光学

光学一：几何光学

光学二：波动光学（第十一章）

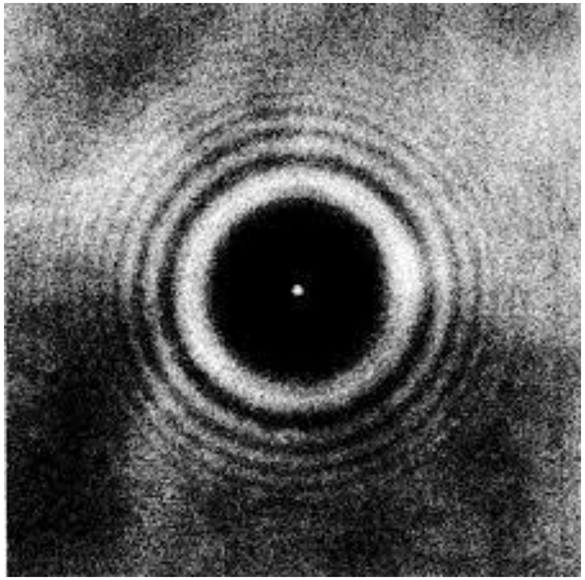
“光” 是什么——人类对光的探索

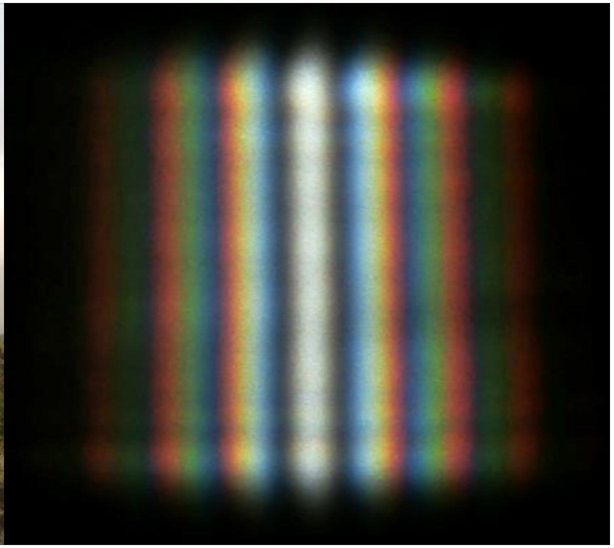
4. 光的衍射——1665年

5. 光的色散——1666年

6. 光的干涉——1803年

7. 光的偏振——1809年



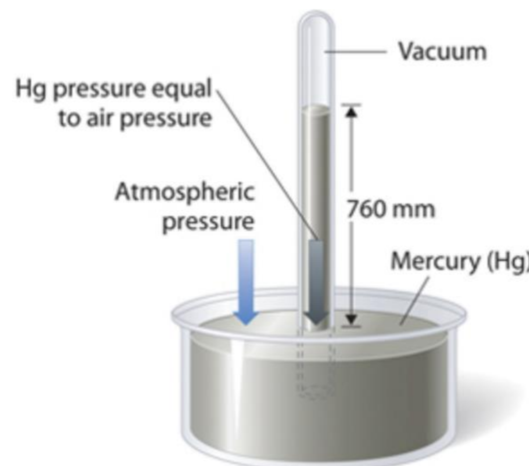


“光” 是什么——人类对光的探索

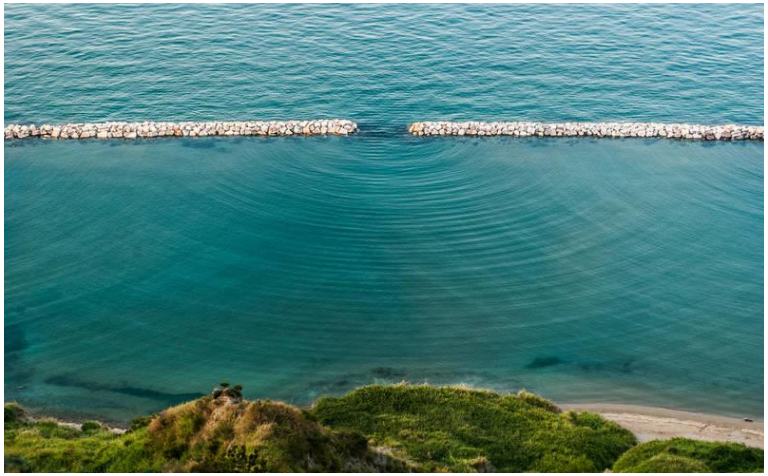
- 克里斯蒂安·惠更斯 Christiaan Huygens (1629–1695，荷兰)
  - 发明了世界上第一台摆钟
  - 1690年出版《Treatise on light》（光论），创立了光的波动说，将“以太”作为光传播的介质
- 艾萨克·牛顿 Issac Newton (1642–1727，英国)
  - 光的折射、反射、色散等
  - 1704年出版《Opticks》（光），认为光是由某种微粒组成的
