第二章 波动光学基本原理

第一节 定态光波和复振幅描述

第一节 定态光波和复振幅描述

1.1 波动概述

1.2 定态光波的概念

1.3 复振幅描述

1.4 平面波和球面波的复振幅描述

1.5 强度的复振幅描述

1.1 波动概述

振动在空间的传播 → 振动场

i）基本特点：

波场中每点的物理状态随时间作周期性的变化，而在每一瞬时波场中各点物理状态的空间分布也呈现一定的周期性--**时空双重周期性**

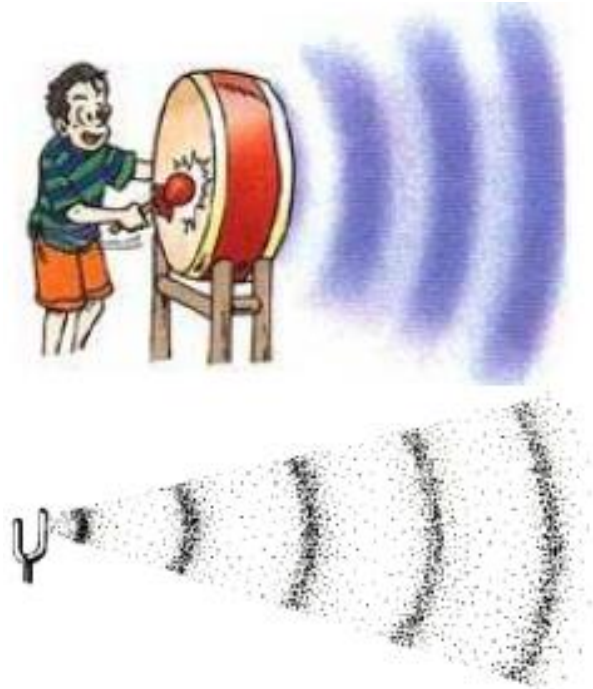
1.1 波动概述

ii）分类：

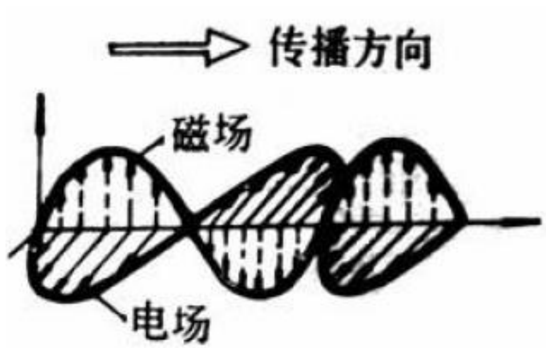
标量波：温度、密度、……

矢量波：电磁波、……

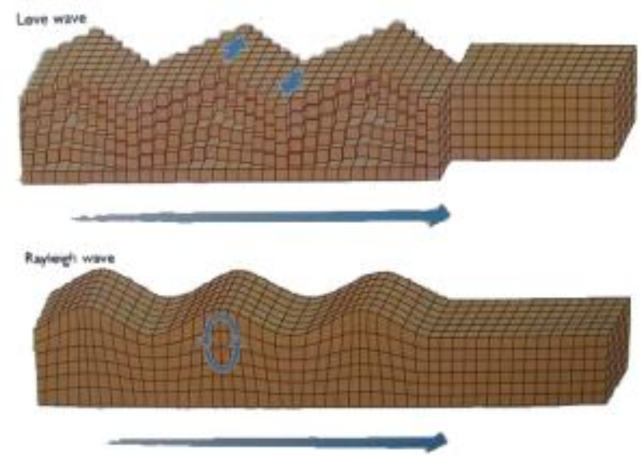
张量波：固体中的声波、地震波……



空气中的声波—疏密波



电磁场—矢量波



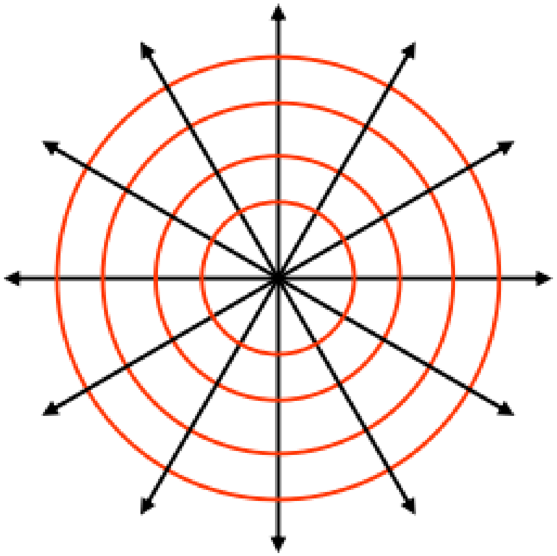
地震波—张量波

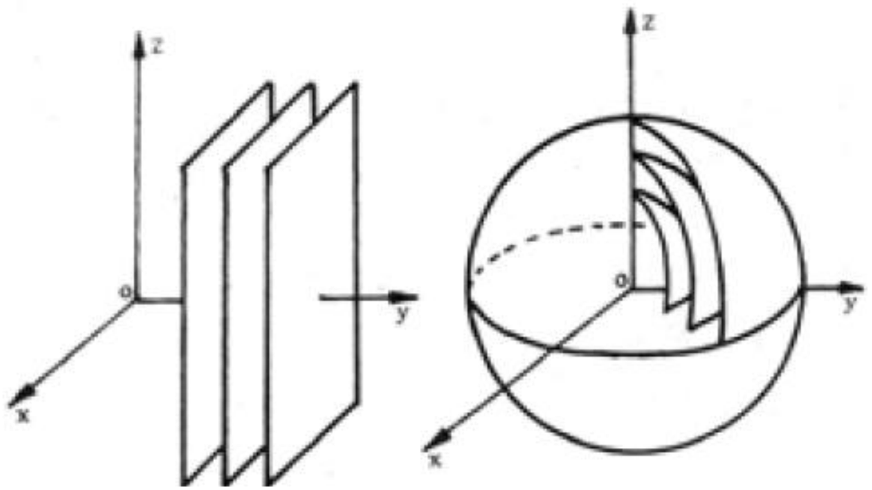
1.1 波动概述

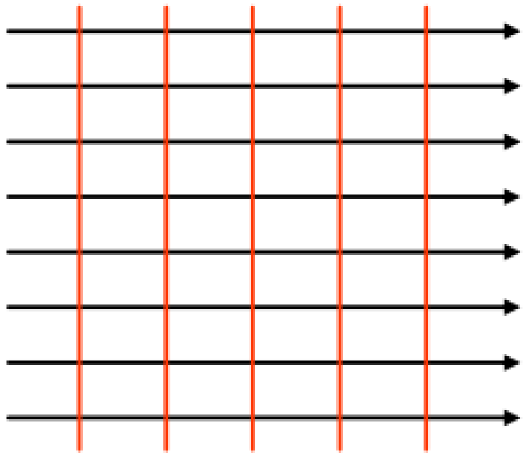
iii）几何描述：

波面(wave surface)：等相位面

波线(wave ray)：能量传播的方向





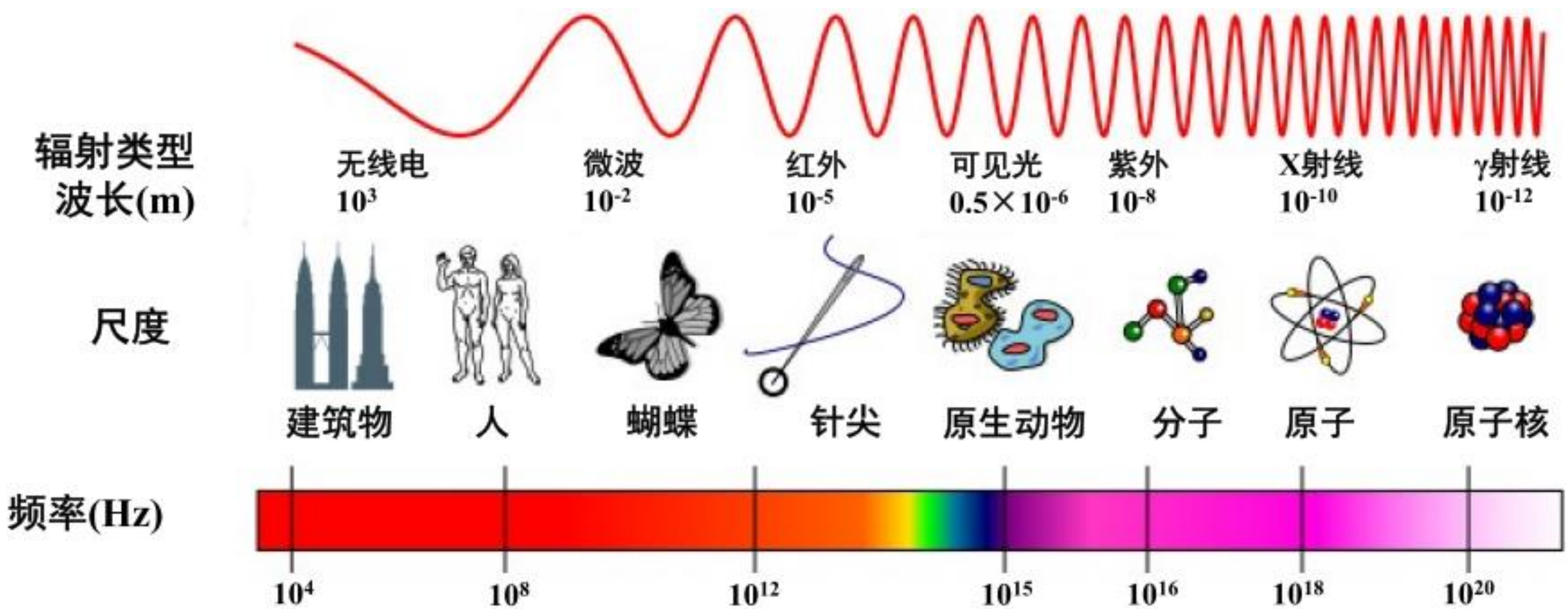


球面波→波面为球面→同心光束

平面波→波面为平面→平行光束（特殊的球面波）

1.1 波动概述

电磁波谱



真空紫外（VUV）　紫外光　　　可见光　　　　红外光

50nm------400nm-------780nm-------------100μm

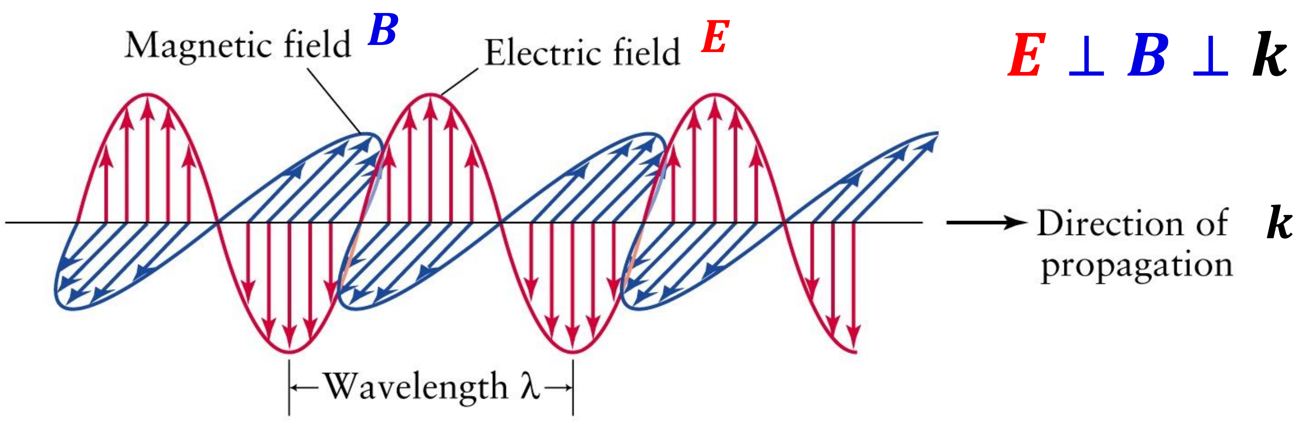
　　　　　　　　　　近红外　　　中红外　　　　远红外

对红外光来说　0.78μm----------2.5μm---------15μm---------100μm

1.1 波动概述

光波场的特性

- 是电场强度、磁感应强度的矢量场



$\boldsymbol{E} \perp \boldsymbol{B} \perp \boldsymbol{k}$

$\boldsymbol{\lambda}$：波长；（介质中波长=真空中波长/n）；

$\boldsymbol{\nu = c/\lambda}$：频率；（ω $= \boldsymbol{2\pi\nu}$ 圆频率，角频率）

$\boldsymbol{k}$：波矢；(传播方向)；$|\boldsymbol{k}| = \frac{\boldsymbol{2\pi}}{\boldsymbol{\lambda}} = \frac{\boldsymbol{\omega}}{\boldsymbol{c}}$

