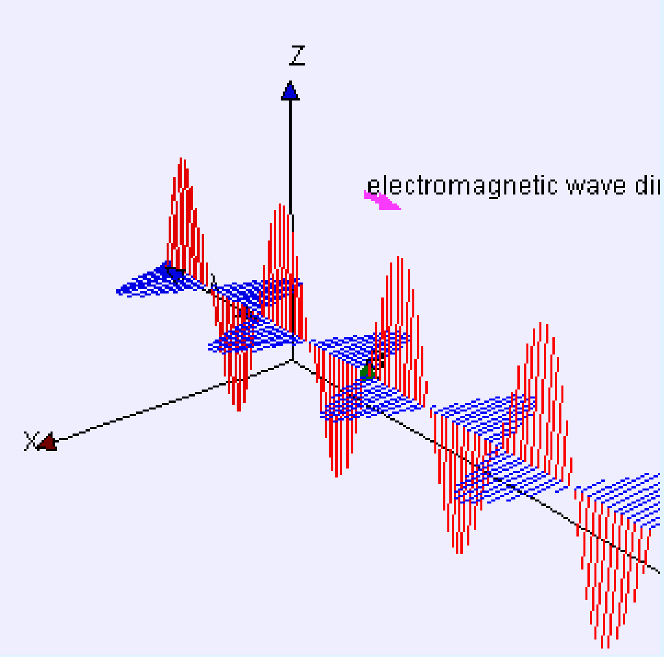
第九章

光的干涉



光是一种电磁波

$$c=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$$

c：光在真空中的传播速度

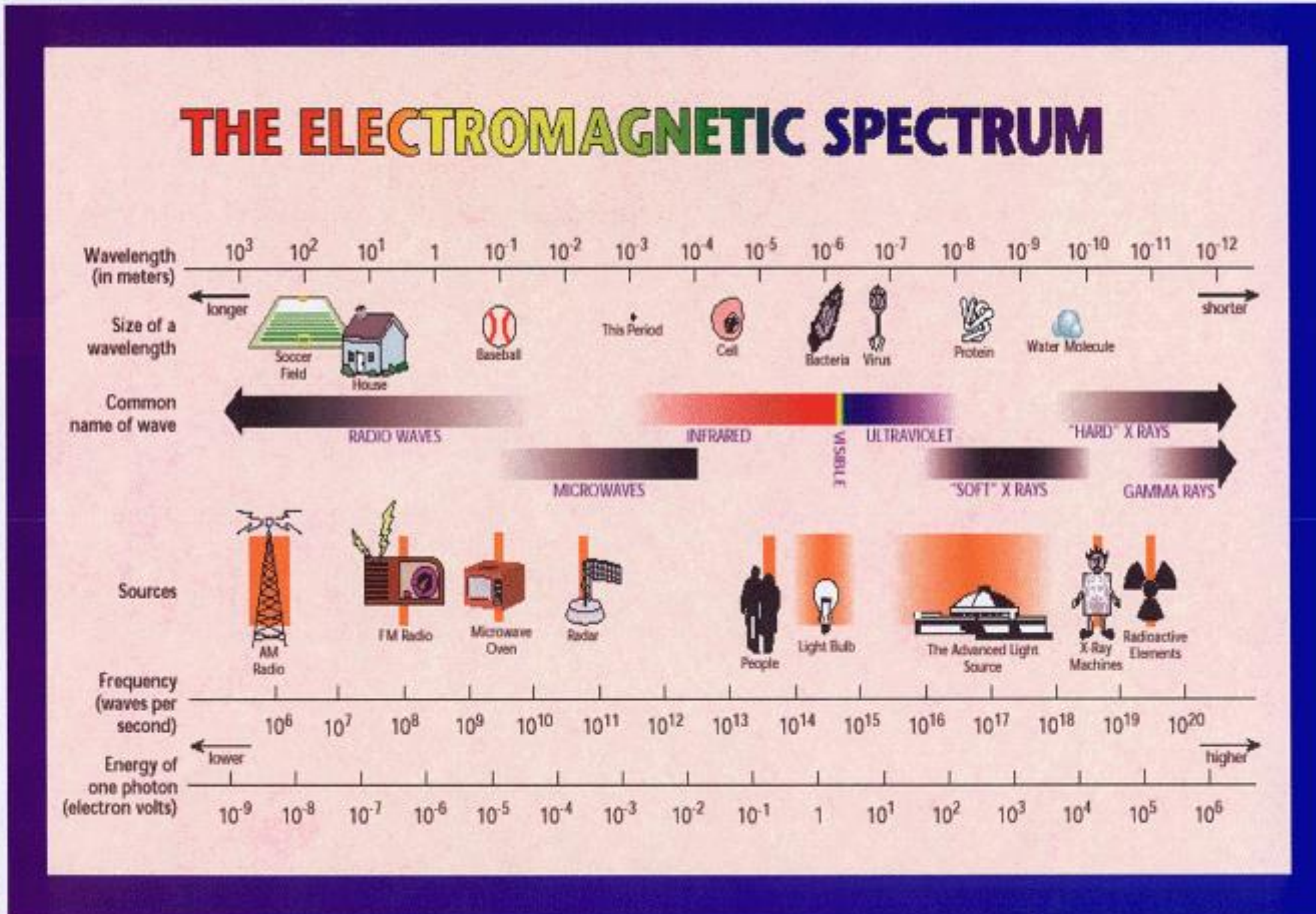
$$\upsilon=\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}}$$

V：电磁波在介质中的速度

$$n=\frac{c}{\upsilon}=\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}$$

n：透明介质的折射率

可见光 在真空中的波长范围为**350 ~ 770nm**


THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM
Wavelength (in meters)
10^3 10^2 10^1 1 10^-1 10^-2 10^-3 10^-4 10^-5 10^-6 10^-7 10^-8 10^-9 10^-10 10^-11 10^-12
longer
shorter
Size of a wavelength
Soccer Field
House
Baseball
This Period
Cell
Bacteria
Virus
Protein
Water Molecule
Common name of wave
RADIO WAVES
INFRARED
VISIBLE
ULTRAVIOLET
"HARD" X RAYS
MICROWAVES
"SOFT" X RAYS
GAMMA RAYS
Sources
AM Radio
FM Radio
Microwave Oven
Radar
People
Light Bulb
The Advanced Light Source
X-Ray Machines
Radioactive Elements
Frequency (waves per second)
10^6 10^7 10^8 10^9 10^10 10^11 10^12 10^13 10^14 10^15 10^16 10^17 10^18 10^19 10^20
lower
higher
Energy of one photon (electron volts)
10^-9 10^-8 10^-7 10^-6 10^-5 10^-4 10^-3 10^-2 10^-1 1 10^1 10^2 10^3 10^4 10^5 10^6

光源：发射光波的物体

热光源

冷光源

新光源

热光源：白炽灯，弧光灯

光源：发射光波的物体

- 热光源：白炽灯，弧光灯
- 冷光源
  - 电致发光
    - 气体，He、Ne、Ar等，霓虹灯
    - 金属气体，Na，Hg
    - 固体，LED
  - 光致发光
- 新光源

霓虹灯

LED灯

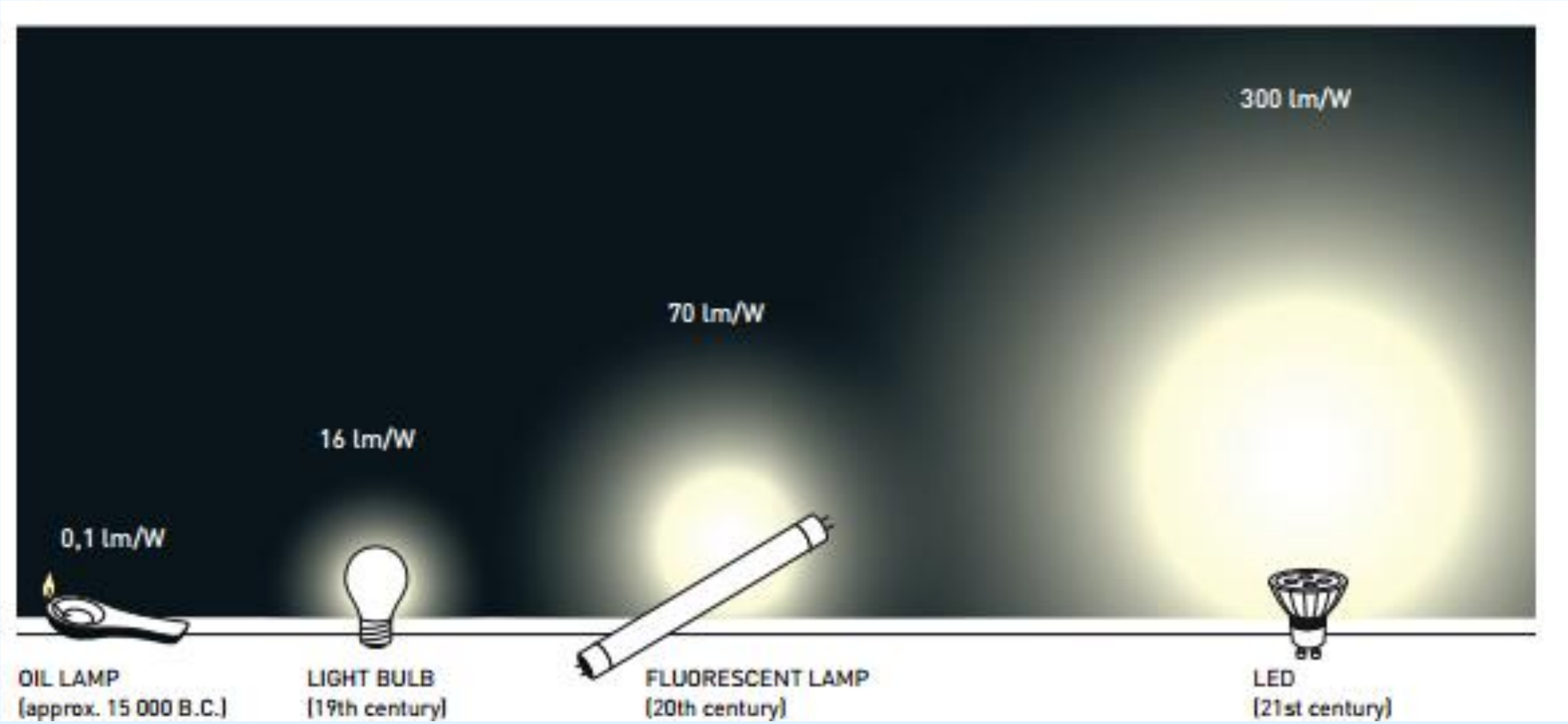
2014诺贝尔物理学奖——
“高亮度蓝色发光二极管”的发明者

Isamu Akasaki
日本名城大学教授赤崎勇

美国加州大学日裔教授中村修二

Hiroshi Amano
日本名古屋大学教授天野浩

2014诺贝尔物理学奖

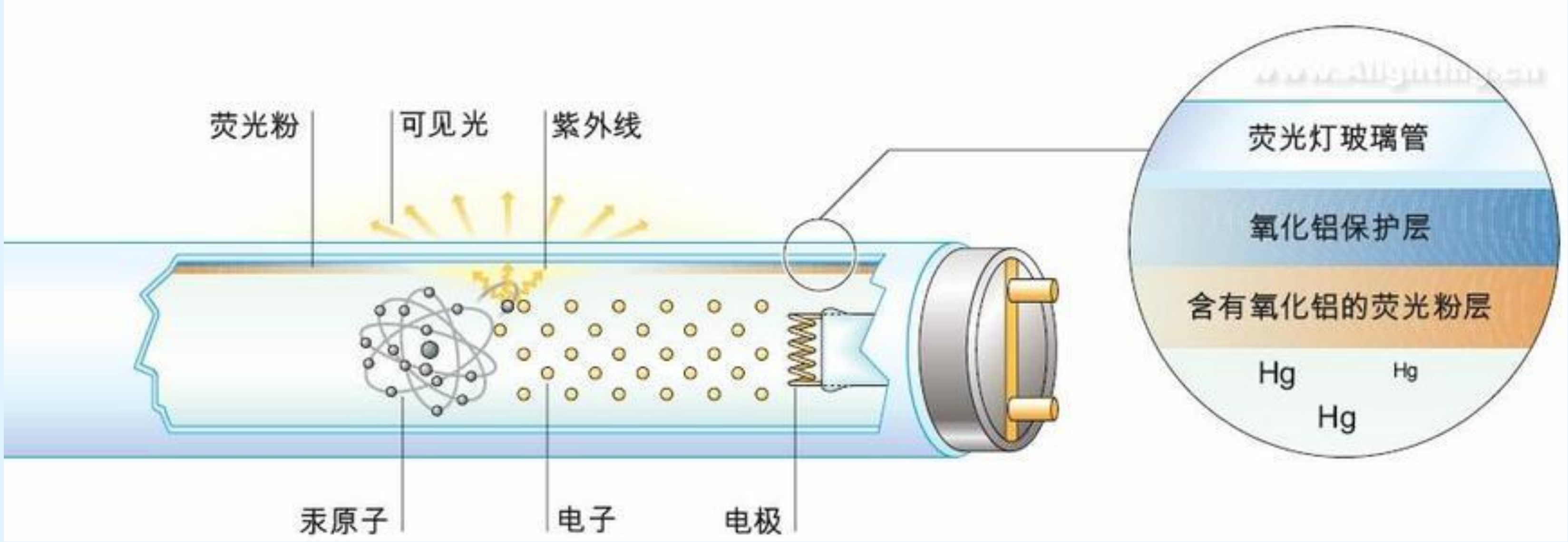


Light Emitting Diode
（发光二极管）

光源：发射光波的物体

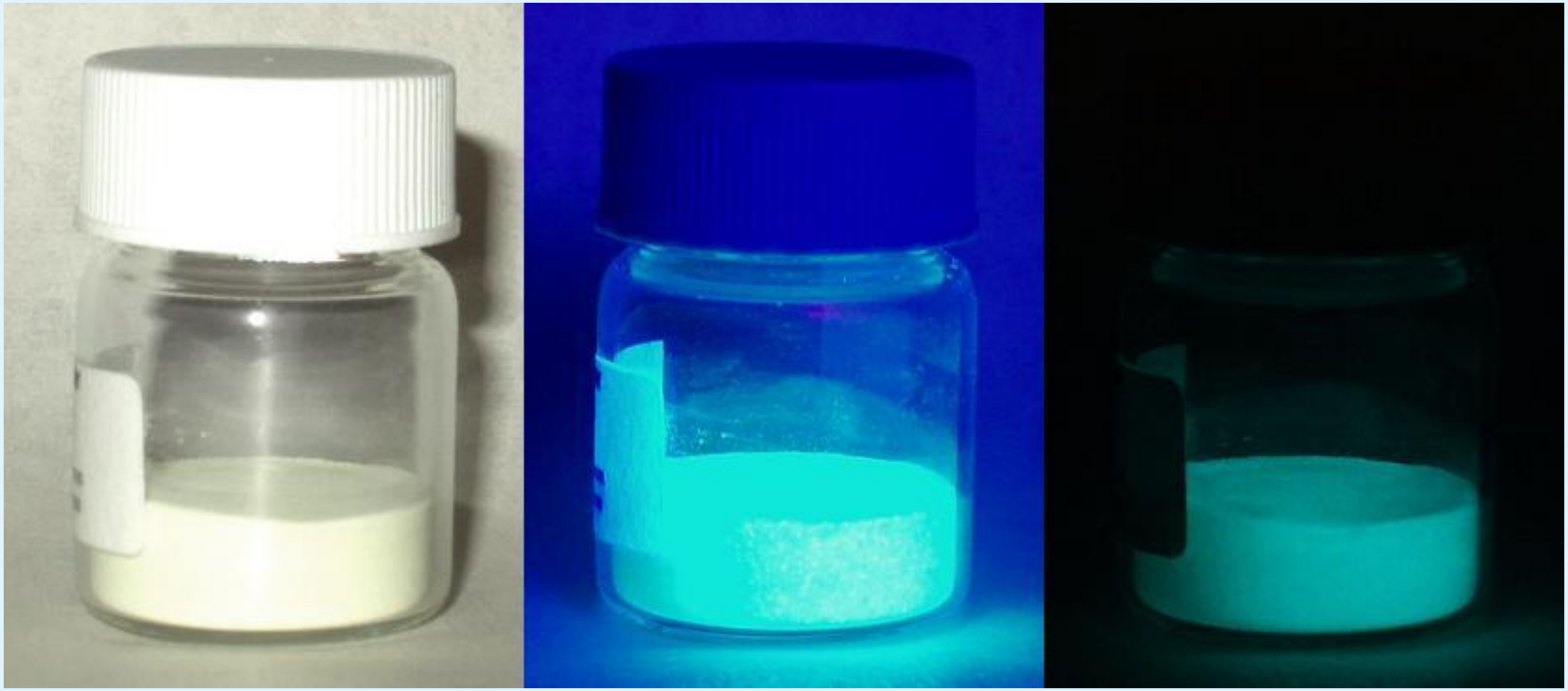
- 热光源：白炽灯，弧光灯
- 冷光源
  - 电致发光
    - 气体，He、Ne、Ar等，霓虹灯
    - 金属气体，Na，Hg
    - 固体，LED
  - 光致发光
    - 荧光
    - 磷光
- 新光源

