- 可见光 (visible light) —— 能够引起人的视觉的电磁波。

$7.60 \times 10^{-7} \sim 4.00 \times 10^{-7} m$ ⇨ $760 \sim 400\ nm$

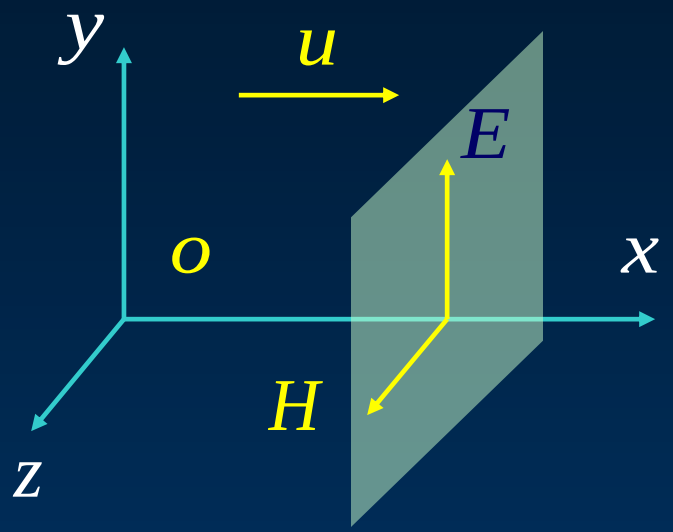
可见光颜色的波长和频率

光色	波长(nm)	频率(Hz)	中心波长 (nm)
红	760~622	$3.9\times10^{14} \sim 4.8\times10^{14}$	660
橙	622~597	$4.8\times10^{14} \sim 5.0\times10^{14}$	610
黄	597~577	$5.0\times10^{14} \sim 5.4\times10^{14}$	570
绿	577~492	$5.4\times10^{14} \sim 6.1\times10^{14}$	540
青	492~470	$6.1\times10^{14} \sim 6.4\times10^{14}$	480
兰	470~455	$6.4\times10^{14} \sim 6.6\times10^{14}$	460
紫	455~400	$6.6\times10^{14} \sim 7.5\times10^{14}$	430

人眼最为敏感的光是黄绿光，即 $555\ nm$ 附近。

三、平面简谐电磁波的波动微分方程

设一平面简谐电磁波



由麦克斯韦电磁场理论可知：

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2}=\varepsilon\mu\frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2}=\frac{1}{u^2}\frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2}=\varepsilon\mu\frac{\partial^2 H}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2}=\frac{1}{u^2}\frac{\partial^2 H}{\partial t^2}$$

当电场振动沿 x 轴正向传播时，有反映该振动的平面简谐波

$$E=E_0\cos[\omega(t-\frac{x}{u})]$$

用麦氏电磁场方程组可推出

$$H=H_0\cos[\omega(t-\frac{x}{u})]$$

$$H_0=\frac{E_0}{\mu_0 u}=\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}E_0$$

- 真空中： $u = 1/\sqrt{\varepsilon_0\mu_0} = 2.9979\times10^8\ m/s = c$
- 介质中： $u = 1/\sqrt{\varepsilon_0\varepsilon_r\mu_0\mu_r} = c/\sqrt{\varepsilon_r\mu_r} = c/n < c$

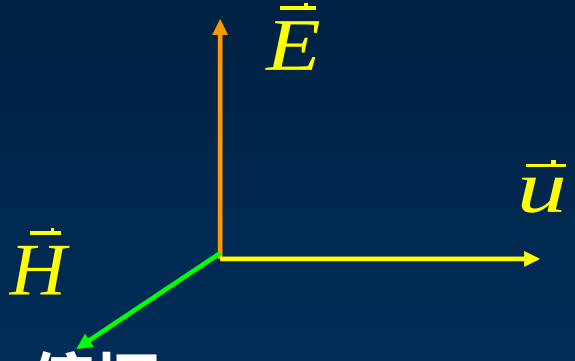
折射率 (Refractive index)

