26 时变电磁场的应用——平面电磁波（4）

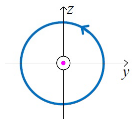
-平面电磁波的极化

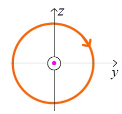
邹建龙

主要内容

- 均匀平面电磁波的极化
- 直线极化
- 圆极化
- 椭圆极化
- 左旋极化和右旋极化
- 电磁波极化的用途

平面电磁波的极化

- **极化概念**
  - 在空间中的某一点，顺着电磁波传播方向看，电场强度矢量断电在垂直波传播方向的平面内的轨迹
  - $\vec{E}(x,t)=E_y(x,t)\vec{e}_y+E_z(x,t)\vec{e}_z$ 空间上的分解
- **常见极化类型**
  - 直线极化
    - $\phi_y=\phi_z \Longrightarrow \dfrac{E_y(x,t)}{E_z(x,t)}=\dfrac{E_{ym}}{E_{zm}}$ 过原点的一三象限的直线
    - $\phi_y=\phi_z+\pi \Longrightarrow \dfrac{E_y(x,t)}{E_z(x,t)}=-\dfrac{E_{ym}}{E_{zm}}$ 过原点的二四象限的直线
  - 圆极化
    - $\phi_y=\phi_z\pm\dfrac{\pi}{2},E_{ym}=E_{zm}\Rightarrow\left[\dfrac{E_y(x,t)}{E_m}\right]^2+\left[\dfrac{E_z(x,t)}{E_m}\right]^2=1$
    - 

      右旋极化波（旋转转向与波传播方向符合右手法则）
    - 

      左旋极化波（旋转转向与波传播方向复合左手法则）
  - 椭圆极化
    - $\phi_y=\phi_z\pm\dfrac{\pi}{2},E_{ym}\neq E_{zm}\Rightarrow\left[\dfrac{E_y(x,t)}{E_{ym}}\right]^2+\left[\dfrac{E_z(x,t)}{E_{zm}}\right]^2=1$
- **平面电磁波极化的应用**
  - 根据运动情况选择不同极化类型的波
  - 根据不同极化类型的波选择合适的接受方向

均匀平面电磁波的极化

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} - \mu\gamma\frac{\partial E_y}{\partial t} - \mu\varepsilon\frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} = 0 \qquad \frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} - \mu\gamma\frac{\partial E_z}{\partial t} - \mu\varepsilon\frac{\partial^2 E_z}{\partial t^2} = 0$$

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} - \mu\gamma\frac{\partial H_z}{\partial t} - \mu\varepsilon\frac{\partial^2 H_z}{\partial t^2} = 0 \qquad \frac{\partial^2 H_y}{\partial x^2} - \mu\gamma\frac{\partial H_y}{\partial t} - \mu\varepsilon\frac{\partial^2 H_y}{\partial t^2} = 0$$