- 托马斯·杨 Thomas Young（1773–1829，英国）
  - 双缝干涉实验
- 奥古斯丁-尚·菲涅耳 Augustin-Jean Fresnel（1788–1827，法国）
  - 波动光学理论的主要创始人之一
  - 菲涅耳透镜
- 詹姆斯·克拉克·麦克斯韦 James Clerk Maxwell (1831-1879，英国)
  - 麦克斯韦方程组

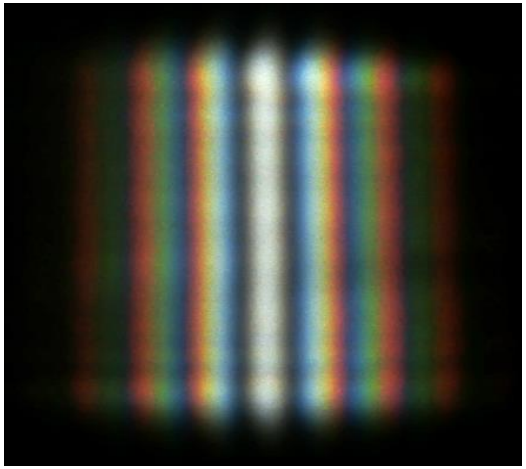
光的波动性

在惠更斯的年代，许多物理光学现象（例如光的干涉）尚未被发现或无法解释（光的衍射）。惠更斯首先提出了光的波动理论来解释光的反射、折射等几何光学现象。他提出假设：光的速度具有上限，且光的行为与声音的行为类似，即是某种物质振动产生的波动。他同时假设空间中存在一种无处不在的物质“以太”，就像声音可以通过空气传播一样，光通过“以太”传播。



意大利科学家**Francesco Maria Grimaldi**在**1665**年左右发现了光的衍射现象，即光如同其他的波一样，在遇到障碍物时会偏离直线传播。他将这种“光线的弯折”定义为**Diffraction**。



