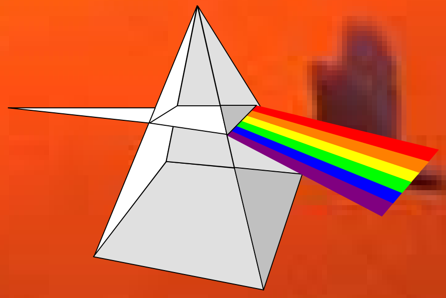
第五篇 波动光学



光学主要研究：光的本性；光的发射，传播和吸收的规律；光和其它物质的相互作用及其应用。

光学的发展可分为三个阶段：几何光学、波动光学和量子光学，波动光学和量子光学又统称为物理光学。现代光学的发展已经有许多分支：激光物理、集成光学、傅立叶光学、纤维光学和非线性光学等。

光的本性：光具有波粒二象性

下面介绍波动光学中最基本的现象：光的干涉、光的衍射和光的偏振现象。

在学习本章时建议先复习机械波的干涉等内容！

16-1 光的相干性

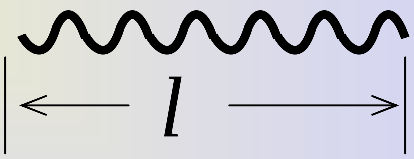
一、普通光源的发光机理

能发出光波（电磁波）的物体称为光源。

1) 热光源　　2) 冷光源

1 发光的间隙性　　$\Delta t < 10^{-8}$ 秒

2 发光的随机性



复色光　　单色光

$\Delta \nu$　表示光源单色性好坏　光波列长度 $l = \Delta t \times c$

激光光源：单色性好。

二、相干光及其获得：

在两列波相遇的区域内，某些点的振动始终加强，某些点的振动始终减弱的现象--------称为干涉现象。对于可见光的干涉就会出现明暗条纹--------干涉条纹。

相干条件：

①频率相同 ②振动方向相同 ③相位差恒定

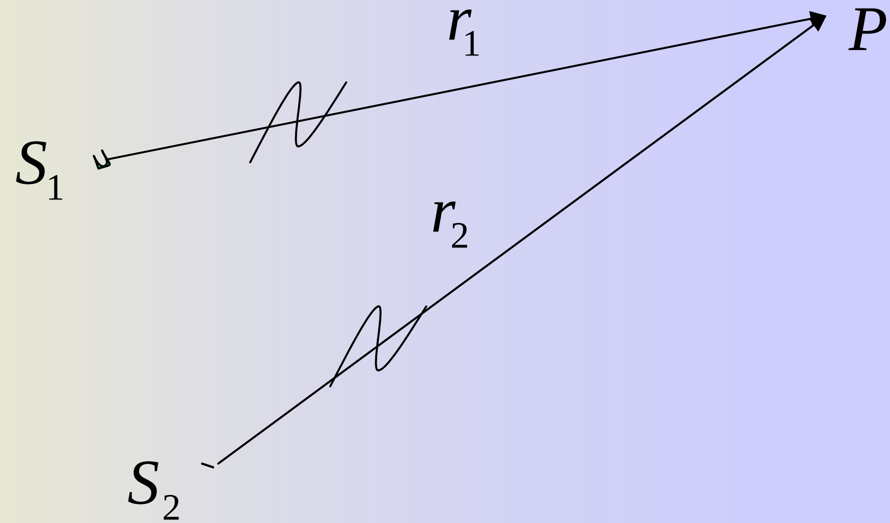
相应的波------相干光波　　　相应的光源------相干光源

相干光的获得：
分波阵面法--------杨氏双缝干涉
分振幅法-----------薄膜干涉

分振动面的方法　偏振光干涉

三、干涉条纹的强度分布

相干光源S_1、S_2发出的光波在空间P点相遇，两列波在P点的干涉本质上是两个同方向、同频率的电磁简谐振动的叠加。



$$\boldsymbol{E}_1 = \boldsymbol{A}_1 \cos(\boldsymbol{\omega t} + \boldsymbol{\varphi}_1)$$

$$\boldsymbol{E}_2 = \boldsymbol{A}_2 \cos(\boldsymbol{\omega t} + \boldsymbol{\varphi}_2)$$

$$\boldsymbol{I} \propto \boldsymbol{A}^2 \qquad \boldsymbol{A}^2 = \boldsymbol{A}_1^2 + \boldsymbol{A}_2^2 + 2\boldsymbol{A}_1\boldsymbol{A}_2 \cos(\boldsymbol{\varphi}_2 - \boldsymbol{\varphi}_1)$$

$$\boldsymbol{I} = \boldsymbol{I}_1 + \boldsymbol{I}_2 + 2\sqrt{\boldsymbol{I}_1\boldsymbol{I}_2} \cos(\boldsymbol{\varphi}_2 - \boldsymbol{\varphi}_1)$$

