光 学

研究对象：光的本性、光的传播、光与物质相互作用等规律

- 几何光学 —以直线传播为基础，研究光在透明介质中的传播规律
- 波动光学—以波动性质为基础，研究光的传播及规律
- 量子光学 —以粒子性为基础，研究光与物质相互作用规律

光学发展简史：

- 战国时期——光的直线传播性能（小孔成像）
- 1590——望远镜；17世纪初——显微镜
- 17世纪初——反射、折射定律
- 17世纪后半叶——光本性论：微粒说（粒子流）
  波动说（机械波）
- 19世纪初——波动光学体系初步形成：杨氏双缝干涉
  惠更斯-菲涅尔原理
- 1808年 —— 光的偏振（光是横波）
- 19世纪中叶——光是电磁波
- 19世纪末-20世纪初——光子假说，光的量子说

光的本性之争

微粒说

波动说

克里斯蒂安・惠更斯

Thomas Young

A. J. Fresnel

E. L. Malus

第13章 光的干涉

13.1 光源　　　光的相干性

一、光源

凡能发射光的物体称为光源 { 普通光源 / 激光光源 }

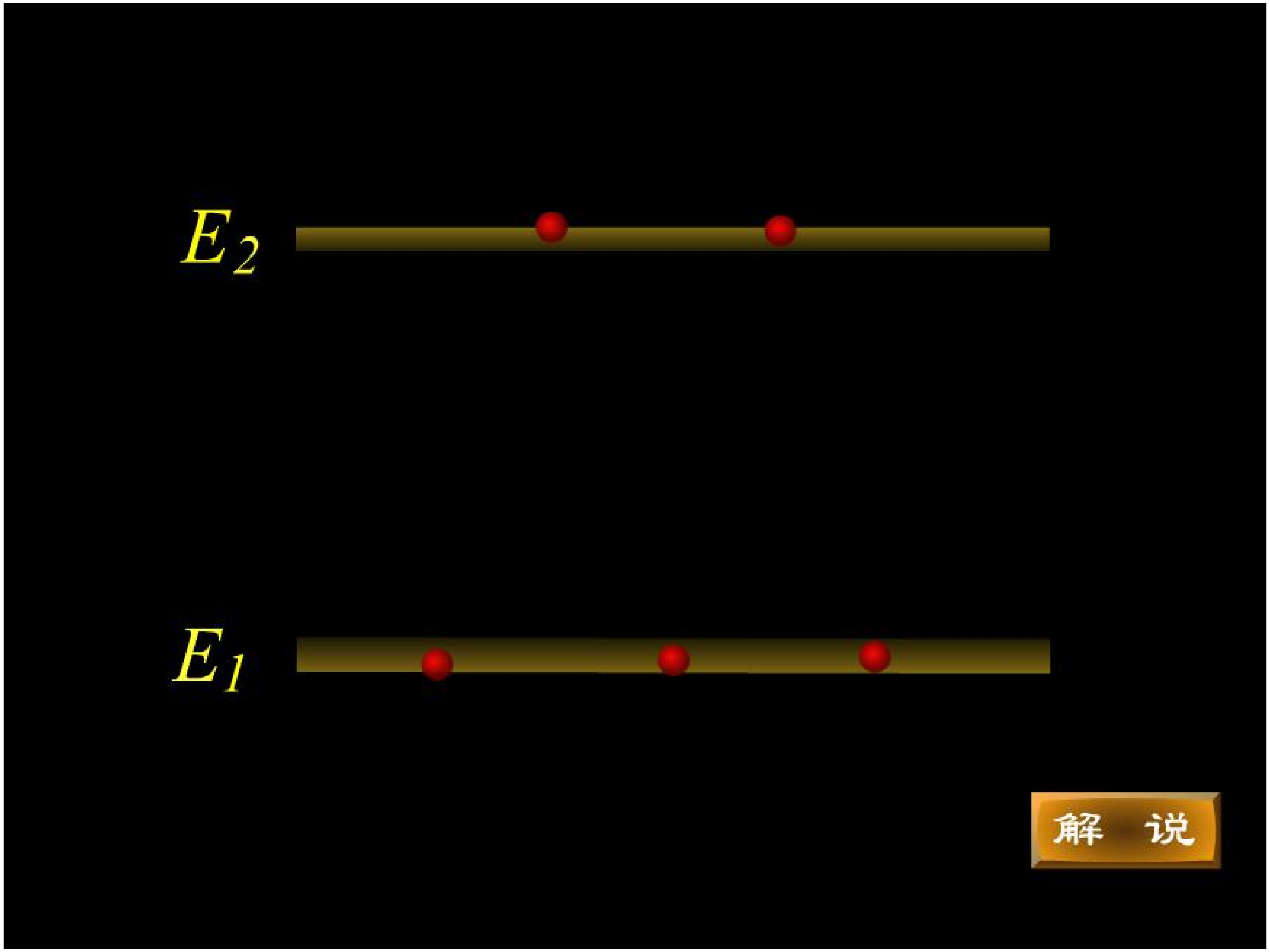
1. 普通光源的发光机理

按发光的激发方式光源可分为：

热光源—由热能激发，如白炽灯、碳火、太阳等。

冷光源—由化学能、电能或光能激发，如萤火、磷火、日光灯等。

作为光学光源的是热光源。



大量原子、分子随机发光的总效果.

间歇性（单个原子发光平均持续时间约10^{-8}s，形成有限长的光波列）.

随机性（原子发出的各光波列的振动方向和振动初相位不同）.

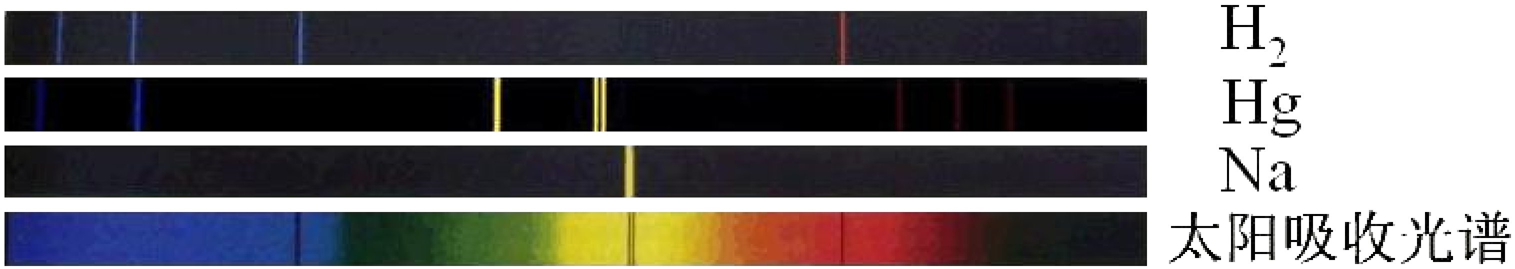
2. 光的颜色和光谱

光的颜色与频率、波长对照表

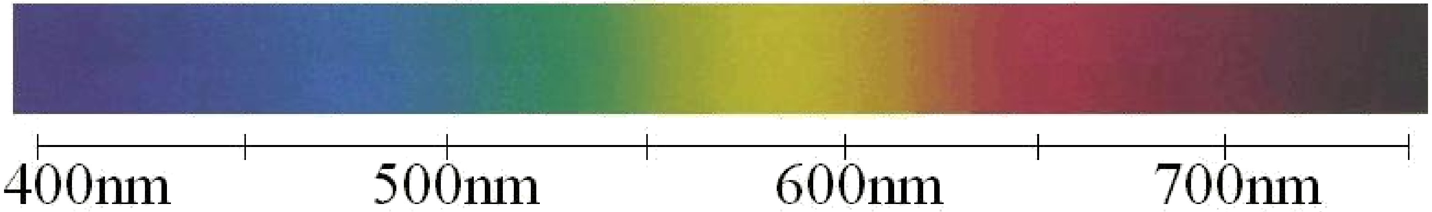
光色	波长范围(nm)	频率范围(Hz)
红	622～760（138）	3.9×10^{14}～4.7×10^{14}
橙	597～622（25）	4.7×10^{14}～5.0×10^{14}
黄	577～597（20）	5.0×10^{14}～5.5×10^{14}
绿	492～577（85）	5.5×10^{14}～6.3×10^{14}
青	450～492（42）	6.3×10^{14}～6.7×10^{14}
蓝	435～450（15）	6.7×10^{14}～6.9×10^{14}
紫	390～435（45）	6.9×10^{14}～7.7×10^{14}

光谱：光的强度按频率（或波长）分布

线光谱：



连续光谱：



单色光：具有单一频率（或波长）的光波称为单色波。

谱线所对应的波长范围越窄，则光的单色性越好。

谱线宽度：标志单色性好坏的物理量。

准单色光：波长范围很窄的复合光

3、光强

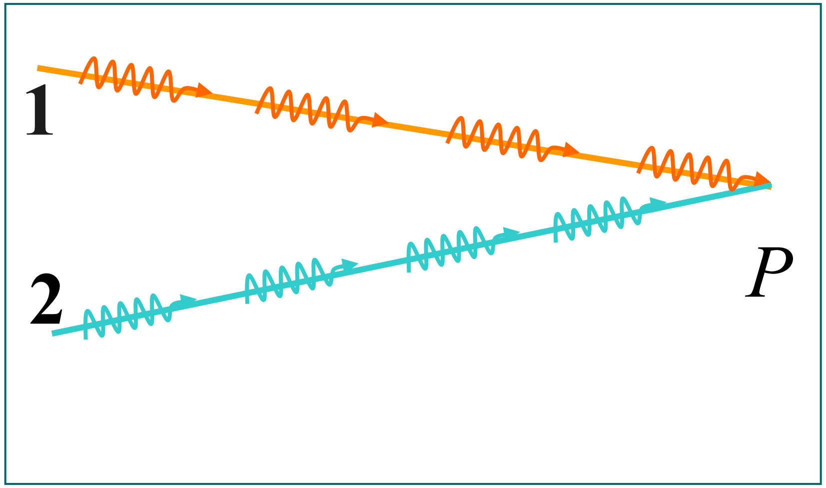
光学中常用电场强度$\vec{E}$代表光振动，并把$\vec{E}$矢量称为光矢量。

✓光振动是指电场强度$\vec{E}$随时间周期性地变化

$$E = E_0 \cos[(2\pi \nu t - 2\pi \frac{r}{\lambda}) + \varphi_0]$$

✓光的强度（即平均能流密度） $\boldsymbol{I} \propto \boldsymbol{E}_0^2$

二、光的相干性



光波叠加原理 $\boxed{E = E_1 + E_1}$

$$E_1 = E_{10}\cos(\omega t + \varphi_1 - \frac{2\pi}{\lambda} r_1)$$

$$E_2 = E_{20}\cos(\omega t + \varphi_2 - \frac{2\pi}{\lambda} r_2)$$

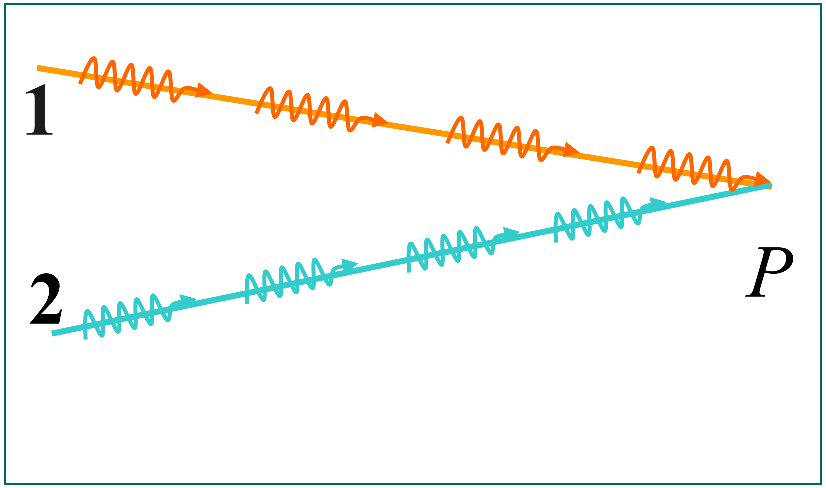
$$E = E_1 + E_2 = E_0\cos(\omega t + \varphi)$$ 同方向振动、同频率

$$E_0^2 = E_{10}{}^2 + E_{20}{}^2 + 2E_{10}E_{20}\cos\Delta\varphi$$

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 - 2\pi\frac{r_2 - r_1}{\lambda}$$

$$\boxed{E_0^2 = E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20}\cos\Delta\varphi}$$

$$\boxed{I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\varphi}$$



在观察时间 τ 内，人所感觉到的为光强I，

$$I = \frac{1}{\tau}\int_0^\tau (I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\varphi)\mathrm{d}t$$

$$= I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\,\frac{1}{\tau}\int_0^\tau \cos\Delta\varphi\,\mathrm{d}t$$

讨论

1. 非相干叠加 $\boxed{I = I_1 + I_2}$

原子发光的间歇性、随机性，使$\Delta\varphi$不确定

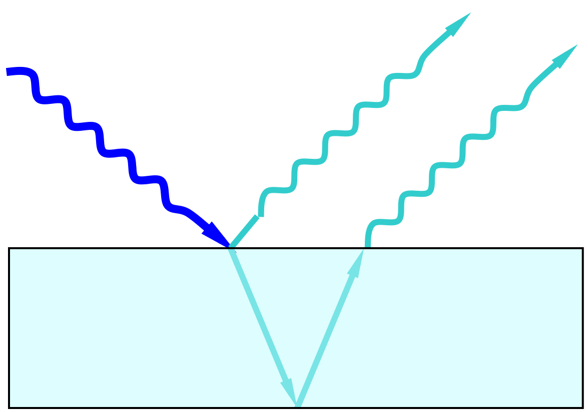
2. 相干叠加 $\boxed{I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\varphi}$

若$I_1 = I_2$, $I = 2I_1(1+\cos\Delta\varphi) = 4I_1\cos^2\dfrac{\Delta\varphi}{2}$

$$\begin{cases} \Delta\varphi = \pm 2k\pi & \text{干涉相长} \quad I_{\max} = 4I_1 \\ \Delta\varphi = \pm(2k+1)\pi & \text{干涉相消} \quad I_{\min} = 0 \end{cases}$$

