

# 专题 09 带电粒子在叠加场中的运动

NO.1

压轴题解读

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 命题预测 | <p>在 2025 年高考中，带电粒子在叠加场中的运动在高考物理中占据重要地位，是检验学生综合运用电场、磁场等物理知识解决复杂问题的能力的重要考点。在命题方式上，这类题目通常以综合性强的计算题形式出现，可能涉及电场、磁场、重力场等多个叠加场的组合，要求考生分析带电粒子在这些叠加场中的受力情况、运动轨迹、速度变化等，并运用相应的物理公式和定理进行计算和推理。</p> <p>复习备考时，考生应首先深入理解叠加场的基本原理和带电粒子在其中的运动规律，掌握电场力、洛伦兹力、重力等力的计算方法和叠加原理。同时，考生需要熟悉相关的物理公式和定理，并能够灵活运用它们解决具体问题。此外，考生还应注重实践练习，通过大量做题来提高自己的解题能力和速度。</p> |
| 高频考法 | <div>1.带电粒子在叠加场中做直线运动</div> <div>2.带电粒子在叠加场中做匀速圆周运动</div> <div>3.带电粒子在叠加场中的变速圆周运动</div> <div>4.带电粒子在叠加场中做旋进运动</div> <div>5.带电粒子在叠加场中的一般曲线运动</div> <div>6.带电粒子在叠加场中含动量问题</div>                                                                                                                                                        |

NO.2

压轴题密押



### 考向一：带电粒子在叠加场中的直线运动

1. 带电粒子在电场和磁场的叠加场中做直线运动，电场力和洛伦兹力一定相互平衡，因此可利用二力平衡解题。
2. 带电粒子在电场、磁场、重力场的叠加场中做直线运动，则粒子一定处于平衡状态，因此可利用平衡条件解题。

### 考向二：带电粒子在叠加场中的圆周运动

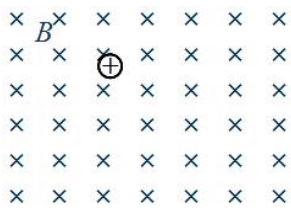
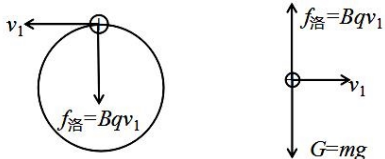
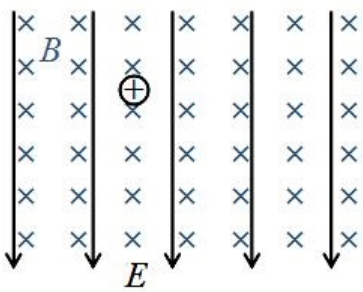
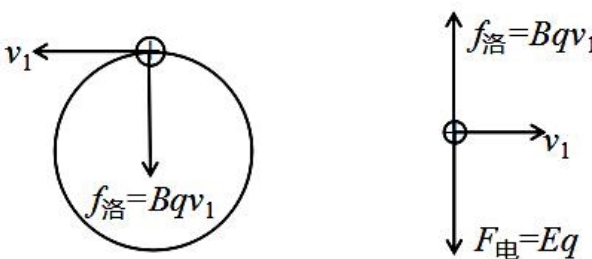
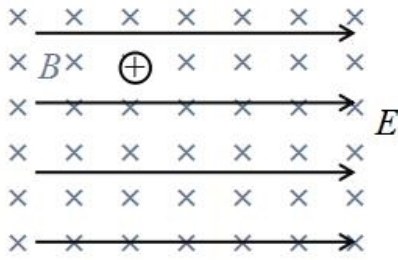
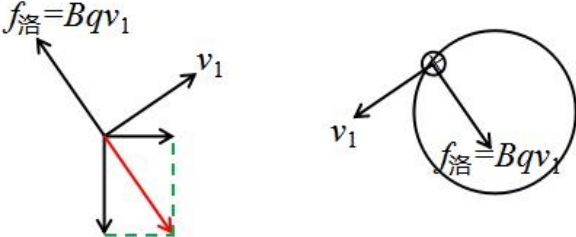
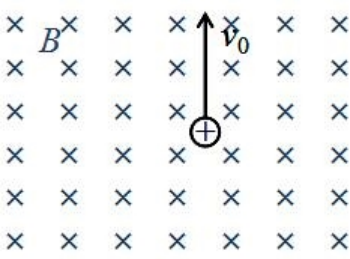
1. 带电粒子做匀速圆周运动，隐含条件是必须考虑重力，且电场力和重力平衡。

