

第三节

双缝干涉

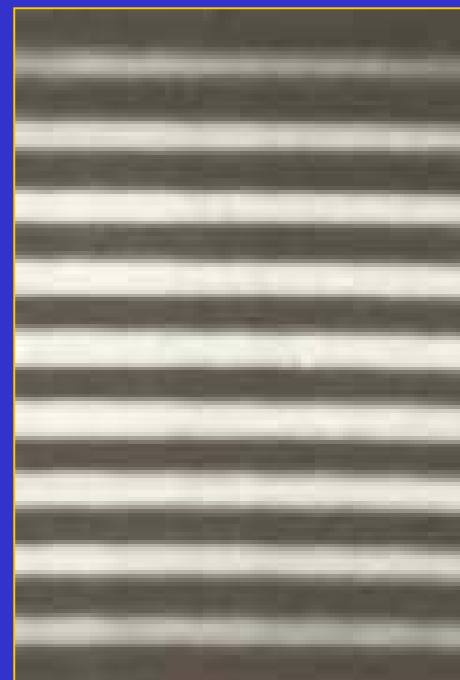
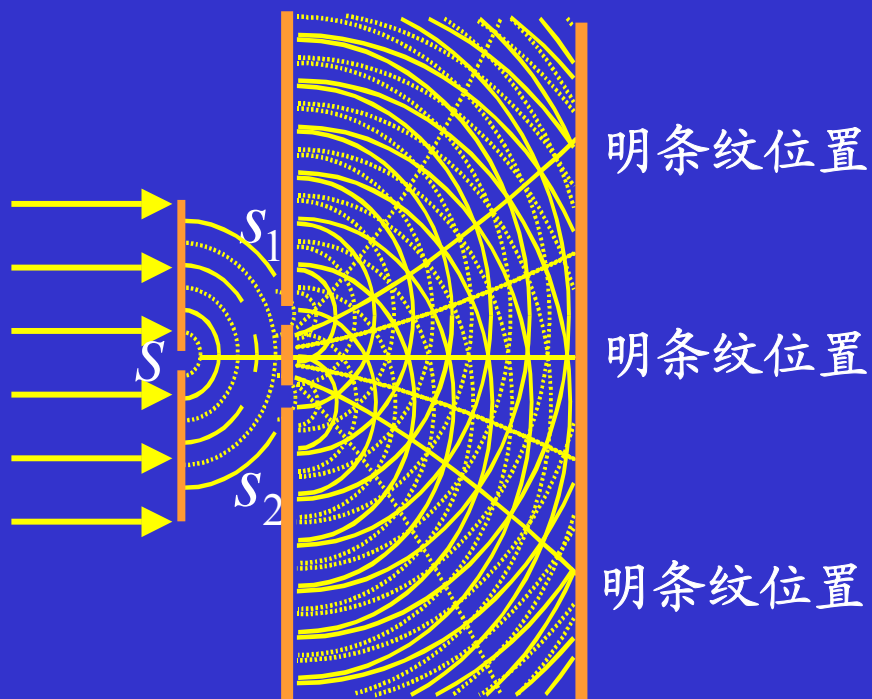


杨(T.Young)在1801
年首先发现光的干涉
现象，并首次测量了
光波的波长。

几种获得相干光的方法

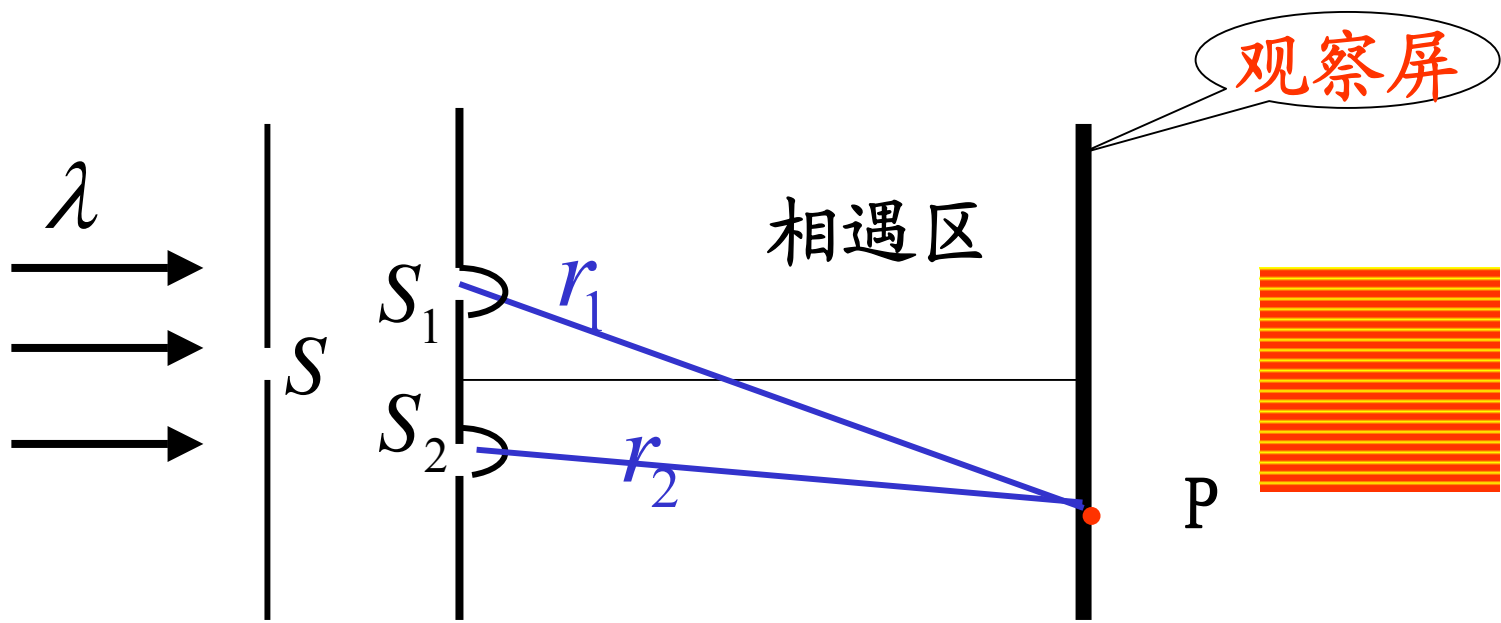
一. 杨氏实验 (分波阵面法)

