

波动光学

第一章：光的干涉

第二章：光的衍射

第三章：光的偏振

“光” 是什么——人类对光的认识

1. 光沿直线传播

2. 光的反射

3. 光的折射——1621年



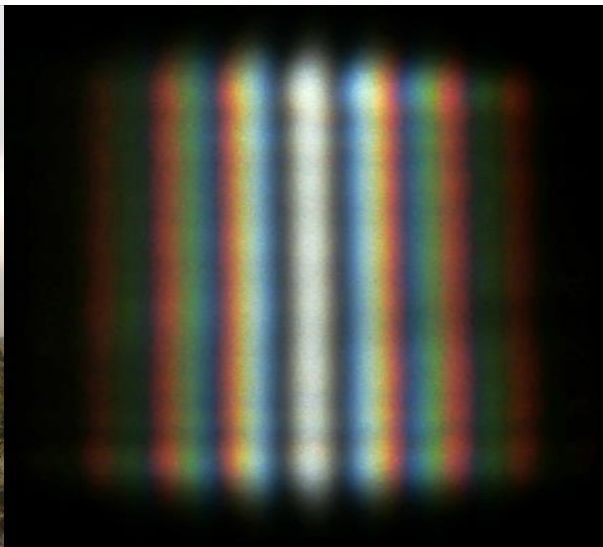
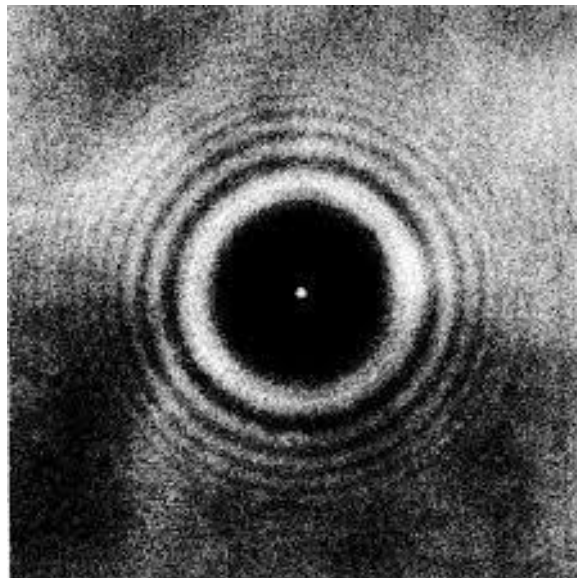
“光”是什么——人类对光的认识

4. 光的衍射——1665年

5. 光的色散——1666年

6. 光的干涉——1803年

7. 光的偏振——1809年



光学分类

几何光学

以直线传播为基础. 折射、反射定律...

物理光学

波动光学: 以麦克斯韦电磁理论为基础,
光的干涉、衍射、偏振

量子光学: 以量子力学为基础,
光与物质作用

现代光学

非线性光学

光纤通讯

信息光学

集成光学

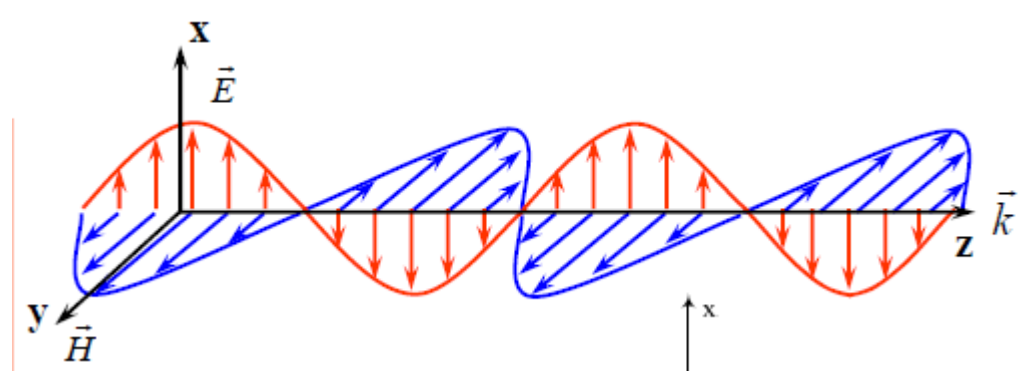
全息术

统计光学

激光光谱学

.....