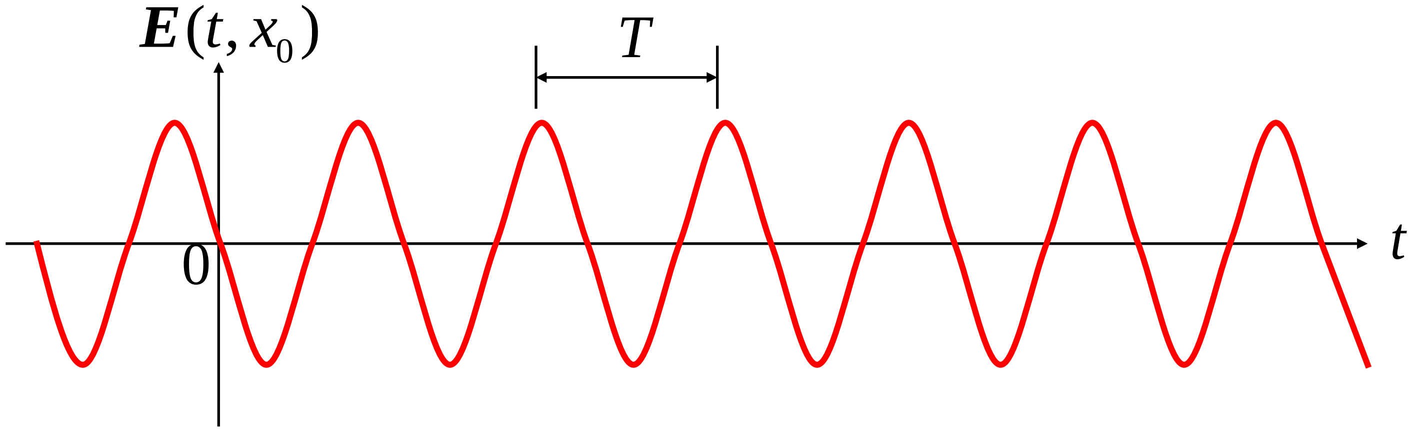
E的振动方向：偏振

光强：$I = \bar{S} = \frac{n}{2c\mu_0} E_0^2 \propto E_0^2$

1.1 波动概述

波的周期性

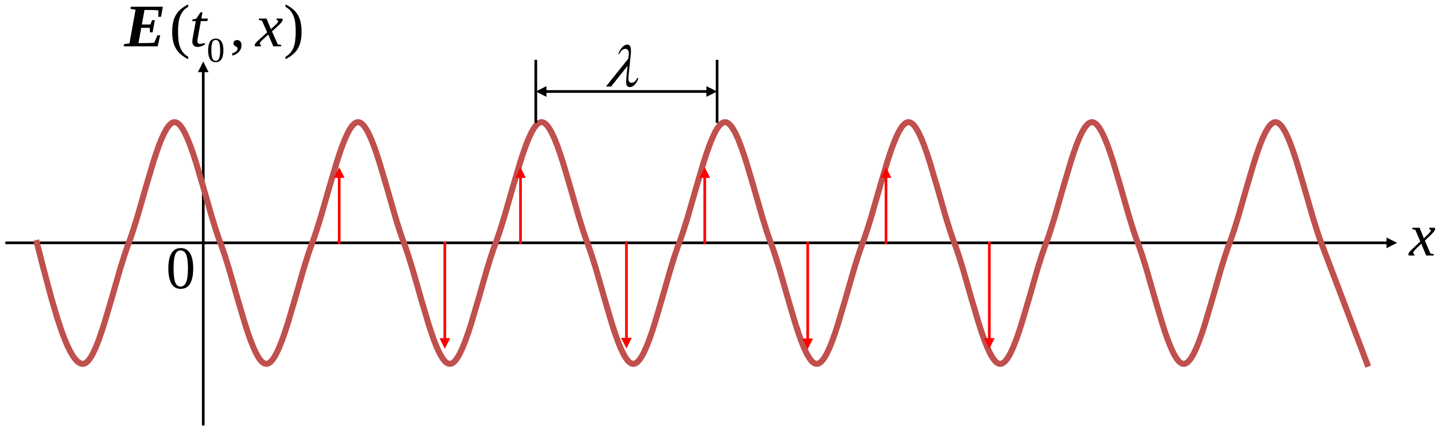
- 时间周期性：波场中任一点的物理量，随时间做周期变化，具有时间上的周期性
- 时间周期：T ；$\nu = 1/T$：时间频率，单位时间内变化（振动）的次数



1.1 波动概述

波的周期性

- 空间周期性：某一时刻，波场物理量的分布，随空间作周期性变化，具有空间上的周期性
- 波长λ：空间周期；$\tilde{\nu}=1/\lambda$：空间频率，单位空间长度内物理量的变化次数，波数



波场具有空间、时间两重周期性

1.1 波动概述

光波场的特性

- 光是交变电磁波，波长~500nm，频率~10^{14}Hz
- 发射源是微观客体，具有独立、随机的特性。
- 从传播的角度看，是波动，是振动的传播：用速度、方向、振幅等参数描述
- 从物理量分布的角度看，是交变的空间场：用电场强度、磁场强度等物理量描述
- 时间、空间是描述波的重要参量

1.2 定态光波的概念

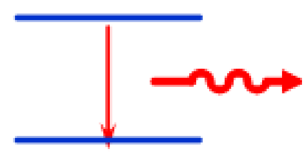
定态光波的定义

（1）空间各点的扰动是同频率的简谐振动；

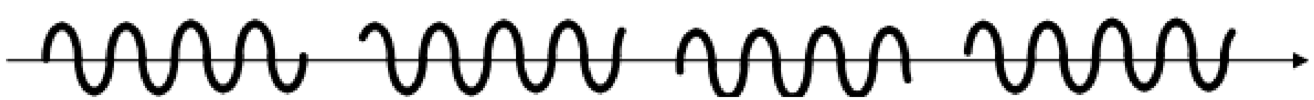
（2）波场中各点扰动的振幅不随时间变化，在空间形成一个稳定的振幅分布。

- 严格满足上述要求的光波应当充满全空间，是无限长的单色波列。
- 但当波列的持续时间比其扰动周期长得多时，可将其当作无限长波列处理。

发光波列的特点



独立、随机发光



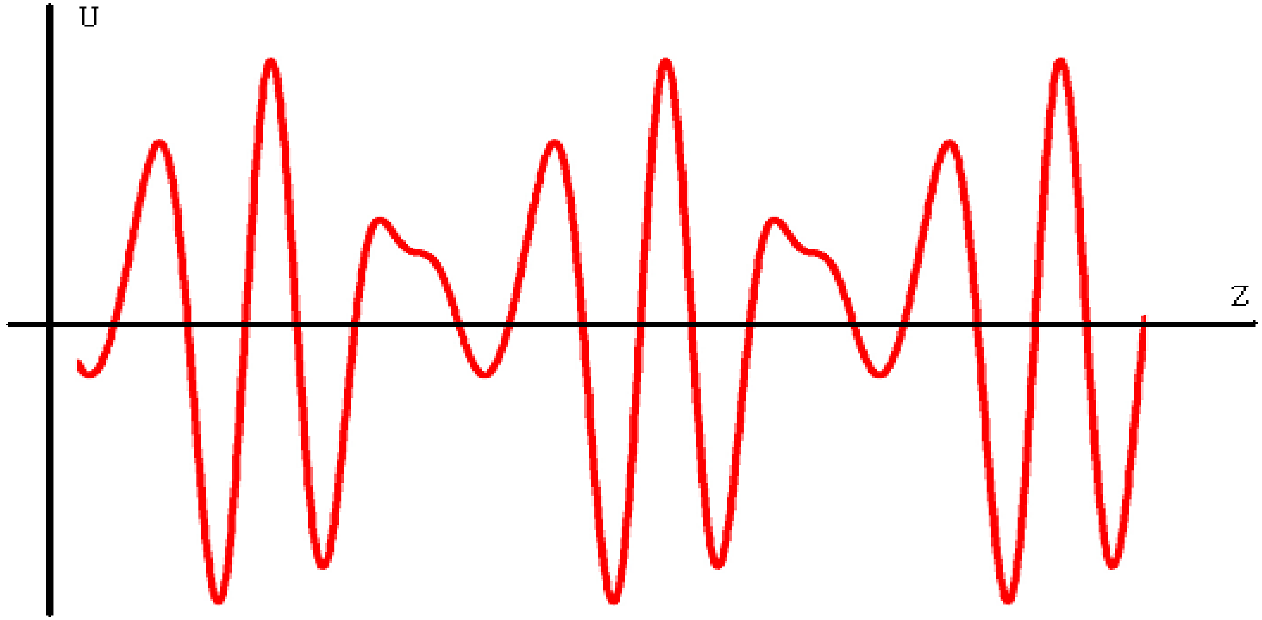
一次发光时间（一个波列）：$10^{-8}\,s$，包含10^{6}个周期。

⇩

- 持续时间远大于震动周期，因此可看做定态波场

1.2 定态光波的概念

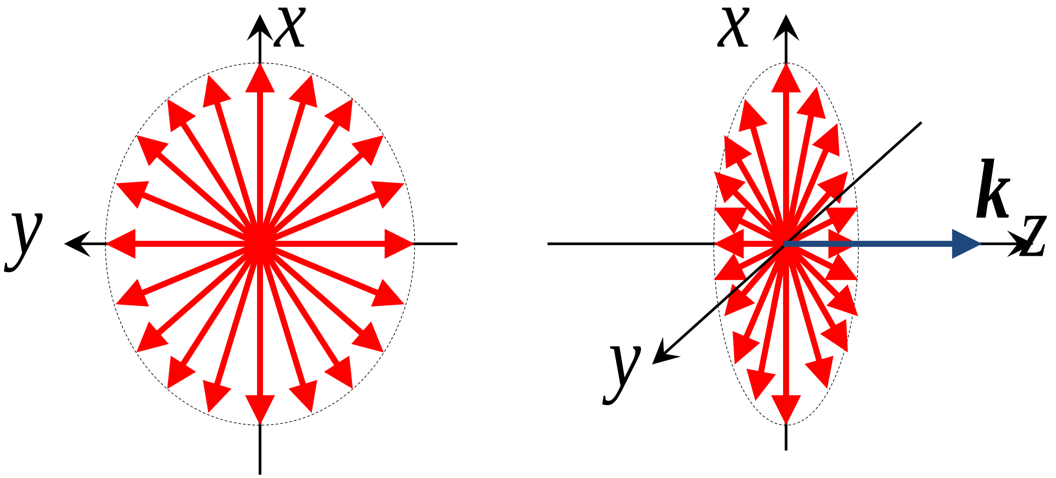
- 任何复杂的非单色波都可以分解为一系列单色波的叠加；
- 简谐波（正弦波）是一种最简单的定态光波，但是定态光波不一定是简谐波，其空间各点的振幅可以不同，只需稳定即可。