2. 洛伦兹力提供向心力和带电粒子只在磁场中做圆周运动解题方法相同。

### 考向三：配速法处理带电粒子在叠加场中的运动

1. 若带电粒子在磁场中所受合力不会零，则粒子的速度会改变，洛伦兹力也会随着变化，合力也会跟着变化，则粒子做一般曲线运动，运动比较麻烦，此时，我们可以把初速度分解成两个分速度，使其一个分速度对应的洛伦兹力与重力（或电场力，或重力和电场力的合力）平衡，另一个分速度对应的洛伦兹力使粒子做匀速圆周运动，这样一个复杂的曲线运动就可以分解成两个比较常见的运动，这种方法叫配速法。

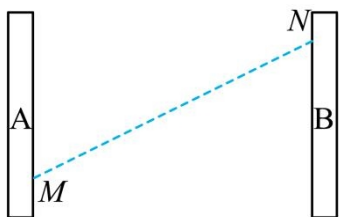
2. 几种常见情况：

| 常见情况                                                                                                   | 处理方法                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 初速度为 0，有重力<br>        | 把初速度 0，分解一个向左的速度 $v_1$ 和一个向右的速度 $v_1$<br>         |
| 初速度为 0，不计重力<br>      | 把初速度 0，分解一个向左的速度 $v_1$ 和一个向右的速度 $v_1$<br>        |
| 初速度为 0，有重力<br>      | 把初速度 0，分解一个斜向左下方的速度 $v_1$ 和一个斜向右上方的速度 $v_1$<br> |
| 初速度为 $v_0$ ，有重力<br> | 把初速度 $v_0$ ，分解速度 $v_1$ 和速度 $v_2$<br>            |



### 题型01 带电粒子在叠加场中做直线运动

1. 空间中存在磁感应强度为  $B$  的匀强磁场（未画出），两相同极板 A 与 B 竖直放置在磁场中，极板间的电压为  $U$ ，间距为  $d$ ，其中极板 A 带正电。一带电微粒由 A 板附近的  $M$  点沿直线运动到 B 板附近的  $N$  点，如图所示。下列说法正确的是（ ）



A. 微粒带负电

B. 磁场方向垂直于纸面向里

C. 微粒运动的速度大小  $v = \frac{U}{Bd}$

D. 同时减小微粒的速度大小和极板间的距离，其他条件不变，微粒仍有可能在 A、B 板间沿直线运动

【答案】B

【详解】AB. 极板 A 带正电，电场方向水平向右，粒子受到重力、电场力与洛伦兹力作用做直线运动，则粒子一定做匀速直线运动，合力为 0，若粒子带负电，粒子所受重力方向竖直向下，电场力方向一定水平向左，根据左手定则可知，当磁场垂直于纸面向里时，洛伦兹力方向垂直于  $MN$  斜向右下方，此时，合力一定不为 0，当磁场垂直于纸面向外时，洛伦兹力方向垂直于  $MN$  斜向左上方，此时，合力也一定不为 0，可知，粒子一定带正电，重力方向竖直向下，电场力方向水平向右，根据左手定则可知，当磁场垂直于纸面向里时，洛伦兹力方向垂直于  $MN$  斜向左上方，此时，合力可能为 0，当磁场垂直于纸面向外时，洛伦兹力方向垂直于  $MN$  斜向右上方，此时，合力一定不为 0，结合上述，粒子带正电，磁场垂直于纸面向里，故 A 错误，B 正确；