四、平面简谐电磁波的性质☆

(1) 电磁波是横波

振动量 $\vec{E},\vec{H}$ 与波速 $\vec{u}$ 构成相互

垂直的右手螺旋关系。



(2) 电磁波的偏振性

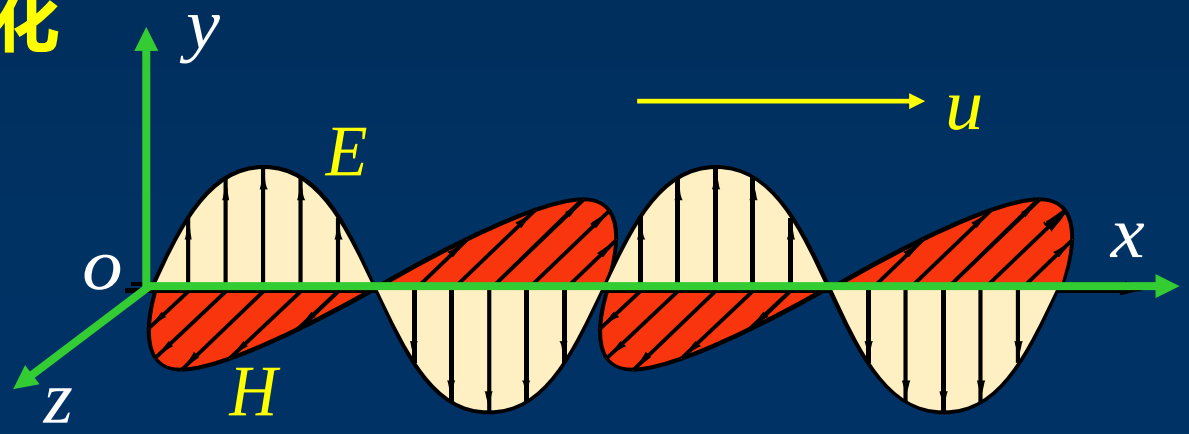
$\vec{E},\vec{H}$ 分别在各自的振动面上振动。——偏振

(3) 电场与磁场同相变化

$$\sqrt{\varepsilon}E = \sqrt{\mu}H$$

振幅之间满足：

$$\sqrt{\varepsilon}E_0 = \sqrt{\mu}H_0$$



(4) 电磁波的能量

$$w = w_e + w_m$$

$$= \sqrt{\varepsilon\mu}EH = \frac{EH}{u}$$

$$w_m = \mu H^2 / 2$$

$$w_e = \varepsilon E^2 / 2$$

- 电磁波的能流密度

$$S = wu = EH$$

- 坡印廷矢量

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

- 电磁波的强度

$$I = \frac{1}{T}\int_0^T S dt = \frac{1}{T}\int_0^T EH dt$$

$$= \frac{1}{2}E_0 H_0 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}}E_0^2$$

