第一章电磁现象的普遍规律(Universal law of electromagnetic phenomenon)

徐永丽

山西大同大学物理与电子科学学院

2013.9.1

第一章教学内容

第一章教学内容

1. 电荷和电场;

第一章教学内容

1. 电荷和电场;
2. 电流和磁场;

第一章教学内容

1. 电荷和电场;
2. 电流和磁场;
3. 麦克斯韦方程组;

第一章教学内容

1. 电荷和电场;
2. 电流和磁场;
3. 麦克斯韦方程组;
4. 介质的电磁性质;

第一章教学内容

1. 电荷和电场;
2. 电流和磁场;
3. 麦克斯韦方程组;
4. 介质的电磁性质;
5. 电磁场边界条件;

第一章教学内容

1. 电荷和电场;
2. 电流和磁场;
3. 麦克斯韦方程组;
4. 介质的电磁性质;
5. 电磁场边界条件;
6. 电磁场的能量和能流密度;

第一章教学内容

1. 电荷和电场;
2. 电流和磁场;
3. 麦克斯韦方程组;
4. 介质的电磁性质;
5. 电磁场边界条件;
6. 电磁场的能量和能流密度;

重点，难点 (Teaching emphasis and difficult points)

重点:麦克斯韦方程组,边界条件，能量和能流密度

难点:边界条件，积分形式与微分形式的互换

第一节　电荷和电场
Charge and electric field

徐永丽

山西大同大学物理与电子科学学院

2013.9.1

教学目标（teaching objectives）

教学目标（teaching objectives）

1. 电荷和电场;

教学目标（teaching objectives）

1. 电荷和电场;
2. 高斯定理和电场的散度;

教学目标（teaching objectives）

1. 电荷和电场;
2. 高斯定理和电场的散度;
3. 静电场的旋度;

教学目标（teaching objectives）

1. 电荷和电场;
2. 高斯定理和电场的散度;
3. 静电场的旋度;
4. 静电场的基本方程;

教学目标（teaching objectives）

1. 电荷和电场;
2. 高斯定理和电场的散度;
3. 静电场的旋度;
4. 静电场的基本方程;
5. 小结

重点:静电场的散度和旋度

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 库仑定律

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 库仑定律

  表述如下:

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 库仑定律

  表述如下:

  真空中静止点电荷Q对另一个静止点电荷Q'的作用力F为

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 库仑定律

  表述如下:

  真空中静止点电荷Q对另一个静止点电荷Q'的作用力F为

$$\vec{F} = \frac{QQ'}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\vec{r} \tag{1}$$

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 库仑定律

  表述如下:

  真空中静止点电荷Q对另一个静止点电荷Q'的作用力F为

$$\vec{F} = \frac{QQ'}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\vec{r} \tag{1}$$

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 库仑定律

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 库仑定律
- 注意

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 库仑定律
- 注意

  (1)静电学的基本实验定律

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 库仑定律
- 注意

(1)静电学的基本实验定律

(2)Q'对Q的作用力为$\vec{F}' = -\vec{F}$

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 库仑定律
- 注意

(1)静电学的基本实验定律

(2)Q'对Q的作用力为$\vec{F}' = -\vec{F}$

(3)两种物理解释:

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 库仑定律
- 注意

(1)静电学的基本实验定律

(2)Q'对Q的作用力为$\vec{F}' = -\vec{F}$

(3)两种物理解释:

A超距作用：一个点电荷不需中间媒介直接施力与另一点电荷。

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 库仑定律
- 注意

(1)静电学的基本实验定律

(2)Q'对Q的作用力为$\vec{F}' = -\vec{F}$

(3)两种物理解释:

A超距作用：一个点电荷不需中间媒介直接施力与另一点电荷。

B场传递：相互作用通过场来传递。

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 库仑定律
- 注意

(1)静电学的基本实验定律

(2)Q'对Q的作用力为$\vec{F'} = -\vec{F}$

(3)两种物理解释:

A超距作用：一个点电荷不需中间媒介直接施力与另一点电荷。

B场传递：相互作用通过场来传递。

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 点电荷电场强度

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 点电荷电场强度

  电荷周围空间存在电场：即任何电荷都在自己周围空间激发电场。

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 点电荷电场强度

  电荷周围空间存在电场：即任何电荷都在自己周围空间激发电场。

  电场的基本性质：对电场中的电荷有力的作用。

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 点电荷电场强度

  电荷周围空间存在电场：即任何电荷都在自己周围空间激发电场。

  电场的基本性质：对电场中的电荷有力的作用。

  描述电场的函数–电场强度。

- 点电荷电场强度

电荷周围空间存在电场：即任何电荷都在自己周围空间激发电场。

电场的基本性质：对电场中的电荷有力的作用。

描述电场的函数–电场强度。

$$\vec{E} = \sum_i \frac{Q_i \vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r_i^3} \tag{2}$$

方向沿试探电荷受力的方向，大小与试探点电荷无关。给定Q，它仅是空间点函数，因而

- 点电荷电场强度

  电荷周围空间存在电场：即任何电荷都在自己周围空间激发电场。

  电场的基本性质：对电场中的电荷有力的作用。

  描述电场的函数–电场强度。

$$\vec{E} = \sum_i \frac{Q_i \vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r_i^3} \tag{2}$$

方向沿试探电荷受力的方向，大小与试探点电荷无关。给定Q，它仅是空间点函数，因而

- 场的叠加原理

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 场的叠加原理

$$\vec{E}(\vec{x}) = \sum_{i=1} \frac{Q_i \vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r_i^3} = \sum_{i=1} \vec{E}_i \tag{3}$$

电荷系在空间某点产生的电场强度等于组成该电荷系的各点电荷单独存在时在该点产生的场强的矢量和。

- 场的叠加原理

$$\vec{E}(\vec{x}) = \sum_{i=1} \frac{Q_i \vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r_i^3} = \sum_{i=1} \vec{E}_i \tag{3}$$

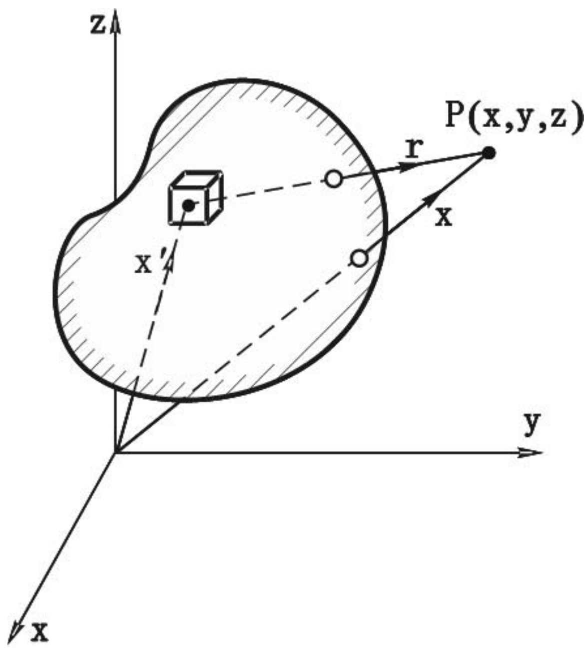
电荷系在空间某点产生的电场强度等于组成该电荷系的各点电荷单独存在时在该点产生的场强的矢量和。