C. 令粒子质量为  $m$ ，结合上述，根据平衡条件有

$$qvB = \sqrt{(mg)^2 + \left(q \frac{U}{d}\right)^2}$$

解得

$$v = \frac{\sqrt{m^2 g^2 + \frac{q^2 U^2}{d^2}}}{qB}$$

故 C 错误；

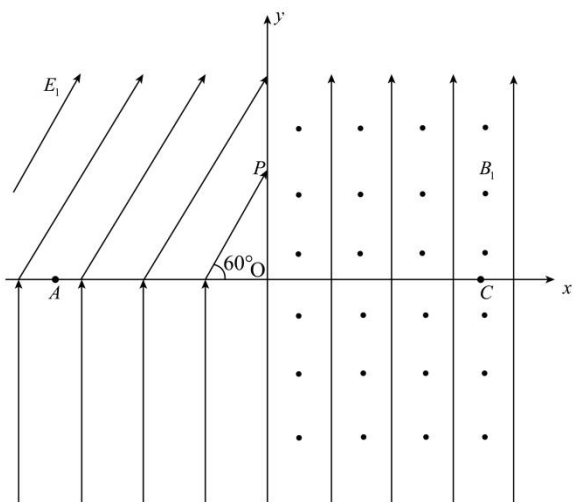
D. 结合上述可知，重力、电场力与洛伦兹力的合力为 0，重力为一个恒力，根据平衡条件可知，三个力能够构成一个直角三角形，其中重力对应的直角边一定，若同时减小微粒的速度大小和极板间的距离，即减小洛伦兹力，增大电场力，由于电场力方向不变，则这三个力不可能再构成一个闭合的直角三角形，即合力不可能为 0，微粒不可能在 A、B 板间沿直线运动，故 D 错误。

故选 B。

### ● 题型 02 带电粒子在叠加场中做匀速圆周运动

如图所示，竖直面内的平面直角坐标系  $xoy$  的第二象限内布满了一个匀强电场，方向与  $x$  轴正方向夹  $60^\circ$  角，其它三个象限布满了电场强度为  $\frac{mg}{q}$ 、方向竖直向上的匀强电场。质量为  $m$ 、电荷量为  $q$  的带正电微粒在  $x$  轴上的  $A$  点  $(-\sqrt{3}L, 0)$  由静止释放，它会在上方匀强电场的作用下开始运动，并从  $y$  轴上的  $P$  点  $(0, L)$  射入第一象限，第一象限和第四象限布满了匀强磁场，方向垂直于坐标系平面向外，之后观察到该粒子会以垂直于  $x$  轴方向的速度经过  $C$  点， $g$  为重力加速度，求：

- (1) 第二象限内匀强电场的电场强度  $E_1$  的大小；
- (2) 微粒在第一象限和第四象限中的运动过程所用的总时间  $t$ ；
- (3) 若第三象限内某处存在一个方向垂直于坐标系平面、边界分别与  $x$ 、 $y$  轴平行的矩形磁场区域，该区域的最小面积为  $S$ ，观察到微粒通过该区域可将速度方向调整至  $x$  轴垂直的方向后射出该区域，则该矩形区域的磁感应强度  $B_2$  与第一、四象限内磁场磁感应强度  $B_1$  的比值为多少。



【答案】 (1)  $\frac{\sqrt{3}mg}{q}$ ； (2)  $\frac{4\pi}{9}\sqrt{\frac{3L}{g}}$ ； (3)  $\frac{\sqrt{2S}}{S}L$  或  $\frac{\sqrt{3\sqrt{3}S}}{3S}L$

【知识点】 带电粒子在叠加场中做匀速圆周运动、带电物体（计重力）在匀强电场中的直线运动

【详解】（1）带正电微粒在第二象限做匀加速运动，位移为

$$x = \sqrt{(\sqrt{3}L)^2 + L^2} = 2L$$

位移与  $x$  轴正方向的夹角为

$$\tan \alpha = \frac{L}{\sqrt{3}L} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

