

第九章

静电场

专题强化十一 带电粒子(或带电体)在电场中运动的综合问题



栏目导航

核心考点·重点突破

名师讲坛·素养提升



高考

2025^版
轮总复习

核心考点 · 重点突破

考点 1

带电粒子在交变电场中的运动

(能力考点·深度研析)

1. 带电粒子在交变电场中的运动, 通常只讨论电压的大小不变、方向做周期性变化(如方波)的情形。

(1)当粒子平行于电场方向射入时, 粒子做直线运动, 其初速度和受力情况决定了粒子的运动情况, 粒子可以做周期性的直线运动。

(2)当粒子垂直于电场方向射入时, 沿初速度方向的分运动为匀速直线运动, 沿电场方向的分运动具有周期性。

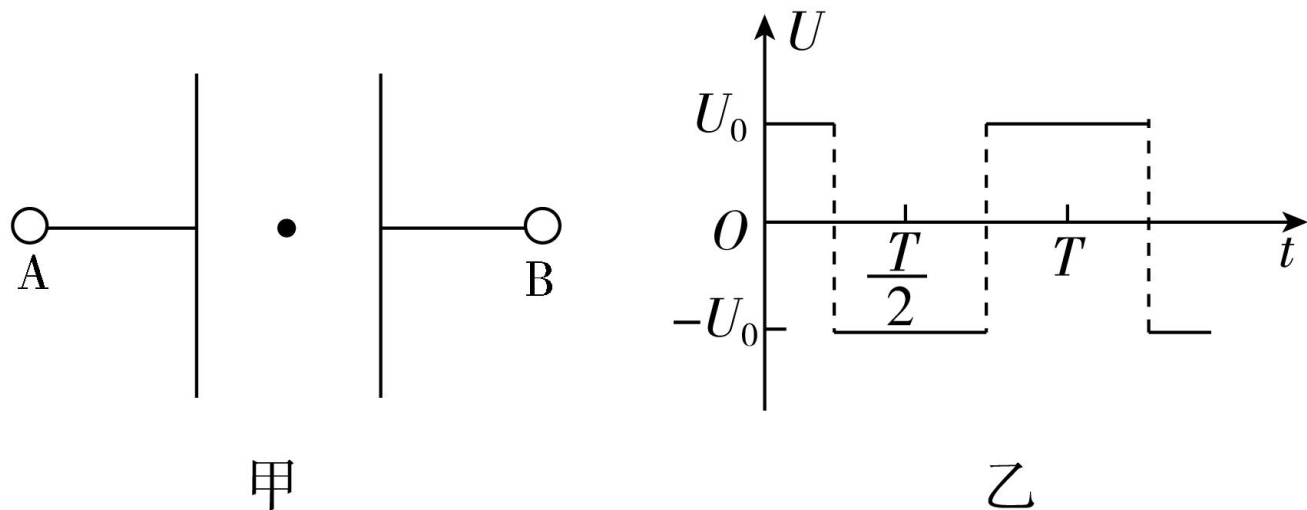
2. 研究带电粒子在交变电场中的运动，关键是根据电场变化的特点，利用牛顿第二定律正确地判断粒子的运动情况。根据电场的变化情况，分段求解带电粒子运动的末速度、位移等。

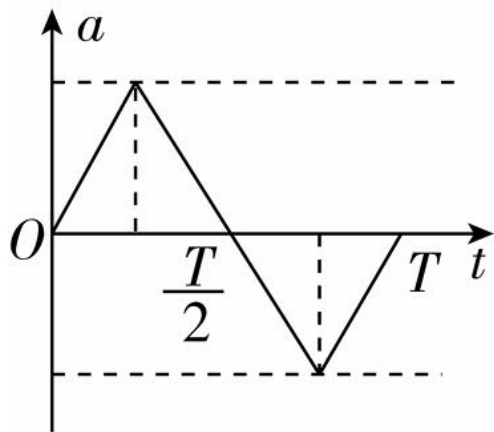
很多时候可将 $\left. \begin{array}{l} \varphi-t \text{ 图像} \\ U-t \text{ 图像} \\ E-t \text{ 图像} \end{array} \right\}$ 转换, $a-t$ 图像转化, $v-t$ 图像。

