



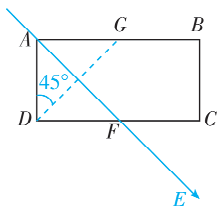
专题 1 电场

模型 1 ▶ 带电粒子(带电体)在匀强电场中的运动

考点 1 带电粒子在匀强电场中的运动

1. **AC** 【解析】依题意,电子仅在电场力作用下运动,经过椭圆时速度方向均沿 x 轴正向,则沿 x 轴方向,电子做匀速直线运动,有 $x = v_{0x}t$,沿 y 轴方向,电子做匀减速直线运动,直到速度减为 0,有 $0 - v_{0y}^2 = -2a_y y$, $y = \frac{1}{2}a_y t^2$,其中 $eE = ma_y$,设恰好经过 M 点的电子,其初速度与 x 轴的夹角为 α ,则有 $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$, $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$, $x = L$, $y = \frac{1}{2}L$,联立解得 $\sin \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}$, $E = \frac{mv_0^2}{2eL}$, **A 正确, B 错误**;由上述分析可知,当 $0 < y < \frac{1}{2}L$ 时,对应电子的初速度方向与 x 轴夹角范围为 $(0, 45^\circ)$,当 $\frac{1}{2}L < y < L$ 时,对应电子的初速度方向与 x 轴夹角范围为 $(45^\circ, 90^\circ)$,电子向第一象限各方向均匀发射时,从椭圆上 M 点上方和下方射出的电子数之比等于夹角范围之比,即 $1:1$, **C 正确, D 错误**.

2. **D** 【解析】由于电子带负电,根据 $U = \frac{W}{q}$ 可知,将电子从 C 点移动到 D 点,电场力做功为 20 eV ,则有 $U_{CD} = -20 \text{ V}$,将电子从 G 点移动到 F 点,电场力做功为 -10 eV ,则有 $U_{CF} = 10 \text{ V}$,取 F 点电势为零,则 $\varphi_C = 10 \text{ V}$,由于 F 为 CD 边中点,则有 $\varphi_F = \frac{\varphi_C + \varphi_D}{2}$,可得 $\varphi_C = -10 \text{ V}$, $\varphi_D = 10 \text{ V}$,则 DG 连线为等势线,根据等势线与电场线垂直及沿电场线方向电势逐渐降低,可知电场线沿 AF 方向,如图所示,可知沿 AF 连线方向电势降低最快,长方形 $ABCD$ 的四个顶点中, A 点的电势最高,故 **A、C 错误**;匀强电场的电场强度大小为 $E = \frac{U_{DF}}{DF \cos 45^\circ} = \frac{5\sqrt{2}}{2} \text{ V/cm}$,故 **B 错误**;从 D 点沿 DC 方向发射动能为 4 eV 的电子,则该电子在电场中做类斜抛运动,当电子沿电场线方向的分速度为零时,电子的动能最小,此时电子的速度大小为 $v_{\min} = v \cos 45^\circ$,由于发射时动能为 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 4 \text{ eV}$,则以后的运动过程中该电子的最小动能为 $E_{k\min} = \frac{1}{2}mv_{\min}^2 = 2 \text{ eV}$,故 **D 正确**.



3. AC

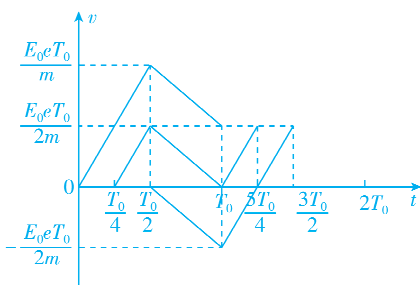
试题解构

- a. 受力分析: 电子在加速电场和偏转电场中只受电场力,射出电场后不受力的作用.



b. 运动分析: 在加速电场中电子做匀加速直线运动; 而在偏转电场中水平方向做匀速直线运动, 竖直方向上随着电场的周期性变化做分段的匀变速直线运动, 以 0 时刻进入偏转电场的电子为例, 前半个周期以加速度大小 $2a$ (前半个周期和后半个周期内电场强度的大小为 2 倍关系, 则加速度大小也为 2 倍关系) 做匀加速直线运动, 后半个周期以加速度大小 a 做匀减速直线运动. 此题的难点就在于电场强度的大小发生了改变, 不同时刻进入偏转电场的电子, 竖直方向的运动是不同的, 可以借助 $v-t$ 图像来分析电子的运动.

c. 临界分析: 通过不同时刻进入偏转电场的电子运动过程分析, 根据 $eE=ma$ 可计算电子在各个时刻沿竖直方向的加速度, 利用 $v-t$ 图像分析, 如图所示, 容易得到 0 时刻进入偏转电场的电子竖直方向上的位移偏移量最大, 而 $\frac{T_0}{2}$ 时刻进入偏转电场的电子向相反的竖直方向的位移偏移量最大, 但小于 0 时刻进入偏转电场的电子在竖直方向上的位移偏移量.