结论：I 正比于 E_0^2 或 H_0^2，通常用其相对强度 $I = \frac{1}{2}E_0^2$ 表示

五、光源和发光机理

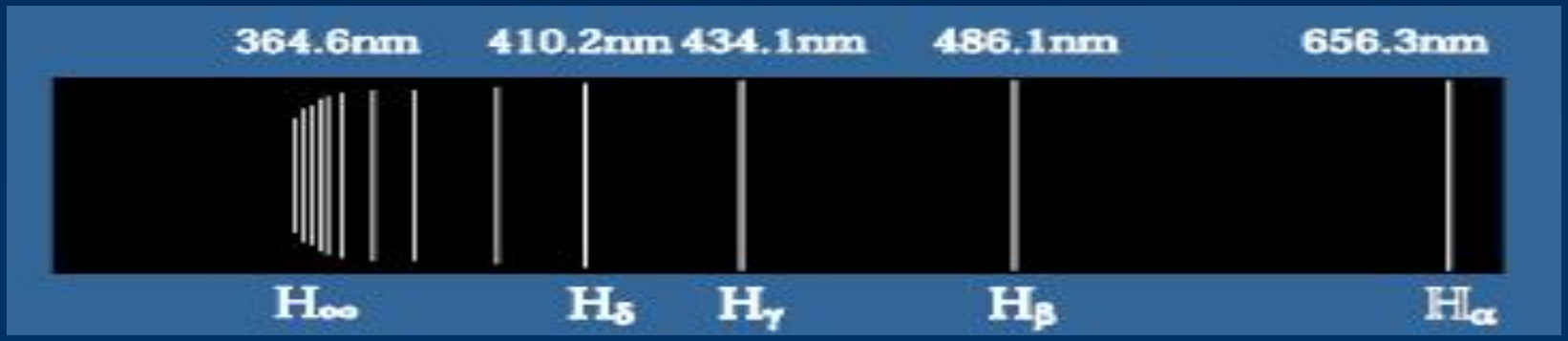
1. 光源

- ◆光源：任何发光的物体都可以称为光源。
- ◆光源的分类

光谱：使光波中不同频率的光分开，形成光谱。

按光谱分为 { 线谱光源 / 连续谱光源

(1) 线谱光源



氢原子的巴耳末线系照片

(2) 连续谱光源



按激发方式分

- 热辐射
  - 例如：太阳，白炽灯



- 电致发光
  - 例如：闪电，霓虹灯，发光二极管等



- 光致发光
  - 例如：日光灯（荧光），磷光物质（磷光）



- 化学发光
  - 例如：燃烧，磷自燃，萤火虫

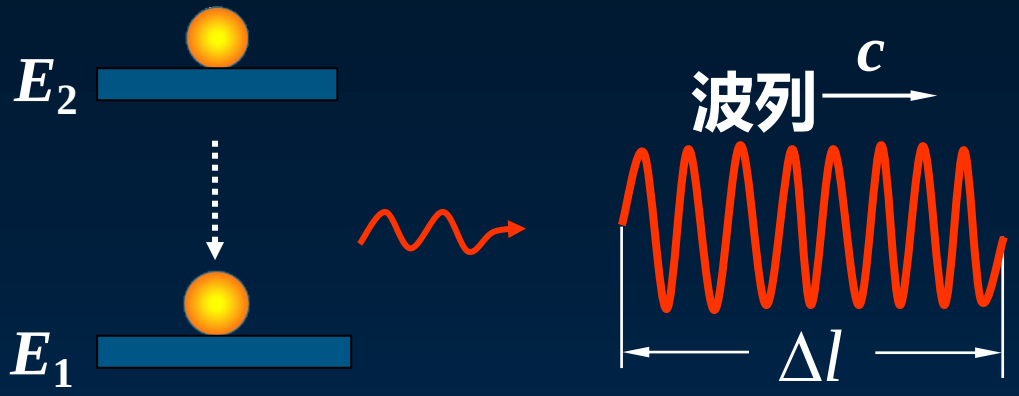




2. 光源发光机理

◆自发辐射

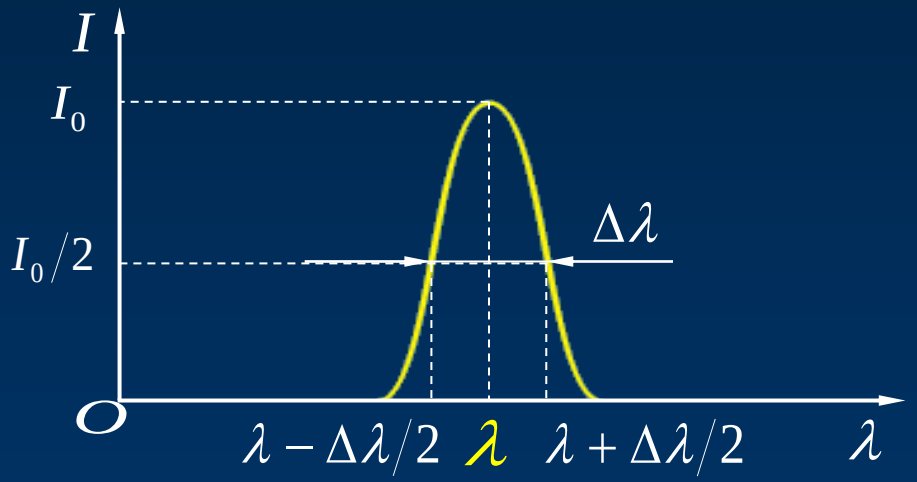
$$\nu = (E_2 - E_1)/h$$



(1) 光波列长度

$$\Delta l = c\Delta t$$

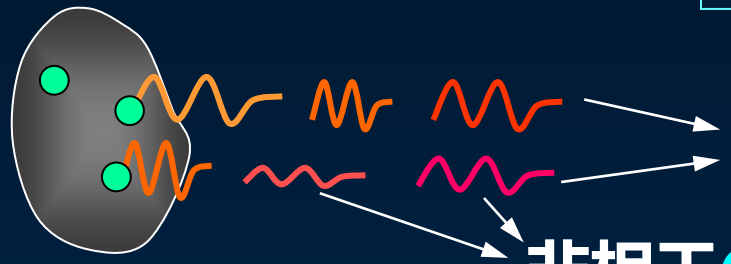
(2) 光波列长度与其单色性关系



光波单色性

由傅立叶分析可知 $\Delta l = \dfrac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$

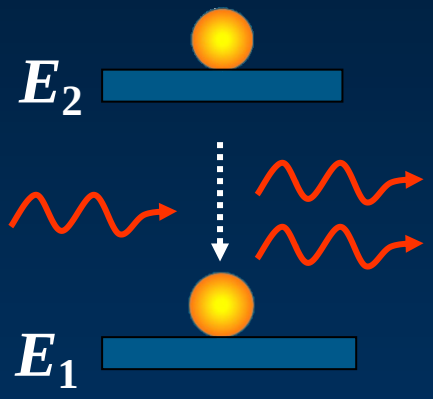
(3) 光源中各光波列之间关系　**相干光源：同一原子的同一次发光**



非相干(不同原子发的光)

非相干(同一原子先后发的光)

◆受激辐射



◆新型光源

(1) 激光：基于特定能级间粒子数反转体系的受激辐射。

激光的特点：高定向性；高单色性；高亮度；高相干性。