对比度$V = \dfrac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$

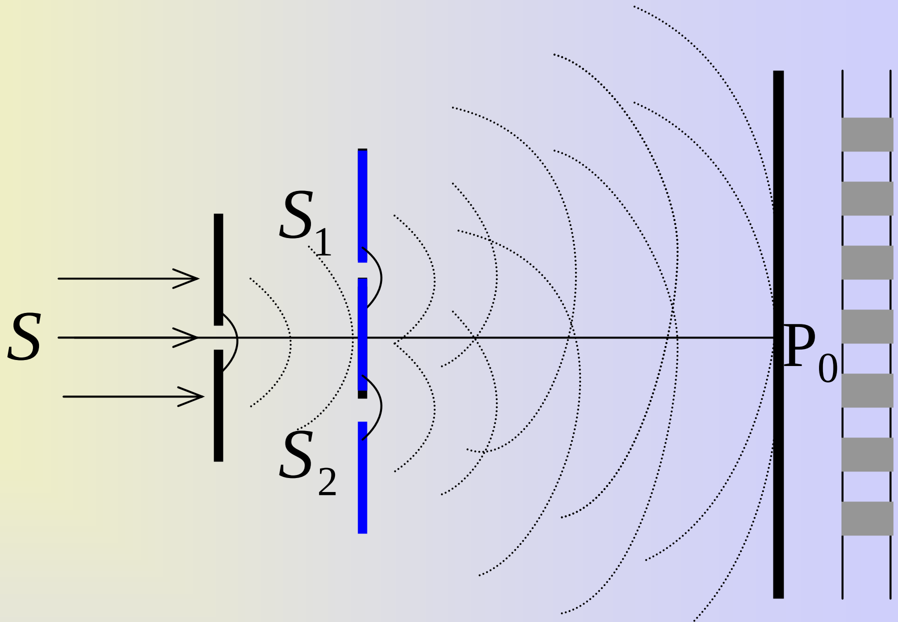
$I_1 = I_2 \qquad I_{\min} = 0 \qquad V = 1$ 清晰可见

$I_1 >> I_2 \qquad I_{\min} \approx I_{\max} \qquad V \approx 0$ 模糊不清

16-2 双缝干涉

一、扬氏双缝干涉

1 实验装置



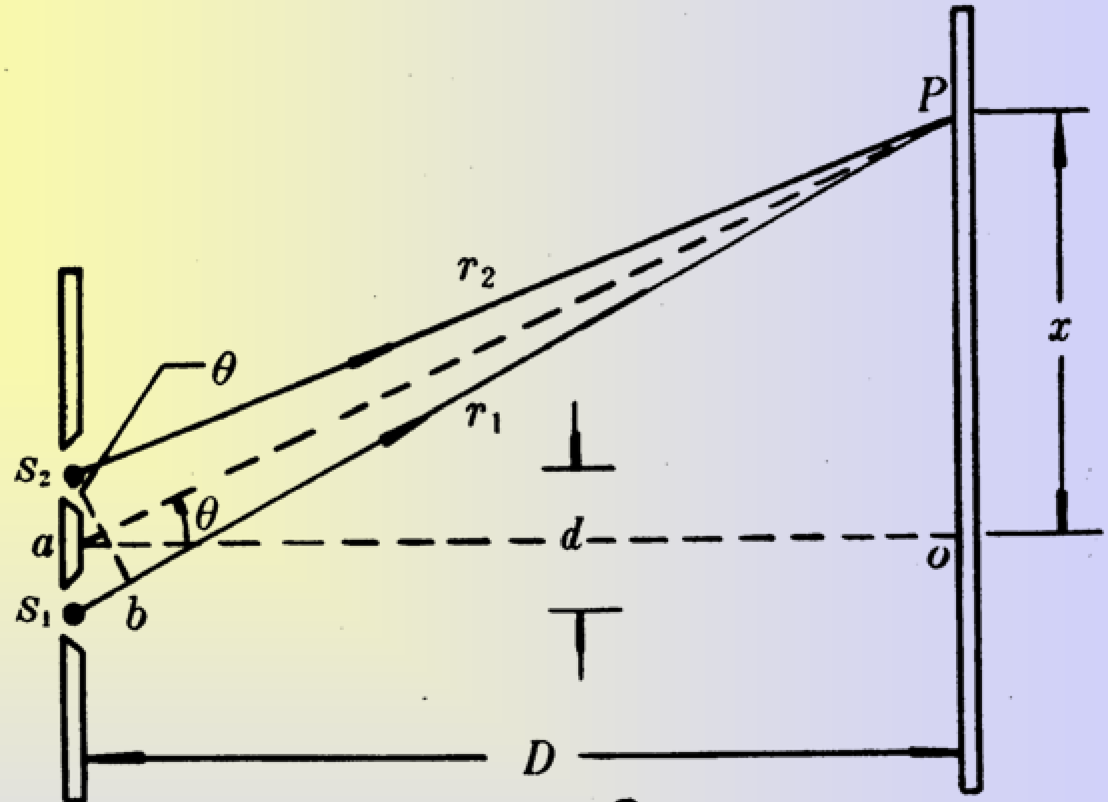
2 实验结果

（1）P_0为中央明纹，两侧分布着明暗相间等距条纹；

（2）若改变波长，则条纹间距也相应变化；

（3）若用复色光源，则干涉条纹是彩色的。

3 讨论



$$D >> d$$

$$D >> x$$

$$\sin\theta \approx \frac{x}{D}$$

$$\delta = r_1 - r_2 \approx d\sin\theta \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(r_1 - r_2) \approx \frac{2\pi}{\lambda} d\sin\theta$$

