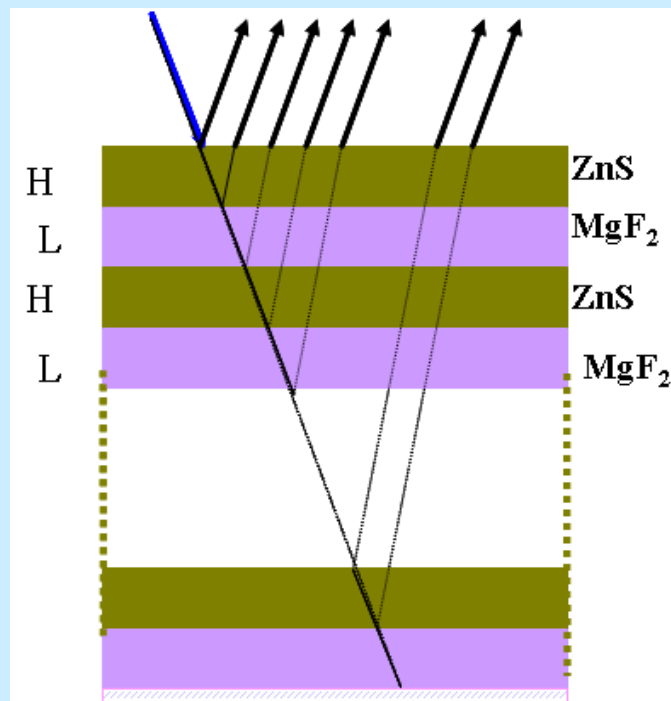
为使反射光加强，所涂薄膜厚度 e 应满足下列条件：

$$\text{当 } i = 0 \quad \delta = 2en_2 = k\lambda \quad (k = 1, 2, \dots)$$

$$\text{取 } k = 1 \quad en_2 = \frac{\lambda}{2} \quad \text{—增反膜的光学厚度}$$

多层高反射膜

在光学仪器表面，交替镀上光学厚度均为 $\lambda/4$ 的**高折射率** ZnS (折射率为2.40) 和**低折射率** MgF₂，如果镀到13层以上，膜系反射率可高达94%以上。



例:白光垂直入射至油面, 问: (1)从油膜正面观察, 可见光中反射最强的是什么光? 呈现什么色彩?

解: 反射最强 → 满足膜干涉明纹条件
 由于 $n_1 < n_2 < n_3$, 二束相干光在油上下两个表面反射都有半波损失。

$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \theta_1} = k\lambda, \quad (k = 1, 2, 3 \dots)$$

垂直入射, $\theta_1 = 0$ $\delta = 2en_2 = k\lambda$

$$\lambda = \frac{2n_2e}{k}$$

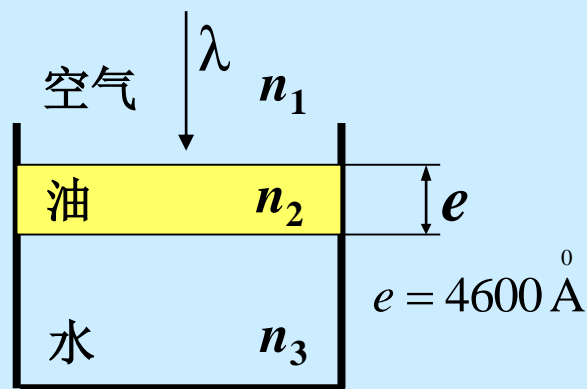
n_2, e 已给定, 对应于不同的 k 值, 有不同的反射加强光波。

$$k = 1, \lambda_1 = 2n_2e = 11040 \text{ \AA}$$

$$k = 3, \lambda_3 = \frac{2n_2e}{3} = 3680 \text{ \AA}$$

$$k = 2, \lambda_2 = \frac{2n_2e}{2} = 5520 \text{ \AA}$$

绿色

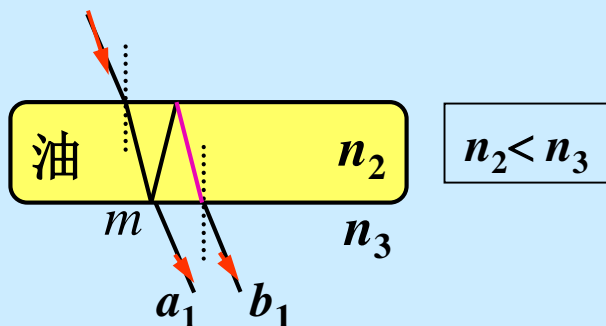


$$n_1 = 1, n_2 = 1.2, n_3 = 1.3$$

光 色	波长 λ (nm)
红 (Red)	620~760
橙 (Orange)	592~620
黄 (Yellow)	578~592
绿 (Green)	500~578
青 (Cyan)	464~500
蓝 (Blue)	446~464
紫 (Violet)	400~446

例:白光垂直入射至油面, 问: (1)从油膜正面观察, 可见光中反射最强的是什么光? 呈现什么色彩?

(2)从油膜反面观察, 可见光中透射最强的是什么光? 呈现什么色彩?

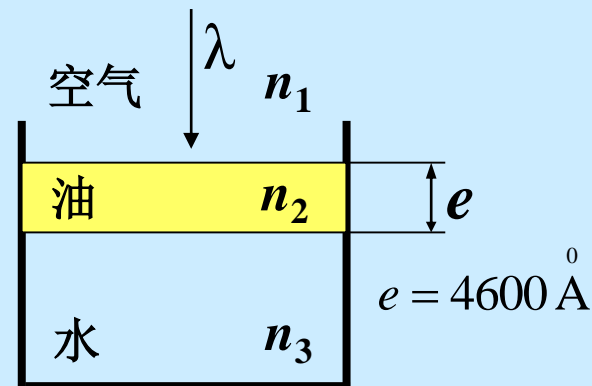


a_1, b_1 透射加强, 注意到 m 点有半波损失

$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = 2n_2e + \frac{\lambda}{2}, \quad (i=0)$$

由 $\delta = k\lambda$ ($k=1,2,3\dots$) 得: $\lambda = \frac{4n_2e}{2k+1}$

e, n_2 给定, 对应不同的 k 有不同的透射最强光波



$$n_1 = 1, n_2 = 1.2, n_3 = 1.3$$

$$k = 2, \lambda_2 = 7630 \text{ \AA}$$

红光

$$k = 3, \lambda_3 = 4416 \text{ \AA}$$

蓝光

$$k = 4, \lambda_4 = 3154 \text{ \AA}$$

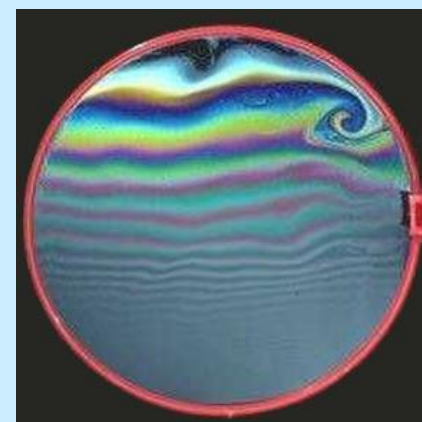
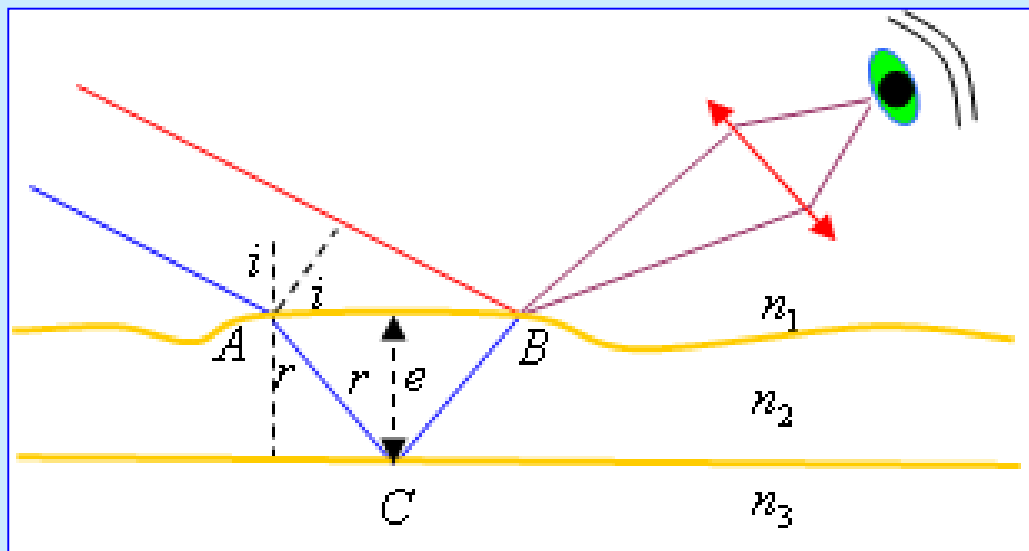
紫外光