✓ 相干光的产生

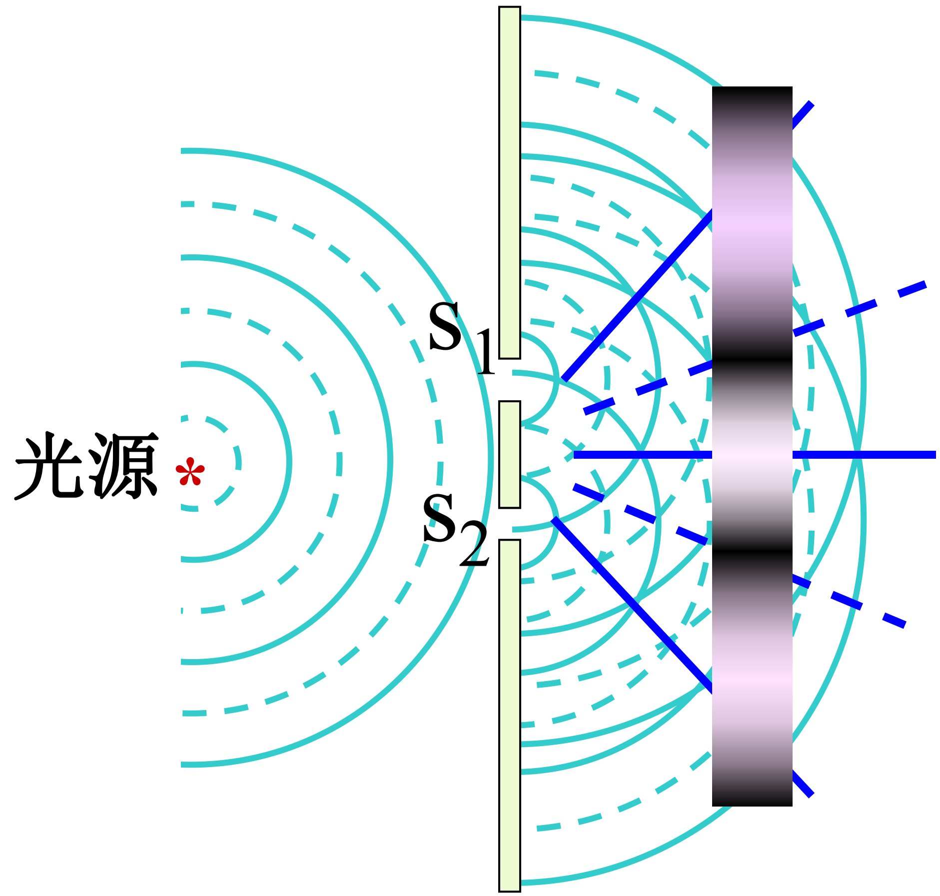
振幅分割法



薄膜干涉

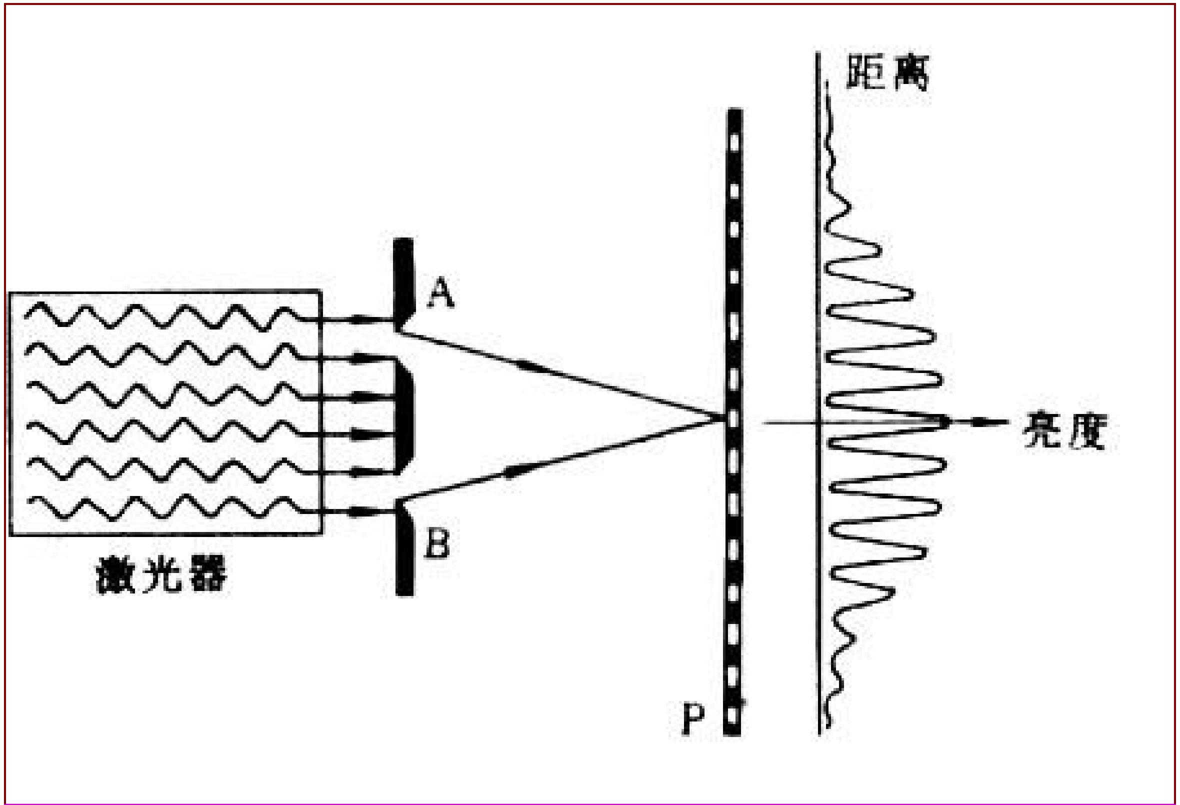
迈克尔逊干涉仪

波阵面分割法



杨氏双缝干涉

✓ 单色激光光源不同原子所发的光具有相干性



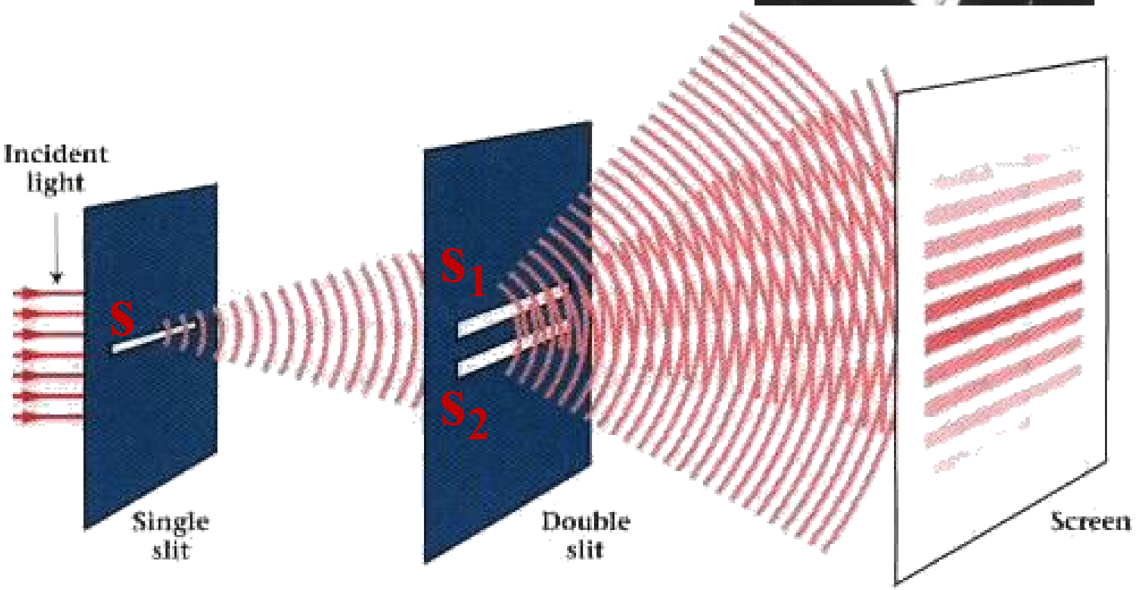
激光束干涉实验

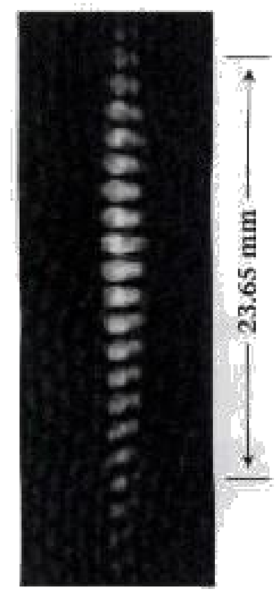
13.2 杨氏双缝干涉实验

——波阵面分割法获得2个相干次波源

一、杨氏双缝干涉

杨（*T.Young*）在**1801**年首先观察到光的干涉现象。

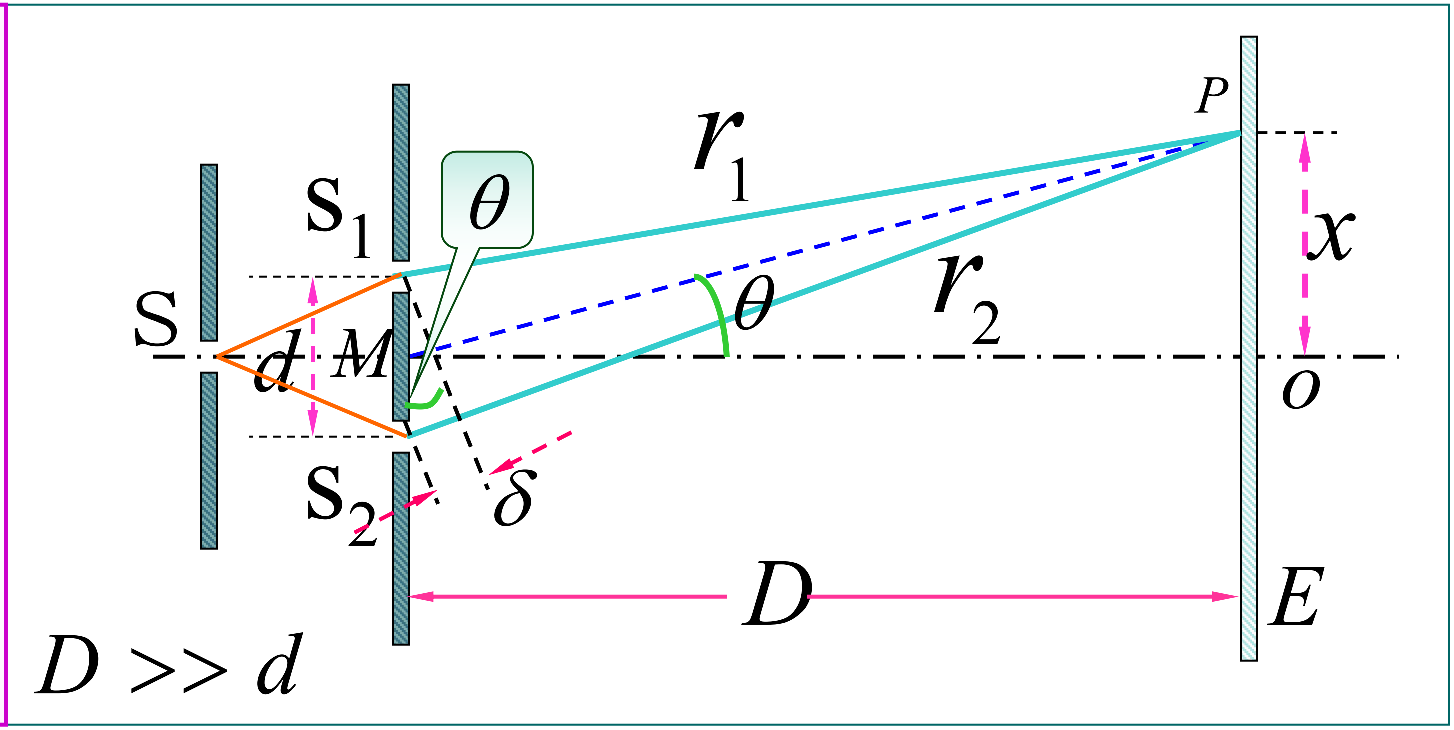




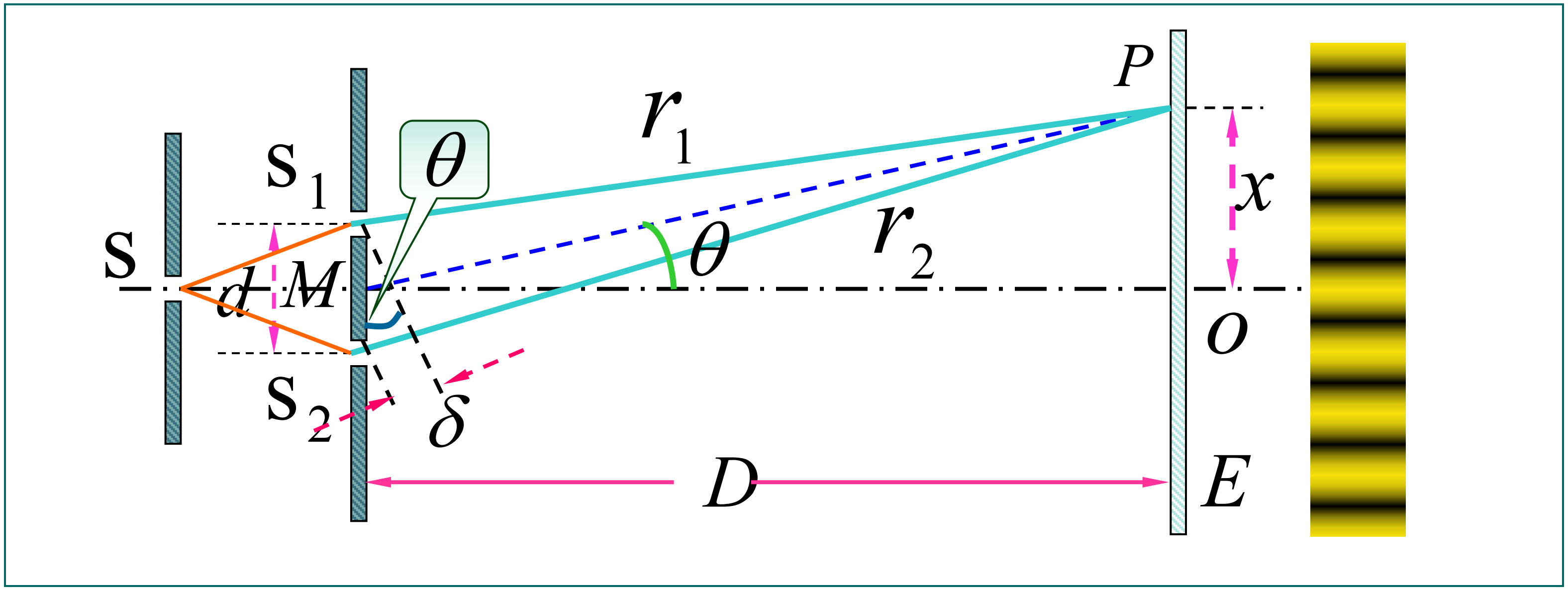
由双缝s_1和s_2发出的两相干光在屏幕上各点叠加。

缝间距：$d \sim 10^{-4}$ m　　　缝与光屏间距：$D \sim 1$ m

实验装置



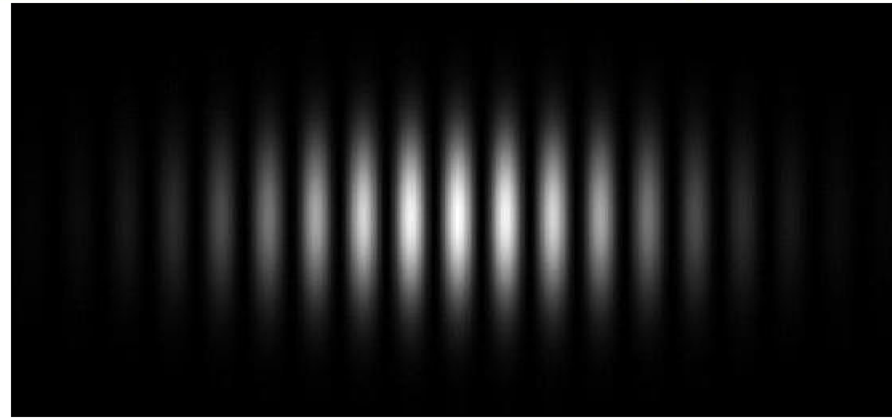
光程差　$$\delta = r_2 - r_1 \approx d\sin\theta \approx d\tan\theta = d\frac{x}{D}$$



$$\delta = r_2 - r_1 = \begin{cases} \pm k\lambda & \text{干涉加强} \\ \pm(2k-1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{干涉减弱} \end{cases} \qquad k = 0,1,2,$$

$$x = \begin{cases} \pm k\dfrac{D}{d}\lambda & \text{明纹} \\ \pm(2k-1)\dfrac{D}{d}\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗纹} \end{cases} \qquad k = 0,1,2,$$

条纹特点：



1） 平行的明暗交替条纹

2） θ 不太大时，条纹等间距

3） 中央级次低

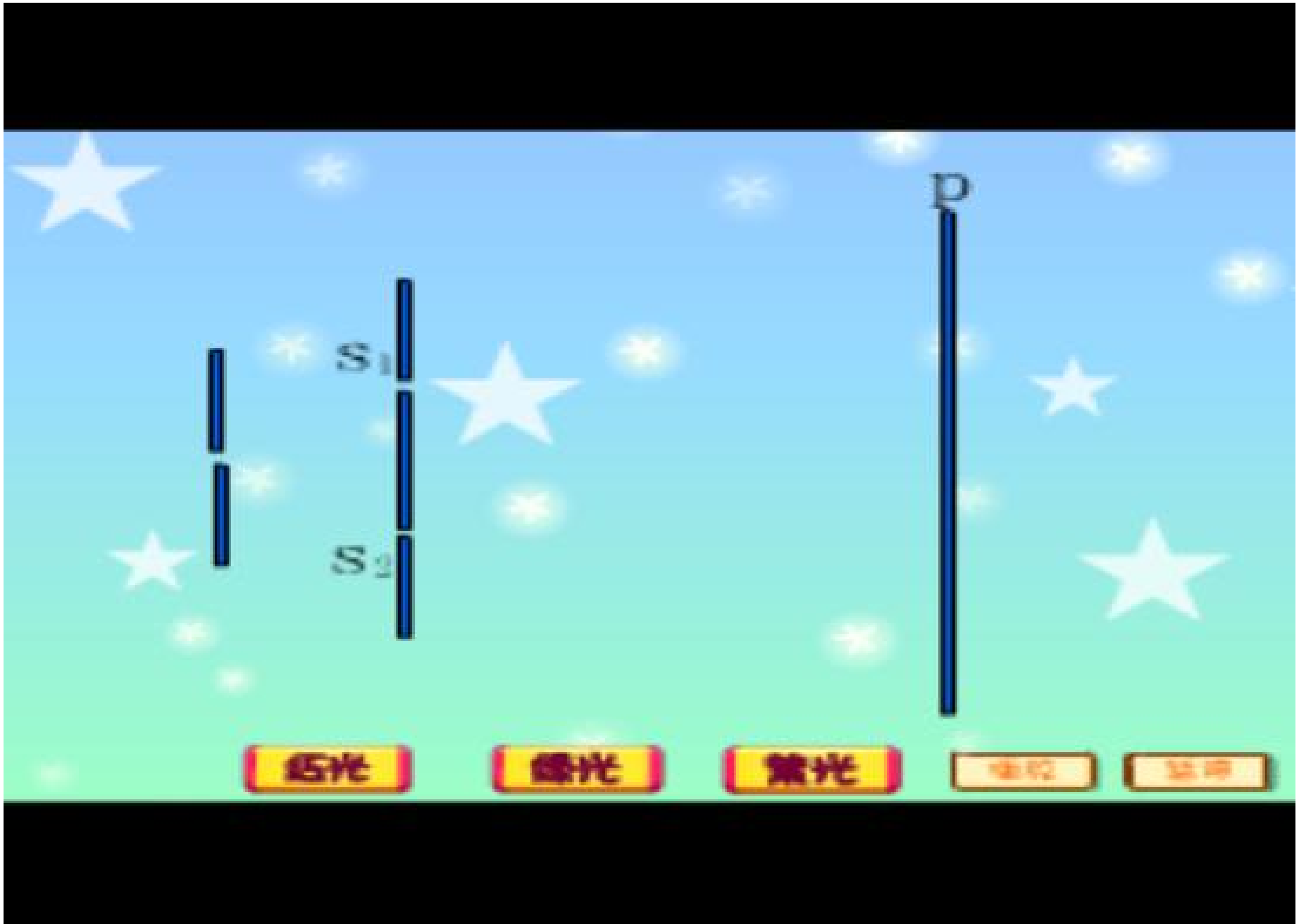
4） 关于中心呈对称分布

白光照射时，出现彩色条纹。

讨论

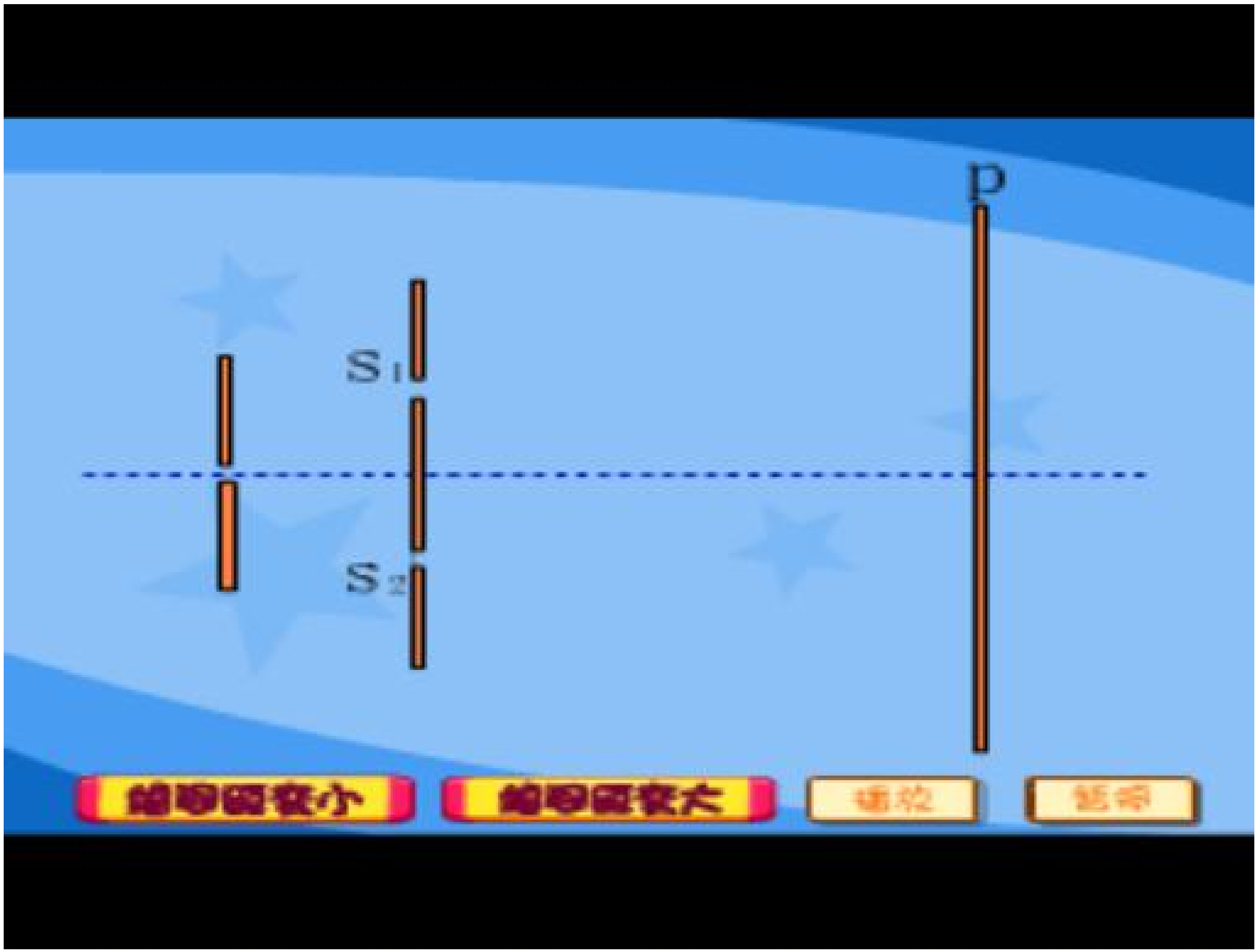
条纹间距 $$\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{D}{d}\lambda$$

（1）d、D 一定时，若 λ 变化，Δx 变化情况



$\Delta x \propto \lambda$;
条纹间距随
波长增大而
增大.

