第3篇 光学

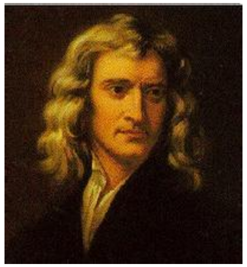
自古以来神奇的光一直吸引着人们：

光是什么？是粒子、是波、是能量？光怎样从物质中发出？又怎样成为物质的一部分？光速为什么是宇宙物质运动的极限？……有些科学已作了回答，有些还在争论不休。但毕竟想方设法去了解光，已带来了物理学一场又一场的革命！

一、人类对光的认识

对光本性的认真探讨，始于17世纪：

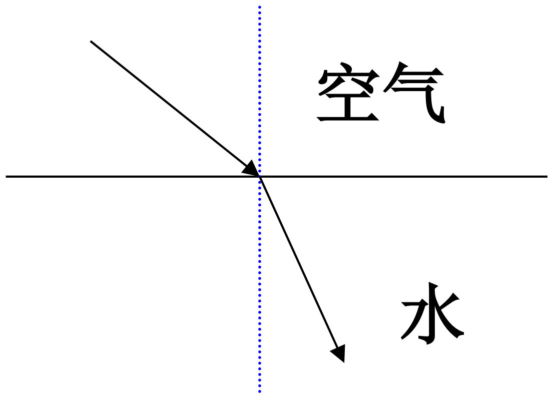
（关于光的本性的探讨）



微粒说

牛顿

$u_{水} > u_{空}$



波动说

惠更斯

$u_{水} < u_{空}$

菲涅耳

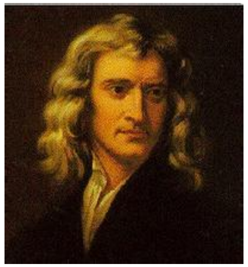
托马斯. 杨

1801年杨氏实验，

1850年傅科测光速—判决性实验

媒质—以太！

一、人类对光的认识



微粒说

牛顿

波动说

惠更斯

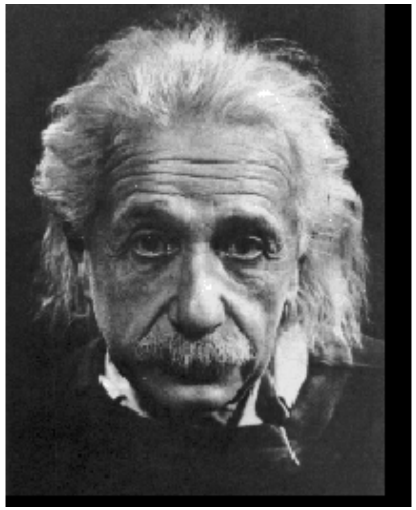
光的本性

光是电磁波

麦克斯韦

光的量子说

波粒二象性



二、光的电磁理论

电磁波谱

γ射线	X射线	紫外线	可见光	红外线	微波	无线电波	

10^{-12}	10^{-10}	$3.8\sim7\times10^{-7}$		10^{-3}	$10^{-1}\sim10^{5}$	$\lambda(\mathrm{m})$
核内粒子作用	内层电子跃迁	外层电子跃迁	分子振动转动	核、电子自旋	晶体、电子线路振荡	

二、光的电磁理论

（1）光速和折射率

$$c=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}=2.99792458\times10^{8}\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

$$u=\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}}\qquad n=\frac{c}{u}=\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}\approx\sqrt{\varepsilon_r}$$

