

# 第七章 光的干涉 ( Interference of Light )

## 二、光学分类：

几何光学--研究光的直线传播及光学仪器的制造；

17-18世纪，以牛顿的微粒说为代表。

**主要内容：**光的直线传播、反射、折射定律。

波动光学--研究光的波动性；19世纪。

**代表人物：**T.Young;菲涅耳(Fresnel);麦克斯韦 ( Mexwell)等。

**主要内容：**光的干涉、衍射、偏振、电磁本性等。

量子光学--研究光与物质的相互作用。20世纪初。

现代光学 20世纪60年代开始。

# § 7-1 普通光源、光的相干性

(General Light Source、Coherency of Light)

## 一、光波

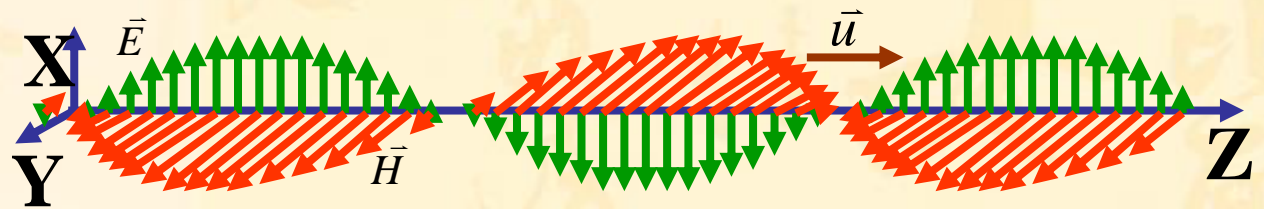
指人眼可见波段的电磁波：400nm-760nm

通常也包括可见光两侧的紫外和红外电磁波。

## 二、光矢量、光强 $I$

人眼对于颜色的感觉由光波的频率决定。

引起眼睛视觉效应和光化学效应的是光波场中的电场。



定义：**光矢量** --光振动中的电场矢量  $\vec{E}$

$$E = E_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad I \propto A^2 = E_0^2$$

## 设两光振动

$$e_1 = E_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \quad e_2 = E_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

合振幅  $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$

$$I = E^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1) \quad \text{相对光强}$$

原子每次发光时间极短，约 $10^{-8}$ 秒，而人眼的“响应时间” $\tau = 0.25\text{s}$ ，所以人只能观察到光强的平均值：

$$\begin{aligned} I &= \overline{E^2} = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau E^2 dt \\ &= E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \cos(\varphi_2 - \varphi_1) dt \end{aligned}$$

$$I = E_1^2 + E_2^2 + \underbrace{2E_1E_2 \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \cos(\varphi_2 - \varphi_1) dt}_{\text{相干项}}$$

相干项

## 1.非相干叠加

对于非相干光，在 $\tau$ 内 $\varphi_2 - \varphi_1$ 经历由 $0 - 2\pi$ 的所有变化，所以有

$$\int_0^\tau \cos(\varphi_2 - \varphi_1) dt = 0$$

$$\Rightarrow I = E_1^2 + E_2^2 = I_1 + I_2$$

非相干叠加时光强等于两光波的强度之和。

## 2. 相干叠加

对于相干光，位相差 $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ 恒定，所以

$$\frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) dt = \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

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

迭加点的光强随  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$  的不同而异：

$$\Delta\varphi = \pm 2k\pi, I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$$

最强

$$\Delta\varphi = \pm(2k+1)\pi, I = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$$

最弱

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi_{02} - \varphi_{01} - 2\pi \frac{r_2 - r_1}{\lambda})$$

