

普物复习

191220090 沈天杰

2020 年 6 月 19 日

目录

1 静止电荷的电场	2
1.1 电场、电荷 库仑定律	2
1.2 电场 电场强度	2
1.3 电场线	3
1.4 高斯定理	4
1.5 静电场的环路定理、电势（电位）	5
1.5.1 环路定理	5
1.5.2 电势（电位）	5
1.6 等势面 电场强度与电势梯度的关系	5
1.7 静电场中的导体	6
1.7.1 静电平衡	6
1.7.2 静电平衡导体的电荷分布与电场	6
1.8 电容器与电容	6
1.9 静电场的能量	6
2 恒定电流及其磁场	7
3 电磁感应、麦克斯韦方程组	7

1 静止电荷的电场

基本物理量: 电荷 电场强度 电势¹

基本定律: 电荷守恒定律, 库仑定律, 场强叠加原理, 高斯定律, 安培环路定理

1.1 电场、电荷 库仑定律

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \left(\frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}} \right)$$

其中 $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 8.988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

考题: 库仑定律和力的叠加原理

1.2 电场 电场强度

电场强度是随位置而变的矢量场

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r} \quad \text{点电荷的场强}$$

场强叠加原理离散与连续。

考题1: 两电荷连线的中垂面上任意一点P的电场强度

电偶极子(或称电偶极矩): $\vec{p} = q\vec{l}$

电偶极子在其延长线上远场点电场强度 $E = \frac{p_e}{2\pi\epsilon_0 r^3}$ 注意 1) l很小(相对于r)

2) 方向从负电荷指向正电荷。

点P的电场强度方向与电偶极子相反。电偶极子的电场强度是立方衰减的。

考题2: 无限长均匀带电细棒中垂面上的场强分布

$$E_y = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2\lambda}{a}$$

其中a为待测点到细棒距离。

考题3: 带电圆环轴线上的电场强度。P点离环心的距离为x。

$$\vec{E} = \frac{qx}{4\pi\epsilon_0 (R^2 + x^2)^{3/2}} \hat{i}$$

¹电势梯度与场强

当 $x \rightarrow \infty$ 电场强度时等同于点电荷

考题4: 带电圆盘轴线上的电场强度。圆盘半径为 R , 面密度为 σ :

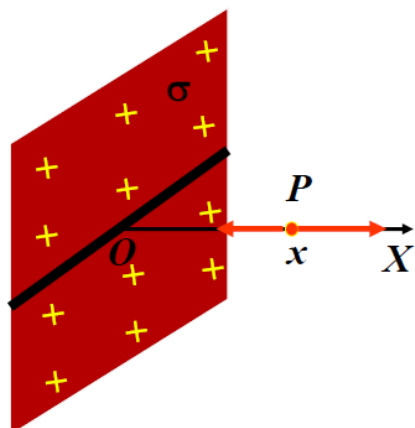
$$E_x = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + R^2/x^2}} \right)$$

1) $R \ll x$ 点电荷

2) $R \gg x$ $E_x = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ 相当于无限大板。匀强电场, 和距离无关。

考题5 无限大面和无限长线上电荷的综合运用 (重点)

例: 如图所示, 一无限大的带电平板, 电荷面密度为 σ , 但中间有一宽为 a 的细长线。求 X 轴上一点 P 处的电场强度。(细长线不带电)



板均匀带电 线上带负电

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma a}{2\pi\epsilon_0 x}$$

$$= \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{a}{\pi x} \right)$$

总结: 计算场强分布的三种办法: 1. 库仑定律+场强叠加原理 2. 电荷对称性分布: 高斯定理 3. 电势梯度

1.3 电场线

电场线: 电场线上每一点的切线方向都与该点的场强 E 方向一致; 在与电场强度垂直的单位面积中, 所穿过的电场线根数与该处的场强大小成正比。

$$dN \sim E dS \quad E \sim dN/dS$$

即: 场强正比于与其垂直的单位面积内穿过的电力线根数。

性质:

1. 起自正电荷（或无限远），终止于负电荷（或伸向无穷远），但不会在没有电荷的地方中断。(高斯定理)
2. 静电场的电场线不能形成闭合曲线，无旋场。(环路定理)
3. 电力线越密的地方，场强越大；电力线越疏的地方，场强越小。
4. 任何两条电场线不会相交。
5. 电场线的方向反映正电荷在各点的受力方向，但电场线不是正电荷的运动轨迹。

借助电场线，引入[电场强度通量](#) $\psi_E = ES$

对整个曲面积分可求得面积为S的任意曲面E通量

$$\psi_E = \iint_S E \cos \theta dS = \iint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

S为闭合曲面时,曲面内部穿出E通量为正，外部穿入E通量为负。

$$\psi_E = \oiint_S E \cos \theta dS = \oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

1.4 高斯定理

以点电荷q为球心的球面的E通量都等于 q/ϵ_0

通过电场中任一闭合曲面的总电通量，等于该曲面内包围的所有电荷电量的代数和除以 ϵ_0 ，而与闭合面外的电荷无关。

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{S_{\text{内}}} q_i$$

虽然高斯面上的电通量只和内部电荷量有关，但不能说：高斯面上电场只是由内部电荷决定的。高斯面上的电场是由全空间电荷共同决定的。

[高斯定理的应用](#)

适用情况：通常是具有某种对称性的电场—轴对称、球对称、均匀场等。

应用方法：先作对称性分析。

静电场是有源场。

1.5 静电场的环路定理、电势（电位）

1.5.1 环路定理

场强环路定理——静电场中，沿任一闭合路径场强的环流等于零。

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

物理含义：静电场是保守力场(可定义电势能和电势)；微分形式即无旋场。

1.5.2 电势（电位）

电场中a点的电势是描写电势能²的物理量。

$$V_a = w_a/q_0 = - \int_{\text{参}}^a \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

特殊的 单个点电荷电势为 $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$

电势叠加原理：点电荷电场中一点的电势，等于每一点电荷单独在这一点所产生的电势的代数和。

考题：带电q半径R球壳

1. 球壳场强

$$\vec{E} = \begin{cases} 0 & (0 \leq r < R) \\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r} & (R \leq r < \infty) \end{cases}$$

2. 球壳电势

$$V(r) = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} & (0 \leq r < R) \\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} & (R \leq r < \infty) \end{cases}$$

计算电势的方法： 1。先计算场强，然后积分计算 2。叠加原理。

1.6 等势面 电场强度与电势梯度的关系

等势面性质：

- 等势面与电力线处处正交。
- 等势面密集的地方场强大，稀疏的地方场强小。

² 电荷 q_0 在电场中某点a具有的电势能等于电场力将此电荷从参考点移至a点电场力所作的功的负值。

由梯度的定义，有 $dV = \nabla V \cdot d\vec{l}$
场强方向即梯度逆方向，即电势下降最快的方向。

$$\vec{E} = -\nabla V$$

其中 $\vec{\nabla} \equiv \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z}$

1.7 静电场中的导体

1.7.1 静电平衡

静电感应最终使导体内部场强为0。达到静电平衡的状态。(有电流的电线不是静电平衡)

- 导体是等势体，表面是等势面。
- 导体表面的电场强度垂直于导体表面。

1.7.2 静电平衡导体的电荷分布与电场

1. 对实心导体情况

2. 对导体空腔情况

(a) 空腔内无电荷

(b) 空腔内有电荷

静电屏蔽：在静电平衡下，空腔导体外面的带电体不会影响空腔内部的电场分布；一个接地的空腔导体，空腔内的带电体对腔外物体不会产生影响。

1.8 电容器与电容

电容的物理含义：升高单位电势所需电量。 $C = \frac{q}{U}$ 单位：法拉 F

1. 孤立导体电容定义为 $C = \frac{Q}{V} = 4\pi\epsilon_0 R$

2. 平板电容器电容定义为 $C = \frac{Q_A}{U_{AB}} = \frac{Q_A}{V_A - V_B} = \frac{\sigma S}{Ed} = \frac{\epsilon_0 S}{d}$
因为平板间场强为 $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

1.9 静电场的能量

能量存储在场中。

$$W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \epsilon E^2 S d = \frac{1}{2} D \cdot E \cdot S d$$

2 恒定电流及其磁场

3 电磁感应、麦克斯韦方程组