解得

$$\alpha = 30^\circ$$

根据平衡条件可得

$$mg \sin 60^\circ = E_1 q \sin 30^\circ$$

解得第二象限内匀强电场的电场强度  $E_1$  的大小为

$$E_1 = \frac{\sqrt{3}mg}{q}$$

（2）带正电微粒在第二象限，根据牛顿第二定律可得

$$E_1 q \cos 30^\circ - mg \cos 60^\circ = ma$$

根据动力学公式

$$v^2 = 2ax$$

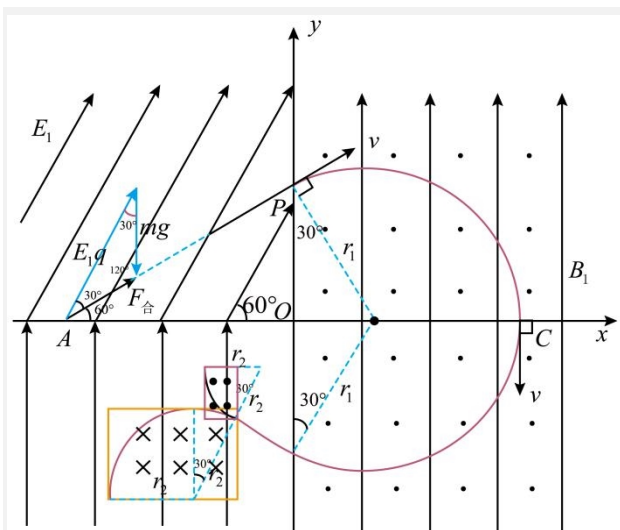
解得

$$v = 2\sqrt{gL}$$

带正电微粒在第一、四象限中，由于

$$E_2 q = mg$$

洛伦兹力提供向心力，带电微粒做圆周运动，如图所示



根据几何关系有

$$r = \frac{L}{\cos 30^\circ} = \frac{2\sqrt{3}}{3}L$$

微粒在第一象限和第四象限中的运动过程所用的总时间为

$$t = \frac{240^\circ}{360^\circ}T = \frac{2}{3} \times \frac{2\pi r}{v} = \frac{4\pi}{9} \sqrt{\frac{3L}{g}}$$

(3) 若磁感应强度  $B_2$  方向为坐标系平面垂直向外, 根据几何关系有

$$S = r_2 \cos 30^\circ \cdot r_2 (1 - \sin 30^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{4} r_2^2$$

根据洛伦兹力提供向心力

$$qvB = m \frac{v^2}{r}$$

可得

$$r = \frac{mv}{Bq}$$

该矩形区域的磁感应强度  $B_2$  与第一、四象限内磁场磁感应强度  $B_1$  的比值为

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{r}{r_2} = \frac{\sqrt{3}\sqrt{3}S}{3S}L$$

若磁感应强度  $B_2$  方向为坐标系平面垂直向里, 根据几何关系有

$$S = r_2' \cdot r_2' (1 + \sin 30^\circ) = \frac{3}{2} r_2'^2$$

该矩形区域的磁感应强度  $B_2$  与第一、四象限内磁场磁感应强度  $B_1$  的比值为

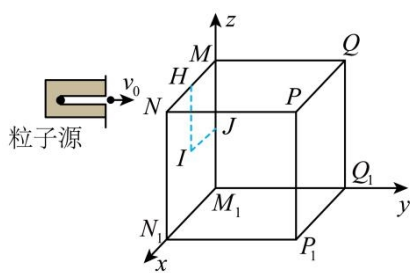
$$\frac{B'_2}{B_1} = \frac{r}{r'_2} = \frac{\sqrt{2S}}{S} L$$

### ● 题型03 带电粒子在叠加场中的变速圆周运动

利用电场与磁场控制带电粒子的运动，在现代科学实验和技术设备中有着广泛的应用。如图，一粒子源不断释放质量为  $m$ ，带电量为  $+q$  的粒子，以一定速度  $v_0$  垂直左面  $MNN_1M_1$ ，射入边长为  $2L$  的正方体区域  $MNPQ-M_1N_1P_1Q_1$ 。可调整粒子源位置，使带电粒子在边长为  $L$  的正方形  $MHIJ$  区域内入射。以  $M_1$  为原点建立如图所示直角坐标系  $M_1-xyz$ ，不计粒子重力及粒子间的相互作用。若仅在正方体区域中加上沿  $+x$  轴方向的匀强电场，要让所有粒子都到达前表面  $NPP_1N_1$ ，所加电场强度的最小值设为  $E_0$ ；若仅在正方体区域中加上沿  $+x$  轴方向的匀强磁场，要让所有粒子都到达底面  $M_1N_1P_1Q_1$ ，所加磁感应强度的最小值设为  $B_0$ 。

( $\sin 37^\circ = 0.6$ )