$d\sin\theta = \pm k\lambda$ $k = 0,1,2\cdots$干涉加强 P为明纹

$d\sin\theta = \pm(2k-1)\frac{\lambda}{2}$ $k = 1,2,3\cdots$干涉减弱 P为暗纹

出现明暗纹的条件

各级明条纹中心位置： $x_k = \pm k\dfrac{D\lambda}{d}$ $\quad k = 0,1,2,\cdots$

各级暗条纹中心位置： $x_k = \pm(2k-1)\dfrac{D\lambda}{2d}$ $\quad k = 1,2,3,\cdots$

相邻明条纹（或暗条纹）的间距为：

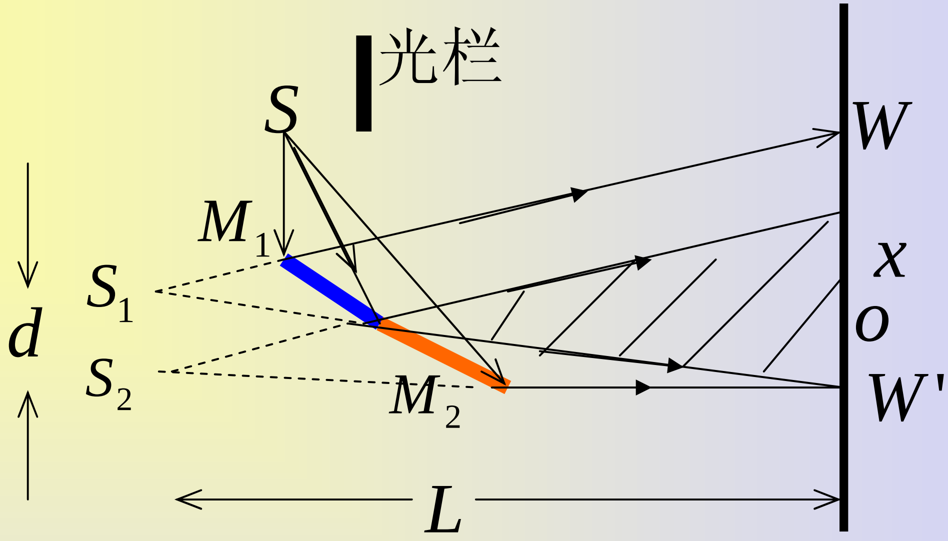
$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{D\lambda}{d}$$

杨氏干涉条纹是等间距的;**D**大条纹疏， **d**大条纹密;