1、光是电磁波



平面电磁波方程

$$\begin{cases} E = E_0 \cos \omega(t - \frac{r}{u}) \\ H = H_0 \cos \omega(t - \frac{r}{u}) \end{cases}$$

光矢量： E 矢量能引起人眼视觉和底片感光，叫做光矢量。

可见光——

频率： $7.5 \times 10^{14} \text{ Hz} \sim 3.9 \times 10^{14} \text{ Hz}$

波长： $390 \text{ nm} \sim 760 \text{ nm}$

2、光强

光强: $I = \frac{1}{2} E_0 H_0 \propto E_0^2$

3、光速和折射率

真空中光速 $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

介质中光速 $u = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0 \mu_r}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} = \frac{c}{n}$

介质的折射率 $n = \frac{c}{u} = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \approx \sqrt{\epsilon_r}$

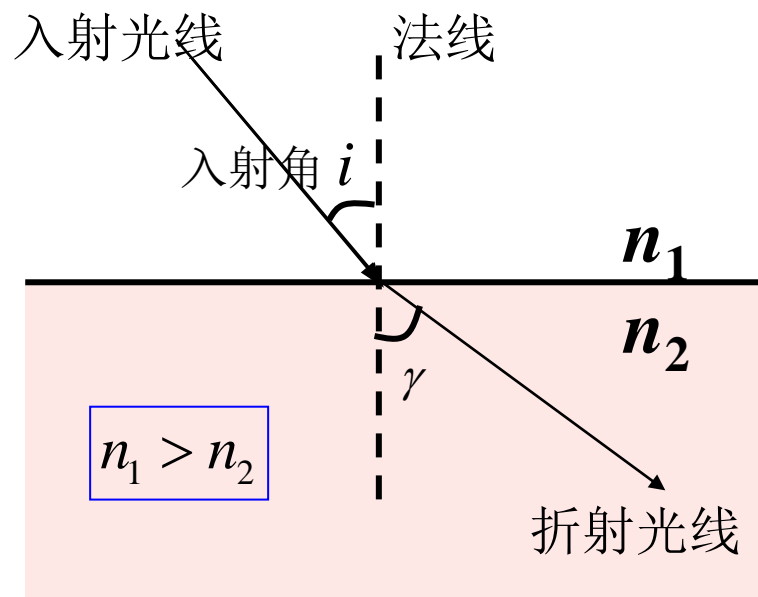
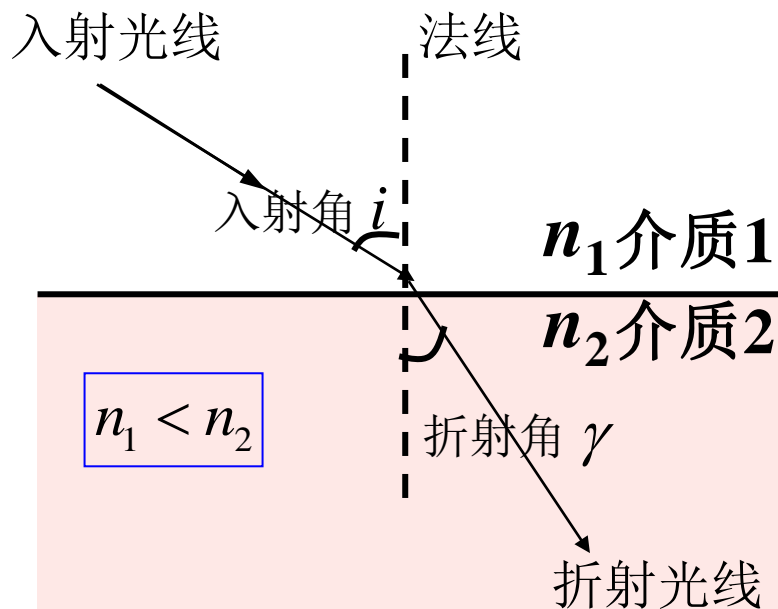
介质中频率 ν 不变, 波长、波速皆改变。