注意: 此类题可以先画出 $v-t$ 图像来分析不同时刻进入偏转电场的电子在竖直方向上的速度和位移, 此种方法往往更直观更简捷.

【解析】 电子经过金属板 A 、 B 之间的偏转电场用时为 T_0 , 由于水平方向为匀速直线运动, 电子水平方向的速度大小为 $v_0 = \frac{L}{T_0}$, 在加速电场中由动能定理有 $U_1 e = \frac{1}{2} m v_0^2$, 可解得

$U_1 = \frac{m L^2}{2 e T_0^2}$, **A 正确**; 在 $t = n T_0$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) 时刻进入偏转电

场的电子竖直方向上的偏移量最大, 最大为 $y_m = \frac{1}{2} \times \frac{2 E_0 e}{m} \times$

$\left(\frac{T_0}{2}\right)^2 + \left(\frac{2 E_0 e}{m} \times \frac{T_0}{2}\right) \frac{T_0}{2} - \frac{1}{2} \times \frac{E_0 e}{m} \times \left(\frac{T_0}{2}\right)^2 = \frac{5 E_0 e T_0^2}{8 m}$, 所以两金

属板之间的最小距离为 $d = 2 y_m = \frac{5 E_0 e T_0^2}{4 m}$, **B 错误**; 电子在金属

板之间运动的时间均为 T_0 , 所以电子离开偏转电场时竖直方向的速度大小均相同 (关键: 可由 $v-t$ 图像直接得到), 为 $v_y =$

$\frac{2 E_0 e}{m} \times \frac{T_0}{2} - \frac{E_0 e}{m} \times \frac{T_0}{2} = \frac{E_0 e T_0}{2 m}$, 所以打在荧光屏上的电子动能均

为 $E_k = \frac{1}{2} m (v_0^2 + v_y^2) = \frac{m L^2}{2 T_0^2} + \frac{E_0^2 e^2 T_0^2}{8 m}$, **C 正确**; 由于电子离开偏

转电场时竖直方向的速度均相同, 所以电子离开偏转电场后速度方向均平行, 在 $0 \sim T_0$ 时刻进入偏转电场的电子中, 在

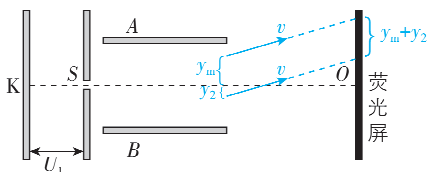
$\frac{T_0}{2}$ 时刻进入偏转电场的电子向竖直方向另一侧的偏移量最

大,离开偏转电场时竖直方向位移的偏移量为 $y_2 = \frac{1}{2} \times \frac{E_0 e}{m} \times$

$$\left(\frac{T_0}{2}\right)^2 + \left(\frac{E_0 e}{m} \times \frac{T_0}{2}\right) \frac{T_0}{2} - \frac{1}{2} \times \frac{2E_0 e}{m} \times \left(\frac{T_0}{2}\right)^2 = \frac{E_0 e T_0^2}{8m}, \text{与 } t=0 \text{ 时刻}$$

进入偏转电场的电子偏移量方向相反,电子射出电场后,由几何关系易得,荧光屏上有电子击中的区域长度为 $Y = y_m +$

$$y_2 = \frac{3E_0 e T_0^2}{4m} \text{ (注意:以 } E \text{ 向下为正为例,如图所示,电子出电场的速度大小和方向均相同,所有电子出电场后均平行打到荧光屏上,而不是发散打到荧光屏上), D 错误.}$$



4. (1) $\sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$ (2) $\frac{U_0}{4}$ (3) $\frac{2U_0}{9}$

试题解构

- 审读题干:电子进入电场的方向与极板的夹角为 30° ,并不是垂直射入电场;电子不计重力,则电子在电场中只受电场力作用.
- 运动分析:电子在电场中做类斜抛运动,在垂直电场方向做匀速直线运动,沿电场方向做匀变速直线运动.
- 临界分析:第二问中,金属板足够长,则电子不打到上极板的临界条件是竖直方向上的分速度为 0 时,电子恰好运动到上极板;而第三问给定了金属板的长度,则电子不打到上极板的临界条件是电子恰好能从上极板的右边缘射出,此时对应的电压最小,射出时竖直向上的速度并不是 0,这是这一问的难点.