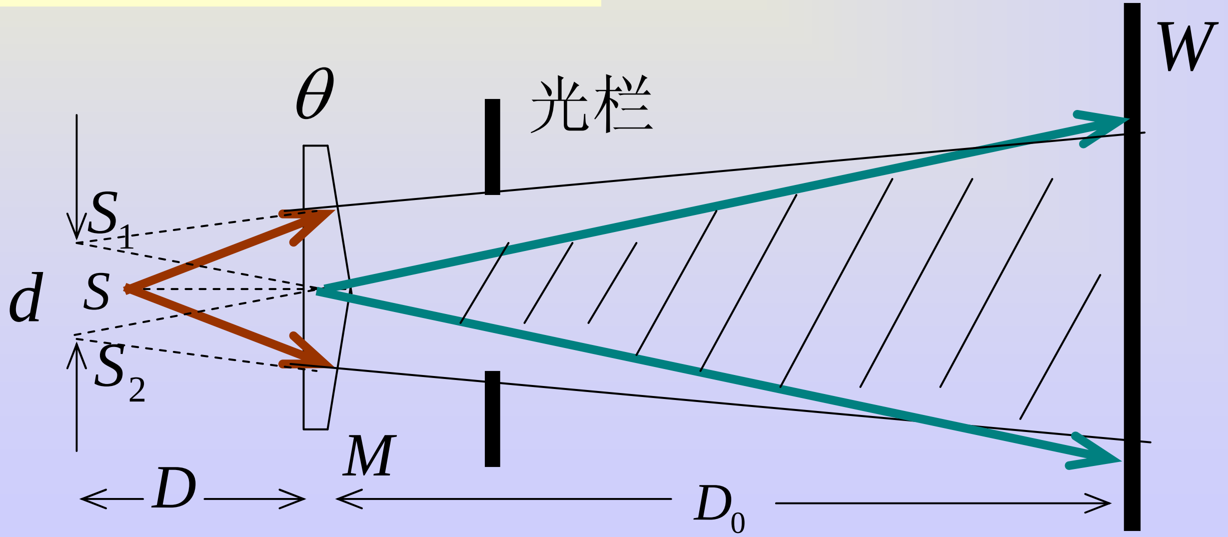
杨氏干涉可用于测量波长。

方法一： $\lambda = xd/(kD)$ 方法二： $\lambda = (\Delta x)\ d/D$

二、 菲涅耳双面镜实验：

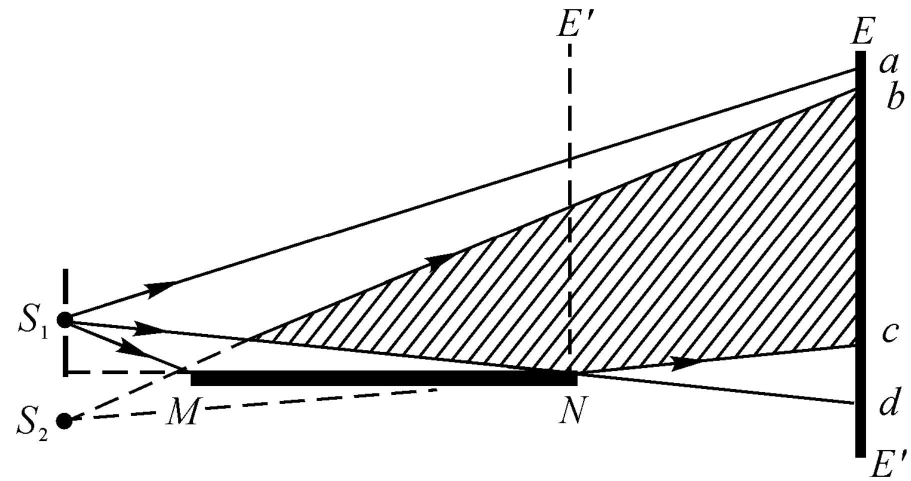


三、 菲涅耳双棱镜实验



四、洛埃镜实验

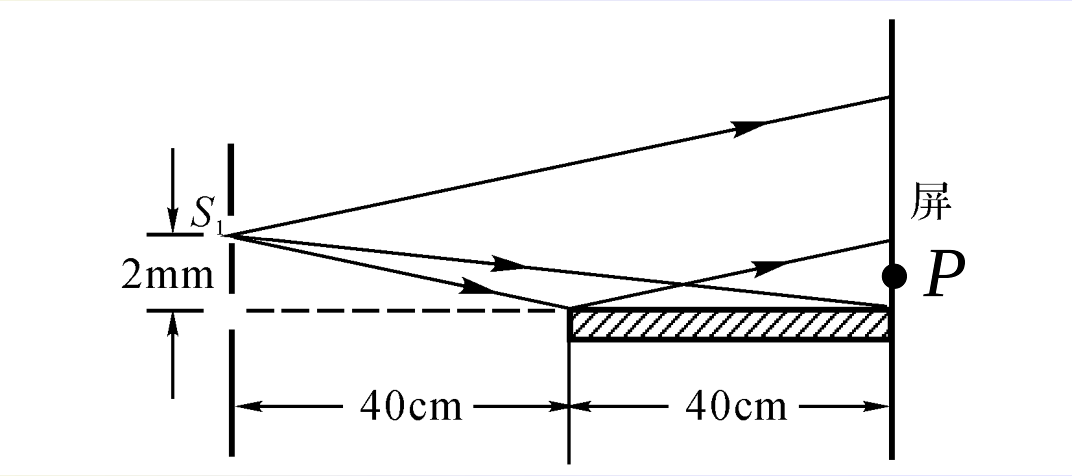
当屏幕**EE’**移至**N**处，从 $\mathbf{S}_1$和 $\mathbf{S}_2$ 到**N**点的光程差为零，但是观察到暗条纹，验证了反射时有半波损失存在。



半波损失:

当光从折射率小的光疏介质，
正入射或掠入射于折射率大的光密介质时，则反射光有半波损失。

例题:在如图所示的洛埃镜实验中，$\lambda = 7.2\times10^{-7}m$ 求镜面右边边缘到第一级明纹的距离.



解: $d\dfrac{x}{D}+\dfrac{\lambda}{2}=k\lambda \quad k=1,2,3\cdots$ 干涉加强 P为明纹

$d\dfrac{x}{D}+\dfrac{\lambda}{2}=(2k+1)\dfrac{\lambda}{2} \quad k=0,1,2\cdots$ 干涉减弱 P为暗纹

各级明条纹中心位置: $x_k=(2k-1)\dfrac{D\lambda}{2d} \quad k=1,2,3,\cdots$

各级暗条纹中心位置: $x_k=k\dfrac{D\lambda}{d} \quad k=0,1,2,\cdots$

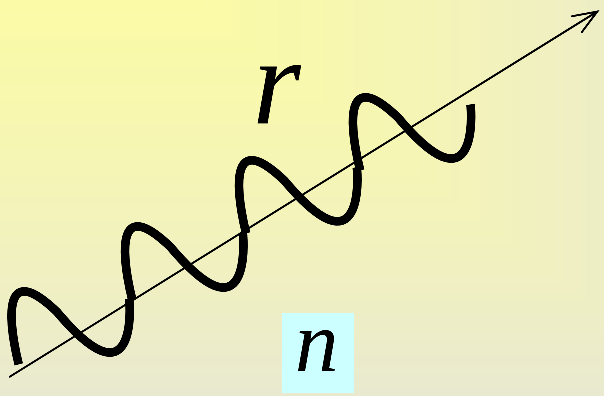
$k=1 \quad x=\dfrac{\lambda D}{2d} \quad d=4mm \quad D=80cm \quad x=7.2\times10^{-5}m$

16-3 光程 光程差

一 光程

如两列光波在同种介质中传播时

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



$$c_n = \frac{c}{n}$$

$$\lambda_n = \frac{c_n}{\nu} = \frac{c}{n\nu} = \frac{\lambda_0}{n}$$

若光在媒质中通过的几何路程为r

其间的波数： $\dfrac{r}{\lambda_n}$

同样的波数在真空中所占的几何路程： $\dfrac{r}{\lambda_n}\lambda_0 = nr$ 其中 ***nr*** 称为光程

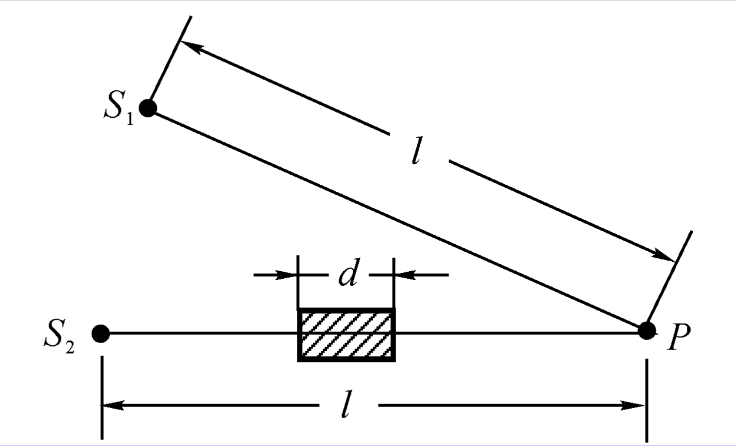
光在介质中传播的距离折算成真空中的长度。

二 光程差

两光程之差 $\delta=(n_2r_2-n_1r_1)$ 叫做光程差。 $\Delta\varphi=\dfrac{2\pi}{\lambda_0}\delta$

$$\delta=n_1r_1-n_2r_2=\begin{cases}\pm k\lambda_0 \text{---加强}\\ \pm(2k+1)\dfrac{\lambda_0}{2}\text{---减弱}\end{cases}$$