3. 对于锯齿波和正弦波等电压产生的交变电场，若粒子穿过板间的时间极短，带电粒子穿过电场瞬间可认为是在匀强电场中运动。

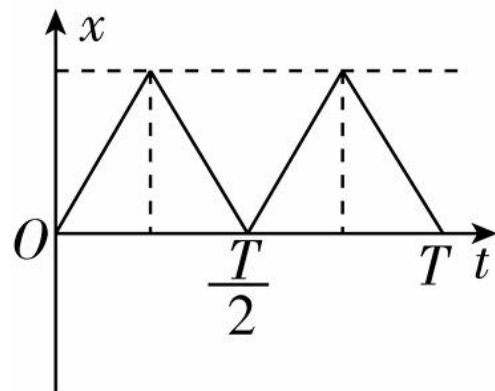
►考向1 带电粒子在交变电场中的直线运动

例^① 如图甲所示，在两距离足够大的平行金属板中央有一个静止的质子(不计重力)， $t=0$ 时刻，A板电势高于B板电势，当两板间加上如图乙所示的交变电压后，下列图像中能正确反映质子速度 v 、位移 x 、加速度 a 和动能 E_k 四个物理量随时间变化规律的是(**C**)

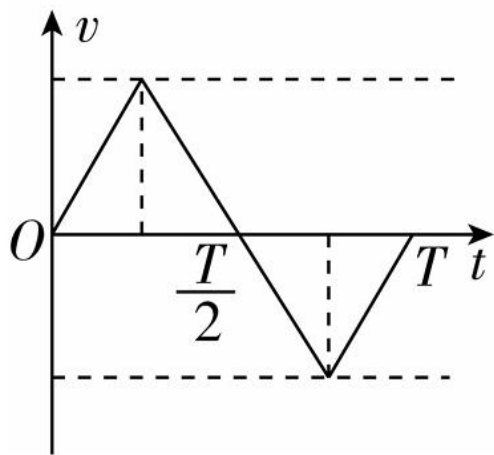




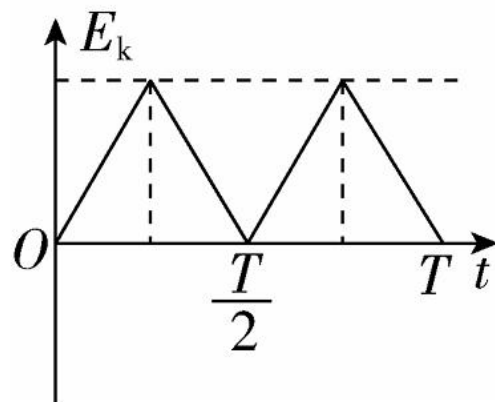
A



B



C

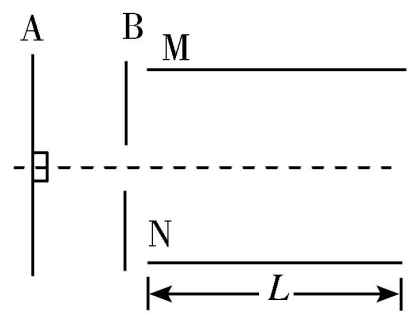


D

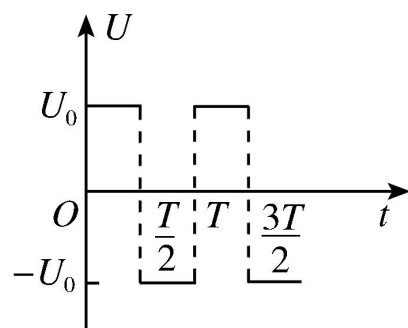
【解析】 质子在电场中的加速度 $a = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md}$ ，即加速度 a 与金属板间电压 U 成正比，故图像应与 $U-t$ 图相似，A 错误； $0 \sim \frac{T}{4}$ 时间内，质子在金属板间做匀加速直线运动，由 $x = \frac{1}{2}at^2$ ，知质子的位移 x 与时间 t 成二次函数关系，图像应该为抛物线，B 错误；由图乙可知，在 $0 \sim \frac{T}{4}$ 时间内，质子做初速度为零的匀加速直线运动，在 $\frac{T}{4} \sim \frac{3T}{4}$ 时间内，加速度方向相反，大小不变，故质子先做匀减速直线运动，减速为零后以相同的加速度反向匀加速； $\frac{3T}{4} \sim T$ 质子做匀减速运动， T 时刻速度减为零，C 正确；由于 $v = v_0 + at$ ， $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ ，故动能 E_k 与时间 t 为二次函数关系，图像应该为抛物线，D 错误。