1.2 定态光波的概念

定态标量波的数学描述：

电磁波都是矢量波，应该用矢量表达式描述。但对符合上述条件的定态光波，通常用标量表达式描述。



其实是在一个取定的平面内描述定态光波的振动

$$U(p,t)=A(p)\cos\left[\omega t-\varphi(p)\right]$$

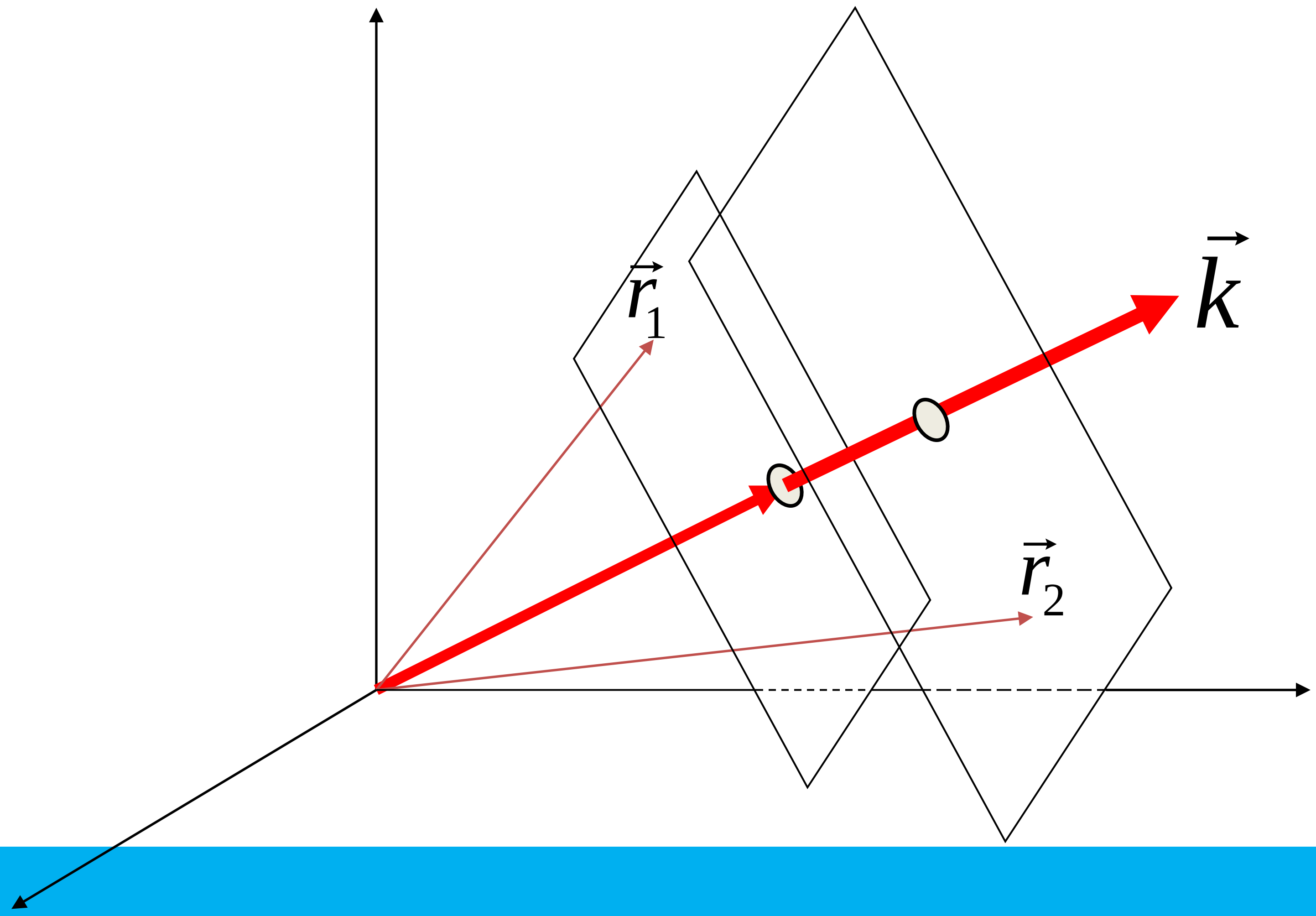
- $A(p)$ 为振幅(Amplitude)的空间分布
- $\varphi(p)$为位相(Phase)的空间分布

p为场点

1.2 定态光波的概念

平面波：

$\vec{k}\cdot\vec{r}$ 的物理含义：$\vec{k}$向 $\vec{r}$方向上的投影，即在$\vec{r}$方向上的相位改变率。



1.2 定态光波的概念

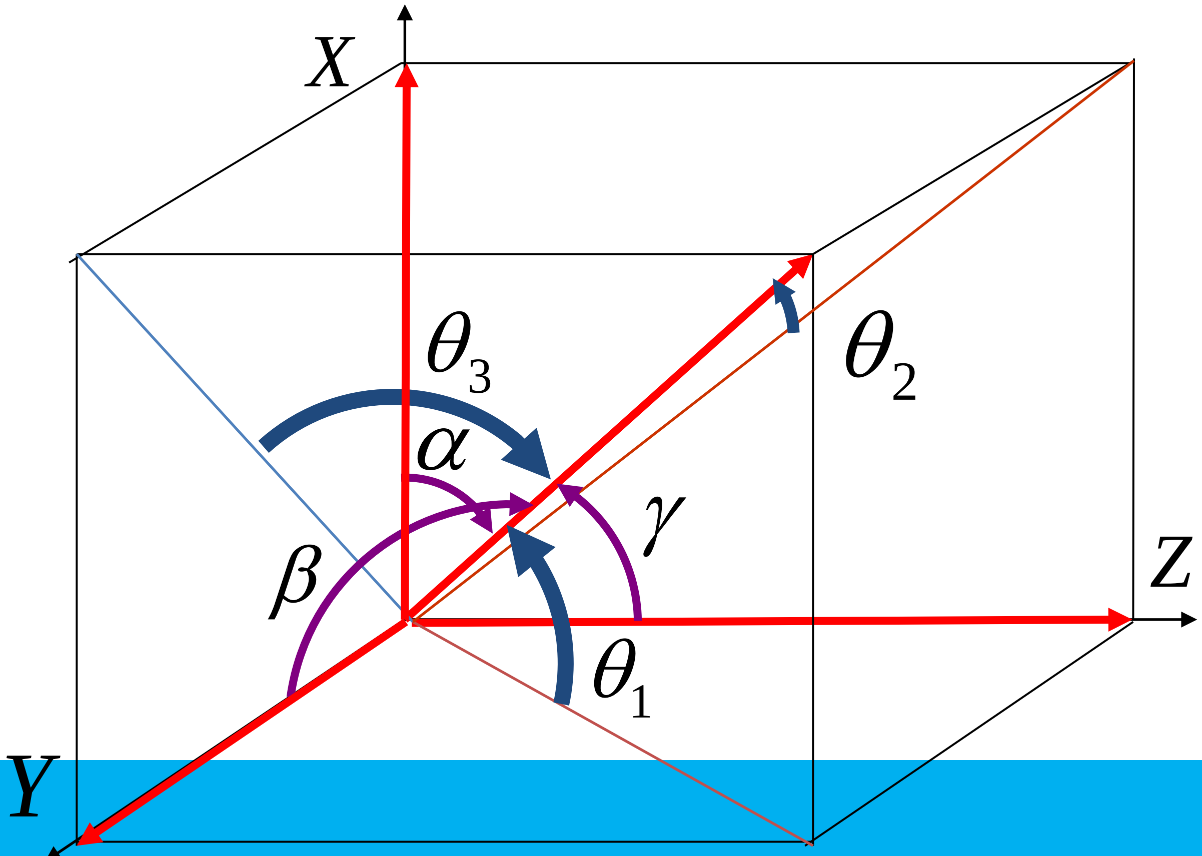
波矢的方向角表示：

- 在数学中常用方向余弦表示矢量的方向，即用矢量与坐标轴间的夹角表示

$$\vec{k}=k(\cos\alpha\boldsymbol{e}_x+\cos\beta\boldsymbol{e}_y+\cos\gamma\boldsymbol{e}_z)$$

- 在光学中习惯上也常采用波矢与平面间的夹角表示矢量的方向

$$\vec{k}=k(\sin\theta_1\boldsymbol{e}_x+\sin\theta_2\boldsymbol{e}_y+\sin\theta_3\boldsymbol{e}_z)$$



1.2 定态光波的概念

波矢的方向角表示：

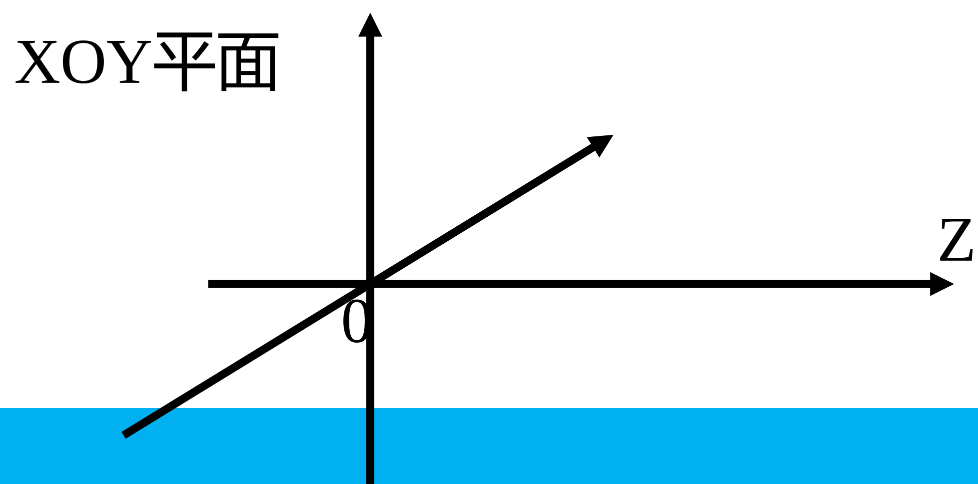
波场中一点（ x,y,z)处的相位为 $\varphi(x,y,z)=\vec{k}\cdot\vec{r}+\varphi_0$

$$\vec{k}=k(\sin\theta_1\boldsymbol{e}_x+\sin\theta_2\boldsymbol{e}_y+\sin\theta_3\boldsymbol{e}_z) \qquad \vec{r}=x\boldsymbol{e}_x+y\boldsymbol{e}_y+z\boldsymbol{e}_z$$

$$\varphi(x,y,z)=k(x\sin\theta_1+y\sin\theta_2+z\sin\theta_3)+\varphi_0$$

通常取一平面在z=0处，则该平面上的相位分布为

$$\varphi(x,y,0)=k(x\sin\theta_1+y\sin\theta_2)+\varphi_0$$



1.2 定态光波的概念

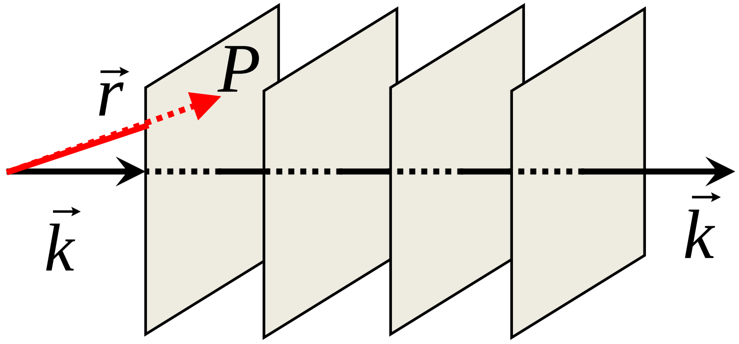
平面波波函数特点：

- 振幅$A(p)$ 为常数，与场点无关
- 位相$\varphi(p)$是空间（直角坐标）的线性函数

场点 $P(x,y,z)=\vec{r}=x\boldsymbol{e}_x+y\boldsymbol{e}_y+z\boldsymbol{e}_z$

波矢 $\vec{k}=k_x\boldsymbol{e}_x+k_y\boldsymbol{e}_y+k_z\boldsymbol{e}_z$

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



平面波 $\vec{k}\cdot\vec{r}=const$

平面波可描述为：$U\left(p,t\right)=A\cos\left[\omega t-\vec{k}\cdot\vec{r}-\varphi_0\right]$