(2) 同步辐射光：同步加速器产生的辐射光。

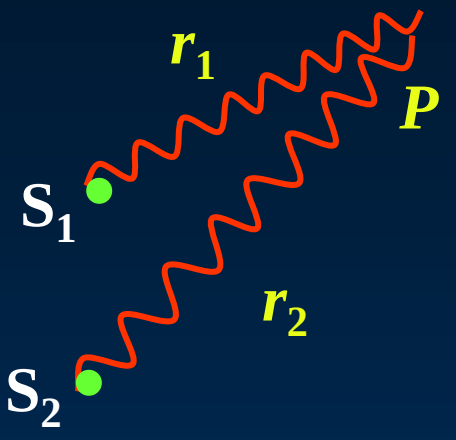
同步辐射光的特点：　强度高；方向性好；偏振性好；

稳定性好；波谱宽等。

15-2 光波的叠加

一、光波的叠加

$$\begin{cases} \vec{E}_1 = \vec{E}_{01}\cos(\omega_1 t - \dfrac{\omega_1 r_1}{c} + \varphi_1) \\ \vec{E}_2 = \vec{E}_{02}\cos(\omega_2 t - \dfrac{\omega_2 r_2}{c} + \varphi_2) \end{cases}$$



$$\vec{E}_P = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad \Longrightarrow \quad E_P^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2\vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2$$

$$\vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 = \frac{1}{2}\vec{E}_{01} \cdot \vec{E}_{02}\{\cos[(\omega_1 + \omega_2)t + (\varphi_1 + \varphi_2) - \frac{\omega_1 r_1 + \omega_2 r_2}{c}]$$

$$+ \cos[(\omega_1 - \omega_2)t + (\varphi_1 - \varphi_2) - \frac{\omega_1 r_1 - \omega_2 r_2}{c}]\}$$