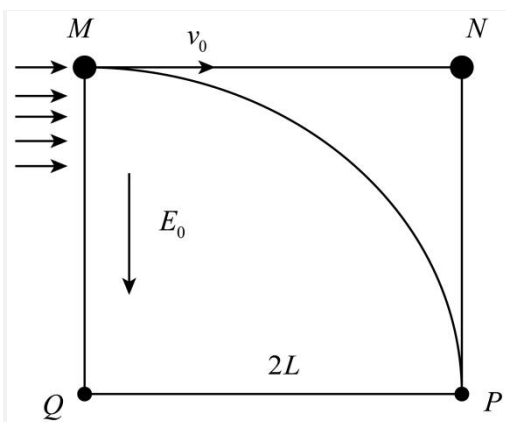
- (1) 求  $E_0$  和  $B_0$  的值。
- (2) 在正方体区域同时加上沿  $+x$  轴方向大小为  $B_0$  的匀强磁场和  $+z$  方向大小为  $\frac{7}{4}E_0$  的匀强电场，求从  $I$  点垂直左面入射的粒子离开正方体区域时的位置坐标。
- (3) 在正方体区域同时加上大小分别为  $\beta E_0$  的匀强电场及  $B_0$  的匀强磁场，方向都沿  $+x$  轴。若垂直入射到  $MHIJ$  区域内不同位置的粒子，有的从前表面  $NN_1P_1P$  离开正方体区域，有的从底面  $M_1N_1P_1Q_1$  离开正方体区域，则  $\beta$  应满足什么条件？



【答案】(1)  $B_0 = \frac{mv_0}{2qL}$ ；(2)  $(L, 1.52L, 2L)$ ；(3) 见解析

【知识点】带电粒子在叠加场中的变速圆周运动、带电粒子在匀强电场中做类抛体运动的相关计算

【详解】(1) 正方体区域内加上沿  $MN$  的匀强电场时，粒子进入正方体区域后做类平抛运动。



当射入  $M$  点的粒子恰好经过  $P$  点时，所加的匀强电场的电场强度具有最小值，则

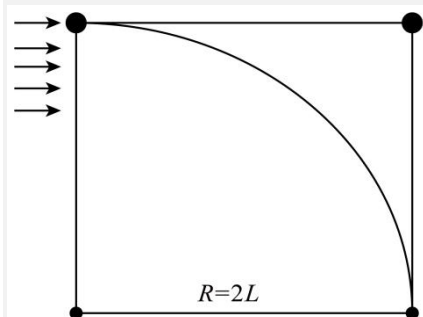
$$2L = v_0 t$$

$$2L = \frac{1}{2} \cdot \frac{qE_0}{m} \cdot t^2$$

联立知，电场强度的最小值

$$E_0 = \frac{mv_0^2}{qL}$$

当正方体区域内加上沿  $MN$  方向的匀强磁场时，粒子进入正方体区域后做匀速圆周运动。



当射入  $M$  点的粒子恰好经过  $Q$  时，磁感应强度具有最小值，此时粒子做圆周运动的半径为

$$R = 2L$$

由牛顿第二定律

$$qv_0 B_0 = m \frac{v_0^2}{R}$$

解得磁感应强度的最小值

$$B_0 = \frac{mv_0}{2qL}$$

(2) 当  $E = \frac{7}{4} E_0$  时

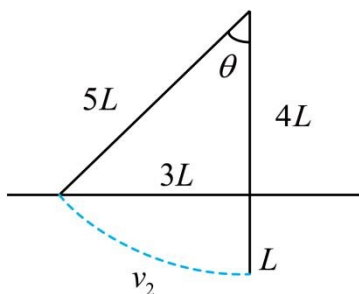
$$\frac{E}{B_0} = 3.5v_0 = v_1$$

取

$$v_2 = v_1 - v_0 = 2.5v_0$$

可见粒子以  $v$  向右匀速运动，同时以  $v$  顺时针方向在竖直面内做匀速圆周运动,其轨道半径

$$R' = \frac{mv_2}{qB_0} = 5L$$



假设从上表面离开，则

$$\sin \theta = \frac{3}{5}$$

解得

$$\theta = 37^\circ = \frac{37}{180}\pi$$

运动的时间

$$t = \frac{R'\theta}{v_2}$$

沿+y 方向运动，则

$$y = v_1 t - 3L$$

解得

$$y = 1.52L < 2L$$

可见假设成立，离开位置坐标为 $(L, 1.52L, 2L)$

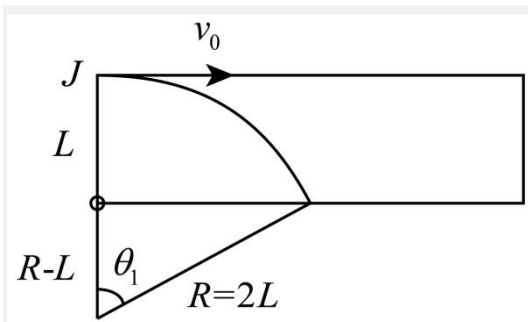
（3） $x$  轴方向获得的速度平行于磁场方向，不受洛伦兹力，粒子沿+ $x$  方向做匀加速直线运动，在垂直  $x$  轴平面做匀速圆周运动时，半径