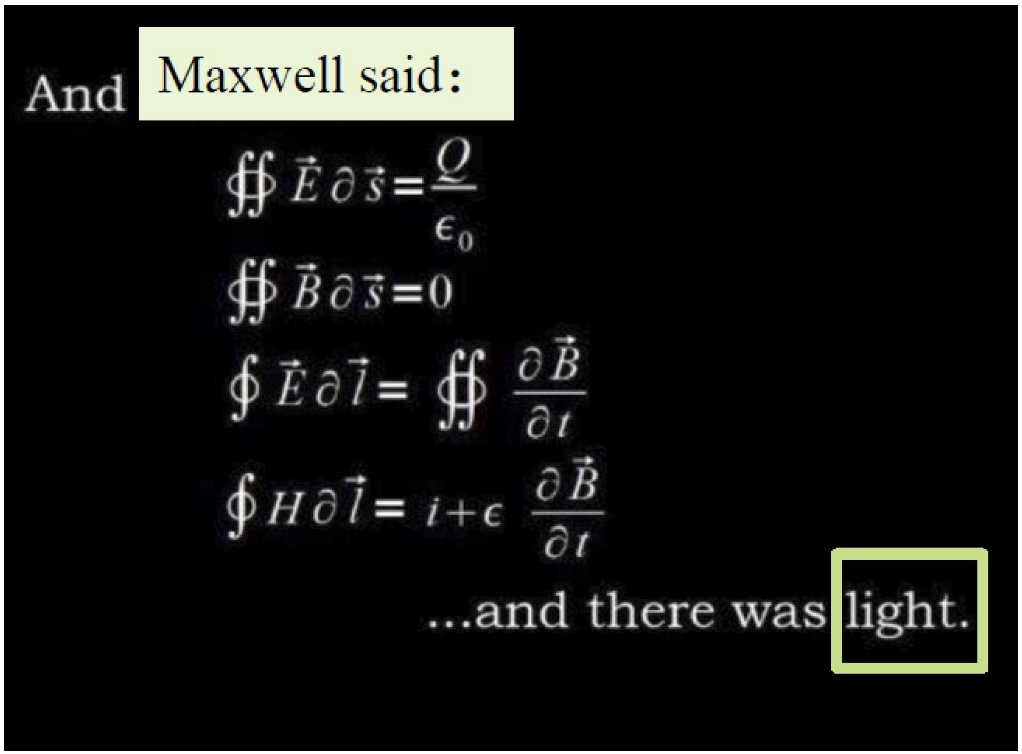


牛顿虽然坚持光的微粒说，但他对于**Francesco Grimaldi**所观察到的衍射现象，甚至也稍作妥协，解释为光在以太中移动时会产生的局部波动。

第十一章　波动光学

“光”　是什么？

——光是一种电磁波。



麦克斯韦电磁场方程的积分形式

$$\begin{cases} \oint_S \vec{D}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = \int_V \rho_0 \mathrm{d}V = \sum q_0 \\ \oint_L \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\cdot \mathrm{d}\vec{S} \\ \oint_S \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = 0 \\ \oint_L \vec{H}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \int_S (\vec{j}_\mathrm{c} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t})\cdot \mathrm{d}\vec{S} \end{cases}$$

补充方程

（1） $\vec{D} = \varepsilon \vec{E} = \varepsilon_0 \varepsilon_\mathrm{r} \vec{E}$

（2） $\vec{B} = \mu \vec{H} = \mu_0 \mu_\mathrm{r} \vec{H}$

（3） $\vec{j}_\mathrm{c} = \sigma \vec{E}$

麦克斯韦电磁场方程的微分形式

$$\left\{\begin{aligned} &\nabla \cdot \vec{D} = \rho_0 \\ &\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ &\nabla \cdot \vec{B} = 0 \\ &\nabla \times \vec{H} = \vec{j}_c + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \end{aligned}\right.$$

麦克斯韦的发现：

对于自由空间（即空间中的自由电荷和传导电流都为零）而言，我们可以将麦克斯韦方程组简化为：

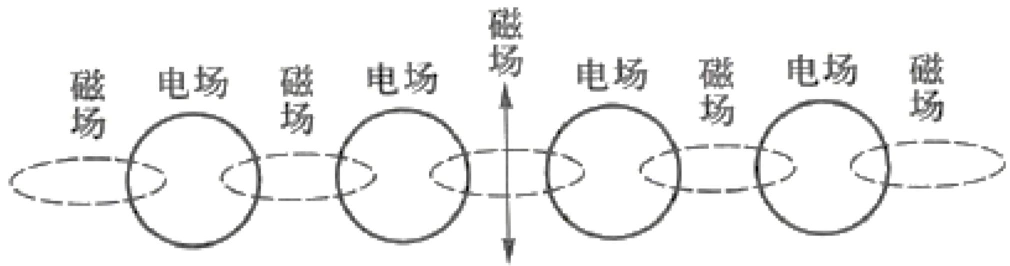
$$\vec{\nabla}\cdot\vec{E}=0$$

$$\vec{\nabla}\cdot\vec{B}=0$$

$$\vec{\nabla}\times\vec{E}=-\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla}\times\vec{B}=\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}$$