均匀平面电磁波由两组电磁波组成

均匀平面电磁波的极化指的是在空间中某一点，电场强度矢量端点在垂直于波传播方向的平面内的轨迹（顺着电磁波传播方向看）

$\mathbf{E}(x,t) = E_y(x,t)\mathbf{e_y} + E_z(x,t)\mathbf{e_z}$，**空间上的分解**

$$E_y(x,t) = E_{ym}\cos(\omega t - \beta x + \phi_y)$$

1分量合成、形成轨迹

$$E_z(x,t) = E_{zm}\cos(\omega t - \beta x + \phi_z)$$

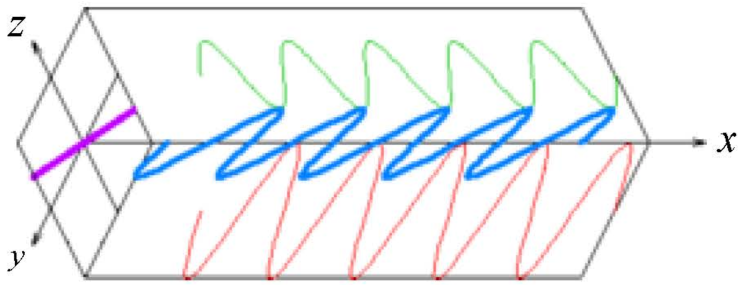
直线极化

垂直于传播方向平面的投影

$$\mathbf{E}(x,t)=E_y(x,t)\mathbf{e_y}+E_z(x,t)\mathbf{e_z}$$

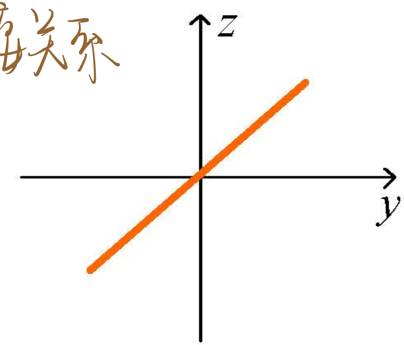
$$E_y(x,t)=E_{ym}\cos(\omega t-\beta x+\phi_y)$$

$$E_z(x,t)=E_{zm}\cos(\omega t-\beta x+\phi_z)$$

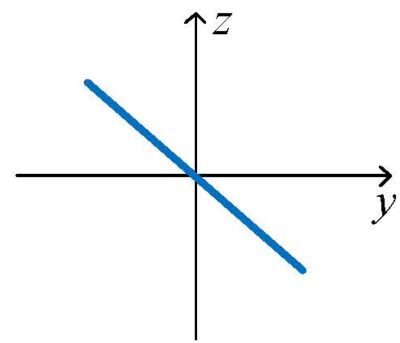


消去参数得到直接关系

如果 $\phi_y=\phi_z \Rightarrow \dfrac{E_y(x,t)}{E_z(x,t)}=\dfrac{E_{ym}}{E_{zm}} \Rightarrow$



如果 $\phi_y=\phi_z+\pi \Rightarrow \dfrac{E_y(x,t)}{E_z(x,t)}=-\dfrac{E_{ym}}{E_{zm}} \Rightarrow$

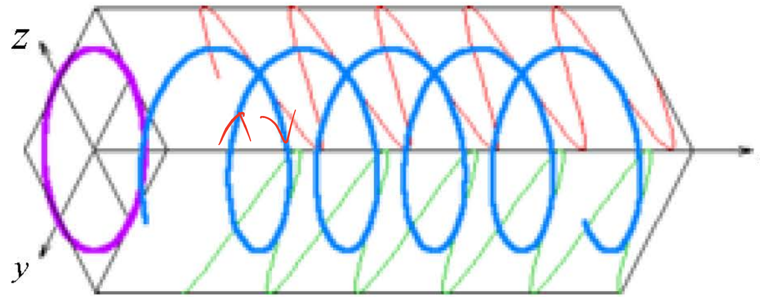


圆极化

$$\mathbf{E}(x,t)=E_y(x,t)\mathbf{e_y}+E_z(x,t)\mathbf{e_z}$$

一个分量取max、另一分量取0

$$E_y(x,t)=E_{ym}\cos(\omega t-\beta x+\phi_y)$$



$$E_z(x,t)=E_{zm}\cos(\omega t-\beta x+\phi_z)$$

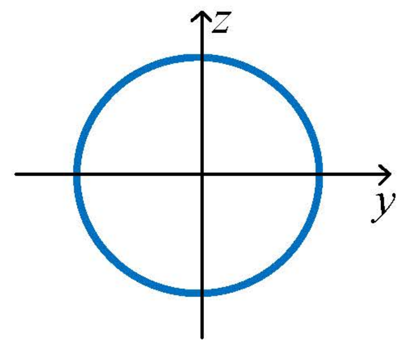
$\cos(\omega t-\beta x+\phi_y)$

如果$\phi_y=\phi_z\pm\dfrac{\pi}{2}$ $=\cos(\omega t-\beta x+\phi_z\pm\frac{\pi}{2})=\mp\sin(\omega t-\beta x+\phi_z)$