其中：$\vec{k}$为波矢（wave vector），$\vec{r}$为场点的位置

φ_0为原点的初位相

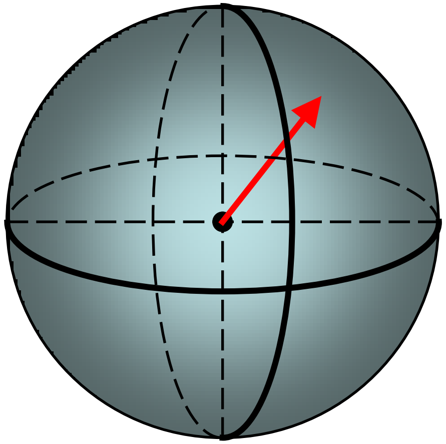
1.2 定态光波的概念

球面波波函数特点：

从点源发出或向点源汇聚。

- 振幅反比于场点到振源的距离（能量守恒）

$$A(P)=a/r$$



- 位相是场点到振源距离的线性函数

$$\varphi(P)=kr+\varphi_0$$

球面波可描述为：$U(p,t)=\dfrac{a}{r}\cos\left[\omega t-kr-\varphi_0\right]$

其中： $k=2\pi/\lambda$为波矢的模，r为场点到振源的距离

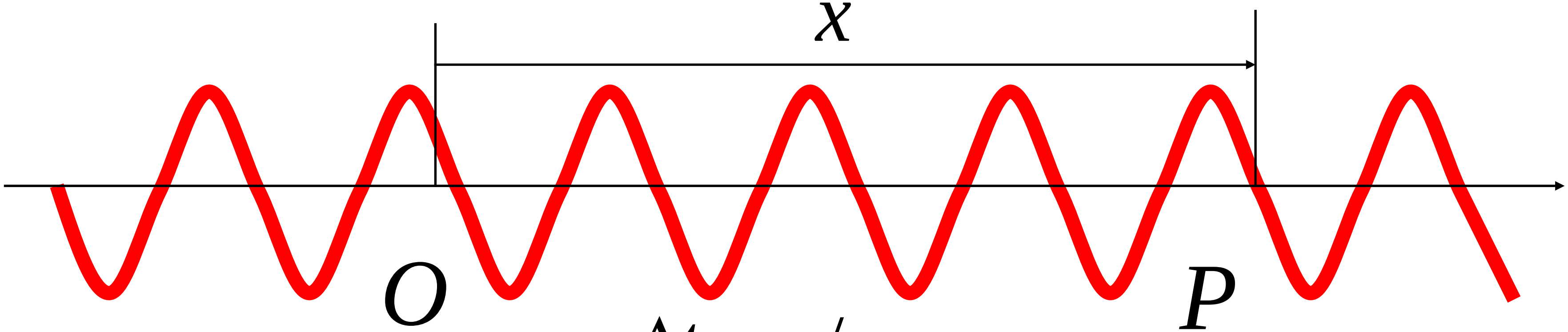
φ_0为原点的初位相

1.2 定态光波的概念

相位的超前与滞后

对于同一列波上的不同点而言

- P点的振动是由O点传播过来的， O点超前
- 波从O点传播到P点的时间为Δt ，P点的振动比O点延迟Δt 时间，P点在t时刻的振动就是O点在$t-\Delta t$时刻的振动



$$\Delta t = x / \mathrm{v}$$

$$U(O,t) = A(O)\cos[\omega t - \varphi_0]$$

$$U(P,t) = U(O,t-\Delta t) = A(O)\cos[\omega(t-\Delta t) - \varphi_0]$$

$$= A\cos[\omega t - 2\pi\nu\frac{x}{\mathrm{v}} - \varphi_0] = A\cos[\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x - \varphi_0]$$

$$= A\cos[\omega t - kx - \varphi_0] = A\cos\left[\omega t - \left(kx + \varphi_0\right)\right] = A\cos\left[\omega t - \varphi\left(P\right)\right]$$

P点的相位比O点滞后kx，在上述表达式中，即通常的复振幅表达式中，相位$\varphi(P)$大表示滞后。

1.2 定态光波的概念

相位的超前与滞后

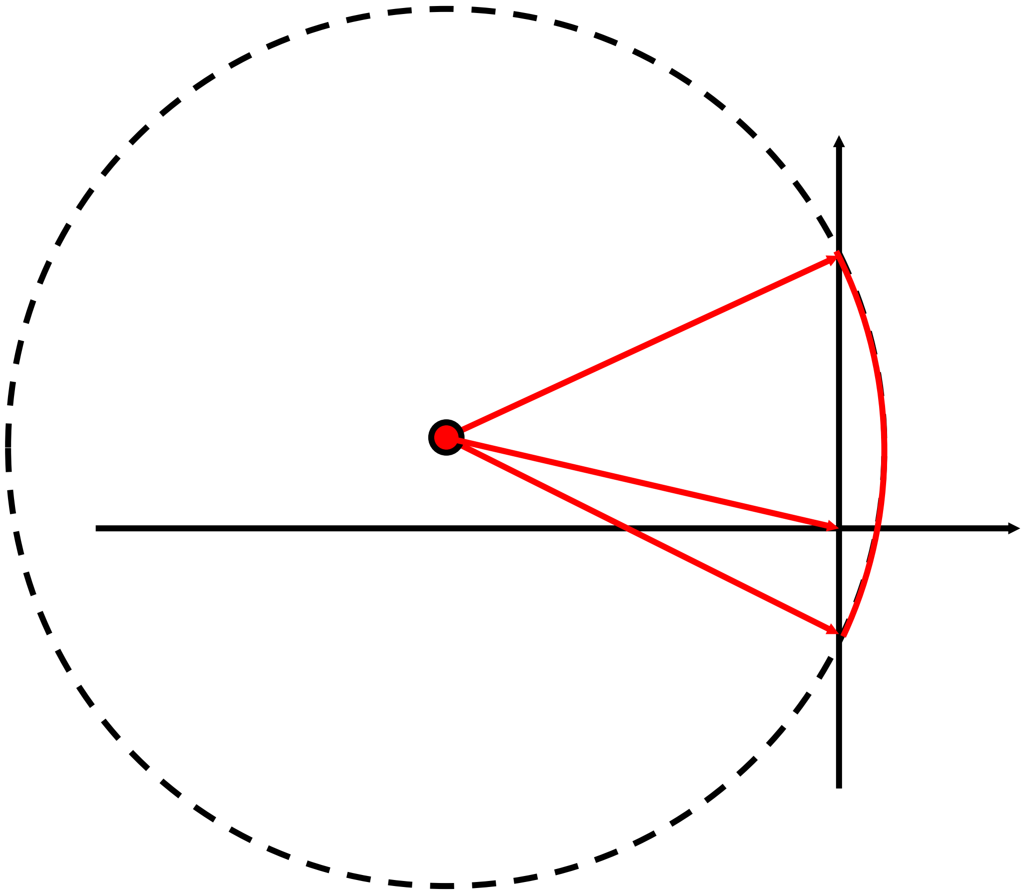
- 如果振动的表达式为

$$U(P,t)=A\cos[\varphi(P)-\omega t]$$

则相位小表示滞后

1.2 定态光波的概念

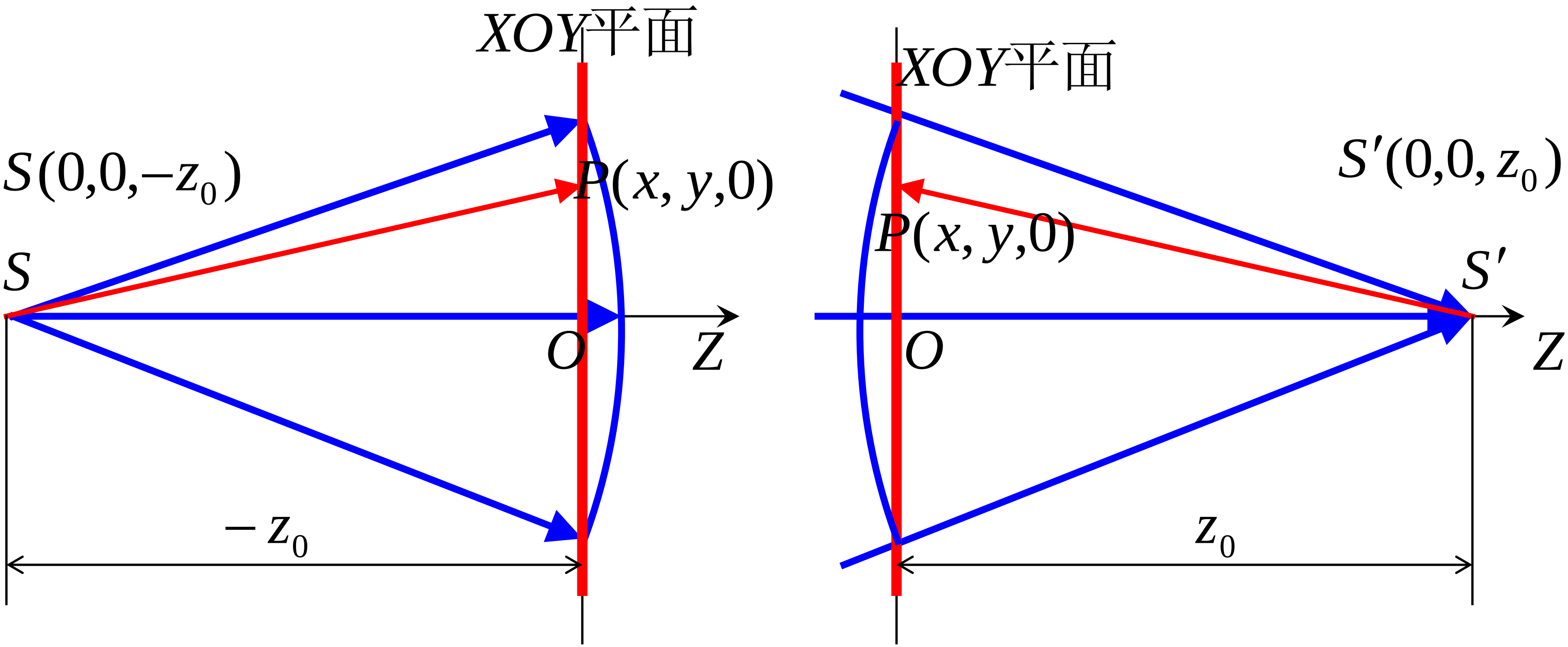
球面波举例：



在一个平面（观察平面）上，球面波的位相分布不是恒定值。

1.2 定态光波的概念

球面波举例：



轴上一点发散和汇聚的球面波

$$r=\sqrt{(x-0)^2+(y-0)^2+(0\pm z_0)^2}=\sqrt{x^2+y^2+z_0{}^2}$$

1.2 定态光波的概念

球面波举例：

（0，0，z_0）发出的球面波在（x，y，0）平面的振动为

$$\tilde{U}_+(x,y,0)=\frac{A}{\sqrt{x^2+y^2+z_0{}^2}}\cos[\omega t-k\sqrt{x^2+y^2+z_0{}^2}-\varphi_0]$$

（0，0，-z_0）出发出的球面波在（x，y，0）平面上的振动同样是

$$\tilde{U}_-(x,y,0)=\frac{A}{\sqrt{x^2+y^2+z_0{}^2}}\cos[\omega t-k\sqrt{x^2+y^2+z_0{}^2}-\varphi_0]$$

1.2 定态光波的概念

球面波举例：

向（0，0，z_0）点汇聚的球面波为

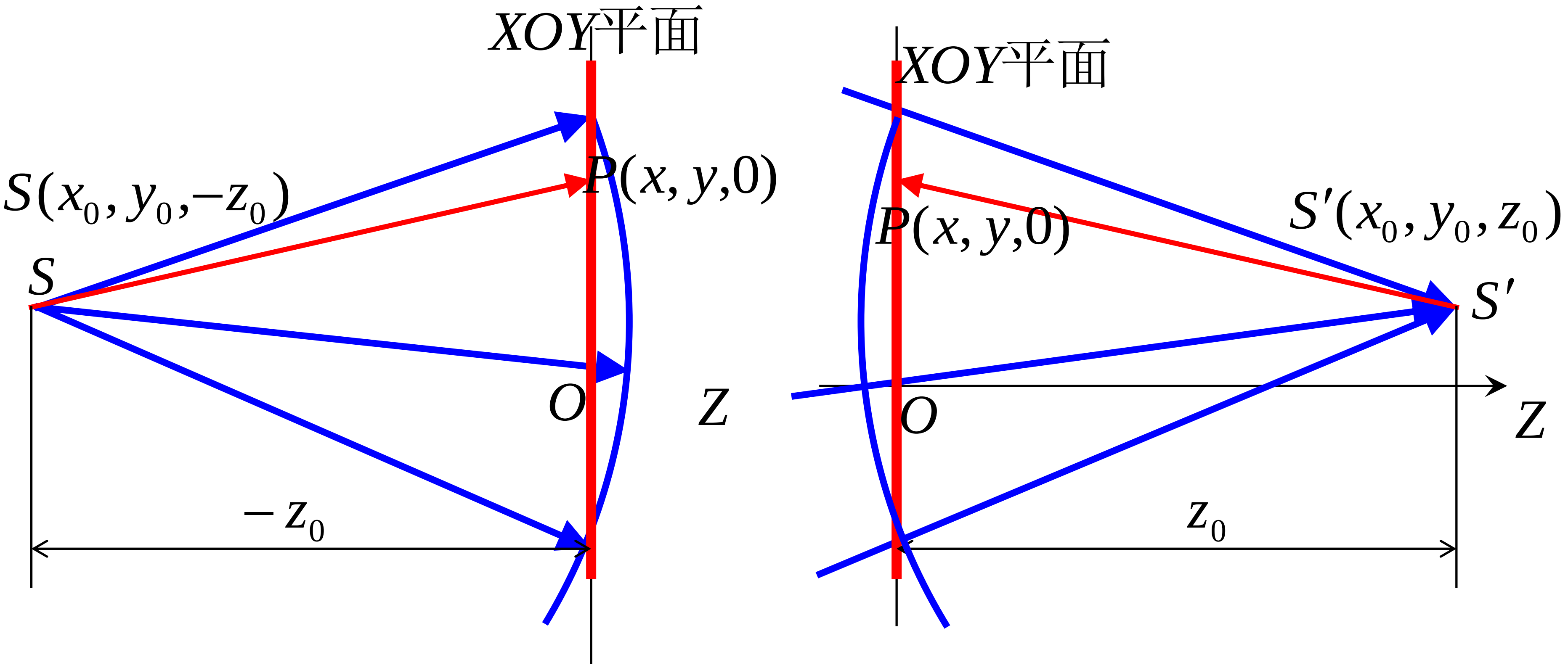
$$\tilde{U}_+^*(x,y,0)=\frac{A}{\sqrt{x^2+y^2+z_0{}^2}}\cos[\omega t+k\sqrt{x^2+y^2+z_0{}^2}-\varphi_0]$$