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

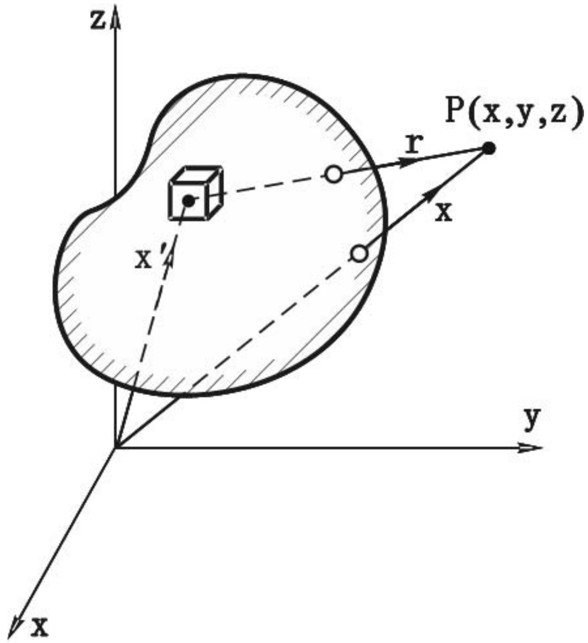
- 电荷密度分布

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 电荷密度分布

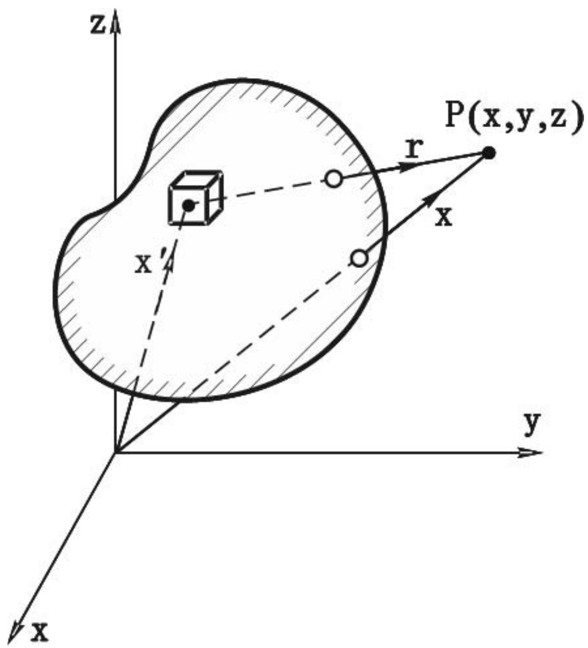


- 电荷密度分布



体电荷$dQ = \rho dV$

- 电荷密度分布

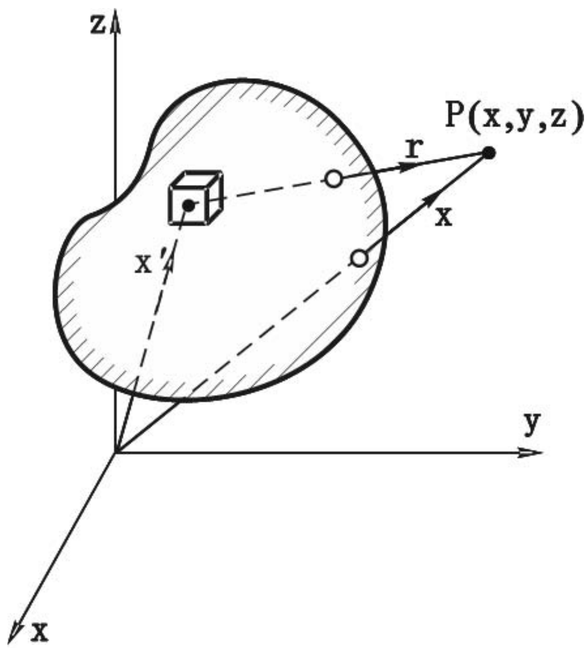


体电荷$dQ = \rho dV$

面电荷$dQ = \sigma dS$

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 电荷密度分布



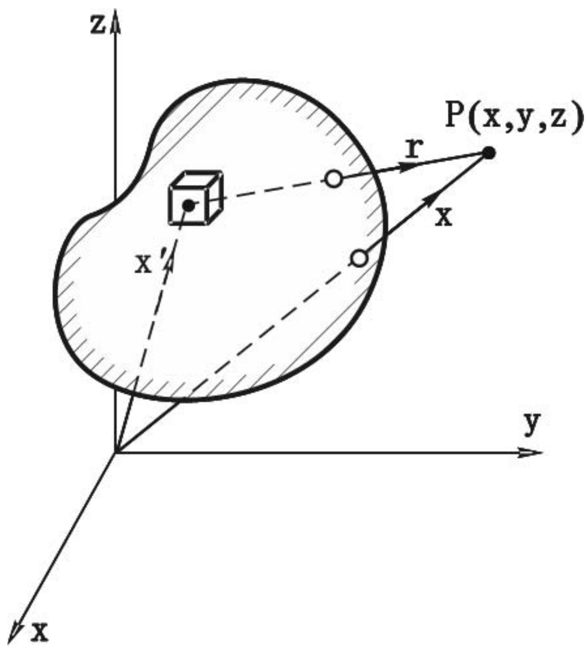
体电荷$dQ = \rho dV$

面电荷$dQ = \sigma dS$

线电荷$dQ = \lambda dV$

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 电荷密度分布



体电荷$dQ = \rho dV$

面电荷$dQ = \sigma dS$

线电荷$dQ = \lambda dV$

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 连续分布电荷激发的电场强度

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 连续分布电荷激发的电场强度

$$\vec{E} = \int_V \frac{\rho(\vec{x}')\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} dv'$$