荧光



磷光

具有磷光性的粉末分别处于可见光下、紫外线下和完全黑暗的环境中



光源：发射光波的物体

- 热光源：白炽灯，弧光灯
- 冷光源
  - 电致发光
    - 气体，He\Ne\Ar 霓虹灯
    - 金属气体，Na,Hg
    - 固体，LED
  - 光致发光
    - 荧光
    - 磷光
  - 化学发光
- 新光源

化学发光

腐烂物中的磷在空气中氧化而发光

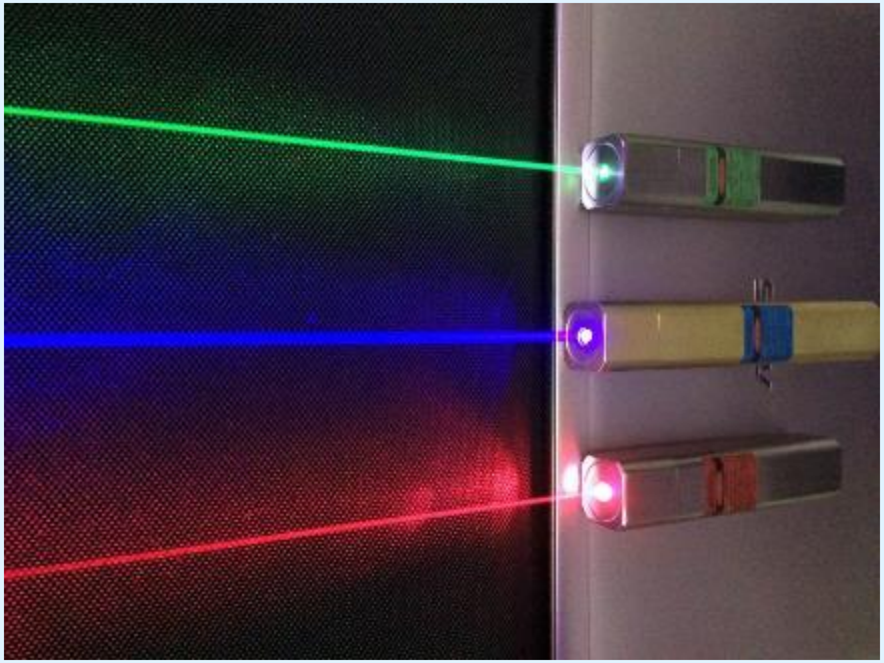
光源：发射光波的物体

- 热光源：白炽灯，弧光灯
- 冷光源
  - 电致发光
    - 气体，He\Ne\Ar 霓虹灯；
    - 金属气体，Na,Hg
    - 固体，LED
  - 光致发光
    - 荧光
    - 磷光
  - 化学发光
- 新光源：激光，同步辐射光源，自由电子激光

激光(Laser)

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

特点：亮度高，方向性好，单色性好，相干性好



Green (520 nm),

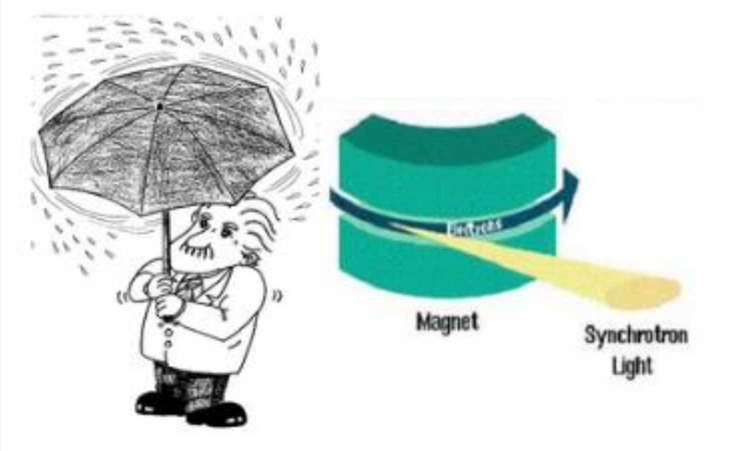
blue-violet (445 nm)

red (635 nm) lasers

[*Laser, quantum principle*]