P点合光强为 $I_P = I_1 + I_2 + 2 < \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 >$ **干涉项**

$$\vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 = \frac{1}{2}\vec{E}_{01} \cdot \vec{E}_{02}\{\cos[(\omega_1+\omega_2)t+(\varphi_1+\varphi_2)-\frac{\omega_1 r_1+\omega_2 r_2}{c}] + \cos[(\omega_1-\omega_2)t+(\varphi_1-\varphi_2)-\frac{\omega_1 r_1-\omega_2 r_2}{c}]\}$$

讨论

1. 非相干叠加

(1) $\vec{E}_1 \perp \vec{E}_2 \Rightarrow < \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 >=< E_1 E_2 \cos\frac{\pi}{2} >= 0$

(2) $\omega_1 \neq \omega_2$

$$\frac{1}{2T}\int_t^{t+T} \vec{E}_{01} \cdot \vec{E}_{02}\{\cos[(\omega_1+\omega_2)t+(\varphi_1+\varphi_2)-\frac{\omega_1 r_1+\omega_2 r_2}{c}] + \cos[(\omega_1-\omega_2)t+(\varphi_1-\varphi_2)-\frac{\omega_1 r_1-\omega_2 r_2}{c}]\}\mathrm{d}t = 0$$

即 $< \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 >= 0$

(3) $(\varphi_1-\varphi_2)$ 不恒定 $\Rightarrow < \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 >= 0$

非相干叠加时 $I_P = I_1 + I_2$

2. 相干叠加

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

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 - \frac{\omega(r_1 - r_2)}{c}$$

(1) 相长干涉（明） $\Delta\varphi = \pm 2k\pi\,, \quad k = 0,1,2,3\ldots$

$$I = I_{\max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$$

如果 $I_1 = I_2 = I_0 \Rightarrow I = 4I_0$

(2) 相消干涉（暗） $\Delta\varphi = \pm(2k+1)\pi\,, \quad k = 0,1,2,3\ldots$

$$I = I_{\min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$$

如果 $I_1 = I_2 = I_0 \Rightarrow I = 0$

(3) 可见度 $\eta = \dfrac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$

(4) 若 $\varphi_1 = \varphi_2$

$\delta = r_1 - r_2 = \pm k\lambda, \quad k = 0,1,2,\cdots$ 干涉相长

$\delta = r_1 - r_2 = \pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2}, \quad k = 0,1,2,\cdots$ 干涉相消

二、 相干条件、相干光源

光的相干的条件

(1) 光波的频率相同；

(2) 光矢量振动方向平行，且振幅相差不大；

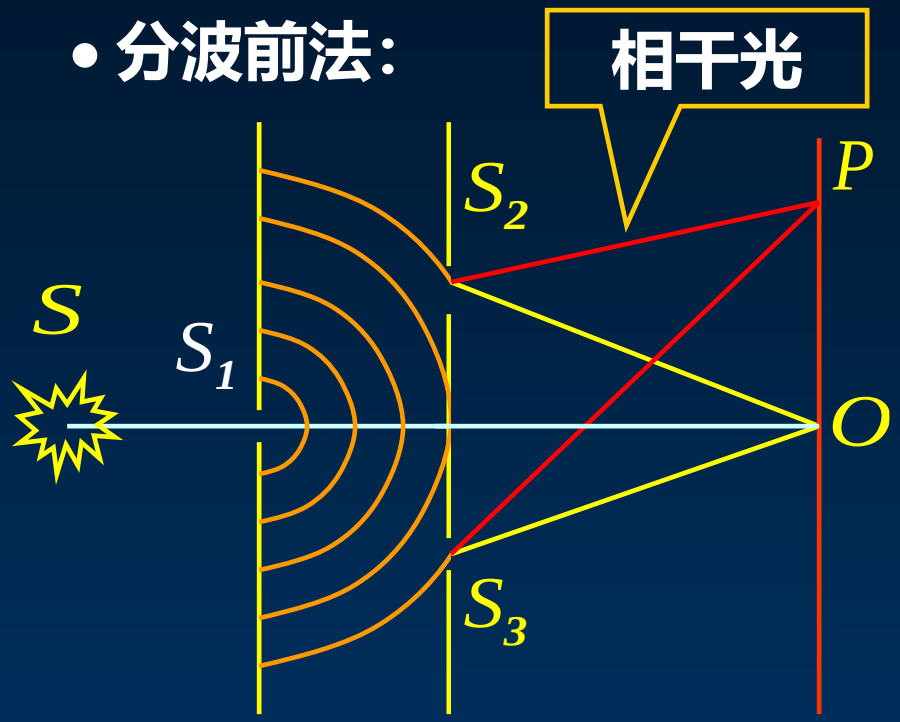
(3) 光波之间的相位差恒定.

