第二章　波动光学基本原理

§1 定态光波及其复振幅描述

1.1 波动 概述

1）波动：　振动在空间的传播

机械振动---机械波----质点位移y

电磁振动---电磁波----电场强度E

2）波动的特征：

时空双重周期性+能量传播

电磁波：　$\vec{E}=\vec{E}(t,r)$　　T, l

3）波的几何描述：波面+波线

4）波的分类：

波场中波的物理量：

标量波，矢量波，张量波

电磁场：$\vec{E} = \vec{E}(t, r)$ $\vec{H} = \vec{H}(t, r)$

波场中波面的形状：

平面波，球面波，柱面波，…

1.2 定态光波的概念

1）定态波场：

空间各点均为同频率的简谐振动

空间各点振动的振幅不随时间变化

2）定态光波表示式：

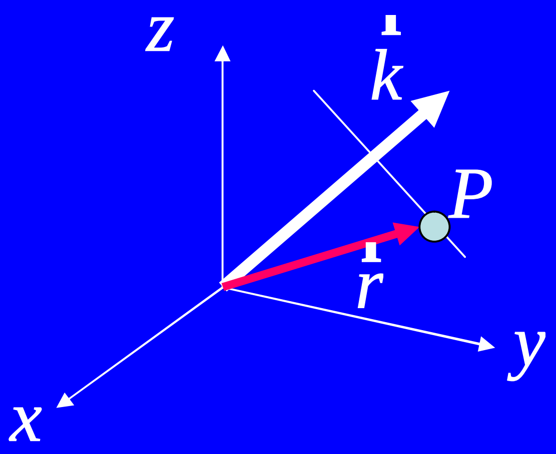
$$U(P,t) = A(P)\cos[wt - j(P)]$$

$A(P)$ ---空间振幅分布

$j(P)$ ---空间位相分布

$\cos(wt)$ ---同频简谐振动

3）定态平面波U(P,t)的特征：



$\vec{r}$ ---场点位置

$\vec{k}$ ---波矢

$$U(P,t) = A(P)\cos[wt - j\,(P)]$$

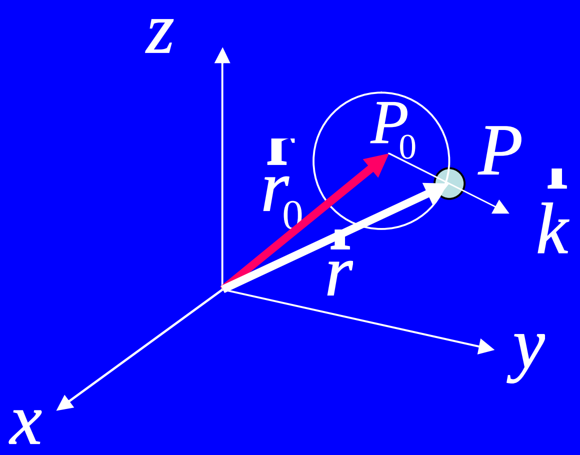
$$= A\cos[wt - (\vec{k}\cdot\vec{r} + j_0)]$$

特点： $A(P) = A$

$$j\,(P) = \vec{k}\cdot\vec{r} + j_0 = k_x x + k_y y + k_z z + j_0$$

j (P)是x, y, z的线性函数

4）定态球面波U(P,t)的特征：



P_0 ---源点

$\vec{r}_0$ ---源点位置

$\vec{r}$ ---场点位置

$\vec{k}$ ---波矢

$$U(P,t) = A(P)\cos[wt - j(P)]$$

$$= \frac{a}{|\vec{r} - \vec{r}_0|}\cos[wt - (\vec{k}\cdot(\vec{r} - \vec{r}_0) + j_0)]$$

特点：　$A(P)$　反比于场点到振源的距离

$$j(P) = \vec{k}\cdot(\vec{r} - \vec{r}_0) + j_0$$

j (P)=常数时代表一个球面

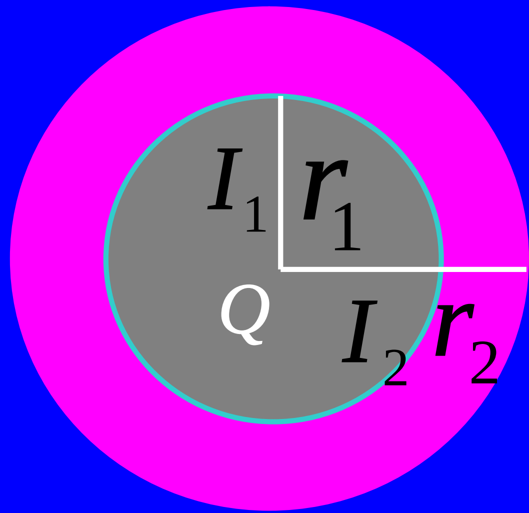
（a）讨论球面波振幅特点

$$U(P,t)=\frac{a}{|\vec{r}-\vec{r}_0|}\cos[wt-(\vec{k}\cdot(\vec{r}-\vec{r}_0)+j_0)]$$