同步辐射光源

Synchrotron radiation



特点：具有从远红外到X光范围内的连续光谱，高强度，高度准直，高度极化，特性可精确控制等优异性能

上海同步辐射光源工程

自由电子激光

Free-electron laser

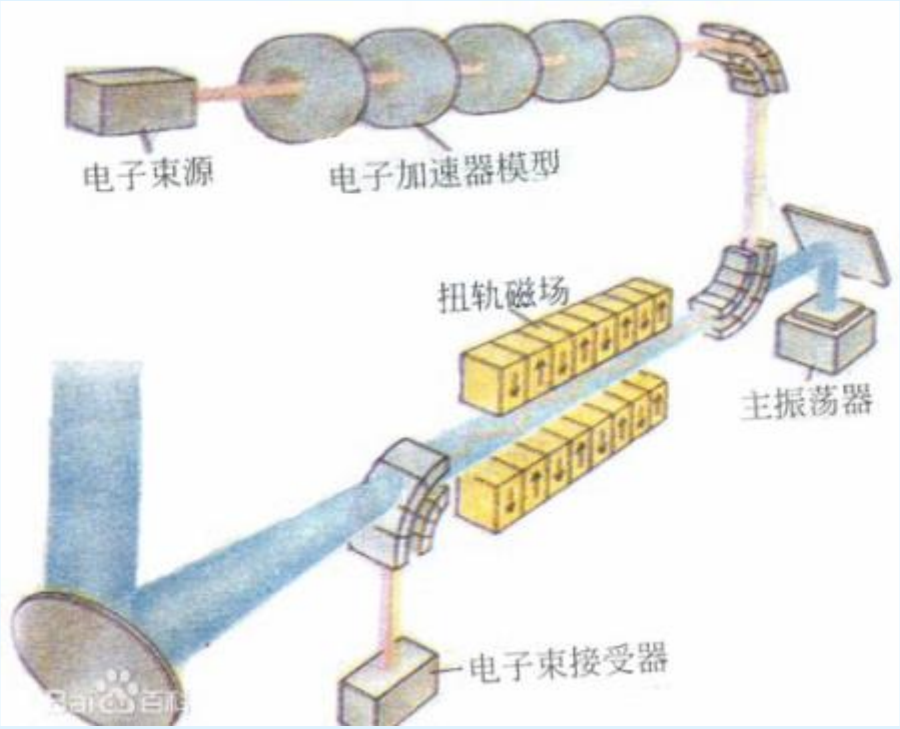
特点：频率连续可调，

频谱范围广，

峰值功率和平均功率大，

且可调，相干性好，

偏振强，



具有ps量级脉冲的时间结构，且时间结构可控，

9.1 光干涉仪在光学检测中的应用

一、 干涉原理

1. 光的相干条件

相干光 —— 两列光波频率相同__光矢量振动方向相同

初相差恒定

相干光源 —— 可以产生两列相干光的光源

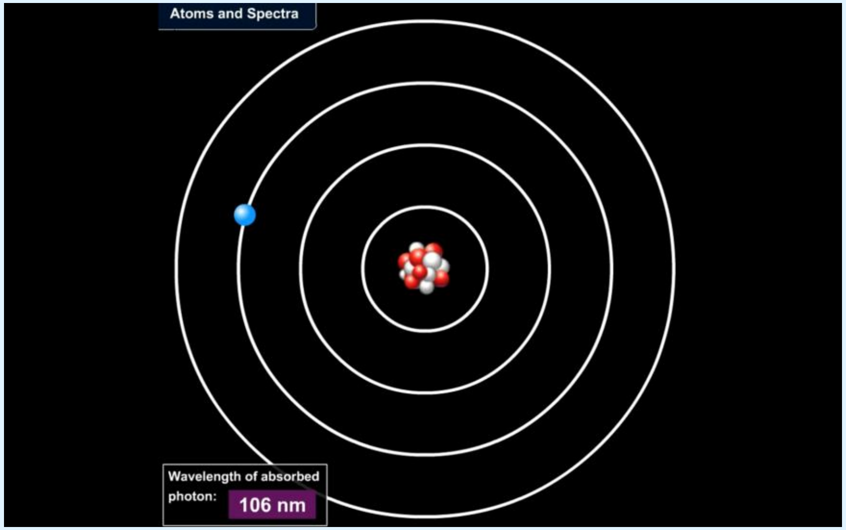
—— 为什么两个相同的独立光源发出的光不能进行干涉？

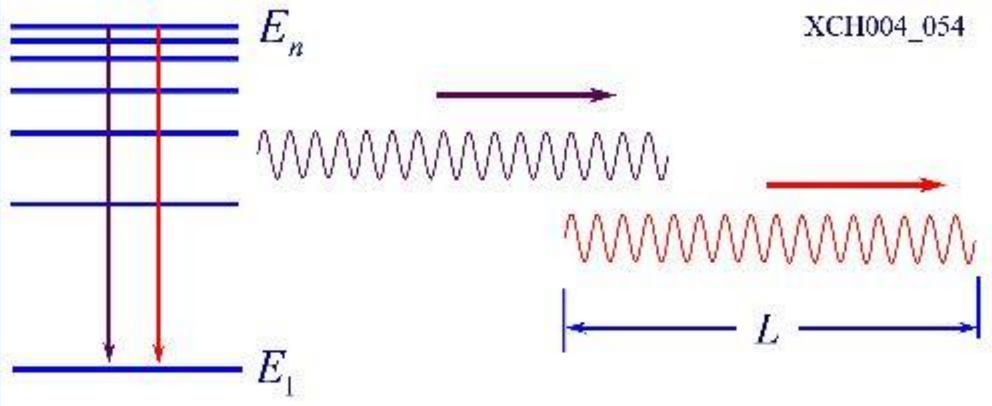
—— 为什么一个光源上不同位置发出的光不能进行干涉？

原子发光机制

—— 原子从**较高能量状态**跃迁到**较低能量状态**放出光子

辐射时间10^{-9}~10^{-8} s内发出了一段光波 —— **波列**





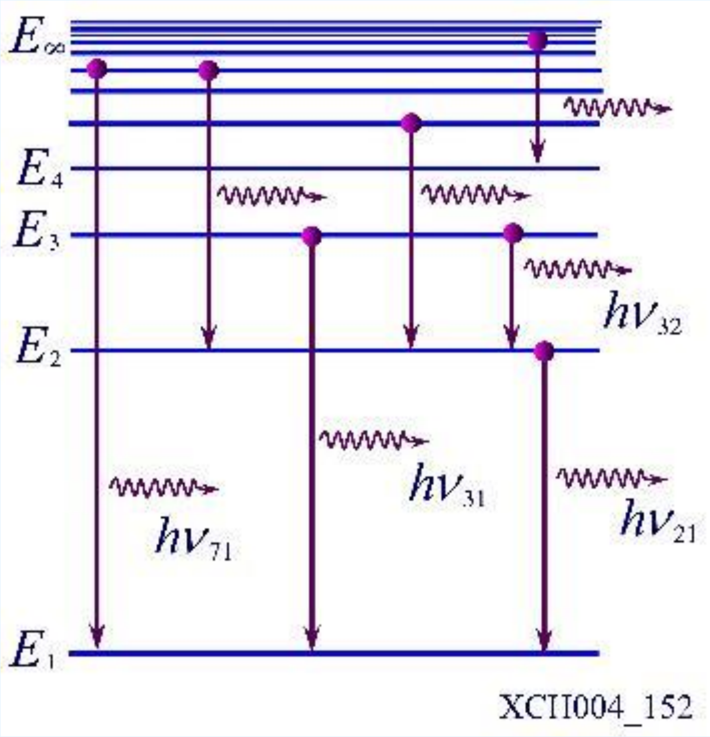
一般光源 ～ 微米量级

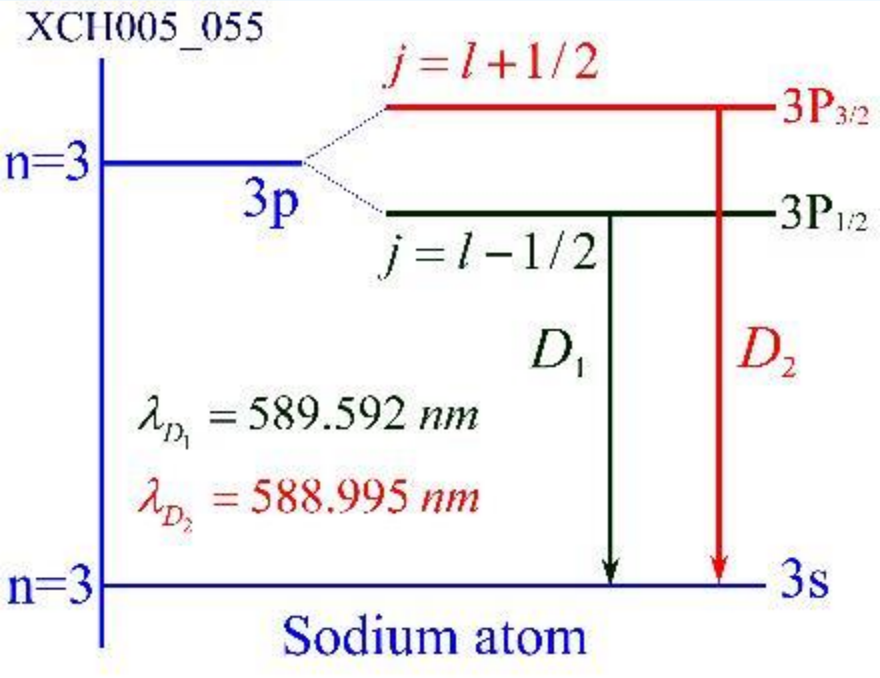
钠光源 ～ 毫米量级

He-Ne激光 ～ 1000米

—— 发光频率与原子的能级差成正比

从不同的能级向下跃迁发出不同频率的光





普通光源 —— 复色光

从固定的两个能级跃迁 —— 单色光　Na的双谱线

—— 不论是复色光

还是单色光

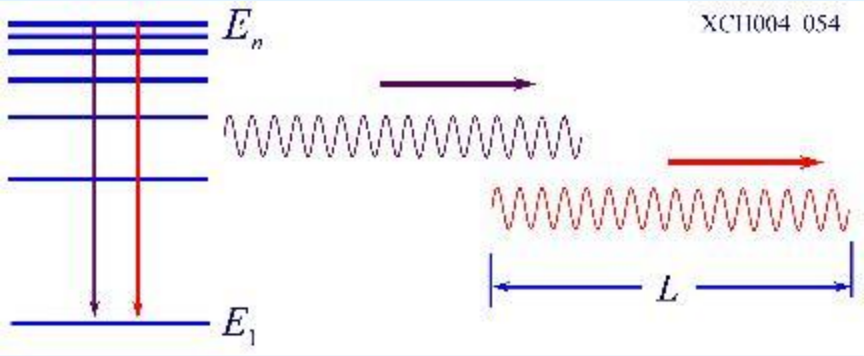
原子处于较高能级

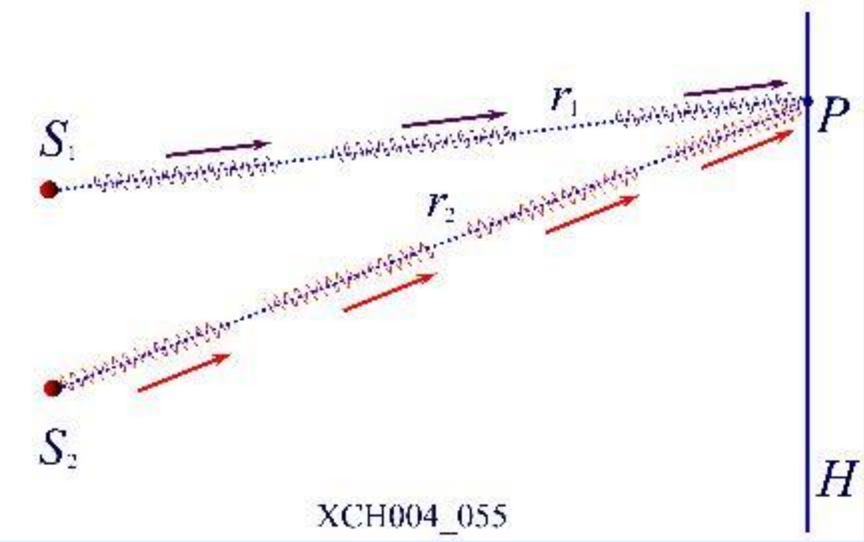
向下跃迁不是同步的！

随机任意的 !!!

—— 两个波列之间

没有恒定的相位差!!!





恒定的相位差 —— 决定两列光波是否可以进行干涉

2. 两列相干光叠加后的光强分布

各向同性介质中两光源 —— 频率相同

__光矢量振动方向平行__初相 φ_1 and φ_2

两列光波在空间P点的振动为: $\begin{cases} E_1 = E_{10}\cos(\omega t + \varphi_1) \\ E_2 = E_{20}\cos(\omega t + \varphi_2) \end{cases}$

$$E = E_1 + E_2 = E_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

$$E_0{}^2 = E_{10}{}^2 + E_{20}{}^2 + 2E_{10}E_{20}\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

$$\bar{I} = \overline{E_0{}^2} = \frac{1}{\tau}\int_0^\tau E_0{}^2 dt = \frac{1}{\tau}\int_0^\tau [E_{10}{}^2 + E_{20}{}^2 + 2E_{10}E_{20}\cos(\varphi_2 - \varphi_1)]dt$$

在某一时间间隔τ内，合振动的平均相对强度

非相干光——在观测时间内，初相位各自独立地做不规则的改变，概率均等地在观测时间内多次历经从**0到2π**之间的一切可能值 $\varphi_2-\varphi_1=f(t)$

$$\frac{1}{\tau}\int_0^\tau \cos(\varphi_2-\varphi_1)dt=0 \qquad E_0{}^2=E_{10}{}^2+E_{20}{}^2 \qquad I=I_1+I_2$$

两振动的相位差在观测时间内无规则变化，

不出现干涉现象

$$\bar{I}=\overline{E_0{}^2}=\frac{1}{\tau}\int_0^\tau E_0{}^2dt=\frac{1}{\tau}\int_0^\tau[E_{10}{}^2+E_{20}{}^2+2E_{10}E_{20}\cos(\varphi_2-\varphi_1)]dt$$

在某一时间间隔**τ**内，合振动的平均相对强度

相干光——在观测时间内，两振动各自进行，**相位差恒定**

$$\bar{I}=\overline{E_0{}^2}=E_{10}{}^2+E_{20}{}^2+2E_{10}E_{20}\cos(\varphi_2-\varphi_1)$$

$$=I_1+I_2+2\sqrt{I_1I_2}\cos(\varphi_2-\varphi_1)$$

$$\bar{I}=I_1+I_2+2\sqrt{I_1I_2}\cos\Delta\varphi \qquad \Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1$$

$$\bar{I}=\overline{E_0{}^2}=\frac{1}{\tau}\int_0^\tau E_0{}^2dt=\frac{1}{\tau}\int_0^\tau[E_{10}{}^2+E_{20}{}^2+2E_{10}E_{20}\cos(\varphi_2-\varphi_1)]dt$$

在某一时间间隔**τ**内，合振动的平均相对强度

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

干涉相长 $\cos\Delta\varphi = 1$ $\Delta\varphi = \pm 2k\pi$

$$\bar{I}_{\max} = (E_{10} + E_{20})^2 = (\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2})^2$$

干涉相消 $\cos\Delta\varphi = -1$ $\Delta\varphi = \pm(2k+1)\pi$

$$\bar{I}_{\min} = (E_{10} - E_{20})^2 = (\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2})^2$$

合振动的平均强度介乎两者之间，若振幅相同， $I_1 = I_2 = I_0$

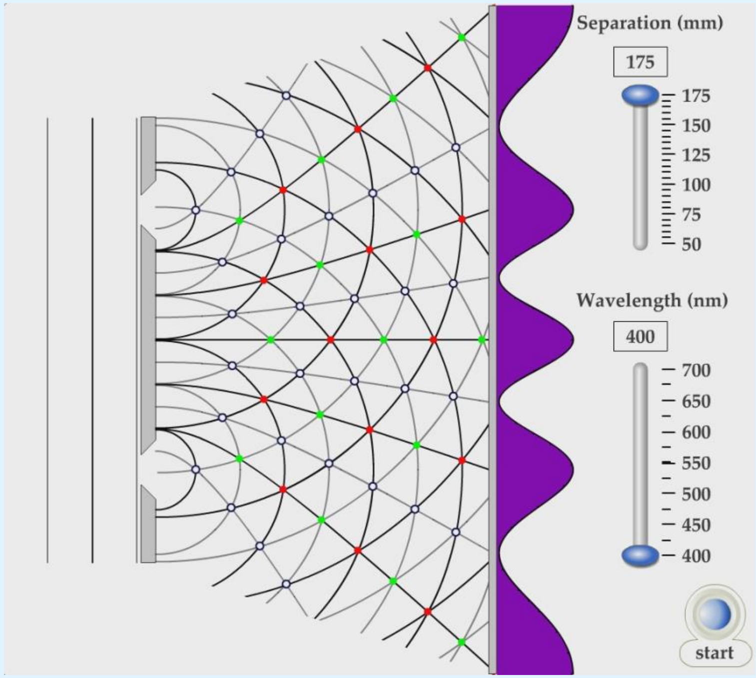
$$\bar{I} = 2I_0^{\ 2}(1+\cos Dj\ ) = 4I_0^{\ 2}\cos^2\frac{Dj}{2}$$

$$\bar{I}_{\max} = 4I_0$$

$$\bar{I}_{\min} = 0$$

P点的光强 $I_p = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\varphi$

相差 $\Delta\varphi$ 为其它值时光强介于最大和最小之间



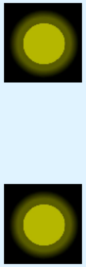
—— 两个光源的初相差恒定时

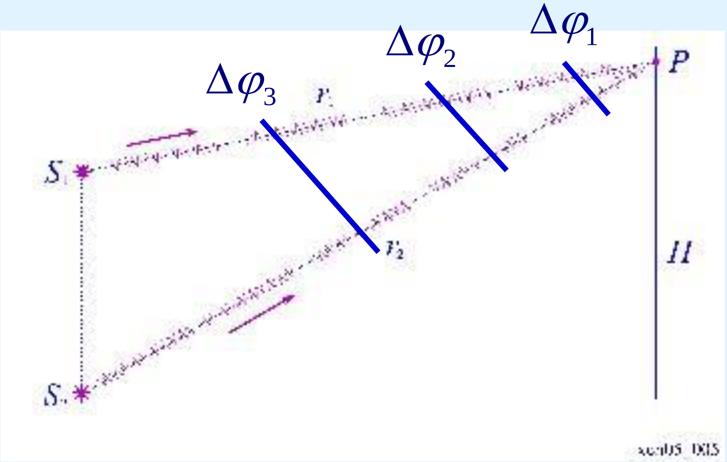
两列光波在相遇的区域叠加

光强具有稳定分布与时间无关

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

为什么两个相同的独立光源发出的光不能进行干涉？





不是相干光源

没有固定相差

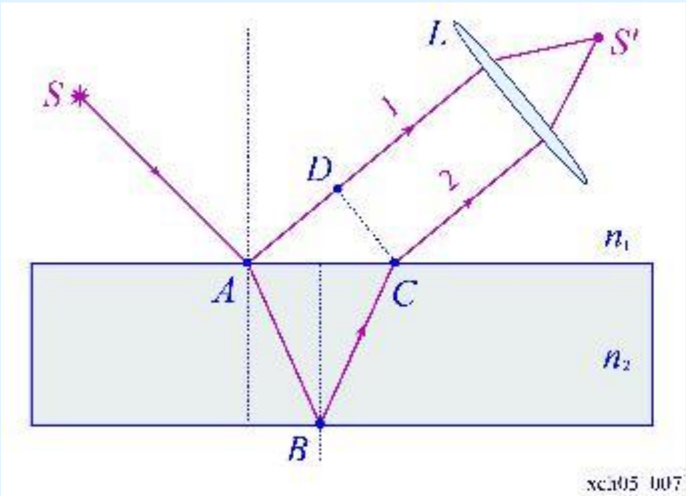
为什么一个光源上不同位置发出的光不能否进行干涉？

发光面上的任意两点不是相干光源

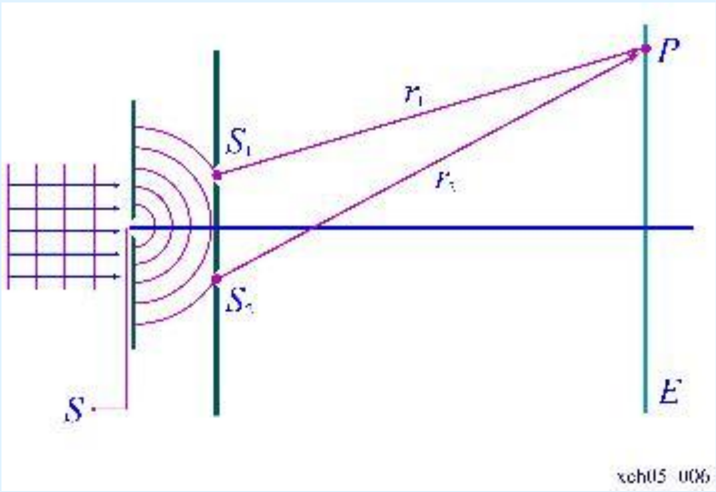
3 获得相干光的方法

1) 分波阵面法 —— 相同波面上取两个子波源

子波源发出的两列光波是相干光



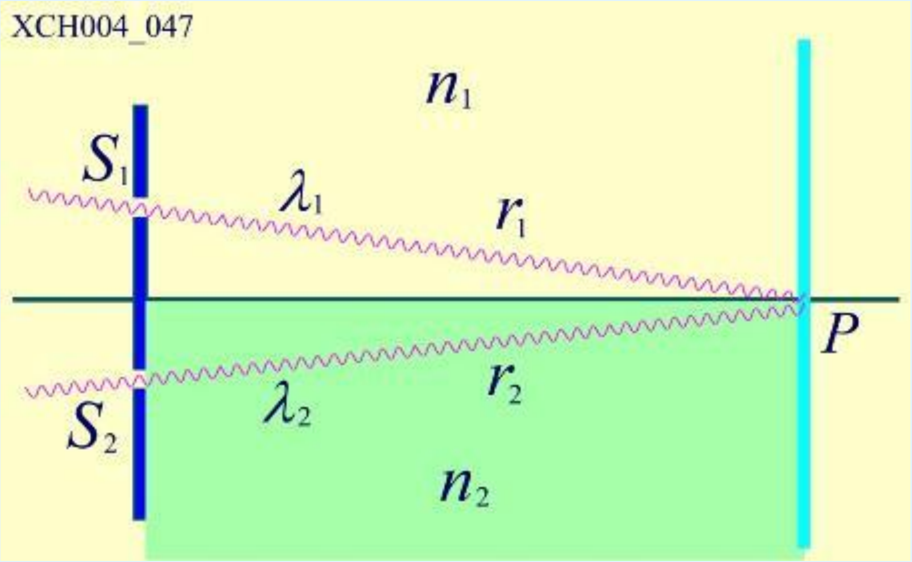
同一个波列的光



同一个波面的光

2) 分振幅法 —— 同一束光分成两束，两束光经过不同路径再次相遇时进行干涉

二、 光程和光程差



光源的振动：

$$\begin{cases} \vec{E}_1 = \vec{E}_{10}\cos(\omega t + \varphi_1) \\ \vec{E}_2 = \vec{E}_{20}\cos(\omega t + \varphi_2) \end{cases}$$