（2）光强

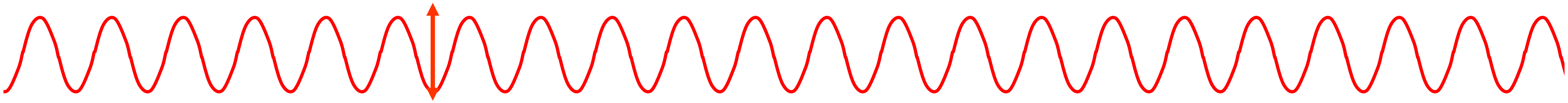
光矢量：$\vec{E}$

光强：$I=\overline{S}\propto\overline{E^2}$

相对光强：$I=\overline{E^2}$

三、单色光　非单色光

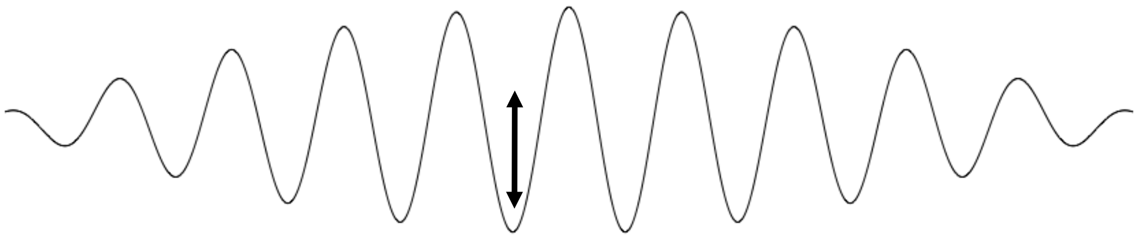
单一波长的光叫单色光，否则为非单色光



单色光的波列无头无尾，无始无终。

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

实际波列有限长——复色光



波列越长 单色性越好

第11章 几何光学的基本概念

§1 几个重要的基本概念

§2 物和像

§3 薄透镜成像

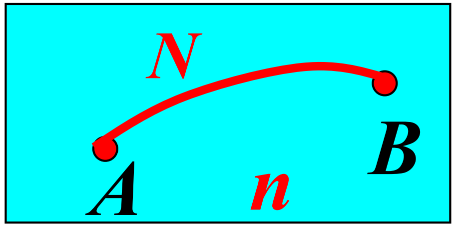
§1. 几个重要的基本概念

一、光程

光程： 光在媒质中经历的几何长度与折射率的乘积

均匀媒质$\Rightarrow L' = nl$

非均匀媒质$\Rightarrow L' = \int_A^B n \mathrm{d}l$



$$\int_A^B \frac{c}{v}\mathrm{d}l = \quad L = \int_A^B n\mathrm{d}l$$

均匀媒质$\Rightarrow L = nl$

$$\|$$

$$c\int_A^B \mathrm{d}t \qquad L = cT_{AB}$$

相当于光用相同的时间在真空中传播的路程。

为什么要引入光程的概念？

借助光程，可将光在各种介质中走过的路程折算为在真空中的路程，便于计算或比较光在不同介质中传播所需时间长短。

如：同一束光，分别在折射率为n_1及n_2的媒质中传播l_1及l_2的距离，所用时间分别是?

$$t_1 = n_1 l_1 / c$$

$$t_2 = n_2 l_2 / c$$

§1. 几个重要的基本概念

二、费马原理（1657年）

在一条光线上的两点之间，光沿着光程最短的路径传播

$$\underset{(N)}{\int_A^B n\mathrm{d}l} < \underset{(M)}{\int_A^B n\mathrm{d}l}$$