1. 实验现象



杨氏双缝干涉条纹的特点：

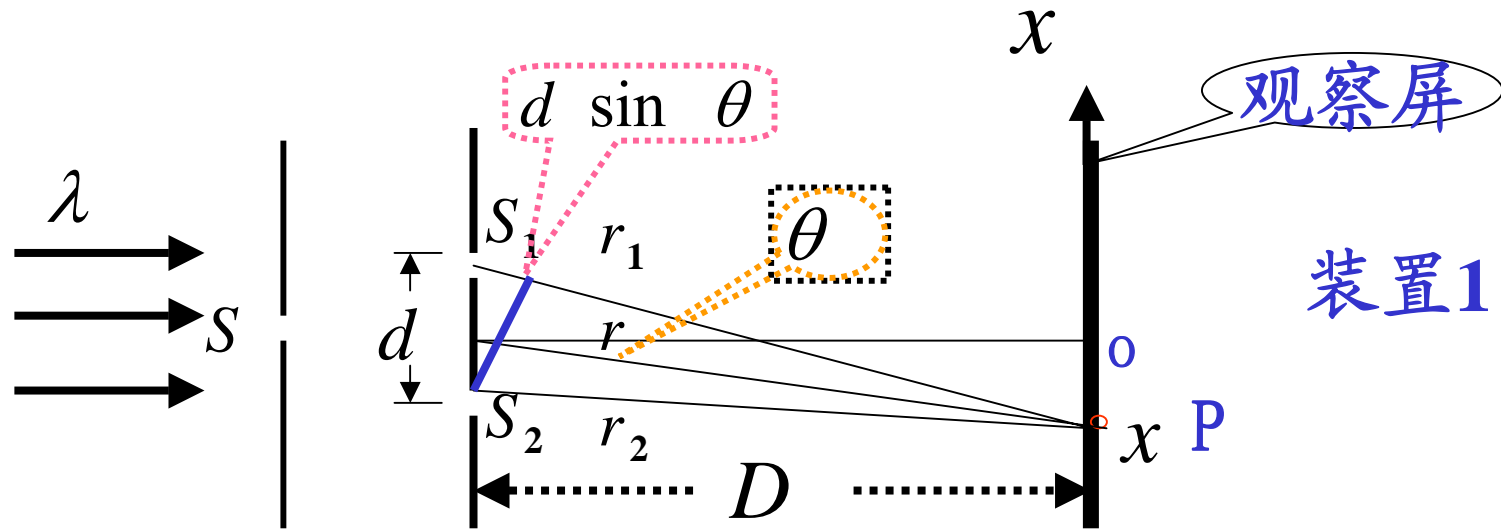
- (1)、相邻条纹的间距彼此相等；
- (2)、以中央处的明条纹为中心成对称分布；
- (3)、不同单色光（即不同波长的光波）得到的条纹间距不等，波长越短，条纹越密，波长越长，条纹越疏。
- (4)、如果用白光入射，屏幕只有中央条纹是白色的，其它各级条纹是彩色的，波长由紫到红向外展开。
- (5)、条纹级数有限。
- (6)、各级明条纹亮度相近。



强度分布

步骤

- 确定相干光束
- 计算光程差
- 根据相长 相消条件确定坐标



$D \gg d$ $d \cdots mm$ $D \cdots m$ $r_1 \approx r_2 \approx r$

两光线光程差 $d \sin \theta$

因为两光线几乎平行 所以 θ 角较小

$$d \sin \theta \approx d \operatorname{tg} \theta$$

$$d \sin \theta \approx d \operatorname{tg} \theta$$

$$= d \frac{x}{D} \left\{ \begin{array}{l} k\lambda \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \text{ 亮纹} \\ \frac{\lambda}{2}(2k + 1) \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \text{ 暗纹} \end{array} \right.$$