【解析】(1) 由动能定理有 $eU_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$, 1 分

解得 $v_0 = \sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$ 1 分

(2) 要使电子刚好不打到上极板,则刚要到上极板时与极板垂直方向的分速度为 0,只有水平分速度 $v_x = v_0 \cos 30^\circ$,
..... 1 分

由动能定理得 $-eU_1 = \frac{1}{2}mv_x^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 1 分

联立解得 $U_1 = \frac{U_0}{4}$ 1 分

(3) 要使电子刚好不打到上极板,则电子恰好从上极板边缘飞出,电子在水平方向做匀速直线运动,可得在板间运动的时间 $t = \frac{L}{v_x}$, 1 分

设电子射出电场时竖直方向的速度大小为 v_{y2} ,则垂直于极板方向有 $d = \frac{v_y + v_{y2}}{2}t$, 1 分

其中 $v_y = v_0 \sin 30^\circ$,由动能定理得 $-eU_2 = \frac{1}{2}m(v_x^2 + v_{y2}^2) - \frac{1}{2}mv_0^2$,



1 分

联立解得 $U_2 = \frac{2U_0}{9}$. 2 分

考点 2 带电体在匀强电场中的运动

5. **C** 【解析】根据题意可知物块在 A 、 B 、 C 三点时弹簧的弹性势能相等(关键:通过题图与题意分析物块在 A 、 B 、 C 三点弹簧的形变量相同,弹性势能相等),从 A 点到 B 点的过程,电场力做正功,重力不做功,根据动能定理可知 $E_{kB} - E_{kA} = qE \sqrt{(3r)^2 - r^2} = 2\sqrt{2}mgr$,从 B 点到 C 点的过程,电场力不做功,重力做负功,根据动能定理可知 $E_{kC} - E_{kB} = -2mgr$,则 $E_{kC} - E_{kA} = (2\sqrt{2} - 2)mgr$,所以有 $E_{kA} < E_{kC} < E_{kB}$, **C** 正确.

6. **B** 【解析】根据机械能随角度变化的图像可知,当小球转过角度为 270° 时,小球的机械能最小,电场力做的负功最多,说明电场力的方向水平向左,小球带正电,则电场强度的方向水平向左,根据动能随角度变化的图像可知,当小球转过角度为 225° 时,小球的动能为零,说明此时小球位于等效最高点,有 $qE \cos 45^\circ = mg \cos 45^\circ$,解得 $E = \frac{mg}{q}$,故 **A** 错误;对小球从 B 点到等效最高点的过程,在竖直方向移动的距离为 $R(1 + \sin 45^\circ)$,沿水平方向移动的距离为 $R \cos 45^\circ$,根据动能定理有 $-mgR(1 + \sin 45^\circ) - qER \cos 45^\circ = 0 - E_{k0}$,解得 $E_{k0} = (1 + \sqrt{2})mgR$,故 **B** 正确;当小球转过角度为 90° 时,电场力做的正功最多,机械能最大,根据功能关系有 $qER + E_{k0} = E_m$,解得 $E_m = (2 + \sqrt{2})mgR$,故 **C** 错误;从 B 点到 A 点的过程中,根据动能定理有 $-2mgR = E_{kA} - E_{k0}$,解得 $E_{kA} = (\sqrt{2} - 1)mgR$,在 A 点,竖直方向上根据合力提供向心力有 $mg - F_N = \frac{2E_{kA}}{R}$,解得 $F_N = (3 - 2\sqrt{2})mg$,由牛顿第三定律得小球对管壁的作用力大小为 $(3 - 2\sqrt{2})mg$,故 **D** 错误.

7. **BCD**

试题解构

- 受力分析:带电小球受到恒定的电场力和重力作用,但是电场力的方向不确定.
- 运动分析:将带电小球在电场中的运动分解为水平和竖直两个方向上的匀变速直线运动来处理(已知重力方向竖直向下,则首选能分解到竖直方向上的方案).
- 功能分析:带电小球由 a 点运动到 b 点的过程中,初、末动能相等,重力做正功,则电场力做负功,且两力做功的代数和为零.

