普物复习

191220090 沈天杰

2020 年 6 月 22 日

目录

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

$$\vec{F_{12}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1q_2}{r_{12}^2}(\frac{\vec{r_{12}}}{r_{12}})$$

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

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

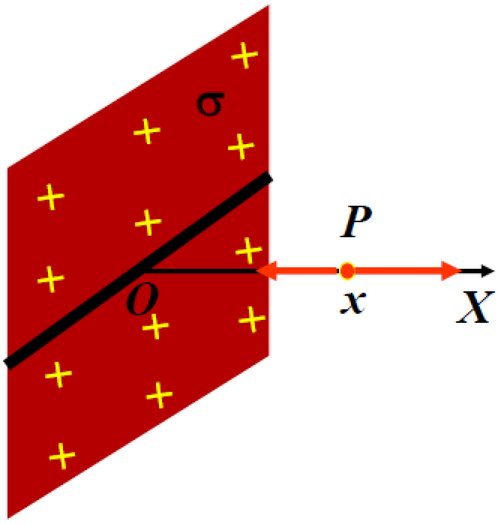
当$x \to \infty$电场强度时等同于点电荷
考题4：带电圆盘轴线上的电场强度。圆盘半径为R,面密度为σ：

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

1)R≪x 点电荷
2)R≫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）

[1] 电势梯度与场强

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

$$E=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma a}{2\pi\varepsilon_0 x}$$

$$=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}(1-\frac{a}{\pi x})$$

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。

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

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

$$\psi_E = \iint_S Ecos\theta dS = \iint_S E\cdot dS$$

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。

$$\psi_E = \oiint_S Ecos\theta dS = \oiint_S E\cdot dS$$

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。

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

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

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

2. 球壳电势

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

计算电势的方法： 1。先计算场强，然后积分计算 2。叠加原理。

[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。

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。

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。

$$W = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}\epsilon E^2 Sd = \frac{1}{2}D \cdot E \cdot Sd$$

2 恒定电流及其磁场

2.1 恒定电流和导电定律

2.1.1 电流密度

电流密度为位置的矢量，该点正电荷移动方向。$I = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$

2.1.2 电流密度与电场强度关系

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad \sigma\text{为电导率}$$

它实际上是欧姆定律的微分形式$I = \frac{U}{R}$

2.2 磁场和磁感应强度

磁感应强度B的大小可以用运动的试探电荷在磁场中的受力来表征。
洛伦兹力$\vec{F} = q_0\,\vec{v} \times \vec{B}$

2.3 毕奥—萨伐尔定律

仿照电场，磁场的研究通过电流元Idl进行。

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

其中μ为真空磁导率,$\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7} T \cdot m/A$
运动电荷激发的磁场

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q\vec{v} \times \vec{r}}{r^3} \quad \to \text{平方衰减}$$

2.4 磁场的高斯定理和安培环路定理

2.5 带电粒子在磁场中的运动

2.6 磁场对载流导线的作用

3 电磁感应、麦克斯韦方程组