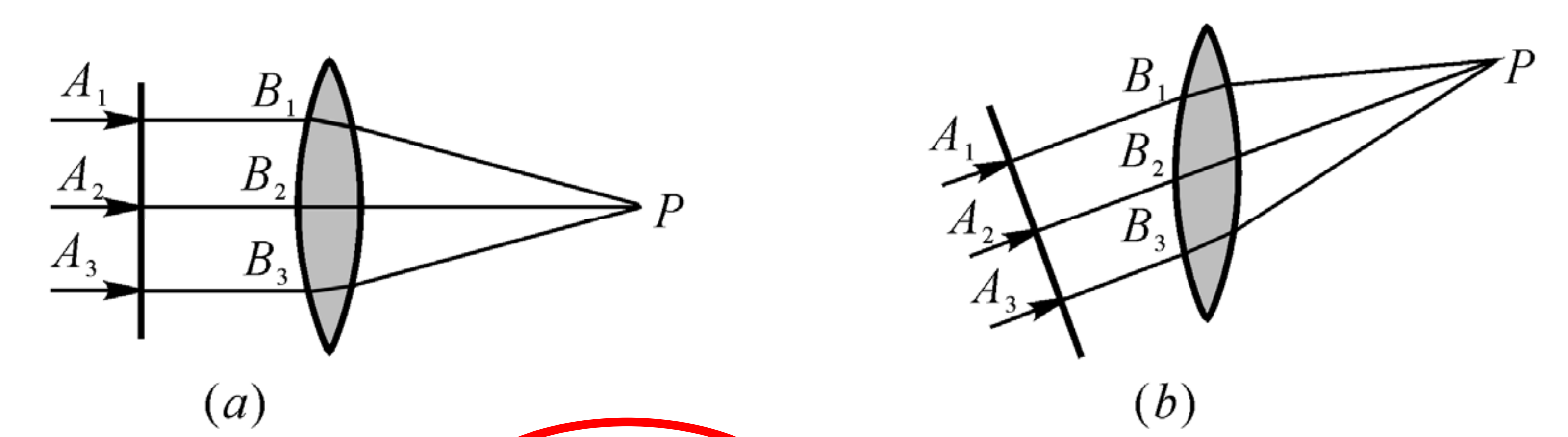
例：求S_1和S_2到达P的位相差。 $\delta=(l-d+nd)-l=(n-1)d$



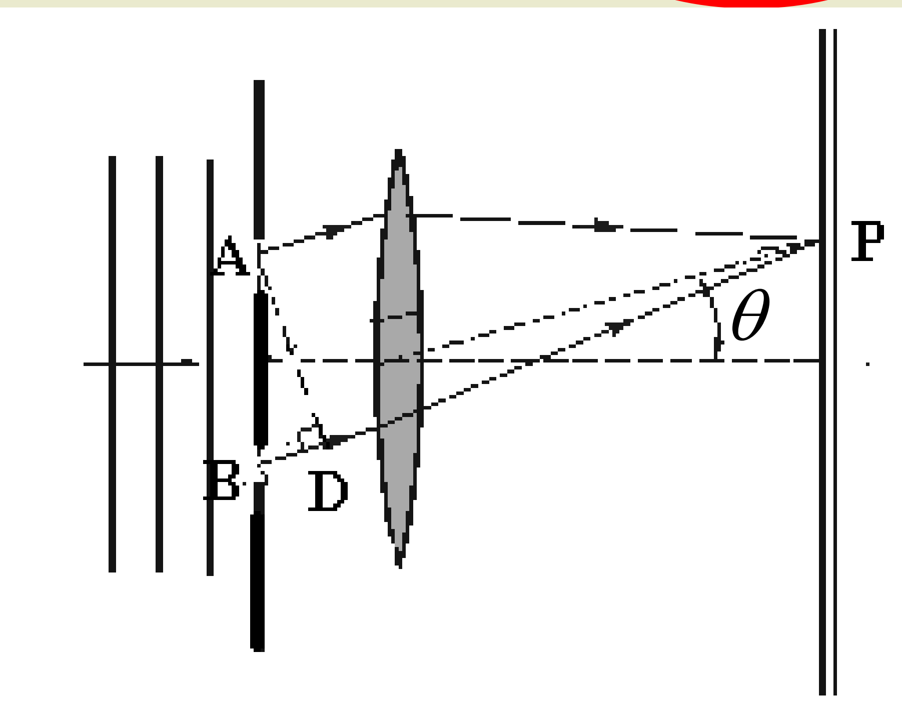
$$\Delta\varphi=\frac{2\pi}{\lambda}(n-1)d$$