可见光: 红光、蓝光

§ 5 薄膜的等厚干涉

1. 等厚干涉现象

- 当一束平行光入射到厚度不均匀的透明介质薄膜上，在薄膜表面上可以产生干涉现象-等厚干涉条纹。



日光下的肥皂膜

2. 等厚干涉的光程差

- 折射定律和半波损失

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

$$\frac{n_1}{n_2} \sin r \cdot \sin i = \sin^2 r$$

$$\delta' = 0 \quad n_1 > n_2 > n_3 \text{ 或 } n_1 < n_2 < n_3$$

$$\delta' = \frac{\lambda}{2} \quad n_1 < n_2 > n_3 \text{ 或 } n_1 > n_2 < n_3$$

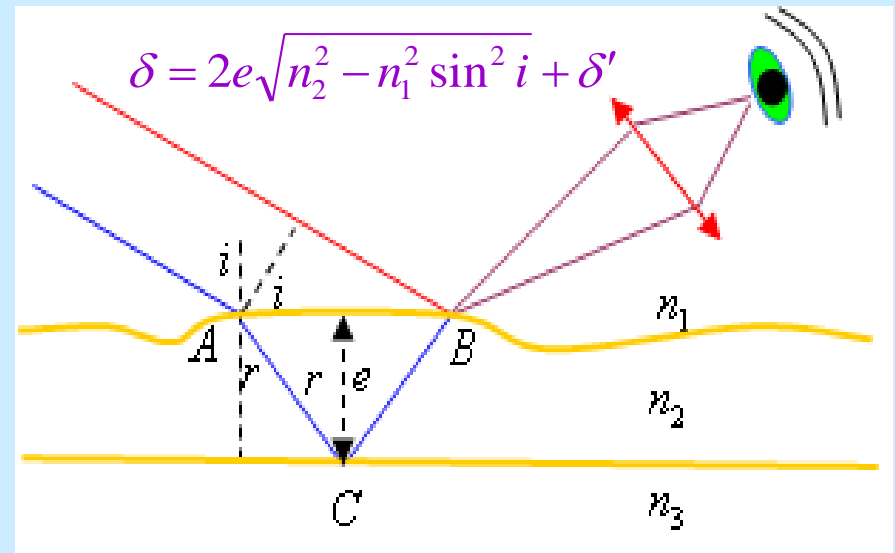
- 光程差

$$\delta = \left(2 \cdot \frac{e}{\cos r} \cdot n_2 \right) - \left(2 \cdot e \frac{\sin r}{\cos r} \sin i \cdot n_1 \right) + \delta'$$

$$= 2en_2 \cdot \frac{1 - \frac{n_1}{n_2} \sin r \cdot \sin i}{\cos r} + \delta'$$

$$= 2en_2 \cdot \frac{1 - \sin^2 r}{\cos r} + \delta' = 2en_2 \cos r + \delta' = 2en_2 \sqrt{1 - \sin^2 r} + \delta'$$

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



3. 等厚干涉分析

- 常见等厚干涉的附加光程为:

$$\delta' = \frac{\lambda}{2} \quad n_1 < n_2 > n_3 \text{ 或 } n_1 > n_2 < n_3$$

- 光程差:

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

- 明纹的厚度条件:

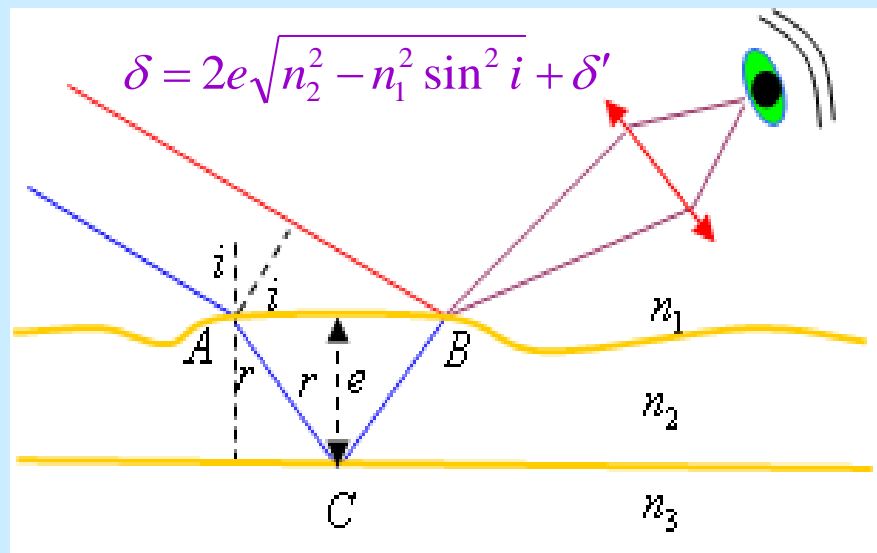
$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = \pm k\lambda \quad k = 0.1.2\cdots$$

$$e = \frac{\pm k\lambda - \lambda/2}{2\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i}} \geq 0 \Rightarrow \boxed{e = \frac{k\lambda - \lambda/2}{2\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i}}} \quad k = 1.2\cdots$$

- 暗纹的厚度条件:

$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad k = 0.1.2\cdots$$

$$e = \frac{1}{2\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i}} \left[\pm(2k+1)\frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{2} \right] \geq 0 \Rightarrow \boxed{e = \frac{k}{2\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i}} \lambda} \quad k = 0.1.2\cdots$$



4. 肥皂膜的等厚干涉分析

- 附加光程差

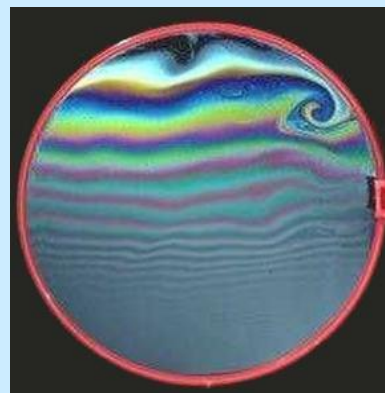
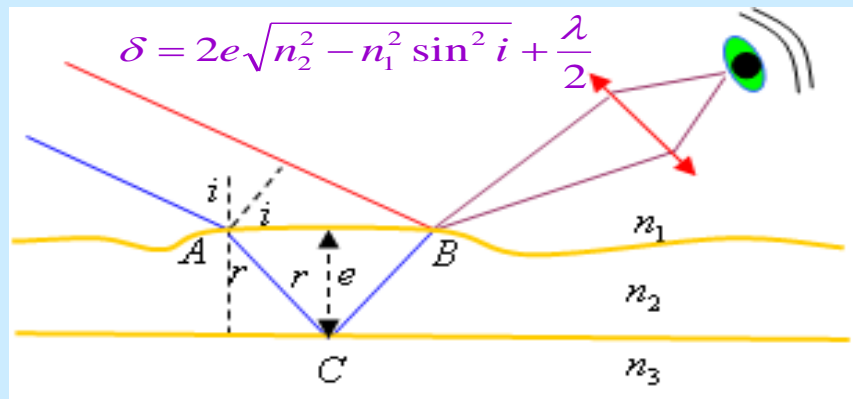
$$\delta' = \frac{\lambda}{2} \quad n_1 < n_2 > n_3$$

- 明纹的厚度条件:

$$e = \frac{k\lambda - \lambda/2}{2\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i}} \quad k = 1, 2, \dots$$

- 暗纹的厚度条件:

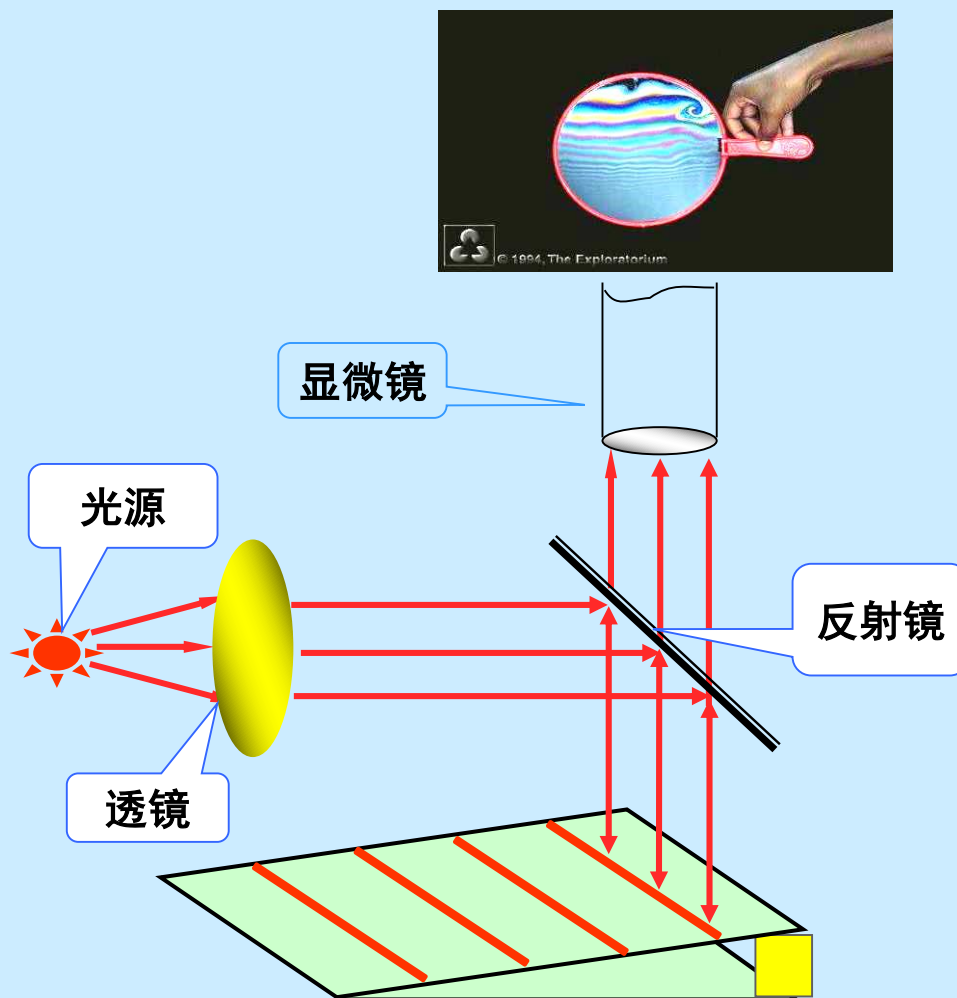
$$e = \frac{k}{2\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i}} \lambda \quad k = 0, 1, 2, \dots$$



- 日光为复合平行光，其照射肥皂膜时，由于肥皂膜厚度各处不一样，有些地方厚度满足某一波长的明纹或暗纹条件，有些地方厚度又满足另一波长的明纹或暗纹条件，所以在肥皂膜上将形成彩色的等厚干涉花纹。