同时满足

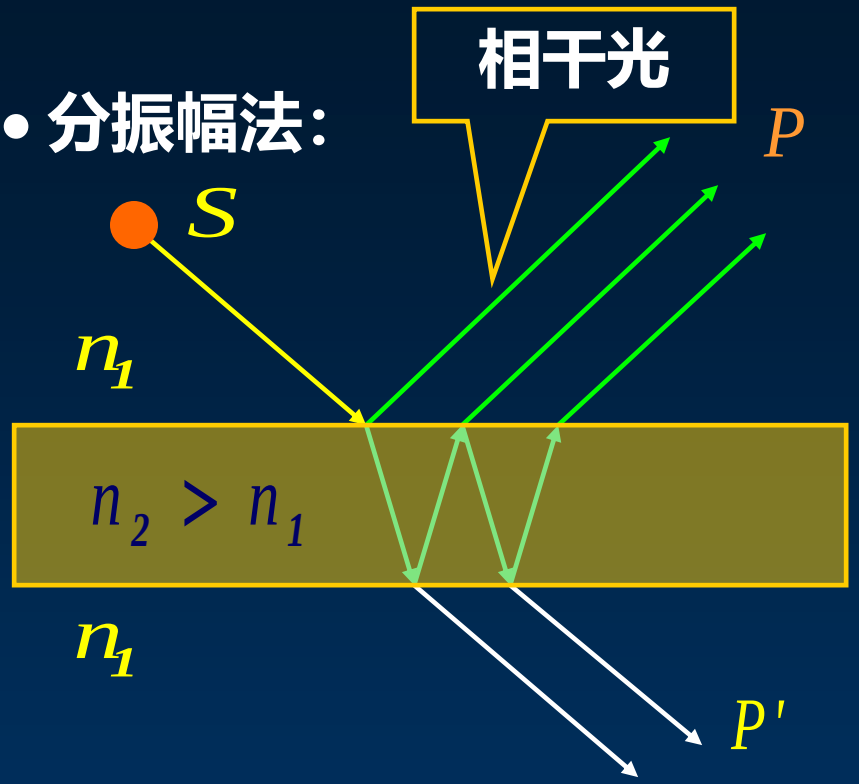
相干光源： 同一原子的同一次发光；同一波列上的两点

三、相干光的获得

• 分波前法：



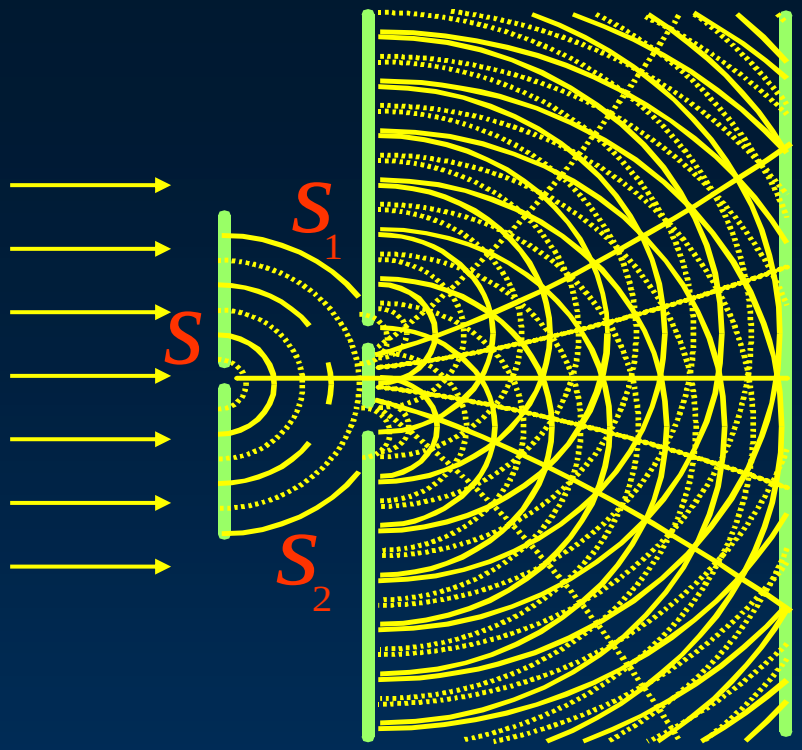
• 分振幅法：



15-3 杨氏双缝实验 空间相干性

一、杨氏双缝实验 分波前法

1801年，英国科学家 T. Young 首先用实验观测到光的干涉现象，证实了光的波动理论。



明条纹

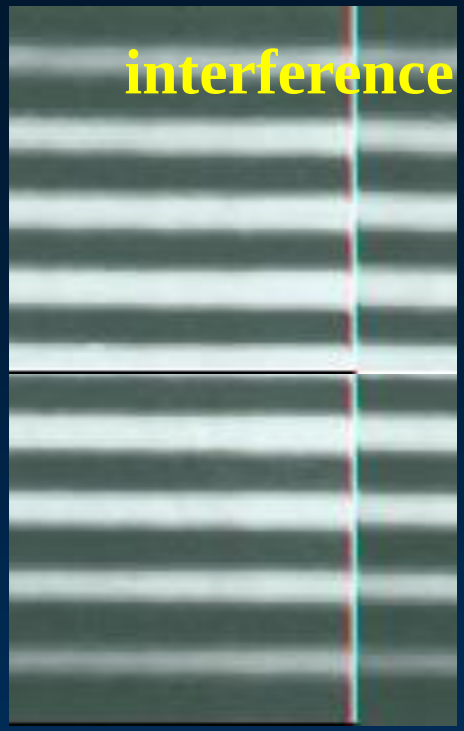
暗条纹

明

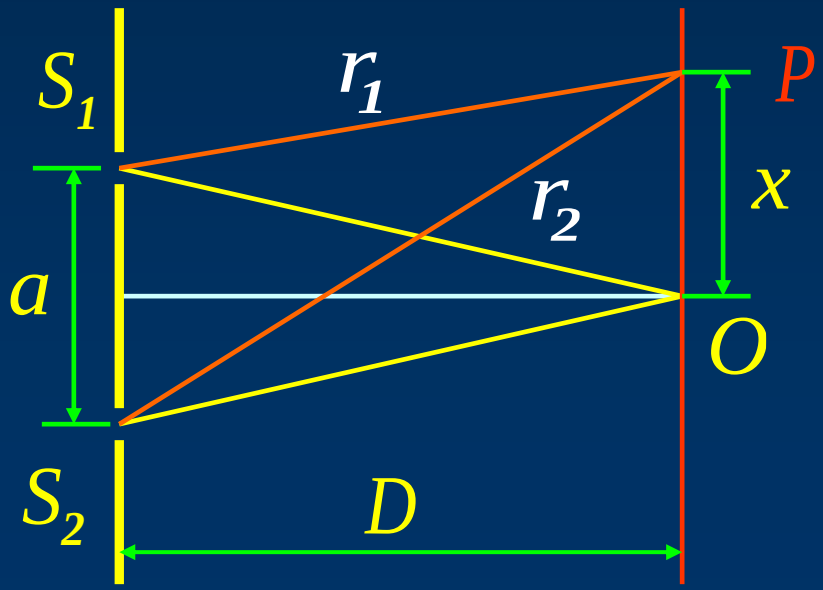
暗

暗

明



观测屏



两光波的波程：

$$\begin{cases} r_1^2 = D^2 + y^2 + \left(x - \dfrac{a}{2}\right)^2 \\ r_2^2 = D^2 + y^2 + \left(x + \dfrac{a}{2}\right)^2 \end{cases}$$

$$r_2^2 - r_1^2 = 2xa$$

两相干光的波程差：

$$\delta = r_2 - r_1 = \frac{2xa}{r_2 + r_1} \approx \frac{xa}{D} \qquad a << D \quad x << D$$

- **极大（明条纹）**

Order of interference