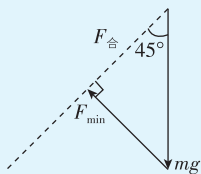
【解析】设水平向右为 x 轴正方向、竖直向下为 y 轴正方向,将运动沿 x 、 y 轴分解,由 $a \rightarrow b$ 过程,初速度有 $v_{ax} = v_0$, $v_{ay} = 0$,末速度有 $v_{bx} = 0$, $v_{by} = v_0$,设运动时间为 t_0 ,由匀变速直线运动速度与时间的关系,可得加速度大小分别为 $a_x = \frac{v_{ax} - v_{bx}}{t_0} = \frac{v_0}{t_0}$, $a_y = \frac{v_{by} - v_{ay}}{t_0} = \frac{v_0}{t_0}$,则 $a_x = a_y = a_1$,小球在水平方向仅



受电场力水平分量作用,由牛顿第二定律得 $F_x = ma_1$, 竖直方向受重力和电场力竖直分量作用,由牛顿第二定律得 $mg + F_y = ma_1$, 整理得 $F_y = ma_1 - mg$, 由矢量合成法则,得电场力大小 $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(ma_1)^2 + (ma_1 - mg)^2} = m\sqrt{2a_1^2 - 2ga_1 + g^2}$, 由数学知识可得 F 的最小值为 $\frac{\sqrt{2}}{2}mg$, **A 错误**; $a \rightarrow b$ 过程初、末动能相等,有 $\Delta E_k = 0$, 由动能定理得 $W_G + W_{\text{电}} = \Delta E_k = 0$, $W_G > 0$, 因此 $W_{\text{电}} = -W_G < 0$, 电场力做负功,小球的电势能一定增大, **B 正确**; 从 a 点到 b 点,根据矢量合成可知,动量变化量大小 $\Delta p = m\sqrt{v_0^2 + v_0^2} = \sqrt{2}mv_0$, 由动量定理,合外力冲量大小为 $I = \Delta p = \sqrt{2}mv_0$, **C 正确**; 由上述分析可知,小球从 a 点到 c 点过程中,水平方向上先匀减速到 0,再反向匀加速,竖直方向做初速度为 0 的匀加速直线运动,由于 a 、 c 两点在同一条竖直线上,则 $a \rightarrow b$ 与 $b \rightarrow c$ 的水平位移大小相等,即 $a \rightarrow b$ 与 $b \rightarrow c$ 的运动时间相同,根据初速度为零的匀加速运动的推论,可得在前两段连续相等时间内的位移比为 1 : 3,所以 a 点到 b 点的竖直距离与 b 点到 c 点的竖直距离之比一定是 1 : 3, **D 正确**.

另解

利用数形结合方法分析 A 选项: 由于 $a_x = a_y = a_1$, 可得小球受到合力的方向与竖直方向夹角为 45° , 如图所示, 可得电场力的最小值为 $\frac{\sqrt{2}}{2}mg$, **A 错误**.



利用能量守恒分析 B 选项: 小球从 a 点到 b 点动能不变, 而重力势能减小了, 由能量守恒定律可知, 减少的重力势能一定转化为了电势能, 所以小球的电势能一定增加, **B 正确**.

8. (1) $v_0 \leq 2\sqrt{gR}$ (2) $\sqrt{10gR}$ (3) 120° (或 $\frac{2}{3}\pi$ 弧度)

试题解构

- 受力分析: 带电小球受到恒定的电场力和重力作用, 方向均竖直向下, 在轨道上运动时受到与轨道垂直的支持力.
- 运动分析: 小球沿着圆轨道做圆周运动.
- 临界分析: 小球恰好做完整的圆周运动时, 在最高点与轨道没有相互作用的弹力, 由重力和电场力的合力提供向心力; 当小球离开轨道时, 与轨道没有相互作用的弹力, 由重力和电场力的合力沿半径指向圆心的分力提供向心力.
- 功能分析: 小球在运动的过程中, 只有重力和电场力做功.