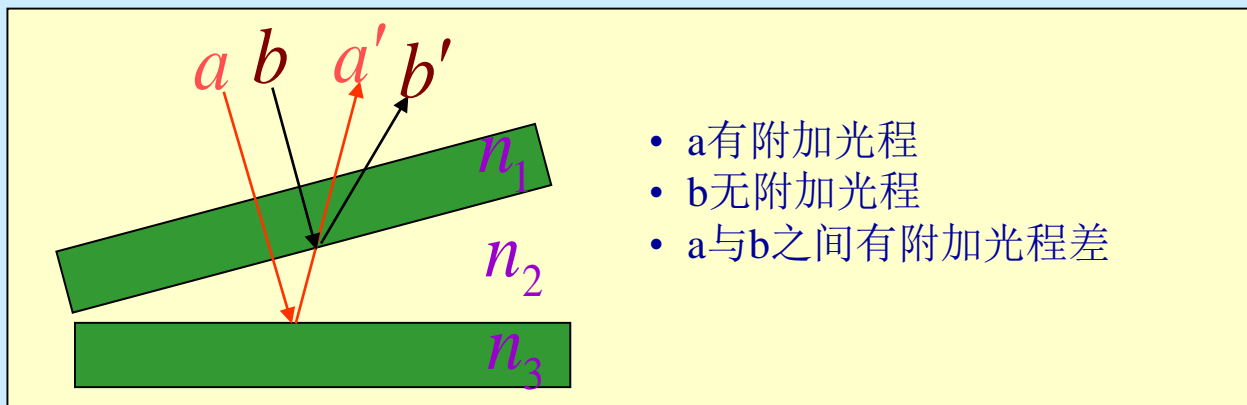
5. 空气劈尖的等厚干涉分析

- **实验装置：** 两块平面玻璃片，一端互相叠合另一端夹一纸片，在两玻璃片之间形成的空气膜称为空气劈尖。两玻璃片的交线称为棱边，在平行于棱边的线上，劈尖的厚度是相等的；
- **干涉现象：** 膜的上表面会产生明暗相间的干涉条纹



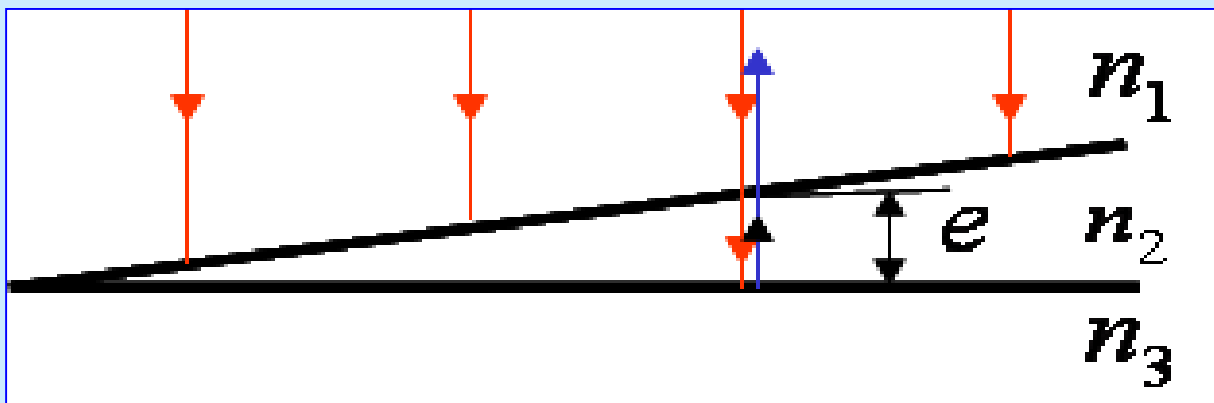
- 空气劈尖的附加光程差：

$$\delta' = \frac{\lambda}{2} \quad n_1 > n_2 < n_3 \quad n_2 = 1$$



- 劈尖的角度很小，入射光的入射角也很小。可以认为是垂直入射：

$$i = 0$$



- 空气劈尖干涉明纹厚度：

$$e_k = \frac{k\lambda - \lambda/2}{2\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i}} = k \frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{4} \quad k = 1, 2, \dots$$

$$e_1 = \frac{\lambda}{4} \quad e_2 = 1 \cdot \left(\frac{\lambda}{2}\right) + \frac{\lambda}{4} \quad e_3 = 2 \cdot \left(\frac{\lambda}{2}\right) + \frac{\lambda}{4}$$

- 相邻干涉明纹厚度差与间距：

$$\Delta e = e_{k+1} - e_k = \frac{\lambda}{2} \quad l = \frac{\Delta e}{\sin \theta} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$$

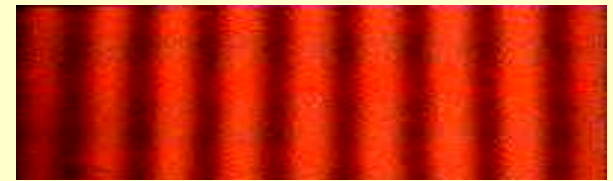
- 空气劈尖干涉暗纹厚度：

$$e_k = \frac{k}{2\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i}} \lambda = k \frac{\lambda}{2} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$$e_0 = 0 \quad e_1 = 1 \cdot \frac{\lambda}{2} \quad e_2 = 2 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

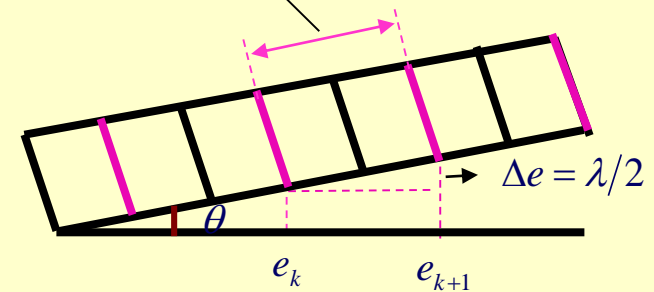
- 相邻干涉暗纹厚度差与间距：

$$\Delta e = e_{k+1} - e_k = \frac{\lambda}{2} \quad l = \frac{\Delta e}{\sin \theta} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$$



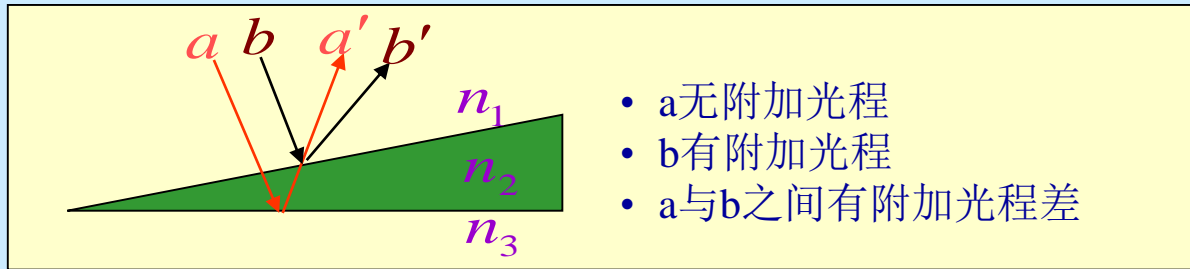
干涉图象

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



6. 玻璃劈尖的等厚干涉分析

- 玻璃劈尖的附加光程差: $\delta' = \frac{\lambda}{2} \quad n_1 < n_2 > n_3 \quad n_2 = n \neq 1$

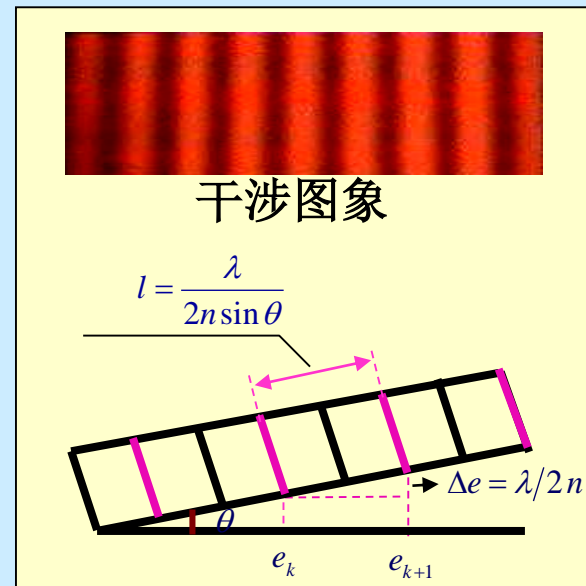


- 与空气劈尖分析一样，玻璃劈尖干涉为：

$$e_{k\text{明纹}} = k \frac{\lambda}{2n} - \frac{\lambda}{4n} \quad k = 1, 2, \dots$$