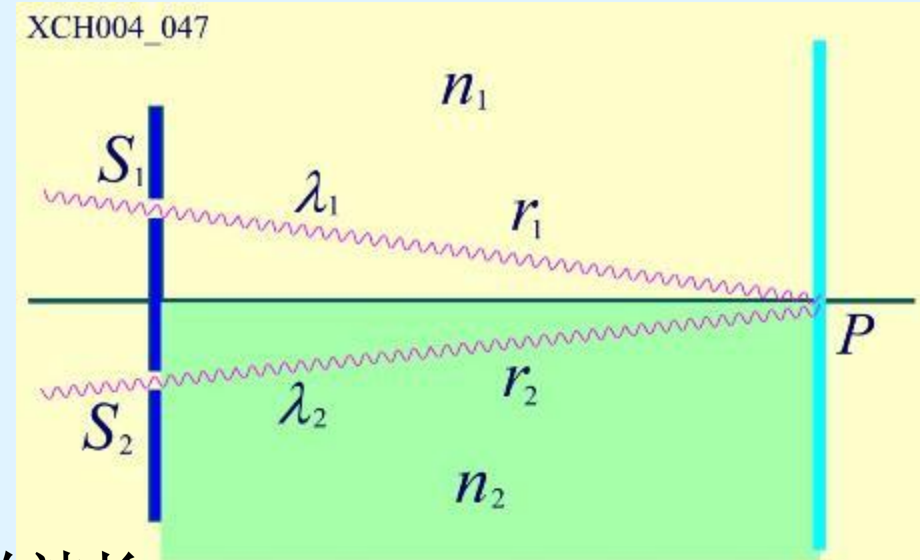
到达***P***点的振动：

$$\begin{cases} \vec{E}_1 = \vec{E}_{10}\cos[\omega t - 2\pi\dfrac{r_1}{\lambda_1} + \varphi_1] \\ \vec{E}_2 = \vec{E}_{20}\cos[\omega t - 2\pi\dfrac{r_2}{\lambda_2} + \varphi_2] \end{cases}$$

在任意时刻的相位差：

$$\Delta\varphi = (\varphi_1 - \varphi_2) + 2\pi(\frac{r_2}{\lambda_2} - \frac{r_1}{\lambda_1})$$

$$\Delta\varphi = (\varphi_1 - \varphi_2) + 2\pi\left(\frac{r_2}{\lambda_2} - \frac{r_1}{\lambda_1}\right)$$



取 $\varphi_1 = \varphi_2$

$$\Delta\varphi = 2\pi\frac{r_2}{\lambda_2} - 2\pi\frac{r_1}{\lambda_1}$$

真空中的波长

$$n_1 = \frac{c}{u_1} = \frac{l/T}{l_1/T} = \frac{l}{l_1}$$

$$n_2 = \frac{c}{\upsilon_2} = \frac{\lambda/T}{\lambda_2/T} = \frac{\lambda}{\lambda_2}$$

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

光程 —— $\Delta = nr$

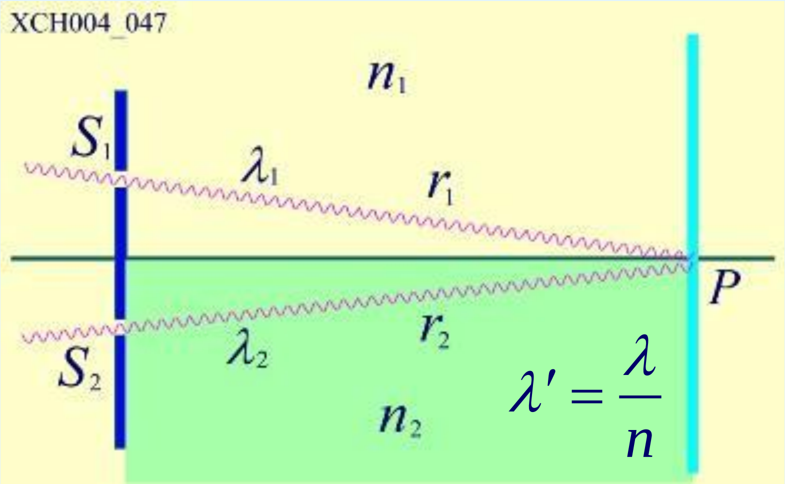
光程差 —— $\delta = n_2 r_2 - n_1 r_1$

相位差 —— $\Delta\varphi = 2\pi\frac{\delta}{\lambda}$

$\Delta = nr$ —— 光程的意义

—— 在相同时间t里，光在真空中传播的距离

$$\Delta = nr = \frac{c}{\upsilon} r = ct$$



—— 光在介质**n**中传播距离***r***

引起的相位变化

$$\Delta\varphi' = 2\pi \frac{r}{\lambda'} = 2\pi \frac{nr}{\lambda} = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda}$$

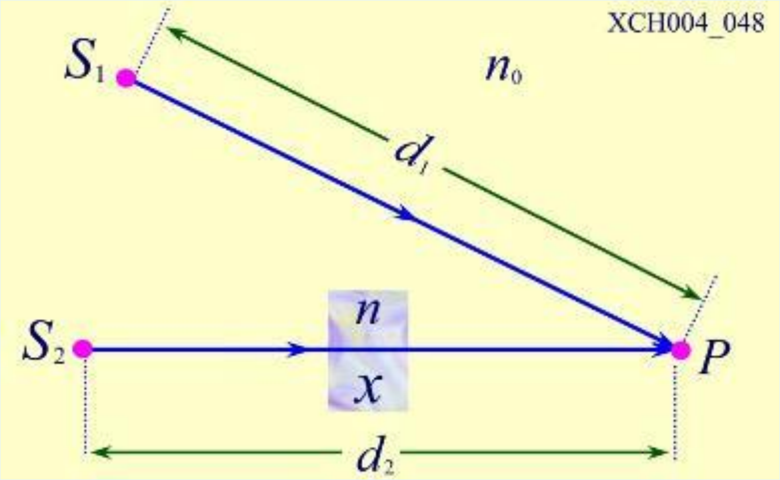
—— 光在不同介质中传播的距离引起的相位变化

统一用光在真空中发生相位变化的计算

✌ **例题01** 空气中，在S_2P光路中放置一个厚度为x折射率为n的透明介质，计算两束光波在P的相位差。

已知 $d_1 = 0.5\,mm,\ d_2 = 0.48\,mm,\ x = 0.1\,mm$

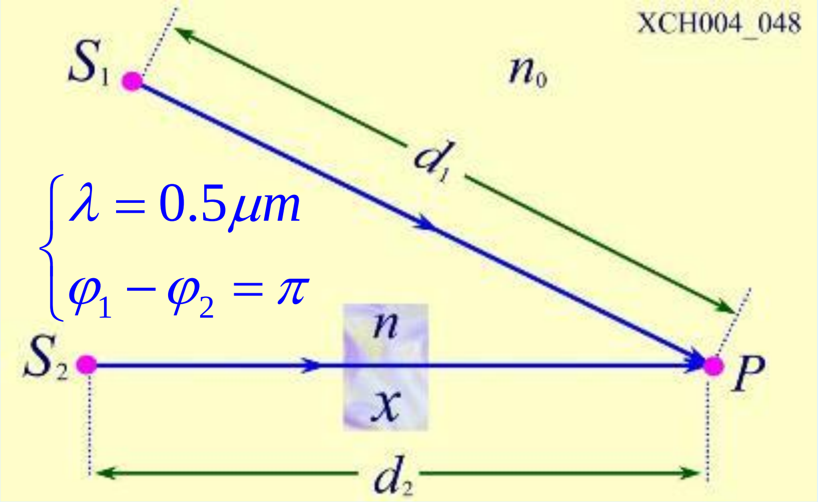
$$\begin{cases} \lambda = 0.5\mu m \\ \varphi_1 - \varphi_2 = \pi \\ n_0 = 1,\ n = 1.5 \end{cases}$$



☞ 光束1到P点的光程 $\Delta_1 = n_0 d_1$

光束2到P点的光程 $\Delta_2 = n_0(d_2 - x) + nx$

$$\begin{cases} \Delta_1 = n_0 d_1 \\ \Delta_2 = n_0(d_2 - x) + nx \end{cases}$$



光程差 $\delta = \Delta_2 - \Delta_1$

$$= (n - n_0)x + n_0(d_2 - d_1)$$

相差 $\Delta\varphi = (\varphi_1 - \varphi_2) + 2\pi \dfrac{\delta}{\lambda}$

$$= \pi + 2\pi \frac{(n - n_0)x}{\lambda} + 2\pi \frac{n_0(d_2 - d_1)}{\lambda} = 121\pi$$

