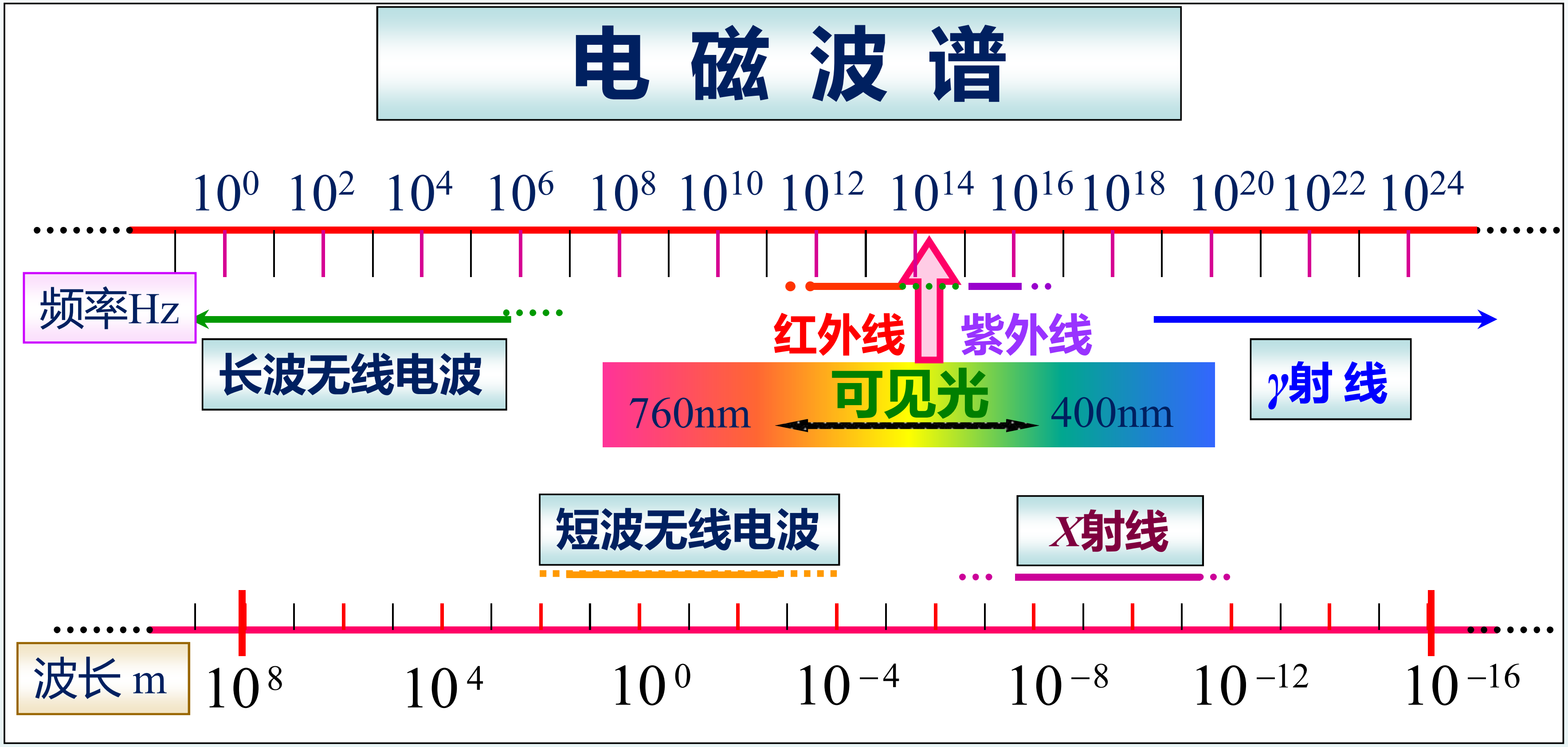
光波



无线电波 3×10^4 m ~ 0.1cm

红外线 6×10^5nm~760nm

可见光 760nm ~ 400nm

紫外光 400 nm~5 nm

X射线 5 nm~0.04 nm

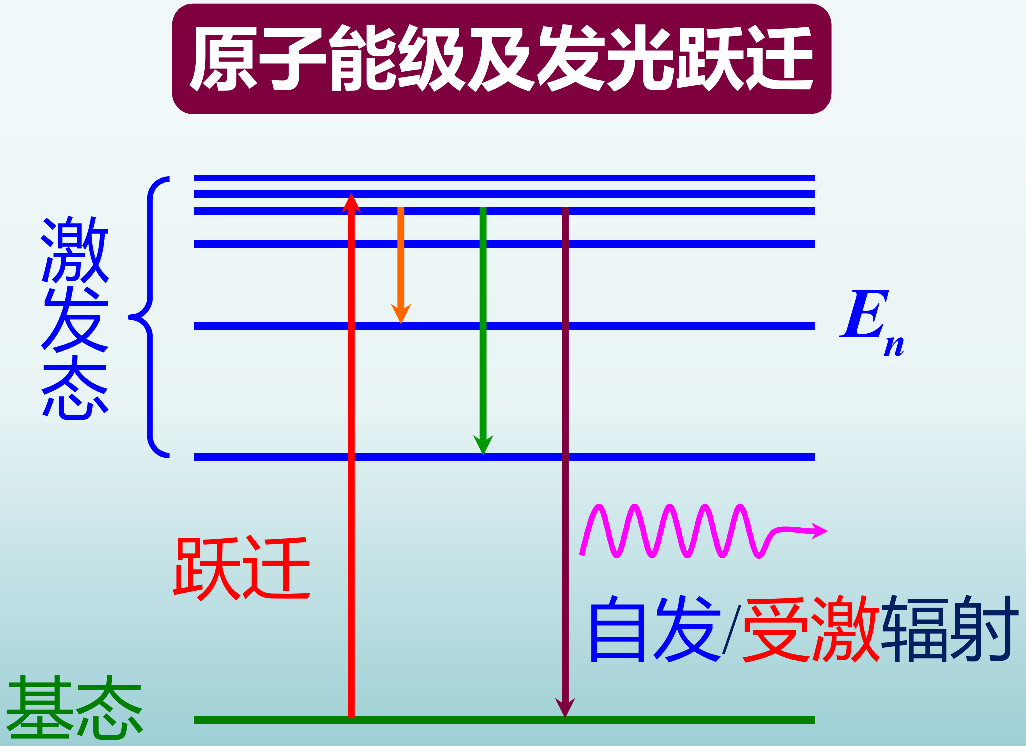
γ射线 < 0.04 nm

光波

- **光源** 发射光波的物体

光源的最基本发光单元是分子、原子。

光是光源中的原子或分子的运动状态发生变化时辐射出来的。

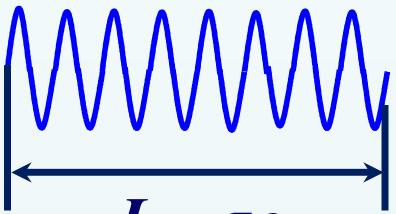