向（0，0，-z_0）点汇聚的球面波为

$$\tilde{U}_-^*(x,y,0)=\frac{A}{\sqrt{x^2+y^2+z_0{}^2}}\cos[\omega t+k\sqrt{x^2+y^2+z_0{}^2}-\varphi_0]$$

1.2 定态光波的概念

球面波举例—轴外



轴外一点发散和汇聚的球面波

$$r=\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2+(0\pm z_0)^2}$$

1.2 定态光波的概念

球面波举例—轴外

如果点光源在轴外（x_0，y_0，$\pm z_0$），则发出和汇聚的球面波在xy平面上的电矢量分别为

$$U_{\pm}(x,y,0)=\frac{A}{\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2+z_0{}^2}}$$

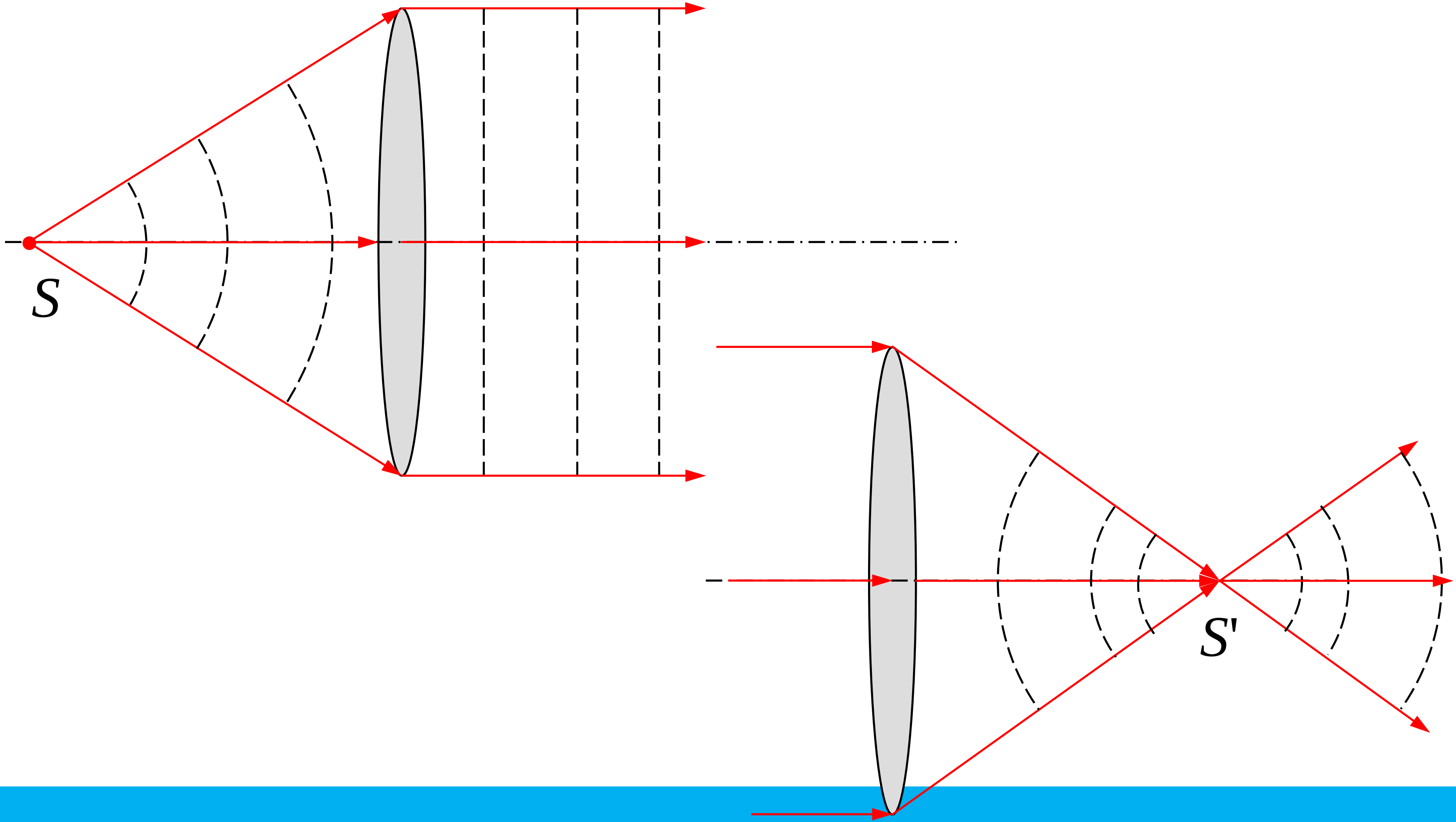
$$\cos[\omega t-k\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2+z_0{}^2}-\varphi_0]$$

$$U_{\pm}{}^{*}(x,y,0)=\frac{A}{\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2+z_0{}^2}}$$

$$\cos[\omega t+k\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2+z_0{}^2}-\varphi_0]$$

1.2 定态光波的概念

发散或汇聚的球面波：



1.3 复振幅（ complex amplitude ）描述

- 用复指数的实部或虚部表示余弦或正弦函数，
- 用复数来描述光波的振动

→ 复振幅(complex amplitude)描述

$$U(P,t)=A(P)\cos[\omega t-\varphi(P)]$$

$$\Rightarrow \quad \tilde{U}(P,t)=A(P)\mathrm{e}^{\pm i[\omega t-\varphi(P)]}$$

指数取负号 $\Rightarrow$

$$\tilde{U}(P,t)=A(P)\mathrm{e}^{-i[\omega t-\varphi(P)]}$$

$$=\tilde{U}(P)\mathrm{e}^{-i\omega t}$$

复振幅： $\tilde{U}(P)=A(P)\mathrm{e}^{i\varphi(P)}$

1. 包含定态波场中的振幅空间分布和位相空间分布；
2. 模量为振幅的空间分布，辐角为位相的空间 分布。

1.4 平面波和球面波的复振幅描述

平面波(plane wave)复振幅描述：

$$U(P,t)=A\cos[\omega t-\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{r}-\varphi_0]$$

$$\Rightarrow\quad \tilde{U}(P)=A\mathrm{e}^{i[\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{r}+\varphi_0]}$$