（2）λ、D 一定时，条纹间距 Δx 与 d 的关系



$$\Delta x \propto \frac{1}{d}$$

条纹间距随缝宽增大而减小.

例13.1 用单色光照射相距0.4 mm的双缝，缝屏间距为1 m. (1)从第1级明纹到同侧第5级明纹的距离为6 mm，求此单色光的波长；(2)若入射的单色光波长为400 nm的紫光，求相邻两明纹间的距离；(3)上述两种波长的光同时照射时，求两种波长的明条纹第1次重合在屏幕上的位置，以及这两种波长的光从双缝到该位置的波程差.

解 (1)由双缝干涉明纹条件 $x = \pm k\dfrac{D}{d}\lambda$ ，可得

$$\Delta x_{1-5} = x_5 - x_1 = \frac{D}{d}(k_5 - k_1)\lambda$$

$$\lambda=\frac{d}{D}\frac{\Delta x_{1-5}}{(k_5-k_1)}=\frac{4\times10^{-4}\times6\times10^{-3}}{1\times(5-1)}=6.0\times10^{-7}\,\text{m}=600\,\text{nm}\,(\text{橙色})$$

(2)当 $\lambda=400\ \text{nm}$**时，相邻两明纹间距为**

$$\Delta x=\frac{D}{d}\lambda=\frac{1\times4\times10^{-7}}{4\times10^{-4}}=1\times10^{-3}=1.0\ \text{mm}$$

(3)设两种波长的光的明条纹重合处离中央明纹的距离为x，则有

$$x=k_1\frac{D}{d}\lambda_1=k_2\frac{D}{d}\lambda_2\qquad\frac{k_1}{k_2}=\frac{\lambda_2}{\lambda_1}=\frac{400}{600}=\frac{2}{3}$$

由此可见，波长为400 nm的紫光的第3级明条纹与波长为 600 nm的橙光的第2级明条纹第1次重合.重合的位置为

$$x = k_1 \frac{D}{d}\lambda_1 = \frac{2\times1\times6\times10^{-7}}{4\times10^{-4}} = 3\times10^{-3}\ \mathrm{m} = 3\ \mathrm{mm}$$

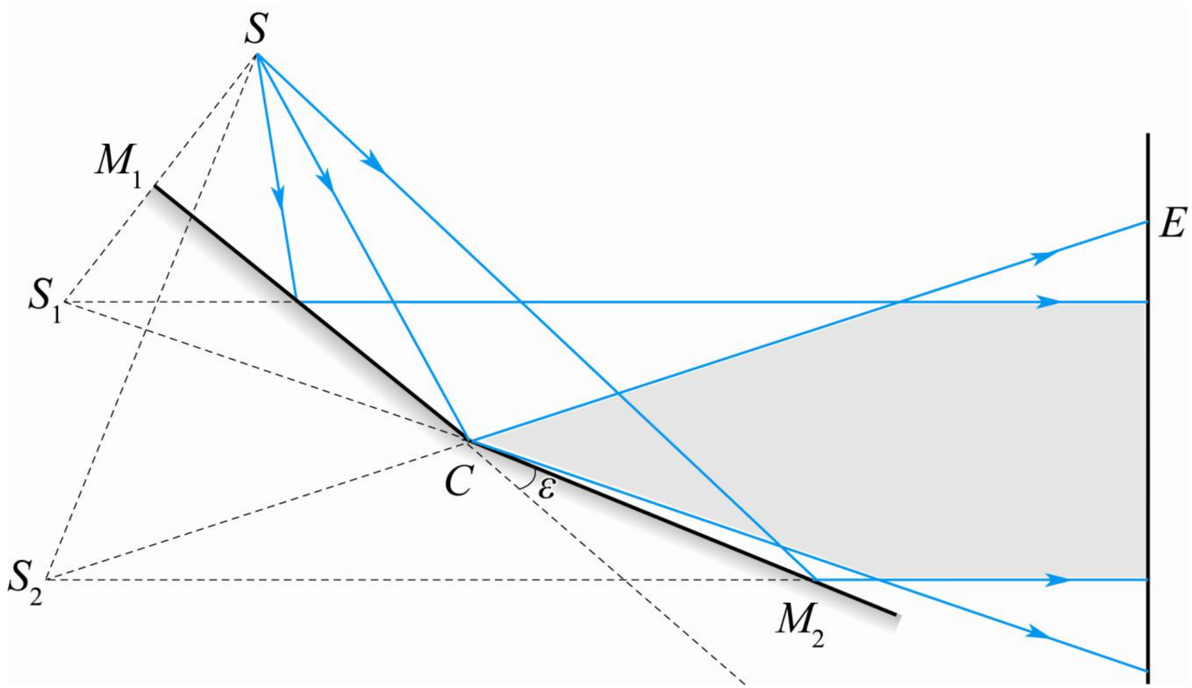
双缝到重合处的波程差为

$$\delta = k_1\lambda_1 = k_2\lambda_2 = 1.2\times10^{-6}\,\mathrm{m}$$

二、其它分波阵面干涉装置

杨氏实验装置中狭缝很小，边缘效应对实验产生影响而使问题复杂化

1. 菲涅耳双面镜



✓ 装置

*S*点光源（或线光源，与两镜交线平行）；M_1和M_2：镀银反射镜，夹角ε很小；两反射镜把*S*发出的光分成两部分，可以看作是两个虚光源S_1和S_2发出的光。

✓ 相位分析

同一光源，分波面，有固定的位相差。从两虚光源看，位相差为

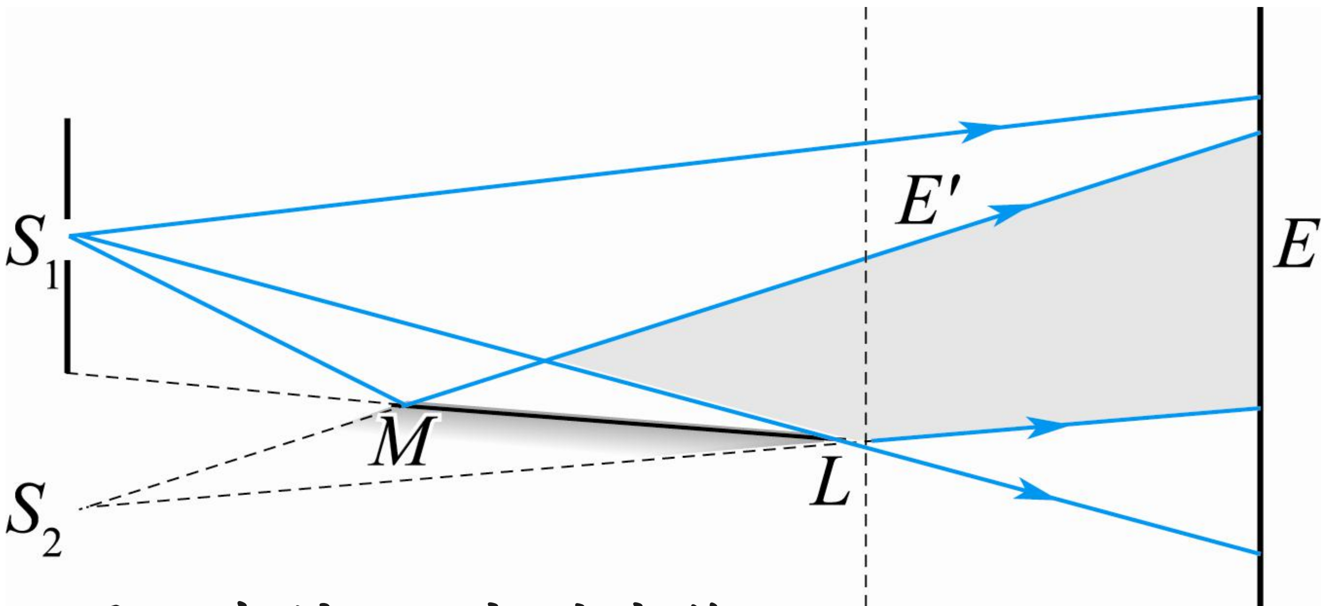
$$\frac{2\pi}{\lambda}(S_1P - S_2P)$$

✓ 条纹位置

可直接利用Young双缝干涉的结果。

2、洛埃镜

洛埃(*H.Lloyd*)镜的装置如图，它是一个平面镜.从狭缝S_1发出的光，一部分直接射向屏E，另一部分以近90°的入射角掠射到镜面*ML*上，然后反射到屏幕*E*上.



S_2是S_1在镜*ML*中的虚像.

发生半波损失的条件：

- ✓ 由光疏媒质入射，光密媒质反射；
- ✓ 正入射或掠入射。

半波损失，实际上是入射光在界面的位相与反射光在界面的位相有π的位相差，折合成波程差，就好象反射波少走（或多走）了半个波长，即π的位相差折算成波程差为$\lambda/2$。

作业：

13.7

13.3 光程与光程差

干涉现象的产生与否决定于两束相干光波的相位差

相位差取决于几何路程差（在同一均匀介质中传输）

两束相干光通过不同的介质时，引入光程与光程差

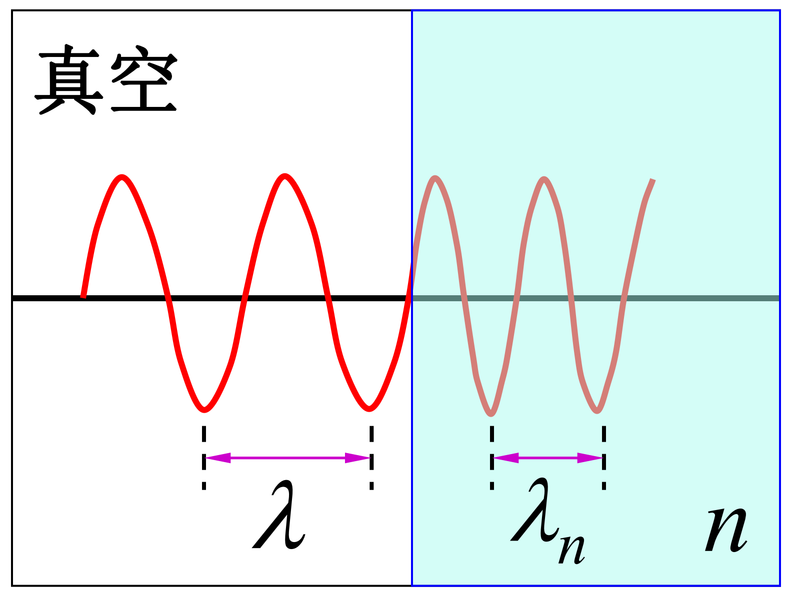
✓ 光在介质中的速度 $u = \dfrac{c}{n}$

✓ 介质中的波长 $\boxed{\lambda_n = \dfrac{u}{\nu} = \dfrac{c}{n\nu} = \dfrac{\lambda}{n}}$

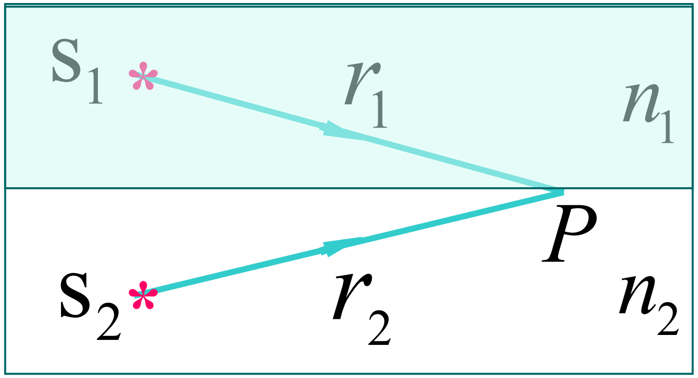
$\boxed{\dfrac{u}{c} = \dfrac{1}{n}}$

介质的折射率

频率恒定不变



✓ 介质中的波长 $\boxed{\lambda_n = \dfrac{\lambda}{n}}$



✓ 位相差

$$\boxed{\Delta\varphi = \frac{2\pi r_1}{\lambda_{n_1}} - \frac{2\pi r_2}{\lambda_{n_2}} = \frac{2\pi}{\lambda}(n_1 r_1 - n_2 r_2)}$$

（1）光程：介质折射率 $\boldsymbol{n}$ 与光的几何路程 $\boldsymbol{r}$ 的乘积

当光经历几种介质时：$\boxed{\text{光程} = \sum n_i r_i}$

$$nr = \frac{c}{u} r = c \frac{r}{u} = ct$$

物理意义（1）：

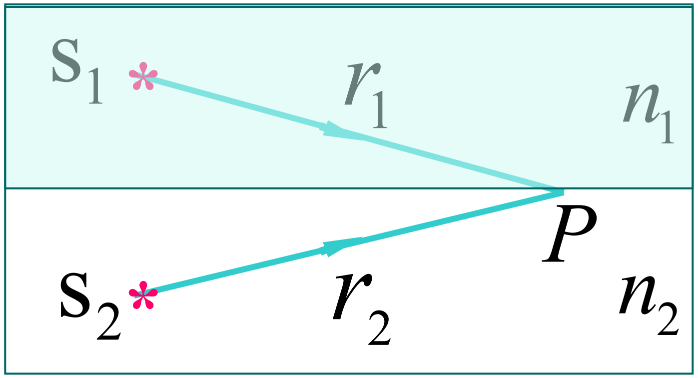
在相同的时间内，光在真空中通过的路程.

$$\text{波数} = \frac{x}{\lambda}$$

$$\frac{r}{\lambda_n} = \frac{r}{\lambda / n} = \frac{nr}{\lambda}$$

物理意义（2）：在介质中通过的几何路程，按波数相等折合到真空中的路程.

（2）光程差



光程差 $\Delta = n_1 r_1 - n_2 r_2$

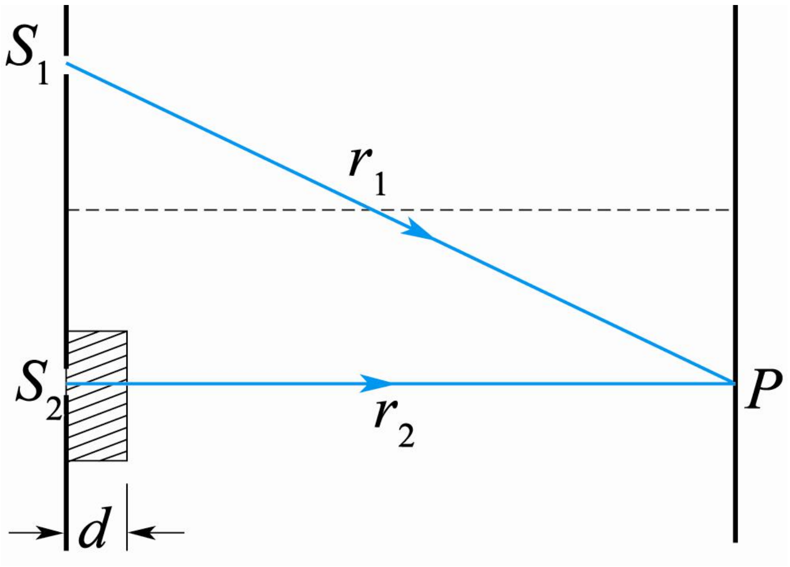
位相差 $\Delta\varphi = \dfrac{2\pi}{\lambda}\Delta$

✓ 干涉加强 $\begin{cases} \Delta = \pm k\lambda, \quad k = 0,1,2, \\ \Delta\varphi = \pm 2k\pi, \quad k = 0,1,2, \end{cases}$

✓ 干涉减弱 $\begin{cases} \Delta = \pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2}, \quad k = 0,1,2, \\ \Delta\varphi = \pm(2k+1)\pi, \quad k = 0,1,2, \end{cases}$

例13.2 在杨氏双缝干涉实验中，入射光的波长为λ，现在 S_2 缝上放置一片厚度为d，折射率为n的透明介质，试问原来的零级明纹将如何移动？如果观测到零级明纹移到了原来的k级明纹处，求该透明介质的厚度d.