介质中 $u = \lambda_n \nu$ 真空中 $c = \lambda \nu$

介质中波长与真空中波长关系为 $\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$

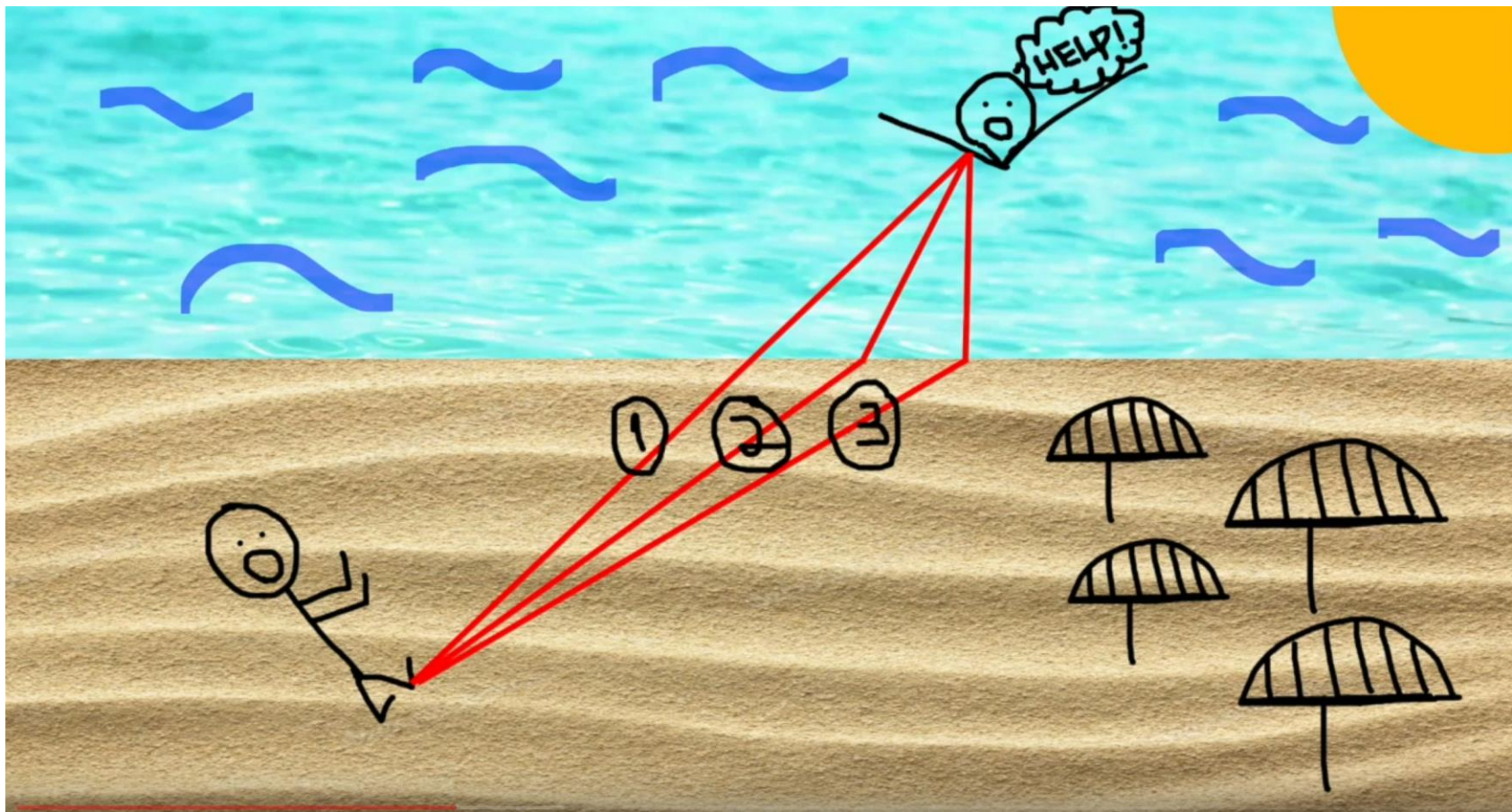
4、折射定律

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



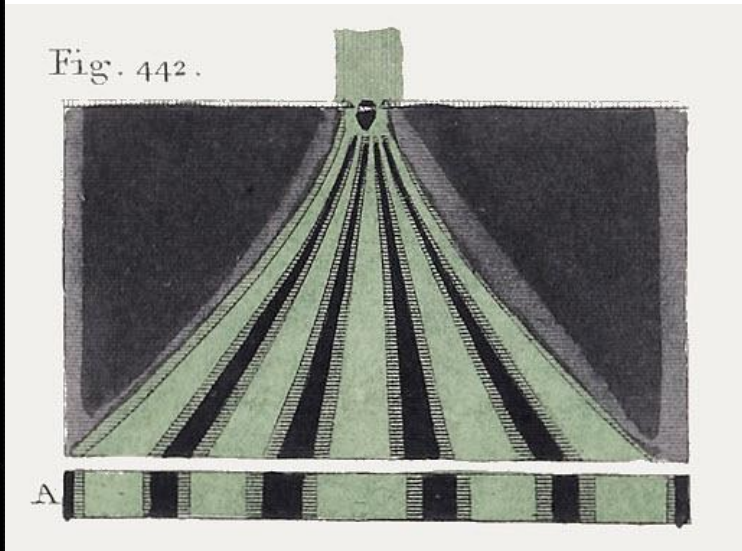
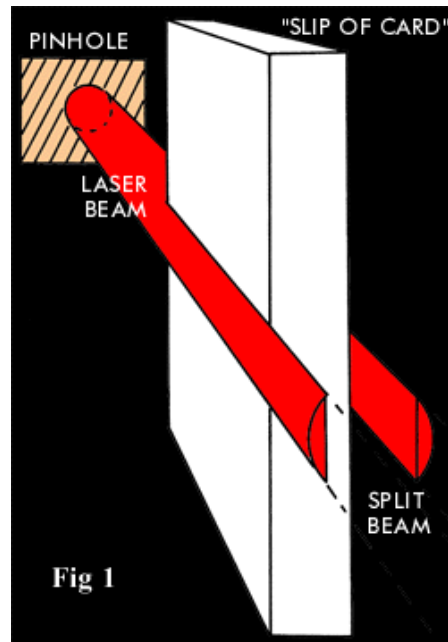
最短时间原理（费马原理）：在从一点行进到另一点的所有可能的路径中，光走的是需时最短的路径。