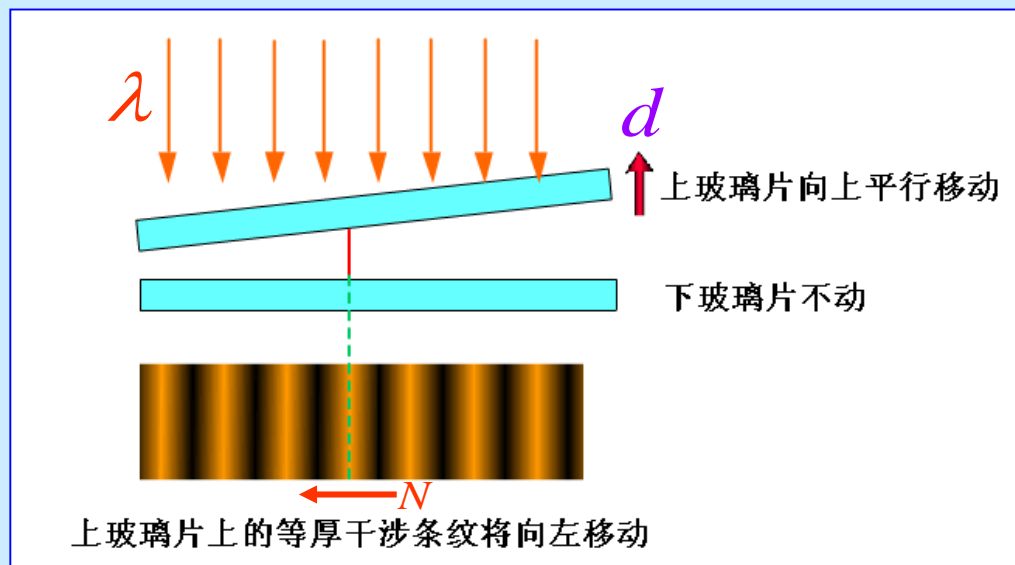
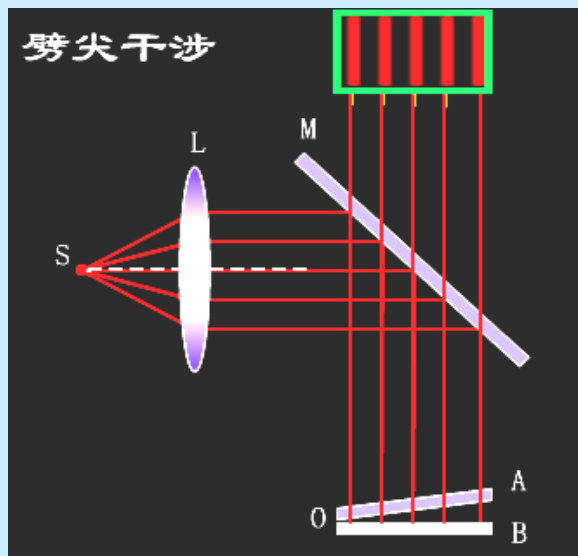
$$e_{k\text{暗纹}} = k \frac{\lambda}{2n} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$$l_{\text{明纹}} = l_{\text{暗纹}} = \frac{\lambda}{2n \sin \theta}$$



例:

- 用单色光垂直照射在观察劈尖干涉的装置上，当上平面玻璃垂直向上缓慢平移而远离下平面玻璃时，可以观察到这些干涉条纹的移动。



- 假设干涉条纹向左移动了 N 条，相当于该位置劈尖厚度改变了 N 个半波长，说明上玻璃片向上移动了 N 个半波长，即：

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

已知 λ ，由 N 可测 d ；已知 d ，由 N 可测 λ ；

例:

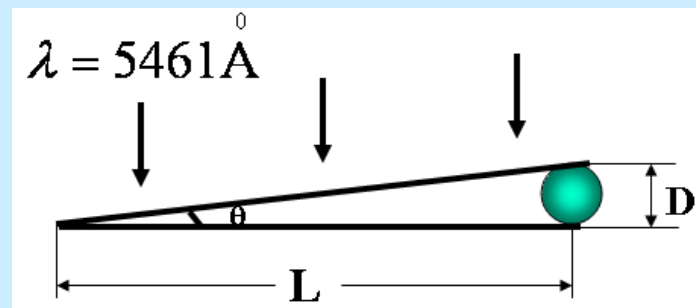
二块玻璃板之间垫一细金属丝→空气劈尖,可以用来测量微小物体的直径。实验装置如图所示。玻璃板出现干涉条纹,量出干涉明纹30条的距离 $S=4.295 \times 10^{-3} \text{m}$, $L=2.888 \times 10^{-2} \text{m}$ 。求:D

解: 30条明纹有29个明纹间距, 每个间距为:

$$l = \frac{S}{29}.$$

$$\because l = \frac{\lambda}{2n \sin \theta} \quad \therefore \sin \theta = \frac{29\lambda}{2nS}$$

$$D = L \cdot \tan \theta \approx L \sin \theta = 5.32 \times 10^{-6} \text{m}$$



例:

在半导体元件生产中，为了测定硅片上 SiO_2 薄膜的厚度，将该膜的一端腐蚀成劈尖状，已知 SiO_2 的折射率 $n = 1.46$ ，用波长 $\lambda = 5893\text{\AA}$ 的钠光照射后，观察到劈尖上出现9条暗纹，且第9条在劈尖斜坡上端点M处，Si的折射率为3.42。试求 SiO_2 薄膜的厚度。

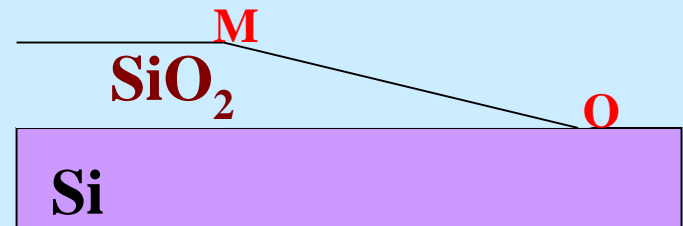
解：由暗纹条件

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

知，第9条暗纹对应于 $k = 8$ ，
代入上式得

$$e = (2k + 1)\frac{\lambda}{4n} = 1.72\mu\text{m}$$

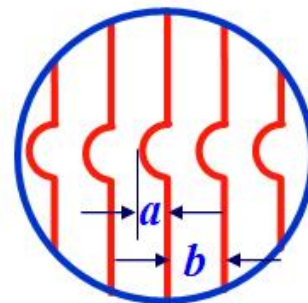
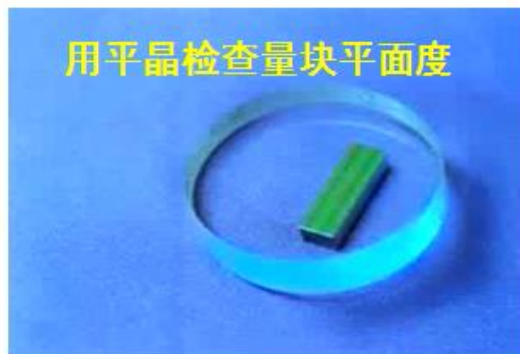
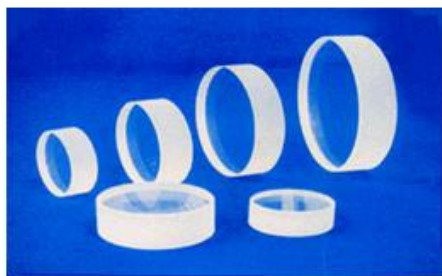
所以 SiO_2 薄膜的厚度为 $1.72\mu\text{m}$ 。



例:

讨论题

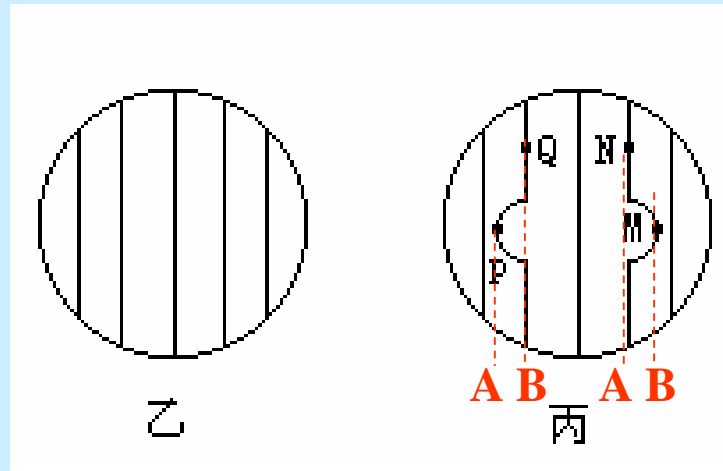
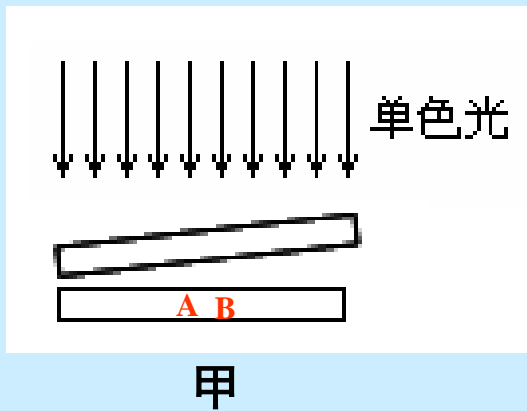
利用空气劈尖的等厚干涉条纹可以检测工件表面存在的极小的加工纹路，在经过精密加工的工件表面上放一**光学平面玻璃**，使其间形成空气劈形膜，用单色光照射玻璃表面，并在显微镜下观察到干涉条纹，