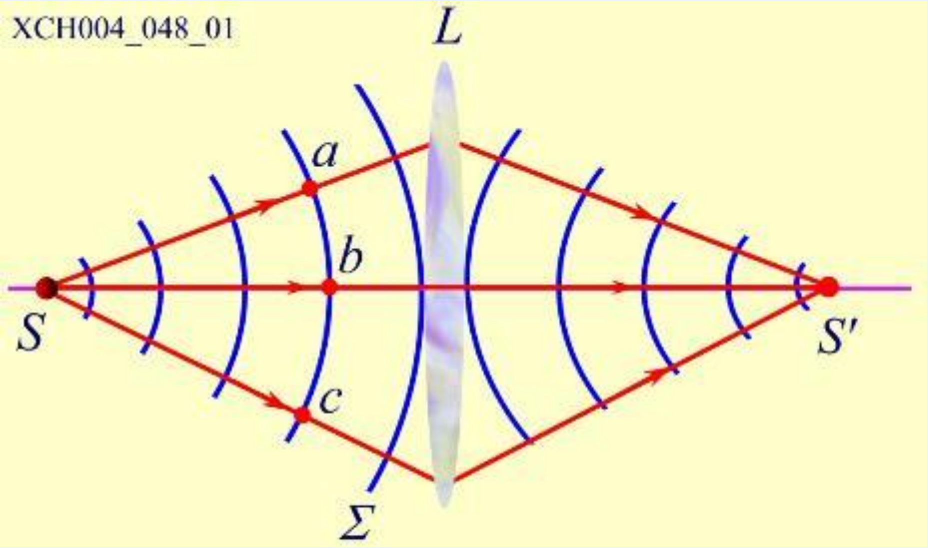
光的等光程性

1) 来自物点S的各条光束到达S'的光程相同

—— 发自物点S不同角度的光束在经过透镜后会聚在S'点各光束到S'点的光程相同

S'点 —— 亮点

S'点 —— 干涉相长

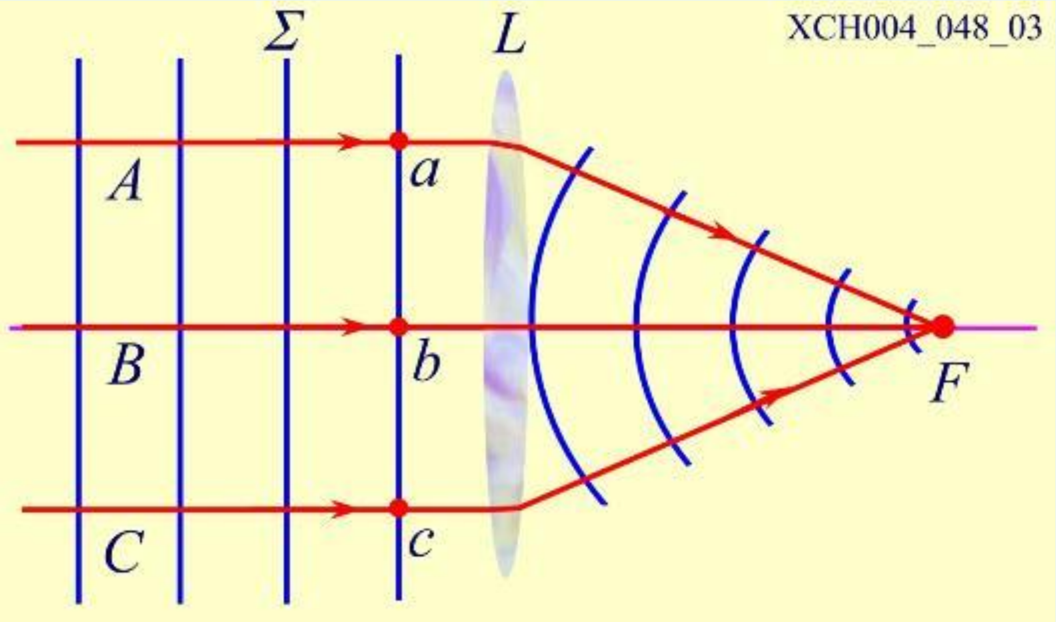


2) 平面波波面上的各点发出的光到达点F的光程相同

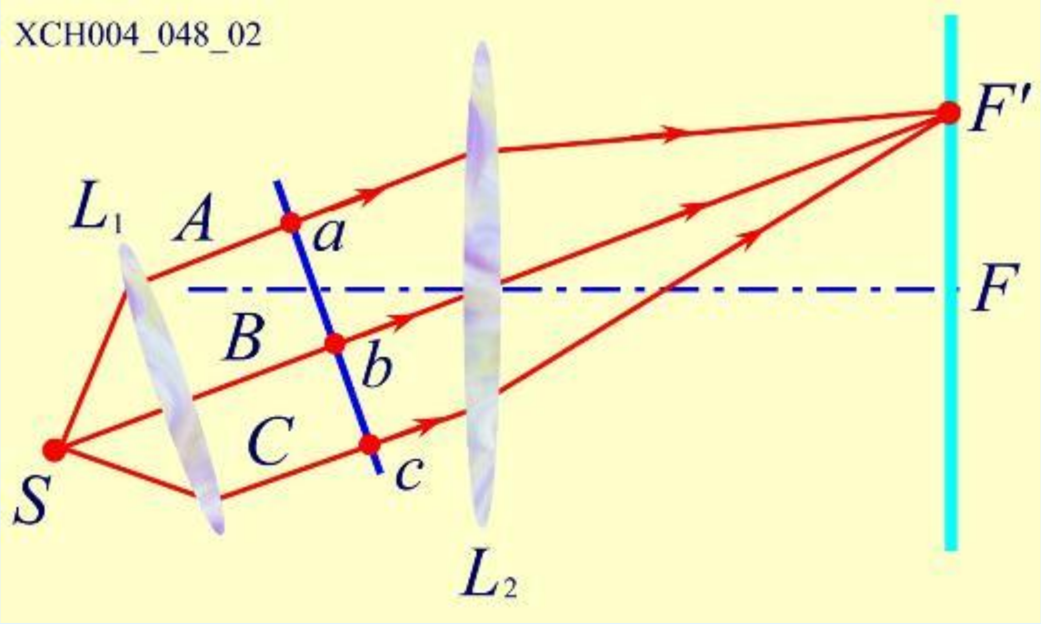
—— 波面上a,b,c三点相位相同__经透镜会聚在焦点F

三束光在F点是干涉相长

三束光到F点的光程相等



—— 物点S的光经过透镜L_1和L_2后在焦平面一点F'会聚

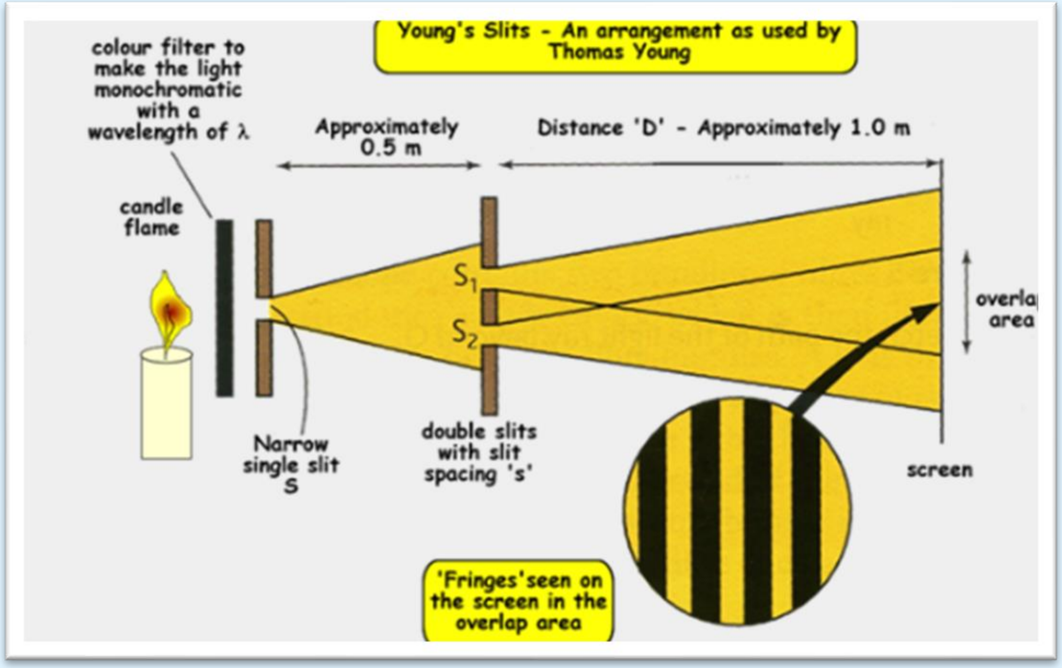


—— a,b,c三点到F'点的光程相等

透镜可以改变光传播的方向__但不增加额外的光程

三、几种典型的干涉仪

1 杨氏双缝干涉仪



S，S_1和S_2

—— **3个平行狭缝**

$$S_1S_2 = d << D$$

—— 平行单色光入射单缝

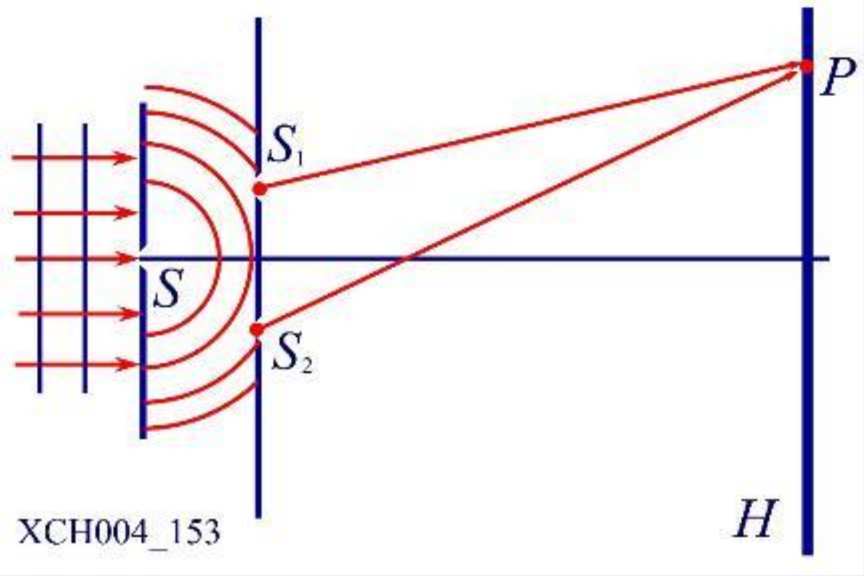
—— S_1和S_2是相干子光源

S_1和S_2相干子光源 $\begin{cases} \varphi_1 = \varphi_2 \\ I_1 = I_2 = I_0 \end{cases}$

—— 频率相同

光矢量振动方向

垂直纸面



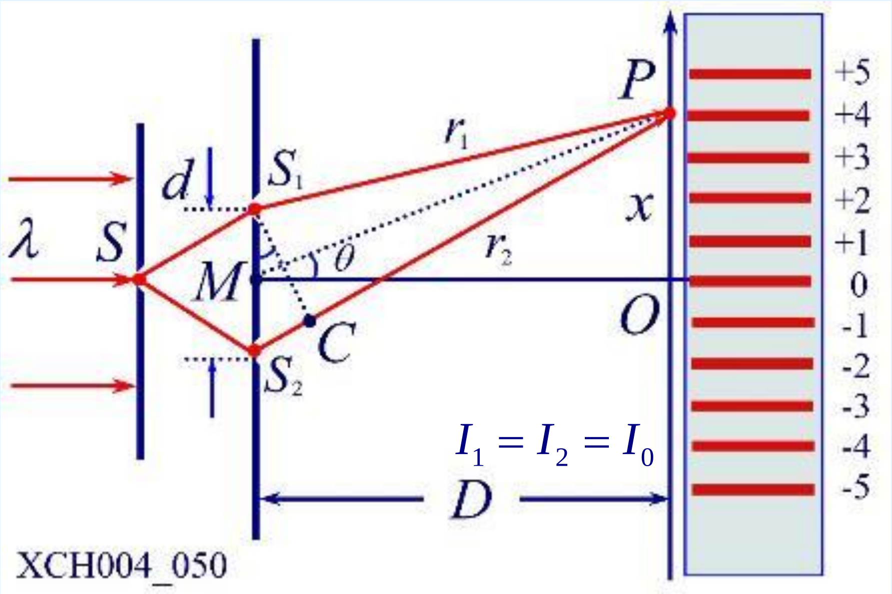
—— P点光强的计算

两束光到P点光程差

$$S_2C = \delta = r_2 - r_1$$

$$\xrightarrow[x<<D]{d<<D} \angle MPO \approx \angle S_1S_2C$$

$$\frac{x = D\boxed{\tan\theta}}{\delta = d\boxed{\sin\theta}} \quad \tan\theta \approx \sin\theta \implies \boxed{\delta \approx x\frac{d}{D}}$$



两列光波在P点相差

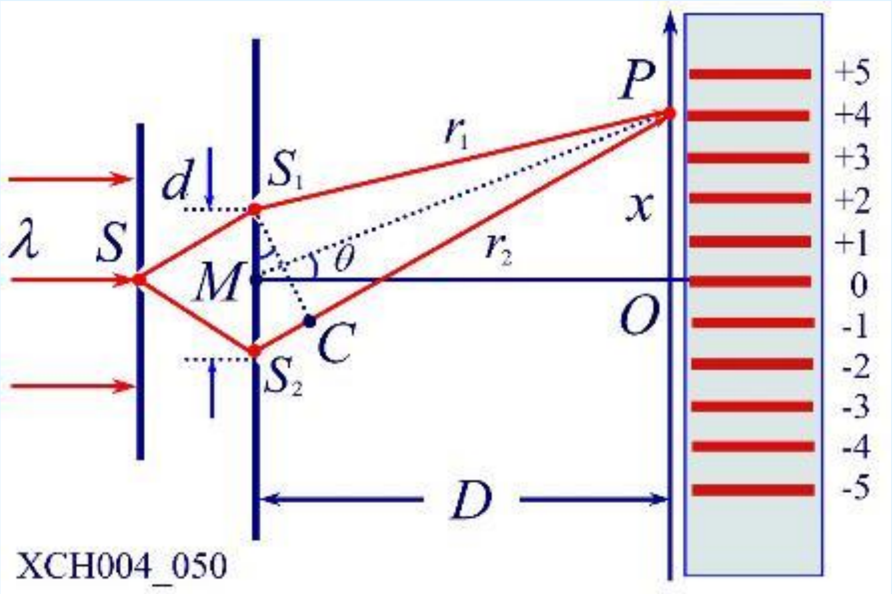
$$\Delta\varphi = (\varphi_1 - \varphi_2) + \frac{2\pi\delta}{\lambda} = \frac{2\pi\delta}{\lambda}$$

P点的光强

$$I_p = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\left(\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right) = 2I_0\left(1 + \cos\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right)$$

P点的光强 $I_p = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\varphi = 2I_0\left(1+\cos\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right)$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\delta}{\lambda} \qquad \delta = x\frac{d}{D}$$



干涉相长 $\Delta\varphi = \pm 2k\pi$

$$\delta = \pm k\lambda$$

明条纹位置 $x = \pm k\lambda\frac{D}{d}$

干涉相消 $Dj = \pm(2k-1)p$

$$d = \pm(2k-1)\frac{l}{2}$$

暗条纹位置 $x = \pm(2k-1)\frac{l}{2}\frac{D}{d}$

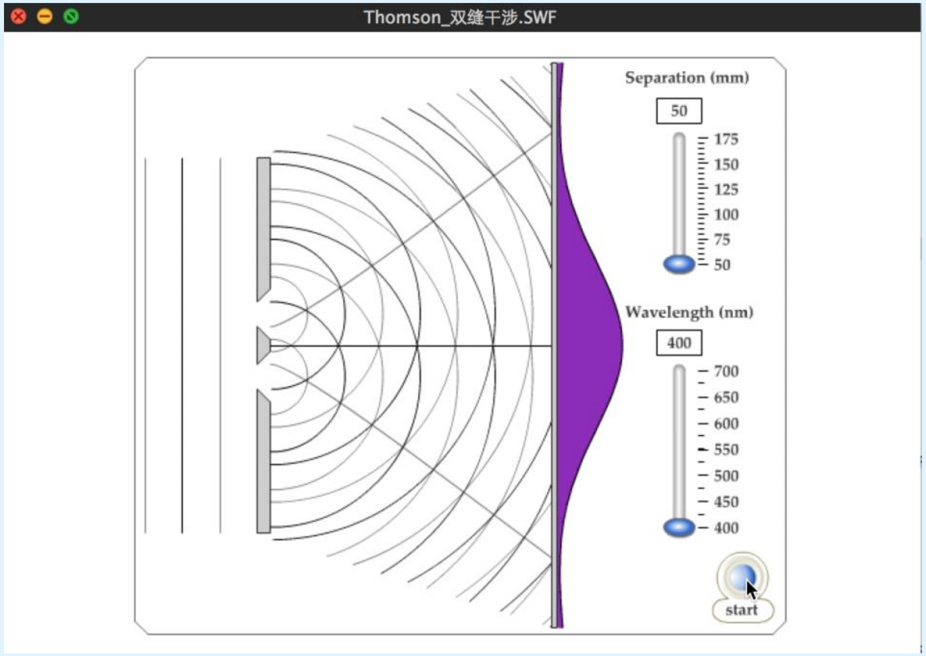
$$I_P = 2I_0\left(1+\cos\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right) \qquad \delta = x\frac{d}{D} = \begin{cases} \pm k\lambda \\ \pm(2k-1)\dfrac{\lambda}{2} \end{cases}$$

明条纹位置 $x = \pm k\lambda\dfrac{D}{d}$ $\qquad I_{P\max} = (\sqrt{I_1}+\sqrt{I_2})^2 = 4I_0$

暗条纹位置 $x = \pm(2k-1)\dfrac{\lambda}{2}\dfrac{D}{d}$ $\qquad I_{P\min} = (\sqrt{I_1}-\sqrt{I_2})^2 = 0$

明条纹 $x = \pm k\lambda \dfrac{D}{d}$

暗条纹 $x = \pm(2k-1)\dfrac{\lambda}{2}\dfrac{D}{d}$



干涉条纹特点

1) 平行双缝明暗相间的条纹

2) 相邻明条纹或暗条纹的间距

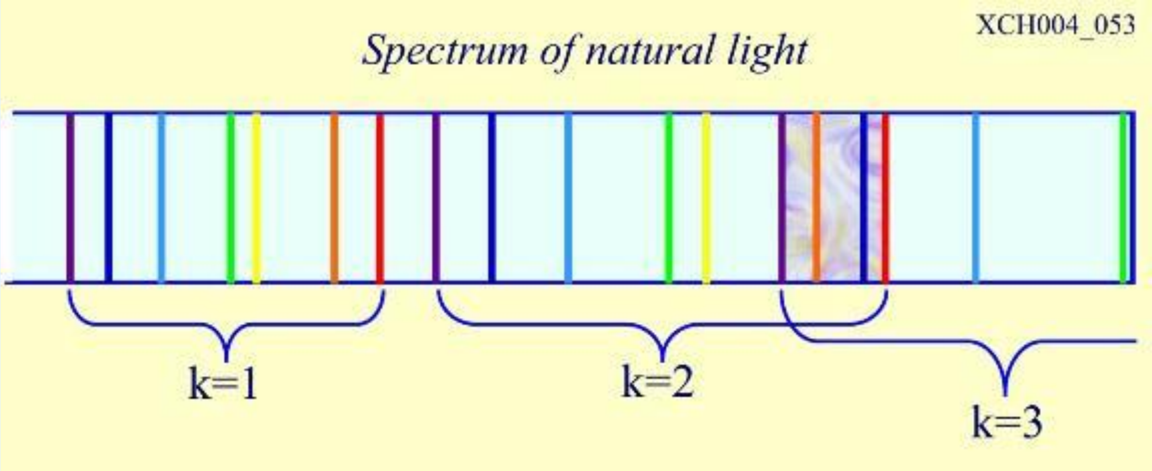
$$\Delta x = \frac{D}{d}\lambda$$ —— 等间距条纹

3) 白光光源 —— 除中央零级条纹为白色外

两边对称分布为彩色条纹_______光谱

明条纹的位置

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

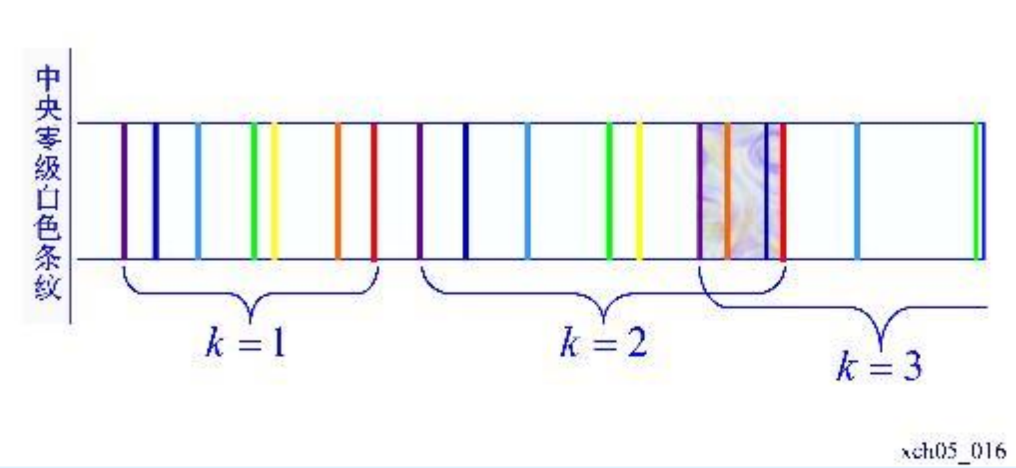


—— 同一级干涉条纹

波长短的条纹__距离中心越近

✌ 用白光观察干涉条纹，求能观察清晰可见光谱的级次

☛ 设第***k*+1**级紫光条纹与第***k***级红光条纹开始重合



$$\left.\begin{aligned} x_{v\,k+1} &= (k+1)\lambda_v \frac{D}{d} \\ x_{rk} &= k\lambda_r \frac{D}{d} \end{aligned}\right\} \longrightarrow (k+1)\lambda_v = k\lambda_r$$

$$\begin{cases} \lambda_v = 400\ nm \\ \lambda_r = 760\ nm \end{cases} \longrightarrow k = \frac{\lambda_v}{\lambda_r - \lambda_v}$$

