

第十三章

波动光学

第十三章 波动光学

- § 13-1 光波及相干条件
- § 13-2 分波前干涉
- § 13-3 分振幅干涉
- § 13-4 惠更斯-菲涅耳原理
- § 13-5 单缝和圆孔的夫琅禾费衍射
- § 13-6 衍射光栅
- § 13-7 衍射规律的应用
- § 13-8 信息光学
- § 13-9 光的偏振态
- § 13-10 偏振光的获得和检测
- § 13-11 旋光现象和电磁场的光效应
- § 13-12 光的吸收、色散和散射

17—18世纪是光学发展史上的一个重要时期。伽利略、开普勒发明了天文望远镜，斯涅尔、笛卡儿导出了光的折射定律和反射定律。

对于光的本质存在争论，牛顿支持光的**微粒学说**，它可以说明光的反射和折射规律，并认为光在水中的传播速度比空气中的速度大。惠更斯支持光的**波动学说**，它也能解释光的反射和折射规律，并能说明双折射现象，但是认为光在水中的传播速度比空气中的速度小。

1850年傅科从实验中测定了光在水中的传播速度比空气中的速度小，法拉第、麦克斯韦证明了光是电磁波。爱因斯坦用光量子理论解释了光电效应实验。因此光具有**波粒二相性**。

§ 13-1 光波及相干条件

一、光 波

波函数 $y = A \cos(\omega t - kx + \varphi)$

代表一系列无限延续的平面单色光波。

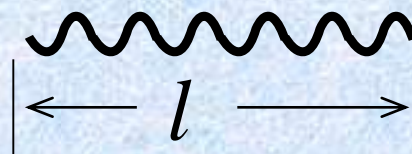
普通光源：
1 发光的间隙性
2 发光的随机性

$\Delta\nu$; $\Delta\lambda$ 表示光源单色性好坏

电矢量 \vec{E} 的振动称为光振动

光强
$$I = \bar{S} = \frac{1}{2} E_0 H_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} E_0^2 = \frac{n}{2\mu c} E_0^2$$

$$\Delta t < 10^{-8} \text{ s}$$



光波列长度 $l = \Delta t \times c$

$$\bar{\lambda} \gg \Delta\lambda$$

称为准单色光

同一种介质中光强的相对分布

$$I = E_0^2$$

沿 r 方向传播电磁波电场分量表示为

$$E = E_0 \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t - \varphi_0)$$

复数形式 $\tilde{E}(\vec{r}, t) = E_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t - \varphi_0)}$

或 $\tilde{E}(\vec{r}, t) = E_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \varphi_0)} e^{-i\omega t} = \tilde{E}(\vec{r}) e^{-i\omega t}$

其中 $\tilde{E}(\vec{r}) = E_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \varphi_0)}$ (复振幅)

矢量形式 $\tilde{\vec{E}}(\vec{r}) = \vec{E}_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \varphi_0)}$

发散球面波 $E(\vec{r}, t) = \frac{E_0}{r} \cos(kr - \omega t - \varphi_0)$

二、光程(optical path)

$$\left. \begin{array}{l} \text{真空中} \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi l}{\lambda} \\ \text{介质中} \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi x}{\lambda'} \end{array} \right\} \quad \text{两式相比得} \quad l = \frac{\lambda}{\lambda'} x$$

$$\text{由 } n = \frac{c}{v}, \quad f = \frac{c}{\lambda} = \frac{v}{\lambda'} \quad \text{得} \quad n = \frac{\lambda}{\lambda'}$$

所以
$$l = nx$$

此式表示, 光在折射率为 n 的介质中传播 x 路程所引起的相位变化, 与在真空中传播 nx 的路程所引起的相位变化相同。根据这个道理, 我们**把光传播的路程与所在介质折射率的乘积**, 定义为**光程**。

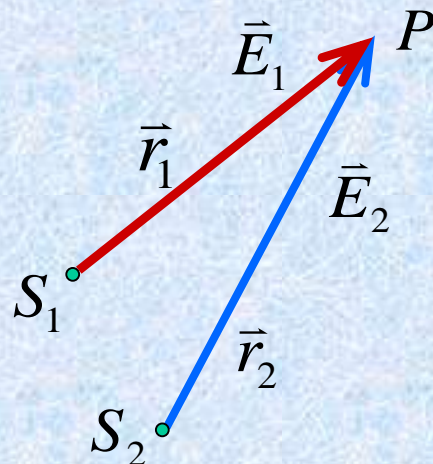
一般式
$$L = \sum_i n_i x_i$$

三、相干条件(*coherent condition*)

光的独立传播原理 光波叠加原理

P 点合振动 $\tilde{\vec{E}}(P) = \tilde{\vec{E}}_1(\vec{r}_1) + \tilde{\vec{E}}_2(\vec{r}_2)$

$$= \vec{E}_{01} e^{i(\vec{k}_1 \cdot \vec{r}_1 - \varphi_{01})} + \vec{E}_{02} e^{i(\vec{k}_2 \cdot \vec{r}_2 - \varphi_{02})}$$



P 点光强

$$I(P) = \tilde{\vec{E}}(P) \cdot \tilde{\vec{E}}^*(P) = [\tilde{\vec{E}}_1(P) + \tilde{\vec{E}}_2(P)] \cdot [\tilde{\vec{E}}_1^*(P) + \tilde{\vec{E}}_2^*(P)]$$

$$= E_{01}^2(P) + E_{02}^2(P) + 2\vec{E}_{01}(P) \cdot \vec{E}_{02}(P) \cos \delta(P)$$

$$= I_1 + I_2 + 2\vec{E}_1(P) \cdot \vec{E}_2(P) \cos \delta(P)$$

P 点相位差 $\delta(P) = k_2 r_2 - k_1 r_1 - (\varphi_{02} - \varphi_{01})$

相遇处的光强与它们之间的相位差 δ 有关

当 $\cos \delta > 0$ 时 $I > I_1 + I_2$ 当 $\cos \delta < 0$ 时 $I < I_1 + I_2$

由光波的叠加而引起光强重新分布的现象，称为光的干涉。

干涉项 $2\vec{E}_{01}(P) \cdot \vec{E}_{02}(P) \cos \delta(P)$

干涉项不为零的叠加，称为相干叠加

相干条件：(1)频率相同；

(2)存在互相平行的振动分量； (3)具有固定的相位关系。

光强决定于干涉项中的 $[k_2 r_2 - k_1 r_1]$ 因子

$$k_2 r_2 - k_1 r_1 = \frac{2\pi}{\lambda_2} r_2 - \frac{2\pi}{\lambda_1} r_1 = \frac{2\pi}{\lambda} (n_2 r_2 - n_1 r_1) = \frac{2\pi}{\lambda} (l_2 - l_1)$$

光程差 $\Delta l = l_2 - l_1$

在相遇处各点的光强决定于两列光波到达该点的光程差。

四、获得相干光波的方法

- | | |
|-----------|-------------|
| (1) 分波前法 | 杨氏双缝干涉 |
| (2) 分振幅法 | 薄膜干涉和迈克耳孙干涉 |
| (3) 分振动面法 | 偏振光干涉 |