$\Delta\varphi=\pm 2k\pi \quad k=0,1,2,\cdots P$为亮点

$\Delta\varphi=\pm(2k-1)\pi \quad k=1,2,3\cdots P$为暗点



结论：当用透镜或透镜组成的光学仪器观测干涉时，观测仪器不会带来附加的光程差。



$$\delta = d\sin\theta$$

例题：如图所示，n_1=1.4，n_2=1.7，λ=480nm，两块厚度相同的介质片盖在双缝上后干涉条纹中的第5级明纹移到了中央明纹处，求：

①干涉条纹移动的方向？

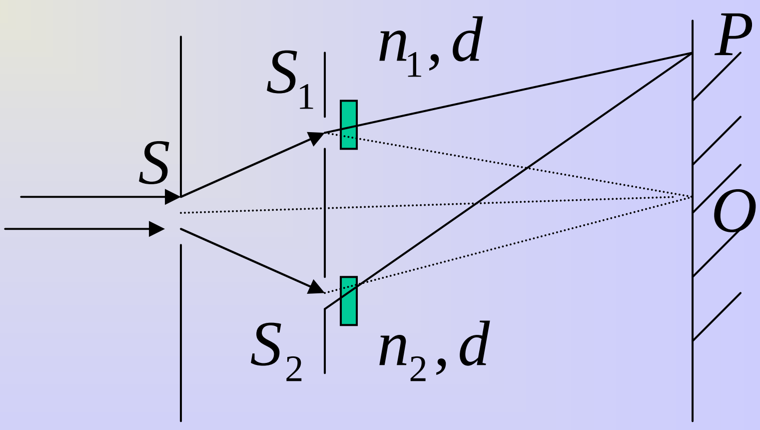
②介质片的厚度 d=?

