谐振腔
Rectangular resonant Cavity

张子珍

山西大同大学物理与电子科学学院

2013.11.15

教学目标 (teaching objectives)

教学目标 (teaching objectives)

1. 无界空间中电磁波的传播;

教学目标 (teaching objectives)

1. 无界空间中电磁波的传播;
2. 理想导体的边界条件;

教学目标 (teaching objectives)

1. 无界空间中电磁波的传播;
2. 理想导体的边界条件;
3. 谐振腔内电磁场的波动方程;

教学目标 (teaching objectives)

1. 无界空间中电磁波的传播;
2. 理想导体的边界条件;
3. 谐振腔内电磁场的波动方程;
4. 直角坐标系下波动方程的求解;

教学目标 (teaching objectives)

1. 无界空间中电磁波的传播;
2. 理想导体的边界条件;
3. 谐振腔内电磁场的波动方程;
4. 直角坐标系下波动方程的求解;
5. 讨论。

教学目标 (teaching objectives)

1. 无界空间中电磁波的传播;
2. 理想导体的边界条件;
3. 谐振腔内电磁场的波动方程;
4. 直角坐标系下波动方程的求解;
5. 讨论。

重点:波动方程及边界条件

难点: 通过边界条件求系数

1.无界空间中电磁波的传播 (Plane Wave)

1.无界空间中电磁波的传播 (Plane Wave)

- 无界空间中电磁波的传播

1.无界空间中电磁波的传播 (Plane Wave)

- 无界空间中电磁波的传播
  无界空间中，电磁波的波动方程是:

1.无界空间中电磁波的传播 (Plane Wave)

- 无界空间中电磁波的传播
  无界空间中，电磁波的波动方程是:

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \tag{1}$$

1.无界空间中电磁波的传播 (Plane Wave)

- 无界空间中电磁波的传播
  无界空间中，电磁波的波动方程是:

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \tag{1}$$

时谐电磁波时，方程(1)变为

1.无界空间中电磁波的传播 (Plane Wave)

- 无界空间中电磁波的传播

  无界空间中，电磁波的波动方程是:

$$\nabla^2\vec{E}-\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}=0 \tag{1}$$

时谐电磁波时，方程(1)变为

$$\nabla^2\vec{E}+k^2\vec{E}=0 \tag{2}$$

1.无界空间中电磁波的传播 (Plane Wave)

- 无界空间中电磁波的传播
  无界空间中，电磁波的波动方程是:

$$\nabla^2\vec{E}-\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}=0 \tag{1}$$

时谐电磁波时，方程(1)变为

$$\nabla^2\vec{E}+k^2\vec{E}=0 \tag{2}$$

其解为

- 无界空间中电磁波的传播
  无界空间中，电磁波的波动方程是:

$$\nabla^2\vec{E}-\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}=0 \tag{1}$$

时谐电磁波时，方程(1)变为

$$\nabla^2\vec{E}+k^2\vec{E}=0 \tag{2}$$

其解为

$$\vec{E}(x,y,z,t)=e^{i(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t)} \tag{3}$$

1.无界空间中电磁波的传播 (Plane Wave)

- 无界空间中电磁波的传播
  无界空间中，电磁波的波动方程是:

$$\nabla^2\vec{E}-\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}=0 \tag{1}$$

时谐电磁波时，方程(1)变为

$$\nabla^2\vec{E}+k^2\vec{E}=0 \tag{2}$$

其解为

$$\vec{E}(x,y,z,t)=e^{i(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t)} \tag{3}$$

其中，$k^2=\omega^2{}_{\mu\varepsilon}$,该解为平面波，即无界空间中电磁波最基本的存在形式是平面电磁波。而且电磁波是横波（即TEM波）。

- 无界空间中电磁波的传播

  无界空间中，电磁波的波动方程是:

$$\nabla^2\vec{E}-\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}=0 \tag{1}$$

时谐电磁波时，方程(1)变为

$$\nabla^2\vec{E}+k^2\vec{E}=0 \tag{2}$$

其解为

$$\vec{E}(x,y,z,t)=e^{i(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t)} \tag{3}$$

其中，$k^2=\omega^2{}_{\mu\varepsilon}$,该解为平面波，即无界空间中电磁波最基本的存在形式是平面电磁波。而且电磁波是横波（即TEM波）。

2.理想导体的边界条件(Boundary Conditions in Conductor)

- 有界空间中电磁波的传播

2.理想导体的边界条件(Boundary Conditions in Conductor)

- 有界空间中电磁波的传播
  当电磁波遇到导体表面时，有趋肤效应，即进入导体的深度非常小，也就是说，导体自然构成电磁波传播的边界。 把这种特性用于无线电技术中，可以用导体作为传播电磁波的空间的壁，来制约电磁波的传播。比如谐振腔和 波导管，它的壁都是用导体作成的。

2.理想导体的边界条件(Boundary Conditions in Conductor)

- 有界空间中电磁波的传播
  当电磁波遇到导体表面时，有趋肤效应，即进入导体的深度非常小，也就是说，导体自然构成电磁波传播的边界。把这种特性用于无线电技术中，可以用导体作为传播电磁波的空间的壁，来制约电磁波的传播。比如谐振腔和 波导管，它的壁都是用导体作成的。

- 两种介质分界面上的边值关系
  电磁波遇到两种介质的分界面时，其边值关系是:

2.理想导体的边界条件(Boundary Conditions in Conductor)