光波

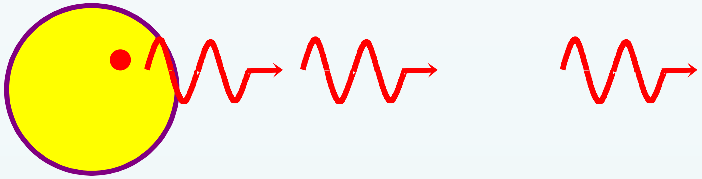
- **普通光源**

处于激发态原子的自发辐射 → 自己的辐射自己做主　随意性

波 列

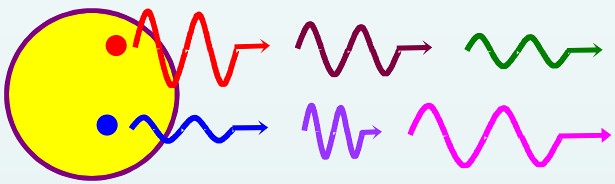


$L = \tau c$



间歇性

同一原子的间歇性激发



随机性(独立性)

同一原子先后发的光

不同原子发出的光

哪个原子发光，什么时候发什么样的光都是随机的。

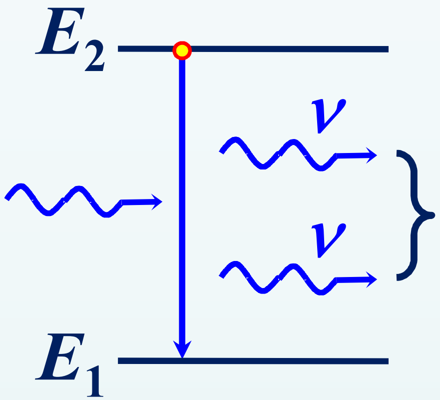
非相干光源!