麦克斯韦的发现：



麦克斯韦发现，在自由空间中，电磁场之间的相互变化可以沿某些方向传递：磁场的变化在临近的区域内感生出电场，感生出的电场变化又在新的区域感生出新的磁场，假如空间中没有能量损耗，那么这种变化就可以一直传播下去。他对此作了数学的计算：

$$\vec{\nabla}\times(\vec{\nabla}\times\vec{E})=\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}\rightarrow\nabla^2\vec{E}-\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}=0$$

$$\vec{\nabla}\times(\vec{\nabla}\times\vec{B})=\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2}\rightarrow\nabla^2\vec{B}-\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2}=0$$

电磁波

麦克斯韦发现，电磁场变化的传播过程与简谐振动的传播方程非常相似。如果进行物理量的类比，那么，他所得到的的方程中，$\mu_0\varepsilon_0$这一项，将是电磁场变化的传播速度u的平方的导数，即：

$$\frac{1}{u^2} = \mu_0\varepsilon_0$$

$$u = \sqrt{\frac{1}{\mu_0\varepsilon_0}}$$

将$\mu_0\varepsilon_0$的值带入，可以得到 $u \approx 3 \times 10^8\ m/s$，恰好是当时所知的光在真空中的传播速度。因此，麦克斯韦基于他的理论，做出了一个对物理学的发展至关重要的推论：电磁场的变化以波的形式传播，且光就是一种电磁波。

平面电磁波

$$\nabla^2 \vec{E} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

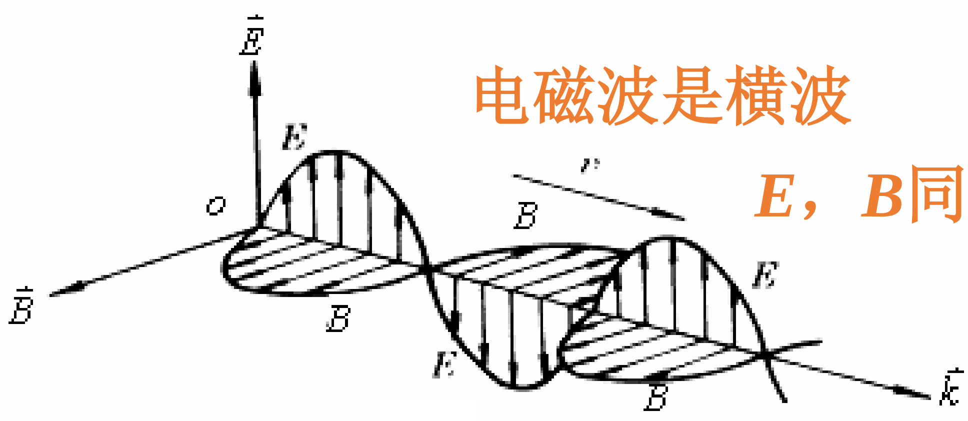
$$\nabla^2 \vec{B} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$ 真空中的光速

平面电磁波方程 $\begin{cases} \vec{E} = \vec{E}_0 \cos\left(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}\right) \\ \vec{B} = \vec{B}_0 \cos\left(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}\right) \end{cases}$ 或 $\begin{matrix} \vec{E} = \vec{E}_0 e^{\pm i\left(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}\right)} \\ \vec{B} = \vec{B}_0 e^{\pm i\left(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}\right)} \end{matrix}$

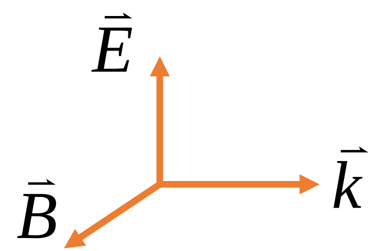
$\vec{k} \times \vec{E} = \omega \vec{B}$ $\quad \vec{k} \perp \vec{B}$ $\quad \vec{E} \perp \vec{B}$