解:1.判断零级条纹($\delta=0$)的移动方向，

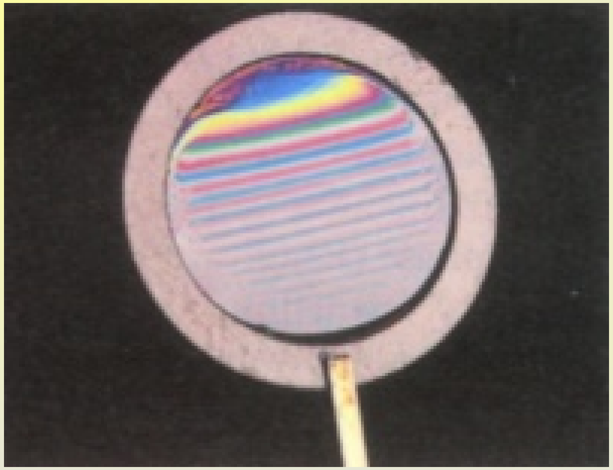
向折射率大的n_2方向移动

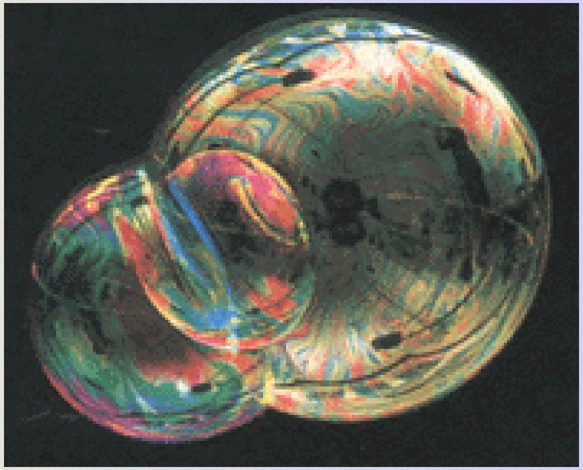
$$2.\Delta\delta=(n_2-n_1)d=k\lambda$$

$$d=8\times10^{-6}\,\mathrm{m}$$



16-4 薄膜干涉





光波经薄膜两表面反射后相互叠加所形成的干涉现象，称为薄膜干涉。

一、匀厚薄膜干涉（等倾干涉）

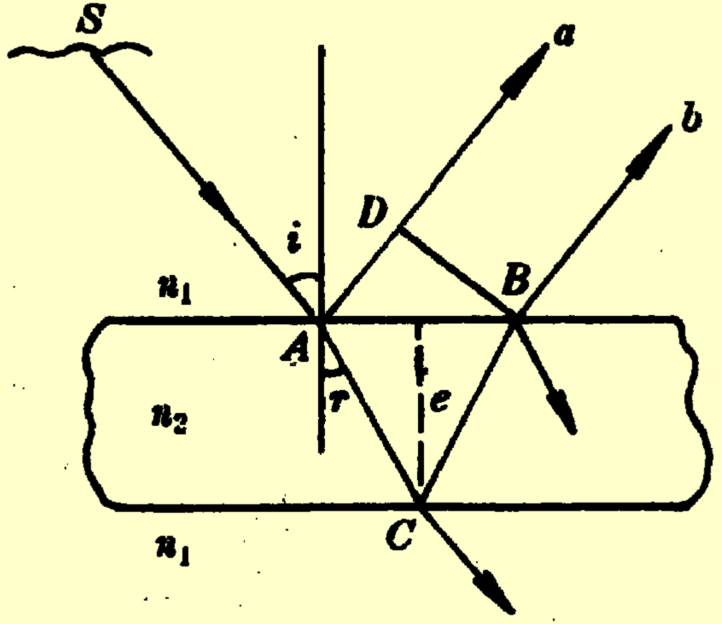


图 16.8 等倾干涉

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

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

$$AD = AB\sin i = 2etg\gamma\sin i$$

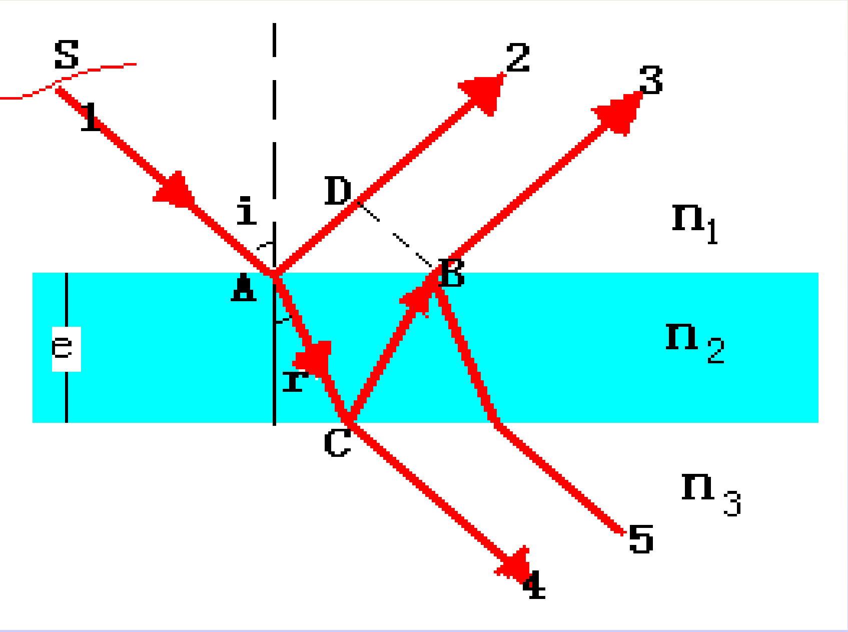
$$n_1\sin i = n_2\sin\gamma$$

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

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

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

光程差$\delta = \delta(i)$是入射角i的函数，这意味着对于同一级条纹具有相同的倾角，故这种干涉称为等倾干涉。



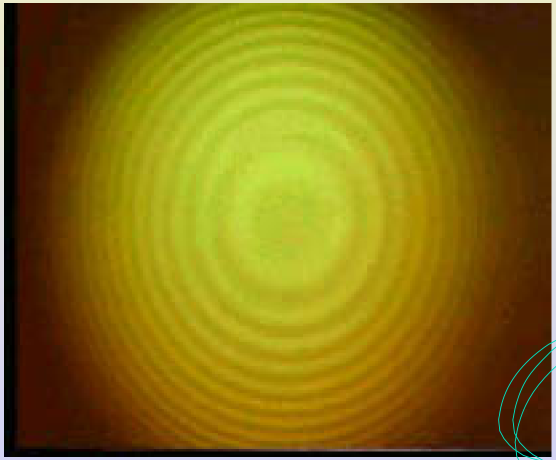
$$\delta_2 = \begin{cases} 0 & \text{当} n_1 > n_2 > n_3 \text{或} n_1 < n_2 < n_3 \text{时} \\ \dfrac{\lambda}{2} & \text{当} n_1 > n_2, n_3 > n_2 \text{或} n_1 < n_2, n_3 < n_2 \text{时} \end{cases}$$

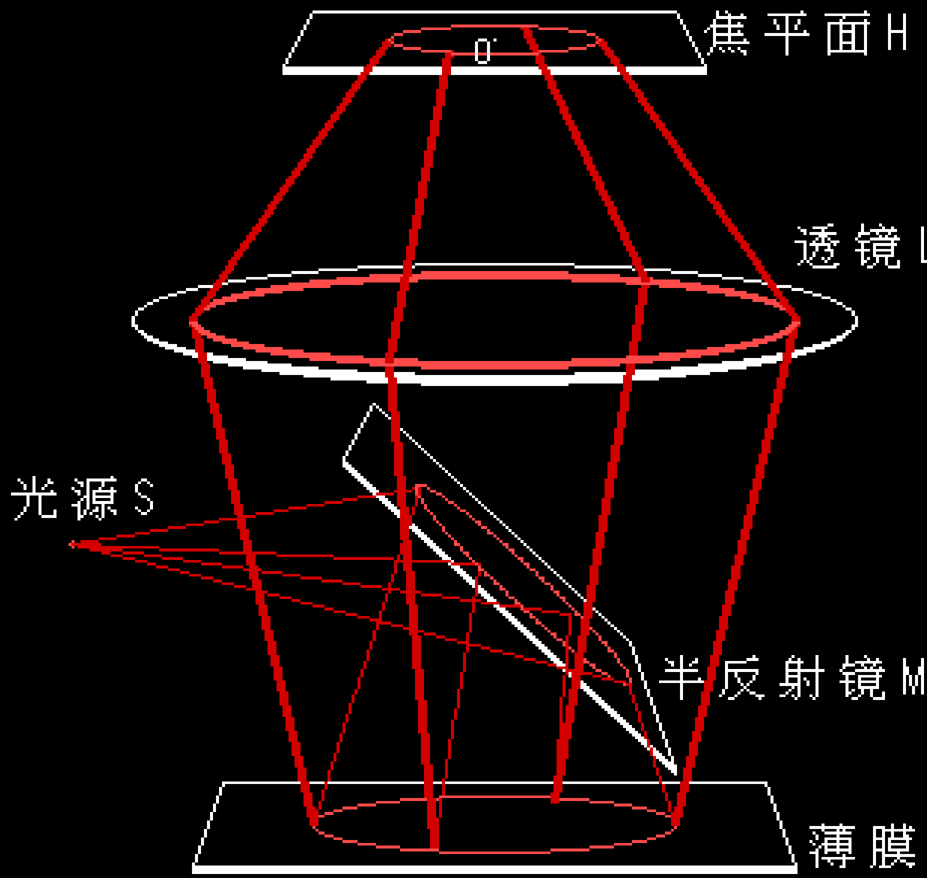
讨论：

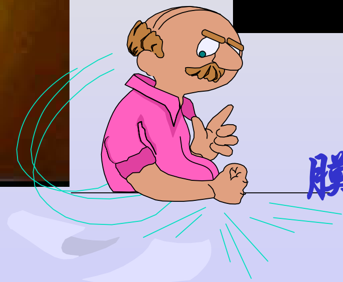
1.干涉条纹的特点

一系列明暗相间的同心圆环，中央条纹级次最高。

内疏外密







膜的厚度变化时，条纹将如何变化?