光波

- **激光光源**

处于激发态原子的受激辐射 → 我的辐射是你逼我的　**一致性**

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$



完全一样

（频率、位相、振动方向、传播方向）

相干光源！ →
- 干涉测距
- 相干光通讯
- ……

光波

□ 光波的描述

光矢量 ⟶ 电场强度矢量 $\vec{E}$ ⟶ 引起人眼视觉和仪器感光

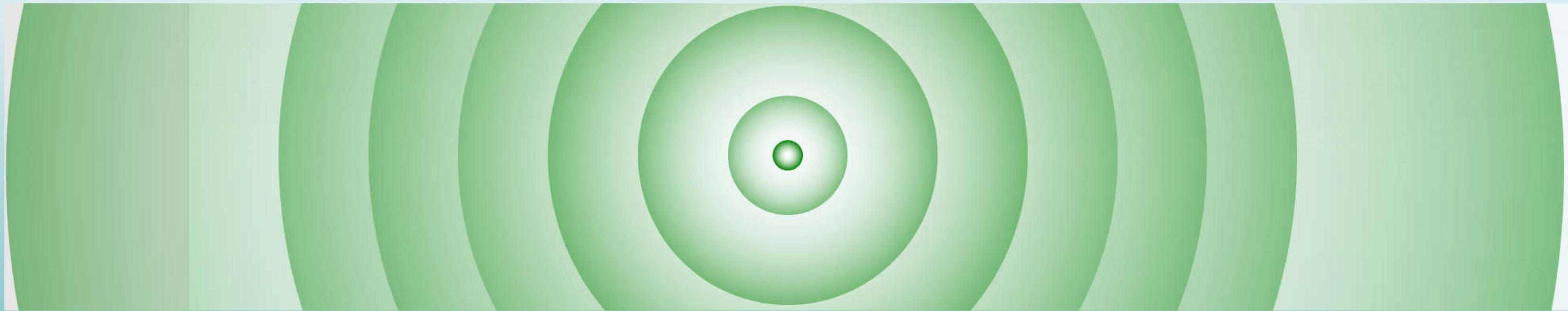
振动

光振动 振动方程：$\vec{E}=\vec{E}_0\cos(\omega t+\varphi_0)$

光场中任一点的光矢量（波函数）：$\vec{E}=\vec{E}_0\cos(\omega t-\dfrac{2\pi r}{\lambda}+\varphi_0)$

各向同性均匀介质中，点光源产生**球面波**

远离波源处，波面趋于平面→平面波



光波

- **光强** 光波的平均能流密度

坡印亭矢量 $\vec{S}$

$$\left.\begin{array}{r}\vec{S}=\vec{E}\times\vec{H}\\ \vec{E}\perp\vec{H}\end{array}\right\} S=EH=\sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}}E^2=u\varepsilon E^2$$

$$\vec{E}=\vec{E}_0\cos(\omega t+\varphi_0)$$

光波的平均能流密度 $I=\frac{1}{T}\int_0^T S\,\mathrm{d}t$

$$I=u\varepsilon E_0^{\ 2}\frac{1}{T}\int_0^T\cos^2(\omega t+\varphi_0)\,\mathrm{d}t$$

$$=\frac{1}{2}u\varepsilon E_0^{\ 2}\propto E_0^{\ 2}$$

通常我们关心的是光强随着位相或者距离分布的,

光场中任一点的光强我们**用光矢量的振幅**的平方表示:

$$I\propto E_0^{\ 2}$$

光波的叠加 光程差

□ 线性与叠加原理

光波在空间传播时，相应的电磁扰动会使**介质极化。**

介质

- 线性介质：极化强度的大小与场强满足线性关系。
- 非线性介质：极化强度的大小与场强不满足线性关系。

光在线性介质中传播时，遵从**独立性与叠加原理**

在几列光波相遇的区域内任一点光矢量的振动是各列光波单独在该点引起的振动的合成。

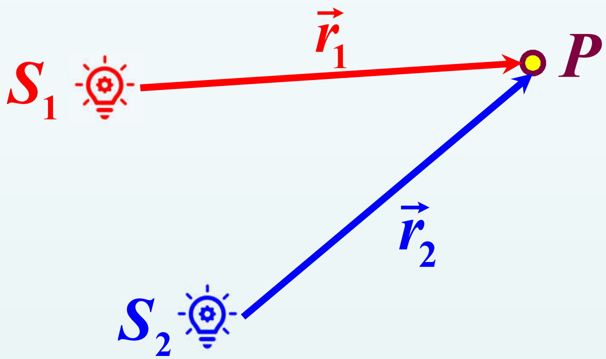
光波的叠加 光程差

□ 相干光叠加

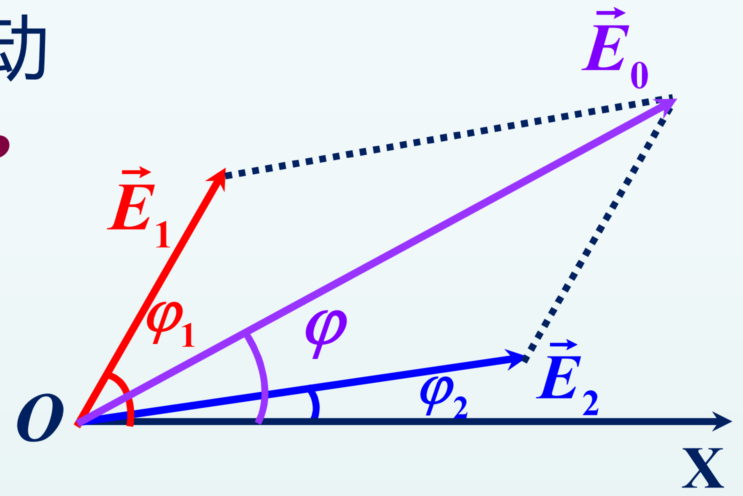
两束光的光矢量满足**相干条件**

设有两同频率的单色光，在P点引起的振动

$$\vec{E}_1=\vec{E}_{10}\cos(\omega t+\varphi_0)$$



$$\vec{E}_2=\vec{E}_{20}\cos(\omega t+\varphi_0)$$



P点引起的振动 $\vec{E}=\vec{E}_0\cos(\omega t+\varphi_0)$

合成光矢量的振幅 $E_0^2=E_{10}^2+E_{20}^2+2E_{10}E_{20}\cos\Delta\varphi$

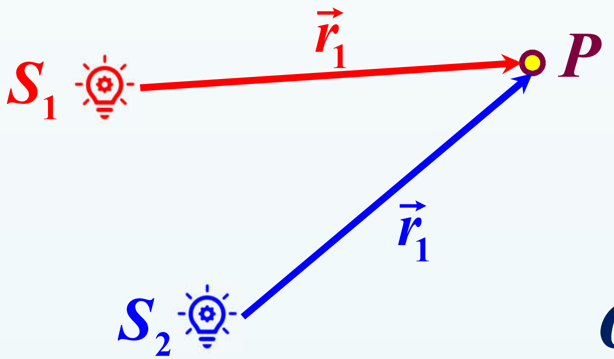
相位差：$\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1$

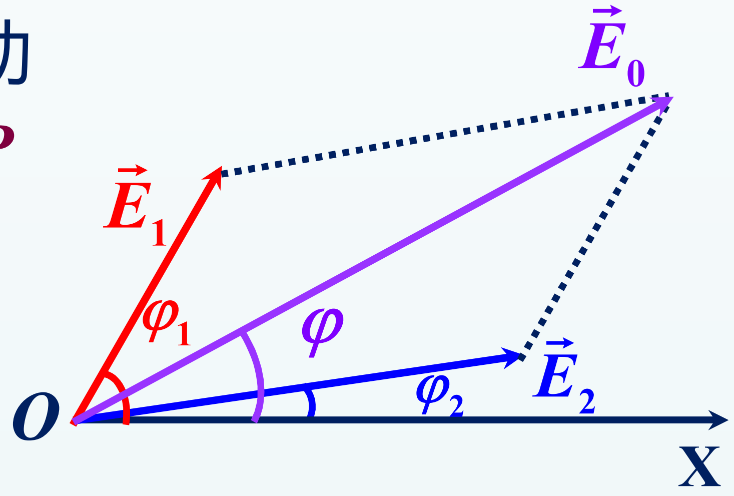
光波的叠加 光程差

设有两同频率的单色光，在P点引起的振动

$$\vec{E}_1=\vec{E}_{10}\cos(\omega t+\varphi_0)$$

$$\vec{E}_2=\vec{E}_{20}\cos(\omega t+\varphi_0)$$





P点引起的振动 $\vec{E}=\vec{E}_0\cos(\omega t+\varphi_0)$

合成光矢量的振幅 $E_0^2=E_{10}^2+E_{20}^2+2E_{10}E_{20}\cos\Delta\varphi$

相位差：$\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1$

P点所观察到的光强，其实是较长时间τ内的平均强度：

$$I=\overline{E^2}=\frac{1}{\tau}\int_0^{\tau}\left(E_{10}^2+E_{20}^2+2E_{10}E_{20}\cos\Delta\varphi\right)\mathrm{d}t$$

$$I=I_1+I_2+2\sqrt{I_1I_2}\,\overline{\cos\Delta\varphi}$$

光波的叠加 光程差

*P*点所观察到的**光强**: $I = I_1 + I_2 + \boxed{2\sqrt{I_1 I_2}\,\overline{\cos\Delta\varphi}}$ → 干涉项

干涉项与S_1和S_2两光波的**初相位**、*P*点的**位置**及**介质**有关。

针对光源展开讨论:

① **非相干光源**（波源发光的**间歇性**和**随机性**）

$\Delta\varphi$在0-2π 范围内随机取值，且取值概率一致

$$\overline{\cos\Delta\varphi} = \frac{1}{T}\int_t^{t+T}(\cos\Delta\varphi)\mathrm{d}t = 0$$ 非相干叠加!

相遇点的光强: $I = I_1 + I_2$ **两光强简单相加**

光波的叠加 光程差

② **完全相干光源**（两光波的位相差稳定） $\Delta\varphi =$ **常量**

$$\overline{\cos\Delta\varphi} = \frac{1}{T}\int_t^{t+T}(\cos\Delta\varphi)\mathrm{d}t = \cos\Delta\varphi$$

相遇点的光强: $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\,\overline{\cos\Delta\varphi}$

$$\left.\begin{aligned}&\Delta\varphi = \pm 2k\pi \quad k = 0,1,2,3,\cdots\\ &I = I_{\max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\end{aligned}\right\}\text{干涉相长 明纹}$$

$$\left.\begin{aligned}&\Delta\varphi = \pm(2k+1)\pi \quad k = 0,1,2,3,\cdots\\ &I = I_{\min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}\end{aligned}\right\}\text{干涉相消 暗纹}$$