解 如图所示，有透明介质时，从 S_1 和 S_2 到观测点P的光程差为



$$\Delta = (r_2 - d + nd) - r_1$$

零级明纹相应的 $\Delta=0$ ，其位置应满足

$$r_2-r_1=-(n-1)d<0$$

原来的零级明条纹满足$r_2-r_1=0$，故将下移.

没有介质时，下方k级明纹的位置满足

$$r_2-r_1=-k\lambda \qquad k=1,2,3,$$

即，$-(n-1)d=-k\lambda$

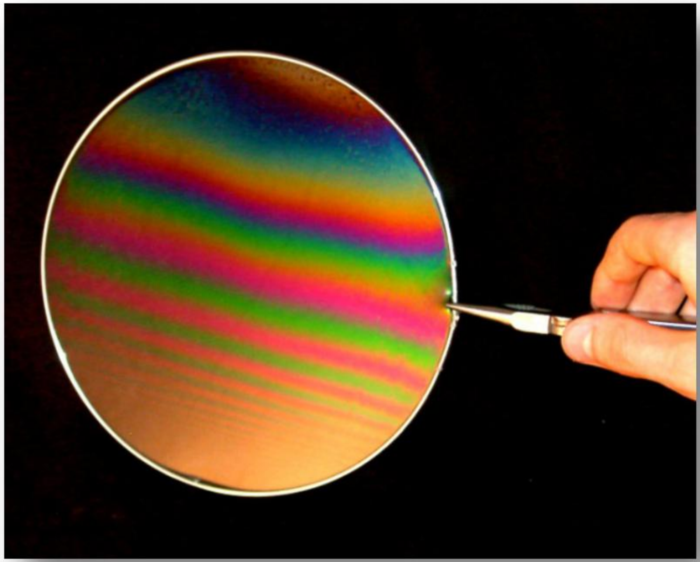
$$\therefore\ d=\frac{k\lambda}{n-1}$$

作业：

13.8

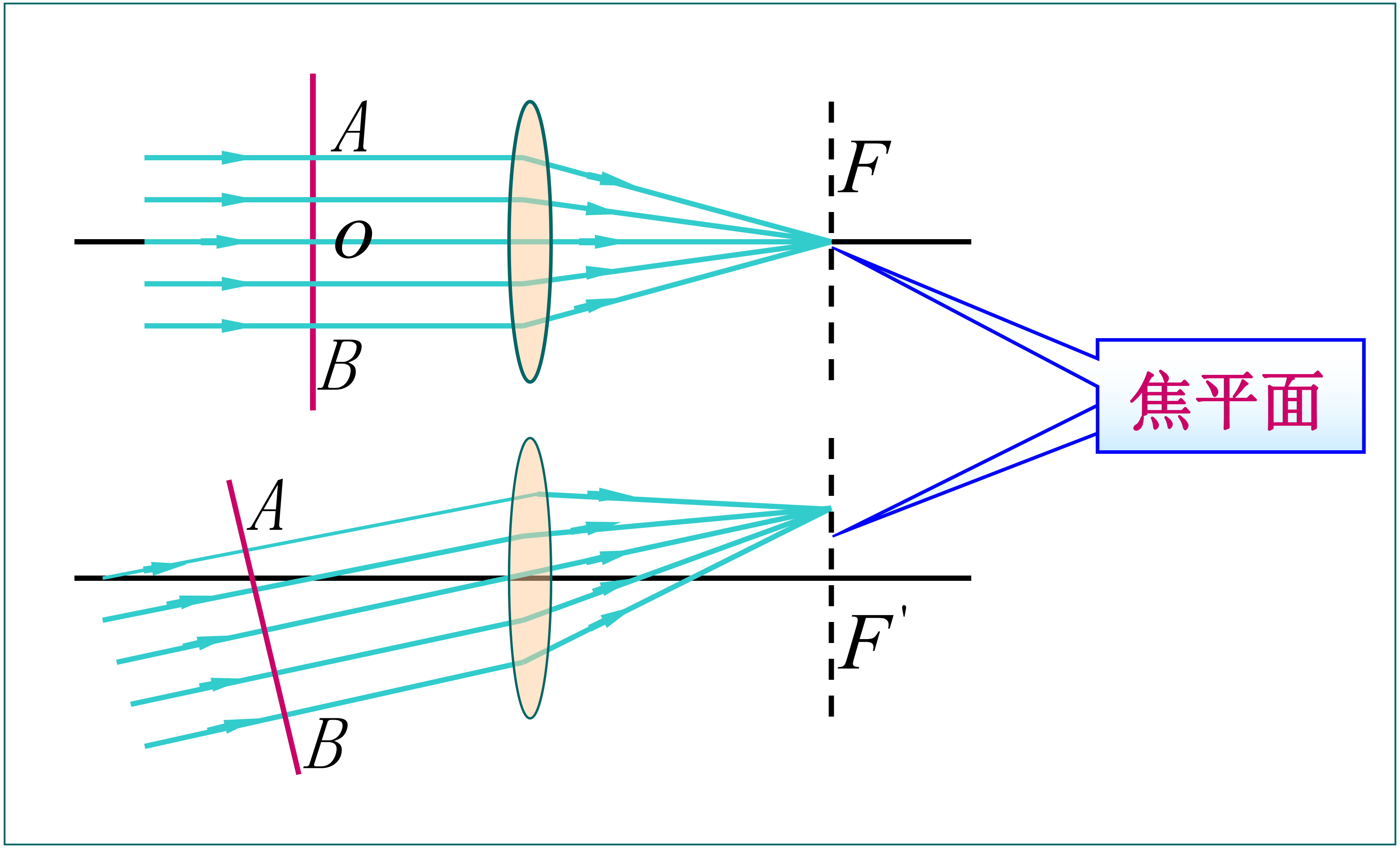
13.4 薄膜干涉

——振幅分割法获得2个相干次波源



肥皂膜的彩色干涉条纹

✓光通过透镜虽会改变传播方向但不会引起附加光程差

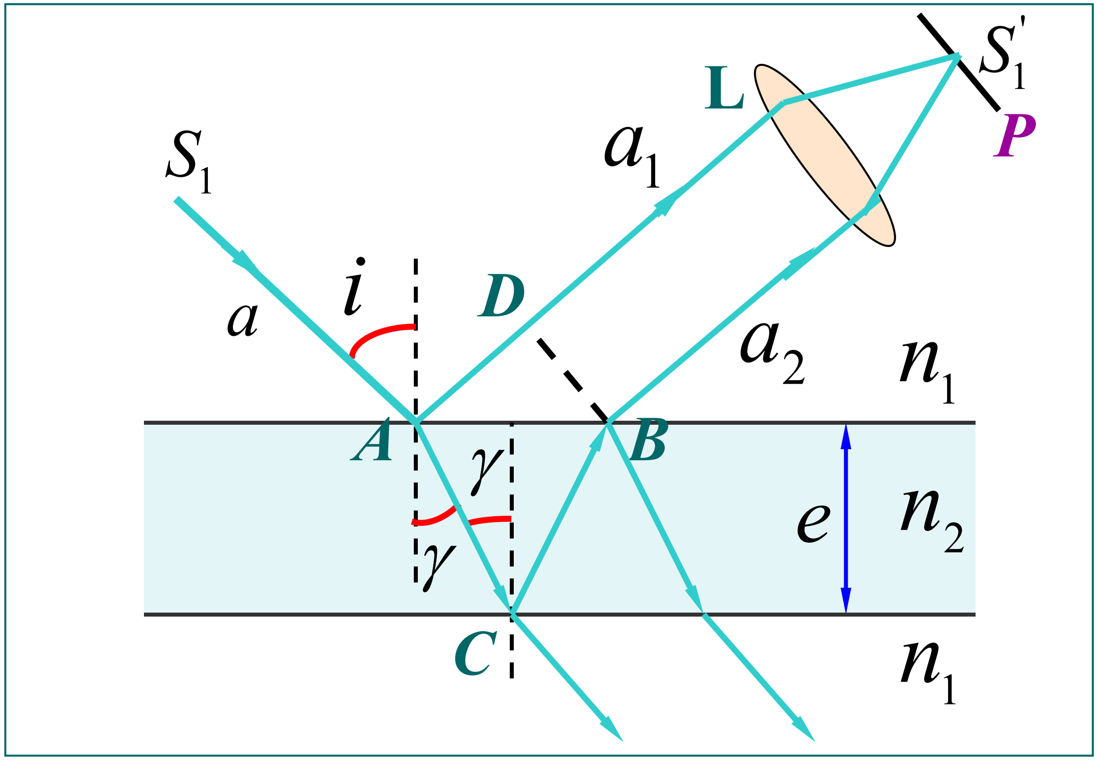


一、薄膜干涉

$$n_2 > n_1$$

$$BD \perp AD$$

$$\frac{\sin i}{\sin\gamma} = \frac{n_2}{n_1}$$



$$\Delta = n_2(AC + CB) - n_1 AD + \frac{\lambda}{2}$$

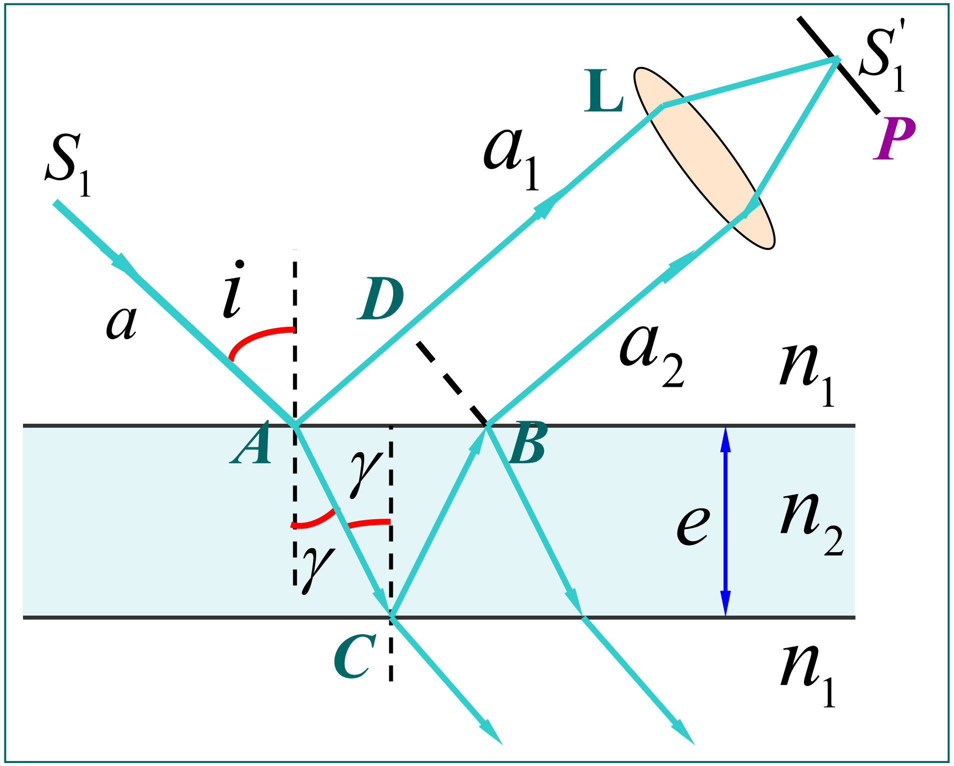
$$AC = CB = \frac{e}{\cos\gamma}$$

$$AD = AB\sin i = 2e\tan\gamma\sin i$$

$$\Delta=\frac{2n_2e}{\cos\gamma}\left(1-\sin^2\gamma\right)+\frac{\lambda}{2}=2n_2e\cos\gamma+\frac{\lambda}{2}=2e\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2 i}+\frac{\lambda}{2}$$

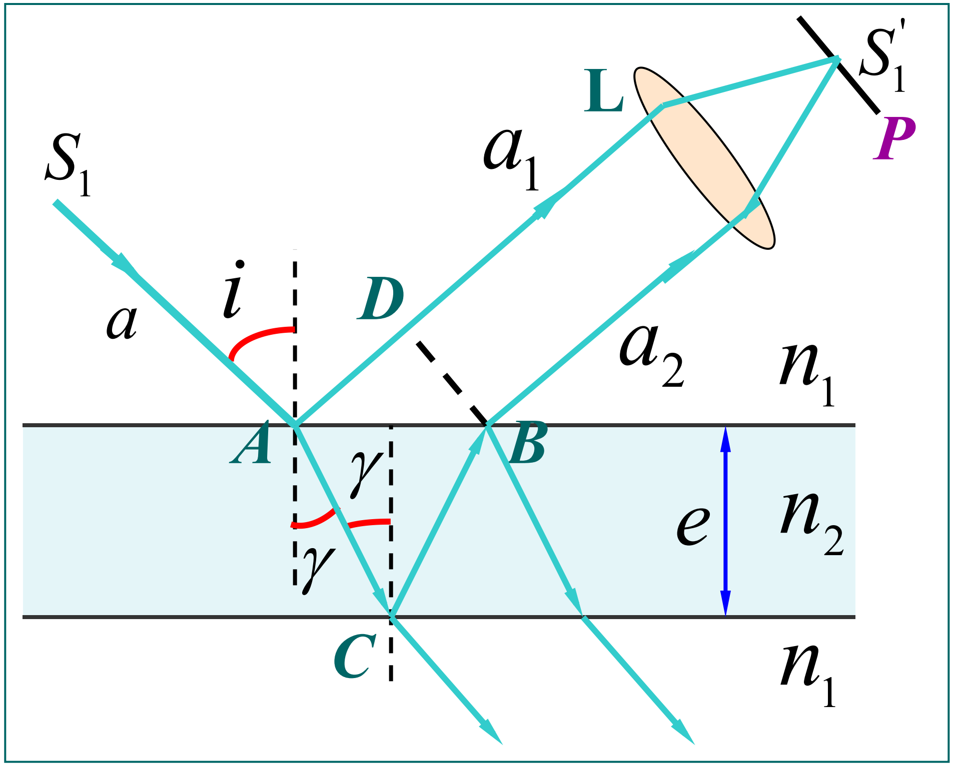
✓ 反射光的光程差 $\Delta=2e\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2 i}+\frac{\lambda}{2}$

$$\Delta=\begin{cases} k\lambda & \text{加强（明）} \\ (k=1,2,\quad) & \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & \text{减弱（暗）} \\ (k=0,1,2,\quad) & \end{cases}$$



