

# 物理题解析 (第19, 20题)

胡华烁

2025 年 7 月 1 日

## 目录

## 第六大题、带电粒子在电场中的运动

### 19. (共7分)

(1) (2分) 试证明电场强度的单位  $1 \text{ N/C} = 1 \text{ V/m}$ 。

证明:

根据电势差的定义, 在匀强电场中, 沿电场线方向两点间的电势差  $U$ 、电场强度  $E$  和距离  $d$  的关系为:

$$U = E \cdot d$$

由此可得, 电场强度的单位可表示为 **伏特/米 (V/m)**。

另外, 根据电场强度的定义, 电场中某点的场强  $E$  等于置于该点的电荷  $q$  所受的电场力  $F$  与该电荷电量的比值:

$$E = \frac{F}{q}$$

由此可得, 电场强度的单位也可表示为 **牛顿/库仑 (N/C)**。

我们可以从基本单位的定义来推导证明这两个单位是等价的:

- 1 伏特 (V) 的定义是 "移动1库仑 (C) 电荷做1焦耳 (J) 的功", 即  $1 \text{ V} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}}$ 。
- 1 焦耳 (J) 的定义是 "用1牛顿 (N) 的力使物体在力的方向上移动1米 (m)", 即  $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

将以上定义代入  $\text{V/m}$  中进行推导:

$$1 \frac{\text{V}}{\text{m}} = \frac{1 \frac{\text{J}}{\text{C}}}{1 \text{ m}} = \frac{1 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{C}}}{1 \text{ m}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

证毕。

(2) (2分) 电场强度和电势分别是

- **电场强度**: 用来描述电场的力的性质, 它既有大小, 也有方向 (规定为正电荷在该点所受电场力的方向)。因此, 电场强度是**矢量**。
- **电势**: 用来描述电场的能的性质, 是电场中某一点相对零电势点的电势差, 只有大小, 没有方向。因此, 电势是**标量**。

答案: C. 矢量标量

(3) (3分) 该平行板电容器，带电荷量为 $Q$ 时两极板电势差为 $U$ ，若带电荷量变为 $2Q$ ，则

此题的隐含条件是电容器充电后与电源断开，成为一个孤立的带电系统。

- **电容 (C):** 平行板电容器的电容由其自身的物理结构决定，与电荷量  $Q$  和电势差  $U$  无关。只要电容器的物理结构不变，其电容  $C$  就保持不变。
- **电荷量 (Q) 与电势差 (U) 的关系:** 三者满足关系式  $Q = CU$ ，可推得  $U = \frac{Q}{C}$ 。

当电荷量变为  $Q' = 2Q$  时，由于电容  $C$  不变，新的电势差  $U'$  为：

$$U' = \frac{Q'}{C} = \frac{2Q}{C} = 2 \left( \frac{Q}{C} \right) = 2U$$

答案： D. 电容不变，两极板电势差变为原来的2倍

## 20. (共10分)

(1) (2分) 该粒子在电场中所做的运动

- **受力分析:** 粒子在电场中仅受到恒定的电场力  $\vec{F} = q\vec{E}$ ，该力的方向与粒子的初速度  $v_0$  方向垂直。
- **运动分析:** 由于粒子受到一个大小和方向都不变的恒定合外力，且该力与初速度方向垂直，其运动轨迹为一条抛物线。这种运动是**匀加速曲线运动**。

答案： B. 匀加速曲线运动

(2) (计算，4分) 该粒子在电场中运动的时间

将运动分解为水平（x轴）和竖直（y轴）方向。

- 水平方向：匀速直线运动， $v_x = v_0$ 。
- 竖直方向：初速度为0的匀加速直线运动，加速度为  $a_y = \frac{qE}{m}$ 。在时刻  $t$  的竖直分速度为  $v_y = a_y t = \frac{qE}{m} t$ 。

粒子射出时，速度方向与初速度方向成  $30^\circ$  角。由速度合成的几何关系可知：

$$\begin{aligned}\tan(30^\circ) &= \frac{v_y}{v_x} = \frac{\frac{qE}{m} t}{v_0} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} &= \frac{qEt}{mv_0} \\ \Rightarrow t &= \frac{mv_0}{\sqrt{3}qE}\end{aligned}$$

答案： 粒子在电场中运动的时间为  $\frac{mv_0}{\sqrt{3}qE}$ 。

(3) (计算, 4分) 粒子在这一过程中电势能的变化量

电势能的变化量  $\Delta U_e$  等于电场力做功  $W_e$  的负值, 而电场力做的功又等于粒子动能的变化量  $\Delta K$ 。所以  $\Delta U_e = -W_e = -\Delta K$ 。

- 初动能  $K_i$ :

$$K_i = \frac{1}{2}mv_0^2$$

- 末动能  $K_f$ : 末速度的大小  $v_f$  可由分速度求得:

$$v_y = v_x \tan(30^\circ) = \frac{v_0}{\sqrt{3}}$$

$$v_f^2 = v_x^2 + v_y^2 = v_0^2 + \left(\frac{v_0}{\sqrt{3}}\right)^2 = v_0^2 + \frac{1}{3}v_0^2 = \frac{4}{3}v_0^2$$

因此末动能为:

$$K_f = \frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{4}{3}v_0^2\right) = \frac{2}{3}mv_0^2$$

- 动能变化量  $\Delta K$ :

$$\Delta K = K_f - K_i = \frac{2}{3}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \left(\frac{4}{6} - \frac{3}{6}\right)mv_0^2 = \frac{1}{6}mv_0^2$$

- 电势能变化量  $\Delta U_e$ :

$$\Delta U_e = -\Delta K = -\frac{1}{6}mv_0^2$$

答案: 粒子在此过程中电势能的变化量为  $-\frac{1}{6}mv_0^2$ 。