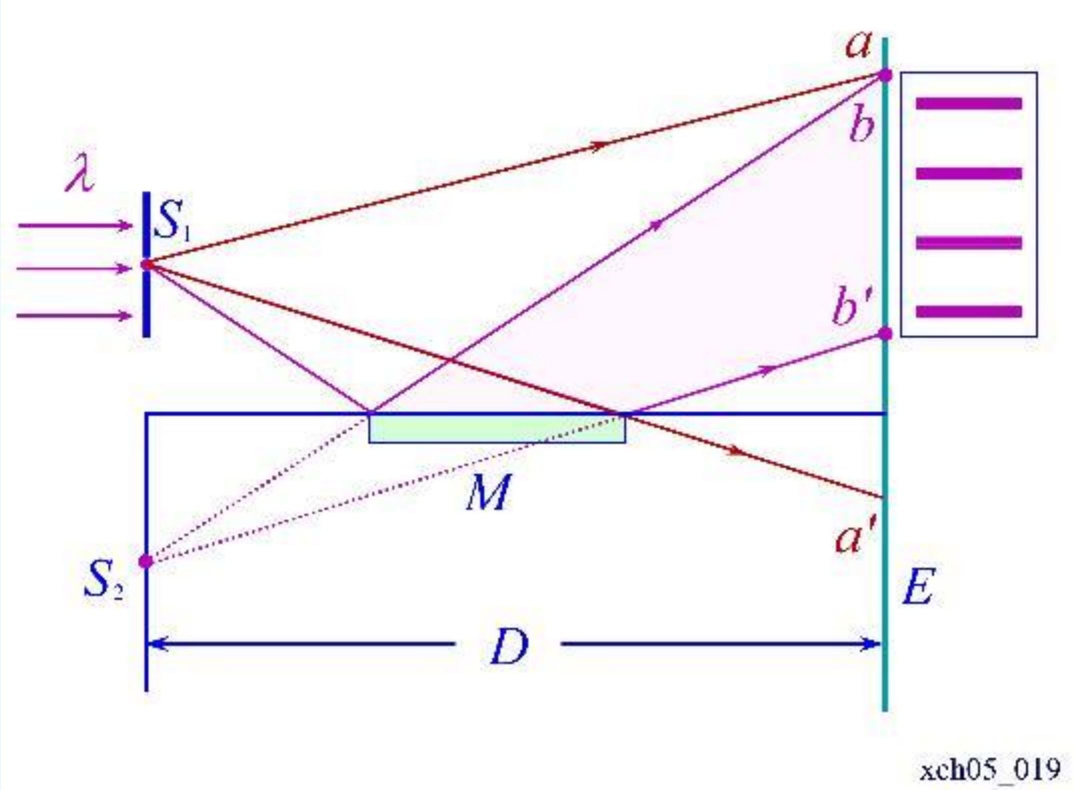
$$\boxed{k = 1.1}$$

—— 只能观察到清晰可见的一级光谱

洛埃德镜(Lloyd's mirror)实验

—— 来自S_1的光波和来自反射面(来自虚光源S_2)的光进行干涉形成干涉条纹

半波损失

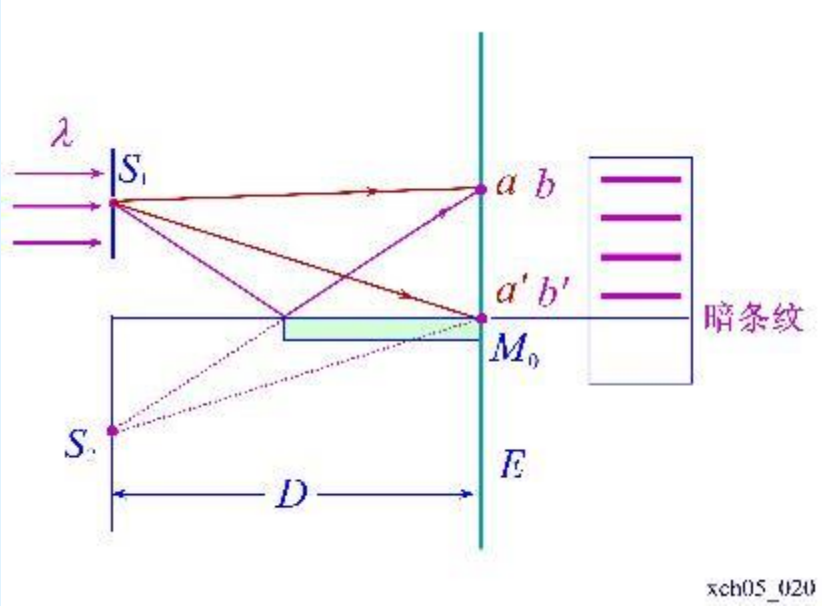


明暗相间的直条纹

—— S_1和S_2光在M点相差为零__P点应为干涉相长

—— 实际为暗条纹

—— 两光在P点相位相反



π相变 —— 半波损失

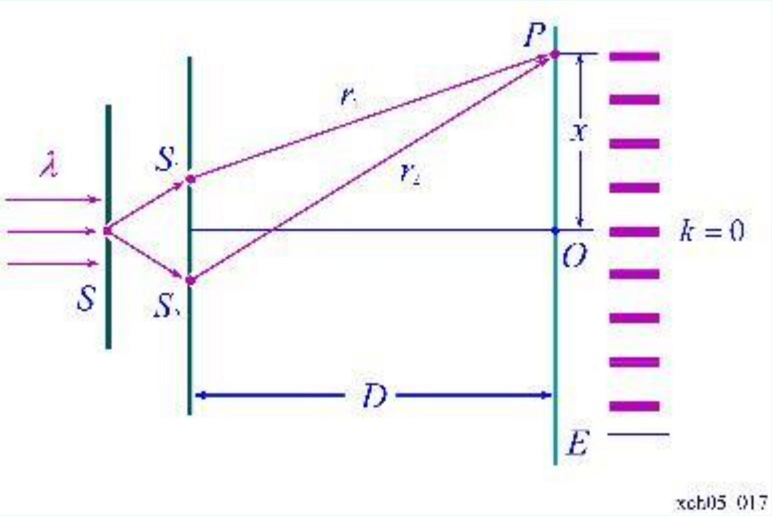
—— 光以掠射入射角从光疏介质射入光密介质时反射光相对于入射光的相位发生π相变

【例题】杨氏实验中，λ=589.3*nm*为光源，*D*=500 *mm*, 问:

1) *d*=1.2*mm*和*d*=10*mm*两种情况时，亮条纹间距为多少？

2) 能分清亮条纹最小间距为0.065*mm*的最大双缝间距为多少？

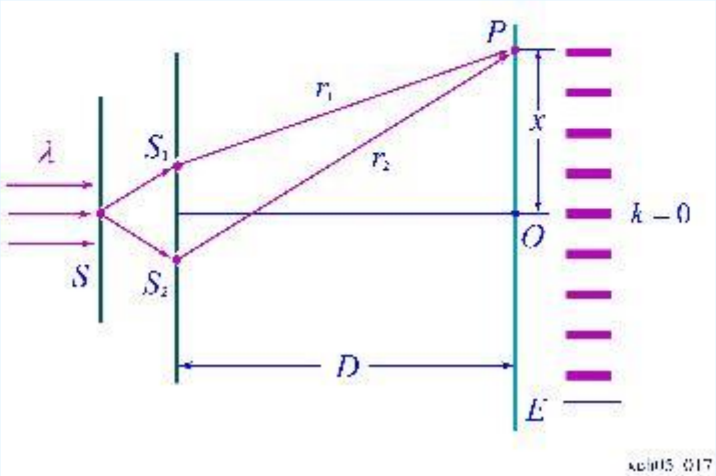
3) 在*d*=10*mm*中，如用*n*=1.30、厚度*t*=0.051 *mm*的透明薄膜挡在S_2的后面，条纹发生什么变化？



1) 亮条纹间距 $\begin{cases} d = 1.2mm & \boxed{\Delta x = \lambda \dfrac{D}{d} = 0.25mm} \\ d = 10\ mm & \boxed{\Delta x = \lambda \dfrac{D}{d} = 0.030\ mm} \end{cases}$

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

2) 能分清亮条纹最小间距为0.065 *mm*的最大双缝间距为多少？



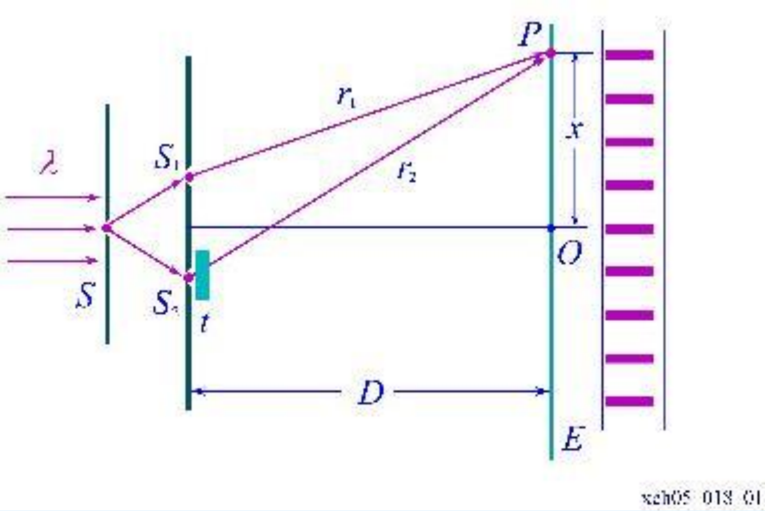
亮条纹间距 $\Delta x = \lambda \dfrac{D}{d}$ $\begin{cases} d \nearrow \\ \Delta x \searrow \end{cases}$

$$\Delta x_{\min} = 0.065\ mm$$

最大双缝间距 $\boxed{d_{\max} = \lambda \dfrac{D}{\Delta x_{\min}} = 4.5\ mm}$

3) d=10 mm，n=1.30、厚度t=0.051 mm的透明薄膜挡在S_2的后，条纹发生什么变化?

两束光到P点的光程差



$$\delta = \Delta_2 - \Delta_1$$

$$\delta = [(r_2 - t) + nt] - r_1 = (r_2 - r_1) + (n-1)t$$

几何关系 $$\boxed{\frac{(r_2 - r_1)}{d} = \frac{x}{D}}$$

$$\delta = d\frac{x}{D} + (n-1)t$$

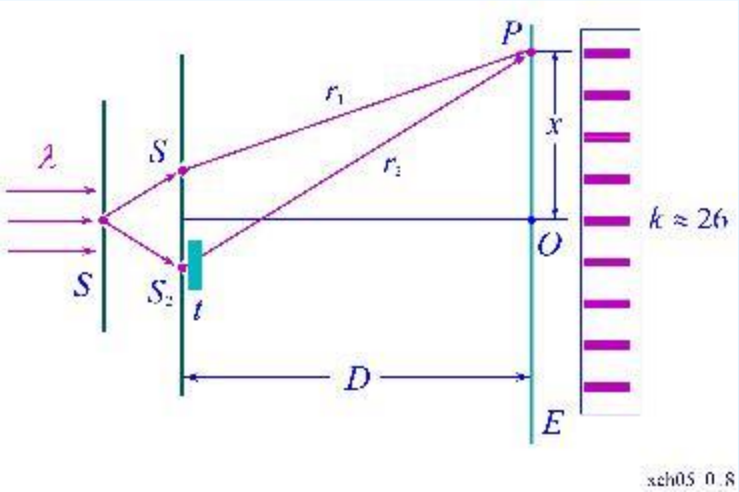
亮条纹满足 $$d\frac{x}{D} + (n-1)t = k\lambda \longrightarrow x = [k\lambda - (n-1)t]\frac{D}{d}$$

亮条纹位置 $x=[k\lambda-(n-1)t]\dfrac{D}{d}$

零级亮条纹 $x_0=[-(n-1)t]\dfrac{D}{d}$

$k=0$

$\boxed{x_0=-0.765\,mm}$



$x=0$ **亮纹级数**

$$k=(n-1)\frac{t}{\lambda}\xrightarrow[t=0.051\,nm,\ n=1.30]{\lambda=589.3\,nm}\boxed{k\approx 26}$$