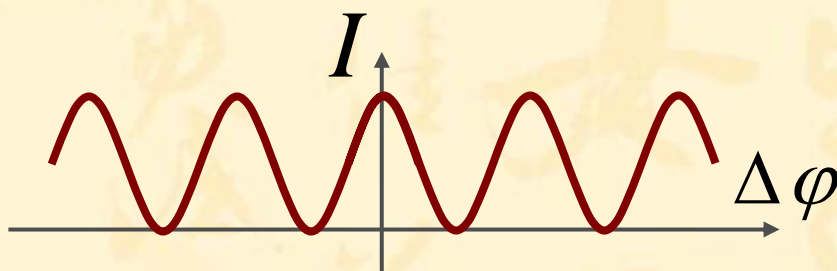
## 讨论

1. 若  $E_1 = E_2$  , 则  $I_1 = I_2$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\varphi = 2I_1 (1 + \cos \Delta\varphi)$$

$$= 4I_1 \cos^2 \frac{\Delta\varphi}{2}$$

$$I_{\max} = 4I_1, \quad I_{\min} = 0.$$



2. 当  $I_1 \neq I_2$ ,  $I_{\min} \neq 0$ . 条纹清晰度下降。

## 五、普通光源

**光源**—能够发光的物体叫光源。

**光源分类**：A. 普通光源， B. 激光光源。

### 普通光源

①冷光源：

电致发光--电场激发；

光致发光--由X射线、放射线、紫外、  
可见光激发；

化学发光--由化学能激发（如萤火虫）

②热光源--由热能激发

## 普通光源的发光特点

任一时刻有大量原子、分子同时发光。

每个原子分子发光都是间歇性的，每次发光时间极短（ $\sim 10^{-8}\text{s}$ ），一次只能发出一个有限长度的波列。

一个原子在某一瞬时发出的波列是振动方向一定、振幅不变或缓慢变化的正弦波。

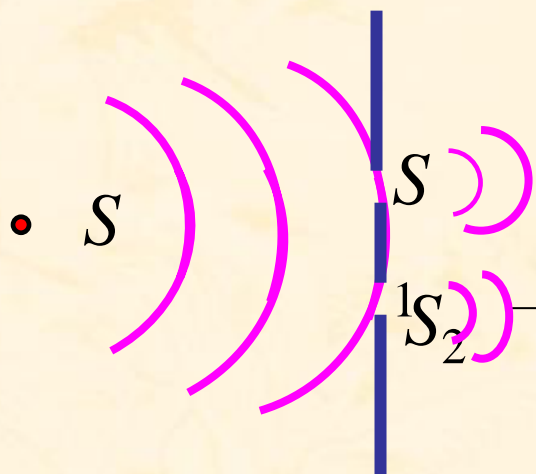
同一原子先后发出的光及同一瞬间不同原子发出的光的频率、振动方向、初相位等都是各不相同的，具有随机性。