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

根据具体情况而定



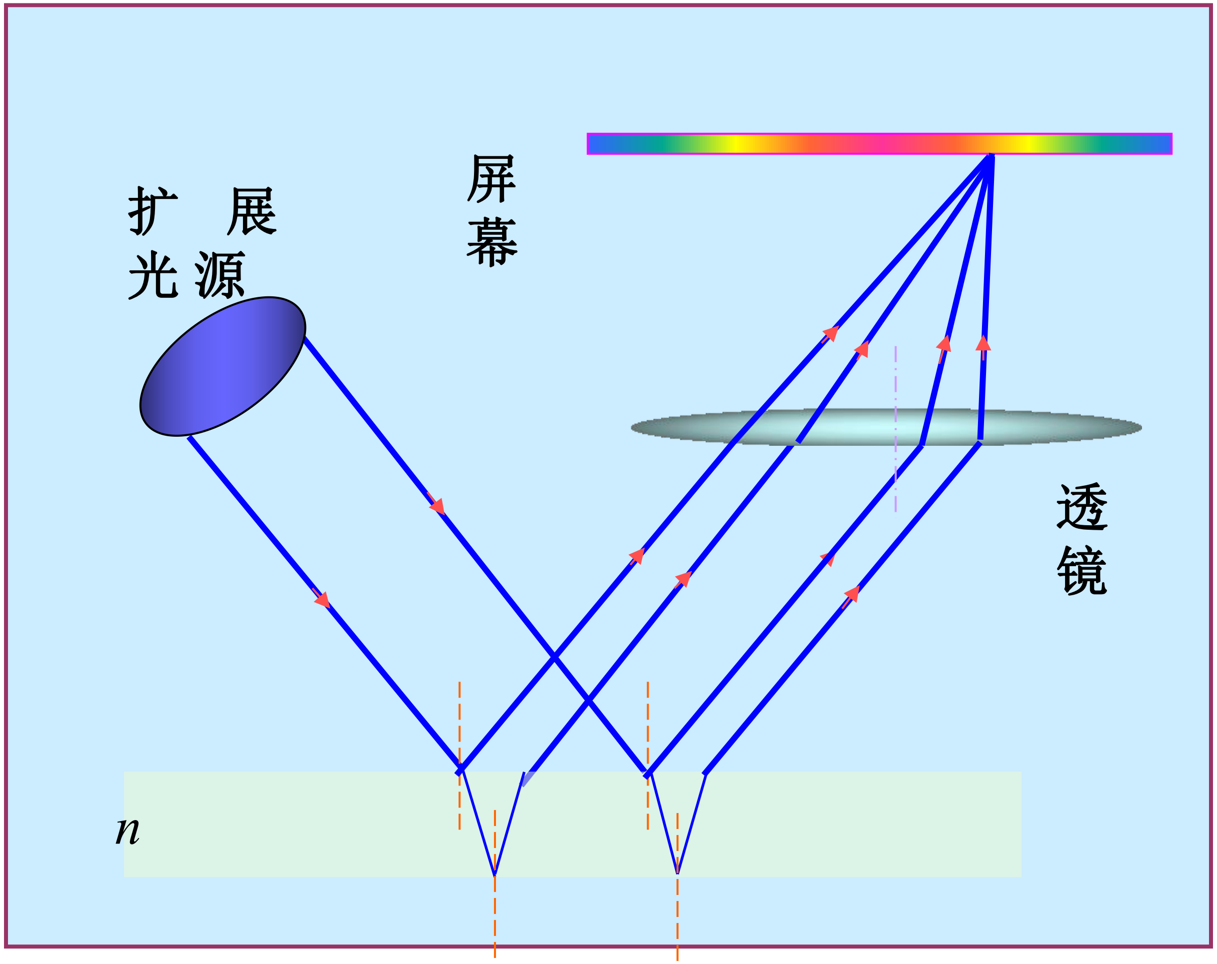
✓ 透射光的光程差

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

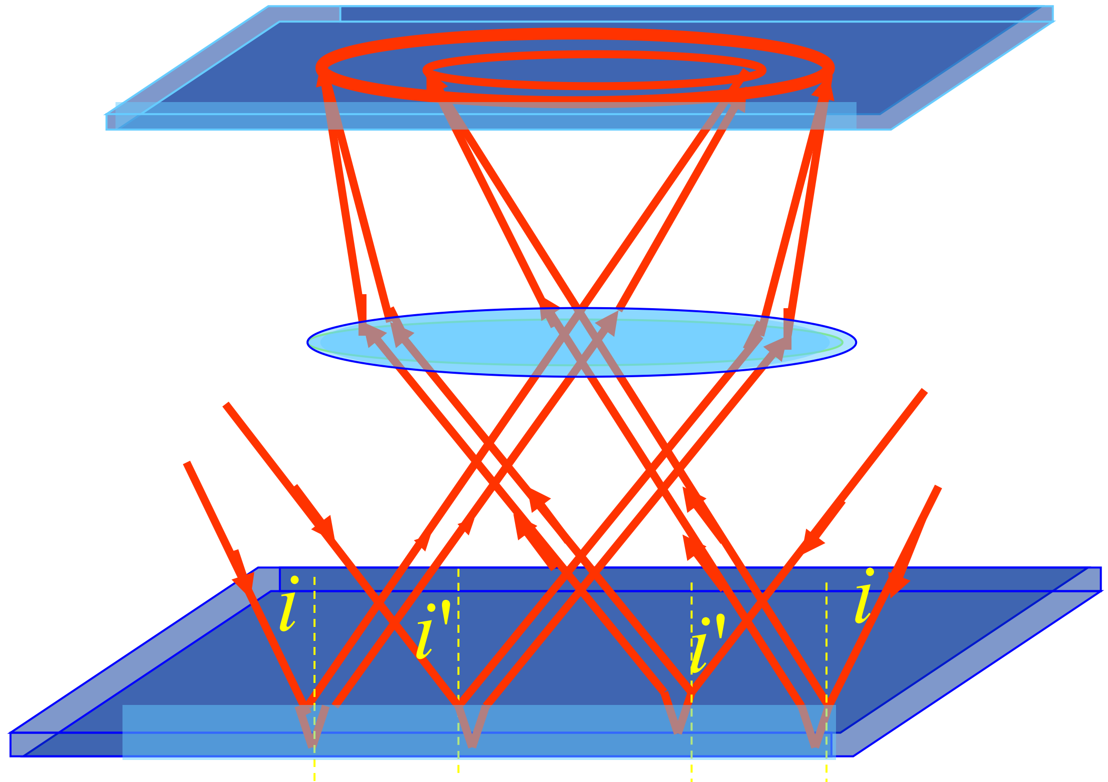
注意：透射光和反射光干涉具有互补性，符合能量守恒定律.

✓ 等倾干涉

扩展光源中各个方向的光线照射到厚度均匀的薄膜后，在无穷远处产生的干涉。



对于厚度均匀的平行平面膜（e=常数）来说，倾角相同的光线都有相同的光程差，因而属于同一级次的干涉条纹，故此叫做等倾干涉。



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

其具体运用之一就是增透膜或增反膜。

二、增透膜与增反膜

✓ **增透膜**

在比较复杂的光学系统中，普通光学镜头都有反射：

① 带来光能损失；

② 影响成象质量。

为消除这些影响，用增透膜使反射光干涉相消。

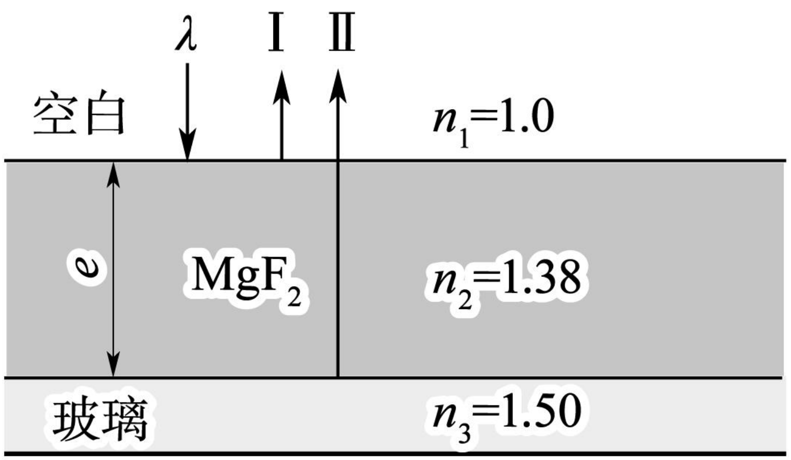
✓ 增反膜

在另一类光学元件中，又要求某些光学元件具有较高的反射本领。为了增强反射能量，常在玻璃表面上镀一层高反射率的透明薄膜，利用薄膜上、下表面的反射光的光程差满足干涉相长条件，从而使反射光增强，这种薄膜叫增反膜。

反射光能量约占入射光能量的5%，为了达到高反射率（>99%），通常在玻璃表面交替镀上折射率高低不同的多层介质膜，一般镀到13层，有的高达15层、17层。

例13.3　在一光学元件的玻璃（折射率 $n_3=1.5$）表面上镀一层厚度为e、折射率为 $n_2=1.38$ 的氟化镁薄膜，为了使入射白光中对人眼最敏感的黄绿光($\lambda=550\ \mathrm{nm}$)反射最小，试求薄膜的厚度.

解　如图，由于 $n_1<n_2<n_3$ 氟化镁薄膜的上、下表面反射的Ⅰ、Ⅱ两光均有半波损失. 设光线垂直入射($i=0$)，则Ⅰ、Ⅱ两光的光程差为



$$\Delta=(2n_2e+\frac{\lambda}{2})-\frac{\lambda}{2}=2n_2e$$

要使黄绿光反射最小，即I、II两光干涉相消

$$\Delta = 2n_2 e = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

应控制的薄膜厚度为 $e = \dfrac{(2k+1)\lambda}{4n_2}$

其中，薄膜的最小厚度(k＝0)

$$e_{\min} = \frac{\lambda}{4n_2} = \frac{550\ \text{nm}}{4\times 1.38} = 100\ \text{nm} = 0.1\mu\text{m}$$

即氟化镁的厚度为 $0.1\ \mu\text{m}$ 或 $(2k+1)\times 0.1\ \mu\text{m}$，都可使这种波长的黄绿光在两界面上的反射光干涉减弱.

作业：

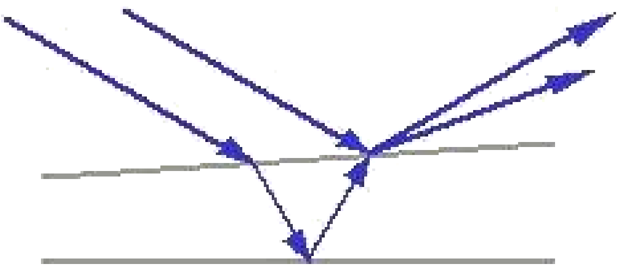
13.10、13.11

13.5 劈尖干涉 牛顿环

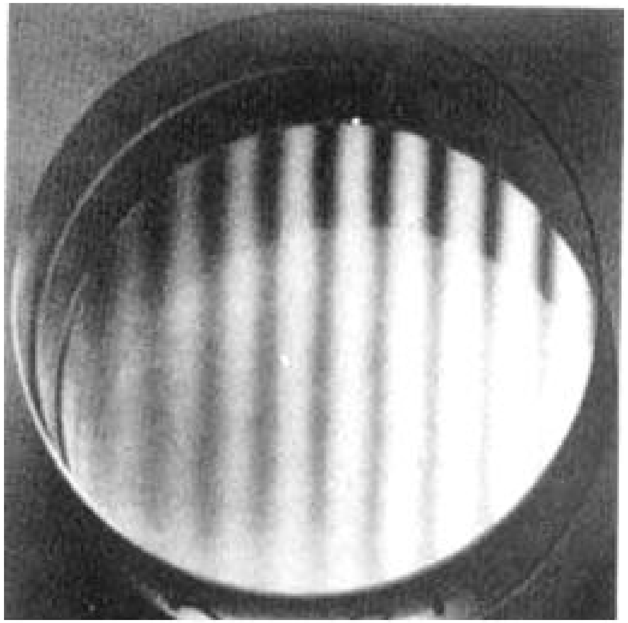
——属于等厚干涉

✓ 等厚干涉

平行光照射到表面平整、厚度不均匀的薄膜上产生的干涉条纹。



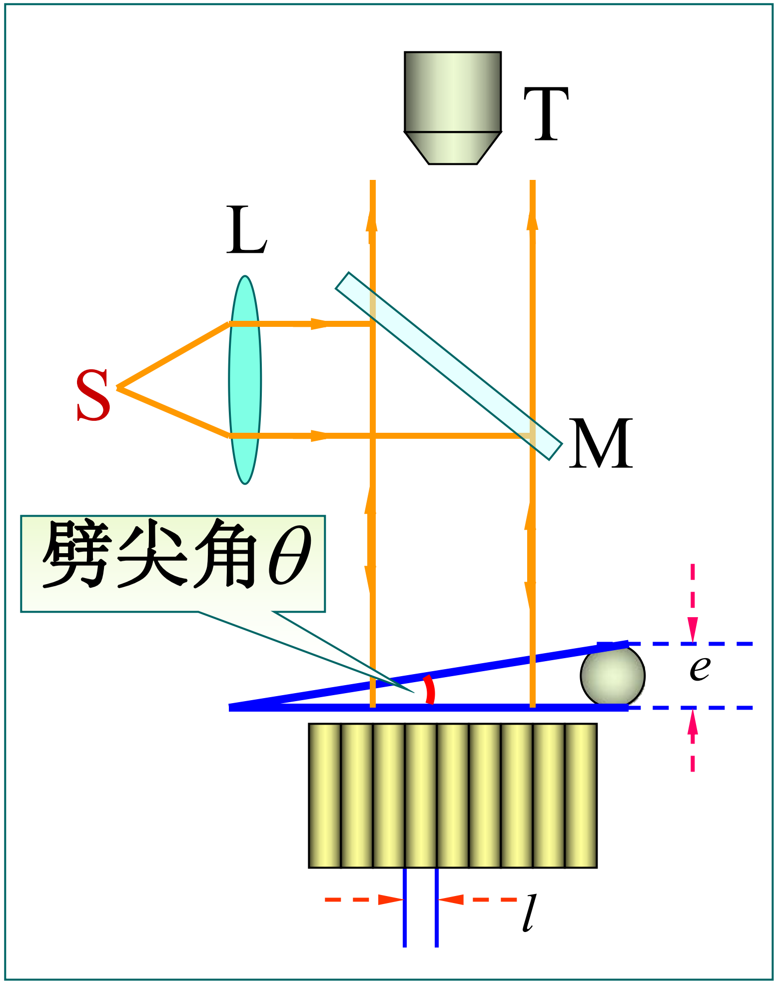
条纹定域于上表面

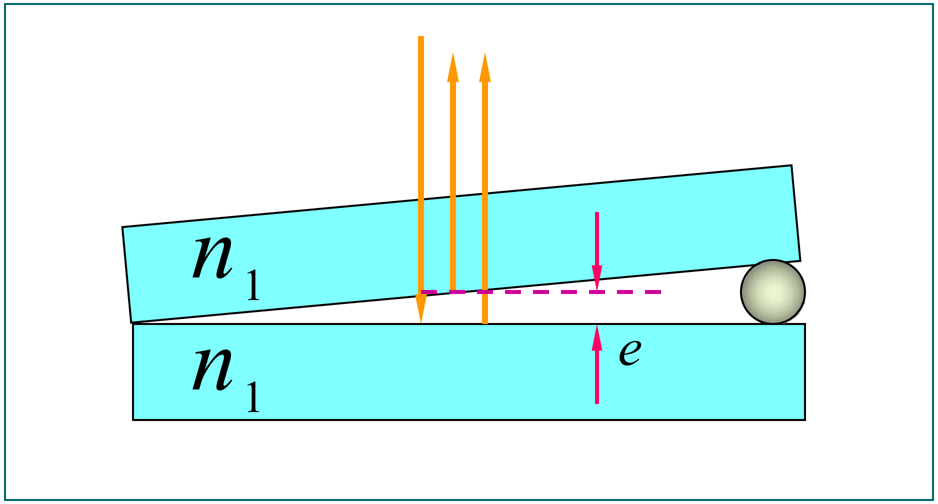


劈尖

不规则表面

一、劈尖干涉





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

$$\Delta = \begin{cases} k\lambda, \quad k = 1,2, & \text{明条纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2}, \quad k = 0,1, & \text{暗条纹} \end{cases}$$

θ : $10^{-5} \sim 10^{-4}$ rad

凡劈尖上厚度相等的地方，两反射光的光程差都相等，都与一定的明纹或暗纹的k值相对应，这些条纹叫等厚干涉条纹.

讨论

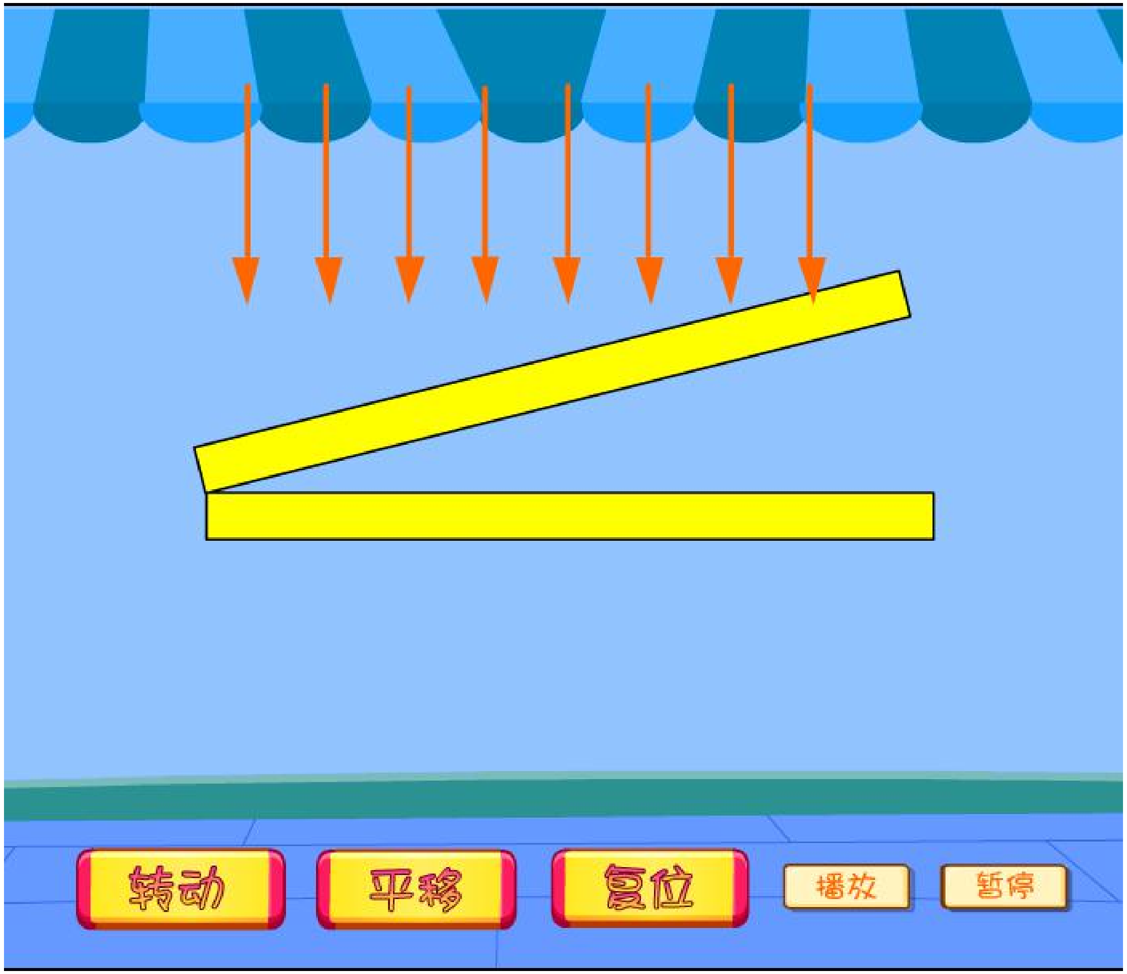
（1）$e = 0$ 时，$\Delta = \dfrac{\lambda}{2}$ 棱边处为暗纹.

（2）$$l\sin\theta = \frac{1}{2}(k+1)\lambda - \frac{1}{2}k\lambda = \frac{\lambda}{2}$$

对一定波长的单色光入射，劈尖的干涉条纹间隔仅与楔角 θ 有关.