费马定理



第十一章 波动光学

1801年，英国科学家托马斯·杨向皇家学会提交了一篇著名的论文，题为《On the Theory of Light and Colours》（关于光和颜色的理论），论文里描述了各种干涉现象。1803年，他描述了他著名的双缝干涉实验。

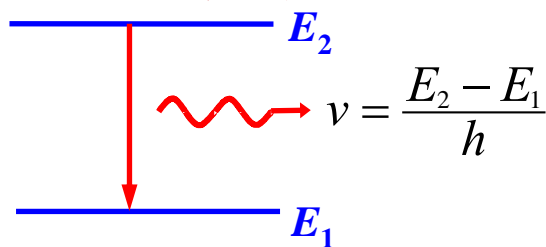


§ 1 杨氏双缝干涉

一、相干光

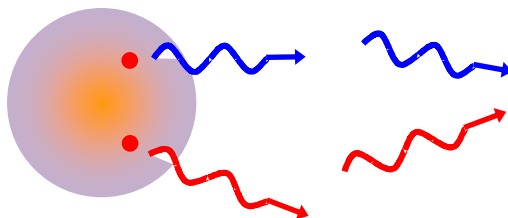
光源的最基本发光单元是分子、原子

能级跃迁辐射



1. 普通光源的发光特点

自发辐射



1) 一个原子每一次发光只能发出一个波列

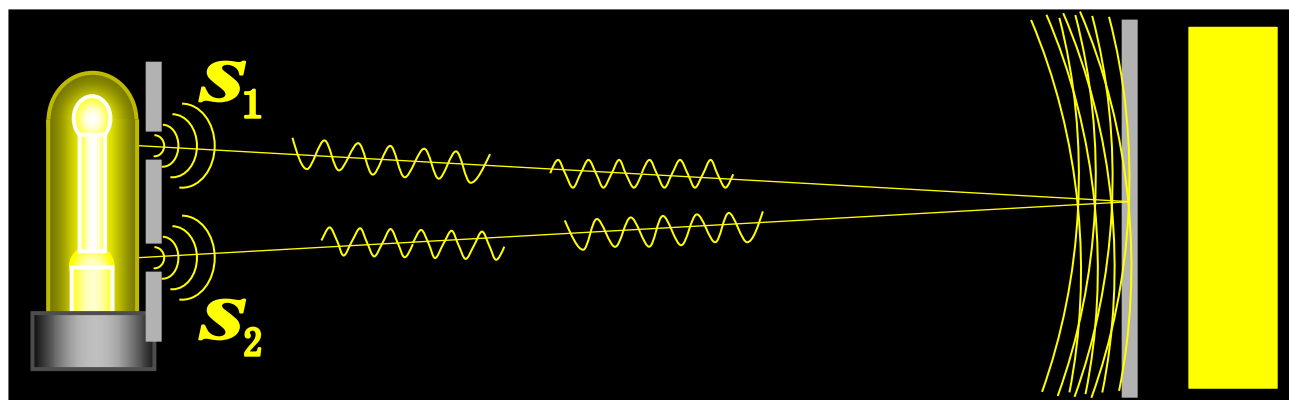
2) 原子的发光是断续的

3) 各原子的各次发光是完全相互独立的

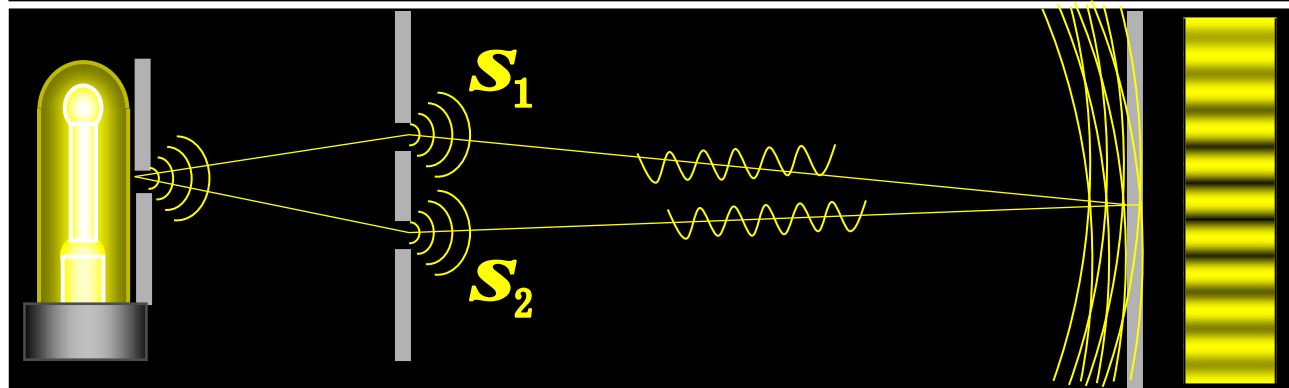
$L = \tau c$
 $\tau \sim \frac{1}{\Delta\nu} \sim 10^{-8} \text{ s}$