设振源在坐标原点，即 $A(P)=\dfrac{a}{r}$

证明： 由能量守恒定律：

$$I_1\cdot 4pr_1^2=I_2\cdot 4pr_2^2$$



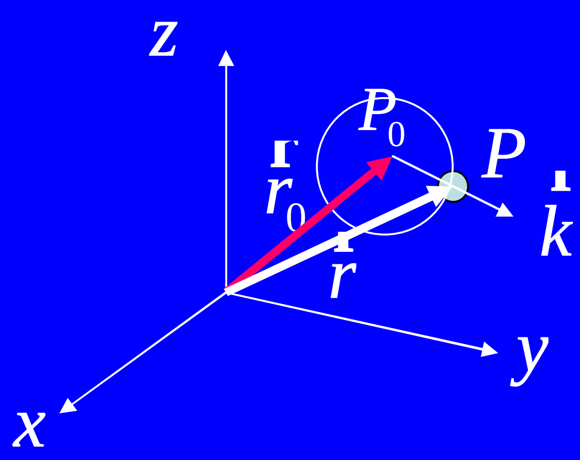
取： $r_1=1$ $I_1=a^2$

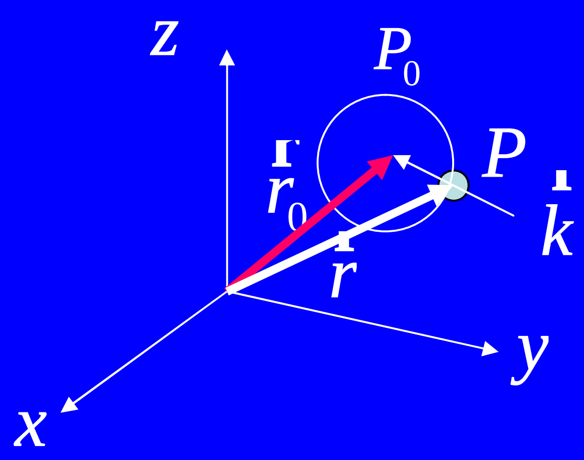
则： $r_2=r$ $I_2=A^2(P)=\dfrac{a^2}{r^2}$

$$\Rightarrow \quad A(P)=\frac{a}{r}$$

(b) 讨论球面波位相特点

$$U(P,t)=\frac{a}{|\vec{r}-\vec{r}_0|}\cos[\omega t-(\vec{k}\cdot(\vec{r}-\vec{r}_0)+\varphi_0)]$$





发散球面波：

$$\varphi(P)=k|\vec{r}-\vec{r}_0|+\varphi_0$$

会聚球面波：

$$\varphi(P)=-k|\vec{r}-\vec{r}_0|+\varphi_0$$

$$|\vec{r}-\vec{r}_0|=\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2}$$

1.3 定态光波的复振幅描述

1）定态波场的指数形式

$$U(P,t) = A(P)\cos[wt - j(P)]$$

$$\tilde{U}(P,t) = A(P)e^{-i[wt - j(P)]}$$

$$= A(P)e^{ij(P)}e^{-iwt}$$

2）定态波场的复振幅

$$\tilde{U}(P) = A(P)e^{ij(P)}$$

---波场空间分布因子

1.4 平面波和球面波的复振幅

1) 平面波的复振幅

$$\tilde{U}(P) = A(P)e^{i\varphi(P)} = Ae^{i(\vec{k}\cdot\vec{r}+\varphi_0)}$$

$$= Ae^{i(k_x x + k_y y + k_z z + \varphi_0)}$$

例： 已知位相分布 $\varphi(P) = lx + my + nz + p$

求波的传播方向和波长。

例： 已知位相分布 $\varphi(P) = lx + my + nz + p$

求波的传播方向和波长。

解： $$\varphi(P) = \vec{k}\cdot\vec{r} + \varphi_0 = k_x x + k_y y + k_z z + \varphi_0$$

$$\vec{k} = \{k_x, k_y, k_z\} \qquad k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2} = 2\pi/\lambda$$

$$\vec{k} = k\{\cos\alpha, \cos\beta, \cos\gamma\}$$

$$l = k\cos\alpha,\ m = k\cos\beta,\ n = k\cos\gamma$$

波的方向： $\cos\alpha = l/k, \cos\beta = m/k, \cos\gamma = n/k$

波长： $\lambda = 2\pi/k = 2\pi/\sqrt{l^2 + m^2 + n^2}$

2) 球面波的复振幅

$$\tilde{U}(P) = A(P)e^{i\varphi(P)} = \frac{a}{|\vec{r}-\vec{r}_0|}e^{i[(\vec{k}\cdot(\vec{r}-\vec{r}_0)+\varphi_0)]}$$

$$|\vec{r}-\vec{r}_0| = \sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2}$$

例： 习题6

写出向$P(x_0,y_0,z_0)$点会聚的球面波的复振幅

1.5 光强度的复振幅表示

在相同介质中有： $I \propto nE_0^2$

相对光强： $I = E_0^2$

振幅：A(P) $I = E_0^2 = A^2(P)$

复振幅： $\tilde{U}(P) = A(P)e^{ij(P)}$

$A(P)$ 是 $\tilde{U}(P)$ 的模

$$I = \tilde{U}^*(P)\tilde{U}(P)$$

作 业：

习题1, 4, 5