- 有界空间中电磁波的传播
  当电磁波遇到导体表面时，有趋肤效应，即进入导体的深度非常小，也就是说，导体自然构成电磁波传播的边界。把这种特性用于无线电技术中，可以用导体作为传播电磁波的空间的壁，来制约电磁波的传播。比如谐振腔和 波导管，它的壁都是用导体作成的。

- 两种介质分界面上的边值关系
  电磁波遇到两种介质的分界面时，其边值关系是:

3.Electronmagnetic Wave Propagation in resonant Cavity

$$\hat{n} \times (\vec{E}_2 - \vec{E}_1) = 0, \hat{n} \times (\vec{H}_2 - \vec{H}_1) = \vec{\alpha}, \tag{4}$$

3.Electronmagnetic Wave Propagation in resonant Cavity

$$\hat{n} \times (\vec{E}_2 - \vec{E}_1) = 0, \hat{n} \times (\vec{H}_2 - \vec{H}_1) = \vec{\alpha}, \tag{4}$$

$$\hat{n} \cdot (\vec{D}_2 - \vec{D}_1) = \sigma, \hat{n} \cdot (\vec{B}_2 - \vec{B}_1) = 0 \tag{5}$$

3.Electronmagnetic Wave Propagation in resonant Cavity

$$\hat{n} \times (\vec{E}_2 - \vec{E}_1) = 0, \hat{n} \times (\vec{H}_2 - \vec{H}_1) = \vec{\alpha}, \tag{4}$$

$$\hat{n} \cdot (\vec{D}_2 - \vec{D}_1) = \sigma, \hat{n} \cdot (\vec{B}_2 - \vec{B}_1) = 0 \tag{5}$$

问题：方程(4)和(5)是否独立？

$$\hat{n} \times (\vec{E}_2 - \vec{E}_1) = 0, \hat{n} \times (\vec{H}_2 - \vec{H}_1) = \vec{\alpha}, \tag{4}$$

$$\hat{n} \cdot (\vec{D}_2 - \vec{D}_1) = \sigma, \hat{n} \cdot (\vec{B}_2 - \vec{B}_1) = 0 \tag{5}$$

问题：方程(4)和(5)是否独立？

- 导体与介质分界面上的边值关系

当导体与介质的接触时，取1为导体，2代表真空或介质。在实际问题中，一般银，铜都可以作为理想导体来处理。电磁场的边值关系变为

$$\hat{n}\times(\vec{E}_2-\vec{E}_1)=0,\hat{n}\times(\vec{H}_2-\vec{H}_1)=\vec{\alpha}, \tag{4}$$

$$\hat{n}\cdot(\vec{D}_2-\vec{D}_1)=\sigma,\hat{n}\cdot(\vec{B}_2-\vec{B}_1)=0 \tag{5}$$

问题：方程(4)和(5)是否独立？

- 导体与介质分界面上的边值关系

当导体与介质的接触时，取1为导体，2代表真空或介质。在实际问题中，一般银，铜都可以作为理想导体来处理。电磁场的边值关系变为

$$\hat{n}\times\vec{E}=0,\hat{n}\times\vec{H}=\vec{\alpha}, \tag{6}$$

3.Electronmagnetic Wave Propagation in resonant Cavity

$$\hat{n}\times(\vec{E}_2-\vec{E}_1)=0, \hat{n}\times(\vec{H}_2-\vec{H}_1)=\vec{\alpha}, \tag{4}$$

$$\hat{n}\cdot(\vec{D}_2-\vec{D}_1)=\sigma, \hat{n}\cdot(\vec{B}_2-\vec{B}_1)=0 \tag{5}$$

问题：方程(4)和(5)是否独立？

- 导体与介质分界面上的边值关系

当导体与介质的接触时，取1为导体，2代表真空或介质。在实际问题中，一般银，铜都可以作为理想导体来处理。电磁场的边值关系变为

$$\hat{n}\times\vec{E}=0, \hat{n}\times\vec{H}=\vec{\alpha}, \tag{6}$$

4.Solution of Helmholtz equation,separating variables

$$\hat{n} \cdot \vec{D} = \sigma, \hat{n} \cdot \vec{B} = 0 \tag{7}$$

$$\hat{n}\cdot\vec{D}=\sigma,\hat{n}\cdot\vec{B}=0 \tag{7}$$

问题：方程(6)和(7)是否独立？

$$\hat{n}\cdot\vec{D}=\sigma,\hat{n}\cdot\vec{B}=0 \tag{7}$$

问题：方程(6)和(7)是否独立?

谐振腔的边界条件变为

4.Solution of Helmholtz equation,separating variables

$$\hat{n}\cdot\vec{D}=\sigma,\hat{n}\cdot\vec{B}=0 \tag{7}$$

问题：方程(6)和(7)是否独立?

谐振腔的边界条件变为

$$E_t=0,\frac{\partial E_n}{\partial n}=0 \tag{8}$$

谐振腔的波动方程以及边界条件为

$$\hat{n}\cdot\vec{D}=\sigma,\hat{n}\cdot\vec{B}=0 \tag{7}$$

问题：方程(6)和(7)是否独立？

谐振腔的边界条件变为

$$E_t=0,\frac{\partial E_n}{\partial n}=0 \tag{8}$$

谐振腔的波动方程以及边界条件为

$$\left\{\begin{array}{l} \\ \\ \end{array}\right.$$

$$\hat{n}\cdot\vec{D}=\sigma,\hat{n}\cdot\vec{B}=0 \tag{7}$$

问题：方程(6)和(7)是否独立？

谐振腔的边界条件变为

$$E_t=0,\frac{\partial E_n}{\partial n}=0 \tag{8}$$

谐振腔的波动方程以及边界条件为

$$\begin{cases}\nabla^2\vec{E}+k^2\vec{E}=0\\ \\ \end{cases}$$

$$\hat{n}\cdot\vec{D}=\sigma,\hat{n}\cdot\vec{B}=0 \tag{7}$$

问题：方程(6)和(7)是否独立?