⇒ 两个普通光源或同一普通光源的不同部分所发出的光是不相干的

2. 相干光的获得



不满足相干
条件

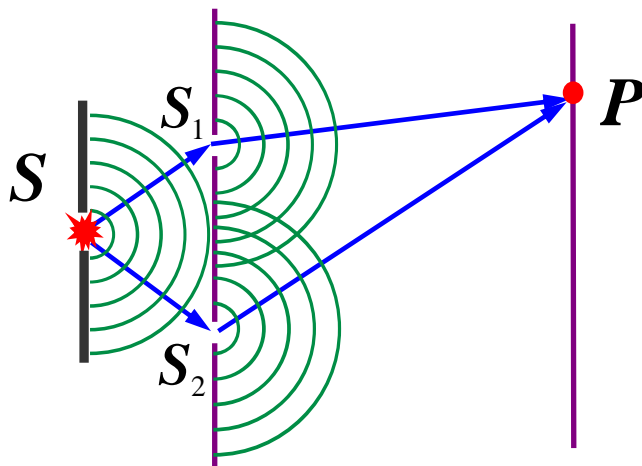


满足相
干条件

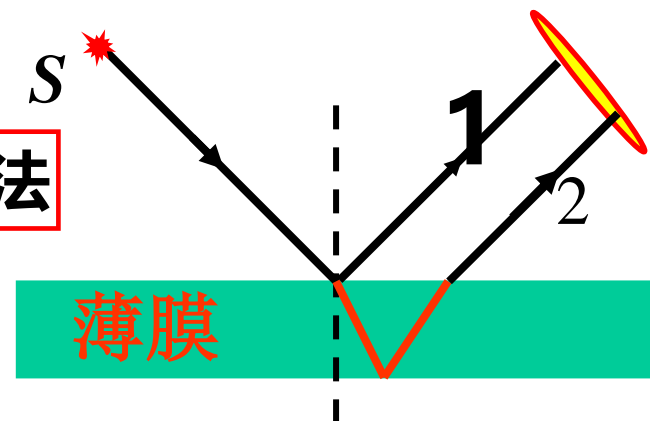
先分 后合

分波前法

分波面法



分振幅法



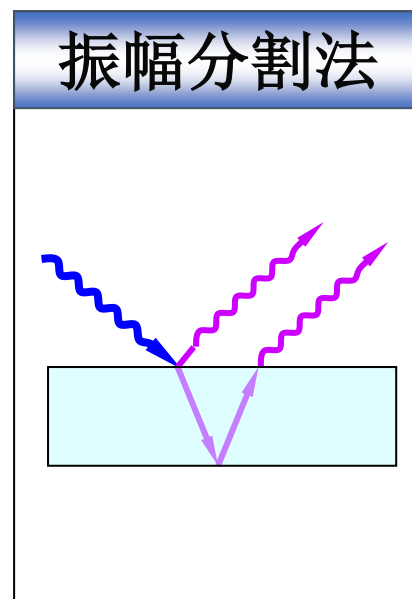
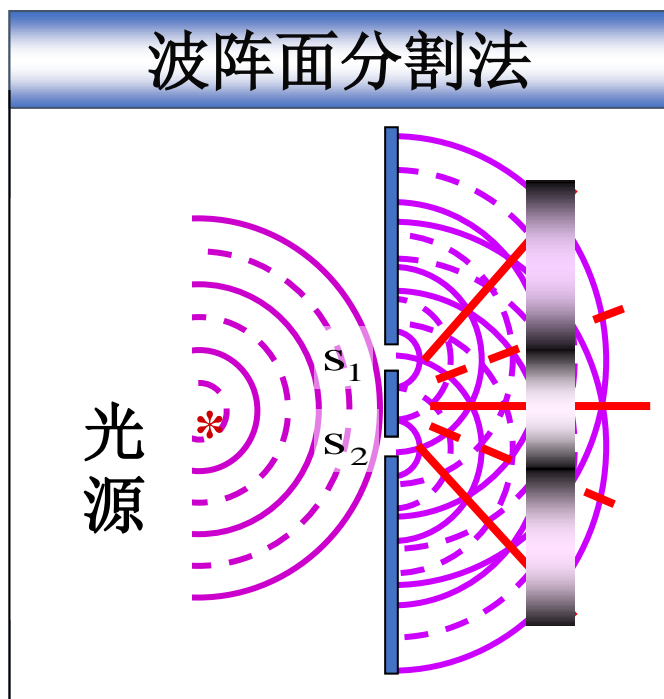
3. 光的干涉

光波的相干条件

- (1) 频率相同
- (2) 相位差恒定
- (3) 振动方向平行
(存在相互平行的振动分量)

光的干涉

两束相干光在相遇区域内，出现**光强非均匀稳定分布**的现象。



4. 光程与光程差

光程:

——光所经过的介质的折射率 n 与相应的几何路程 s 乘积.

如: S_1 到 P 的光程为 $n_1 r_1$

S_2 到 P 的光程为 $n_2 r_2$

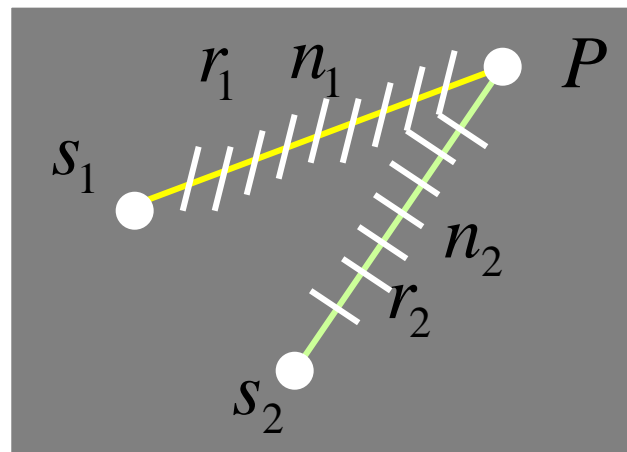
光程差: $\delta = (n_2 r_2 - n_1 r_1)$

$$E_1 = A_1 \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r_1 + \varphi_1)$$

$$E_2 = A_2 \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r_2 + \varphi_2)$$

设 $\varphi_1 = \varphi_2$

$$\text{相位差: } \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_2} r_2 - \frac{2\pi}{\lambda_1} r_1$$



$$\lambda_1 = \lambda / n_1 \quad \lambda_2 = \lambda / n_2$$

λ : 光在真空中的波长

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

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

即: 相位差 = $\frac{2\pi}{\lambda}$ 光程差

干涉加强和减弱的条件:

$$\text{相位差: } \begin{cases} \Delta\varphi = \pm 2k\pi & A = A_1 + A_2 & \text{干涉加强} \\ (k = 0 \ 1 \ 2 \dots\dots) \\ \Delta\varphi = \pm(2k+1)\pi & A = |A_1 - A_2| & \text{干涉减弱} \end{cases}$$

$$\text{若 } \varphi_1 = \varphi_2, \text{ 则 } \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta$$

$$\text{光程差: } \begin{cases} \delta = \pm k\lambda & A = A_1 + A_2 & \text{干涉加强} \\ (k = 0 \ 1 \ 2 \dots\dots) \\ \delta = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2} & A = |A_1 - A_2| & \text{干涉减弱} \end{cases}$$