球面波(spherical wave)复振幅描述：

$$U(P,t)=\frac{a}{r}\cos[\omega t-kr-\varphi_0]$$

$$\Rightarrow\quad \tilde{U}(P)=\frac{a}{r}\mathrm{e}^{i[kr+\varphi_0]}$$

强度的复振幅描述

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

本节重点

1. 光波的复振幅描述

2. 平面波和球面波的复振幅表达式

作业

P147~148 --1,3, 5,6

重排版：P108~109 --1,3, 5,6

思考题：

1、请思考无线电波和光波的异同之处。

第二章 波动光学基本原理

第二节 波前

第二节 波前

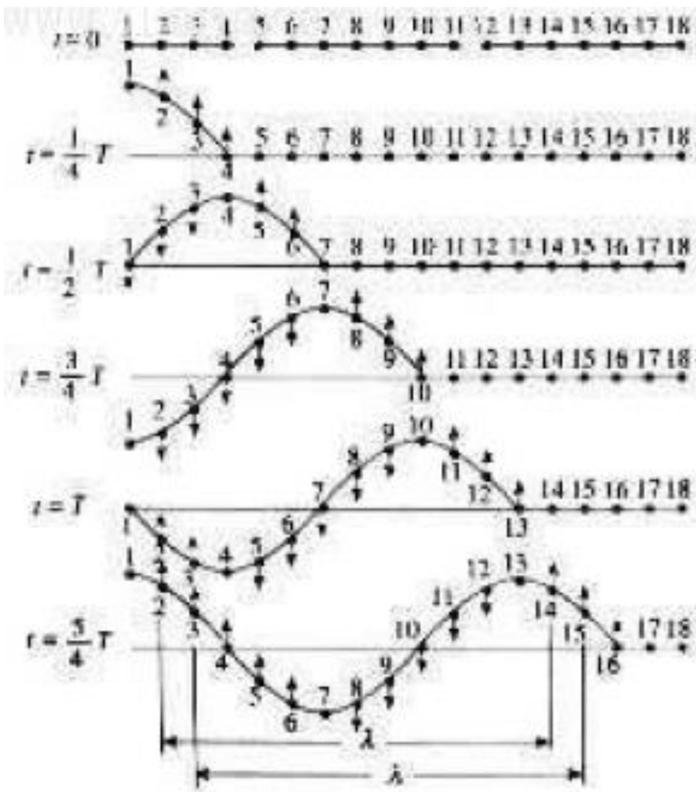
2.1 波前的概念

2.2 傍轴条件和远场条件（轴上物点）

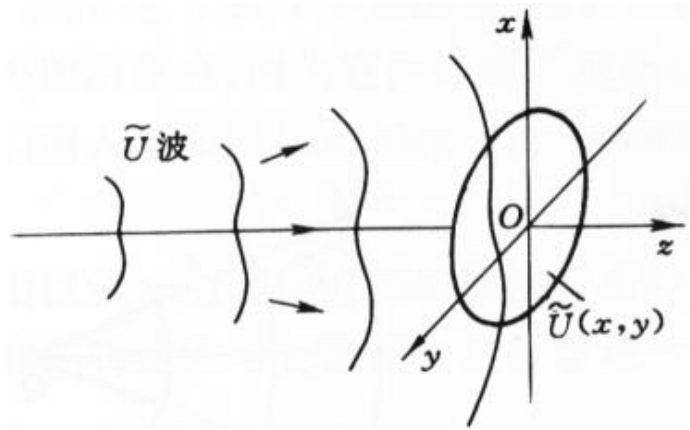
2.3 傍轴条件和远场条件（轴外物点）

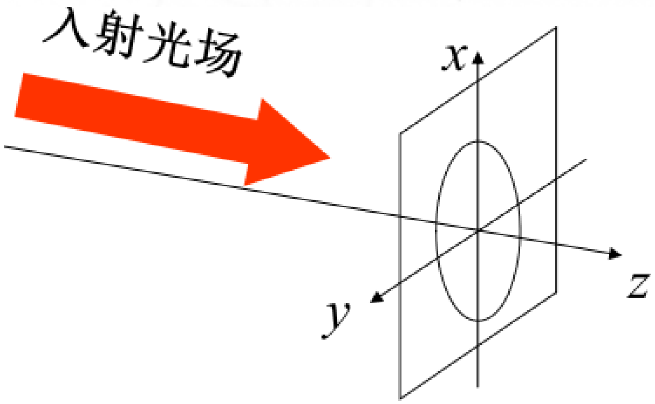
2.4 高斯光束

2.1 波前的概念



冲击波的波前



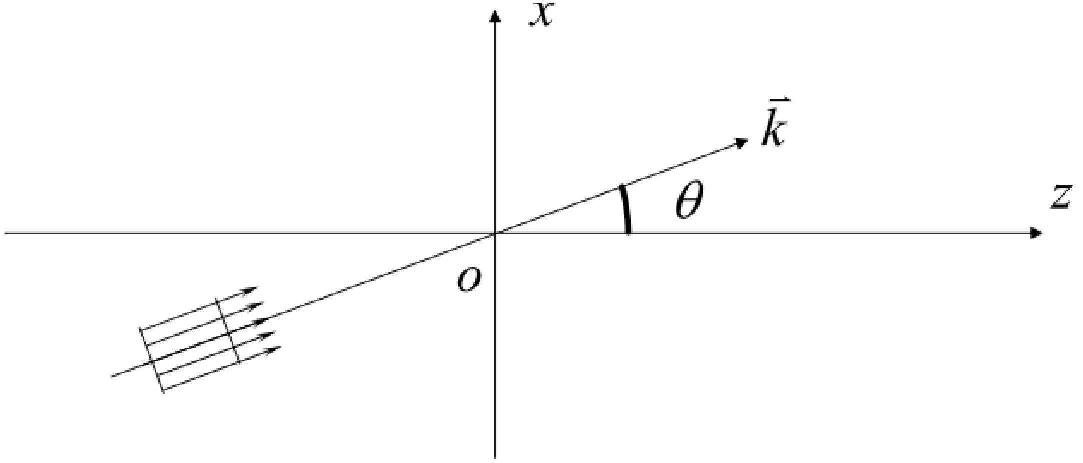


波前：波场中的任一曲面。更多地指一个平面，如记录介质、感光底片、接收屏幕等。

共轭波(conjugate wave)：在某一波前上互为复数共轭的两列波。

2.1 波前的概念

例：平面波的波前。一列平面波，传播方向平行于x-z面，与z轴成倾角θ，求波前z=0面上的复振幅分布



三个波矢分量：$k_x = k\sin\theta,\ \ k_y = 0, k_z = k\cos\theta$

当φ_0=0时：$\tilde{U}(x,y,z) = Ae^{ik(x\sin\theta + z\cos\theta)}$

在波前 z=0 上 ：

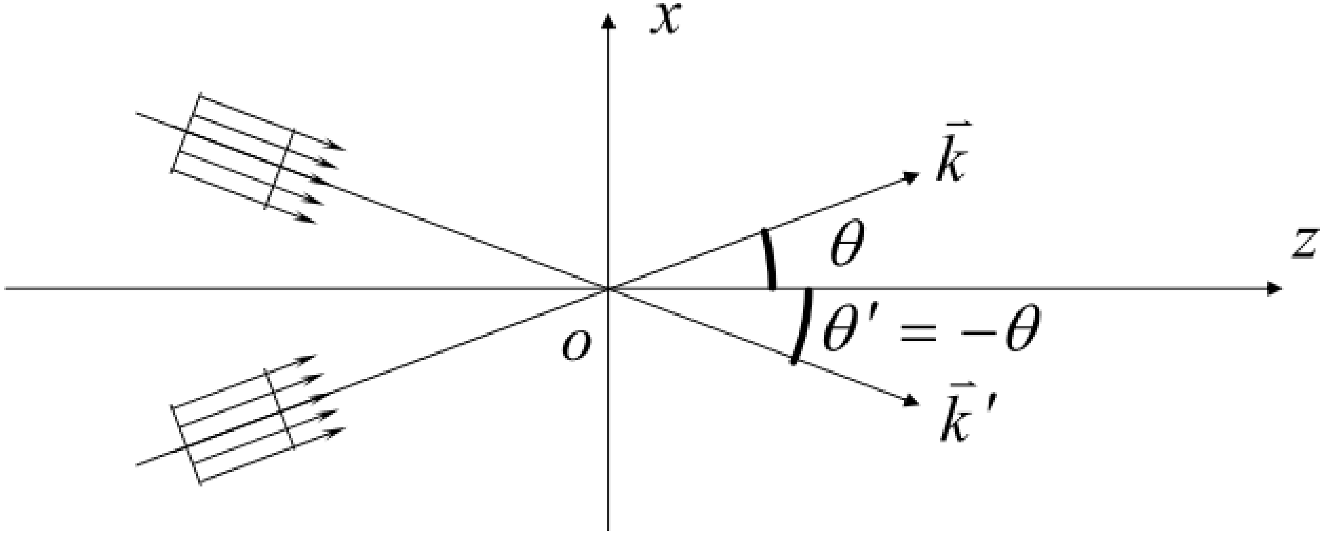
$$\tilde{U}(x,y) = Ae^{ikx\sin\theta}$$

2.1 波前的概念

上述平面波在波前 z=0 上的共轭波：

$$\tilde{U}^*(x,y) = Ae^{-ikx\sin\theta} = Ae^{ikx\sin(-\theta)}$$

x-z 平面内倾角 $-\theta$ 的平面波



2.1 波前的概念

关于共轭波

共轭波不是在波场中处处共轭，而仅仅是在波场中某一面（通常是接收屏平面）上点点共轭。

平面波的共轭波 $z = 0$

$$\tilde{U} = A(P)\exp[ik(x\sin\theta_1 + y\sin\theta_2)] \qquad (\theta_1, \theta_2)$$

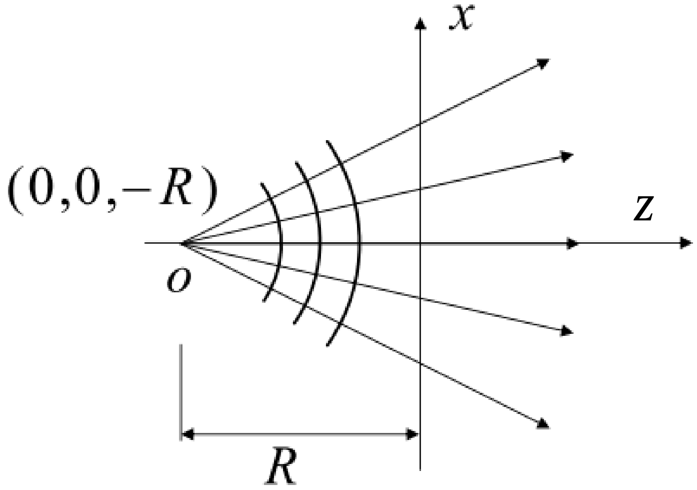
$$\tilde{U}^* = A(P)\exp\{ik[x\sin(-\theta_1) + y\sin(-\theta_2)]\} \quad (-\theta_1, -\theta_2)$$

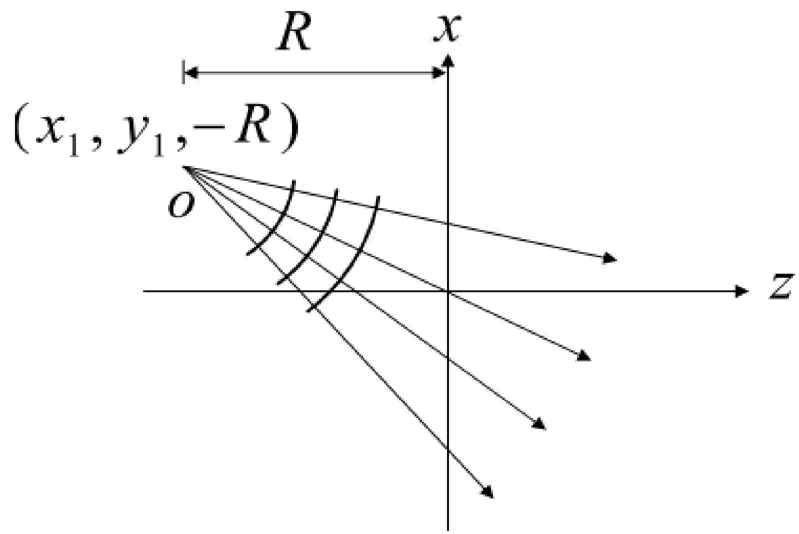
由于上述角度是波矢与平面间的夹角，所以不能认为两列波的方向相反

2.1 波前的概念

例：与 z=0 平面距离为R的两个物点在此平面上产生的复振幅分布，一个物点在轴上，另一个物点在轴外

$$\tilde{U}(x,y)=\frac{a}{\sqrt{x^2+y^2+R^2}}e^{ik\sqrt{x^2+y^2+R^2}}$$



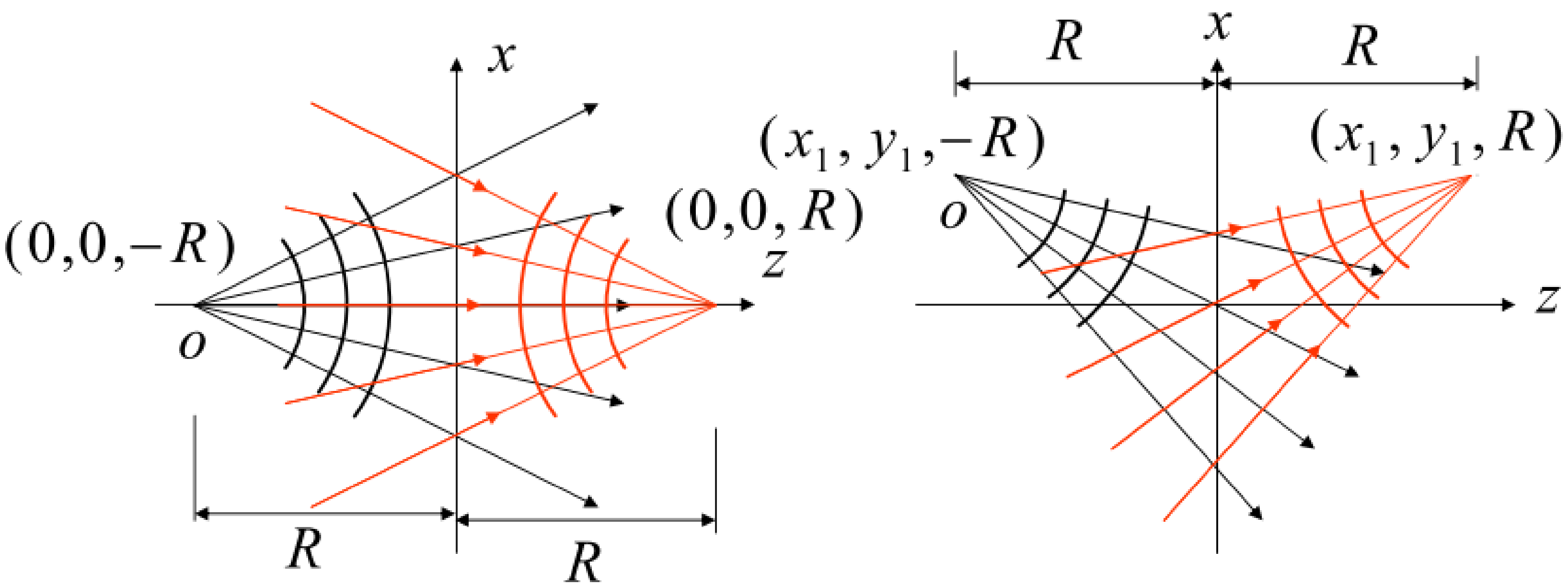


$$\tilde{U}(x,y)=\frac{a}{\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+R^2}}e^{ik\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+R^2}}$$