（光沿着需要时间最短的路径传播）$T_{AB}(N) < T_{AB}(M)$

光传播的实际路径是使光程取**极值**的路径

费马原理规定了光线传播的唯一可实现的路径 $\Rightarrow$
- 光的可逆性原理
- 光的直线传播定律
- 反射、折射定律

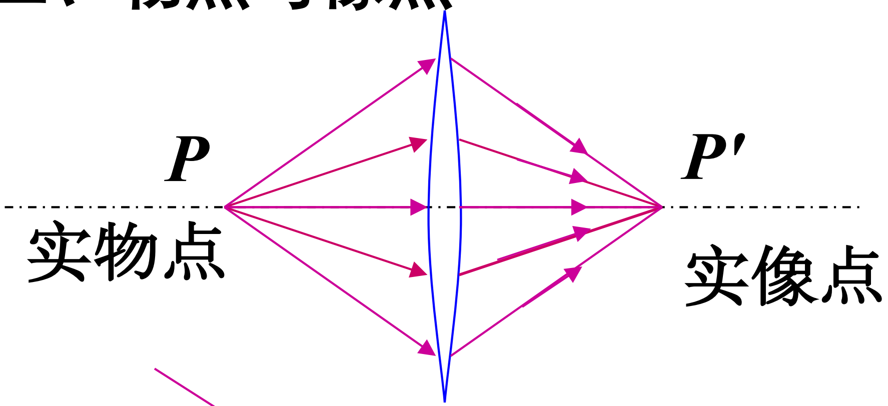
§ 2. 物和像

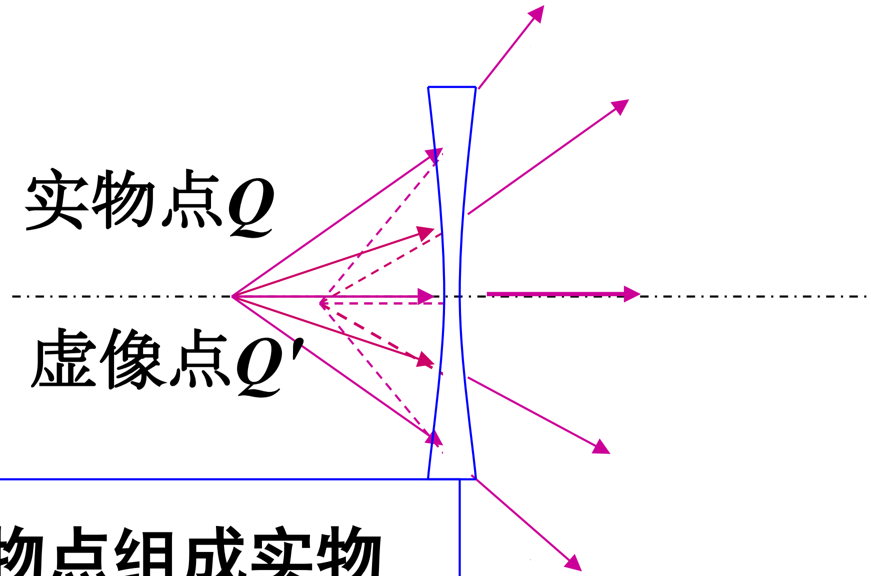
一、物空间和像空间

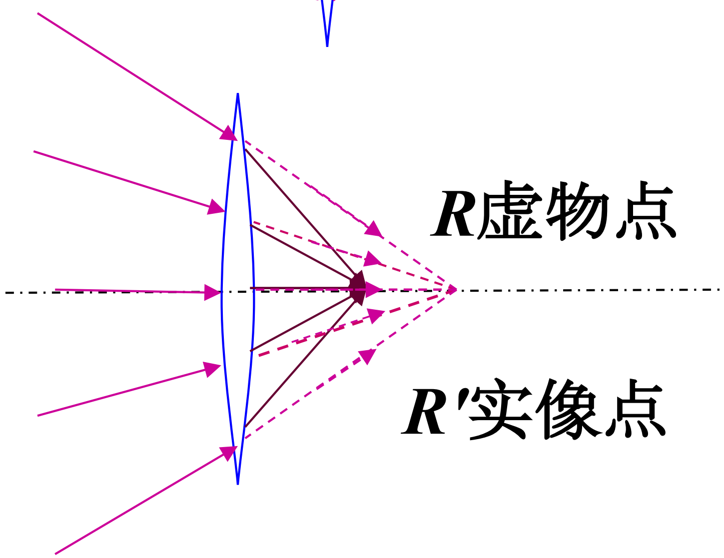
1.物空间：光学成像中物可能达到的空间。

2.像空间：光学成像中像可能达到的空间。

二、物点与像点







实物点组成实物