谐振腔的边界条件变为

$$E_t=0,\frac{\partial E_n}{\partial n}=0 \tag{8}$$

谐振腔的波动方程以及边界条件为

$$\begin{cases}\nabla^2\vec{E}+k^2\vec{E}=0\\ E_t=0\\ \end{cases}$$

4.Solution of Helmholtz equation,separating variables

$$\hat{n}\cdot\vec{D}=\sigma,\hat{n}\cdot\vec{B}=0 \tag{7}$$

问题：方程(6)和(7)是否独立?

谐振腔的边界条件变为

$$E_t=0,\frac{\partial E_n}{\partial n}=0 \tag{8}$$

谐振腔的波动方程以及边界条件为

$$\begin{cases}\nabla^2\vec{E}+k^2\vec{E}=0\\ E_t=0\\ \frac{\partial E_n}{\partial n}=0\end{cases}$$

$$\hat{n}\cdot\vec{D}=\sigma,\hat{n}\cdot\vec{B}=0 \tag{7}$$

问题：方程(6)和(7)是否独立?

谐振腔的边界条件变为

$$E_t=0,\frac{\partial E_n}{\partial n}=0 \tag{8}$$

谐振腔的波动方程以及边界条件为

$$\begin{cases}\nabla^2\vec{E}+k^2\vec{E}=0\\ E_t=0\\ \frac{\partial E_n}{\partial n}=0\end{cases} \tag{9}$$

$$\hat{n}\cdot\vec{D}=\sigma,\hat{n}\cdot\vec{B}=0 \tag{7}$$

问题：方程(6)和(7)是否独立?

谐振腔的边界条件变为

$$E_t=0,\frac{\partial E_n}{\partial n}=0 \tag{8}$$

谐振腔的波动方程以及边界条件为

$$\begin{cases}\nabla^2\vec{E}+k^2\vec{E}=0\\ E_t=0\\ \frac{\partial E_n}{\partial n}=0\end{cases} \tag{9}$$

设$u(x,y,z)$代表$\vec{E}$的任一直角分量，

$$\hat{n}\cdot\vec{D}=\sigma,\hat{n}\cdot\vec{B}=0 \tag{7}$$

问题：方程(6)和(7)是否独立？

谐振腔的边界条件变为

$$E_t=0,\frac{\partial E_n}{\partial n}=0 \tag{8}$$

谐振腔的波动方程以及边界条件为

$$\begin{cases}\nabla^2\vec{E}+k^2\vec{E}=0\\ E_t=0\\ \frac{\partial E_n}{\partial n}=0\end{cases} \tag{9}$$

设$u(x,y,z)$代表$\vec{E}$的任一直角分量，

$$\nabla^2u+k^2u=0$$

4.Solution of Helmholtz equation,separating variables

$$\hat{n}\cdot\vec{D}=\sigma,\hat{n}\cdot\vec{B}=0 \tag{7}$$

问题：方程(6)和(7)是否独立?

谐振腔的边界条件变为

$$E_t=0,\frac{\partial E_n}{\partial n}=0 \tag{8}$$

谐振腔的波动方程以及边界条件为

$$\begin{cases}\nabla^2\vec{E}+k^2\vec{E}=0\\ E_t=0\\ \frac{\partial E_n}{\partial n}=0\end{cases} \tag{9}$$