**结论：**普通光源发出的光为非相干光。同一光源上不同点发出的光也是非相干光。

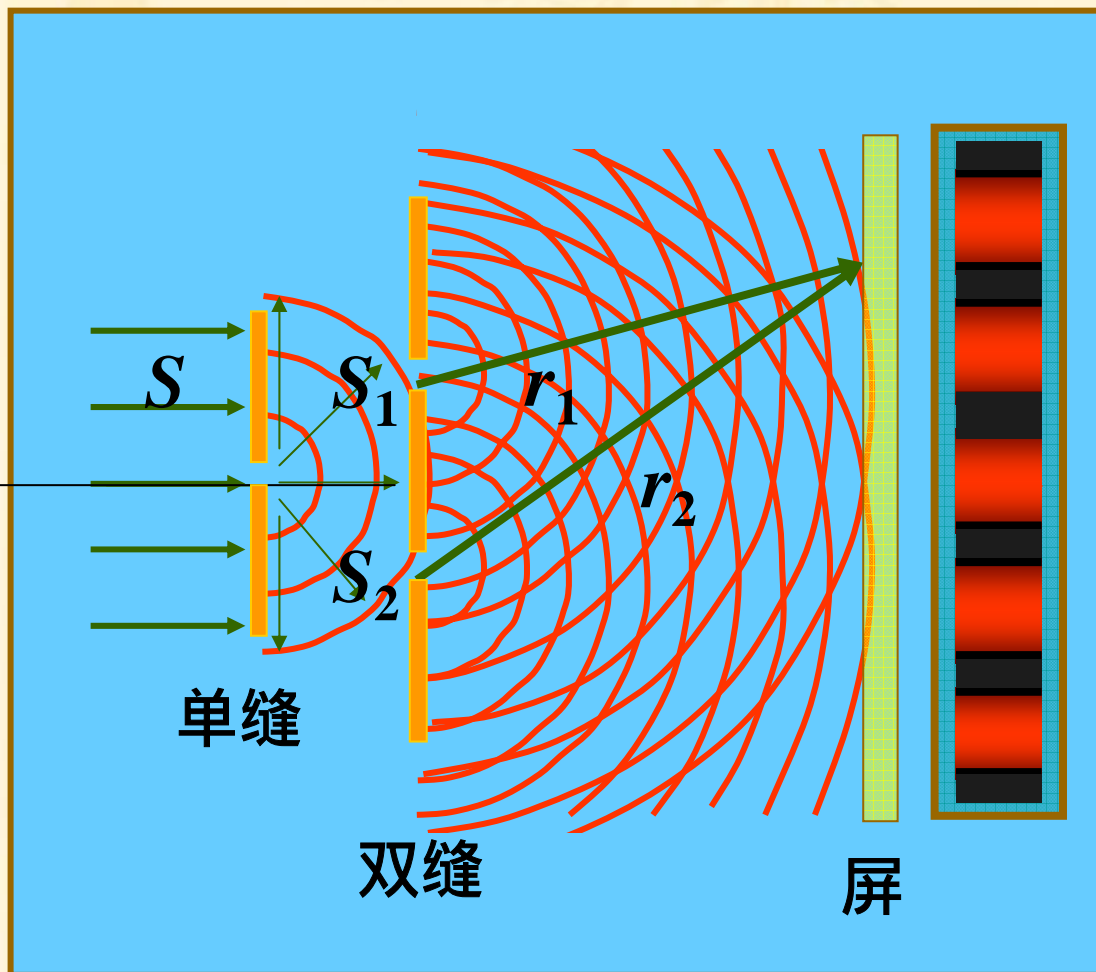


# 六、相干光的获得

## 1.分波阵面法

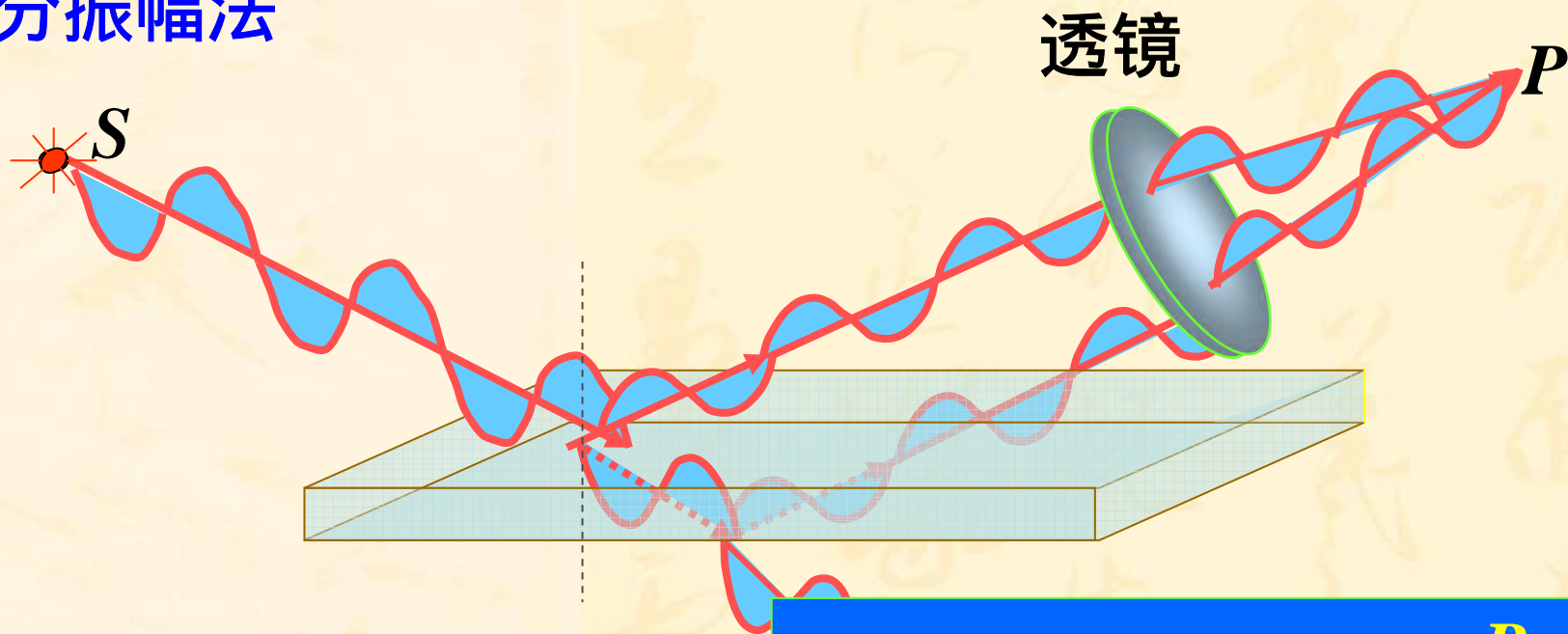


在同一波阵面上分出两部分 $S_1$ 、 $S_2$ ，形成相干光源。

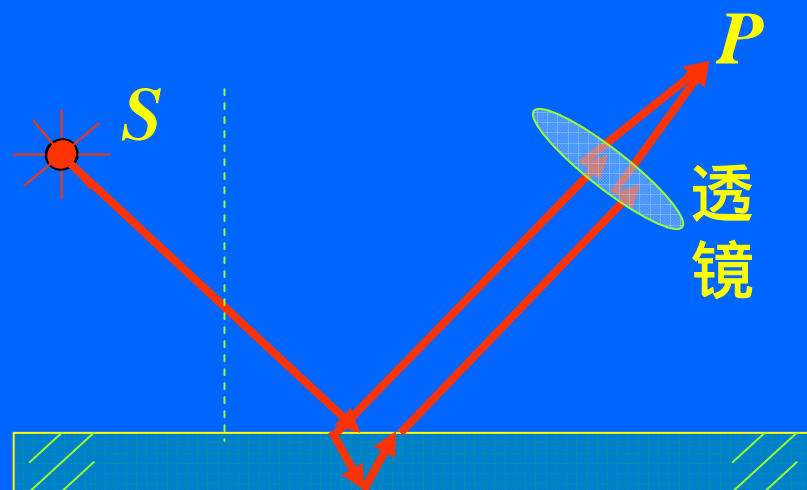


典型实验---杨氏双缝干涉

## 2.分振幅法



通过上下表面反射，把入射光分为两部分，相当于将入射光强（振幅）分为两部分再迭加。