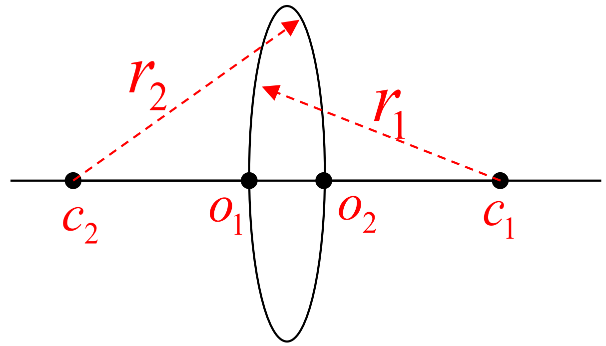
虚物点组成虚物

实像点组成实像

虚像点组成虚像

§3. 薄透镜成像

一、透镜



- 光轴：共轴系统的轴

- 光心：光轴经过的透镜中心点

- 厚度：两球面在主轴上的间距。—— $\overline{o_1o_2}$

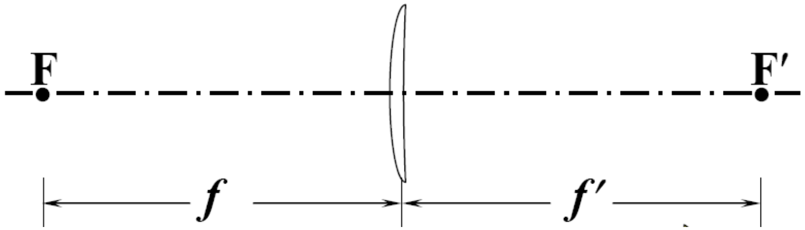
当透镜厚度与其曲率半径相比可以忽略不计时，称为**薄透镜**；

当透镜厚度与其曲率半径相比不可忽略不计时，称为**厚透镜**。

§ 3. 薄透镜成像

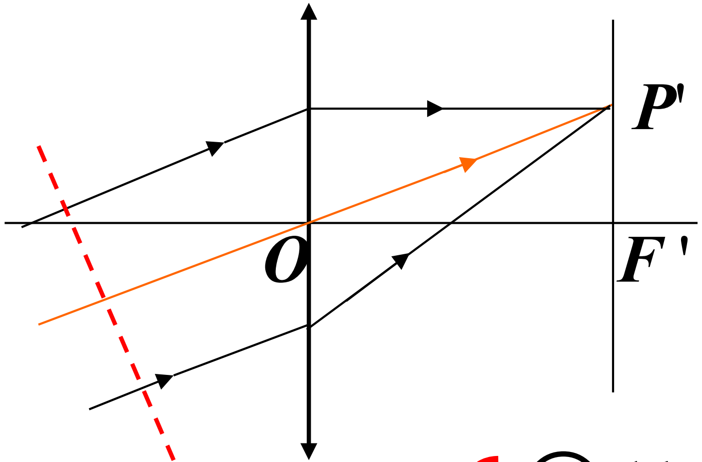
二、薄透镜焦点和焦平面

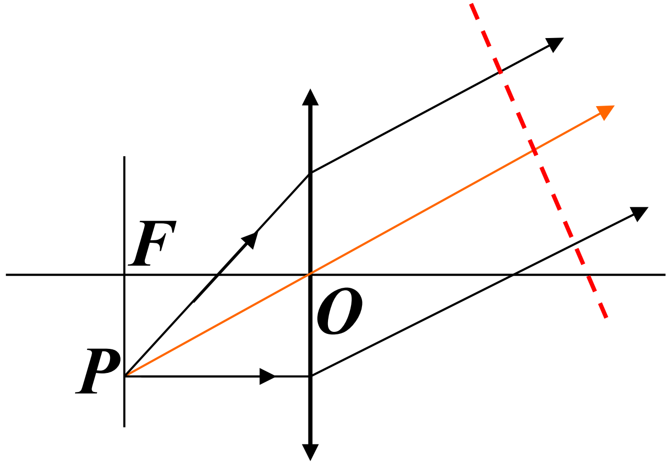
焦点 F， F'