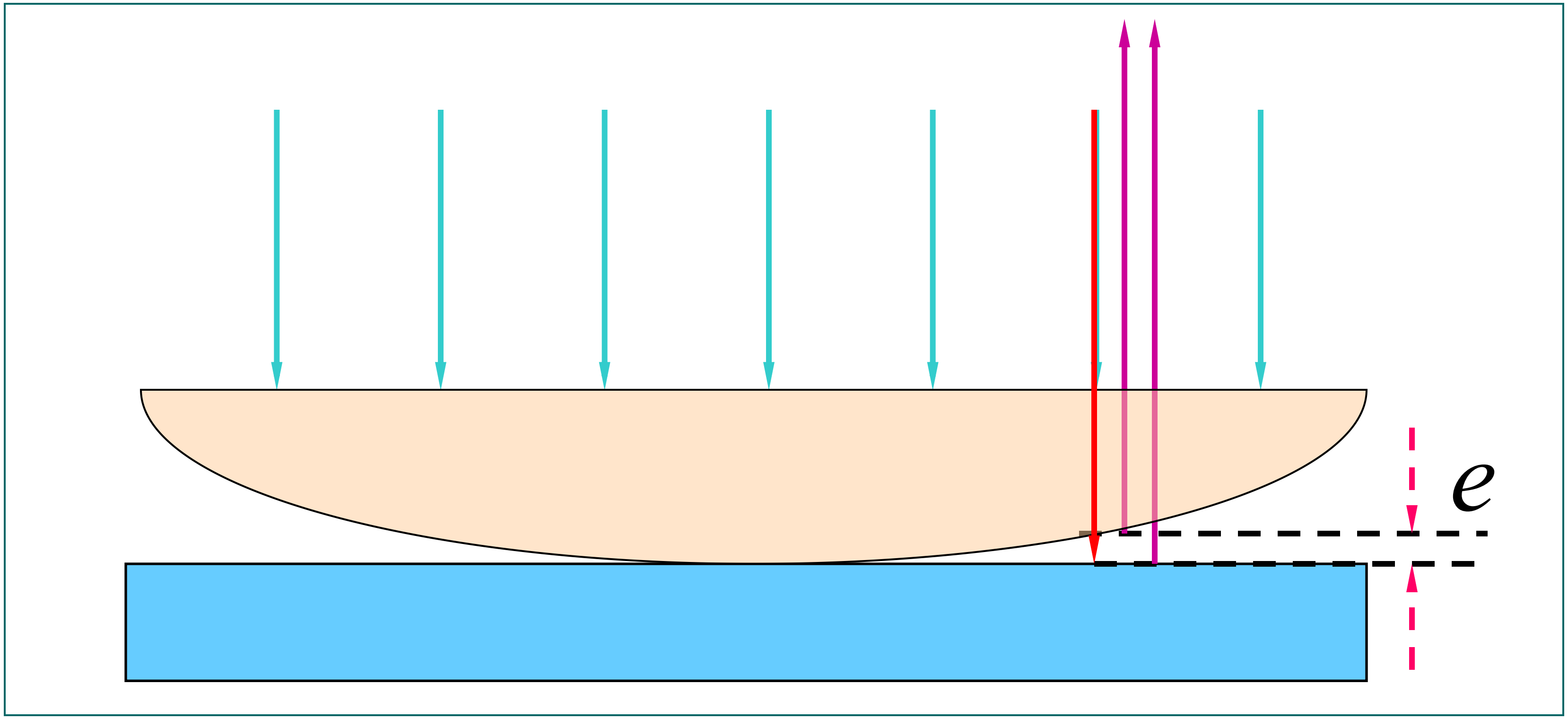
（3）干涉条纹的移动

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.



二、牛顿环

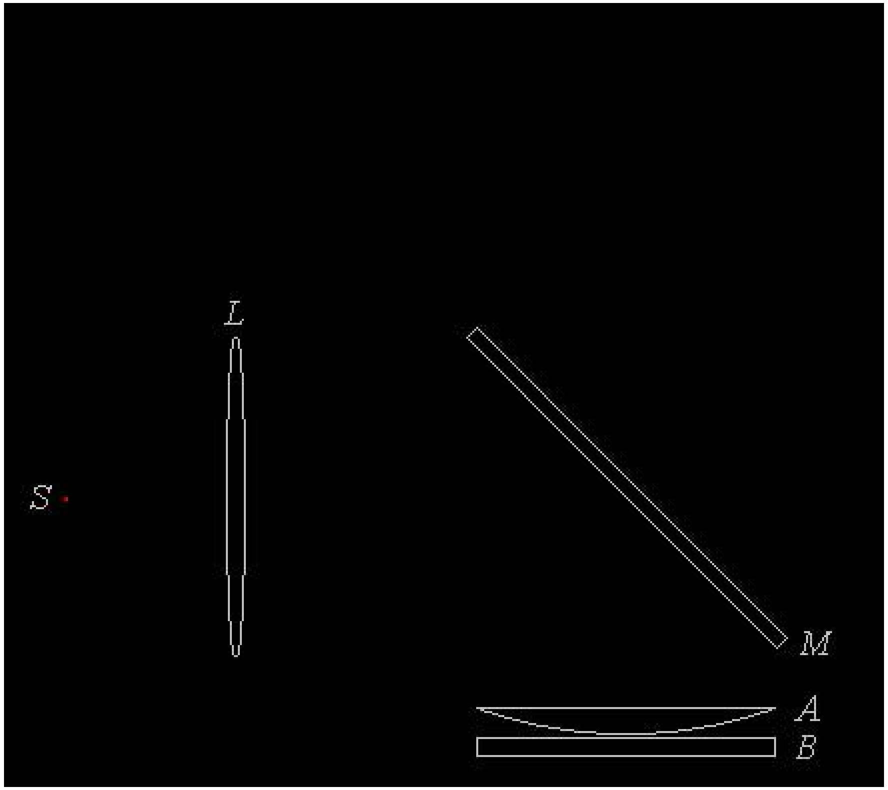
将一曲率半径相当大的平凸透镜叠放在一平板玻璃上



光程差

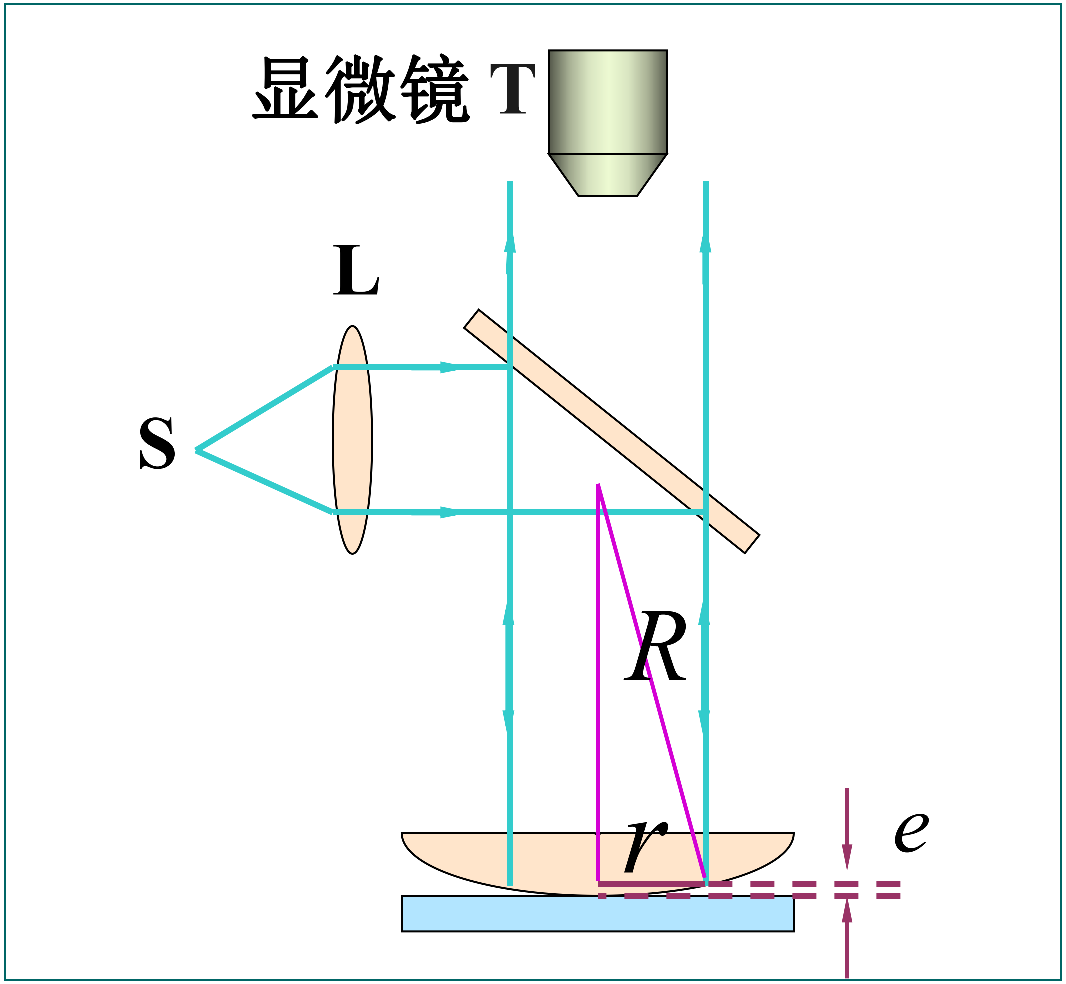
$$\boxed{\Delta = 2e + \frac{\lambda}{2}}$$

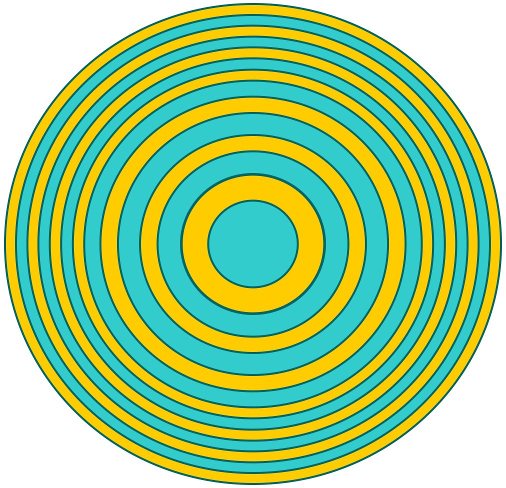
牛顿环



干涉条纹由间距越来越小的同心圆环组成，这些圆环状干涉条纹叫做牛顿环。

✓ 牛顿环实验装置

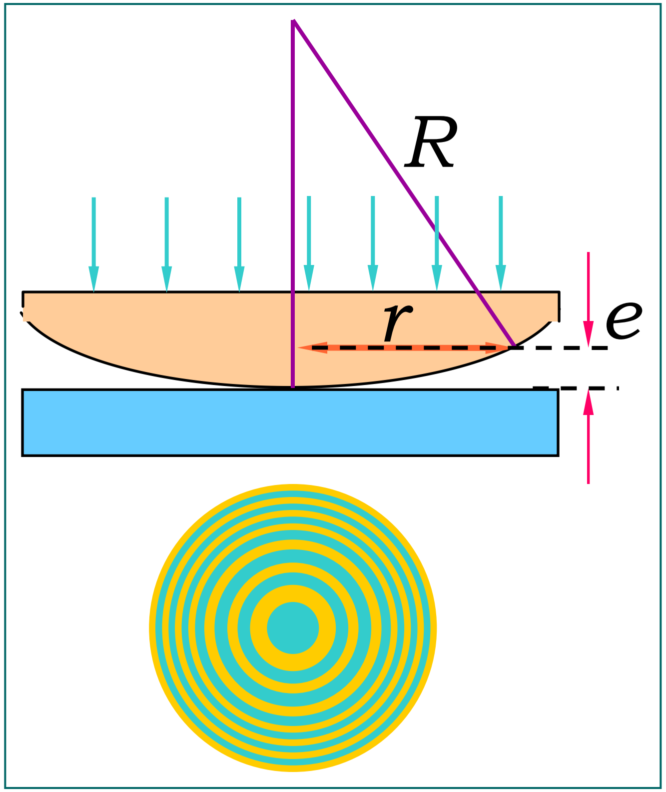




牛顿环干涉图样

光程差 $\Delta = 2e + \frac{\lambda}{2}$

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



$$r^2 = R^2 - (R-e)^2 = 2eR - e^2$$

$$R >> e \quad \therefore e^2 \approx 0 \quad e = \frac{r^2}{2R}$$

$$\begin{cases} r = \sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda}{2}} \quad k=1,2,\cdots & \text{明环} \\ r = \sqrt{kR\lambda} \quad k=0,1,2,\cdots & \text{暗环} \end{cases}$$

讨论

明环半径 $r=\sqrt{\dfrac{(2k-1)R\lambda}{2}} \quad (k=1,2,\quad)$

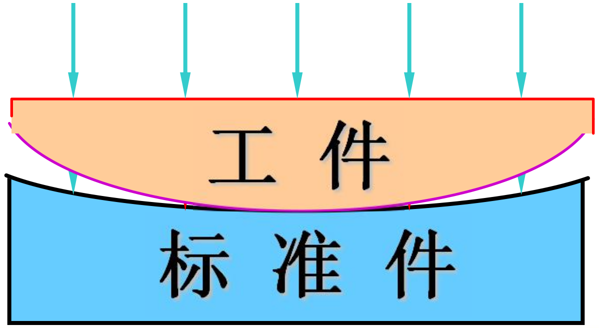
暗环半径 $r=\sqrt{kR\lambda} \quad (k=0,1,2,\quad)$

✓ 从反射光中观测，中心点是暗点还是亮点？从透射光中观测，中心点是暗点还是亮点？

✓ 属于等厚干涉，条纹间距不等，为什么？

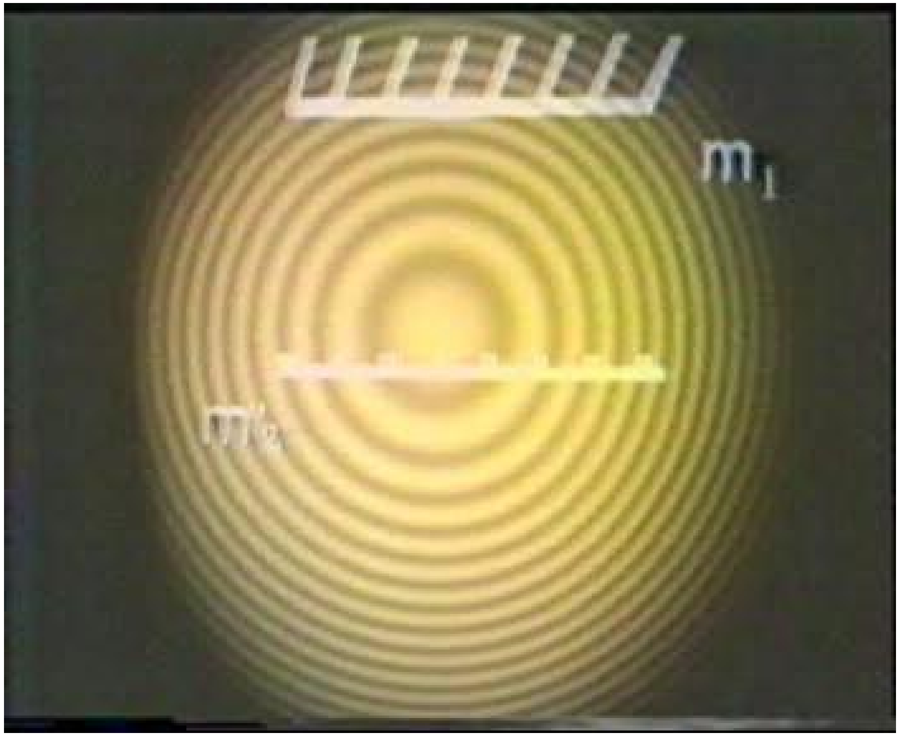
✓ 将牛顿环置于 $n>1$ 的液体中，条纹如何变？

✓ 应用例子:可以用来测量光波波长，用于检测透镜质量，曲率半径等.



✓ 当透镜与玻璃板的间距变化时

$$\begin{cases} e\uparrow \text{— 环由外向中心缩进；} \\ e\downarrow \text{—环由中心向外冒出} \end{cases}$$



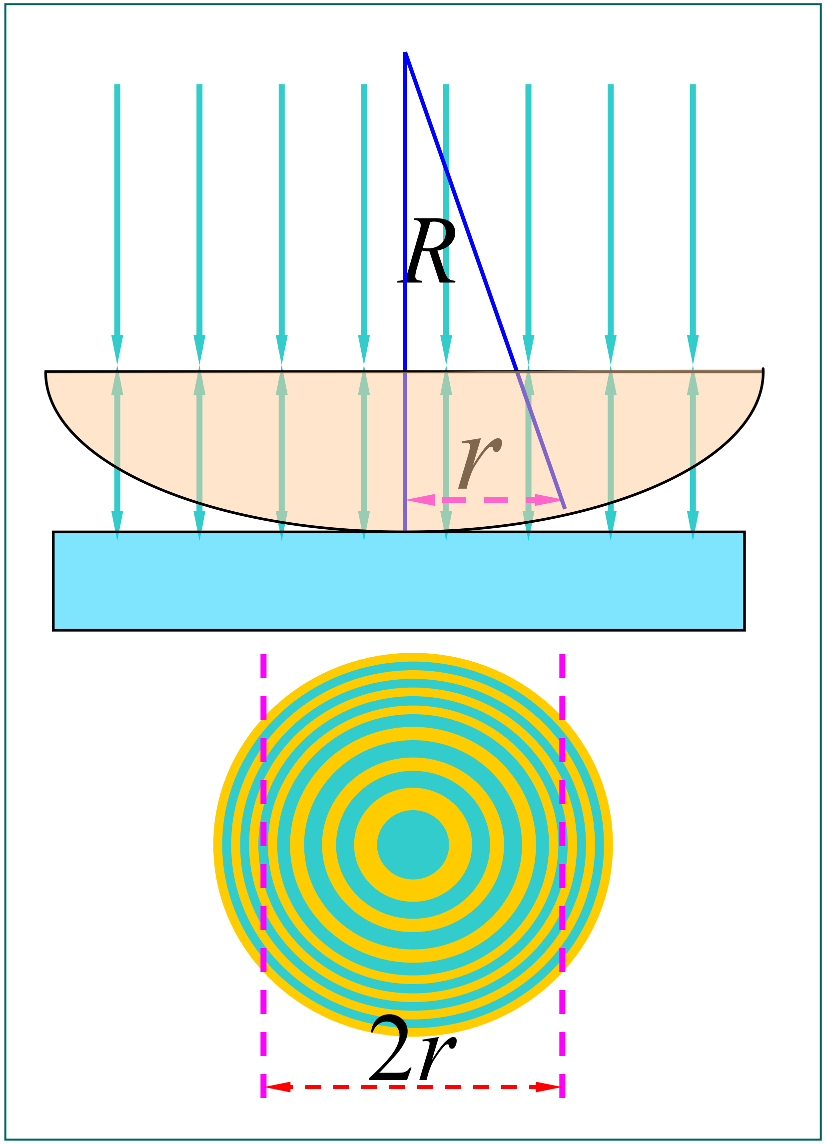
利用牛顿环可测透镜曲率。

✓ 测量平凸透镜曲率半径

$$r_k^2 = kR\lambda$$

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

$$\boxed{R = \frac{r_{k+m}^2 - r_k^2}{m\lambda}}$$

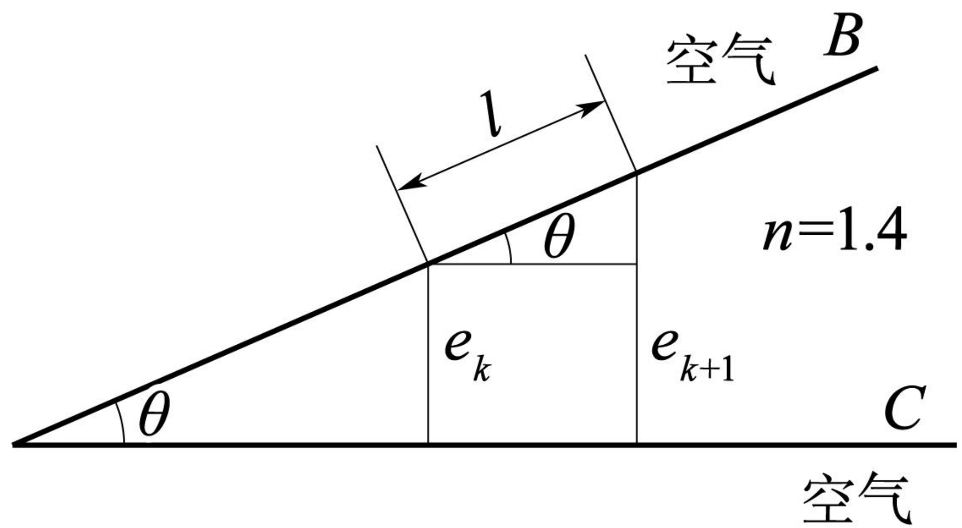


例13.4 利用劈尖干涉可以测量微小角度. 如图所示，折射率 $n=1.4$ 的劈尖在某单色光的垂直照射下，测得两相邻明条纹之间的距离是 l=0.25 cm. 已知单色光在空气中的波长 $\lambda=700\ \text{nm}$，求劈尖的顶角 θ.