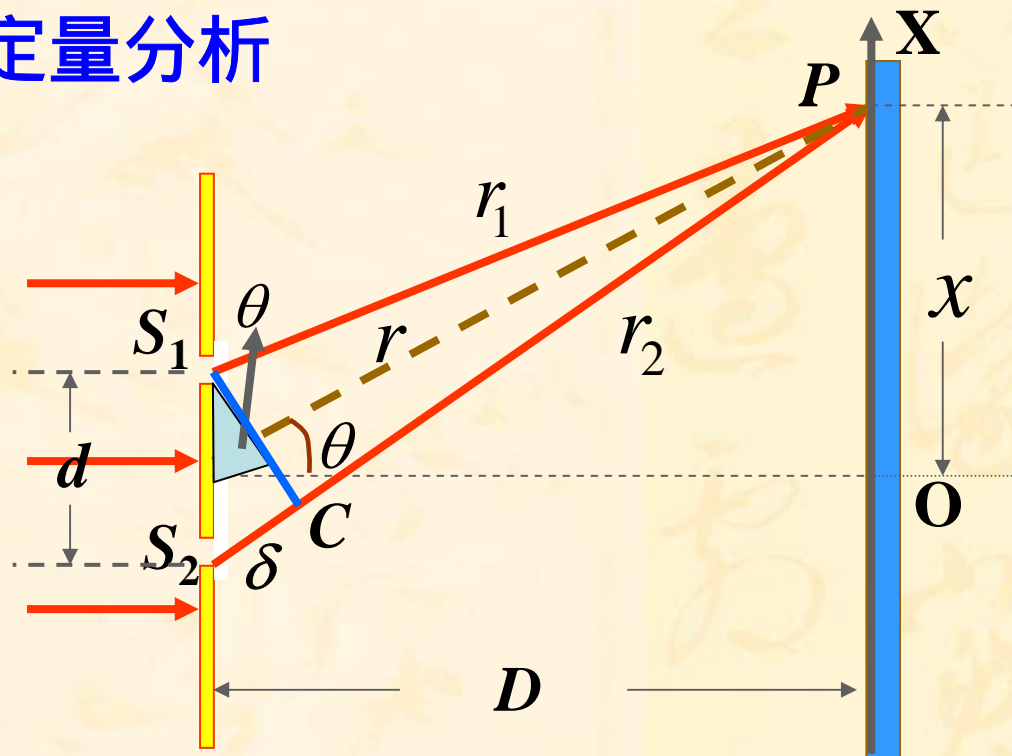


薄膜

剖面图

## § 7-2 双缝干涉 (Double-slit Interference)

### 定量分析



$$D \gg d$$

作辅助线  $S_1C \perp r_2$

$$\delta = r_2 - r_1$$

$$= d \sin\theta \approx d \tan\theta$$

$$\approx \frac{d}{D} x$$

另一方法：由图可得

$$r_1^2 = D^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2$$

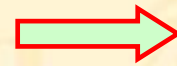
$$r_2^2 = D^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2$$

两式相减得

$$r_2^2 - r_1^2 = \left(x + \frac{d}{2}\right)^2 - \left(x - \frac{d}{2}\right)^2 = 2xd$$