相干叠加

若$I_1=I_2$, $I = 2I_1(1+\cos\Delta\varphi) = 4I_1\cos^2\dfrac{\Delta\varphi}{2}\begin{cases}\Delta\varphi = \pm 2k\pi \longrightarrow I_{\max} = 4I_1\\ \Delta\varphi = \pm(2k+1)\pi \longrightarrow I_{\min} = 0\end{cases}$

光波的叠加 光程差

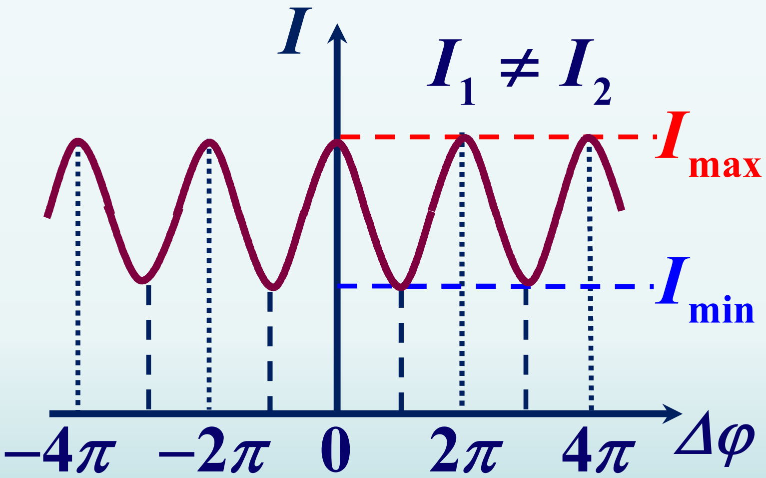
- 条纹衬比度 → 图像上不同区域间存在的明暗程度的差异

干涉条纹

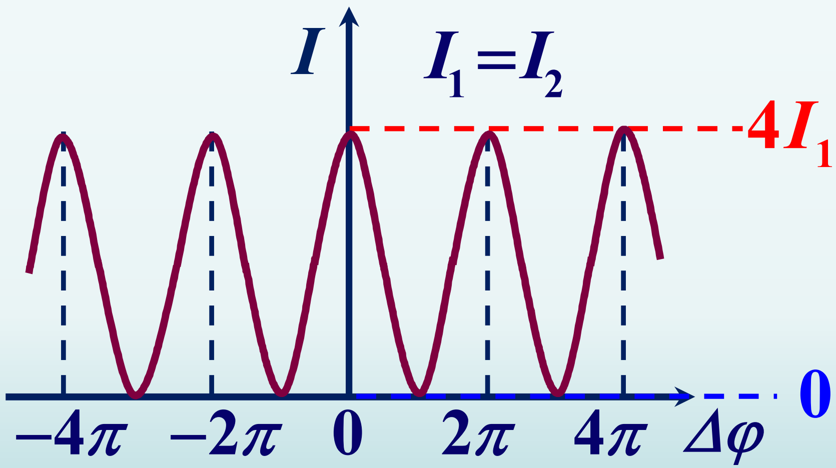
波强 I_{max} 或 I_{min}

条纹衬比度： 干涉条纹明暗程度的差异

$$V=\frac{I_{max}-I_{min}}{I_{max}+I_{min}} \qquad 0\le V\le 1$$



衬比度差 $(V<1)$



衬比度好 $(V=1)$

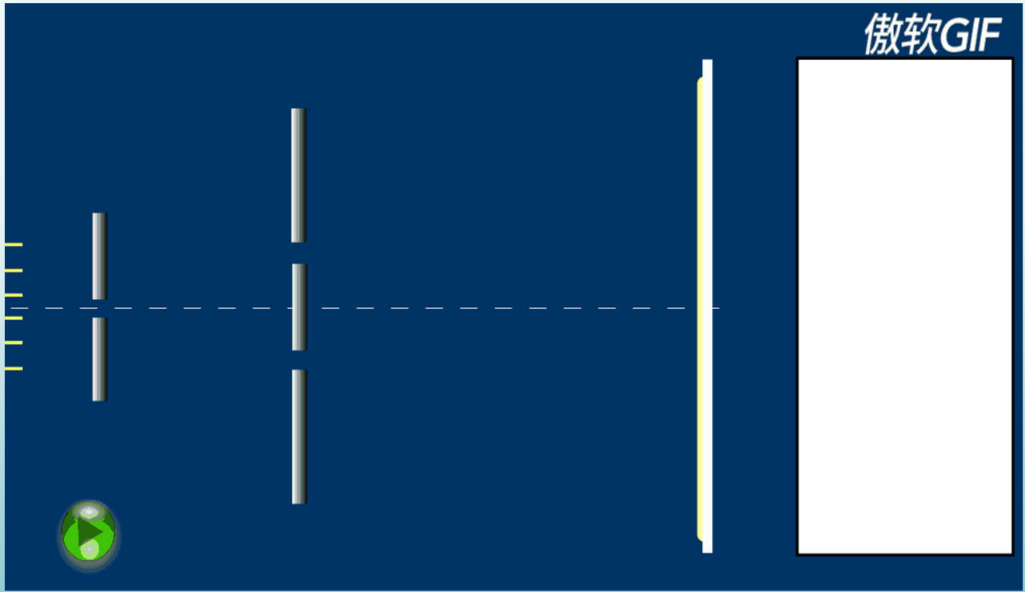
衬比度的决定因素： 振幅比， 光源的单色性， 光源的宽度

光波的叠加 光程差