$$\delta = \frac{xa}{D} = \pm 2k \cdot \frac{\lambda}{2}, k = 0, 1, 2, \cdots \Rightarrow x = \pm \frac{k\lambda D}{a}$$

干涉条件

- **极小（暗条纹）**

$$\delta = \frac{xa}{D} = \pm(2k-1) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad k = 1, 2, \cdots \Rightarrow x = \pm \frac{(2k+1)\lambda D}{2a}$$

讨论

（1）屏上相邻明（暗）条纹间距为

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

一系列平行等间距的明暗相间的条纹

当 $a \uparrow \Rightarrow \Delta x \downarrow$，条纹不易分辨。

若已知 $a, D, \Delta x$ ，可测波长 λ

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

(2) 强度分布

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

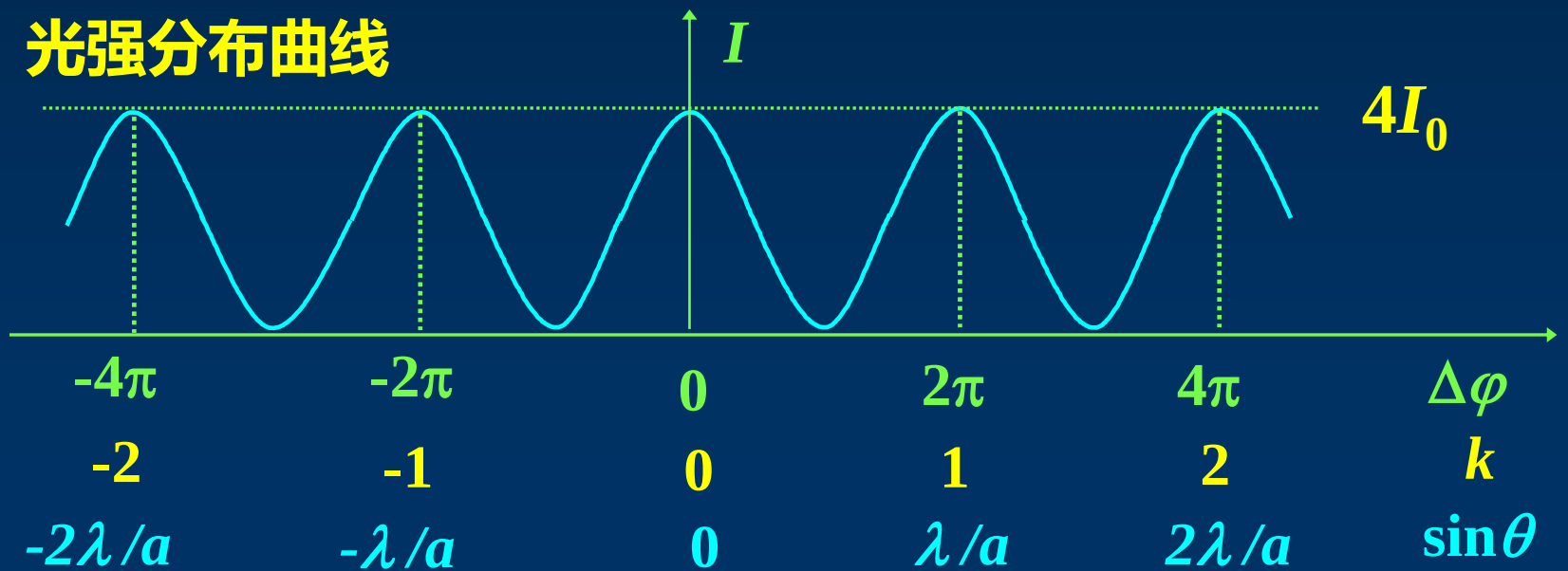
$$I_p = 2I_0 + 2I_0\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\frac{ax}{D}\right)$$