为圆的极坐标形式

$$\left[\frac{E_y(x,t)}{E_{ym}}\right]^2+\left[\frac{E_z(x,t)}{E_{zm}}\right]^2=1$$

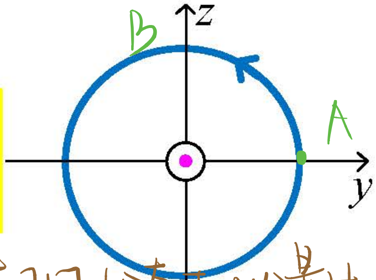
如果$E_{ym}=E_{zm}$



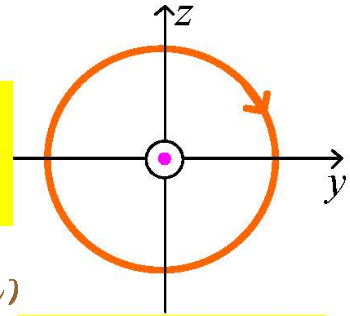
左旋极化和右旋极化

$$\phi_y = \phi_z \pm \frac{\pi}{2} \qquad E_{ym} = E_{zm} = E_m \qquad \left[\frac{E_y(x,t)}{E_m}\right]^2 + \left[\frac{E_z(x,t)}{E_m}\right]^2 = 1$$