***E*，*B*，*k*成右螺旋关系**



电磁波是横波

***E*，*B*同步**



- 介质中的光速 $$u=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\varepsilon_\mathrm{r}\mu_0\mu_\mathrm{r}}}=\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_\mathrm{r}\mu_\mathrm{r}}}$$

- 介质中波长与真空中波长的关系： $$\lambda_n=\frac{\lambda}{n}$$

- 光强： $I=\bar{S}=\frac{1}{2}E_0H_0\propto E_0^2$ $\quad I=E_0^2=A^2$

可见光的范围

$\lambda: 400\sim 760\ \ \mathrm{nm}$

$\nu: 7.5\times 10^{14}\sim 4.3\times 10^{14}\ \mathrm{Hz}$

- 光波的描述：理想的单色光场波函数

$$E(\vec{r},t)=A(\vec{r})\cos\left[\omega t-\vec{k}\cdot\vec{r}+\varphi_0\right]$$

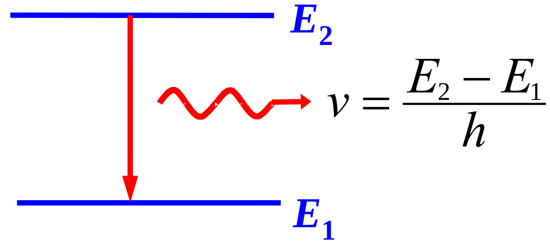
$A(\vec{r})$: 光场振幅分布 $\quad \varphi_0-\vec{k}\cdot\vec{r}$：光场相位分布