膜的厚度*e* 增大时，条纹外冒，中心处明暗交替；膜的厚度*e* 减小时，条纹内缩，中心处明暗交替。

2.薄膜干涉使用扩展光源，虽然相干性不好，但因能在明亮环境观察，所以实用价值高。

3.对透射光，也有干涉现象。

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

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

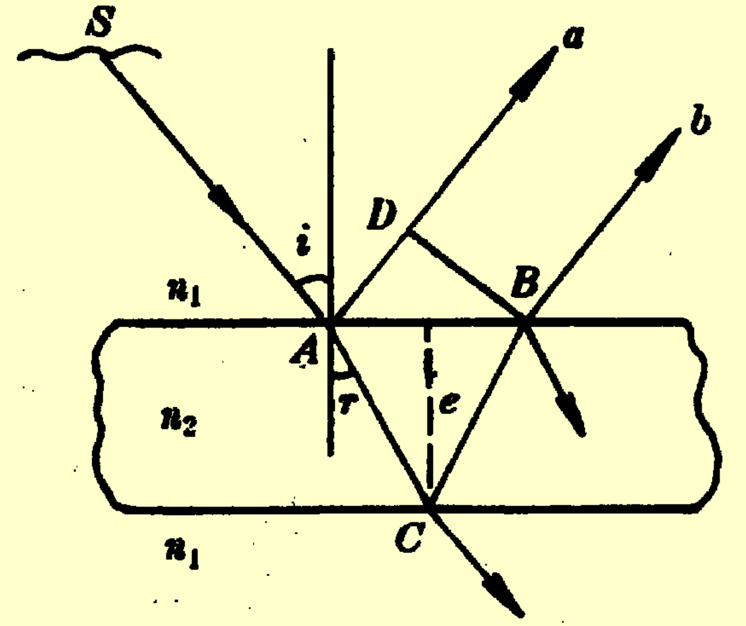


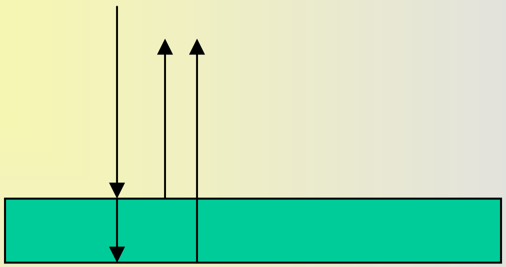
图 16.8 等倾干涉

对于同一厚度的薄膜，在某一方向观察到某一波长对应反射光相干相长，则该波长在对应方向的透射光一定相干相消。

4 .如果用白光照射，将产生彩色条纹。

5.要能观察到干涉条纹，膜的厚度不能太大。

【例题】以白色光垂直照射到空气中厚度为 380nm 的肥皂水膜上，肥皂水的折射率为 1.33，试分析肥皂水膜的正面与反面各呈现什么颜色？



解：肥皂薄膜的正面为两反射光线干涉明纹条件为

$$2ne+\frac{\lambda}{2}=k\lambda \Rightarrow \begin{cases} k=2,\lambda=673.9\text{nm},\text{红色} \\ k=3,\lambda=404.3\text{nm},\text{紫色} \end{cases}$$

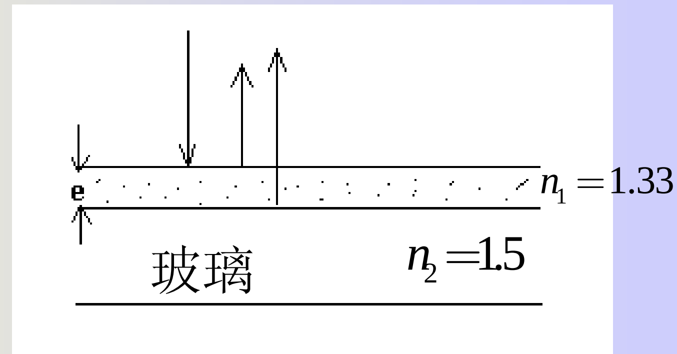
肥皂薄膜的反面为透射光的干涉明纹条件为

$$2ne=k\lambda \Rightarrow k=2,\lambda=505.4\text{nm},\text{绿色}$$

例：平板玻璃上有一层厚度均匀的肥皂膜，将 波长可连续变化的平面光波垂直入射，观察到反射光在$\lambda_1 = 525nm$有一干涉极小，$\lambda_2 = 630nm$有一干涉极大，在这极大和极小之间没有别的极值。求膜的厚度。

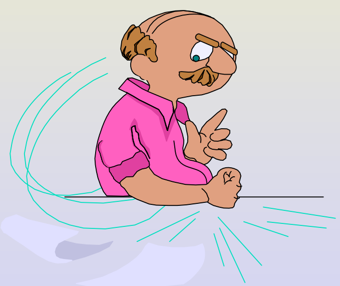
解： $\delta = 2n_1 e$

$$\delta = 2n_1 e = (k_1 + \frac{1}{2})\lambda_1$$



$$\delta = 2n_1 e = k_2 \lambda_2 \qquad k_1 = k_2 = k$$

$$e = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{4n_1(\lambda_2 - \lambda_1)}$$



如果先出现干涉极大，再出现干涉极小，则极大和极小是否属于同一级次？

$$2n_1 e = k_1 \lambda_1$$

$$2n_1 e = (k_2 + \frac{1}{2})\lambda_2$$

$$k_1 = k_2 + 1$$

$$e = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{4n_1(\lambda_2 - \lambda_1)}$$

作业：

16-2

16-4

16-5