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 连续分布电荷激发的电场强度

$$\vec{E} = \int_V \frac{\rho(\vec{x}')\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} dv'$$

$$\vec{E} = \int_S \frac{\sigma(\vec{x}')\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} ds'$$

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 连续分布电荷激发的电场强度

$$\vec{E} = \int_V \frac{\rho(\vec{x}')\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} dv'$$

$$\vec{E} = \int_S \frac{\sigma(\vec{x}')\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} ds'$$

$$\vec{E} = \int_l \frac{\lambda(\vec{x}')\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} dl'$$

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 连续分布电荷激发的电场强度

$$\vec{E} = \int_V \frac{\rho(\vec{x}')\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} dv'$$

$$\vec{E} = \int_S \frac{\sigma(\vec{x}')\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} ds'$$

$$\vec{E} = \int_l \frac{\lambda(\vec{x}')\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} dl'$$

对场中一个点电荷，受力$\vec{F} = Q'\vec{E}$仍成立

1.电荷和电场 (Charge and electric field)

- 连续分布电荷激发的电场强度

  $$\vec{E} = \int_V \frac{\rho(\vec{x}')\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} dv'$$

  $$\vec{E} = \int_S \frac{\sigma(\vec{x}')\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} ds'$$

  $$\vec{E} = \int_l \frac{\lambda(\vec{x}')\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} dl'$$

  对场中一个点电荷，受力$\vec{F} = Q'\vec{E}$仍成立

2.高斯定理和电场的散度 (Gauss’s theorem and the divergence field)

- 高斯定理

2.高斯定理和电场的散度 (Gauss's theorem and the divergence field)

- 高斯定理

通过闭合曲面S的电场$\vec{E}$的通量定义为面积分$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$

2.高斯定理和电场的散度 (Gauss's theorem and the divergence field)

- 高斯定理

通过闭合曲面S的电场$\vec{E}$的通量定义为面积分$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$

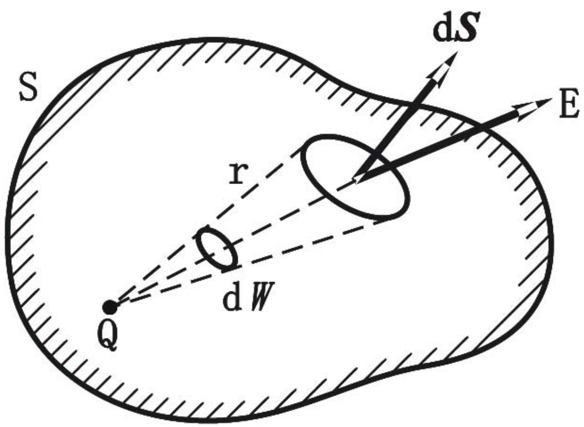
高斯定理

2.高斯定理和电场的散度 (Gauss's theorem and the divergence field)

- 高斯定理

通过闭合曲面S的电场$\vec{E}$的通量定义为面积分$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$

高斯定理

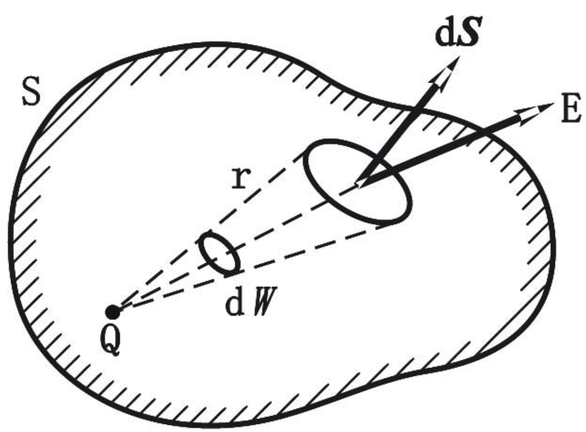


2.高斯定理和电场的散度 (Gauss's theorem and the divergence field)