►考向 2 带电粒子在交变电场中的偏转运动

例^② 如图甲所示，A、B 为两块相距很近的平行金属板，A、B 间电压 $U_{AB} = -U_0$ ，紧贴 A 板有一电子源，不停地飘出质量为 m 、带电荷量为 e 的电子(初速度可视为 0)。在 B 板右侧两块平行金属板 M、N 间加有如图乙所示的电压，电压变化的周期 $T = L\sqrt{\frac{m}{2eU_0}}$ ，板间中线与电子源在同一水平线上，已知极板间距为 d ，极板长为 L ，不计电子重力，求：



甲



乙

- (1) 电子进入偏转极板时的速度大小;
- (2) $\frac{T}{4}$ 时刻沿中线射入偏转极板间的电子刚射出偏转极板时与板间中线的距离(未与极板接触)。



[解析] (1) 设电子进入偏转极板时的速度为 v ,

$$\text{由动能定理有 } eU_0 = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{解得 } v = \sqrt{\frac{2eU_0}{m}}。$$



(2)由题意知, 电子穿过偏转极板所需时间 $t = \frac{L}{v} = L \sqrt{\frac{m}{2eU_0}} = T$

故在 $\frac{T}{4}$ 时刻沿中线射入偏转极板间的电子在电场方向上先加速后减速, 然后反向加速再减速, 各段位移大小相等, 故一个周期内, 偏移量为零, 则电子沿板间中线射出偏转极板, 与板间中线的距离为 0。

答案 (1) $\sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$ (2) 0

考点 2

用等效法处理带电体在电场和重力场中的运动

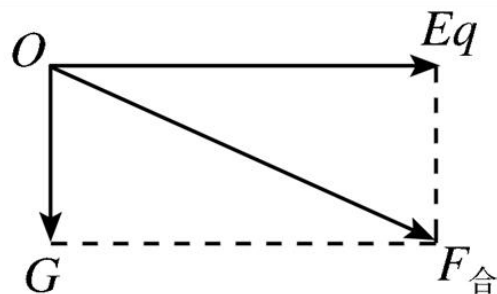
(能力考点·深度研析)