一、杨氏双缝干涉实验

缝宽: 10^{-4} m

S_1 和 S_2 为两个相干光源

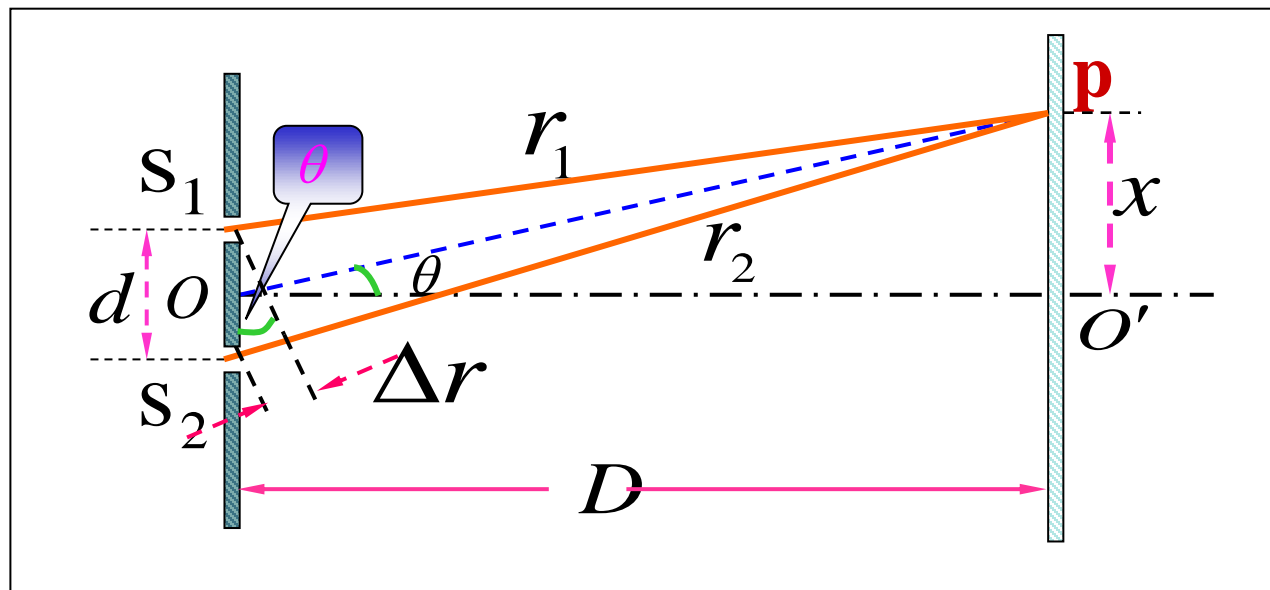
双缝距离 d : 0.1--3 mm

屏到双缝距离

D : 1--10 m

屏上横向观测范围:

10--50 cm



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

若 $I_1 = I_2 = I_0$

$$\text{则 } I = 2I_0(1 + \cos \Delta\varphi) = 4I_0 \cos^2 \frac{\Delta\varphi}{2}$$

$$\because D \gg d$$

$$\therefore \delta = r_2 - r_1$$

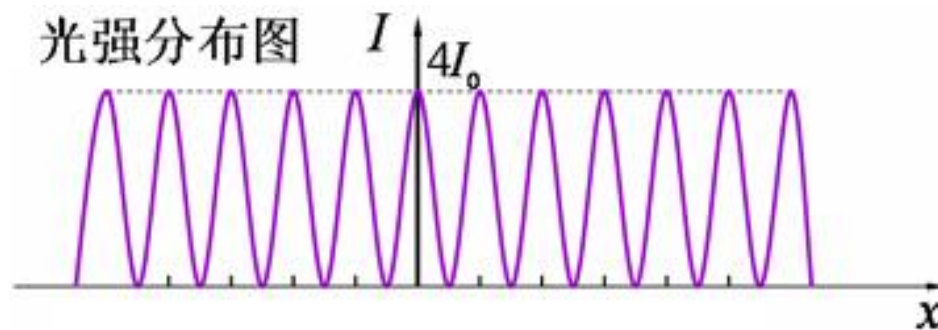
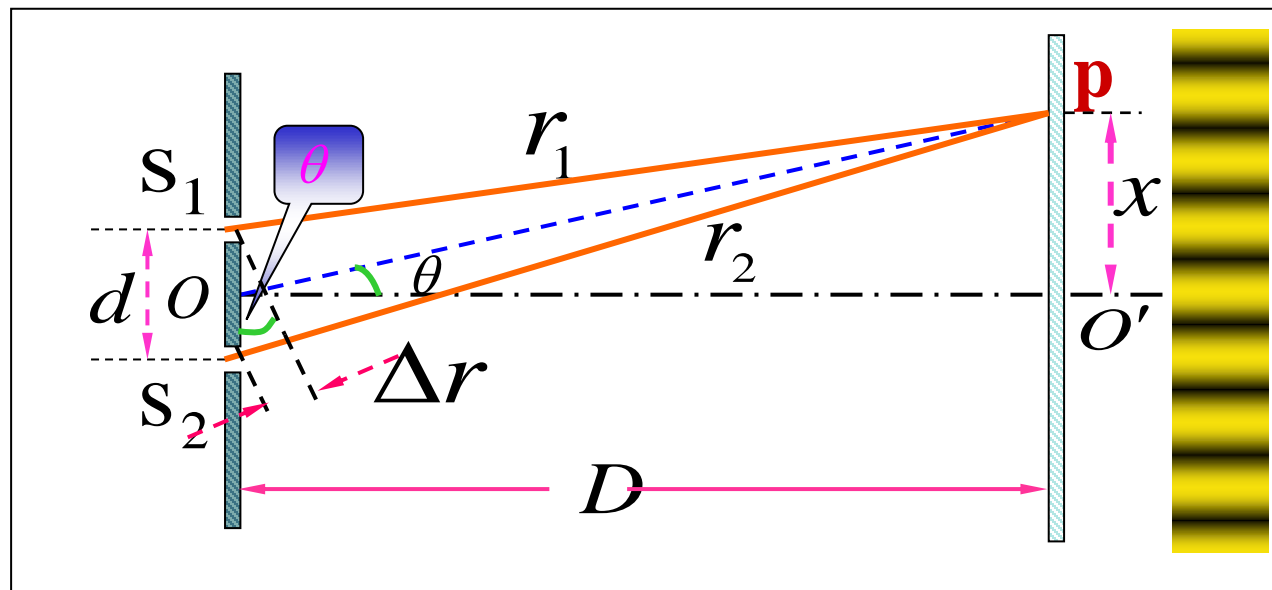
$$\approx d \sin \theta$$