像方焦平面：在近轴条件，过像方焦点F′且与主轴垂直的平面。

物方焦平面：在近轴条件，过物方焦点F且与主轴垂直的平面。



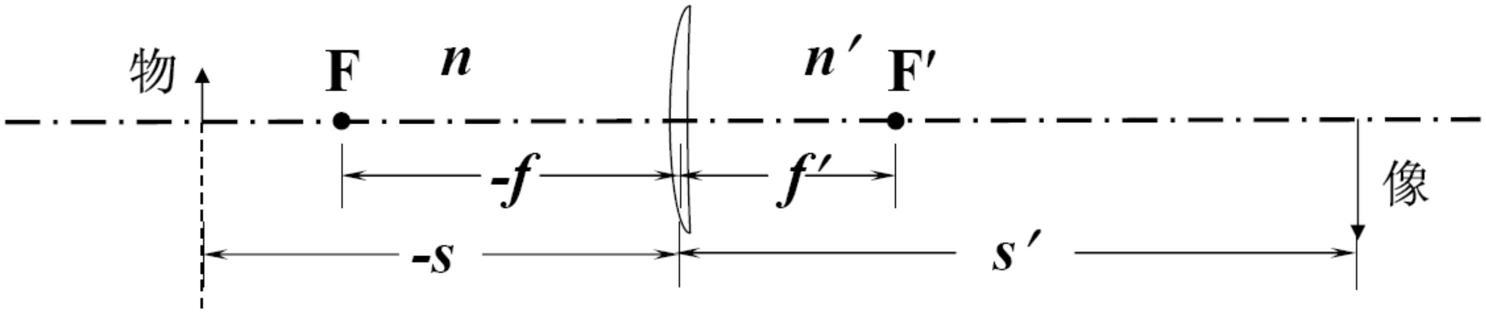


特点
①所有光线等光程
②过光心的光线不改变方向

§ 3. 薄透镜成像

三、薄透镜成像

1.公式法



成像公式 $$\frac{f'}{s'}+\frac{f}{s}=1$$

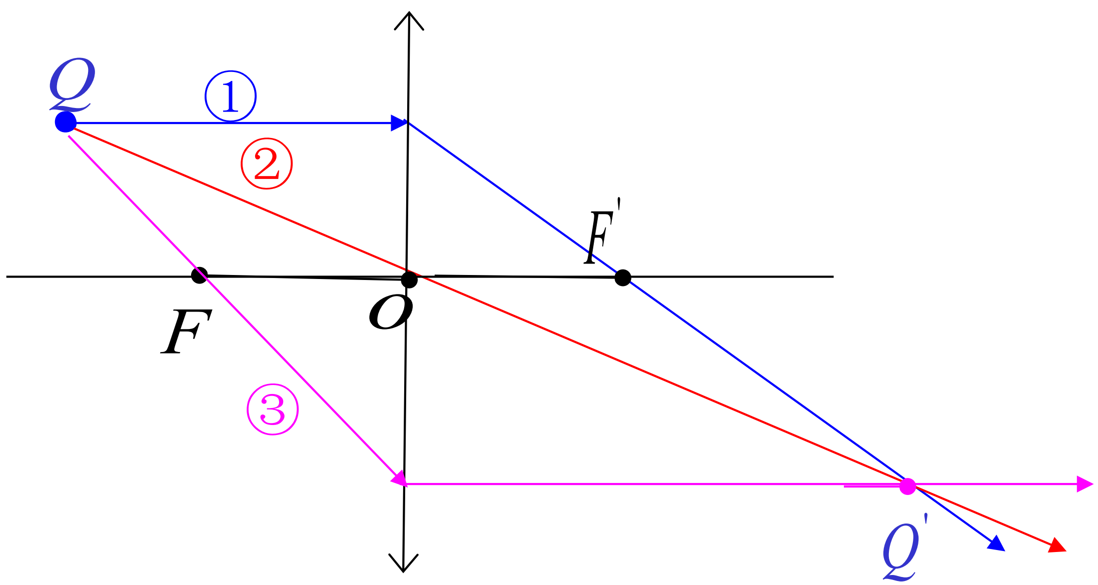
当 $n=n'$ 时 $$\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}$$

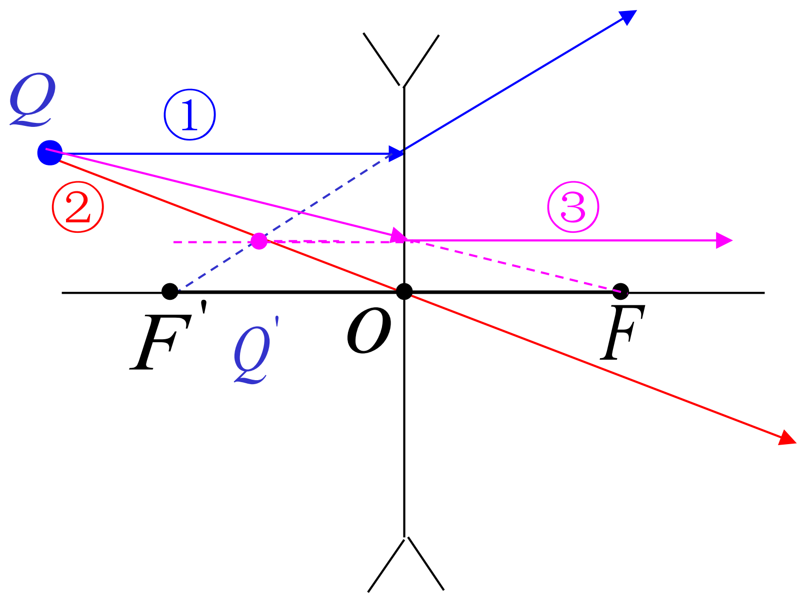
§ 3. 薄透镜成像

三、薄透镜成像

2.作图法 (在近轴条件下适用)

利用三条特殊光线中的两条，其折射后的交点即为所求像点。





第12章 光的干涉

§1. 光的干涉现象

回顾：波的叠加原理

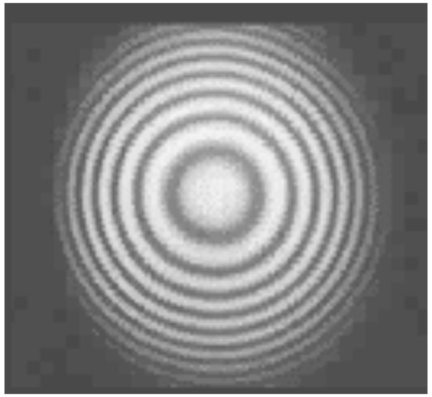
1、波的传播独立性：几个波相遇后，并不改变各自的原有特征（波长、频率、振动方向）而继续向前传播。就好象没有与其它波相遇一样。