原零级亮条纹位置现为第**26**级亮条纹，整个条纹向下移动

条纹间距 $\Delta x=x_{k+1}-x_k=\lambda\dfrac{D}{d}$ —— **不变**

作业：W4 相干光 光程 杨氏双缝干涉

半波损失 —— 发生的条件

—— 光以近似垂直___或掠射介质表面

—— 光疏介质到光密介质

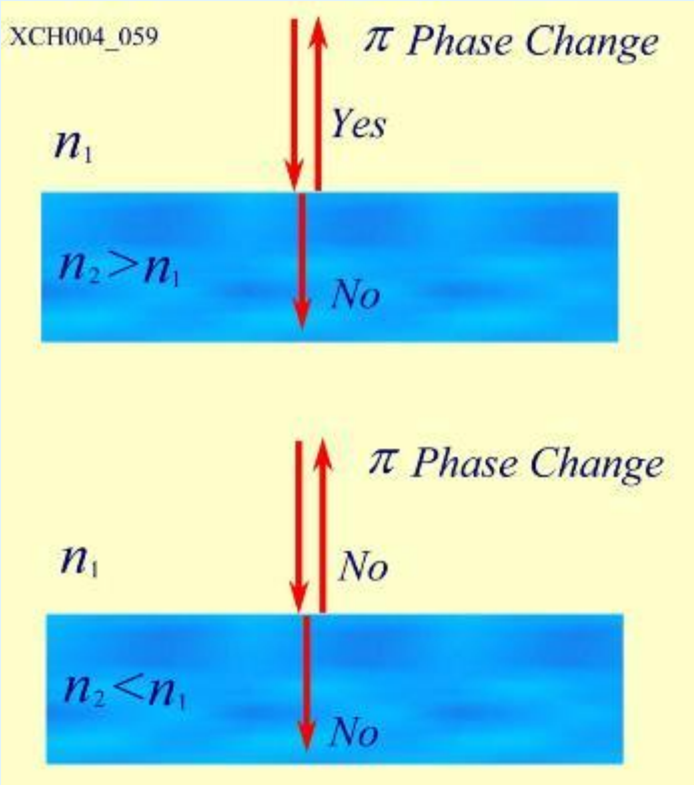
—— 反射光有半波损失

透射光无半波损失

—— 光密介质到光疏介质

—— 反射光和透射光

均无半波损失



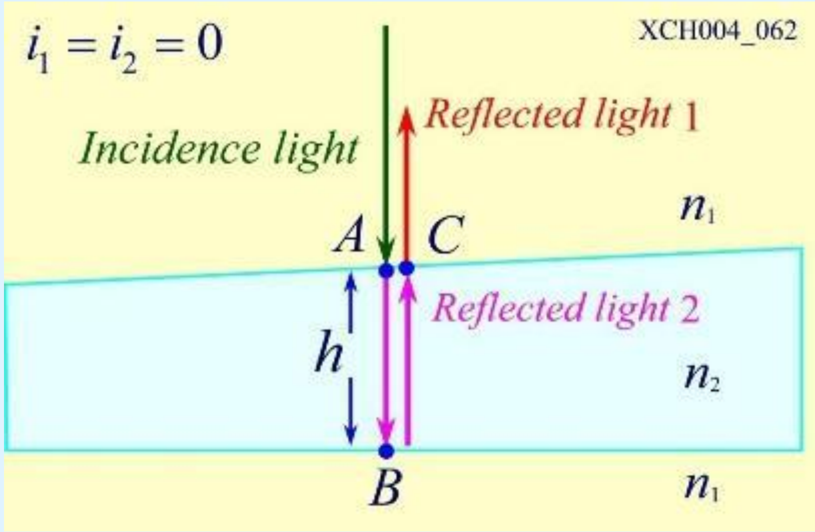
2 薄膜等厚干涉____劈尖干涉____干涉热涨仪

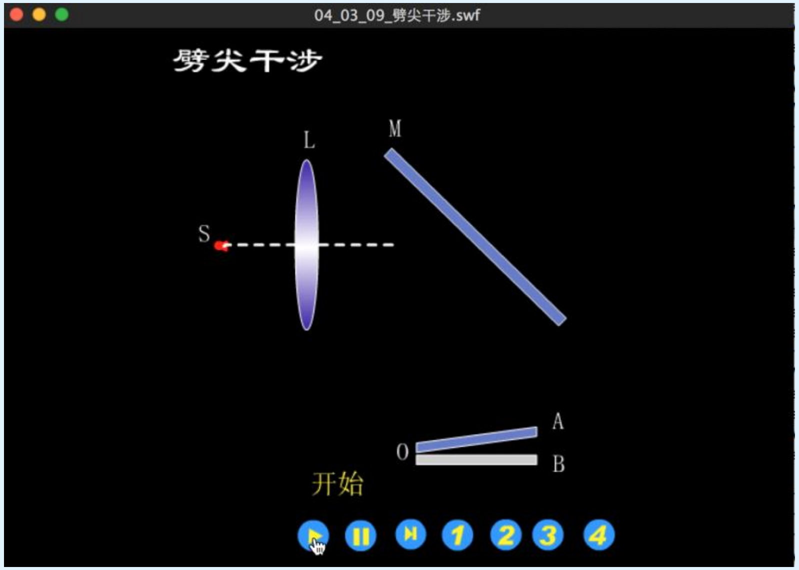
空气劈尖_____上表面反射光 —— 无半波损失

下表面反射光 —— 有半波损失

—— 来自上表面的反射光1'

和下表面的反射光2'干涉



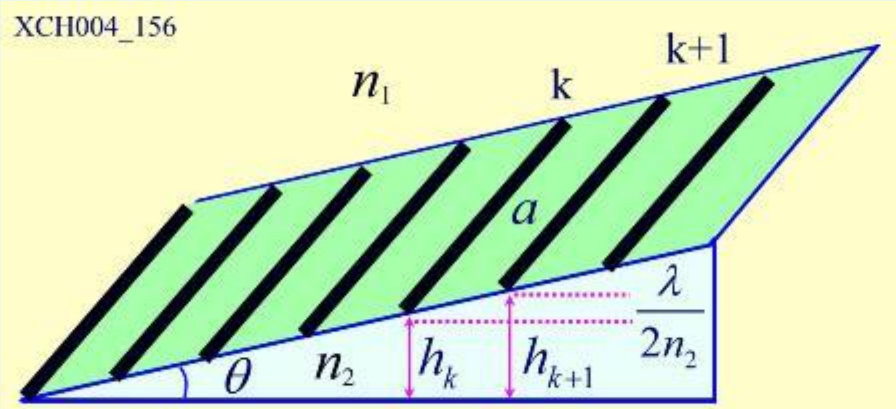


劈尖干涉结果讨论

1) 条纹定域 —— 两束反射光在上表面相遇

干涉条纹位于劈尖上表面

$$2n_2h+\frac{\lambda}{2}=\begin{cases}2k\cdot\dfrac{\lambda}{2}\\(2k+1)\cdot\dfrac{\lambda}{2}\end{cases}$$

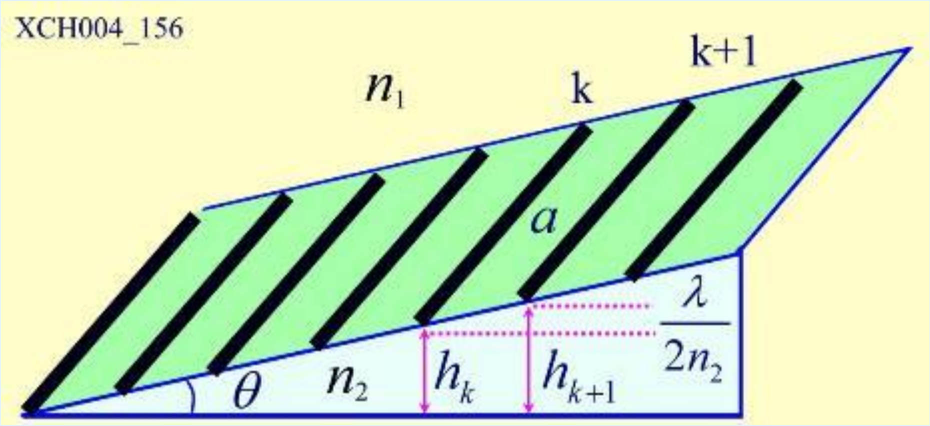


2) 相邻条纹对应薄膜厚度

$$2n_2h+\frac{\lambda}{2}=\begin{cases}2k\cdot\dfrac{\lambda}{2}\\(2k+1)\cdot\dfrac{\lambda}{2}\end{cases}$$

$$h_{k+1}-h_k=\frac{\lambda}{2n_2}$$

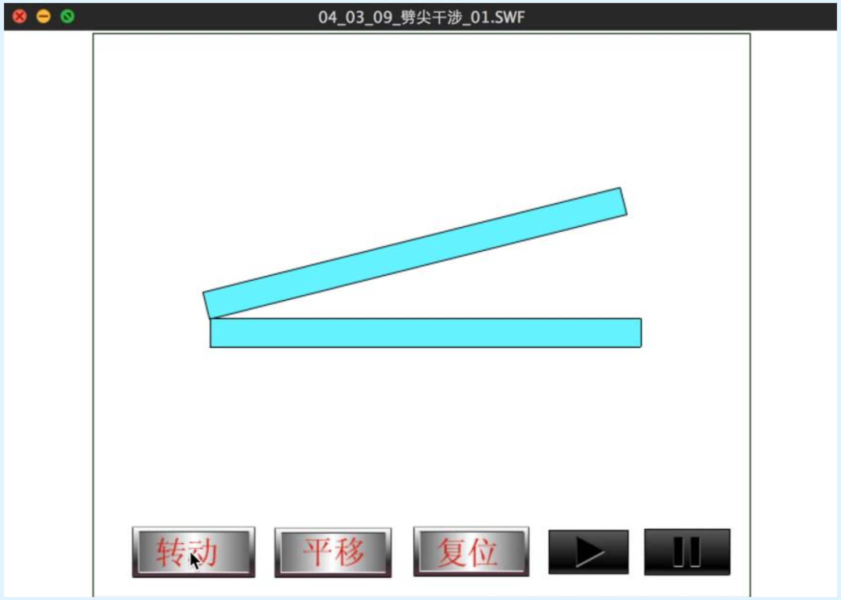
—— 明条纹或暗条纹



3) 条纹的间距 $a=\dfrac{\lambda}{2n_2\sin\theta}$

4) θ增大或减小__条纹间距减小或增大 $a=\dfrac{\lambda}{2n_2\sin\theta}$

$$2n_2h+\frac{\lambda}{2}=(2k+1)\cdot\frac{\lambda}{2}$$



5) **h=0** —— 最小级条纹

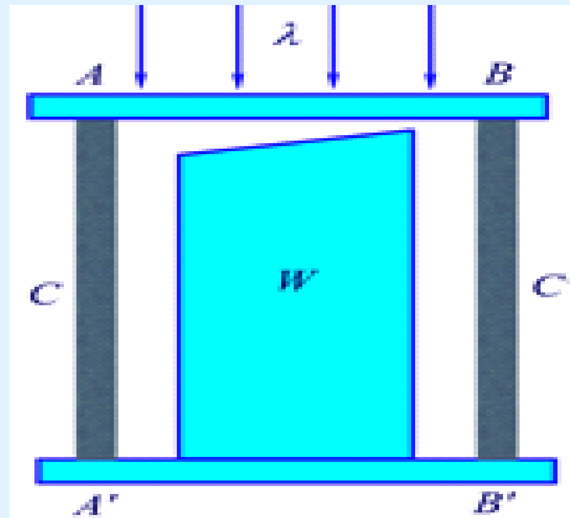
$h=h_{max}$ —— 最大级条纹

$$\begin{cases} 2n_2h+\dfrac{\lambda}{2}=(2k+1)\cdot\dfrac{\lambda}{2} \\ a=\dfrac{\lambda}{2n_2\sin\theta} \end{cases}$$