亮纹所在的位置坐标 $x = \frac{D}{d} k \lambda$

暗纹所在的位置坐标 $x = \frac{D}{2d} (2k + 1)$

相邻两纹或相邻暗纹间距相等

均等于 $\Delta x = \frac{D}{d} \lambda$

所以双缝干涉花样是一组等间距直条纹

★ 讨论

(1) 屏上相邻明条纹中心或相邻暗条纹中心间距为

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



一系列平行的
明暗相间条纹

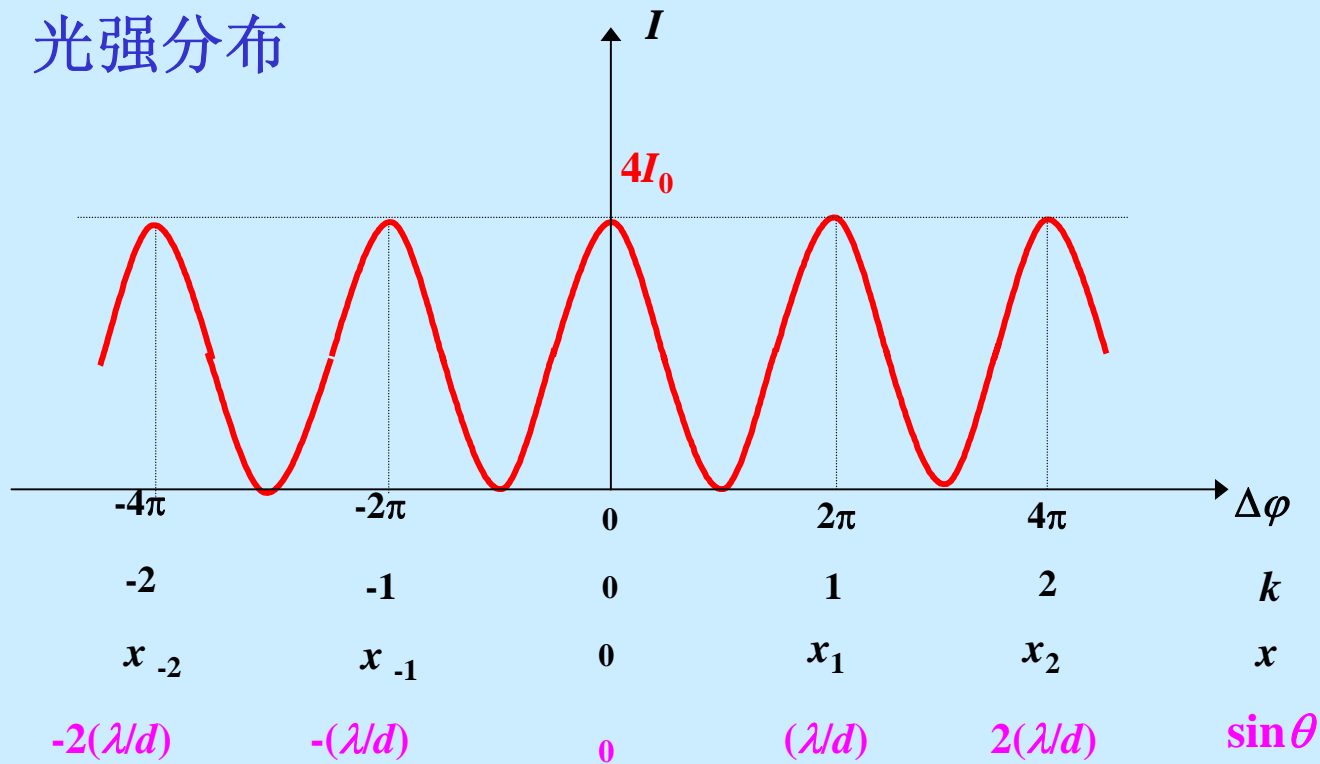
(2) 已知 d , D 及 Δx , 可测 λ

(3) Δx 正比 λ , D ; 反比 d

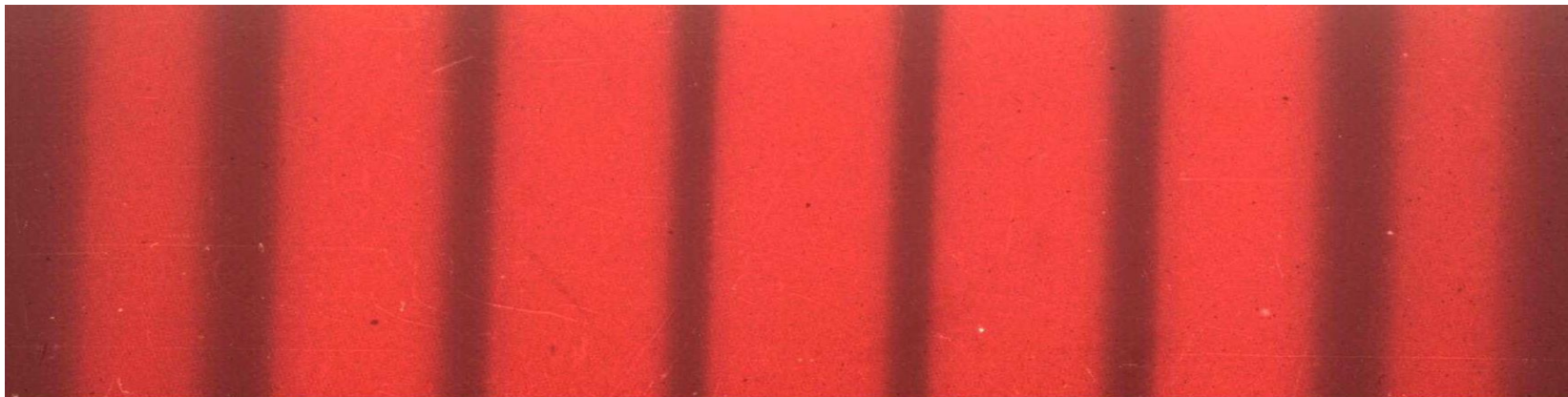
(4) 当用白光作为光源时, 在零级白色中央条纹两边对称地排列着几条彩色条纹, 从中心往上看, 彩色为紫到红.