2、在相遇区域内，任一质点的振动是这几个波单独在该点引起的振动的合成。即任一时刻，各质点的位移是各波在该点引起位移的矢量和。

§1. 光的干涉现象

机械波的干涉：振动加强或减弱的点在空间的分布是稳定的

光的干涉：明暗（强度）在空间的稳定分布

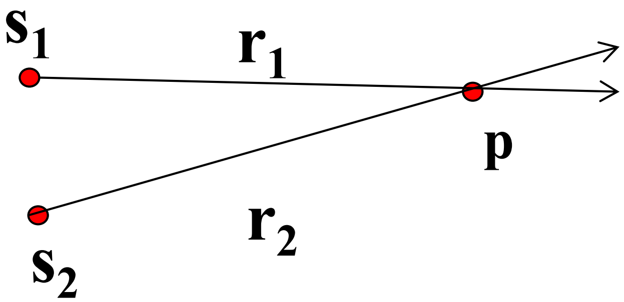


考察两个单色点光源在P点的相遇情况：

$$\overrightarrow{E_{s1}} = \overrightarrow{E_{10}}\cos(\omega_1 t + \varphi_{10})$$

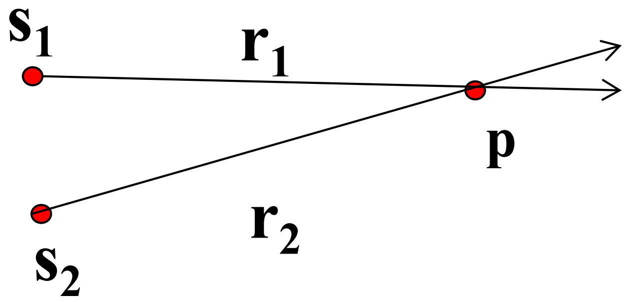
$$\overrightarrow{E_{s2}} = \overrightarrow{E_{20}}\cos(\omega_2 t + \varphi_{20})$$

两列光波的波函数为：



$$\overrightarrow{E_1} = \overrightarrow{E_{10}}\cos[\omega_1(t - \frac{x}{v_1}) + \varphi_{10}]$$

$$\overrightarrow{E_2} = \overrightarrow{E_{20}}\cos[\omega_2(t - \frac{x}{v_2}) + \varphi_{20}]$$



两列波在*P*点的光矢量分别为：

$$\overrightarrow{E_1}=\overrightarrow{E_{10}}\cos[\omega_1(t-\frac{r_1}{v_1})+\varphi_{10}]=\overrightarrow{E_{10}}\cos[\omega_1(t-\frac{n_1 r_1}{c})+\varphi_{10}]$$

$$=\overrightarrow{E_{10}}\cos[\omega_1 t+\varphi_1]\qquad \varphi_1=-\frac{2\pi L_1}{\lambda_{10}}+\varphi_{10}$$

$$\overrightarrow{E_2}=\overrightarrow{E_{20}}\cos[\omega_2(t-\frac{r_2}{v_2})+\varphi_{20}]=\overrightarrow{E_{20}}\cos[\omega_2(t-\frac{n_2 r_2}{c})+\varphi_{20}]$$

$$=\overrightarrow{E_{20}}\cos[\omega_2 t+\varphi_2]\qquad \varphi_2=-\frac{2\pi L_2}{\lambda_{20}}+\varphi_{20}$$

***P*点的光矢量：** $\vec{E}=\overrightarrow{E_1}+\overrightarrow{E_2}$

***P*点的光强：**

$$I_p=\overline{E^2}=\overline{(\overrightarrow{E_1}+\overrightarrow{E_2})\cdot(\overrightarrow{E_1}+\overrightarrow{E_2})}=\overline{E_1^2}+\overline{E_2^2}+\boxed{2\overline{\overrightarrow{E_1}\cdot\overrightarrow{E_2}}}$$

$$I_p=I_1+I_2+\boxed{I_{12}}$$

干涉项

§ 1. 光的干涉现象

$$I_{12} = 2\overline{\overrightarrow{E_1} \cdot \overrightarrow{E_2}} = \frac{2}{T}\int_0^T \overrightarrow{E_{10}} \cdot \overrightarrow{E_{20}} \cos(\omega_1 t + \varphi_1)\cos(\omega_2 t + \varphi_2)\mathrm{d}t$$

$$= \frac{1}{T}E_{10}E_{20}\int_0^T \cos\alpha\{\cos[(\omega_1 - \omega_2)t + (\varphi_1 - \varphi_2)] + \cos[(\omega_1 + \omega_2)t + (\varphi_1 + \varphi_2)]\}\mathrm{d}t$$

$$= \frac{1}{T}E_{10}E_{20}\int_0^T \cos\alpha\cos[(\omega_1 - \omega_2)t + (\varphi_1 - \varphi_2)]\mathrm{d}t$$

