

真空中的静电场

要点梳理

1 库仑定律 $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r}$

2 电场强度 $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$

点电荷的场强及场强叠加原理

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r} \quad \vec{E} = \sum_i \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^3} \vec{r}_i = \int \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r}$$

3 电（场强度）通量及高斯定理

$$\Phi_e = \iint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_{i\text{内}} \quad \text{静电场是有源场}$$

4 几种特殊电荷系统的电场

$$\text{均匀带电球面 } \vec{E} = \begin{cases} \vec{E} = 0 & \text{球面内} \\ \vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r} & \text{球面外} \end{cases}$$

$$\text{均匀带电球体 } \vec{E} = \begin{cases} \vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^3} \vec{r} & r < R \\ \vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r} & r > R \end{cases}$$

$$\text{无限长均匀带电直线 } E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \quad \text{方向垂直带电直线}$$

$$\text{无限大均匀带电平面 } E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad \text{方向垂直带电平面}$$

5 静电场的环路定理 $\oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$

$$6 \text{ 电势 } V_A = \frac{W_A}{q_0} = \int_A^{\text{零电势点}} \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$\text{电势差 } U = V_A - V_B = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

7 场强与电势的关系

$$\text{积分关系 } V_A = \int_A^{\text{零电势点}} \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$\text{微分关系 } \vec{E} = -\nabla V = -\text{grad}V = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial V}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial V}{\partial z}\vec{k}\right)$$

学法点拨

1 两类问题

电场强度的计算：利用点电荷场强公式和叠加原理，利用高斯定理，利用场强和电势梯度的关系。

电势的计算：利用定义式，利用点电荷的电势公式和叠加原理。

2 常见错误

利用叠加原理时不能合理选择微元，积分式不正确或积分上下限出现错误；

把高斯定理中的场强 $\vec{E}$ 理解为仅是由闭合曲面内部的电荷所激发的，造成错误。

静电场中的导体和电介质

要点梳理

1 导体的静电平衡

静电平衡条件；静电平衡时导体上电荷的分布；静电平衡时导体表面外侧附近的场强；静电屏蔽

2 电介质的极化

处于电场中的电介质，其表面会出现正、负束缚电荷，这种现象称为电介质的极化。

$$\text{无限大各向同性均匀电介质中 } \vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon_r}$$

例如：点电荷所产生的电场 $\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^3} \vec{r}$

电位移矢量 $\vec{D} = \vec{P} + \epsilon_0 \vec{E}$ (任意介质适用) $= \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$ (各向同性均匀介质向同)

有电介质时的高斯定理

$$\oiint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \sum q_i \quad \leftarrow \text{闭合面内的自由电荷}$$

3 电容

孤立导体的电容 $C = \frac{q}{V}$

电容器的电容 $C = \frac{q}{V_A - V_B}$

平行板电容器 $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}, \quad \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$

圆柱形电容器 $C = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln(R_B/R_A)}, \quad \frac{2\pi\epsilon_0 \epsilon_r l}{\ln(R_B/R_A)}$

球形电容器 $C = \frac{4\pi\epsilon_0 R_A R_B}{R_B - R_A}, \quad \frac{4\pi\epsilon_0 \epsilon_r R_A R_B}{R_B - R_A}$

电容器的串联和并联

4 静电场的能量

电容器中的能量 $W_e = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2}$

电场的能量密度 $w_e = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r E^2 = \frac{1}{2} \epsilon E^2$

学法点拨

1 四类问题

导体处于静电平衡后场强和电势的计算问题；

电介质中场强和电势的计算问题；

导体和电介质表面的电荷分布问题；

电容器的电容计算以及电场能量计算问题。

2 常见错误

将静电屏蔽理解为外部电荷在金属腔内不产生电场。实际上，任何电荷在空间任何一点都按照库仑定律产生电场，导体的作用是产生感应电荷，从而产生附加电场，使得金属内各点总场强处处为零；

不懂得利用电势的定义式计算电势，错误套用公式造成错误；

在计算电介质中的电场时，由于对电极化强度 $\mathbf{P}$ 以及电位移矢量 $\mathbf{D}$ 理解不深，造成错误。

恒定电流

要点梳理

1 电流密度

$$\text{定义式 } \mathbf{j} = \frac{d\mathbf{I}}{dS \cos \theta}$$

$$\text{与电流（强度）的关系 } I = \iint_S \mathbf{j} \cdot d\mathbf{S}$$

2 欧姆定律的微分形式及电阻定律

$$\mathbf{j} = \gamma \bar{\mathbf{E}} \quad dR = \rho \frac{dl}{dS}$$

3 电动势

把单位正电荷绕闭合回路一周，非静电力所做的功为电源的电动势。

$$E = \int_{-}^{+} \bar{\mathbf{E}}_k \cdot d\mathbf{l} \quad E = \oint_l \bar{\mathbf{E}}_k \cdot d\mathbf{l}$$