($\Delta x \propto \lambda$).

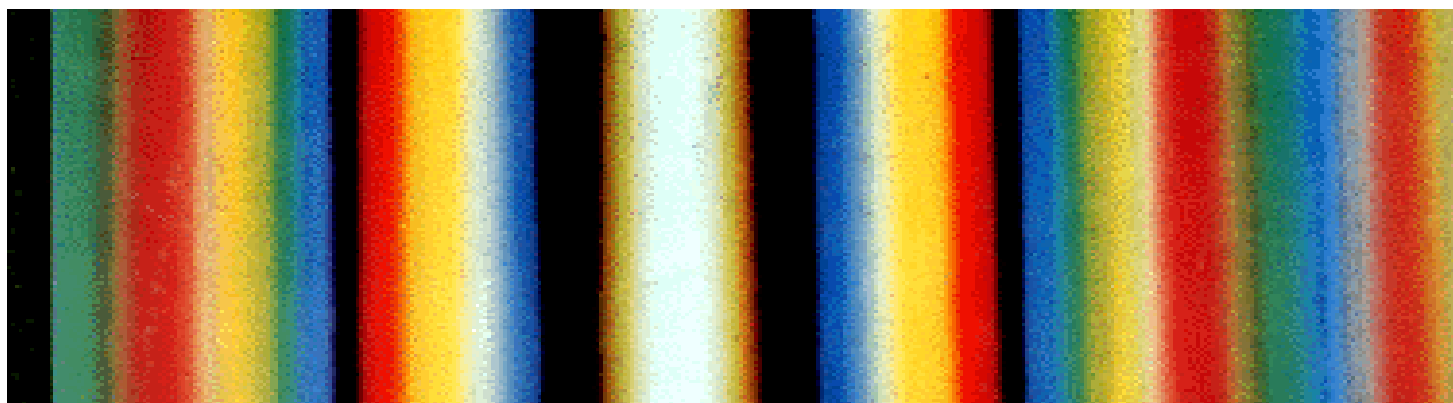
(5) 光强分布



双缝干涉的光强曲线



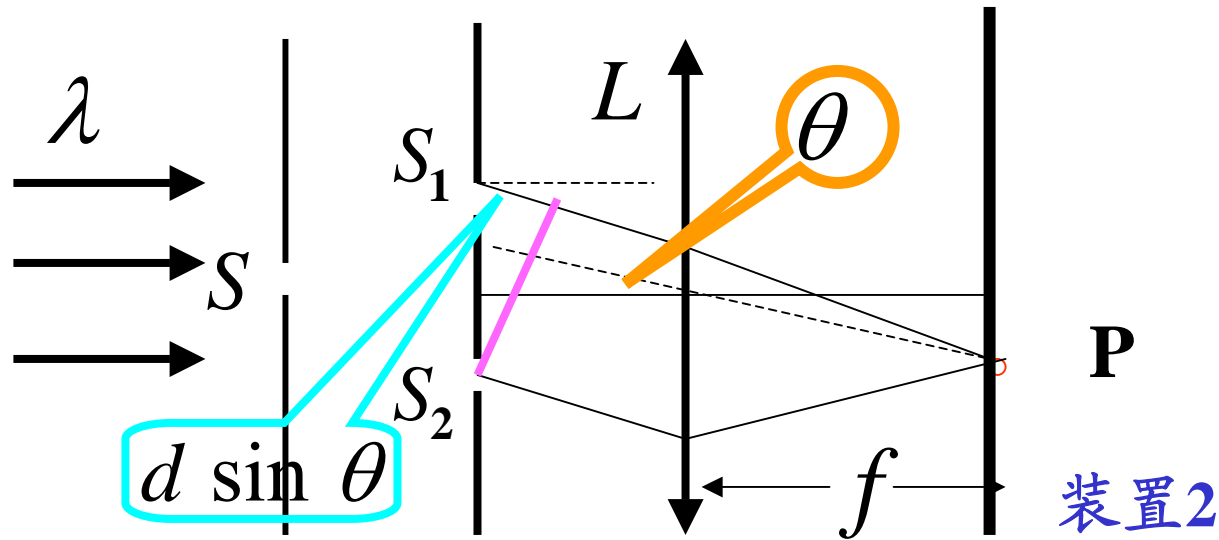
红光入射的杨氏双缝干涉照片



白光入射的杨氏双缝干涉照片

实际明纹都有宽度，双缝干涉的明条纹不细锐(对观测不利)。

2. 双缝干涉的常用装置



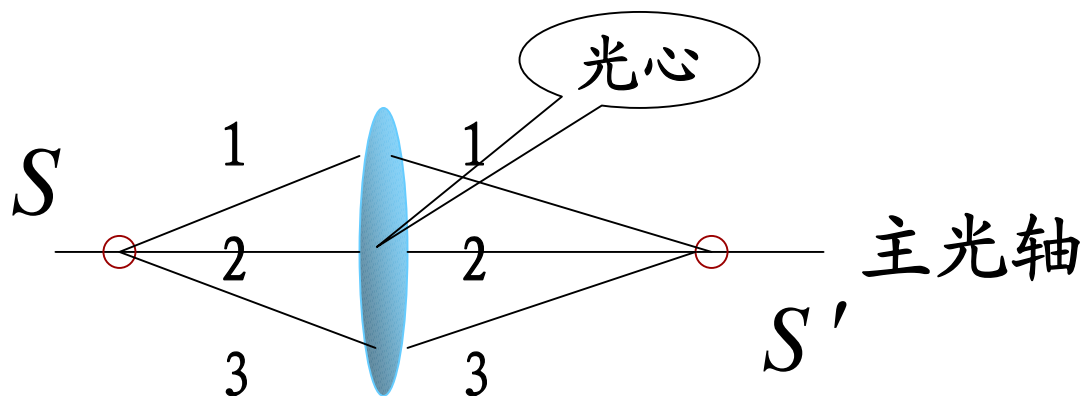
观察结果与装置1相同!