$$\phi_y = \phi_z + \frac{\pi}{2}$$



$$\phi_y = \phi_z - \frac{\pi}{2}$$



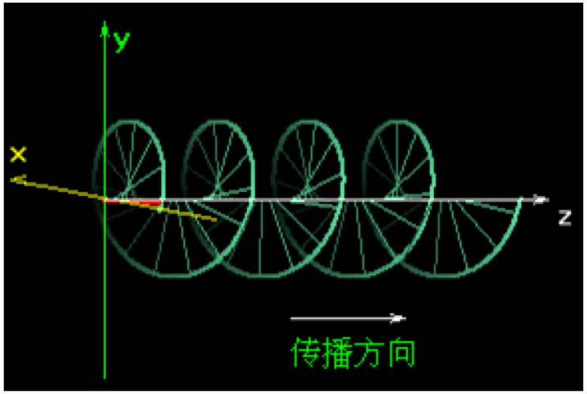
由超前知，相同状态下y分量先出现（比如最大值），A应先于B，故逆时针

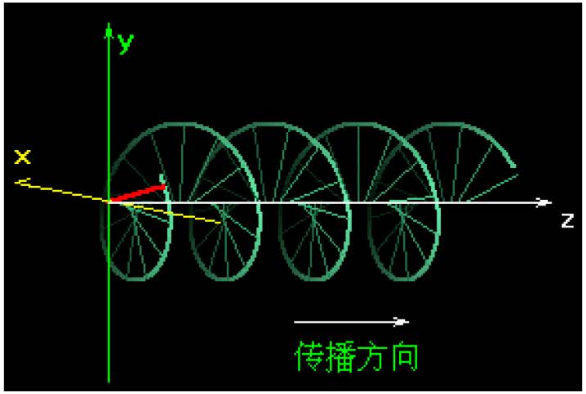
右旋极化波

（旋转转向与波传播方向符合右手法则）

左旋旋极化波

（左手法则）



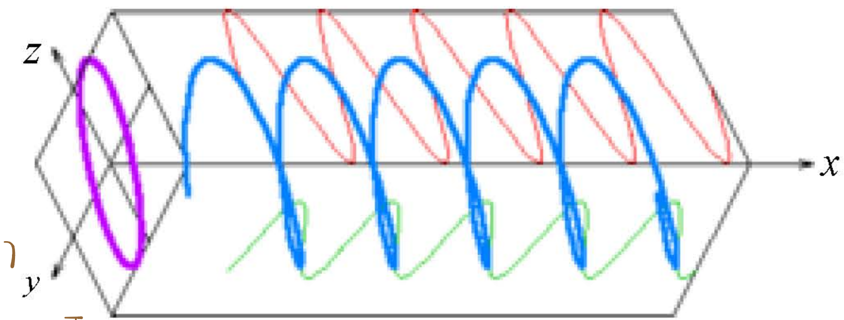


椭圆极化

$$\mathbf{E}(x,t) = E_y(x,t)\mathbf{e_y} + E_z(x,t)\mathbf{e_z}$$

$$E_y(x,t) = E_{ym}\cos(\omega t - \beta x + \phi_y)$$

$$E_z(x,t) = E_{zm}\cos(\omega t - \beta x + \phi_z)$$



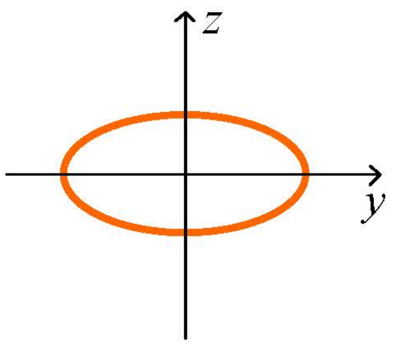
$\cos(\omega t - \beta x + \phi_y)$

如果 $\phi_y = \phi_z \pm \frac{\pi}{2}$ $= \cos(\omega t - \beta x + \phi_z \pm \frac{\pi}{2}) = \mp\sin(\omega t - \beta x + \phi_z)$

$E_y(x,t) = a\sin\varphi$, $E_z(x,t) = b\sin\varphi$. 为椭圆的极坐标形式

$$\left[\frac{E_y(x,t)}{E_{ym}}\right]^2 + \left[\frac{E_z(x,t)}{E_{zm}}\right]^2 = 1$$

如果 $E_{ym} \neq E_{zm}$



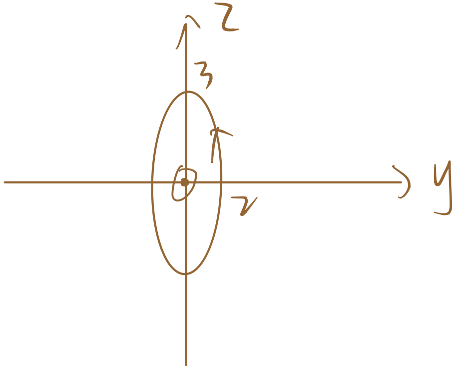
平面电磁波极化（光学中又称偏振）的用途

- 收音机天线调整到与入射电场强度平行时，收听效果最佳广播电台发射的电磁波线性极化电场强度垂直于大地，因此收音机天线宜采用竖向。
- 电视台发射的是水平线极化波，因此电视机接收天线应水平
- 液晶显示器的材料在施加电压时可以扭转线极化波的方向，控制施加电压的大小，可以改变扭转的角度，从而改变出射光的强度（即像素的明暗） 类似于起偏器
- 火箭、卫星等飞行器姿态不断变化，其天线方向也不断改变，因此不能采用线极化波，否则火箭卫星接收不到信号。此时宜采用圆极化波。 总有一个方向能够接收到信号

均匀平面电磁波的极化例题：有一垂直穿出纸面（x=0）的平面电磁波，由两个直线极化波E_z=3cosωt和E_y=2cos（ωt+90°）组成，试证明合成波是椭圆极化波。它是右旋波还是左旋波?

解： $$E_y = -2\sin\omega t$$

$$\left(\frac{E_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{E_z}{3}\right)^2 = 1$$



由于E_y超前E_z，故为右旋波。

作业二十四

1. 什么是平面电磁波的极化？有哪些极化类型？
2. 如何根据相位判断圆极化波或椭圆极化波是左旋还是右旋？
3. 如何根据轨迹判断圆极化波或椭圆极化波是左旋还是右旋？
4. 如何根据相位判断圆极化波或椭圆极化波是左旋还是右旋？
5. 教材6-4-1