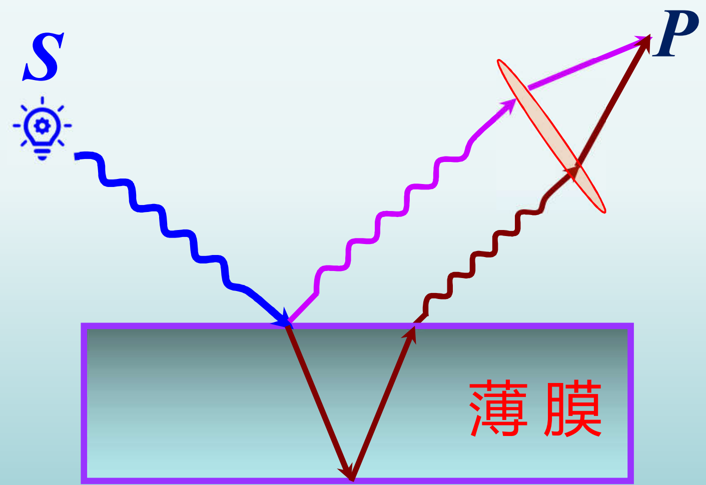
- **普通光源获得相干光的途径**

相干条件 $\begin{cases} \text{各光波的频率相等} \\ \text{各光波存在相互平行的振动分量} \\ \text{各光振动的位相差恒定} \end{cases}$

分波阵面干涉 （杨氏双缝）



分振幅干涉（薄膜干涉）



光波的叠加 光程差

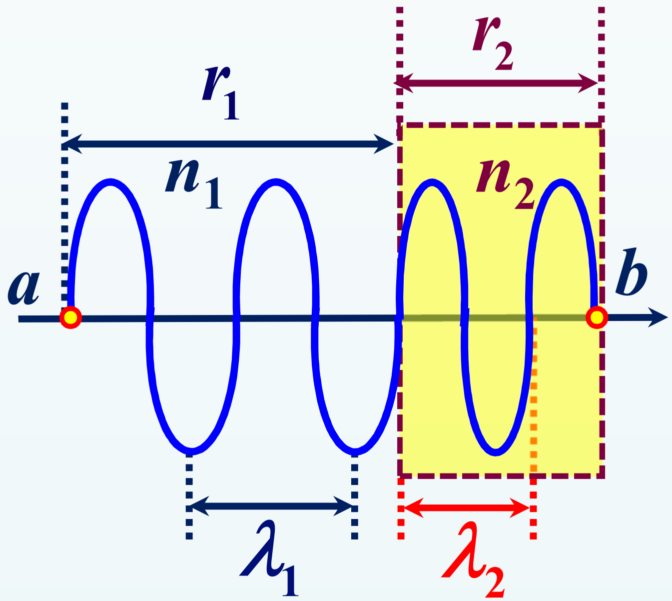
□ 光程

一束光从一种介质传播

进入另一种介质：

相位如何计算?

光波$a \to b$，相位的改变多少?



光在介质中的传播速率：$u = \dfrac{c}{n}$

光在介质中的波长：$\lambda_i = \dfrac{u}{\nu} = \dfrac{c}{n_i \nu} = \dfrac{\lambda}{n_i}$ 介质中传播的波长，折算成真空中波长。

相位改变：$\varphi_a + \varphi_b = \dfrac{2\pi}{\lambda_1} r_1 + \dfrac{2\pi}{\lambda_2} r_2 = \dfrac{2\pi}{\lambda} n_1 r_1 + \dfrac{2\pi}{\lambda} n_2 r_2 = \dfrac{2\pi}{\lambda} \delta$