下面需解决的问题是

透镜存在时光程差怎么计算

3. 透镜存在时相位差的计算

透镜成像不会引入附加相位差



物点和像点之间各
光线光程差为零

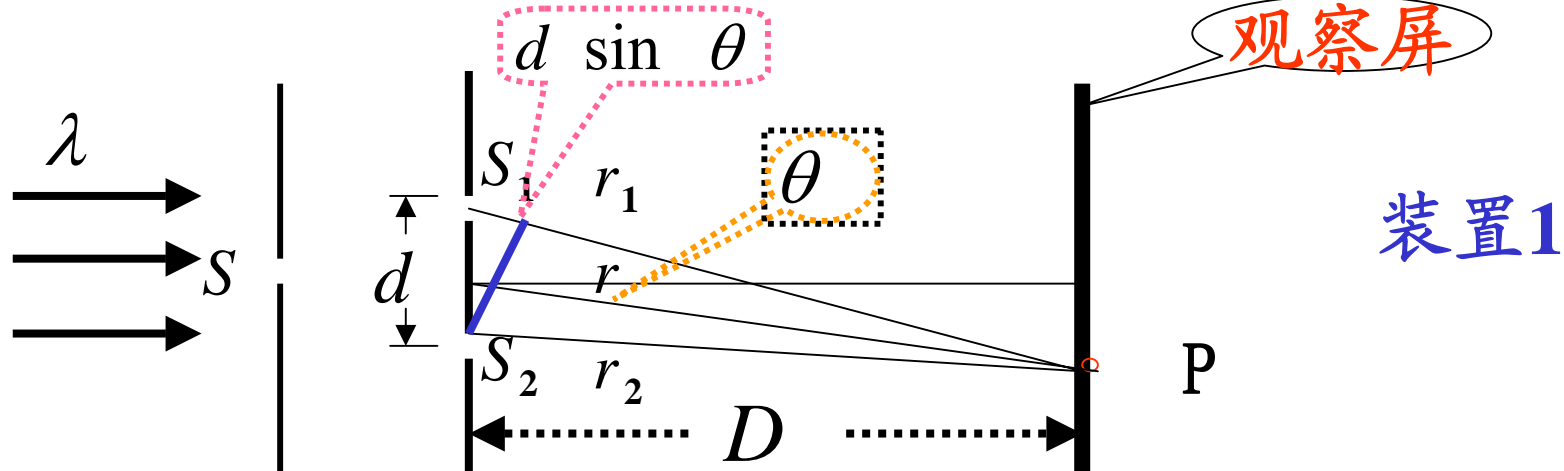
或，各光线等光程

即

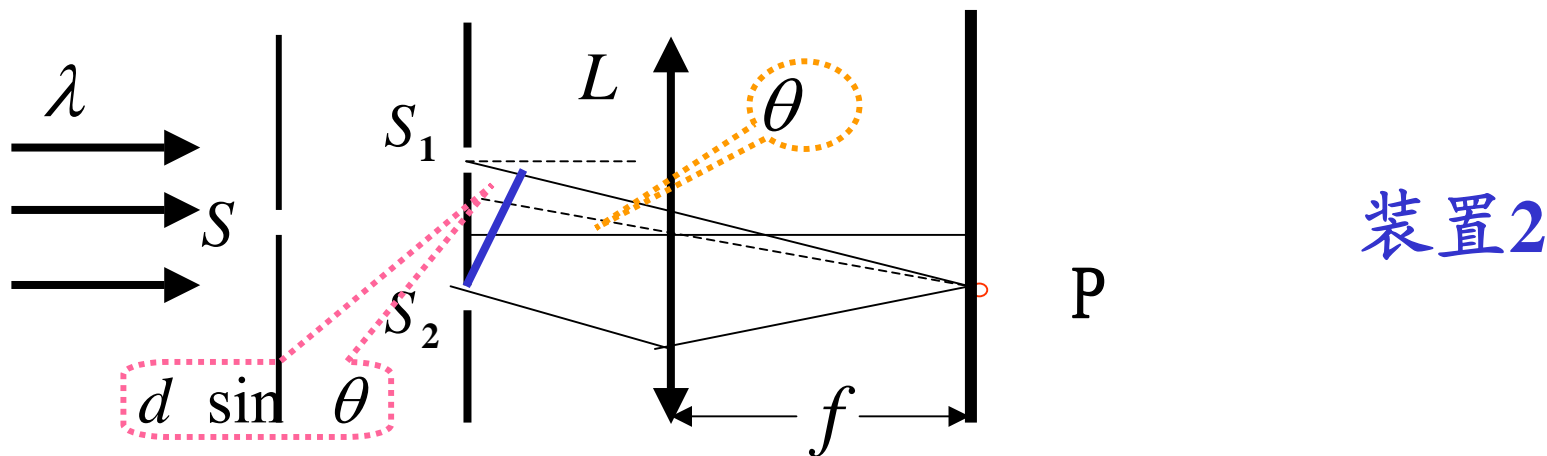


两波面
之间光
程相等

结论：透镜成像不会引入附加相位差



$$D \gg d \quad d \cdots mm \quad D \cdots m \quad r_1 \approx r_2 \approx r$$

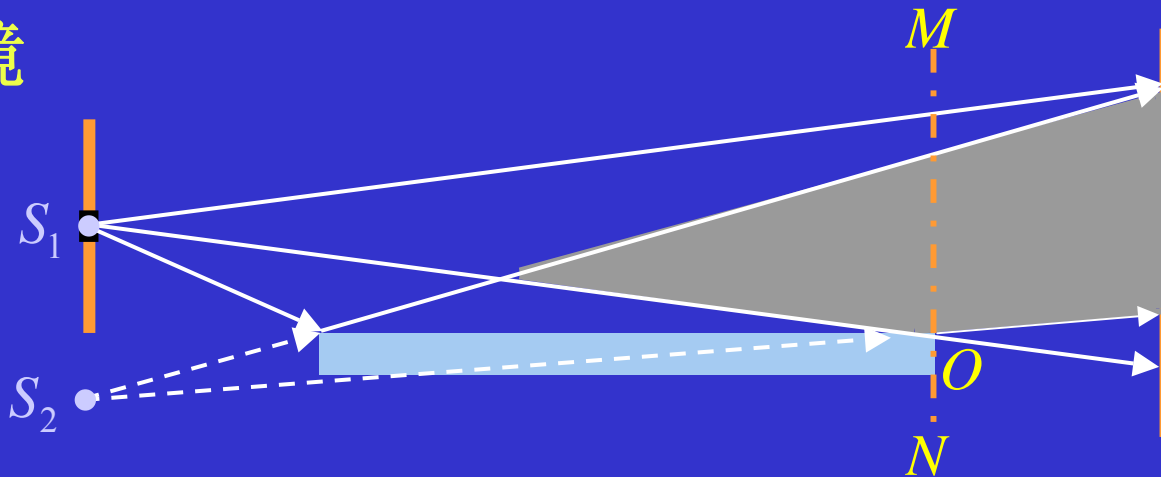


两个装置的得到的相干光线的光程差相同

都等于 $d \sin \theta$

二. 其他类似装置

1. 洛埃镜



(洛埃镜实验结果与杨氏双缝干涉相似)