又因  $(r_2 - r_1)(r_2 + r_1) = \delta(r_2 + r_1) = 2xd$

$\because D \gg d \therefore r_2 + r_1 \approx 2D,$



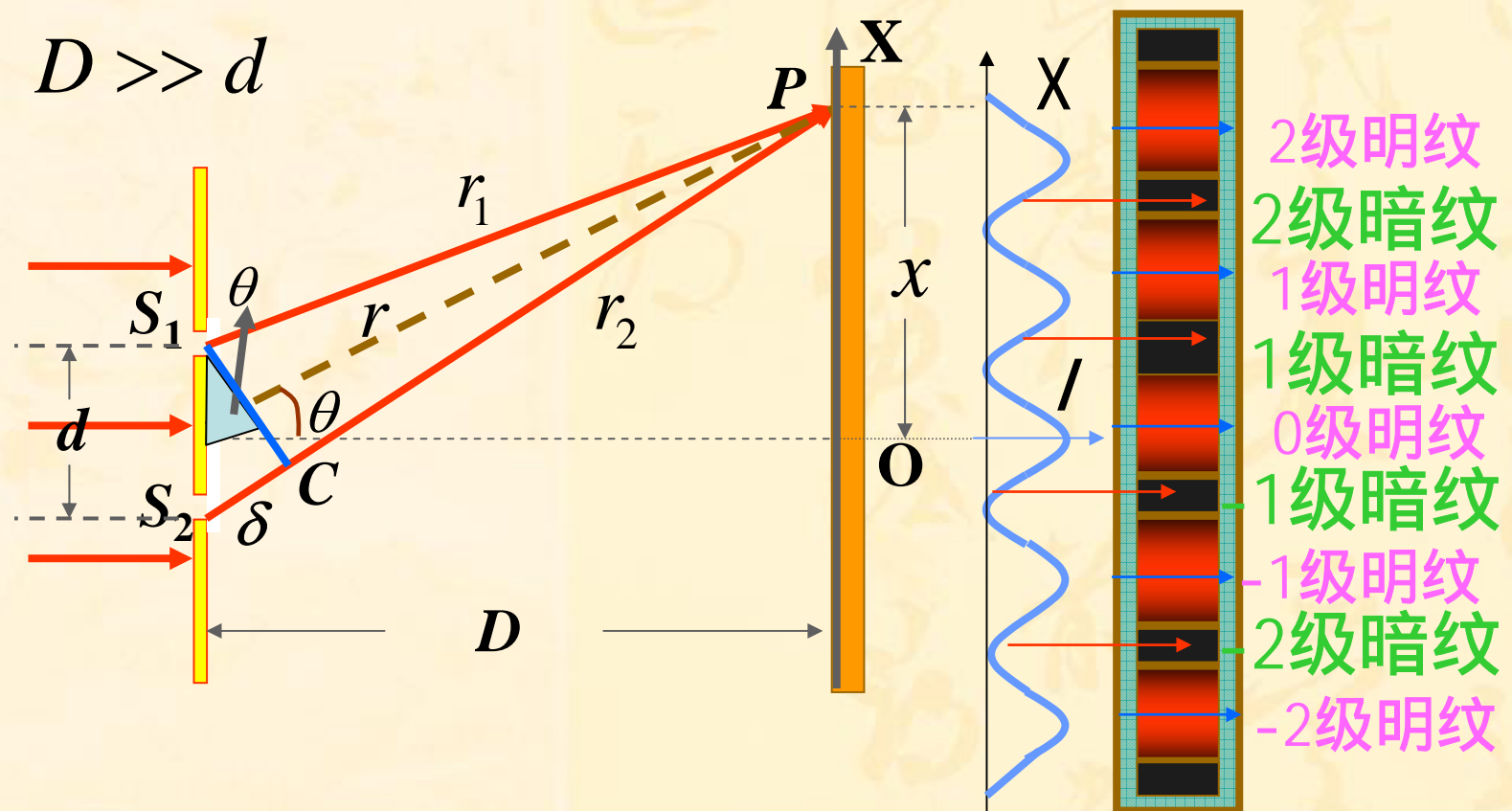
$$\delta = \frac{d}{D}x$$

由波的干涉条件得

$$\delta = \frac{d}{D}x = \begin{cases} \pm k\lambda & k = 0.1.2.3 \dots \text{明纹} \\ \pm (2k+1)\lambda/2 & k = 1.2.3 \dots \text{暗纹} \end{cases}$$

# 明暗纹位置：

$$x = \begin{cases} \pm k \frac{D}{d} \lambda & k = 0.1.2.3.4 \dots (\text{明纹}) \\ \pm (2k + 1) \frac{D}{d} \frac{\lambda}{2} & k = 1.2.3 \dots (\text{暗纹}) \end{cases}$$