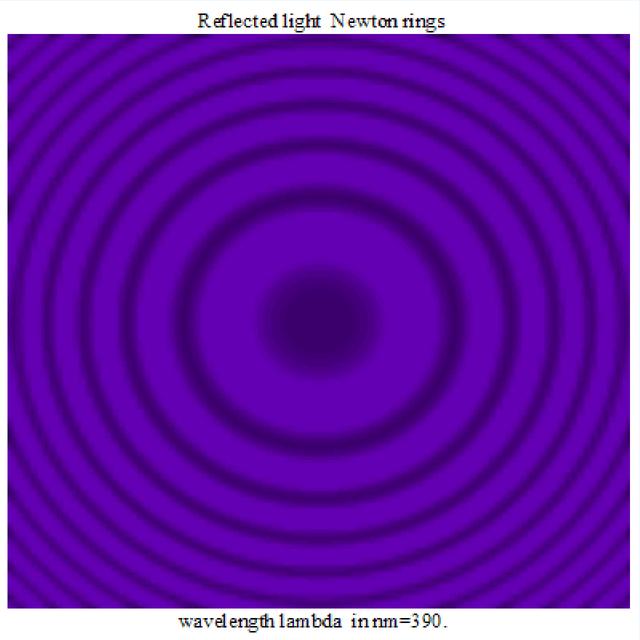
—— 等厚干涉应用

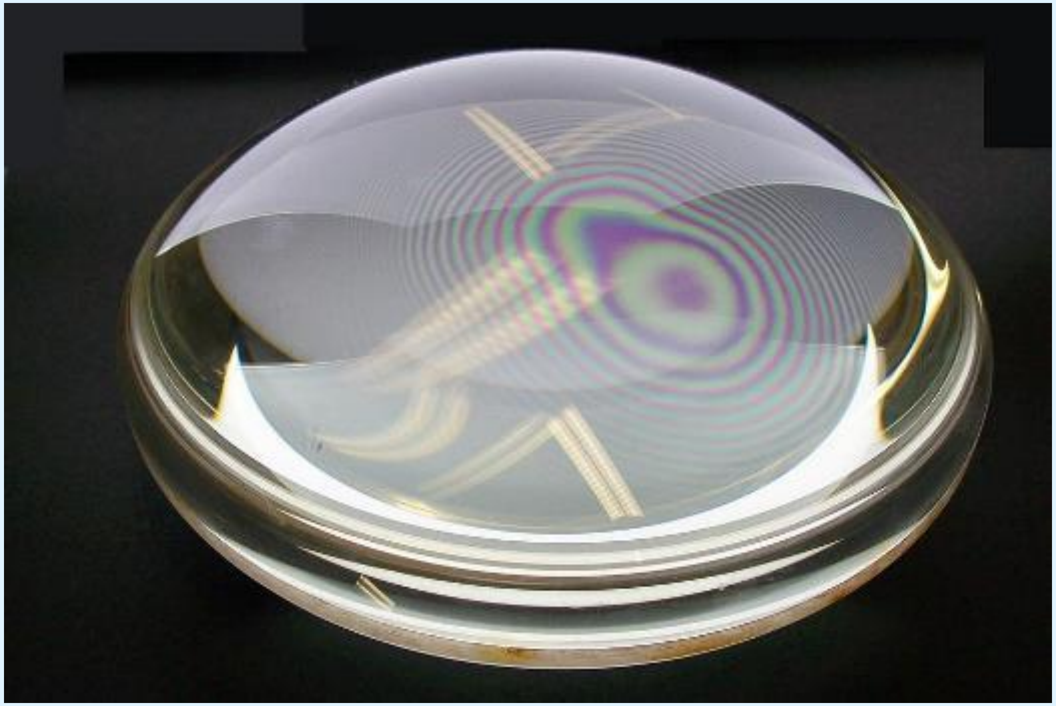
—— 微小长度测量

固体线膨胀系数测定



3 薄膜等厚干涉——牛顿环





—— 曲率半径很大的平凸透镜置于一块平玻璃板上

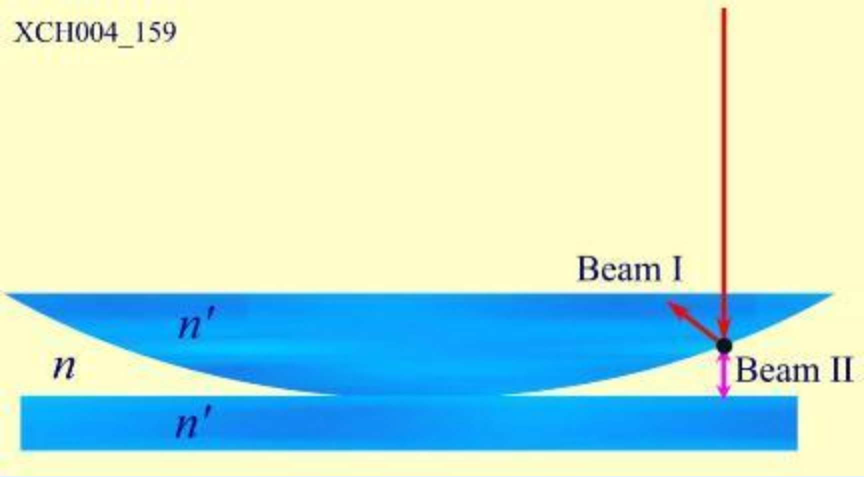
两者位于折射率为n的介质中

—— 单色光垂直入射平凸透镜的上表面

—— 平凸透镜下表面和

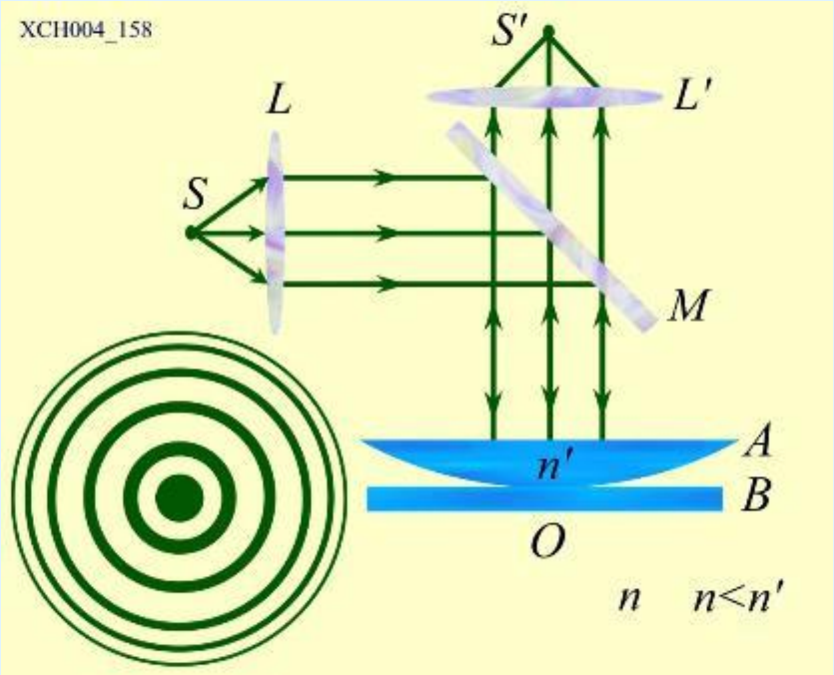
平玻璃板上表面的

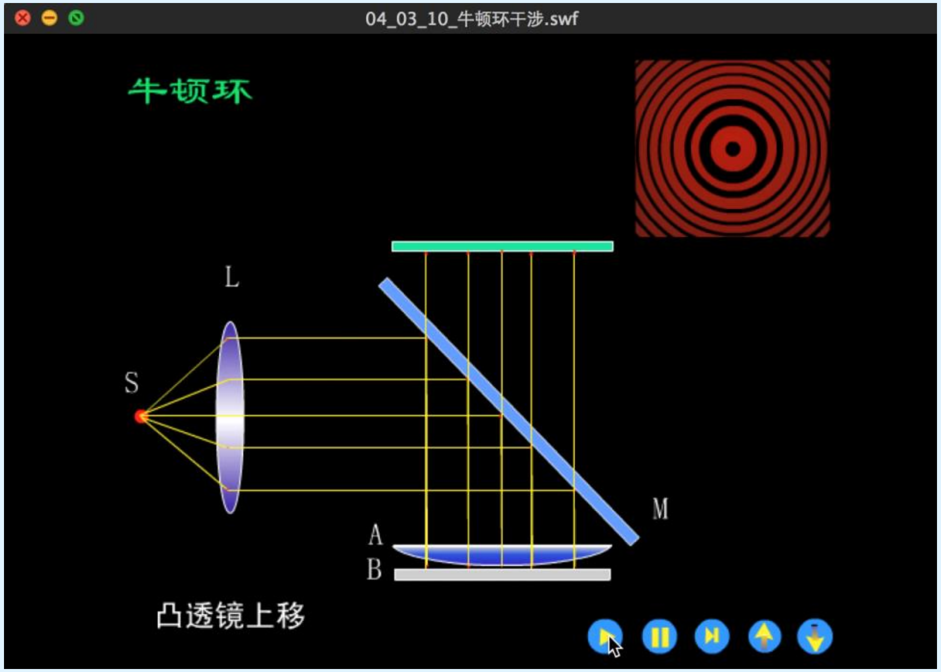
两束光进行干涉



—— 在平凸透镜下表面形成明暗相间的同心圆环

牛顿环干涉原理与实验装置

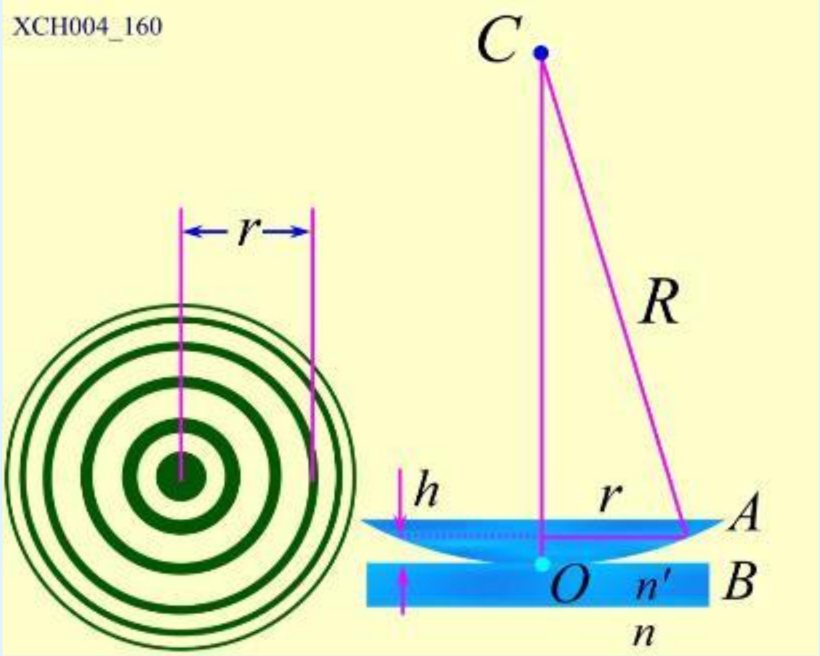




—— 在平凸透镜下表面形成明暗相间的同心圆环

—— 牛顿环半径和平凸透镜曲率半径以及波长的关系

—— 几何关系



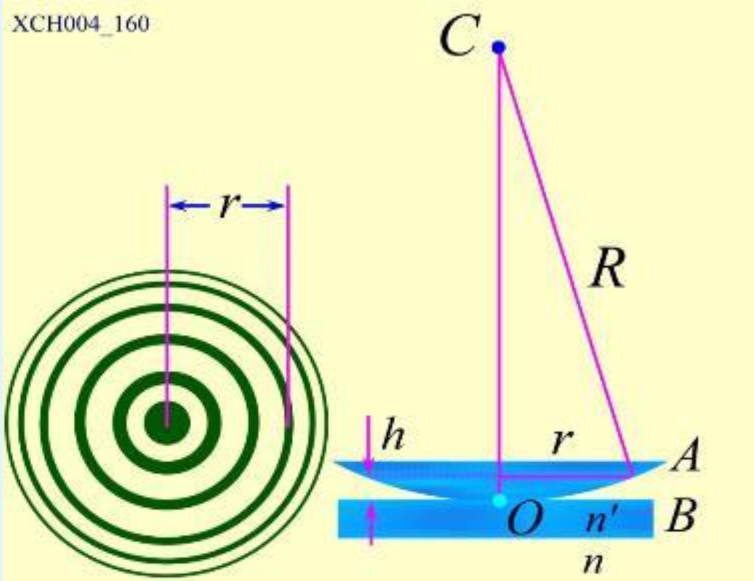
$$R^2 = r^2 + (R-h)^2 \quad h << R$$

$$h \approx \frac{r^2}{2R}$$

上下表面反射光的光程差 $\delta = 2nh + \frac{\lambda}{2} = n\frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2}$

明环条件 $n\frac{r^2}{R}+\frac{\lambda}{2}=2k\cdot\frac{\lambda}{2}$ $k=1, 2, 3, 4, \cdots$

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



暗环条件 $n\frac{r^2}{R}+\frac{\lambda}{2}=(2k+1)\cdot\frac{\lambda}{2}$

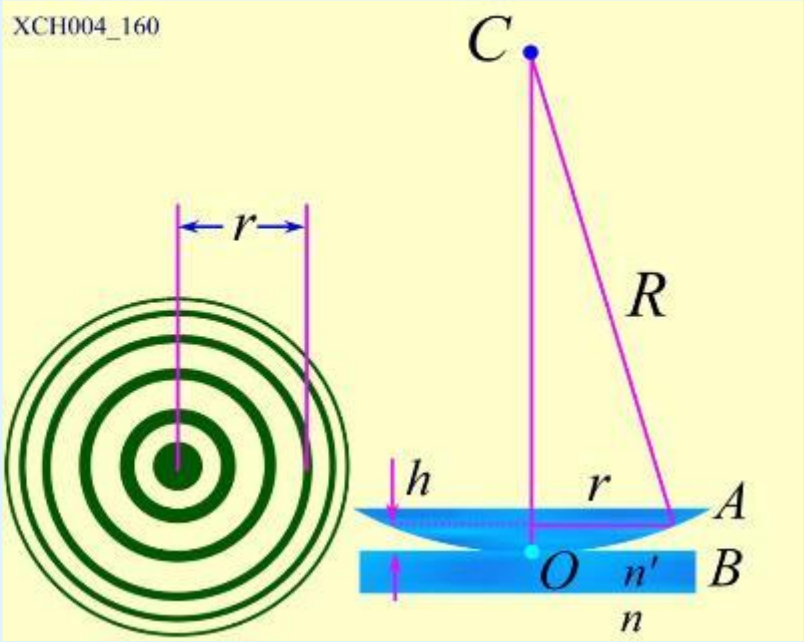
暗环半径 $r=\sqrt{kR\frac{\lambda}{n}}$

牛顿干涉环特点

1) 中心为暗环 —— $n < n'$，下表面有半波损失

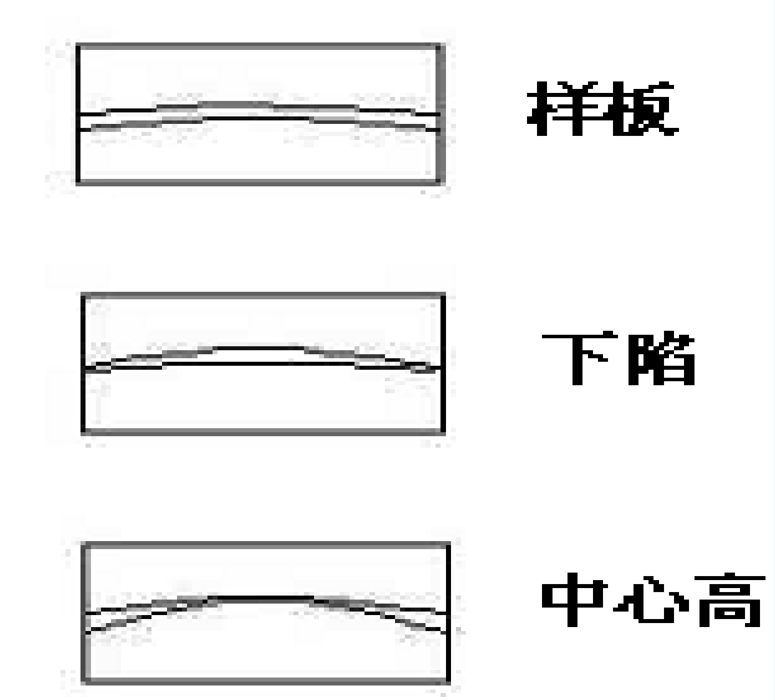
中心处 $h=0$ —— 满足暗纹条件

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



2) 中心干涉条纹的级数最小

3) 干涉条纹 —— 内疏外密



【思考题】样规在上、透镜待测表面在下。若轻轻按压样板，牛顿环中心条纹向外涌出，各环半径向边缘扩散，则透镜待测表面为凸面还是凹面？即是中心高还是下陷？

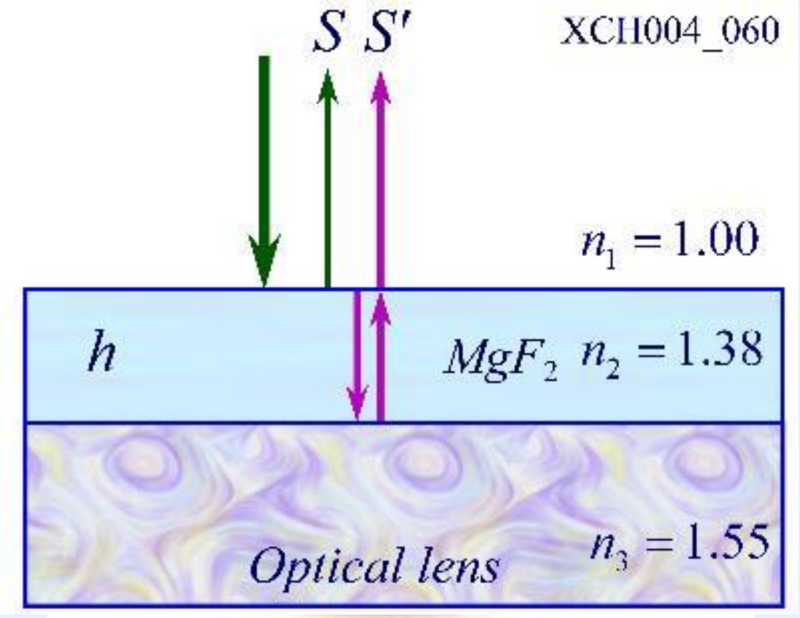
A. 透镜待测表面为凸面，即是中心高
B. 透镜待测表面为凹面，即是中心下陷

4 增透膜和反射膜

1) 增透膜 —— 光学玻璃表面蒸镀一层薄膜减少光的反射

- 在照相机的镜头上镀一层MgF_2薄膜要使该薄膜对 λ = 550 nm的光反射最小，问薄膜的最小厚度为多少？

- 两束光的光程差 $\delta = 2n_2h$



反射光最小 $2n_2h = (2k+1)\dfrac{\lambda}{2}$

$k = 0, 1, 2, 3 \cdots\cdots$

$$\xrightarrow[\text{最小厚度}]{k=0} \quad h_{min} = \frac{\lambda}{4n_2} = 100\ nm$$

2) 反射膜 —— 光学玻璃表面蒸镀一层薄膜增加光的反射

- 白光垂直照射置于空气中厚度 **h = 0.50 μm**的玻璃片玻璃折射率 **n = 1.50** 。在可见光范围内 **(400 nm~760 nm)** 问哪些波长的反射光有最大限度的增强?

☛ 垂直入射 $i_2 = 0$ $\delta = 2nh + \dfrac{\lambda}{2}$

反射光增强满足 $2nh + \dfrac{\lambda}{2} = k\lambda$

波长满足 $\lambda = \dfrac{4nh}{2k-1} = \dfrac{3000}{2k-1}\, nm$

波长满足 $\lambda = \dfrac{3000}{2k-1}\,nm$ 的反射光有最大限度的增强

$k=1$	$\lambda = 3000\ nm$
$k=2$	$\lambda = 1000\ nm$
$k=3$	$\lambda = 600\ nm$
$k=4$	$\lambda = 428.6\ nm$
$k=5$	$\lambda = 333.3\ nm$

可见光范围 —— 干涉加强光的波长 $\begin{cases} \lambda = 600\ nm \\ \lambda = 428.6\ nm \end{cases}$

肥皂膜的干涉条纹

作业：W5 等厚干涉