如图所示，试根据干涉条纹的弯曲方向，判断工件表面是凹的还是凸的；并证明凹凸深度可用下式求得：

$$\Delta h = \frac{a \lambda}{b 2}$$





如果被检表面是平的，那么空气层厚度相同的各点就位于一条直线上，产生的干涉条纹就是平行的(如图乙)；

如果观察到的干涉条纹如图丙所示，A、B处的凹凸情况可以这样分析：

由丙图知，P、Q两点位于同一条亮纹上，故甲图中与P、Q对应的位置空气层厚度相同。

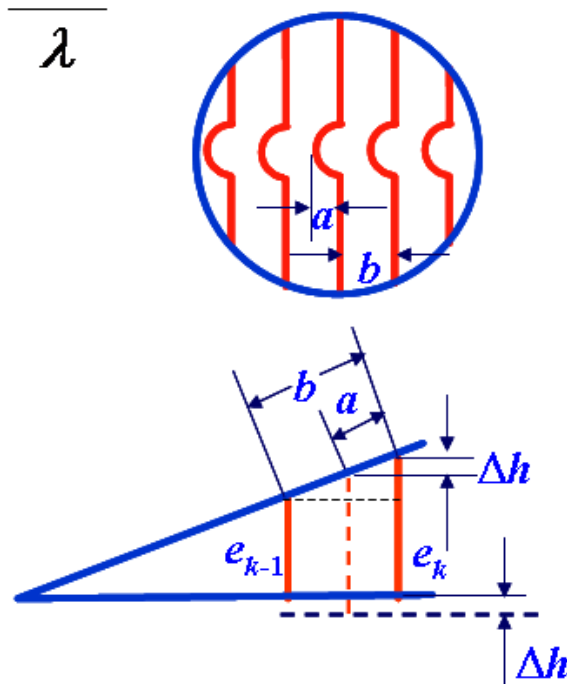
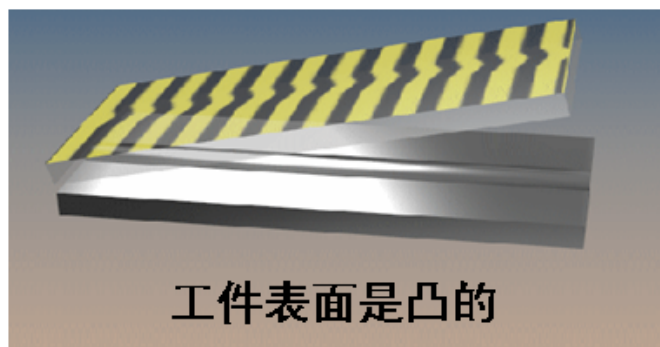
由于Q位于P的右方(即远离楔尖)，**如果被检表面是平的，Q处厚度应该比P处大，所以只有当A处凹陷时才能使P与Q处深度相同。**

同理可以判断与M对应的B处为凸起。

解： 如果工件表面是精确的平面，等厚干涉条纹应该是等距离的平行直条纹，现在观察到的干涉条纹弯向空气膜的左端。因此，可判断工件表面是下凹的，如图所示。由图中相似直角三角形可：

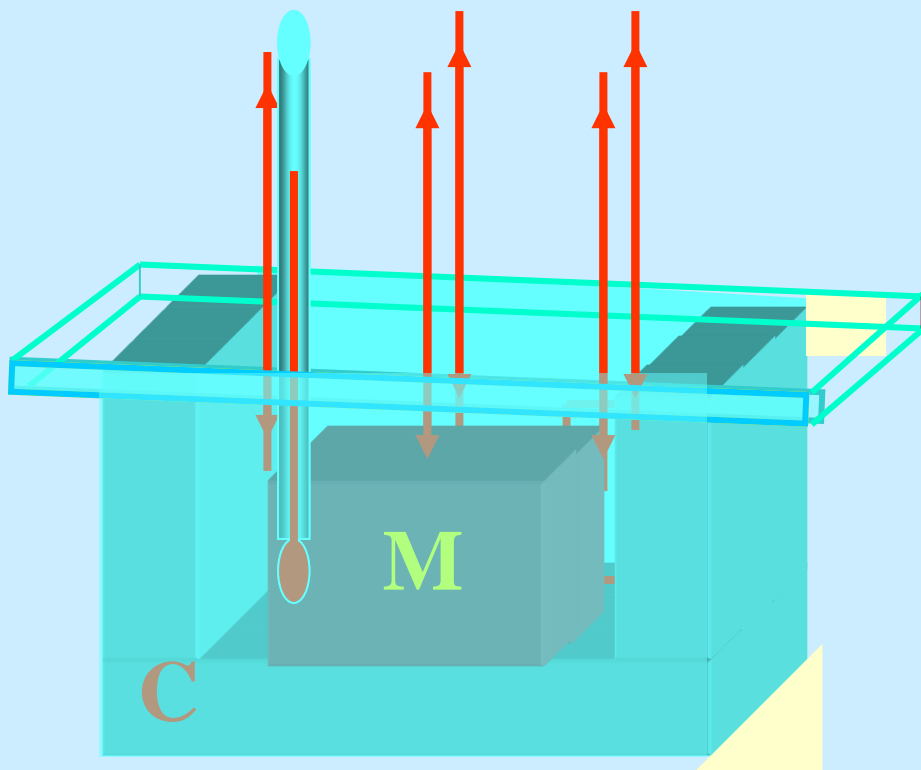
$$\frac{a}{b} = \frac{\Delta h}{e_k - e_{k-1}} = \frac{\Delta h}{\frac{\lambda}{2}} = \frac{2\Delta h}{\lambda}$$

所以： $\Delta h = \frac{a}{b} \frac{\lambda}{2}$



例：

干涉膨胀仪



装置

C： 铟钢作成的，
热膨胀极小；

M： 被检体。

原理： 温度增高 ΔT 时，
数出条纹移动的条数 m ，
则：

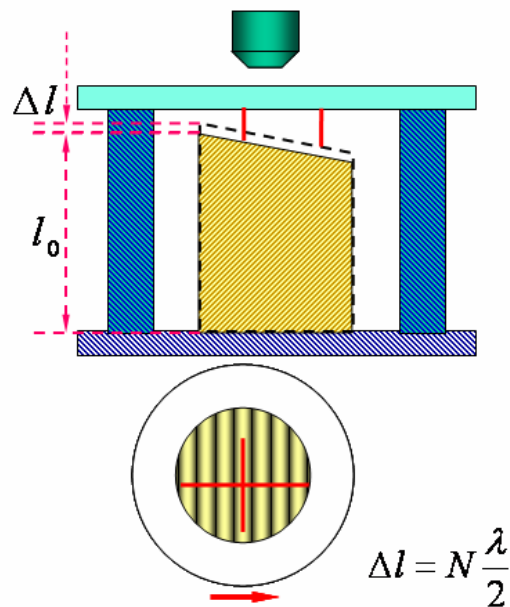
样本增高 $\Delta l = m \frac{\lambda}{2}$

热膨胀系数：

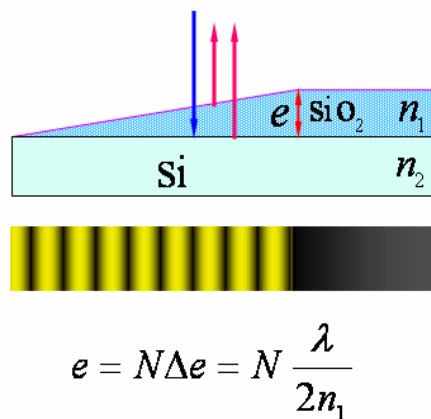
$$\alpha = \frac{\Delta l}{l \cdot \Delta T}$$

劈尖干涉的应用总结:

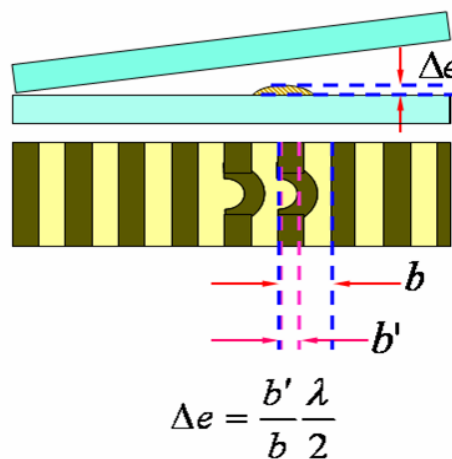
干涉膨胀仪



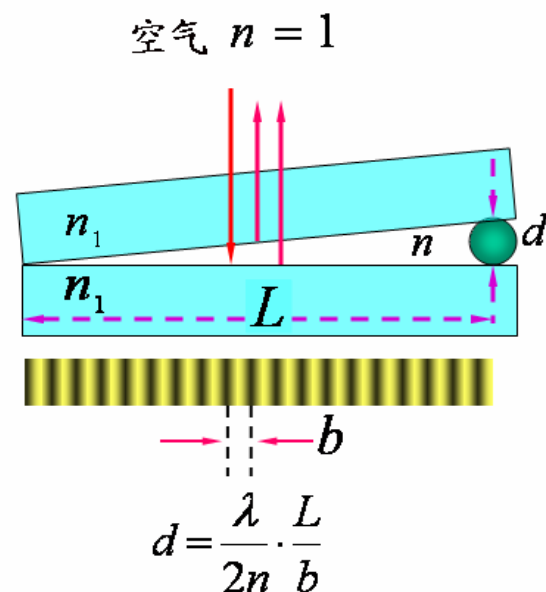
测膜厚



检验光学元件表面的平整度

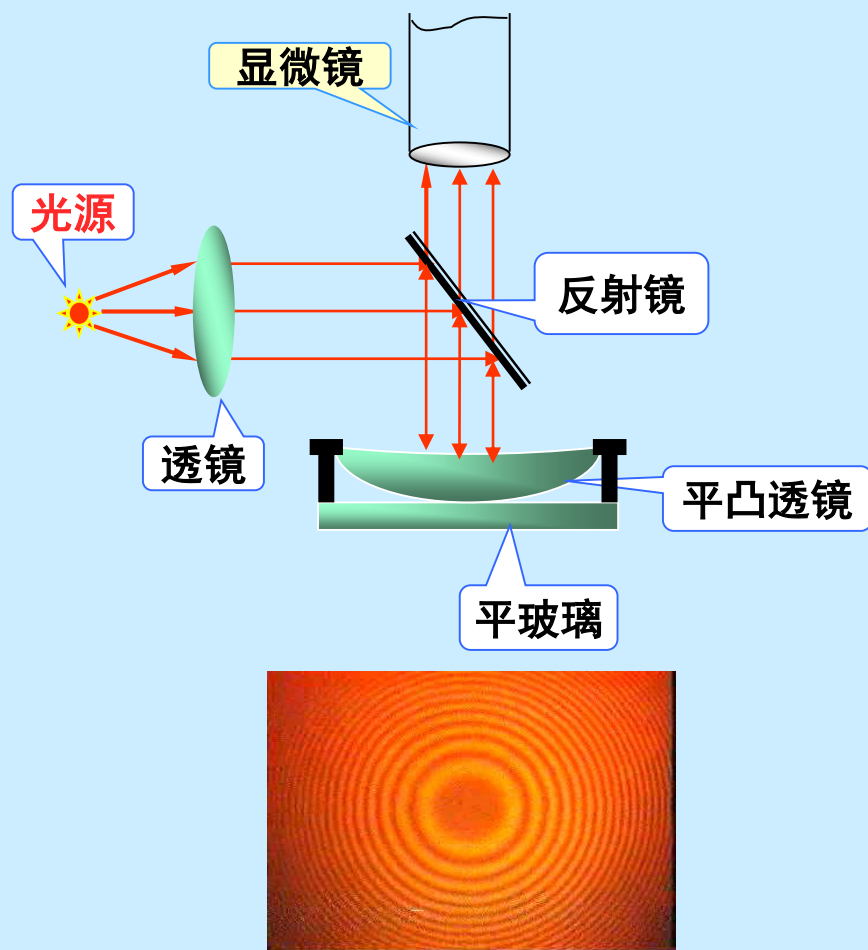


测细丝的直径



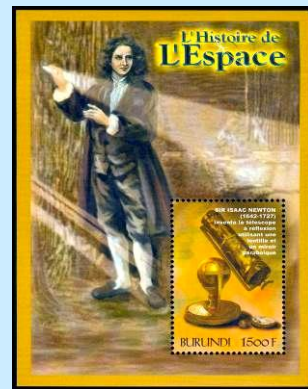
§ 6 牛顿环

1. 实验装置及现象



用波长为 λ 的单色平行光垂直照射，结果观察到一系列明暗相间的同心圆环，这一现象首先被牛顿观察到，故称牛顿环。

但是由于牛顿持光的粒子说，他并不认为这是干涉的结果，他用微粒说解释了他的观测结果，但很不令人满意。



牛顿的光学工作

直到19世纪初才由英国科学家杨氏用光的波动理论解释了牛顿环。

光在平凸透镜的球形凸面和平板玻璃的上表面反射光→干涉。

2. 牛顿环分析

- 如图所示牛顿环的干涉原理与空气劈尖一样，所以有：

$$e_{k\text{明纹}} = k \frac{\lambda}{2n} - \frac{\lambda}{4n} \quad k = 1.2 \dots \quad e_{k\text{暗纹}} = k \frac{\lambda}{2n} \quad k = 0.1.2 \dots \quad \text{空气 } n=1$$

- 几何关系：

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

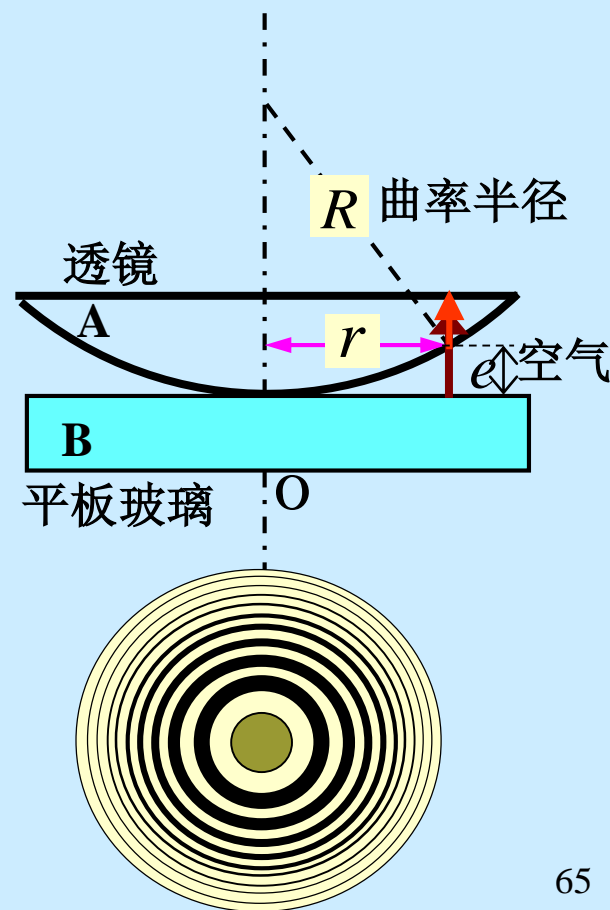
$$r_k \approx \sqrt{2Re_k}$$

- 明暗纹半径：

$$r_{k\text{明纹}} = \sqrt{(2k-1)R \frac{\lambda}{2n}} \quad k = 1.2 \dots$$

$$r_{k\text{暗}} = \sqrt{kR \frac{\lambda}{n}} \quad k = 0.1.2 \dots$$

- 牛顿环里疏外密不均匀

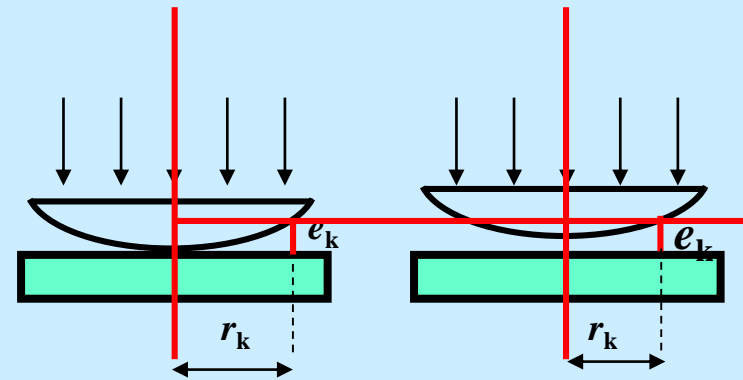
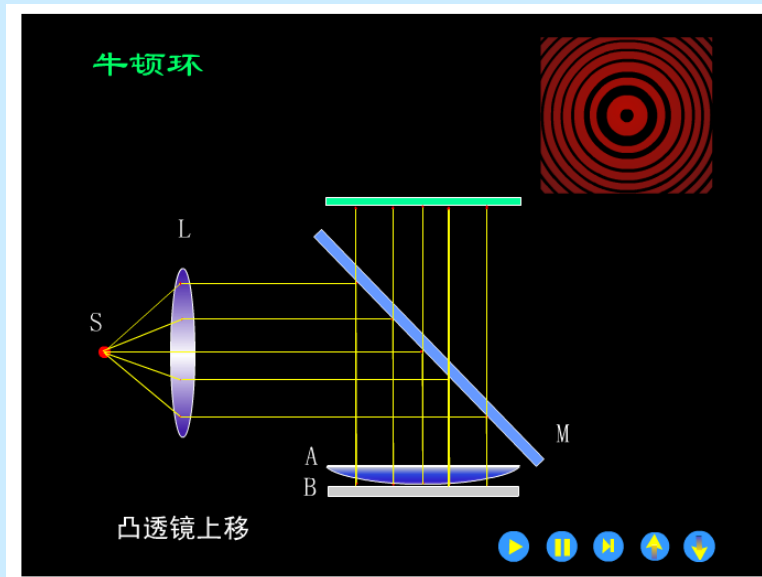


例：

如图，用单色光垂直照射在观察牛顿环的装置上，当平凸透镜垂直向上缓慢平移而远离平面玻璃时，可以观察到这些环状干涉条纹

- (A) 向右平移，(B) 向中心收缩，(C) 向外扩张，
(D) 静止不动，(E) 向左平移。

[B]



r_k 减小，

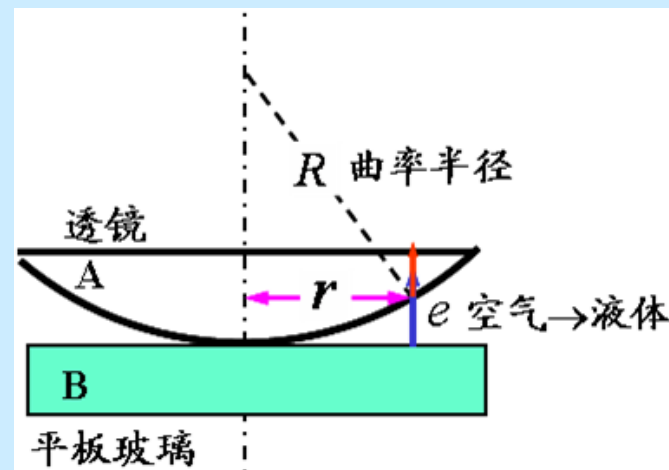
环状干涉条纹向中心收缩。

例：

空气改为充以某种液体时，第10个明环直径由 $1.41 \times 10^{-2} \text{m}$ ，变为 $1.27 \times 10^{-2} \text{m}$ 。求液体的折射率。

解： $\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$

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



$$\rightarrow r^2 = \frac{R\lambda}{n} \frac{(2k-1)}{2},$$

$$r_{\text{明}} = \sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda}{2}}, (k=1,2,\dots)$$

$$r'_{\text{明}} = \sqrt{\frac{(2k-1)}{2} \frac{R\lambda}{n}}$$

$$\frac{r_{\text{明}}^2}{r'_{\text{明}}^2} = n = 1.21$$

例：

$$r_{\text{明}} = \sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda}{2}}$$

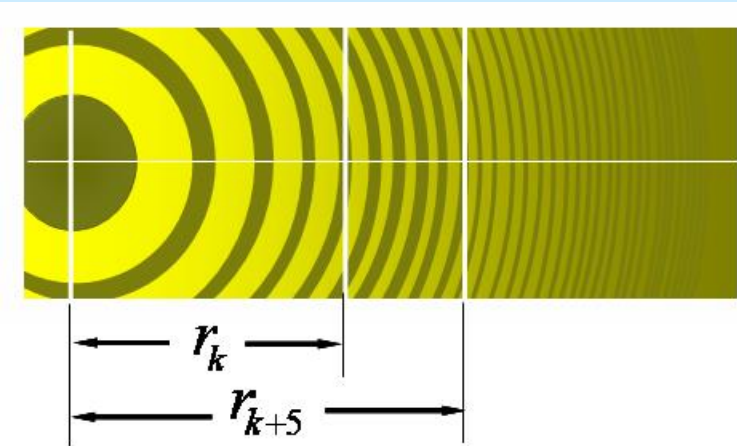
$$r_k^2 = \frac{(2k-1)}{2} R\lambda$$

$$r_{k+m}^2 = \frac{(2k+2m-1)}{2} R\lambda$$

$$r_{k+m}^2 - r_k^2 = \frac{(2k+2m-1)}{2} R\lambda - \frac{(2k-1)}{2} R\lambda = mR\lambda$$