$$= 4I_0\cos^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) = 4I_0\cos^2\left(\frac{\pi}{\lambda}\frac{ax}{D}\right)$$

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

$$I_1 = I_2 = I_0$$

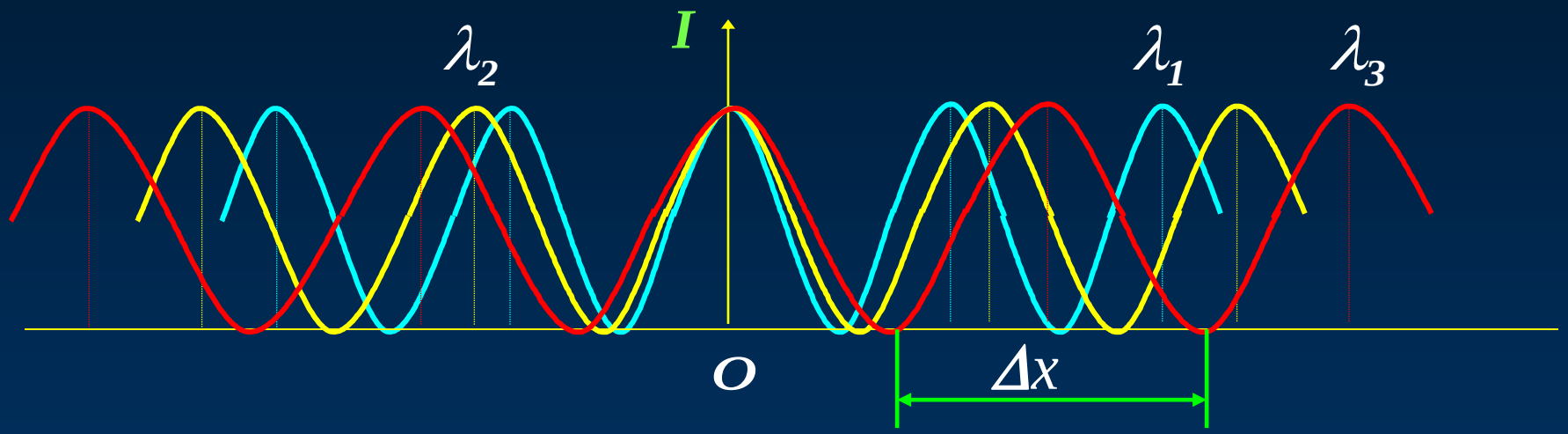
- 光强分布曲线



(3) 条纹间距 Δx 正比于光波波长

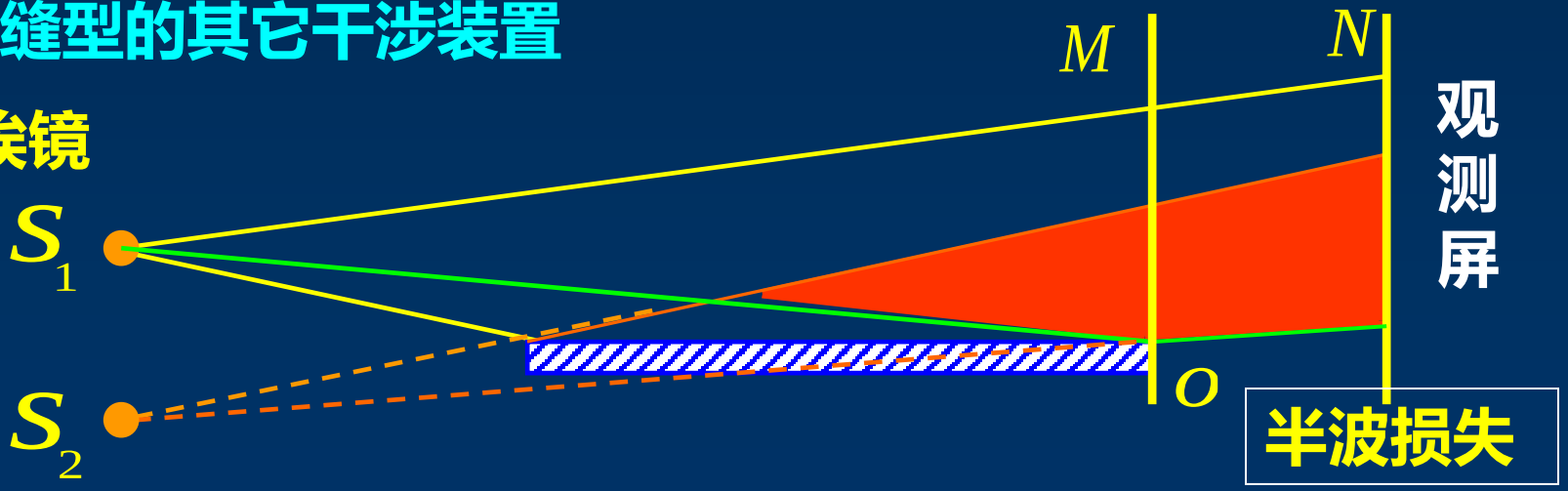
$$\Delta x = \frac{D\lambda}{a}$$

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

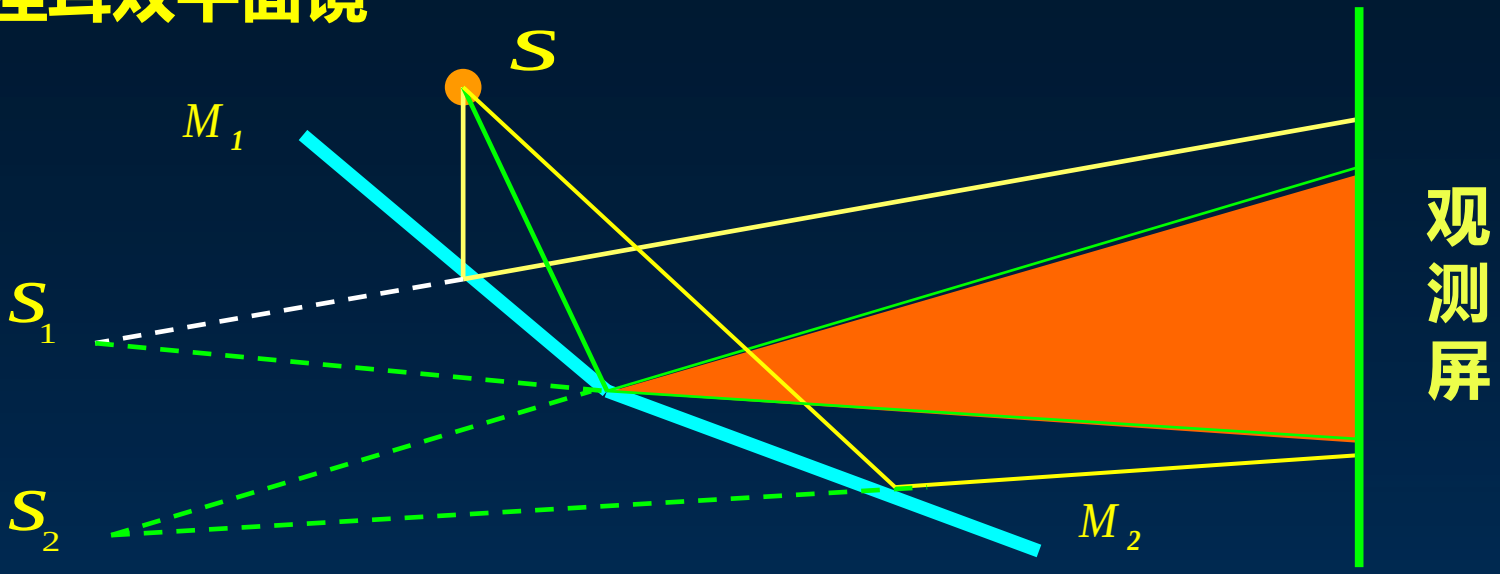


二、双缝型的其它干涉装置

- 洛埃镜



- **菲涅耳双平面镜**



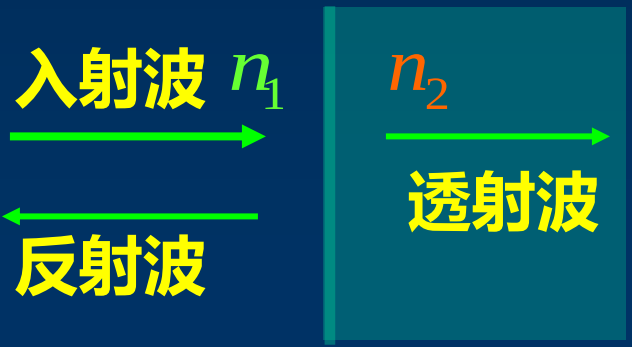
洛埃镜与菲涅耳双镜的实验结果与杨氏双缝干涉相似

说明

- **反射光（具体问题具体分析）**

  $n_1 < n_2$　有半波损失

  $n_1 > n_2$　无半波损失



- **透射光：** 无半波损失