2.1 波前的概念

上述球面波的共轭波

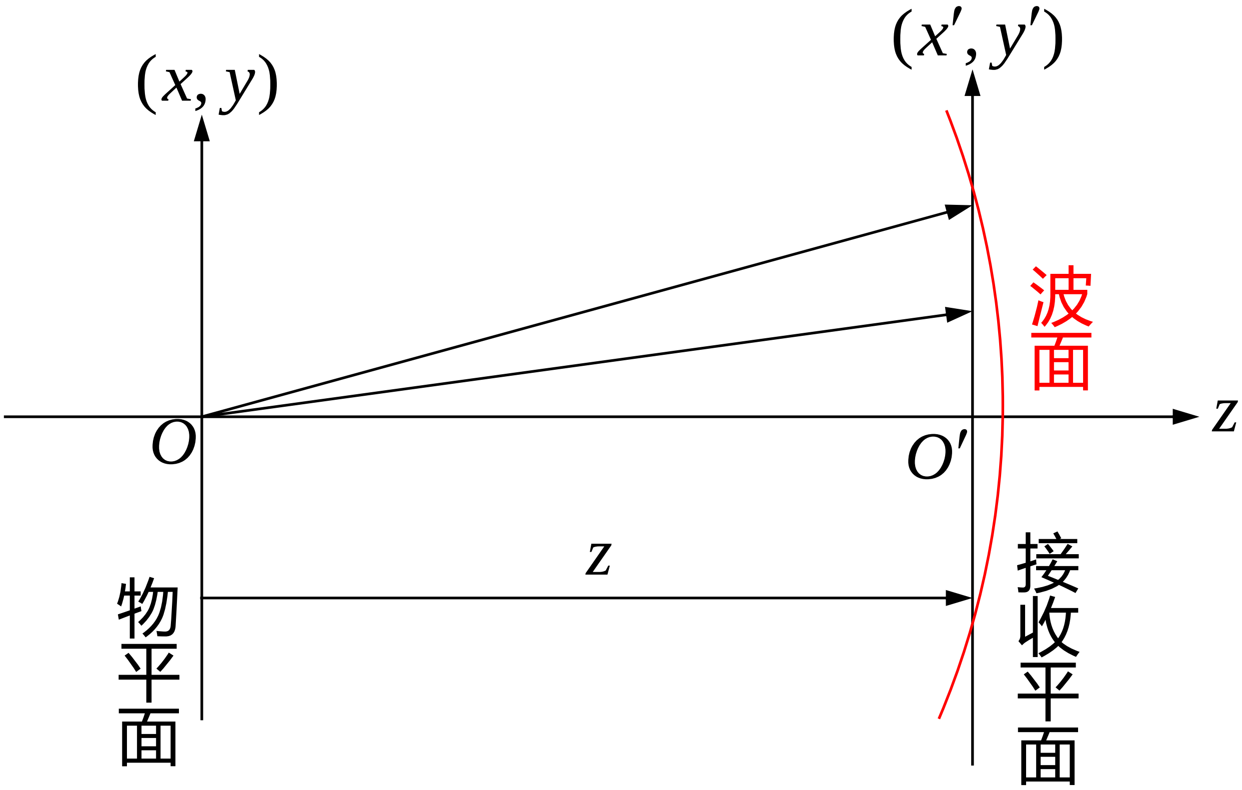
$$\tilde{U}(x,y)=\frac{a}{\sqrt{x^2+y^2+R^2}}e^{-ik\sqrt{x^2+y^2+R^2}}$$



$$\tilde{U}(x,y)=\frac{a}{\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+R^2}}e^{-ik\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+R^2}}$$

2.2 傍轴(paraxial)条件和远场(far field)条件（**轴上物点**）

- 接收器通常都是平面屏，光源多是球面波
- 在接收屏上不同位置，相位、振幅都不同



2.2 傍轴条件和远场条件（**轴上物点**）

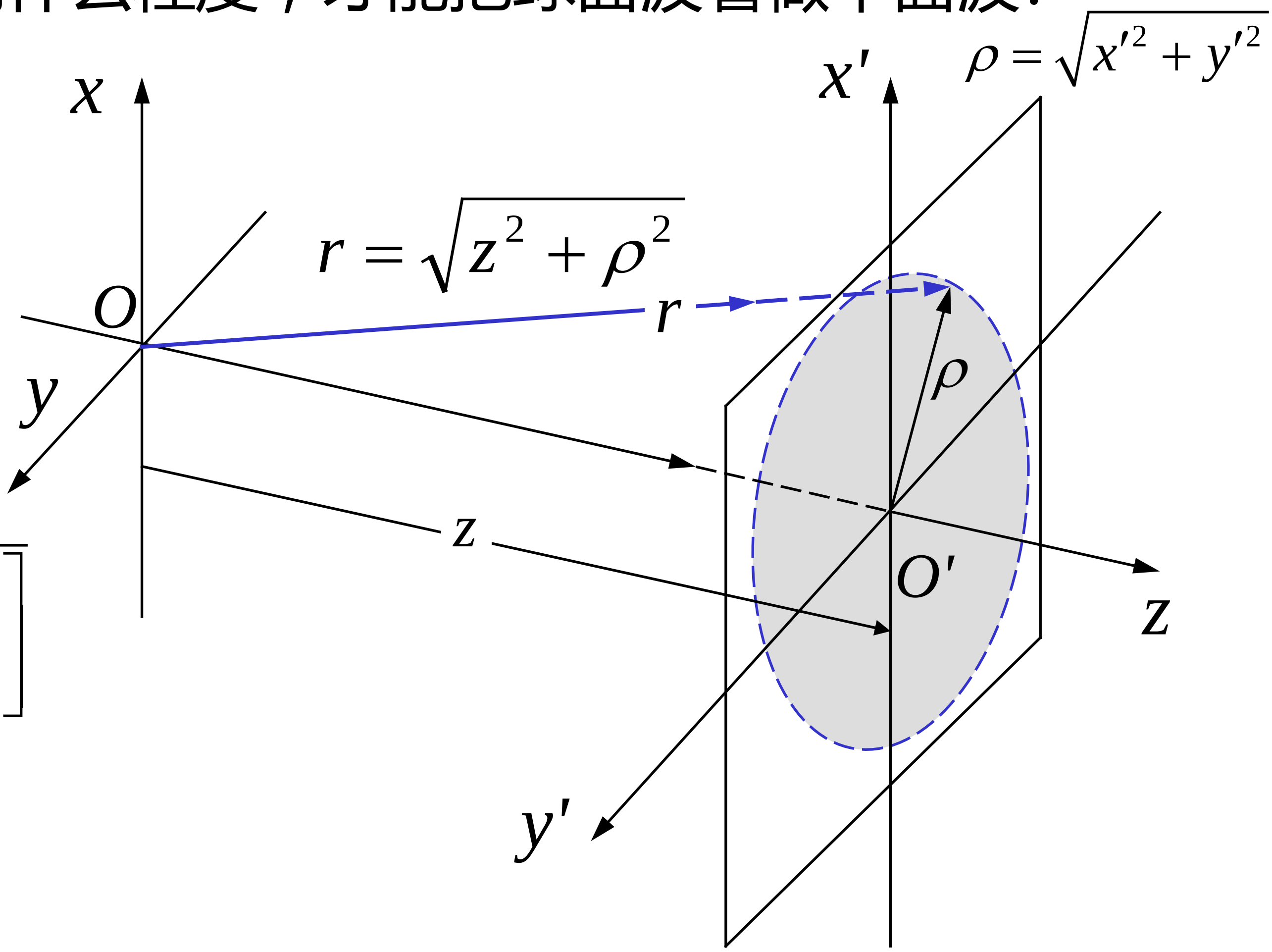
问题：从物理（波动）的意义来考虑，点光源距离与波前线度之比达到什么程度，才能把球面波看做平面波?

$$A(P)=\frac{a}{\sqrt{z^2+\rho^2}}$$

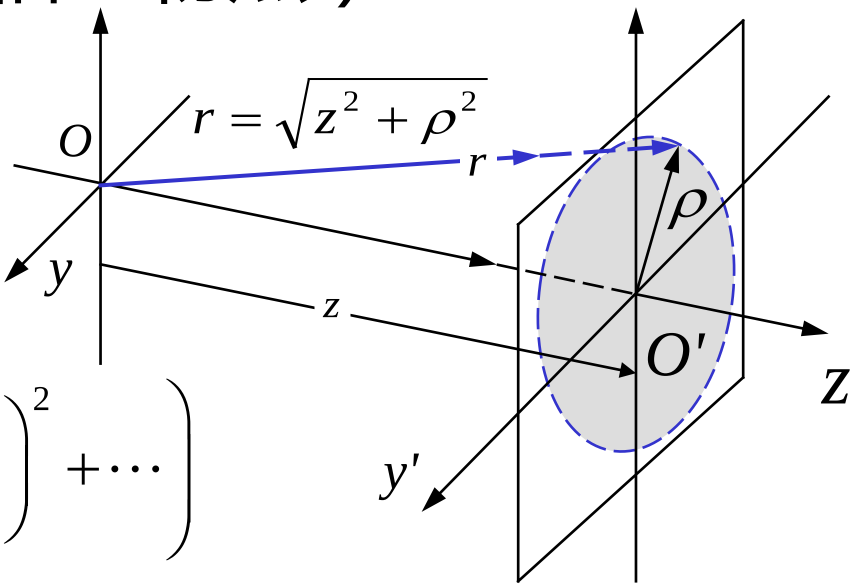
$$=\frac{a}{z}\frac{1}{\sqrt{1+(\frac{\rho}{z})^2}}$$

$$=\frac{a}{z\left[1+\frac{1}{2}\left(\frac{\rho}{z}\right)^2+\cdots\right]}$$

$$\approx\frac{a}{z\left[1+\frac{1}{2}\left(\frac{\rho}{z}\right)^2\right]}$$



2.2 傍轴条件和远场条件（轴上物点）



球面波的相位

$$\varphi(P)=\varphi(x',y')=kr=k\sqrt{z^2+\rho^2}$$

$$=kz\sqrt{1+\left(\frac{\rho}{z}\right)^2}=kz\left(1+\frac{\rho^2}{2z^2}+\frac{\rho^2}{2z^2}\left(\frac{\rho}{z}\right)^2+\cdots\right)$$

$$\approx k\left(z+\frac{\rho^2}{2z}\right)$$

$$\tilde{U}(x',y')\approx\frac{a}{z(1+\rho^2/2z^2)}e^{ik(z+\rho^2/2z)}$$

$$\approx\frac{a}{z}e^{ik(z+\rho^2/2z)}$$

2.2 傍轴条件和远场条件（轴上物点）

傍轴条件 $\rho^2/z^2 \ll 1$ 或 $z^2 \gg \rho^2$

$$\tilde{U}(x',y') \approx \frac{a}{z(1+\rho^2/2z^2)} e^{ik(z+\rho^2/2z)}$$

$$\approx \frac{a}{z} e^{ik(z+\rho^2/2z)}$$

远场条件 $k\rho^2/2z^2 \ll \pi$ 或 $z \gg \rho^2/\lambda$

$$\tilde{U}(x',y') \approx \frac{a}{z(1+\rho^2/2z^2)} e^{ik(z+\rho^2/2z)}$$

$$\approx \frac{a}{z(1+\rho^2/2z^2)} e^{ikz}$$

2.2 傍轴条件和远场条件（轴上物点）

傍轴条件和远场条件的关系

两条件相互独立，究竟哪个的限制更强与具体情况（波长）有关。在光波波段，往往是远场条件蕴含傍轴条件。

当两条件同时满足时：

$$\tilde{U}(x', y') \approx \frac{a}{z} e^{ikz}$$

即为正入射的平面波。

2.2 傍轴条件和远场条件（轴上物点）

例

λ~0.5μm，ρ~1mm，估算满足傍轴条件、远场条件的距离

取>>为50倍：

傍轴：$z_1^2 = 50\rho^2$

$z_1 = \sqrt{50}\rho \approx 7\,mm$

远场蕴含傍轴

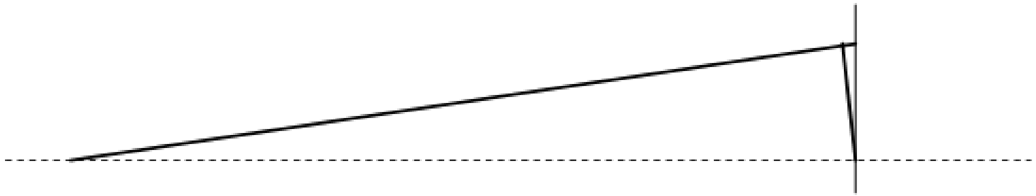
远场：$z_2 = 50\rho^2/\lambda \approx 100\,m$