测透镜球面的半径 R ：已知 λ ，测 m 、 r_{k+m} 、 r_k ，可得 R 。

测波长 λ ：已知 R ，测出 m 、 r_{k+m} 、 r_k ，可得 λ 。



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

例：

用紫光照射，借助于低倍测量显微镜测得由中心往外数第 k 级明环的半径 $r_k = 3.0 \times 10^{-3} \text{m}$, k 级往上数第16个明环半径 $r_{k+16} = 5.0 \times 10^{-3} \text{m}$, 平凸透镜的曲率半径 $R = 2.50 \text{m}$ 。

求：紫光的波长？

解：根据明环半径公式：

$$r_k = \sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda}{2}}$$

$$r_{k+16} = \sqrt{\frac{[2 \times (k+16) - 1]R\lambda}{2}}$$

$$r_{k+16}^2 - r_k^2 = 16R\lambda$$

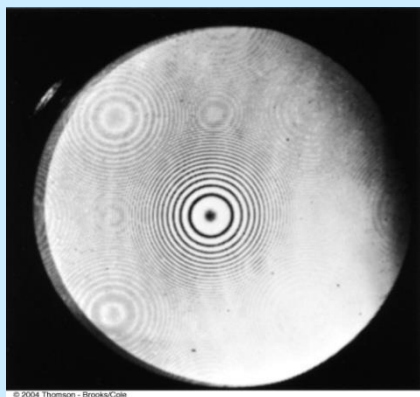
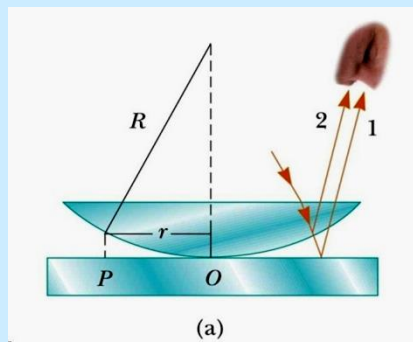
$$\lambda = \frac{(5.0 \times 10^{-3})^2 - (3.0 \times 10^{-3})^2}{16 \times 2.50} = 4.0 \times 10^{-7} \text{m}$$



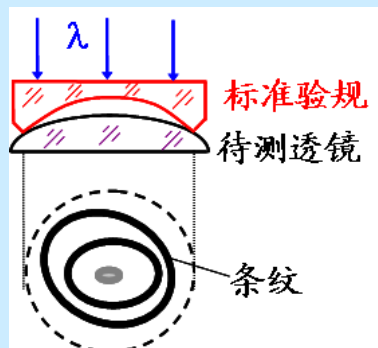
以其高精度显示
光测量的优越性

牛顿环的其他应用

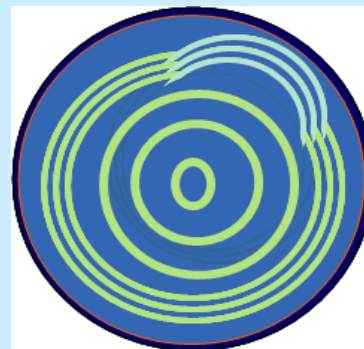
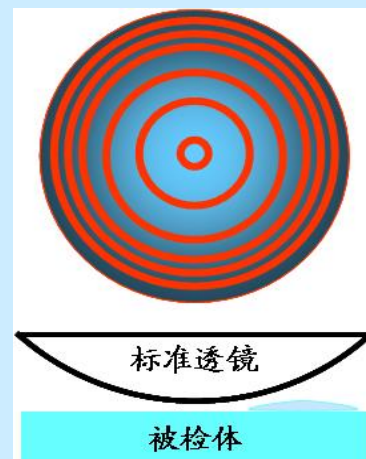
牛顿环观测



检验透镜球表面质量



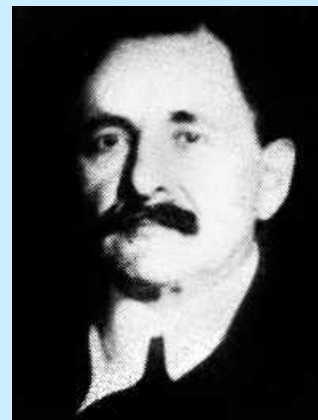
检验平板玻璃表面质量



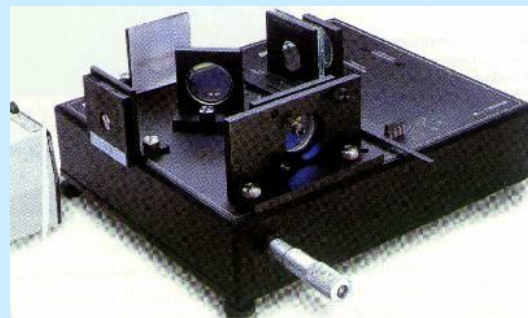
§ 7 迈克耳逊干涉仪

1. 迈克耳逊干涉仪

- 迈克耳逊干涉仪: (Michelson interferometer) 是十分重要的干涉仪，它虽出现在100多年前，但现代仍有许多应用，而且许多现代的干涉仪其核心结构，仍是迈克耳逊干涉仪。



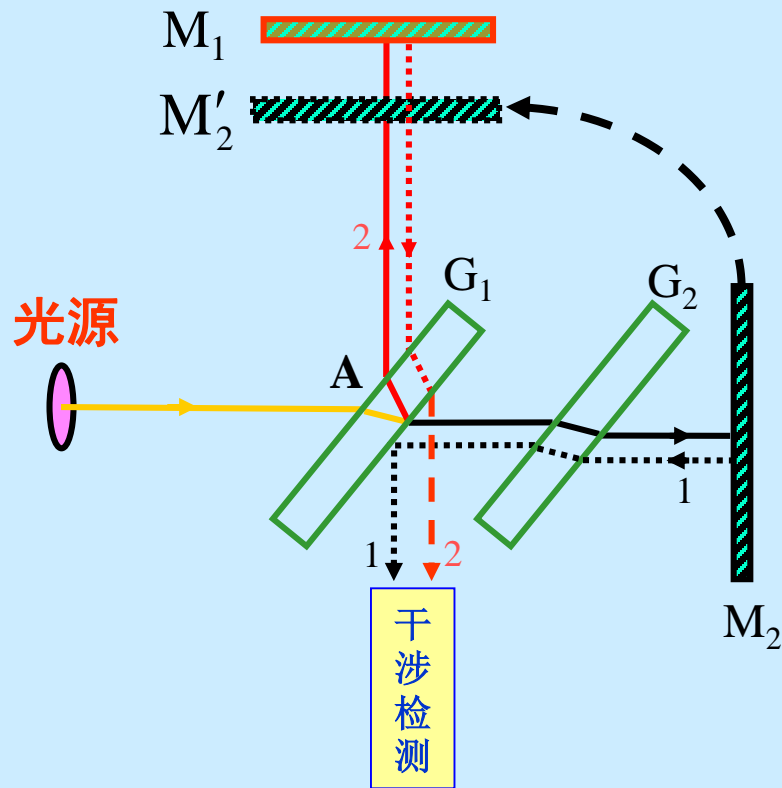
迈克耳逊



- 迈克耳逊的名字是和迈克耳逊干涉仪及迈克耳逊—莫雷实验联系在一起的，实际上这也是迈克耳逊一生中最重要贡献。随后有10多人前后重复这一实验，历时50年之久。对它的进一步研究，导致了物理学的新发展。
- 迈克耳逊的另一项重要贡献是对光速的测定。迈克耳逊从不满足已达到的精度，总是不断改进，精益求精，整整花了半个世纪（40年）的时间，最后在一次精心设计的光速测定过程中，不幸因中风而去世，他确实是用毕生的精力献身于光速的测定工作。
- 迈克耳逊在基本度量方面也作出了贡献。1893年，他用自己设计的干涉仪测定了红镉线的波长，于是，他提出用此波长为标准长度，来核准基准米尺，用这一方法订出的基准长度经久不变。因此它被世界所公认，一直沿用到1960年。
- 1907年诺贝尔物理学奖授予芝加哥大学的迈克耳逊（1852 - 1931），以表彰他对光学精密仪器及用之于光谱学与计量学研究所作的贡献。

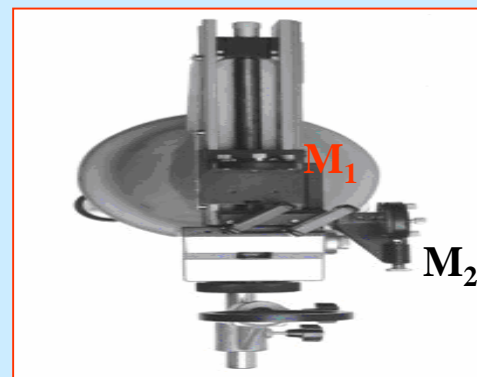
2. 迈克耳逊干涉仪的结构

- G_1 和 G_2 是两块材料相同、薄均匀、几何形状完全相同的光学平晶。
- G_1 一侧镀有半透半反的薄银层。与水平方向成 45° 角放置, G_2 称为补偿板。
- 一束光在A处分振幅形成的两束相干光1和2, 其光程差就相当于由 M_2' 和 M_1 形成的空气膜上下两个面反射光的光程差。