【解析】 (1) 小球恰好能到达与圆心等高的 B 点时, 速度大小为 0, 从 A 到 B 上升高度为 R , 由动能定理有

$$-(mg + qE)R = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2, \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

解得 $v_0 = 2\sqrt{gR}$, 所以要使其高度始终不超过与圆心等高的 B 点, 则速度大小应满足 $v_0 \leq 2\sqrt{gR}$. $\dots\dots\dots 1 \text{ 分}$

(2) 若小球恰好能做完整的圆周运动, 则在最高点 C , 轨道对

小球的弹力为 0, 重力与电场力的合力提供向心力, 有

$$mg + qE = \frac{mv_c^2}{R}, \quad \dots\dots\dots 1 \text{ 分}$$

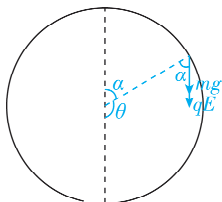
从 A 到 C 上升高度为 $2R$, 由动能定理有

$$-(mg + qE) \cdot 2R = \frac{1}{2}mv_c^2 - \frac{1}{2}mv_0^2, \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

$$\text{联立解得 } v_0 = \sqrt{10gR}. \quad \dots\dots\dots 1 \text{ 分}$$

(3) 设小球从 A 点开始转过 θ 时, 与轨道间的弹力 $N=0$, 脱离圆轨道, $\dots\dots\dots 1 \text{ 分}$

如图所示, 由几何关系可知 $\cos \alpha = -\cos \theta$,



此时重力和电场力的合力沿半径指向圆心的分力提供向心力, 有

$$-2mg \cos \theta = \frac{mv^2}{R}, \quad \dots\dots\dots 1 \text{ 分}$$

从 A 点到该位置, 小球上升高度 $h = R(1 + \cos \alpha) = R(1 - \cos \theta)$, $\dots\dots\dots 1 \text{ 分}$

$$\text{由动能定理有 } -(mg + qE) \cdot R(1 - \cos \theta) = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2, \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

$$\text{联立解得 } \cos \theta = -\frac{1}{2}, \text{ 得 } \theta = 120^\circ = \frac{2\pi}{3},$$

即转过 120° (或 $\frac{2}{3}\pi$ 弧度) 时开始不做圆周运动. $\dots\dots\dots 1 \text{ 分}$

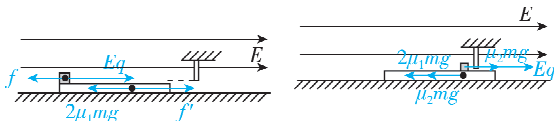
9. (1) 1 m/s^2 4 m/s^2 (2) 0.4 m/s (3) 0.69 m/s

试题解构

a. 审读题干: 由题干可知带电小铁块在匀强电场中由静止释放, 小铁块带动木板运动.

b. 运动分析: 通过“假设法”判断小铁块和木板的相对运动情况: 先假设二者一起运动, 分别计算二者一起运动的加速度 $a_{\text{共}}$ 和木板能获得的最大加速度 a_2 . 若 $a_{\text{共}} \leq a_2$, 则二者能一起运动; 若 $a_{\text{共}} > a_2$, 则二者发生相对运动.

c. 受力分析 (只分析水平方向上的受力):



甲 碰到挡板前

乙 碰到挡板后

d. 临界分析: 挡板存在时, 木板第一次向右运动到最远处时速度为零; 去掉挡板后, 小铁块离开木板时二者的位移关系为 $x_{\text{块}} - x_{\text{板}} = L$.

【解析】(1) 设小铁块加速度为 a_1 , 木板加速度为 a_2 , 小铁块与挡板碰撞前, 对小铁块和木板分别受力分析如图甲所示, 假设小铁块与木板一起运动, 有 $qE - 2\mu_1 mg = 2ma_{\text{共}}$, $a_{\text{共}} = 2.5 \text{ m/s}^2$, 当二者之间的摩擦力为最大静摩擦力时, 木板可获得的加速度最大,