## 讨论

1. 第 $k$ 级干涉条纹对称分布在中央明纹两侧， $k$ 称为干涉级次。
2. 双缝干涉条纹是等间距的，与干涉级次无关：

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



条纹间距  $\Delta x$   $\lambda$ 、 $D$ ，反比于双缝间距  $d$ 。

只有 $d$ 足够小， $D$ 足够大，才可观察到干涉现象。

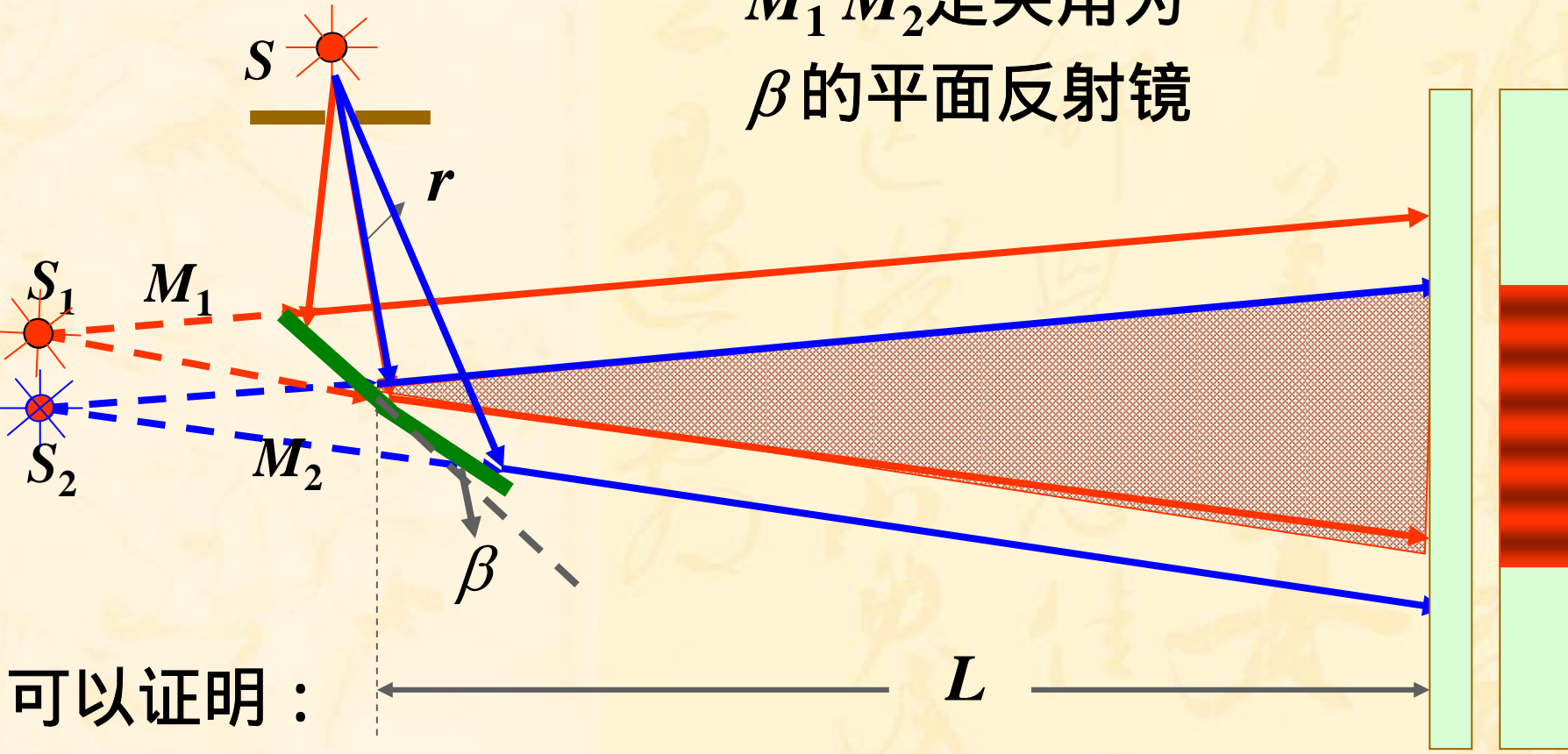
3.  $d$ 、 $D$  固定时， $\Delta x \propto \lambda$ ，波长越小，干条纹越密；  
波长越长，条纹间距越大。