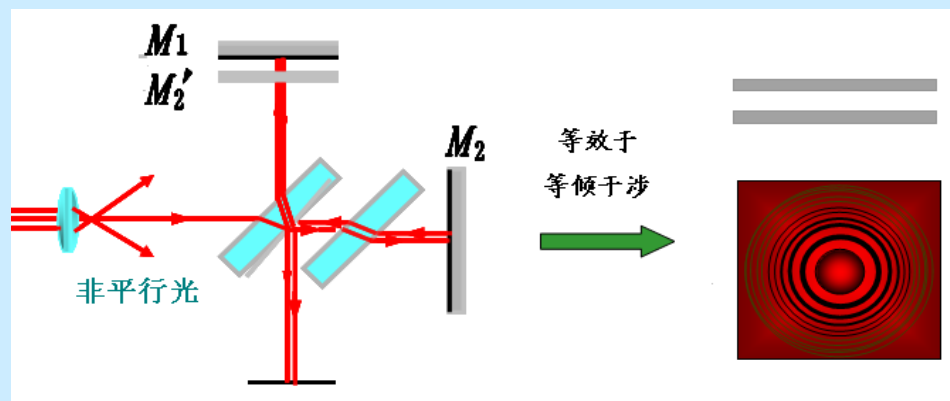


3. 迈克耳逊干涉仪的原理

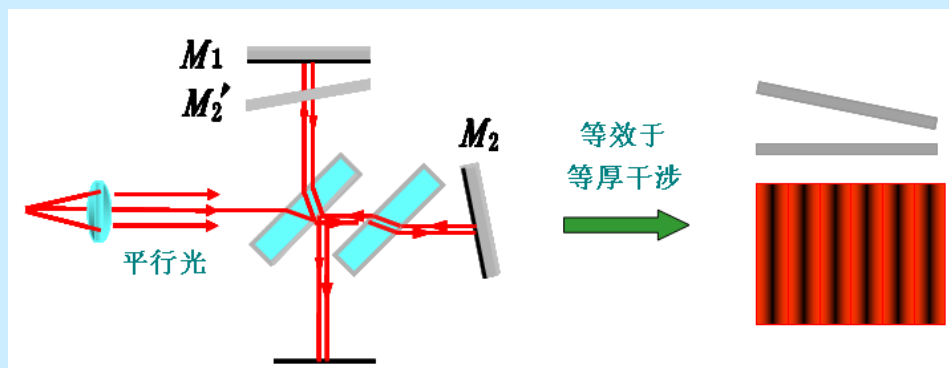
- 调节M2就有可能得到 $d=0$ ， $d=\text{常数}$ ， $d\neq\text{常数}$



- 调节M2到 $d=\text{常数}$ ，对应于薄膜的等倾干涉。

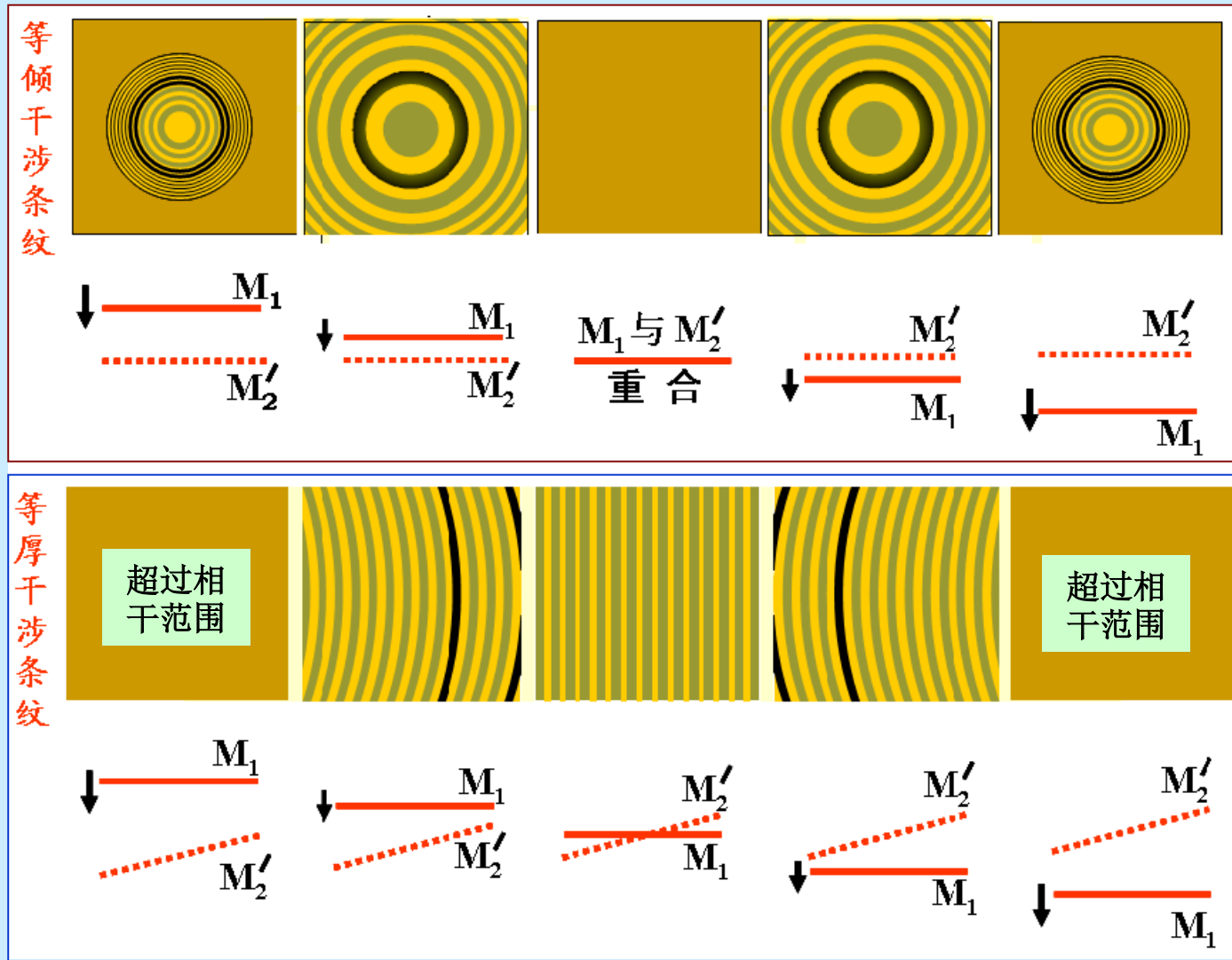


- 调节M2到 $d\neq\text{常数}$ （如劈尖）对应于薄膜的等厚干涉。



4. 迈克耳逊干涉仪的干涉条纹

- 各种干涉条纹及 M_2' , M_1 相应的位置:



5. 迈克耳逊干涉仪的应用

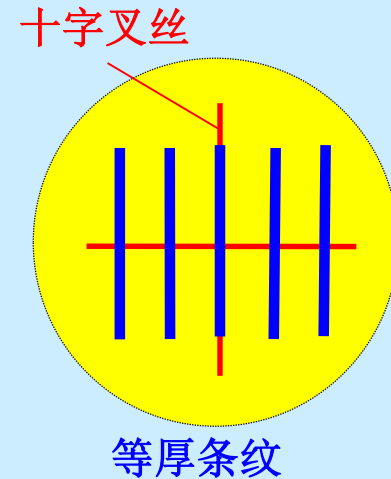
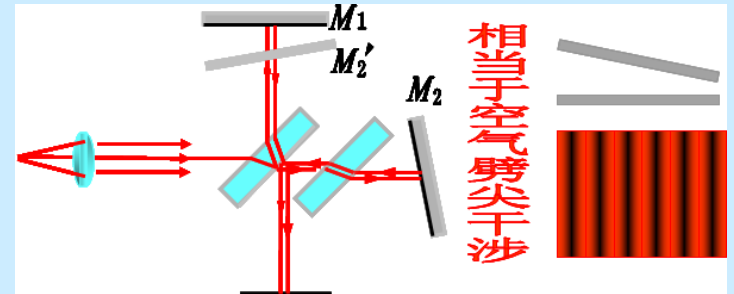
- M1与M2不严格垂直—劈尖干涉
- 由等厚干涉原理，任意两相邻明纹或暗纹所对应的空气层厚度差为：

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

- 在迈克耳孙干涉仪上发生等厚干涉时，若M1平移d 引起干涉条纹移过N 条，则有：

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

- 此原理可用来测量微小长度：记下平移的距离，可测量入射光的波长；如已知波长，则可通过条纹移动数目来测量微小伸长量（如热胀冷缩量）。



例：

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，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？

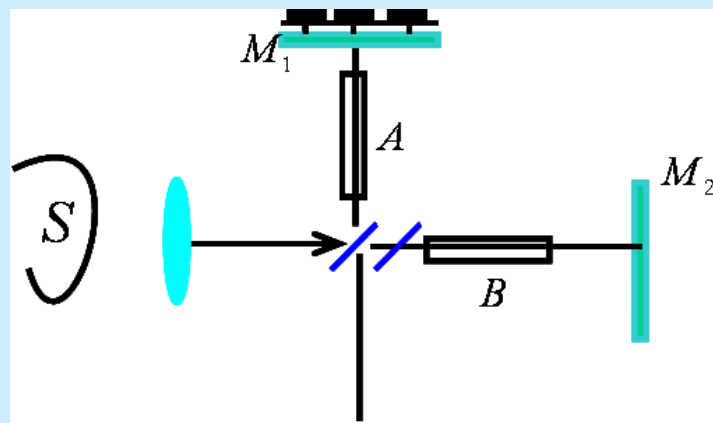
解：设空气的折射率为 n

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

相邻条纹或说条纹移动一条时，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：

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

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



迈克耳孙干涉仪的两臂中便于插放待测样品，由条纹的变化测量有关参数。精度高。