对木板,由牛顿第二定律有 $\mu_2 mg - \mu_1 \cdot 2mg = ma_2$, 1 分

解得 $a_2 = \mu_2 g - 2\mu_1 g = 1 \text{ m/s}^2$, 1 分

$a_{\text{共}} > a_2$, 所以小铁块与木板发生相对运动,

对小铁块,由牛顿第二定律有 $qE - \mu_2 mg = ma_1$, 1 分

解得 $a_1 = \frac{qE}{m} - \mu_2 g = 4 \text{ m/s}^2$ 1 分

(2) 设小铁块经过 t_0 时间与挡板相碰, 则有 $L + d = \frac{1}{2} a_1 t_0^2$,

解得 $t_0 = \sqrt{\frac{2(L+d)}{a_1}} = 0.2 \text{ s}$, 1 分

此时小铁块的速度大小为 $v_1 = a_1 t_0 = 0.8 \text{ m/s}$, 1 分

木板的速度大小为 $v_2 = a_2 t_0 = 0.2 \text{ m/s}$, 1 分

小铁块与挡板碰后原速率返回, 此时对小铁块和木板分别受力分析如图乙所示, 对小铁块, 有 $qE + \mu_2 mg = ma'_1$, 1 分

解得 $a'_1 = \frac{qE}{m} + \mu_2 g = 10 \text{ m/s}^2$, 1 分

对木板, 有 $\mu_2 mg + \mu_1 \cdot 2mg = ma'_2$, 1 分

解得 $a'_2 = \mu_2 g + 2\mu_1 g = 5 \text{ m/s}^2$, 此时小铁块向左做匀减速直线运动, 木板向右做匀减速直线运动, 当木板向右的速度减为零时, 木板向右运动到最远处, 设木板速度减为零时所用时间为 t , 则有 $v_2 = a'_2 t$, 1 分

解得 $t = \frac{v_2}{a'_2} = 0.04 \text{ s}$, 1 分

此时, 小铁块的速度大小为 $v'_1 = v_1 - a'_1 t = 0.4 \text{ m/s}$ 1 分

(3) 去掉挡板后, 设小铁块和木板的加速度大小分别为 a_3 、 a_4 , 由

(1) 可知, 若二者可以分离, 则 $a_3 > 1 \text{ m/s}^2$, $a_4 = a_2 = 1 \text{ m/s}^2$, 从开始

运动到二者分离时有 $\frac{1}{2} a_3 t_1^2 - \frac{1}{2} a_2 t_1^2 = L$, 2 分

解得 $t_1 = \sqrt{\frac{2L}{a_3 - a_2}}$, 1 分

故此时小铁块的速度大小为 $v = a_3 t_1 = a_3 \sqrt{\frac{2L}{a_3 - a_2}} =$

$a_3 \sqrt{\frac{2 \times 0.06}{a_3 - 1}} \text{ (m/s)}$, 2 分

令 $x = a_3$, $y = v^2 = \frac{0.12x^2}{x-1} (x > 1)$, 求导可知 $x = 2 (x = 0 \text{ 舍去})$ 时 y

有极值,

代入原式可得小铁块离开木板时的最小速度

$v_{\min} = 2 \sqrt{2L} \approx 0.69 \text{ m/s}$ 2 分

模型 2 ▶ 带电粒子 (带电体) 在非匀强电场中的运动

10. (1) $\sqrt{\frac{qE_0 r_1}{m}}$ (2) $\frac{qE_0 r_1 - mv_0^2}{8q}$ (3) $\frac{\pi(r_1 + r_2)}{2r_1} \sqrt{\frac{m(r_1 + r_2)}{2qE_0}}$

粒子从 PQ 范围内射出时, 速度方向均垂直于 PQ



试题解构

a. 受力分析:带电粒子在圆筒内不受力的作用,在圆筒间受到与运动方向同向的电场力作用,在圆轨道上受到沿半径指向圆心的电场力作用.

b. 运动分析:带电粒子在圆筒内做匀速直线运动,在圆筒间做加速直线运动,在静电分析器内根据不同条件,可以做匀速圆周运动,也可以做椭圆运动.

c. 类比分析:如果带电粒子在径向电场中做椭圆运动,此时粒子的受力性质与天体运动的万有引力类同,力的大小都是与距离的平方成反比,所以运动性质也类同,可知粒子的椭圆运动也满足天体运动中的开普勒定律.