解 如图：按明条纹出现的条件，e_k 和 e_{k+1} 应满足下列两式：

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

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



$$n(e_{k+1}-e_k)=\frac{\lambda}{2} \qquad e_{k+1}-e_k=\frac{\lambda}{2n}$$

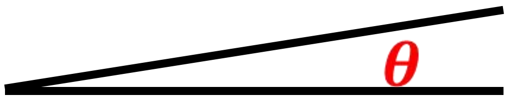
由图 $l\sin\theta=e_{k+1}-e_k$ $\therefore\ \sin\theta=\dfrac{\lambda}{2nl}$

将 $n=1.4, l=0.25\ \text{cm}, \lambda=7\times10^{-5}\ \text{cm}$，代入得

$$\sin\theta=\frac{\lambda}{2nl}=\frac{7\times10^{-5}}{2\times1.4\times0.25}=10^{-4}$$

因**sin** $\boldsymbol{\theta}$很小，所以 $\theta\approx\sin\theta=10^{-4}\ \text{rad}$

例13.6 由两块玻璃片构成一空气劈，其夹角$\theta = 5.0 \times 10^{-5}$ rad，用波长$\lambda = 500$ nm的平行单色光垂直照射，在空气劈的上方观察在劈尖表面上的等厚条纹.



(1) 若将下面的玻璃片向下平移，看到有15条条纹移过，求玻璃片下移的距离；

解：明条纹满足：$2e + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$

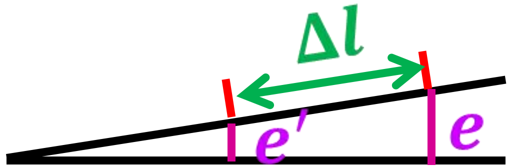
设原来观察的为第k级明条纹，满足$2e_k + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$

下面的玻璃片下移，光程差将变大，此时

$$2e_{k+15} + \frac{\lambda}{2} = (k+15)\lambda$$

移动的距离 $d = e_{k+15} - e_k = \frac{15}{2}\lambda = 3.75\ \mu\text{m}$

(2) 若向劈尖中注入某种液体，看到第5个明纹在劈尖上移动了0.5 cm，求液体的折射率.



解：注入液体前 $$2e+\frac{\lambda}{2}=5\lambda \Rightarrow e=\frac{9}{4}\lambda$$

注入液体之后 $$2ne'+\frac{\lambda}{2}=5\lambda$$

两式相减 $$e'=\frac{e}{n}$$

$$\Delta l=\frac{e-e'}{\sin\theta}\approx\frac{e-\frac{e}{n}}{\theta}=\frac{n-1}{n\theta}e$$

$$n=\frac{e}{e-\theta\Delta l}=1.28$$

例13.7 在牛顿环实验中，透镜的曲率半径为5.0 m，直径为2.0 cm.

(1) 用波长 $\lambda = 589.3$ nm的单色光垂直照射时，可看到多少干涉条纹？

(2) 若在空气层中充以折射率为n的液体，可看到46条明条纹，求液体的折射率(玻璃的折射率为1.50).

解 (1) 由牛顿环明环半径公式

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

$$k=\frac{r^2}{R\lambda}+\frac{1}{2}=\frac{(1.0\times10^{-2})^2}{5\times5.893\times10^{-7}}+\frac{1}{2}=34.4$$

可看到34条明条纹.

(2) 若在空气层中充以液体，则明环半径为

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

$$n=\frac{(2k-1)R\lambda}{2r^2}=\frac{(2\times46-1)\times5\times5.893\times10^{-7}}{2\times(1.0\times10^{-2})^2}=1.33$$

可见牛顿环中充以液体后，干涉条纹变密.

作业：

13.14、13.15

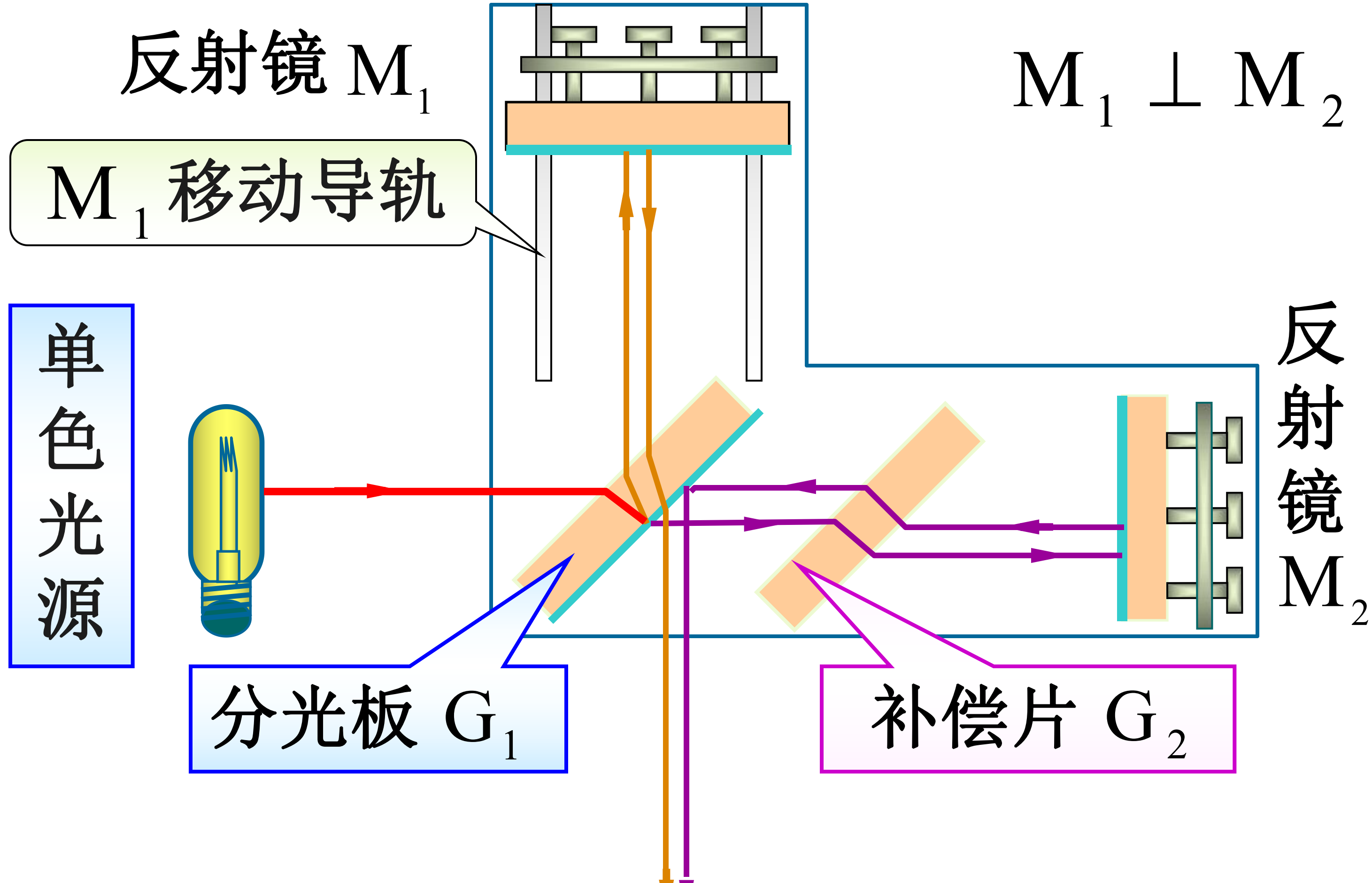
*13.6 迈克尔逊干涉仪

——振幅分割法获得2个相干次波源

利用干涉原理测量微小长度、角度等的典型精密测量仪器.