设$u(x,y,z)$代表$\vec{E}$的任一直角分量，

$$\nabla^2u+k^2u=0 \tag{10}$$

用分离变量法对方程(10)进行求解,令 $u(x,y,z)=X(x)Y(y)Z(z)$,代入方程(10)中，得

用分离变量法对方程(10)进行求解,令 $u(x,y,z) = X(x)Y(y)Z(z)$,代入方程(10)中，得

$$X''YZ + XY''Z + XYZ'' + k^2XYZ = 0 \qquad (11)$$

用分离变量法对方程(10)进行求解,令 $u(x,y,z)=X(x)Y(y)Z(z)$,代入方程(10)中，得

$$X''YZ+XY''Z+XYZ''+k^2XYZ=0 \tag{11}$$

$$\frac{X''}{X}+k_x^2+\frac{Y''}{Y}+k_y^2+\frac{Z''}{Z}+k_z^2=0 \tag{12}$$

$$\frac{X''}{X}+k_x^2=0,\frac{Y''}{Y}+k_y^2=0,\frac{Z''}{Z}+k_z^2=0 \tag{13}$$

用分离变量法对方程(10)进行求解,令 $u(x,y,z)=X(x)Y(y)Z(z)$,代入方程(10)中，得

$$X''YZ+XY''Z+XYZ''+k^2XYZ=0 \tag{11}$$

$$\frac{X''}{X}+k_x^2+\frac{Y''}{Y}+k_y^2+\frac{Z''}{Z}+k_z^2=0 \tag{12}$$

$$\frac{X''}{X}+k_x^2=0,\frac{Y''}{Y}+k_y^2=0,\frac{Z''}{Z}+k_z^2=0 \tag{13}$$

$$X''+k_x^2X=0,Y''+k_y^2Y=0,Z''+k_z^2Z=0. \tag{14}$$

用分离变量法对方程(10)进行求解,令 $u(x,y,z)=X(x)Y(y)Z(z)$,代入方程(10)中，得

$$X''YZ+XY''Z+XYZ''+k^2XYZ=0 \tag{11}$$

$$\frac{X''}{X}+k_x^2+\frac{Y''}{Y}+k_y^2+\frac{Z''}{Z}+k_z^2=0 \tag{12}$$

$$\frac{X''}{X}+k_x^2=0,\frac{Y''}{Y}+k_y^2=0,\frac{Z''}{Z}+k_z^2=0 \tag{13}$$

$$X''+k_x^2X=0,Y''+k_y^2Y=0,Z''+k_z^2Z=0. \tag{14}$$

4.Solution of Helmholtz equation， Computing coefficients by Boundary Conditions

$$X(x) = C_1 \cos k_x x + D_1 \sin k_x x, \tag{15}$$

4.Solution of Helmholtz equation， Computing coefficients by Boundary Conditions

$$X(x) = C_1 \cos k_x x + D_1 \sin k_x x, \tag{15}$$

$$Y(y) = C_2 \cos k_y y + D_1 \sin k_y y, \tag{16}$$

4.Solution of Helmholtz equation， Computing coefficients by Boundary Conditions

$$X(x) = C_1 \cos k_x x + D_1 \sin k_x x, \tag{15}$$

$$Y(y) = C_2 \cos k_y y + D_1 \sin k_y y, \tag{16}$$

$$Z(z) = C_3 \cos k_z z + D_3 \sin k_z z \tag{17}$$

4.Solution of Helmholtz equation， Computing coefficients by Boundary Conditions

$$X(x) = C_1 \cos k_x x + D_1 \sin k_x x, \tag{15}$$

$$Y(y) = C_2 \cos k_y y + D_1 \sin k_y y, \tag{16}$$

$$Z(z) = C_3 \cos k_z z + D_3 \sin k_z z \tag{17}$$

$$u(x, y, z) = X(x)Y(y)Z(z)$$

4.Solution of Helmholtz equation, Computing coefficients by Boundary Conditions

$$X(x) = C_1 \cos k_x x + D_1 \sin k_x x, \tag{15}$$

$$Y(y) = C_2 \cos k_y y + D_1 \sin k_y y, \tag{16}$$

$$Z(z) = C_3 \cos k_z z + D_3 \sin k_z z \tag{17}$$

$$u(x, y, z) = X(x)Y(y)Z(z) \tag{18}$$

4.Solution of Helmholtz equation， Computing coefficients by Boundary Conditions

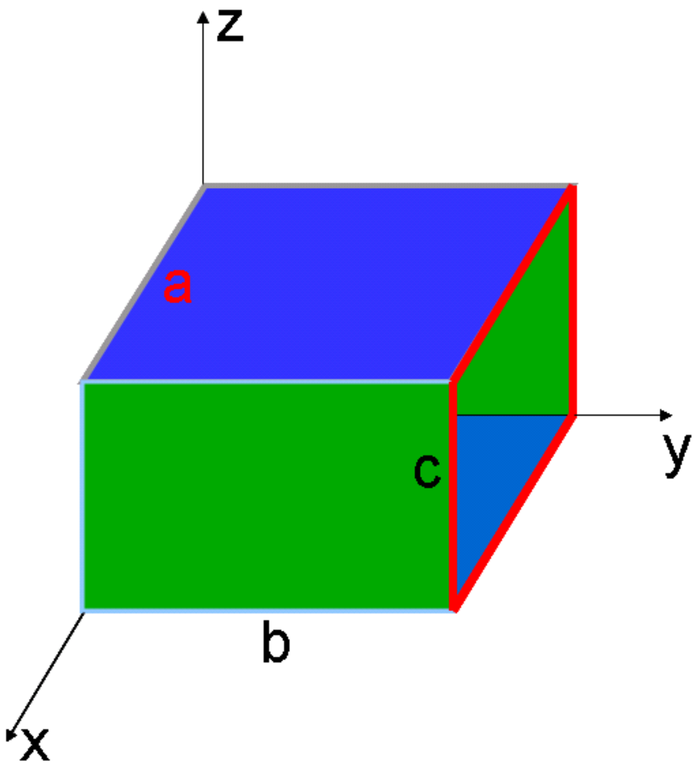
$$X(x) = C_1 \cos k_x x + D_1 \sin k_x x, \tag{15}$$

$$Y(y) = C_2 \cos k_y y + D_1 \sin k_y y, \tag{16}$$

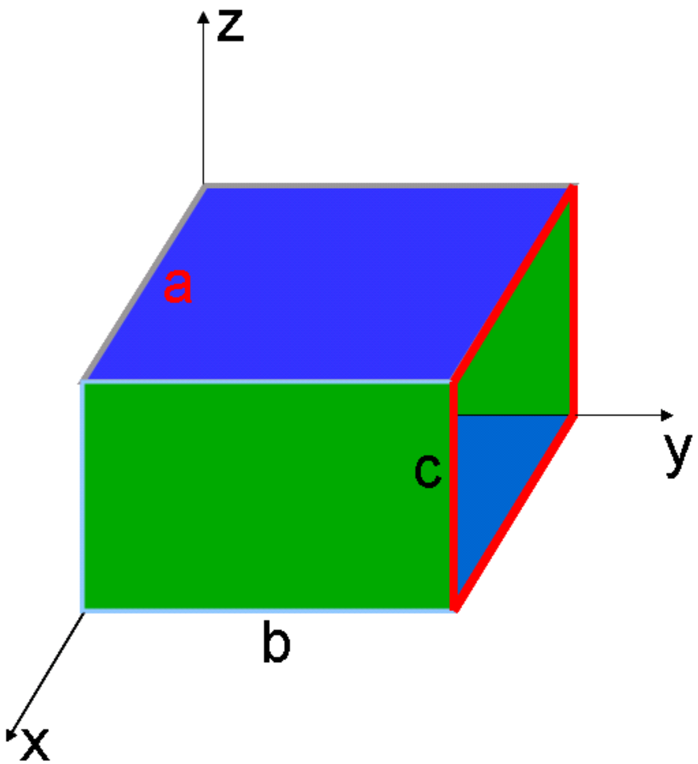
$$Z(z) = C_3 \cos k_z z + D_3 \sin k_z z \tag{17}$$