§1 相干（coherent）光

一、相干光

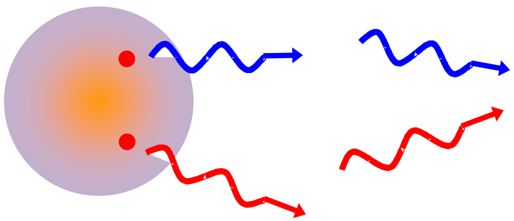
光源的最基本发光单元是分子、原子

能级跃迁辐射



1. 普通光源的发光特点

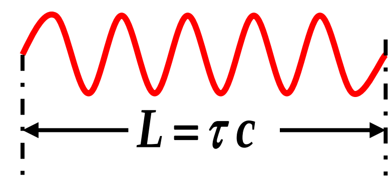
自发辐射



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



$$\tau \sim \frac{1}{\Delta\nu} \sim 10^{-8}\,s$$

⇨ 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

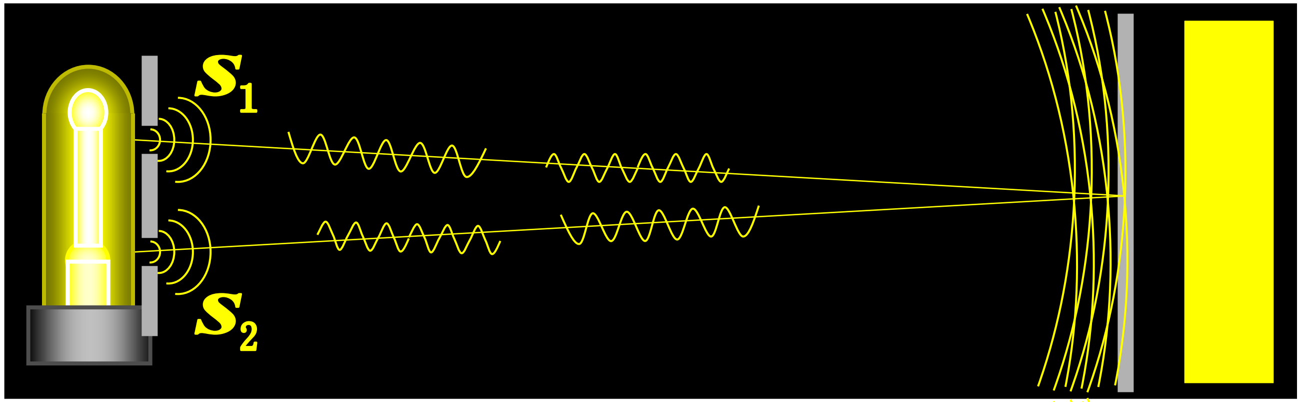
Coherence

Coherence

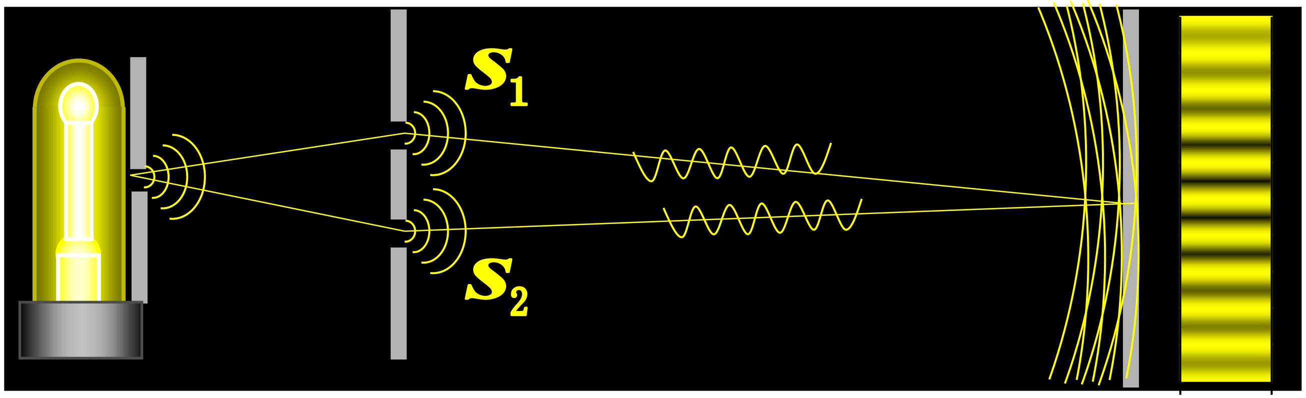
Incoherence

Partial coherence

2. 相干光的获得



不满足
相干条件

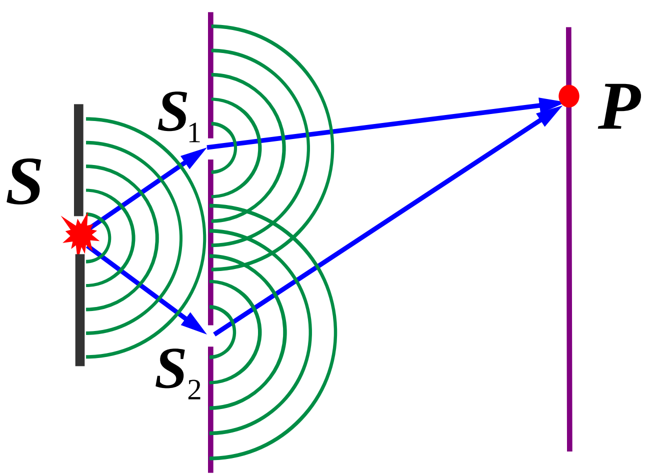


满足
相干条件

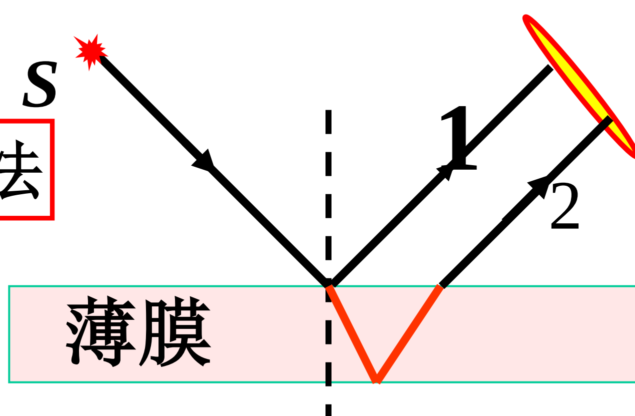
先分 后合

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

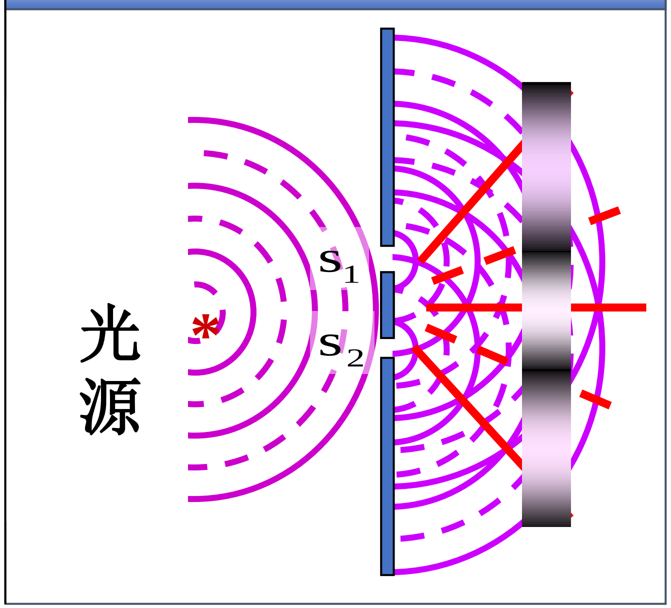
(3) 振动方向平行

(存在相互平行的振动分量)

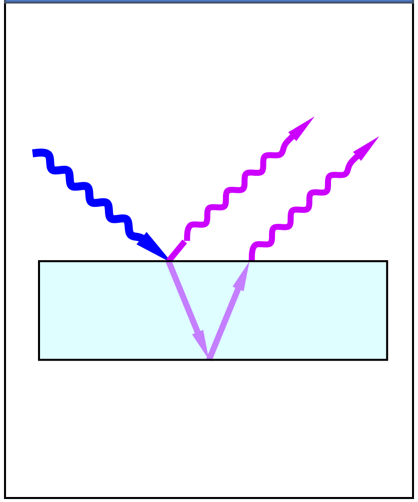
光的干涉

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。

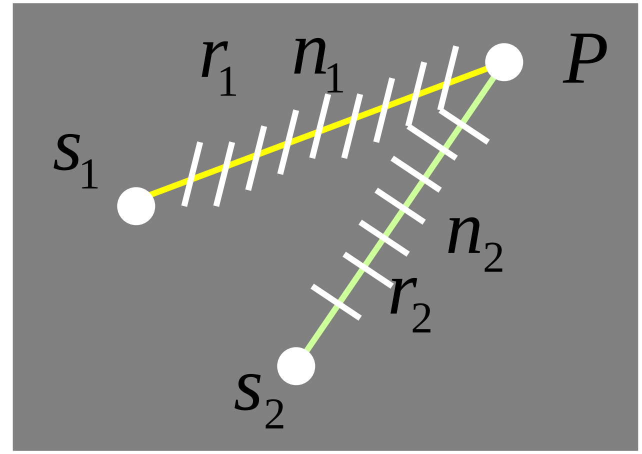
波阵面分割法



振幅分割法



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: $\delta = \left(n_2 r_2 - n_1 r_1\right)$

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

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

设 $\varphi_1 = \varphi_2$

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

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

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

即: $\boxed{\text{相位差} = \frac{2\pi}{\lambda}\text{光程差}}$

干涉加强和减弱的条件:

相位差:

$$\begin{cases} \Delta\varphi = \pm 2k\pi & A = A_1 + A_2 \quad \text{干涉加强} \\ (k = 0 \quad 1 \quad 2\ldots\ldots) & \\ \Delta\varphi = \pm(2k+1)\pi & A = \left|A_1 - A_2\right| \quad \text{干涉减弱} \end{cases}$$

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

光程差:

$$\begin{cases} \delta = \pm k\lambda & A = A_1 + A_2 \quad \text{干涉加强} \\ (k = 0 \quad 1 \quad 2\ldots\ldots) & \\ \delta = \pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & A = \left|A_1 - A_2\right| \quad \text{干涉减弱} \end{cases}$$