相干条件：即I_{12}不处处为零

1. 两束光的频率相等： $\omega_1 = \omega_2$

$$I_{12} = \frac{1}{T}E_{10}E_{20}\int_0^T \cos\alpha\cos(\varphi_1 - \varphi_2)\mathrm{d}t = \frac{1}{T}E_{10}E_{20}\int_0^T \cos\alpha\cos\Delta\varphi\mathrm{d}t$$

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{2\pi\delta}{\lambda_0} + (\varphi_{10} - \varphi_{20})$$

$$\boxed{\delta = L_2 - L_1}$$

光程差

§ 1. 光的干涉现象

2. 两束光的相位差恒定 ⇐ $\Delta\varphi$ 不随时间变化

3. 两束光的光矢量相对取向恒定，且不相互垂直 ⇐ $\alpha \neq \frac{\pi}{2}$ 且 α 不随时间变化

一般实验室的干涉实验： $\cos\alpha \approx 1$

⇓

$$I_{12} = E_{10}E_{20}\cos\Delta\varphi = 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\varphi$$

*P*点的光强：

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

§ 1. 光的干涉现象

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

$\Delta\varphi = \frac{2\pi\delta}{\lambda_0} + (\varphi_{10} - \varphi_{20})$　　简化问题： $\varphi_{10} = \varphi_{20}$

干涉相长： $\Delta\varphi = \pm 2k\pi \quad (k = 0, 1, 2, \ldots)$

$$\delta = \pm k\lambda_0 \quad (k = 0, 1, 2, \ldots)$$

$$\boxed{I_{Max} = (\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2})^2}$$

干涉相消： $\Delta\varphi = \pm(2k' - 1)\pi \quad (k' = 1, 2, \ldots)$

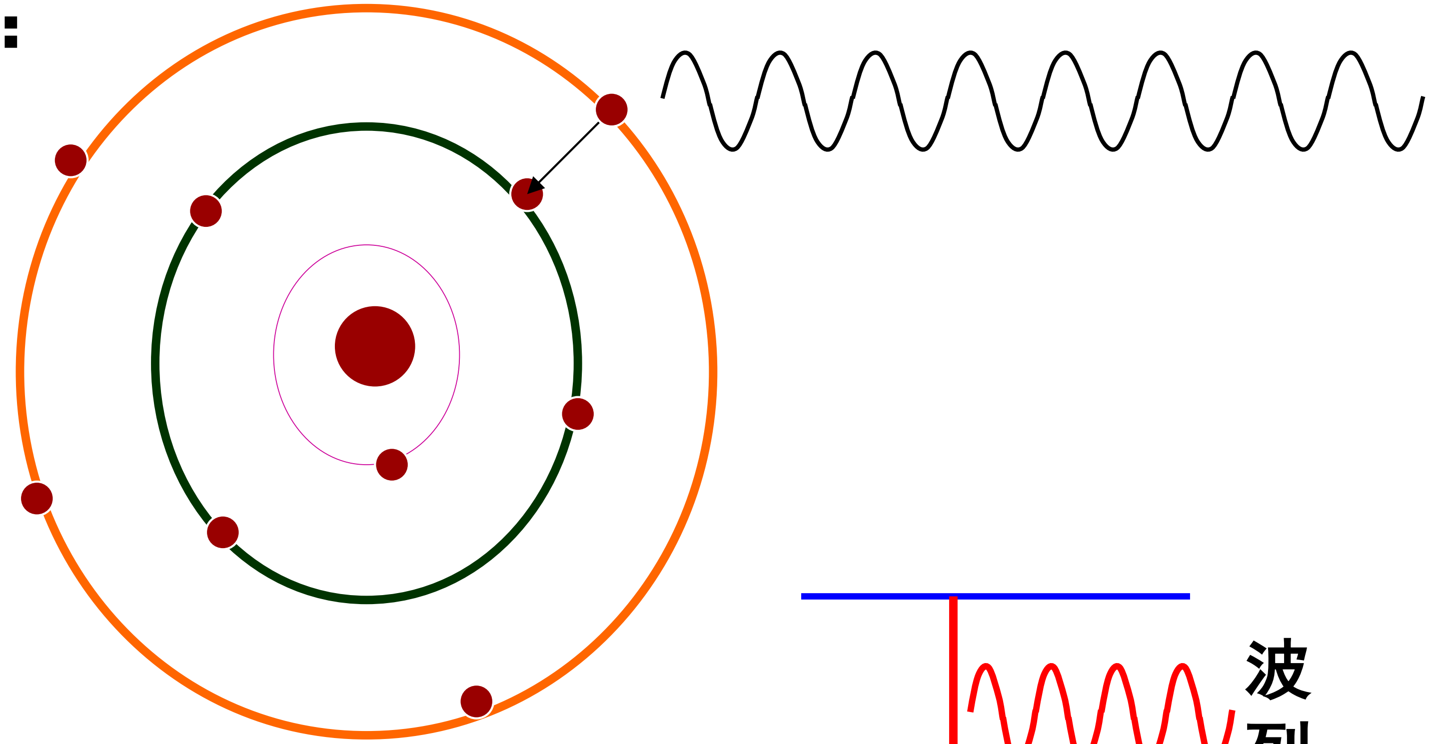
$$\delta = \pm(2k' - 1)\frac{\lambda_0}{2} \quad (k' = 1, 2, \ldots)$$