$$u(x, y, z) = X(x) Y(y) Z(z) \tag{18}$$

4.谐振腔内电磁振荡的振动规律



4.谐振腔内电磁振荡的振动规律

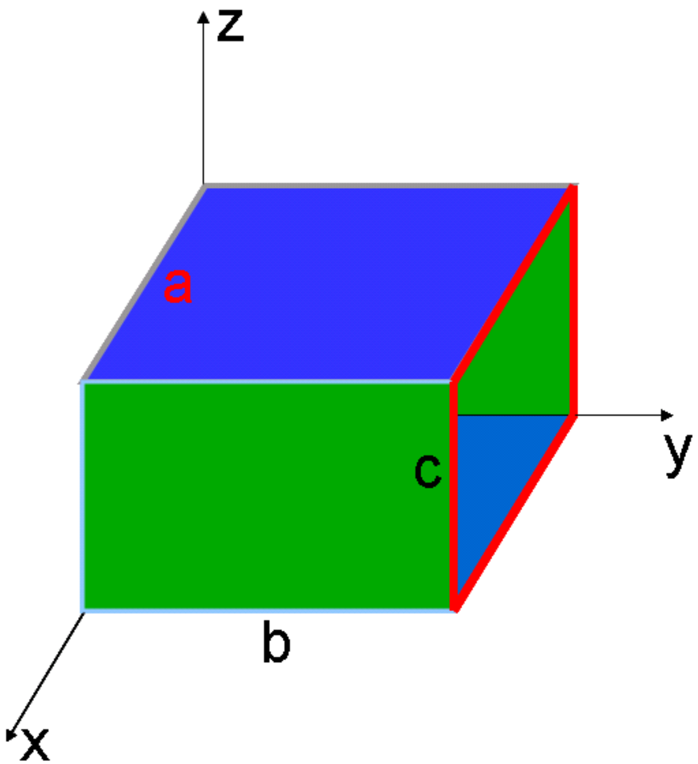


令 $u(x, y, z)$ 代表E_x，

在$x = 0$和$x = a$面上，

E_x是法线分量，

4.谐振腔内电磁振荡的振动规律



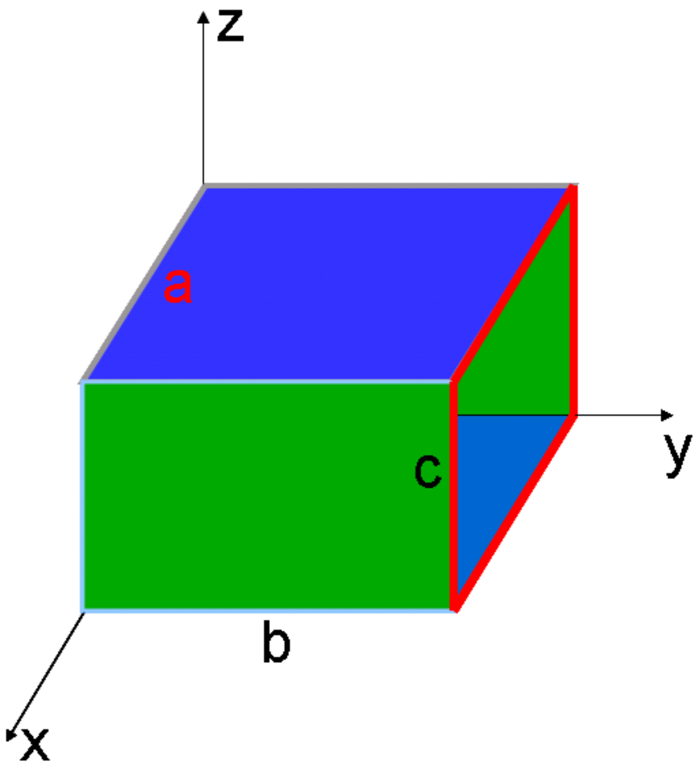
令 $u(x, y, z)$ 代表E_x,

在$x = 0$和$x = a$面上,

E_x是法线分量,

故$\frac{\partial E_X}{\partial x}|_{x=0} = 0$,

4.谐振腔内电磁振荡的振动规律



令 $u(x,y,z)$ 代表E_x,

在$x=0$和$x=a$面上,

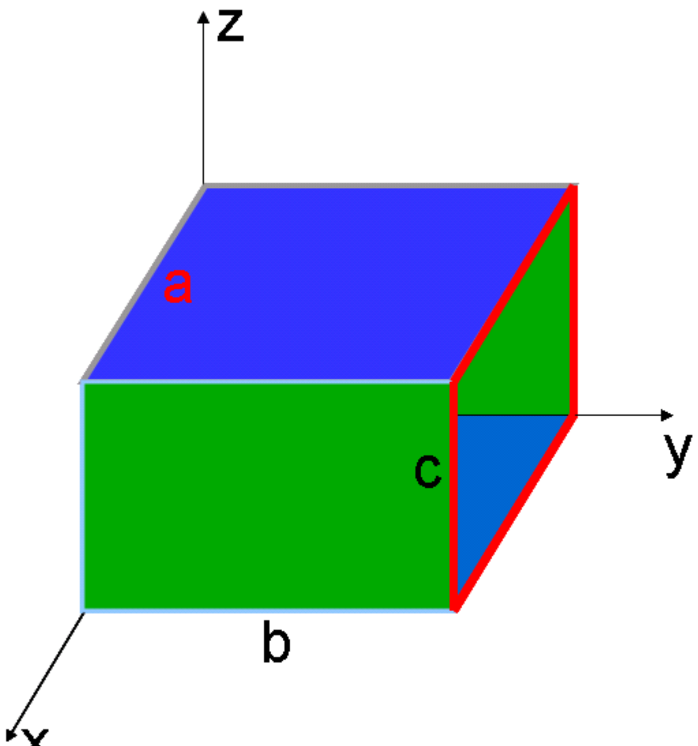
E_x是法线分量,

故$\frac{\partial E_X}{\partial x}|_{x=0}=0$,

$\frac{\partial E_X}{\partial x}|_{x=a}=0$,