- 接触处, 屏上 O 点出现暗条纹 \longrightarrow 半波损失

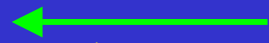
相当于入射波与反射波之间附加了一个半波长的波程差

$n_1 < n_2$ 有半波损失

$n_1 > n_2$ 无半波损失

- 透射波没有半波损失

入射波 n_1



反射波

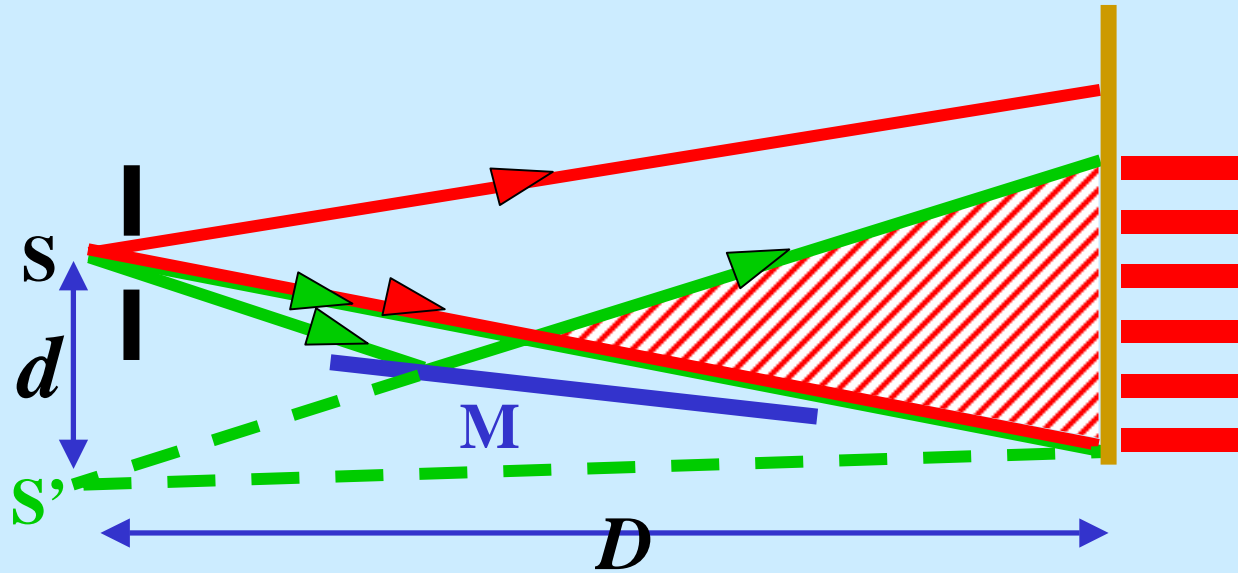
n_2



透射波

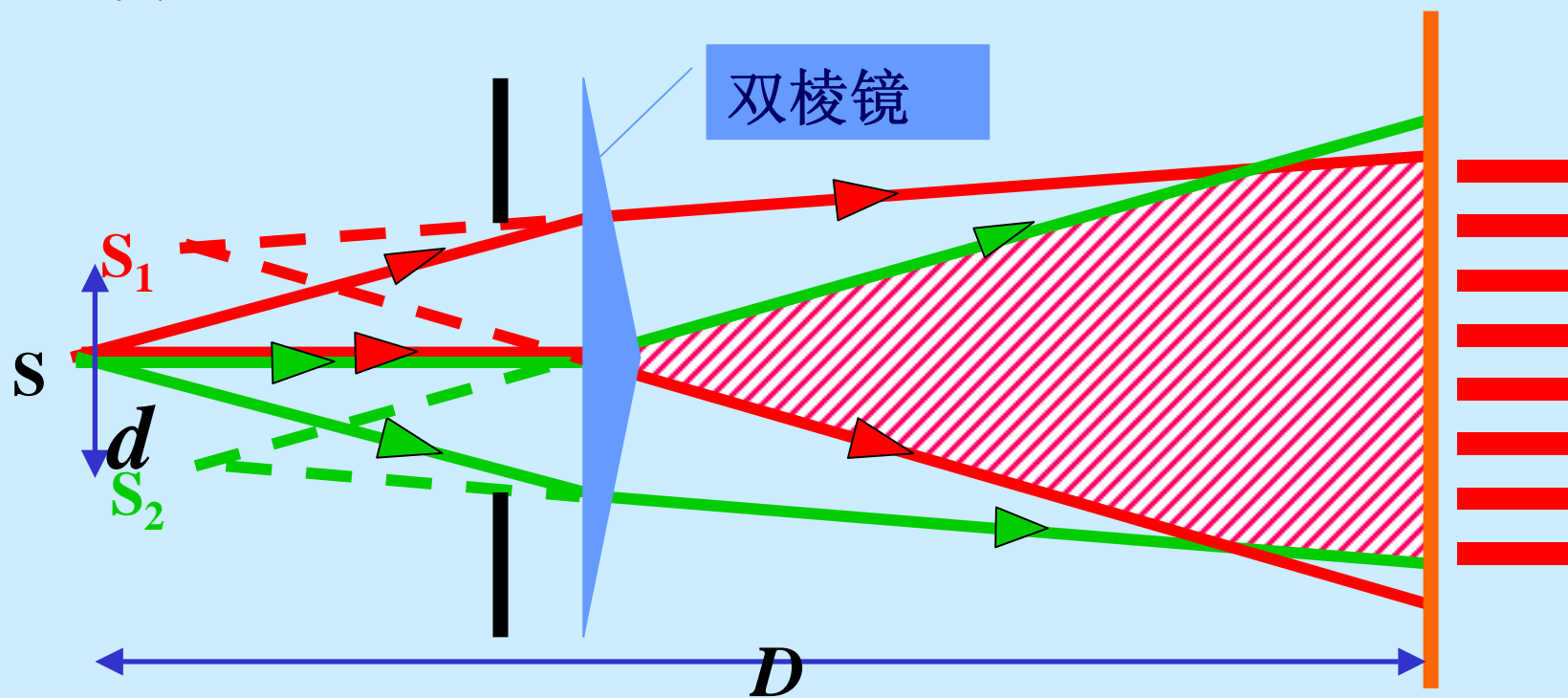
处理办法：
等效双缝