1. 等效重力法

将重力与电场力进行合成, 如图所示, 则 $F_{\text{合}}$ 为等效

重力场中的“重力”, $g' = \frac{F_{\text{合}}}{m}$ 为等效重力场中的“等

效重力加速度”, $F_{\text{合}}$ 的方向为等效“重力”的方向, 即在等效重力场中的“竖直向下”方向。

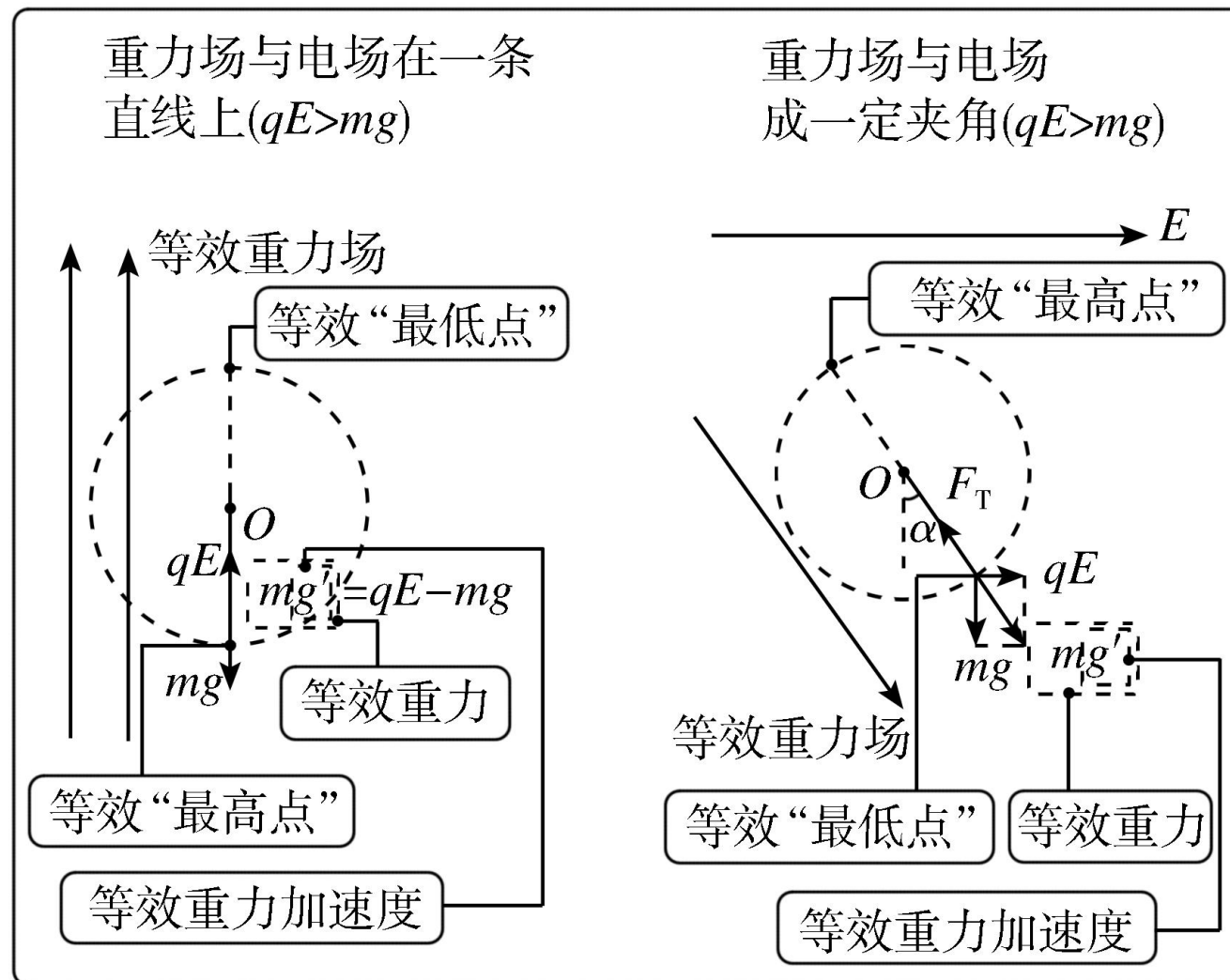


2. 等效最高点与等效最低点

小球能自由静止的位置，即是“等效最低点”，圆周上与该点在同一直径的点为“等效最高点”。

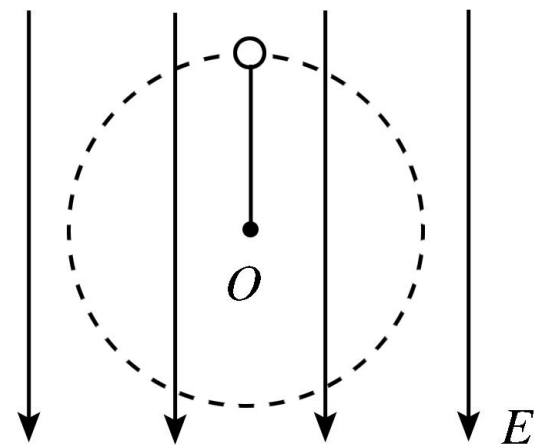


3. 举例



►考向1 电场线竖直时的等效重力法

例^③ (多选)如图所示,长为 L 的细线拴一个带电荷量为 $+q$ 、质量为 m 的小球,重力加速度为 g ,球处在竖直向下的匀强电场中,电场强度为 E ,小球恰好能够在竖直平面内做圆周运动,则(**CD**)