$D_1=0, k_x=\frac{m\pi}{a}$.

4.谐振腔内电磁振荡的振动规律



令 $u(x,y,z)$ 代表E_x,

在$x=0$和$x=a$面上,

E_x是法线分量,

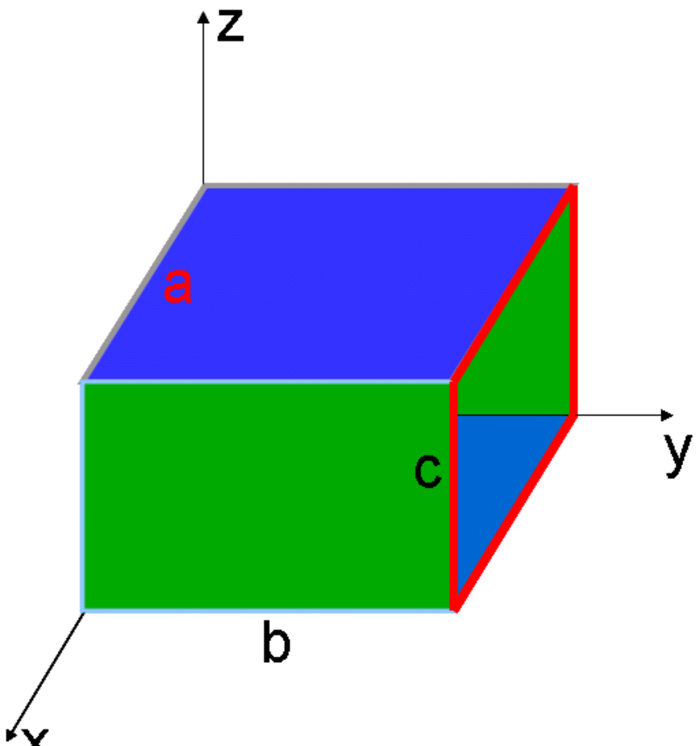
故$\frac{\partial E_X}{\partial x}|_{x=0}=0$,

$\frac{\partial E_X}{\partial x}|_{x=a}=0$,

$D_1=0, k_x=\frac{m\pi}{a}$.

在 $y=0$ 和 $y=b$ 面上， E_x 是切线分量,

4.谐振腔内电磁振荡的振动规律



令 $u(x,y,z)$ 代表E_x,

在$x=0$和$x=a$面上,

E_x是法线分量,

故$\frac{\partial E_X}{\partial x}|_{x=0}=0$,

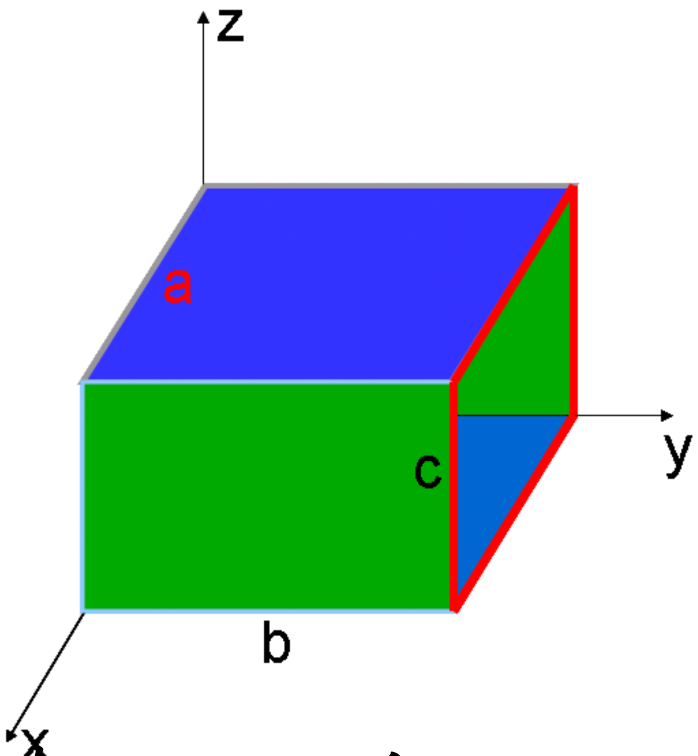
$\frac{\partial E_X}{\partial x}|_{x=a}=0$,

$D_1=0, k_x=\frac{m\pi}{a}$.