$$d \sin \theta + \frac{\lambda}{2} \quad \text{或} \quad \frac{d}{D} x + \frac{\lambda}{2}$$



洛埃镜的干涉

2. 费涅耳双棱镜



双棱镜的干涉

例 用折射率 $n = 1.58$ 的很薄的云母片覆盖在双缝实验中的一条缝上，这时屏上的第七级亮条纹移到原来的零级亮条纹的位置上。如果入射光波长为 550 nm

求 此云母片的厚度是多少？

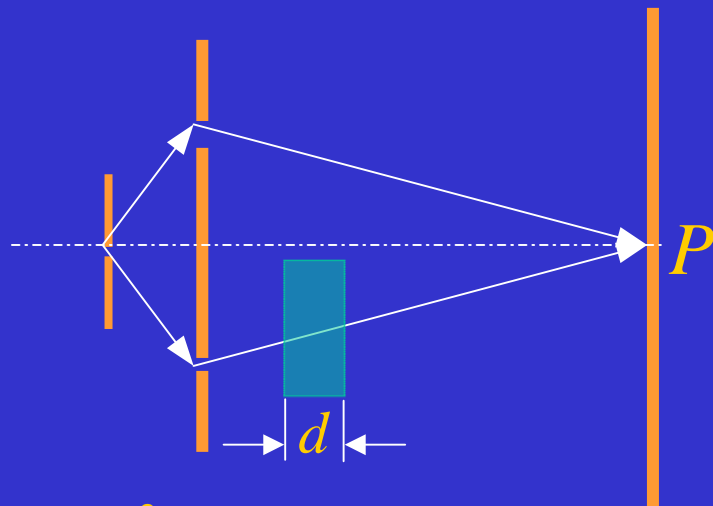
解 设云母片厚度为 d 。无云母片时，零级亮纹在屏上 P 点，则到达 P 点的两束光的光程差为零。加上云母片后，到达 P 点的两光束的光程差为