- 高斯定理

通过闭合曲面S的电场$\vec{E}$的通量定义为面积分$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$

高斯定理



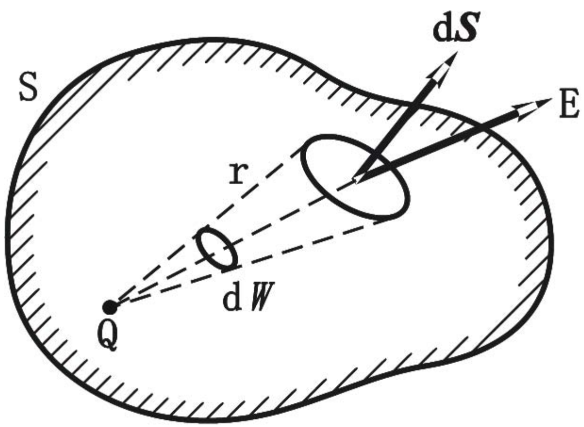
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

2.高斯定理和电场的散度 (Gauss's theorem and the divergence field)

- 高斯定理

通过闭合曲面S的电场$\vec{E}$的通量定义为面积分$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$

高斯定理



$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q}{\varepsilon_0} \tag{4}$$

2.高斯定理和电场的散度 (Gauss's theorem and the divergence field)

- 高斯定理证明

2.高斯定理和电场的散度 (Gauss's theorem and the divergence field)

- 高斯定理证明

$$\vec{E} \cdot dS = E cos\theta dS = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} cos\theta dS$$

2.高斯定理和电场的散度 (Gauss's theorem and the divergence field)

- 高斯定理证明

$$\vec{E} \cdot dS = E cos\theta dS = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} cos\theta dS \tag{5}$$

$$\oint \vec{E} \cdot dS = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \oint d\Omega = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

2.高斯定理和电场的散度 (Gauss's theorem and the divergence field)

- 高斯定理证明

$$\vec{E} \cdot dS = E cos\theta dS = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} cos\theta dS \tag{5}$$

$$\oint \vec{E} \cdot dS = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \oint d\Omega = \frac{Q}{\varepsilon_0} \tag{6}$$

$$\oint \vec{E} \cdot dS = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \oint d\Omega = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_i Q_i$$

2.高斯定理和电场的散度 (Gauss's theorem and the divergence field)

- 高斯定理证明

$$\vec{E}\cdot dS = E cos\theta dS = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} cos\theta dS \tag{5}$$

$$\oint \vec{E}\cdot dS = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\oint d\Omega = \frac{Q}{\varepsilon_0} \tag{6}$$

$$\oint \vec{E}\cdot dS = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\oint d\Omega = \frac{1}{\varepsilon_0}\sum_i Q_i \tag{7}$$

$$\oint \vec{E}\cdot dS = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\oint d\Omega = \frac{1}{\varepsilon_0}\int_V \rho dV$$

2.高斯定理和电场的散度 (Gauss's theorem and the divergence field)

- 高斯定理证明

$$\vec{E} \cdot dS = E cos\theta dS = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} cos\theta dS \tag{5}$$

$$\oint \vec{E} \cdot dS = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \oint d\Omega = \frac{Q}{\varepsilon_0} \tag{6}$$

$$\oint \vec{E} \cdot dS = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \oint d\Omega = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_i Q_i \tag{7}$$

$$\oint \vec{E} \cdot dS = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \oint d\Omega = \frac{1}{\varepsilon_0} \int_V \rho dV \tag{8}$$

2.高斯定理和电场的散度 (Gauss's theorem and the divergence field)

- 静电场的散度方程

2.高斯定理和电场的散度 (Gauss's theorem and the divergence field)

- 静电场的散度方程

$$div\vec{f} = lim_{\Delta v \to 0} \frac{\oint \vec{f} \cdot ds}{\Delta V}$$

2.高斯定理和电场的散度 (Gauss's theorem and the divergence field)