在 $y=0$ 和 $y=b$ 面上， E_x 是切线分量,

故 $E_X|_{y=0}=0$, $E_X|_{y=b}=0$,得$C_2=0, k_y=\frac{n\pi}{b}$.

4.谐振腔内电磁振荡的振动规律



令 $u(x, y, z)$ 代表E_x,

在$x=0$和$x=a$面上,

E_x是法线分量,

故$\frac{\partial E_X}{\partial x}|_{x=0}=0$,

$\frac{\partial E_X}{\partial x}|_{x=a}=0$,

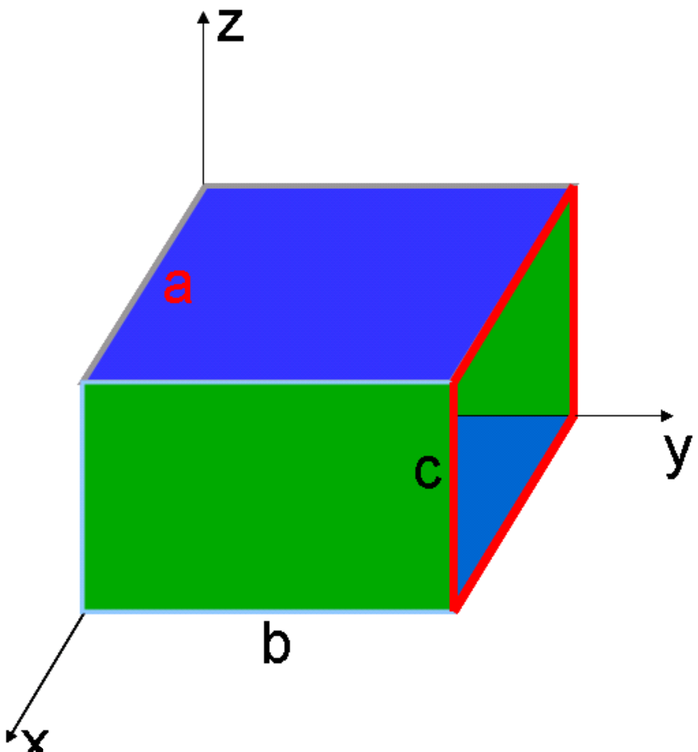
$D_1=0, k_x=\frac{m\pi}{a}$.

在 $y=0$ 和 $y=b$ 面上， E_x 是切线分量,

故 $E_X|_{y=0}=0$, $E_X|_{y=b}=0$,得$C_2=0, k_y=\frac{n\pi}{b}$.

在 $z=0$ 和 $z=c$ 面上， E_x 是切线分量,

4.谐振腔内电磁振荡的振动规律



令 $u(x,y,z)$ 代表E_x,

在$x=0$和$x=a$面上,

E_x是法线分量,

故$\frac{\partial E_X}{\partial x}|_{x=0}=0$,

$\frac{\partial E_X}{\partial x}|_{x=a}=0$,

$D_1=0, k_x=\frac{m\pi}{a}$.

在 $y=0$ 和 $y=b$ 面上， E_x 是切线分量,

故 $E_X|_{y=0}=0$，$E_X|_{y=b}=0$,得$C_2=0, k_y=\frac{n\pi}{b}$.

在 $z=0$ 和 $z=c$ 面上， E_x 是切线分量,

故 $E_X|_{z=0}=0$，$E_X|_{z=c}=0$,得$C_3=0, k_x=\frac{p\pi}{c}$.

5.Electromagnetic Waves wavelength and frequencies

$$E_x = A_1 \cos(\frac{m\pi}{a}x) \sin(\frac{n\pi}{b}y) \sin(\frac{p\pi}{c}z) \tag{19}$$

5.Electromagnetic Waves wavelength and frequencies

$$E_x = A_1 \cos(\frac{m\pi}{a}x)\sin(\frac{n\pi}{b}y)\sin(\frac{p\pi}{c}z) \tag{19}$$

同理：得

5.Electromagnetic Waves wavelength and frequencies

$$E_x = A_1 \cos(\frac{m\pi}{a}x)\sin(\frac{n\pi}{b}y)\sin(\frac{p\pi}{c}z) \tag{19}$$

同理：得

$$E_y = A_2 \sin(\frac{m\pi}{a}x)\cos(\frac{n\pi}{b}y)\sin(\frac{p\pi}{c}z) \tag{20}$$

5.Electromagnetic Waves wavelength and frequencies

$$E_x = A_1 \cos(\frac{m\pi}{a}x)\sin(\frac{n\pi}{b}y)\sin(\frac{p\pi}{c}z) \tag{19}$$

同理：得

$$E_y = A_2 \sin(\frac{m\pi}{a}x)\cos(\frac{n\pi}{b}y)\sin(\frac{p\pi}{c}z) \tag{20}$$

$$E_z = A_3 \sin(\frac{m\pi}{a}x)\sin(\frac{n\pi}{b}y)\cos(\frac{p\pi}{c}z) \tag{21}$$

5.Electromagnetic Waves wavelength and frequencies

$$E_x = A_1 \cos(\frac{m\pi}{a}x)\sin(\frac{n\pi}{b}y)\sin(\frac{p\pi}{c}z) \tag{19}$$