$$\delta = (n - 1)d$$

当 P 点为第七级明纹位置时

$$\delta = 7\lambda$$

$$d = \frac{7\lambda}{n - 1} = \frac{7 \times 550 \times 10^{-6}}{1.58 - 1} = 6.6 \times 10^{-3} \text{ mm}$$



例，在双缝实验中 $SS_1 = SS_2$ ，用波长为 λ 的光照射双缝 S_1, S_2 通过空气后在屏幕形成干涉条纹，已知P点为第三级明纹，则 S_1, S_2 到P点的光程差为多少？若将整个装置放入某种透明液体中，P点为第四级明纹，该液体折射率为多少？

解：明纹条件：
$$\delta = r_2 - r_1 = k\lambda$$

空气 $n = 1, k = 3 \quad \delta = 3\lambda$

液体 $\delta = n(r_2 - r_1) = 4\lambda$

$$n = \frac{4\lambda}{r_2 - r_1} = 1.33$$

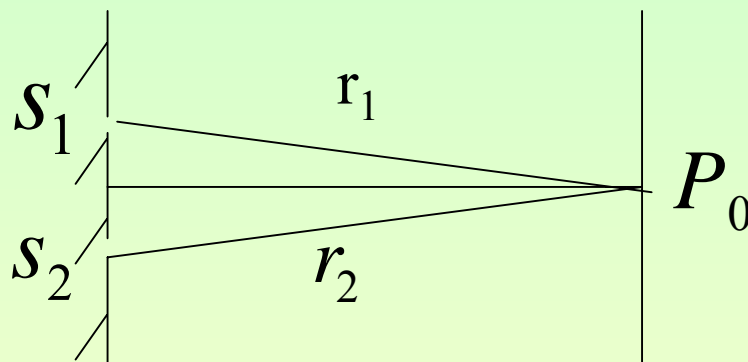
例，双缝干涉实验装置中，两缝用厚度均为 e ，折射率分别为 n_1, n_2 ($n_1 > n_2$)的透明介质膜覆盖，波长为 λ 的平行单色光斜入射到双缝上，入射角为 θ ，双缝间距为 d ，在屏幕中央处两束光的位相差为多少？

解：
$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta$$

$$\delta = d \sin \theta + (r_1 - e) + n_1 e - [(r_2 - e) + n_2 e]$$

$$\delta = d \sin \theta + (n_1 - n_2) e$$

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= \frac{2\pi}{\lambda} \delta \\ &= \frac{2\pi}{\lambda} [d \sin \theta + (n_1 - n_2) e] \end{aligned}$$



四、空间相干性

讨论：光源宽度对干涉条纹衬比度的影响。

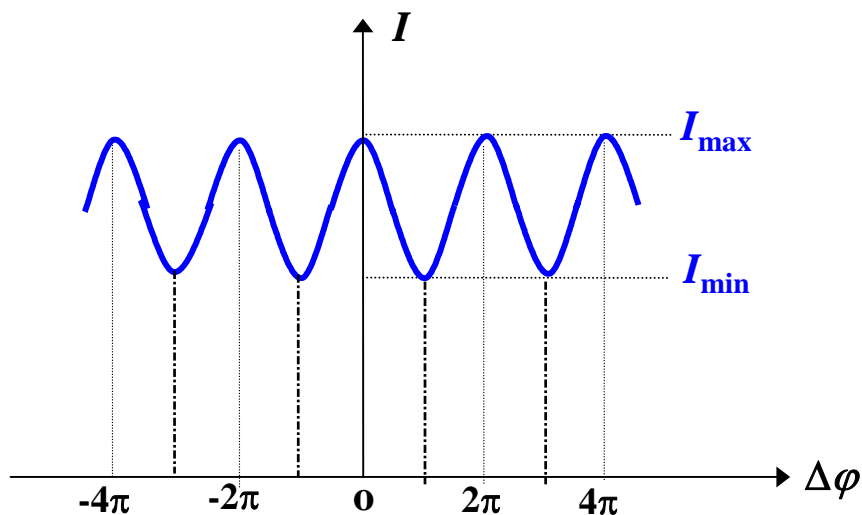
1、条纹衬比度(contrast):

(1) 衬比度(对比度、反衬度)

·衬比度： $V = 0 \sim 1$

·若 $I_1 \neq I_2$, 则 $I_{\max} \neq I_{\min}$,
有 $V < 1$, 衬比度差。

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$



(a) $V < 1$

若 $I_1 = I_2$ ，则 $I_{\min} = 0$ ，有 $V = 1$ ，衬比度好