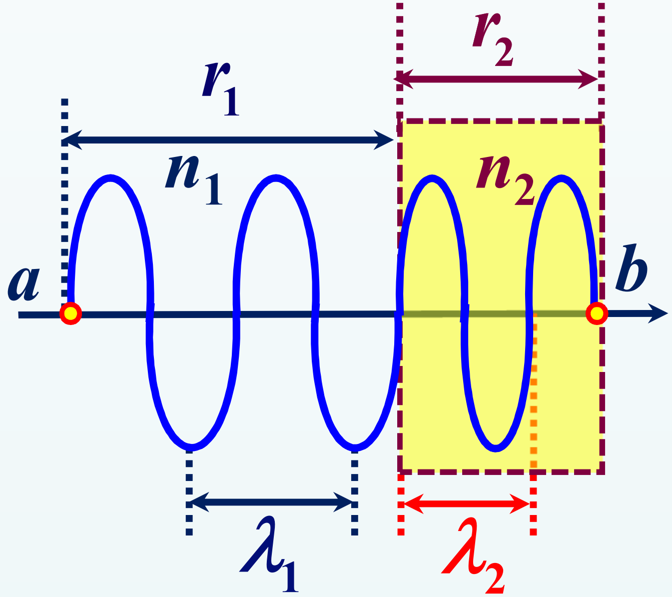
光波的叠加 光程差

相位改变：

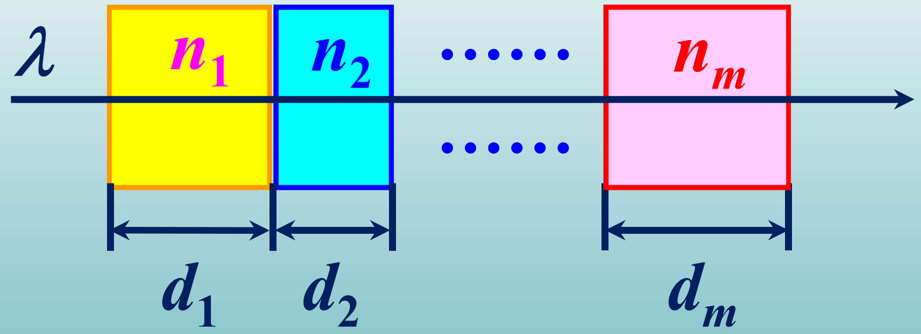
$$\varphi_a + \varphi_b = \frac{2\pi}{\lambda_1} r_1 + \frac{2\pi}{\lambda_2} r_2$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda} n_1 r_1 + \frac{2\pi}{\lambda} n_2 r_2 = \frac{2\pi}{\lambda}\delta$$

$$\boxed{\delta = n_1 r_1 + n_2 r_2} \longrightarrow \text{光 程}$$



- **光程**：光波在介质中所经历的几何路程与介质折射率的乘积。

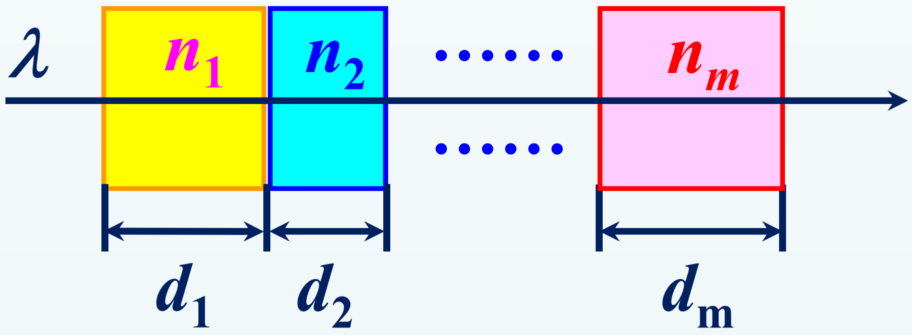


光程：$L = \Sigma\,(n_i d_i)$

光在介质中几何路程折算成真空中的几何路程

光波的叠加 光程差

- **光程**：光波在介质中所经历的几何路程与介质折射率的乘积。



光程：$L = \Sigma (n_i d_i)$

光在介质中几何路程折算成真空中的几何路程

相位差与**光程差**之间的关系：$\Delta\varphi = \dfrac{2\pi}{\lambda}\boxed{\delta}$ → $\delta = L_2 - L_1$

光的相干条件用光程差表示为：

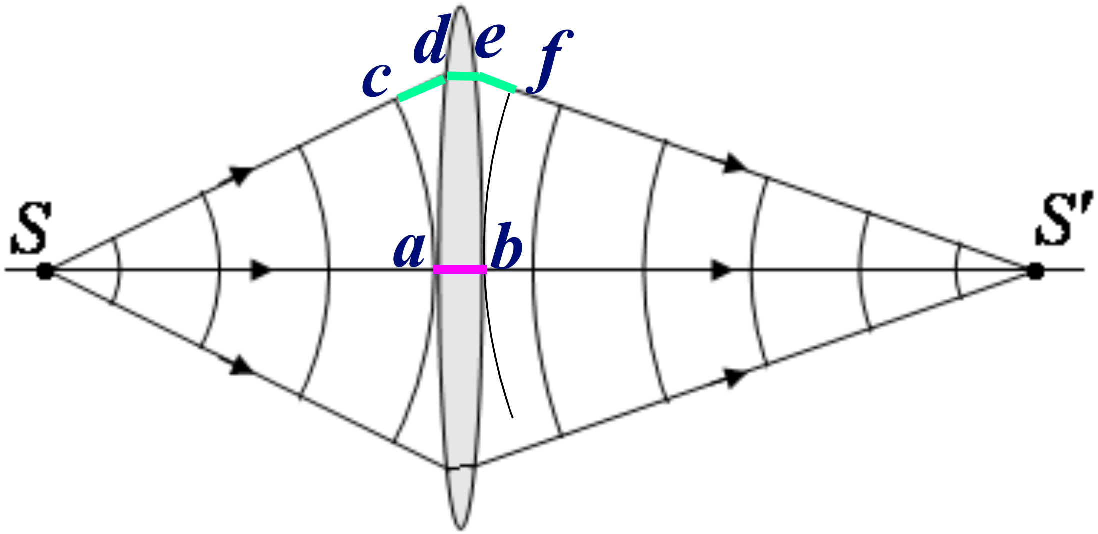
$\delta = \pm k\lambda, \quad k = 0, 1, 2, \cdots$ **明条纹中心**