同理：得

$$E_y = A_2 \sin(\frac{m\pi}{a}x)\cos(\frac{n\pi}{b}y)\sin(\frac{p\pi}{c}z) \tag{20}$$

$$E_z = A_3 \sin(\frac{m\pi}{a}x)\sin(\frac{n\pi}{b}y)\cos(\frac{p\pi}{c}z) \tag{21}$$

$$k_x = \frac{m\pi}{a}, k_y = \frac{n\pi}{b}, k_z = \frac{p\pi}{c}, \tag{22}$$

5.Electromagnetic Waves wavelength and frequencies

$$E_x = A_1 \cos(\frac{m\pi}{a}x)\sin(\frac{n\pi}{b}y)\sin(\frac{p\pi}{c}z) \tag{19}$$

同理：得

$$E_y = A_2 \sin(\frac{m\pi}{a}x)\cos(\frac{n\pi}{b}y)\sin(\frac{p\pi}{c}z) \tag{20}$$

$$E_z = A_3 \sin(\frac{m\pi}{a}x)\sin(\frac{n\pi}{b}y)\cos(\frac{p\pi}{c}z) \tag{21}$$

$$k_x = \frac{m\pi}{a}, k_y = \frac{n\pi}{b}, k_z = \frac{p\pi}{c}, \tag{22}$$

$$k_x A_1 + k_y A_2 + k_z A_3 = 0 \tag{23}$$

5.Electromagnetic Waves wavelength and frequencies

$$E_x = A_1 \cos(\frac{m\pi}{a}x)\sin(\frac{n\pi}{b}y)\sin(\frac{p\pi}{c}z) \tag{19}$$

同理：得

$$E_y = A_2 \sin(\frac{m\pi}{a}x)\cos(\frac{n\pi}{b}y)\sin(\frac{p\pi}{c}z) \tag{20}$$

$$E_z = A_3 \sin(\frac{m\pi}{a}x)\sin(\frac{n\pi}{b}y)\cos(\frac{p\pi}{c}z) \tag{21}$$

$$k_x = \frac{m\pi}{a}, k_y = \frac{n\pi}{b}, k_z = \frac{p\pi}{c}, \tag{22}$$

$$k_x A_1 + k_y A_2 + k_z A_3 = 0 \tag{23}$$

5.Electromagnetic Waves wavelength and frequencies

因此，A_1，A_2，A_3 中只有两个是独立的。谐振腔的本征频率

$$\omega_{mnp} = \frac{\pi}{\sqrt{\mu\varepsilon}}\sqrt{(\frac{m}{a})^2 + (\frac{n}{b})^2 + (\frac{p}{c})^2} \tag{24}$$

5.Electromagnetic Waves wavelength and frequencies

因此，A_1，A_2，A_3 中只有两个是独立的。谐振腔的本征频率

$$\omega_{mnp} = \frac{\pi}{\sqrt{\mu\varepsilon}}\sqrt{(\frac{m}{a})^2 + (\frac{n}{b})^2 + (\frac{p}{c})^2} \tag{24}$$

若$a > b > c$,最低频率的谐振波数为(1,1,0)，其频率为

$$f_{110} = \frac{1}{2\sqrt{\mu\varepsilon}}\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}} \tag{25}$$

5.Electromagnetic Waves wavelength and frequencies

因此， A_1， A_2， A_3 中只有两个是独立的。 谐振腔的本征频率

$$\omega_{mnp} = \frac{\pi}{\sqrt{\mu\varepsilon}}\sqrt{(\frac{m}{a})^2 + (\frac{n}{b})^2 + (\frac{p}{c})^2} \tag{24}$$

若$a > b > c$,最低频率的谐振波数为(1,1,0)，其频率为

$$f_{110} = \frac{1}{2\sqrt{\mu\varepsilon}}\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}} \tag{25}$$

波长为

$$\lambda_{110} = \frac{2}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}}} \tag{26}$$

因此， A_1， A_2， A_3 中只有两个是独立的。 谐振腔的本征频率

$$\omega_{mnp} = \frac{\pi}{\sqrt{\mu\varepsilon}}\sqrt{(\frac{m}{a})^2 + (\frac{n}{b})^2 + (\frac{p}{c})^2} \tag{24}$$

若$a > b > c$,最低频率的谐振波数为(1,1,0)，其频率为

$$f_{110} = \frac{1}{2\sqrt{\mu\varepsilon}}\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}} \tag{25}$$

波长为

$$\lambda_{110} = \frac{2}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}}} \tag{26}$$

小结

知识点小结：

知识点小结:

$$\begin{cases} \nabla^2\vec{E}+k^2\vec{E}=0 \\ \\ \end{cases}$$

小结

知识点小结：

$$\begin{cases} \nabla^2 \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0 \\ E_t = 0 \\ \end{cases}$$

知识点小结：

$$\begin{cases} \nabla^2 \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0 \\ E_t = 0 \\ \frac{\partial E_n}{\partial n} = 0 \end{cases}$$

知识点小结：

$$\begin{cases} \nabla^2 \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0 \\ E_t = 0 \\ \frac{\partial E_n}{\partial n} = 0 \end{cases}$$

知识点小结：

$$\begin{cases} \nabla^2 \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0 \\ E_t = 0 \\ \dfrac{\partial E_n}{\partial n} = 0 \end{cases}$$

$$E_x = A_1 \cos(\frac{m\pi}{a}x)\sin(\frac{n\pi}{b}y)\sin(\frac{p\pi}{c}z)$$
$$E_y = A_2 \sin(\frac{m\pi}{a}x)\cos(\frac{n\pi}{b}y)\sin(\frac{p\pi}{c}z)$$
$$E_z = A_3 \sin(\frac{m\pi}{a}x)\sin(\frac{n\pi}{b}y)\cos(\frac{p\pi}{c}z)$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0$$