一、迈克耳孙干涉仪

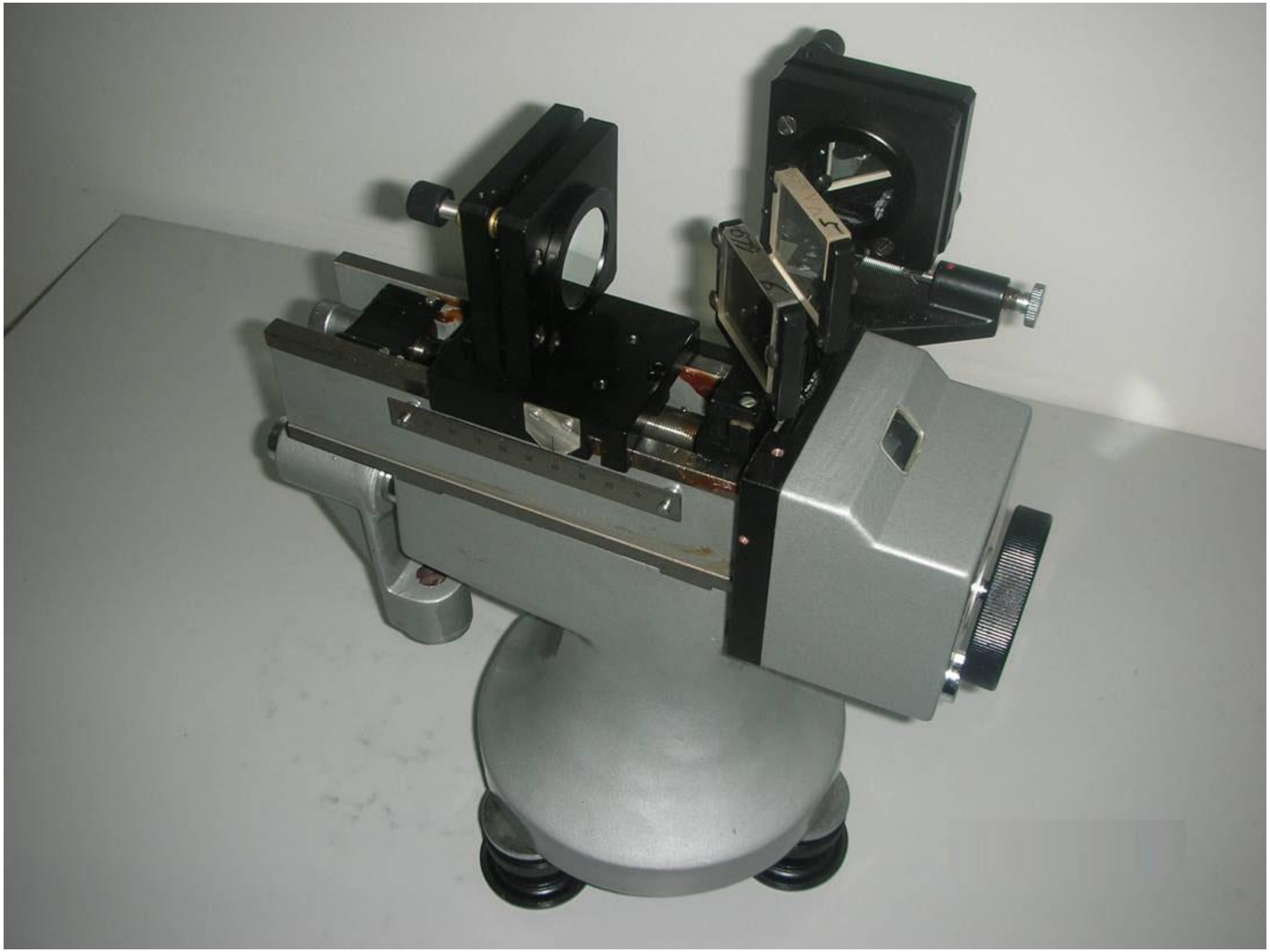
迈克耳孙干涉仪

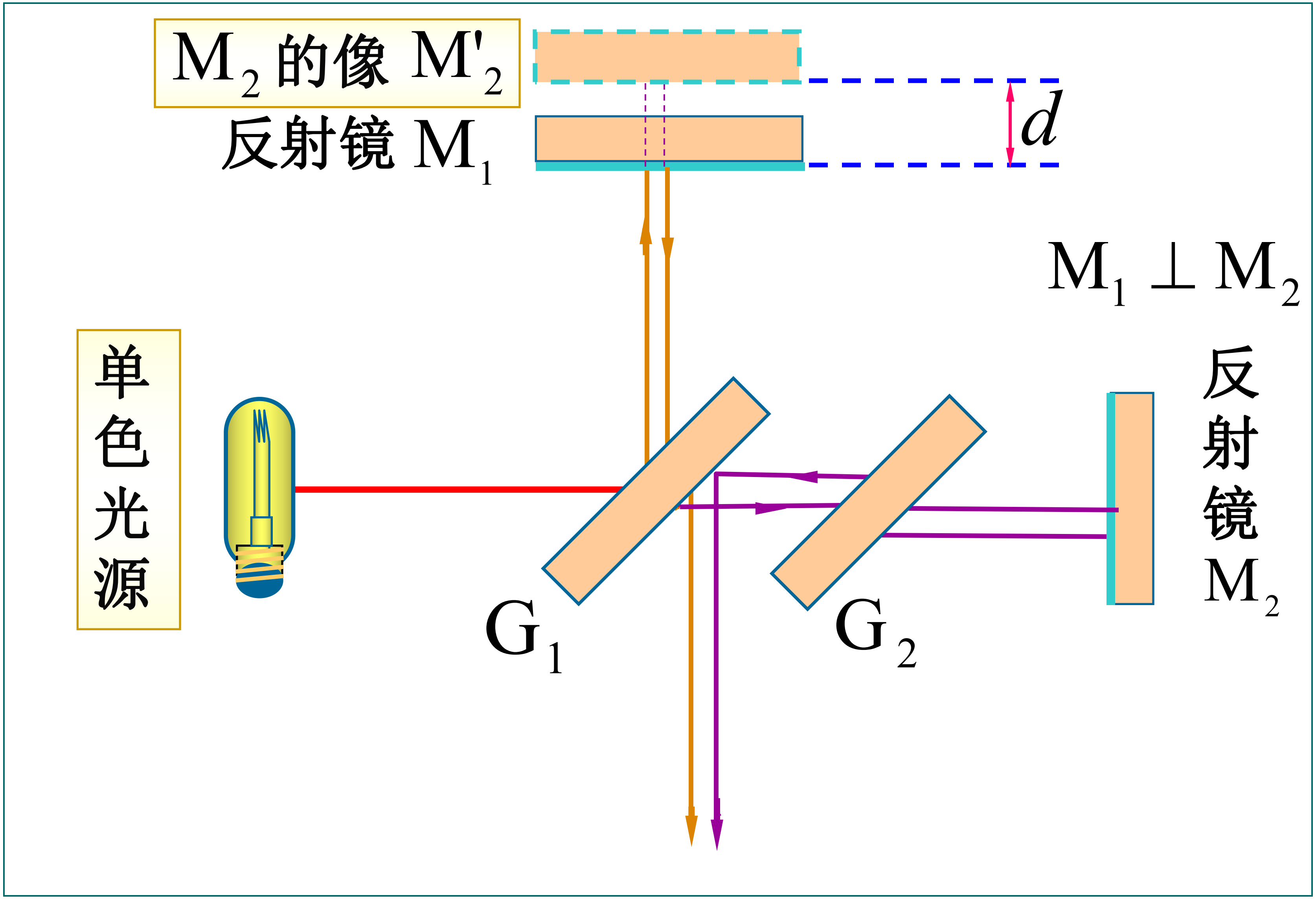


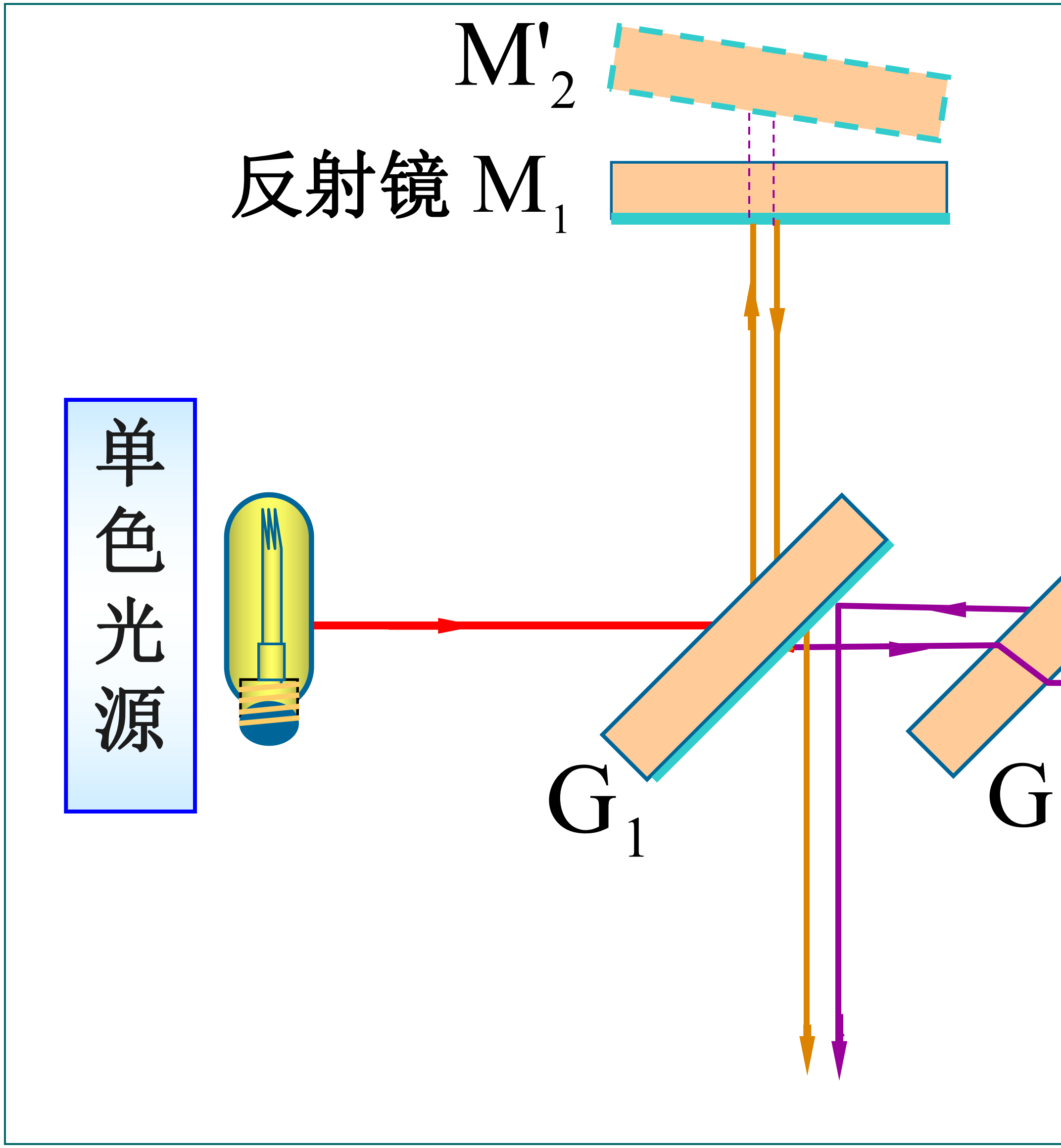
$M_1 \perp M_2$

$G_1 // G_2$，且与 M_1, M_2 成 45^0 角

迈克耳孙干涉仪实物



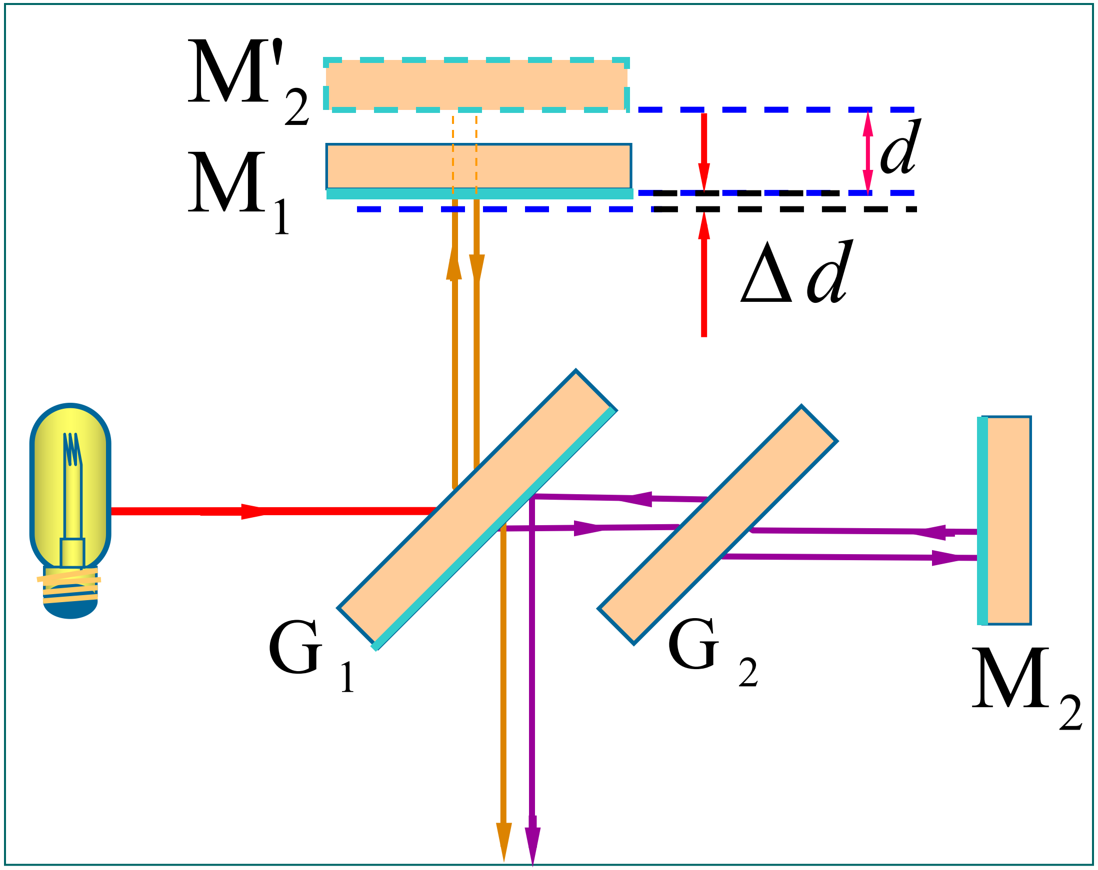

M2 的像 M'2
反射镜 M1
d
M1 ⊥ M2
单色光源
反射镜 M2
G1
G2



当M_1不垂直于M_2时，可形成劈尖型等厚干涉条纹.

✓ 迈克尔孙干涉仪的主要特性

两相干光束在空间完全分开，并可用移动反射镜或在光路中加入介质片的方法改变两光束的光程差.



移动反射镜 M_1

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

M_1 移动距离

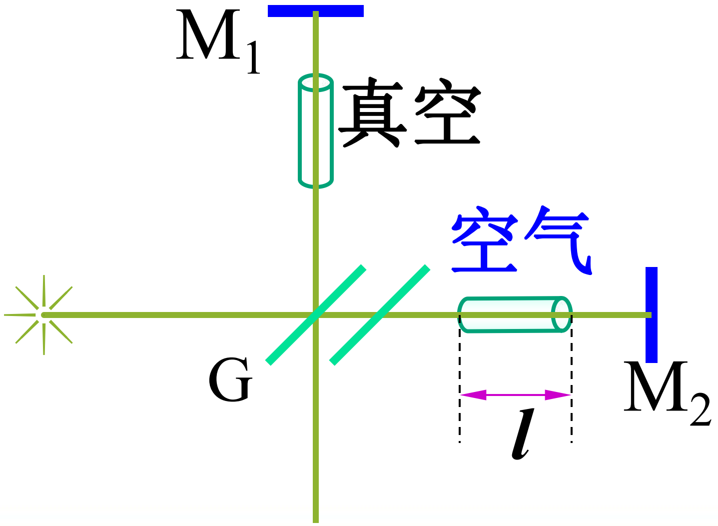
干涉条纹移动数目

例13.8 在迈克耳孙干涉仪的两臂中，分别插入玻璃管，长为 $l=10.0\text{cm}$，其中一个抽成真空，另一个则储有压强为$1.013\times10^5\,\text{Pa}$ 的空气，用以测量空气的折射率．设所用光波波长为546nm，实验时，向真空玻璃管中逐渐充入空气，直至压强达到 $1.013\times10^5\,\text{Pa}$ 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 ．

解 $\Delta_2-\Delta_1=2(n-1)l$

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

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

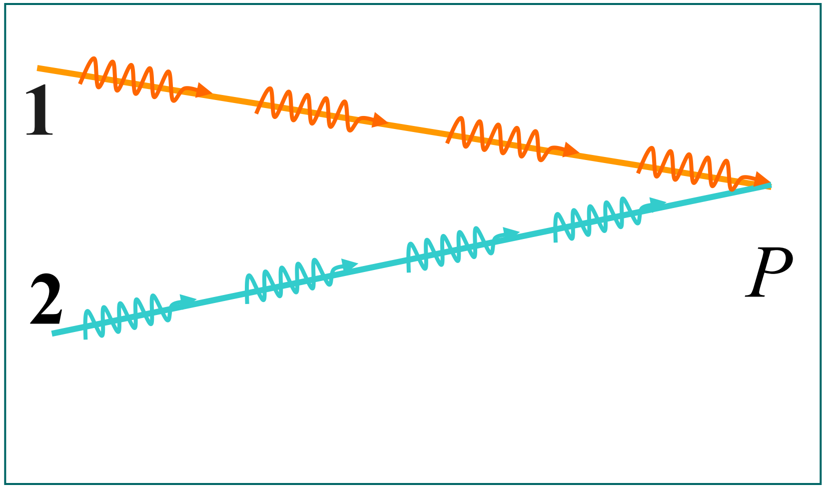


本章小结

一、光源 光的相干性

$$E^2 = E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20}\cos\Delta\varphi$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\varphi$$

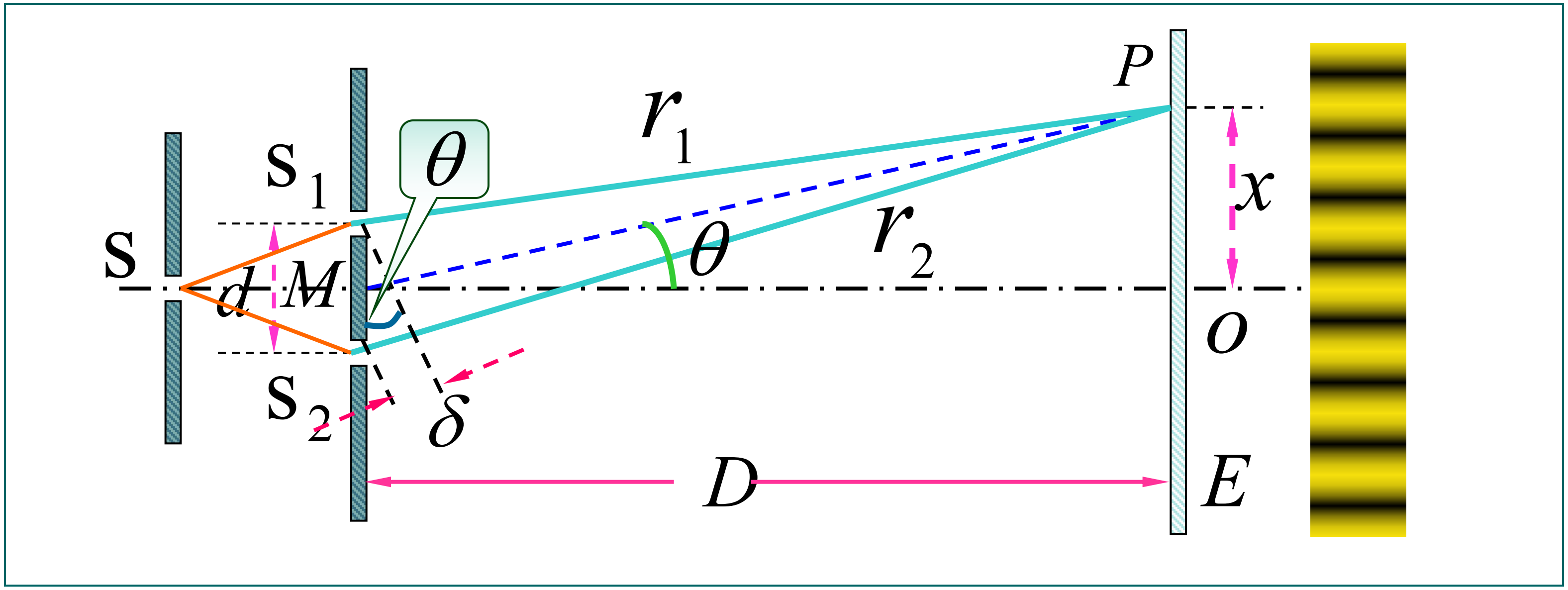


（1） 相干条件：振动方向相同；波长相同；相遇区相位差恒定

（2） 相干光的产生：波阵面分割法；振幅分割法.

杨氏双缝干涉　　薄膜干涉

二、杨氏双缝干涉实验



$$d\frac{x}{D}=\delta=r_2-r_1=\begin{cases}\pm k\lambda & \text{干涉加强}\\ \pm(2k-1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{干涉减弱}\end{cases}\qquad k=0,1,2,$$

$$x=\begin{cases}\pm k\dfrac{D}{d}\lambda & \text{明纹}\\ \pm(2k-1)\dfrac{D}{d}\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗纹}\end{cases}\qquad k=0,1,2,$$

三、光程与光程差

（1）光程：媒质折射率n与光的几何路程r的乘积

当光经历几种介质时：$\boxed{光程 = \sum n_i r_i}$

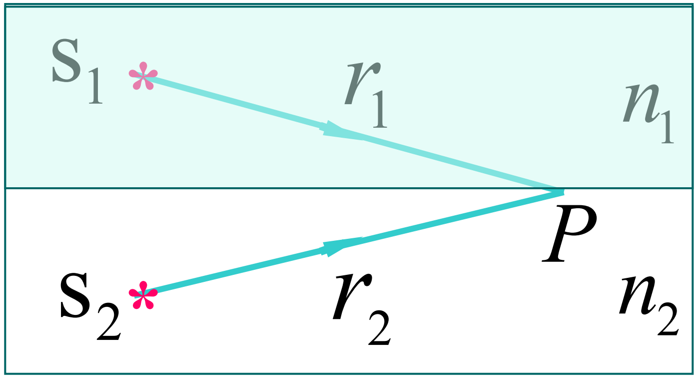
物理意义：光程就是光在媒质中通过的几何路程，按波数相等折合到真空中的路程.

$$\frac{r}{\lambda_n} = \frac{nr}{\lambda}$$

（2）光程差

光程差 $\Delta = n_1 r_1 - n_2 r_2$

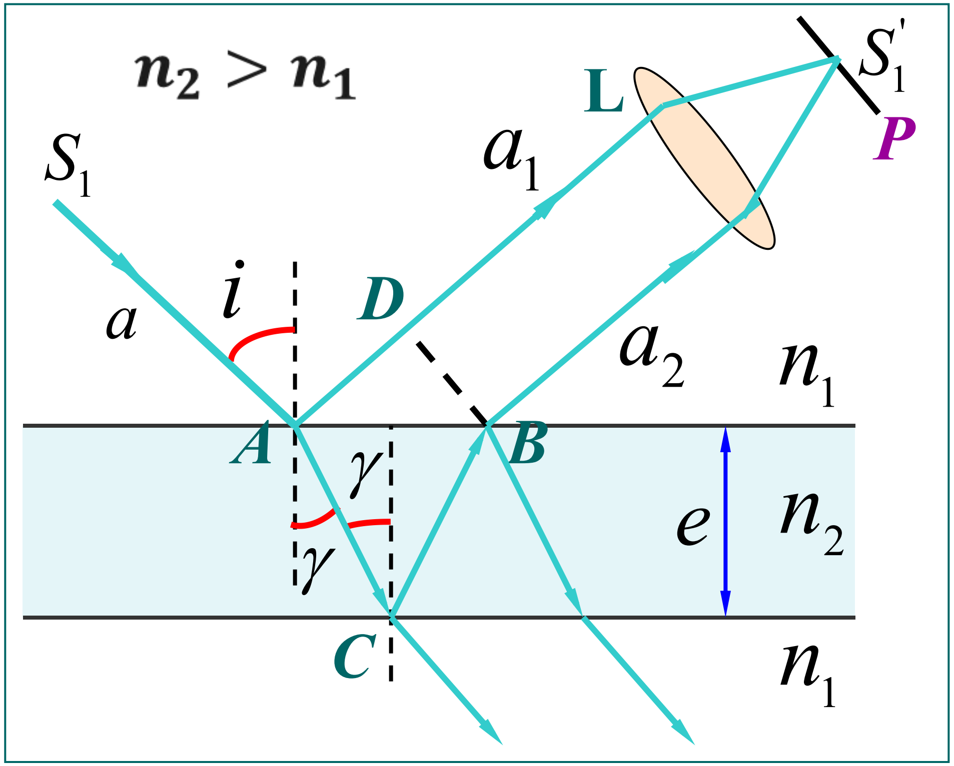
位相差 $\Delta\varphi = 2\pi\frac{\Delta}{\lambda}$



四、薄膜干涉

✓ 反射光的光程差 $\Delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \dfrac{\lambda}{2}$

$$\Delta = \begin{cases} k\lambda & \text{加强（明）} \\ (k = 1,2, \quad) & \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{减弱（暗）} \\ (k = 0,1,2, \quad) & \end{cases}$$



✓ 透射光的光程差

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

增透膜——反射光的光程差满足干涉相消条件$\Delta=\dfrac{(2k+1)\lambda}{2}$

增反膜——反射光的光程差满足干涉相长条件$\Delta=k\lambda$

五、劈尖干涉 牛顿环

✓ 劈尖干涉 $\boxed{\Delta=2e+\dfrac{\lambda}{2}}$

$$\Delta=\begin{cases} k\lambda, \quad k=1,2, & \text{明条纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2}, \quad k=0,1, & \text{暗条纹} \end{cases}$$

✓ 牛顿环

$$\begin{cases} r=\sqrt{\dfrac{(2k-1)R\lambda}{2}} \quad k=1,2, & \text{明环} \\ r=\sqrt{kR\lambda} \quad k=0,1,2, & \text{暗环} \end{cases}$$

✓ 测量平凸透镜曲率半径 $\boxed{R=\dfrac{r_{k+m}^2-r_k^2}{m\lambda}}$

六、迈克耳逊干涉仪

利用分振幅法垂直的平面镜形成一等效的空气薄膜使两相互相干光束在空间完全分开，并可用移动反射镜或在光路中加入介质片的方法改变两光束的光程差.

移动反射镜

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

光路中加入介质片

$$2(n-1)e = \Delta k\lambda$$