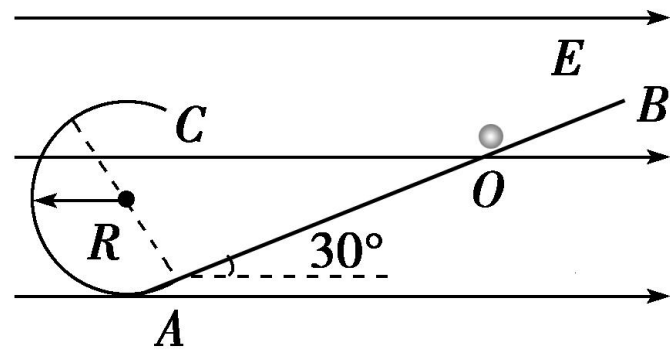


- A. 小球在最高点的速度大小为 \sqrt{gL}
- B. 当小球运动到最高点时电势能最小
- C. 小球运动到最低点时,机械能最大
- D. 小球运动到最低点时,动能为 $\frac{5}{2}(mg + qE)L$

【解析】 小球恰好能够在竖直平面内做圆周运动，则在最高点由其所受重力和静电力的合力提供向心力，则有 $mg + Eq = m\frac{v^2}{L}$ ，解得 $v = \sqrt{\frac{(mg + Eq)}{m}L}$ ，故 A 错误；小球向上运动时，静电力做负功，电势能增加，当小球运动到最高点时电势能最大，故 B 错误；小球向下运动时，静电力做正功，机械能增大，运动到最低点时，小球的机械能最大，故 C 正确；小球从最高点到最低点的过程中，根据动能定理得 $E_k - \frac{1}{2}mv^2 = (mg + Eq) \cdot 2L$ ，解得 $E_k = \frac{5}{2}(mg + Eq)L$ ，故 D 正确。

►考向2 电场线水平时的等效重力法

例^④ 如图所示，绝缘光滑轨道 AB 部分是倾角为 30° 的斜面， AC 部分为竖直平面上半径为 R 的圆轨道，斜面与圆轨道相切。整个装置处于场强为 E 、方向水平向右的匀强电场中。现有一个质量为 m 的带正电小球，电荷量为 $q = \frac{\sqrt{3}mg}{3E}$ ，要使小球能安全通过圆轨道，在 O 点的初速度应满足什么条件？



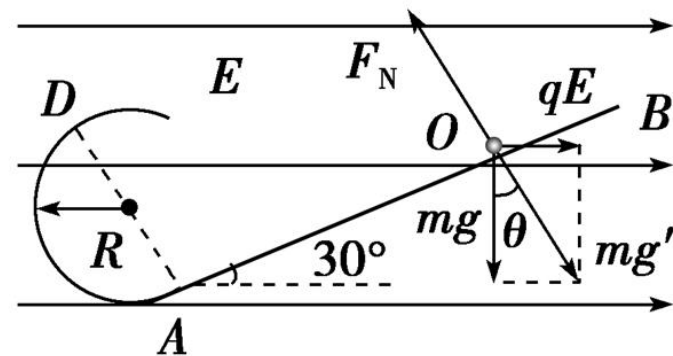
【解析】 小球先在斜面上运动，受重力、电场力、支持力，然后在圆轨道上运动，受重力、电场力、轨道的作用力，如图所示，类比重力场，将电场力与重力的合力视为等效重力 mg' ，大小为 $mg' = \sqrt{(qE)^2 + (mg)^2} = \frac{2\sqrt{3}mg}{3}$ ， $\tan \theta = \frac{qE}{mg} = \frac{\sqrt{3}}{3}$ ，得 $\theta = 30^\circ$ ，等效重力的方向与斜面垂直指向右下方，小球在斜面上匀速运动。因要使小球能安全通过圆轨道，在圆轨道的“等效最高点” (D 点) 满足“等效重力”刚好提供向心力，即有 $mg' = \frac{mv_D^2}{R}$ ，因 $\theta = 30^\circ$ 与斜面的倾角相等，由几何关系知 $\overline{AD} = 2R$ ，令小球以最小初速度 v_0 运动，由动能定理知

$$-2mg'R = \frac{1}{2}mv_D^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

解得 $v_0 = \sqrt{\frac{10\sqrt{3}gR}{3}}$ ，因此要使小球安全通

过圆轨道，初速度应满足 $v_0 \geq \sqrt{\frac{10\sqrt{3}gR}{3}}$ 。

答案] $v_0 \geq \sqrt{\frac{10\sqrt{3}gR}{3}}$



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/006025141224011012>