【解析】(1) 粒子在径向电场中做匀速圆周运动时,

根据牛顿第二定律可得 $qE_0 = m \frac{v^2}{r_1}$, 1 分

解得 $v = \sqrt{\frac{qE_0 r_1}{m}}$ 1 分

(2) 粒子进入圆筒 A 后,在两圆筒之间被电场加速 4 次,

根据动能定理有 $4qU = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 2 分

解得 $U = \frac{qE_0 r_1 - mv_0^2}{8q}$ 1 分

(3) 若粒子沿半径为 r_1 的圆轨道运动,则粒子在静电分析

器电场中运动的周期为 $T_1 = \frac{2\pi r_1}{v} = 2\pi \sqrt{\frac{mr_1}{qE_0}}$, 1 分

设恰能从 Q 点射出的粒子在径向电场中运动的周期为 T_2 ,在此过程中电场力始终指向 O 点,粒子做的是椭圆运

动,利用开普勒第三定律可得 $\frac{r_1^3}{T_1^2} = \frac{\left(\frac{r_1+r_2}{2}\right)^3}{T_2^2}$, 2 分

解得 $T_2 = \frac{\pi(r_1+r_2)}{r_1} \sqrt{\frac{m(r_1+r_2)}{2qE_0}}$, 1 分

粒子从 N 点运动到 Q 点的轨迹为椭圆的一半,

所用时间 $t = \frac{T_2}{2} = \frac{\pi(r_1+r_2)}{2r_1} \sqrt{\frac{m(r_1+r_2)}{2qE_0}}$, 1 分

粒子从 PQ 范围内射出时,与恰能从 Q 点射出的粒子类似,轨迹均为椭圆的一半,所以粒子从 PQ 范围内射出时,速度方向均垂直于 PQ. 2 分

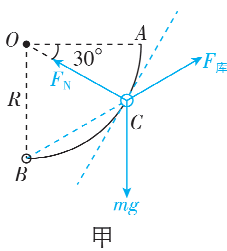
11. (1) $\frac{1}{2}mv_m^2 - \frac{1}{2}mgR$ (2) $mg + m \frac{v_m^2}{R}$ (3) $\left(1 - \frac{\sqrt{2}}{4}\right)g$, 方向

竖直向下



试题解构

a. 受力分析:

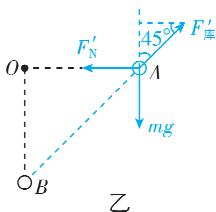


小球运动到C点时速度最大,说明沿轨道切线方向所受合力为零

$$F_{\text{库}} \cos 30^\circ = mg \cos 30^\circ$$

$$F_N - F_{\text{库}} \sin 30^\circ - mg \sin 30^\circ = m \frac{v_m^2}{R}$$

甲



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{竖直方向 } mg - F'_{\text{库}} \sin 45^\circ = ma_1 \\ \text{水平方向 } F'_{\text{库}} \cos 45^\circ - F'_N = 0 \end{array} \right.$$

$$a_A = a_1$$

乙

b. 运动分析: 小球沿环形轨道做变速圆周运动.

c. 功能分析: $A \rightarrow C$, 重力做功与电场力做功之和等于动能变化.**【解析】** (1) 设小球从A点运动到C点的过程中, 电场力做功为W, 由动能定理可得 $mgR \sin 30^\circ + W = \frac{1}{2}mv_m^2 - 0$, 1分解得 $W = \frac{1}{2}mv_m^2 - \frac{1}{2}mgR$ 1分(2) 小球运动到C点时速度最大, 即此时沿速度方向(C点切线方向)合力为零, 设此时的库仑力大小为 $F_{\text{库}}$, 受力分析如图甲所示,则沿C点切线方向有 $mg \cos 30^\circ - F_{\text{库}} \cos 30^\circ = 0$, 2分沿法线方向有 $F_N - mg \sin 30^\circ - F_{\text{库}} \sin 30^\circ = m \frac{v_m^2}{R}$,解得 $F_{\text{库}} = mg$, 2分 $F_N = mg + m \frac{v_m^2}{R}$, 1分

由牛顿第三定律可知, 小球通过C点时对轨道的压力大小为

 $F_{N1} = F_N = mg + m \frac{v_m^2}{R}$ 1分(3) 由几何关系可知 $x_{BC} = R$, $x_{BA} = \sqrt{2}R$, 1分设小球在A点时所受库仑力大小为 $F'_{\text{库}}$, 受力分析如图乙所示,由库仑定律可知 $F'_{\text{库}} = \frac{1}{2}F_{\text{库}}$, 1分即 $F'_{\text{库}} = \frac{1}{2}mg$, 1分小球在A点时速度为零, 因此向心加速度为零, 即 $a_n = 0$,沿A点切线方向有 $mg - F'_{\text{库}} \sin 45^\circ = ma_1$, 2分又因为小球在A点的加速度大小 $a_A = \sqrt{a_n^2 + a_1^2}$, 1分解得 $a_A = \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{4}\right)g$, 方向竖直向下. 1分