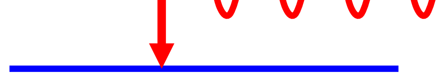
$$\boxed{I_{min} = (\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2})^2}$$

§1. 光的干涉现象

普通的两个独立光源发光相干吗？ 否

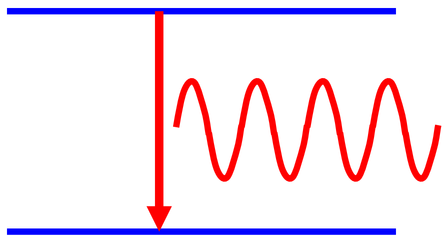
光源发光：





§ 1. 光的干涉现象

普通光源发光：



1、不同的原子发光是独立的

→ 振动方向不可能一致

2、每个原子发光动作是间歇的，各原子步调不一致

→相位差不能保持恒定

产生干涉：

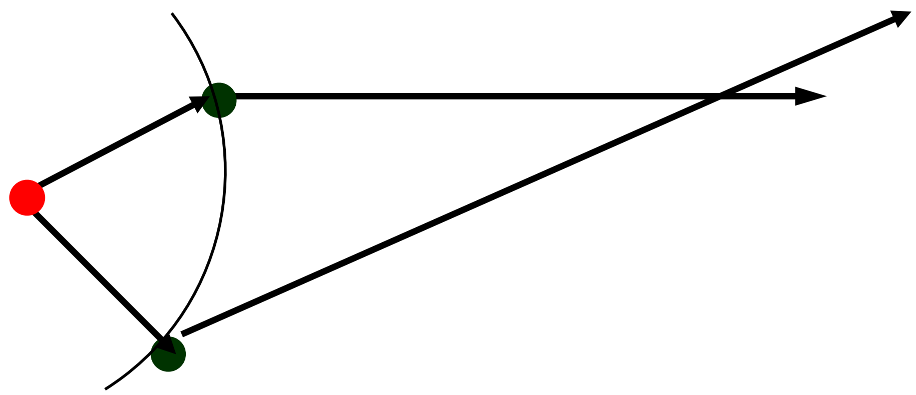
同一原子发出的光→分成二束→再相遇

§1. 光的干涉现象

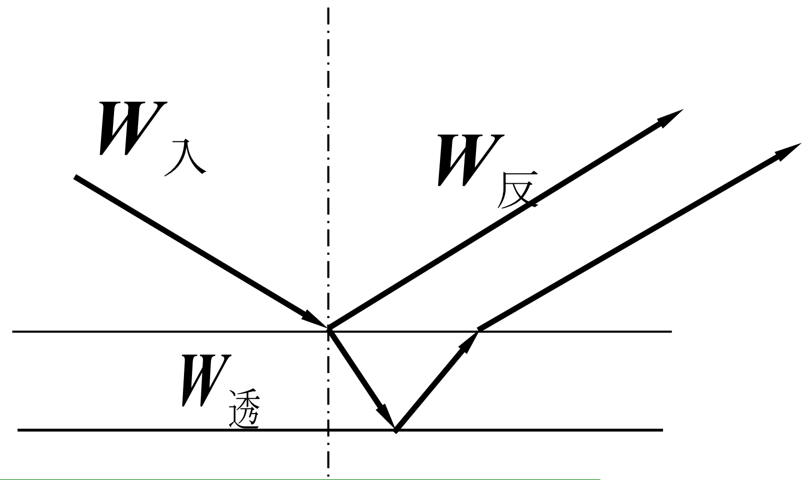
获得相干光的主要方法：

同一原子发出的光→分成二束→再相遇

- 分波阵面法



- 分振幅干涉法



$$\boxed{W_{入} = W_{反} + W_{透}}$$

$$W \propto E_0^2$$