学法点拨

1 两类问题

掌握电流密度、电动势等概念；

欧姆定律的应用，含电阻、电流（电流密度）、电势差的计算。

稳恒磁场

要点梳理

1 磁感应强度 $B = \frac{F_{max}}{qv}$

2 毕奥—萨伐尔定律 $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$

3 几种载流导体的磁场

一段载流直导线外一点的磁感强度的大小

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

无限长载流直导线外一点的磁感强度的大小

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

载流圆导线轴线上一点的磁感强度的大小

$$B = \frac{\mu_0 IR^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

载流长直螺线管内的磁感强度的大小

$$B = \mu_0 nI$$

4 运动电荷的磁场 $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \vec{r}}{r^3}$

5 磁通量与磁场的高斯定理

$$\Phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad \oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

6 安培环路定理

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I_i$$

7 洛伦兹力和安培定律

运动电荷受到的磁场力 $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$

一段任意形状导线所受安培力 $\vec{F} = \int_l I d\vec{l} \times \vec{B}$

8 平面载流线圈在均匀磁场中所受到的磁力矩

$$\vec{M} = \vec{P}_m \times \vec{B}$$

$$\vec{P}_m = NIS\hat{e}_n \text{ —— 磁矩}$$

学法点拨

1 三类问题

已知电流分布，求其激发的磁场的分布问题；

磁通量的计算问题；

运动电荷所受的洛伦兹力，简单形状的导线所受到的安培力，平面载流线圈在均匀磁场中受到的磁力矩的计算问题以及方向的判断问题。

2 常见错误

由于对矢量叉乘掌握不好，在用毕奥—萨伐尔定律及安培定律判断方向上出现错误；

在求磁通量或安培力时，不管是否均匀磁场，仍然利用中学公式 $\Phi=BS$ 及 $F=BIL$ ，造成错误；

在对称性不够的情况下，盲目使用安培环路定理求解磁场；

混淆平面载流线圈的磁矩和磁力矩。

电磁感应 电磁场

要点梳理

1 电磁感应的基本定律

楞次定律：感应电流的磁场所产生的磁通量总是反抗回路平面中原磁通量的改变。

法拉第电磁感应定律

$$E_i = -\frac{d\Phi}{dt} \quad E_i = -\frac{d\Psi}{dt} = -\frac{d(N\Phi)}{dt}$$

2 动生电动势 $E_{ab} = \int_a^b (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$ ——洛伦兹力作为非静电力对电荷做功的结果

3 感生电场与感生电动势

$E_i = \oint_l \vec{E}_k \cdot d\vec{l} = - \iint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$ ——感生电场力作为非静电力对电荷做功的结果

4 自感（系数）与自感电动势

当通过回路的电流发生变化时，在自身回路中所产生的感应电动势称为自感电动势。自感系数体现了回路产生自感电动势去反抗电流改变的能力。

$$E_L = - \frac{d\Psi}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$

自感（系数）的一般定义 $L = \frac{d\Psi/dt}{dI/dt} = \frac{d\Psi}{dI}$

如果回路周围没有铁磁性物质，闭合回路由 N 匝线圈组成且通过每一匝线圈的磁通均相同，则

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N\Phi}{I}$$

5 互感（系数）与互感电动势

当回路 2 的电流 I_2 发生变化时，在回路 1 中所产生的感应电动势称为互感电动势。互感（系数）反映两个相邻近的回路各自在对方回路中产生感应电动势的能力。

$$E_{12} = - \frac{d\Psi_{12}}{dt} = -M \frac{dI_2}{dt}$$

互感（系数）的一般定义 $M = \frac{d\Psi_{12}/dt}{dI_2/dt} = \frac{d\Psi_{12}}{dI_2} = \frac{d\Psi_{21}}{dI_1}$

如果两个回路相对位置固定不变，周围没有铁磁性物质 $M = \frac{\Psi_{12}}{I_2} = \frac{\Psi_{21}}{I_1}$

6 磁场能量与磁能密度

$$W_m = \frac{1}{2} LI^2$$

$$w_m = \frac{1}{2} BH = \frac{1}{2} \mu H^2 = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu}$$

7 位移电流和位移电流密度 全电流

某一截面的电位移通量对时间的变化率

$$I_d = \frac{d\Psi}{dt} = \iint_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$

$$\text{位移电流密度} \quad \vec{j}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

全电流：通过某一截面的传导电流 I_c 和位移电流 I_d 的代数和，在任何情况下都是连续的。

8 麦克斯韦方程组

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_V \rho dV = q \qquad \oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \qquad \oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$$

学法点拨

1 三类问题

感应电动势（包括动生电动势和感生电动势）的计算以及方向的判断；

理解感生电场、自感（系数）、互感（系数）、磁能密度、位移电流等概念；

力学和电磁学的综合问题。

2 常见错误

因计算感应电动势而需要计算磁通量时，在磁场非均匀的情况下，仍用 $\Phi = BS$ ，造成错误；

计算动生电动势时，在磁场非均匀情况下，仍按公式 $E_i = Blv$ 来计算，造成错误；

在计算既有感生电动势又有动生电动势的问题时，未掌握应以法拉第电磁感应定律的原始形式为基础的原则，而将两种电动势分别求，这样既可能出现重复计算，又不好处理（符号）方向问题。

感应电动势的方向判断错误。