$\delta = \pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2}, \quad k = 0, 1, 2, \cdots$ **暗条纹中心**

光波的叠加 光程差

讨 论:

① 透镜不会产生附加光程差



$$Sc = Sa \qquad S'b = S'f$$

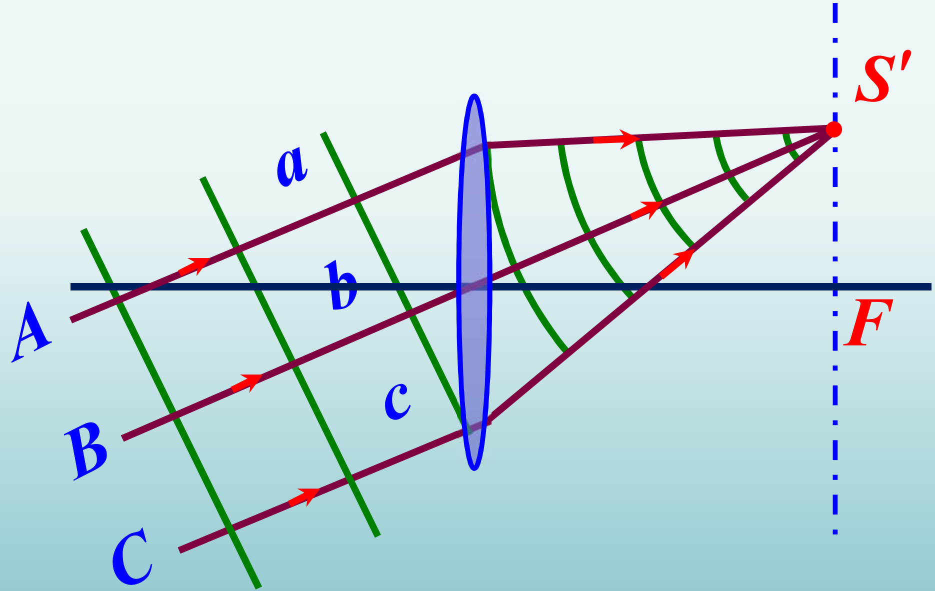
$$cd + n \cdot de + ef = n \cdot ab$$

成象的等光程性:

从垂直于平行光的任一平面算起,

各平行光线到会聚点的光程相等。

——费马原理

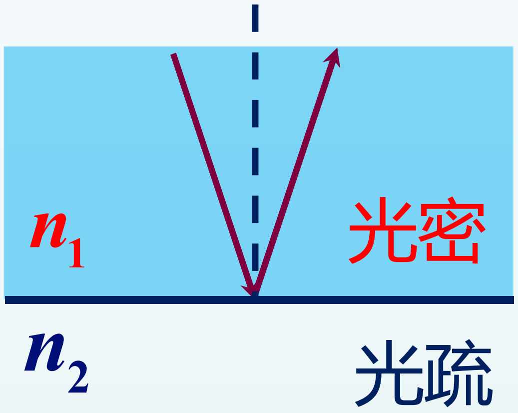


光波的叠加 光程差

讨 论:

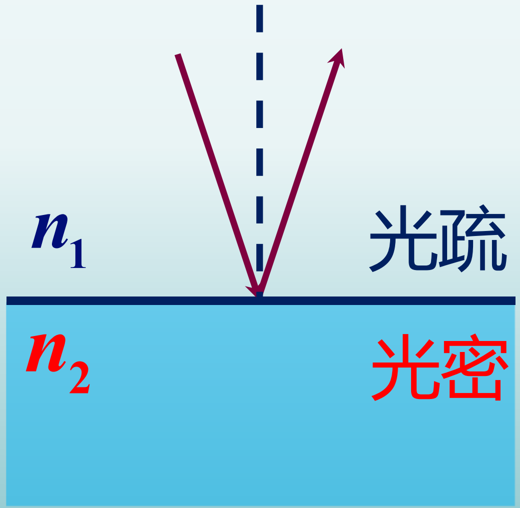
② 半波损失

$n_1 > n_2$



没有半波损失!

$n_1 < n_2$



有半波损失!

作业：13T1 ~T2

作业要求

1. 独立完成作业。
2. 图和公式要有必要的标注或文字说明。
3. 作业纸上每次都要写学号(或学号末两位)。
4. 课代表收作业后按学号排序，并装入透明文件袋。
5. 每周四交上周的作业。迟交不改。
6. 作业缺交三分之一及以上者综合成绩按零分计。