λ~1m(声波)，ρ~10cm，估算满足傍轴条件、远场条件的距离

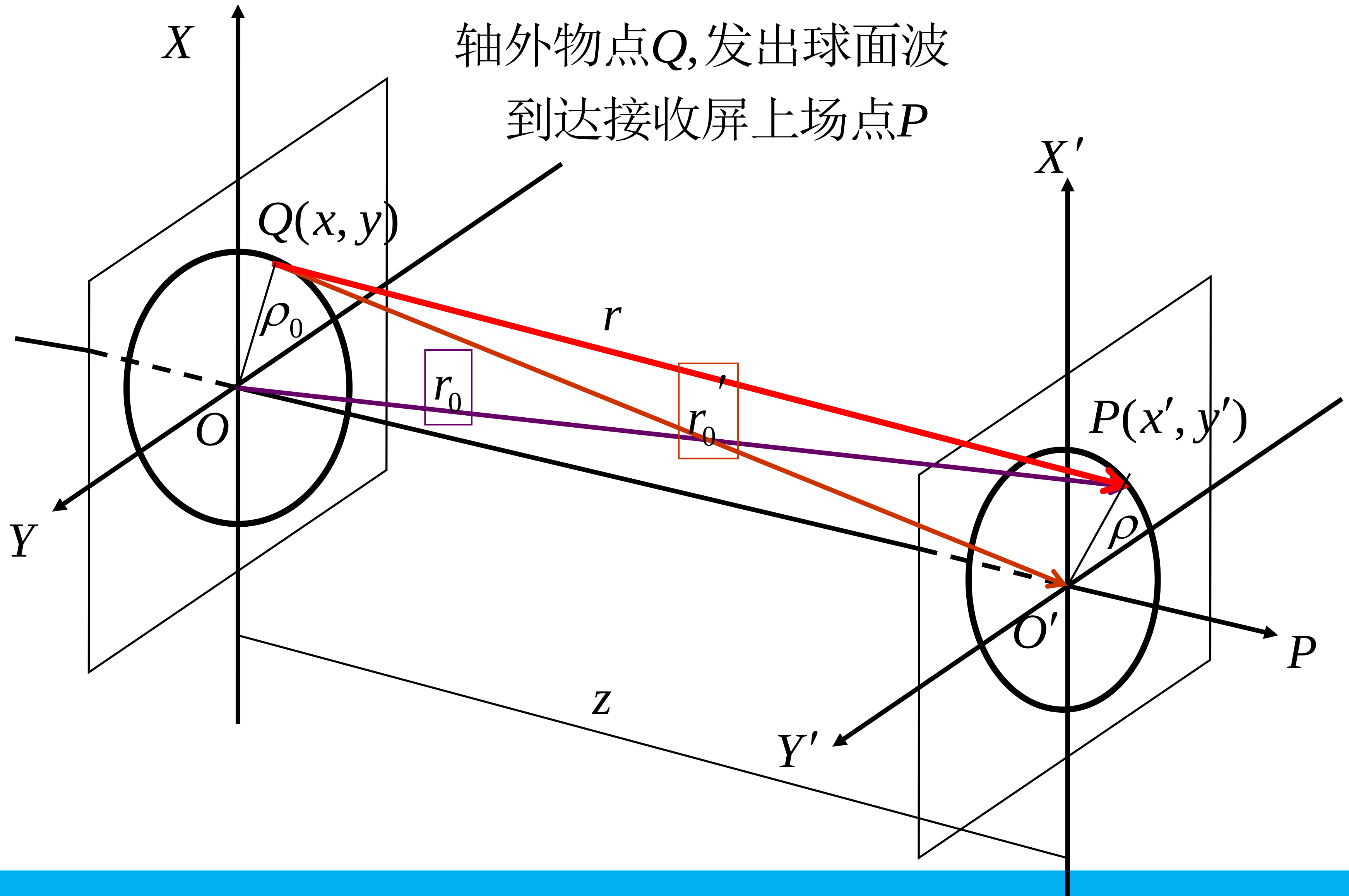
傍轴：$z_1 = \sqrt{50}\rho \approx 70\,cm$

傍轴蕴含远场

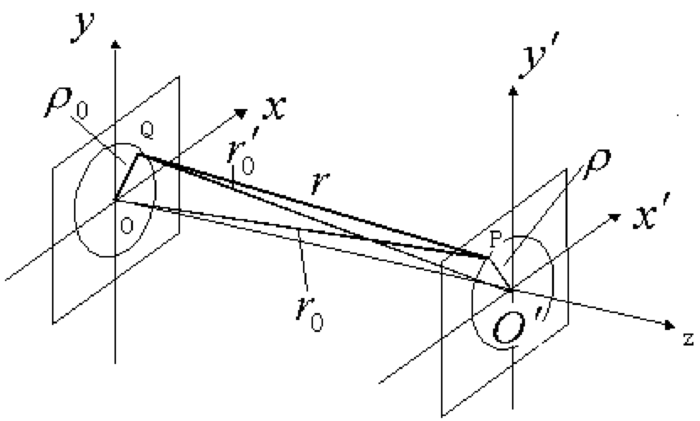
远场：$z_2 = 50\rho^2/\lambda \approx 50\,cm$



2.3 傍轴条件和远场条件（**轴外物点**）



2.3 傍轴条件和远场条件（轴外物点）



$$r=\sqrt{(x-x')^2+(y-y')^2+z^2}$$

$$r_0=\sqrt{\rho^2+z^2}=\sqrt{x'^2+y'^2+z^2}$$

$$r_0'=\sqrt{\rho_0{}^2+z^2}=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$$

Q到O的距离 $\rho_0=\sqrt{x^2+y^2}$

物点场点都满足近轴条件时，有

$$r_0\approx|z|+\frac{x'^2+y'^2}{2|z|} \qquad r_0'\approx|z|+\frac{x^2+y^2}{2|z|}$$

$$r=\sqrt{(x-x')^2+(y-y')^2+z^2}$$

$$=|z|\sqrt{\frac{(x-x')^2}{z^2}+\frac{(y-y')^2}{z^2}+1}$$

$$\approx|z|+\frac{x'^2+y'^2}{2|z|}+\frac{x^2+y^2}{2|z|}-\frac{xx'+yy'}{|z|}$$

$$=r_0'+\frac{x'^2+y'^2}{2|z|}-\frac{xx'+yy'}{|z|}$$

$$\boxed{r_0'\approx|z|+\frac{x^2+y^2}{2|z|}}$$

或者 $$=r_0+\frac{x^2+y^2}{2|z|}-\frac{xx'+yy'}{|z|}$$

$$\boxed{r_0\approx|z|+\frac{x'^2+y'^2}{2|z|}}$$

2.3 傍轴条件和远场条件（轴外物点）

（1）物点、场点同时满足傍轴条件： $x^2, y^2, x'^2, y'^2 << z^2$

$$\tilde{U}(x', y') \approx \frac{a}{z} e^{ik\left(r_0 + \frac{x^2+y^2}{2z}\right)} e^{-i\frac{k}{z}(xx'+yy')}$$

$$\approx \frac{a}{z} e^{ik\left(r_0' + \frac{x'^2+y'^2}{2z}\right)} e^{-i\frac{k}{z}(xx'+yy')}$$

（2）场点满足傍轴条件，物点同时满足傍轴和远场条件：

$$x^2, y^2, x'^2, y'^2 << z^2 \qquad \frac{x^2}{\lambda}, \frac{y^2}{\lambda} << z$$

$$\tilde{U}(x', y') \approx \frac{a}{z} e^{ikr_0} e^{-i\frac{k}{z}(xx'+yy')}$$

2.3 傍轴条件和远场条件（轴外物点）

（3）物点满足傍轴条件，场点同时满足傍轴和远场条件：

$$x^2, y^2, x'^2, y'^2 << z^2 \qquad \frac{x'^2}{\lambda}, \frac{y'^2}{\lambda} << z$$

$$\tilde{U}(x', y') \approx \frac{a}{z} e^{ikr_0'} e^{-i\frac{k}{z}(xx'+yy')}$$ 位相是x', y' 的线性函数

接收平面上一斜入射的平面波，波矢方向是物点到接收平面中心的连线，其方向余弦是：

$$\cos\alpha' = -\frac{x}{z}, \quad \cos\beta' = -\frac{y}{z}$$

沿QO′方向。

傍轴条件、远场条件可看着球面波向平面波的转化。

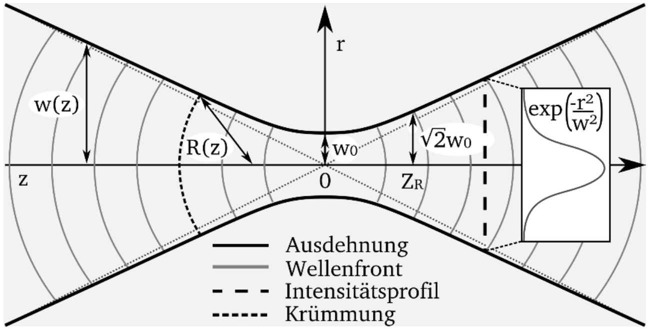
2.4 高斯光束（Gaussian beam）

光学谐振腔(optical resonant cavity)内能够稳定存在的一种光场，其复振幅描述为：

$$\tilde{U}(x,y,z)=\frac{A}{\omega(z)}e^{-\frac{x^2+y^2}{\omega^2(z)}}e^{-ik[\frac{x^2+y^2}{2r(z)}+z]+i\varphi(z)}$$

其中：$\omega(z)=\omega_0\left(1+\frac{\lambda^2 z^2}{\pi\omega_0^4}\right)^{1/2}$

光束有效半径

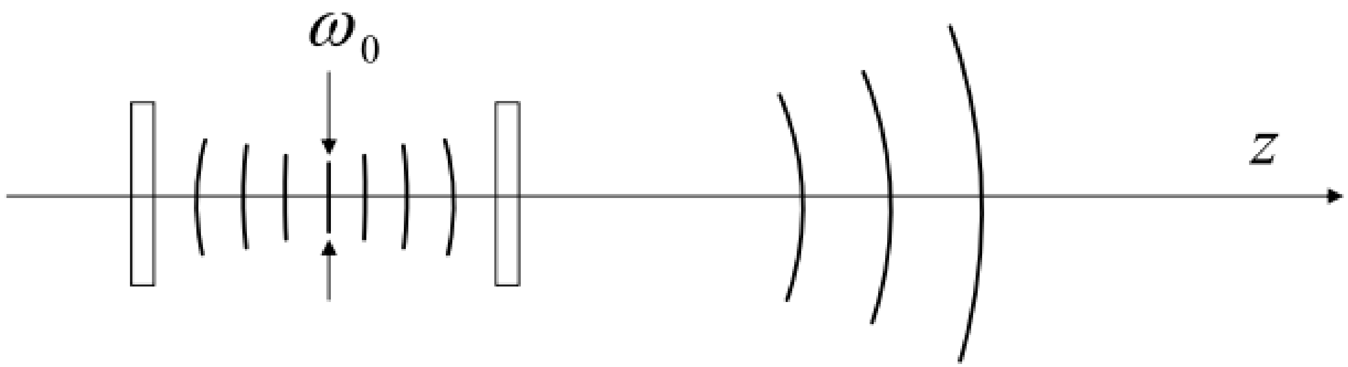


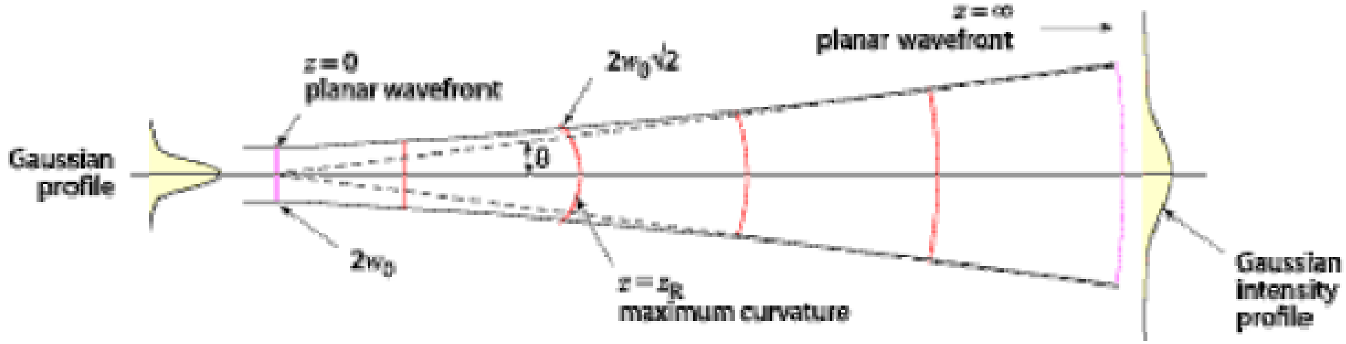
$$r(z)=z\left(1+\frac{\pi\omega_0^4}{\lambda^2 z^2}\right)$$

$\omega=\omega_0$ 时光束最细

ω_0 ：束腰**(beam waist)** 位置取决于谐振腔的特性

2.4 高斯光束（Gaussian beam）





本节重点

1. 波前的概念
2. 共轭波的概念和特性
3. 傍轴条件和远场条件的判断方法

作业

P159-160 --1, 2

重排版：P117 --1,2

思考题：

1、请思考波动光学的傍轴条件和几何光学的傍轴条件是否相同？