- 静电场的散度方程

$$div\vec{f} = lim_{\Delta v \to 0} \frac{\oint \vec{f} \cdot ds}{\Delta V} \tag{9}$$

$$\oint_s \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int_v \nabla \cdot \vec{E} dV = \frac{1}{\varepsilon_0} \int_v \rho(\vec{x}') dV$$

2.高斯定理和电场的散度 (Gauss's theorem and the divergence field)

- 静电场的散度方程

$$div\vec{f} = lim_{\Delta v \to 0} \frac{\oint \vec{f} \cdot ds}{\Delta V} \tag{9}$$

$$\oint_s \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int_v \nabla \cdot \vec{E} dV = \frac{1}{\varepsilon_0} \int_v \rho(\vec{x}') dV \tag{10}$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \tag{11}$$

3.静电场的旋度(Curl in electrostatic field)

- 环路定理

3.静电场的旋度(Curl in electrostatic field)

- 环路定理

$$\oint_L \vec{E} \cdot dl = 0$$

3.静电场的旋度(Curl in electrostatic field)

- 环路定理

$$\oint_L \vec{E} \cdot dl = 0 \tag{12}$$

(1)静电场对任意闭合回路的环量为零。

3.静电场的旋度(Curl in electrostatic field)

- 环路定理

$$\oint_L \vec{E} \cdot dl = 0 \tag{12}$$

(1)静电场对任意闭合回路的环量为零。
(2)说明在回路内无涡旋存在，静电场是不闭合的。

3.静电场的旋度(Curl in electrostatic field)

- 环路定理

$$\oint_L \vec{E} \cdot dl = 0 \tag{12}$$

(1)静电场对任意闭合回路的环量为零。

(2)说明在回路内无涡旋存在，静电场是不闭合的。

证明:

3.静电场的旋度(Curl in electrostatic field)

- 环路定理

$$\oint_L \vec{E} \cdot dl = 0 \tag{12}$$

(1)静电场对任意闭合回路的环量为零。

(2)说明在回路内无涡旋存在，静电场是不闭合的。

证明:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int_{V'} dV' [\rho(\vec{x}') \oint_L \frac{\vec{r}}{r^3} \cdot d\vec{l}] \tag{13}$$

3.静电场的旋度(Curl in electrostatic field)

- 旋度方程

3.静电场的旋度(Curl in electrostatic field)

- 旋度方程

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_V \rho(\vec{x}')dV' \int_S (\nabla \times \frac{\vec{r}}{r^3}) \cdot d\vec{S} \equiv 0 \quad (14)$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_s (\nabla \times \vec{E}) \cdot d\vec{S} = 0 \quad (15)$$

$$\nabla \times \vec{E} = 0 \quad (16)$$

静电场的无旋性。

3.静电场的旋度(Curl in electrostatic field)

- 旋度方程

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_V \rho(\vec{x}')dV' \int_S (\nabla \times \frac{\vec{r}}{r^3}) \cdot d\vec{S} \equiv 0 \qquad (14)$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_s (\nabla \times \vec{E}) \cdot d\vec{S} = 0 \qquad (15)$$

$$\nabla \times \vec{E} = 0 \qquad (16)$$

静电场的无旋性。

4.静电场的基本方程

- 微分形式

4.静电场的基本方程

- 微分形式

$$\nabla \times \vec{E} = 0 \qquad \nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \tag{17}$$

- 积分形式

4.静电场的基本方程

- 微分形式

$$\nabla \times \vec{E} = 0 \qquad \nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \tag{17}$$

- 积分形式

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \tag{18}$$

物理意义：反映电荷激发电场及电场内部联系的规律性。

4.静电场的基本方程

- 微分形式

$$\nabla \times \vec{E} = 0 \qquad \nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \tag{17}$$

- 积分形式

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \tag{18}$$

物理意义：反映电荷激发电场及电场内部联系的规律性。

物理图像：电荷是电场的源，静电场是有源无旋场

4.静电场的基本方程

- 微分形式

$$\nabla \times \vec{E} = 0 \qquad \nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \tag{17}$$

- 积分形式

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \tag{18}$$

物理意义：反映电荷激发电场及电场内部联系的规律性。

物理图像：电荷是电场的源，静电场是有源无旋场

小结

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q}{\varepsilon_0} \tag{19}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \tag{20}$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \qquad \nabla \times \vec{E} = 0 \tag{21}$$