$$\approx d \tan \theta$$

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

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

$$I = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi d}{\lambda D} x \right)$$



➤ 光强极大极小交替出现，形成明暗相间、等亮度、等间距的条纹。

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

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1) = \frac{2\pi}{\lambda}\delta \quad \delta = d \frac{x}{D} = \frac{d}{D}x$$

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

$$\text{明纹中心位置: } x = \pm k \frac{D}{d} \lambda \quad k = 0, 1, 2 \dots$$

$$\text{暗纹中心位置: } x = \pm (2k-1) \frac{D}{d} \frac{\lambda}{2} \quad k = 1, 2 \dots$$

条纹间距:(亮-亮、暗-暗)

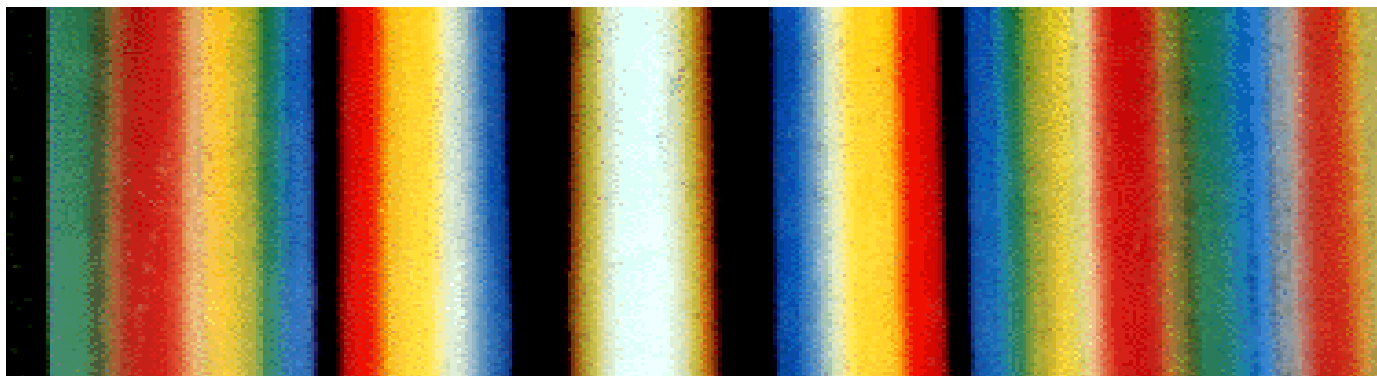
$$\Delta x = \frac{D}{d} \lambda$$

条纹间距:(亮-亮、暗-暗) $\Delta x = \frac{D}{d} \lambda$

- 讨论:
1. 已知 D, d , 测 Δx 确定光波波长 λ ;
 2. 白光照射, 中央亮条纹仍是白的, 其它为彩色;
 3. d 小 Δx 大, 分辨率高;



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