当用白光入射时，除中央条纹是白色外，其它各级明条纹将随 $\lambda$ 的不同而错开，形成由紫到红的彩色条纹，同时干涉级次高的条纹将重叠。



# 三、菲涅尔双面镜

$M_1 M_2$ 是夹角为  $\beta$  的平面反射镜



可以证明：

$$d = 2r \sin \beta$$

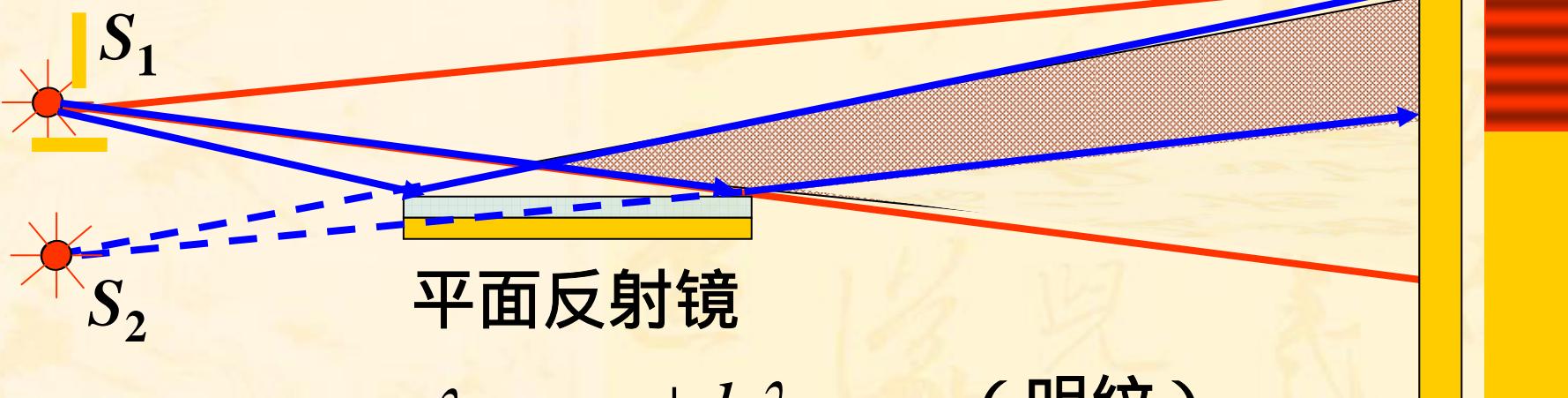
$$D = L + r \cos \beta$$

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



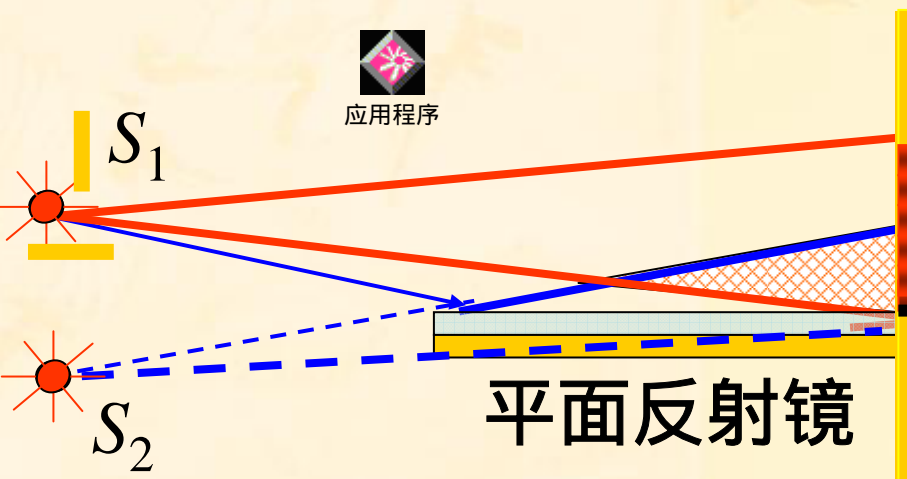


# 四、洛埃镜实验



平面反射镜

$$\delta \approx d \frac{x}{D} + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} \pm k\lambda & \text{(明纹)} \\ \pm (2k + 1)\lambda / 2 & \text{(暗纹)} \end{cases}$$



此处总为暗纹，但两光几何路径相等，说明反射时产生半波损失！