$$R = \frac{mv_0}{qB_0} = 2L$$

加速度

$$a_x = \frac{q\beta E_0}{m} = \beta \frac{v_2^2}{L}$$

当从  $J$  点入射粒子恰好从前面离开



对应的  $\beta = \beta_1$ ，则

$$\cos \theta_1 = \frac{1}{2}$$

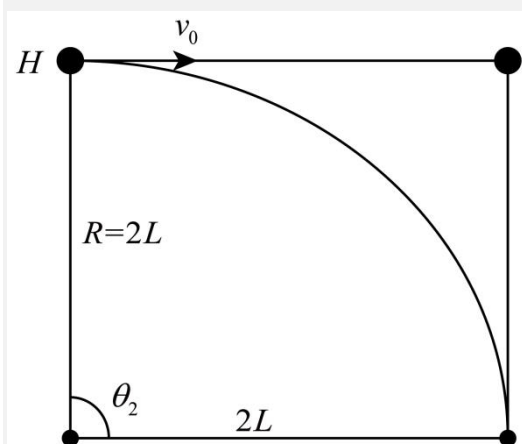
$$t_1 = \frac{\theta_1 R}{v_0}$$

$$2L = \frac{1}{2} a_x t_1^2$$

解得

$$\beta_1 = \frac{9}{\pi^2}$$

当从  $H$  点入射粒子恰好从底边离开时



$$\beta = \beta_2$$

$$\theta_2 = \frac{\pi}{2}$$

$$t_2 = \frac{\theta_2 R}{v_0}$$

$$L = \frac{1}{2} a_x t_2^2$$

解得

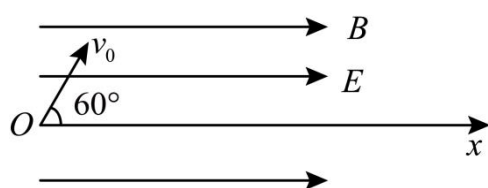
$$\beta_2 = \frac{2}{\pi^2}$$

可见当  $\beta \geq \frac{9}{\pi^2}$  时，粒子全部从前面离开；当  $\beta_2 \leq \frac{2}{\pi^2}$  时，粒子全部从底面离开；当  $\frac{2}{\pi^2} < \beta < \frac{9}{\pi^2}$  时。两个表面均匀粒子离开。

#### ● 题型04 带电粒子在叠加场中做旋进运动

4. 在空间中存在水平向右的匀强磁场和匀强电场，磁感应强度为  $B$ ，电场强度为  $E$ ， $x$  轴水平向右。在  $O$  点，一个  $\alpha$  粒子（氦原子核）以速度  $v_0$ ，与  $x$  轴夹角  $60^\circ$  的方向，射入电磁场，已知质子质量为  $m$ ，电荷量为  $q$ ，不计  $\alpha$  粒子的重力。求：

- (1)  $\alpha$  粒子离  $x$  轴的最远距离；
- (2)  $\alpha$  粒子从  $O$  点射出后，第 3 次与  $x$  轴相交时的动能。



【答案】 (1)  $\frac{2\sqrt{3}mv_0}{qB}$ ； (2)  $2mv_0^2 + \frac{12\pi mE}{B}(v_0 + \frac{6\pi E}{B})$ 。

【详解】 (1) 由题意可知  $\alpha$  粒子的质量为

$$m_\alpha = 4m$$

电荷量为

$$q_\alpha = 2q$$

将  $\alpha$  粒子的初速度分解成沿  $x$  轴方向分速度  $v_x$  与垂直  $x$  轴方向分速度  $v_y$ ，则有

$$v_x = v_0 \cos 60^\circ = \frac{1}{2}v_0$$

$$v_y = v_0 \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}v_0$$

由于  $v_x$  与磁场方向平行，不产生洛伦兹力，电场方向沿着  $x$  轴方向，只影响  $v_x$ ，不影响  $v_y$ ，故  $\alpha$  粒子在电磁场中的运动可分解为：垂直于  $x$  轴的平面内做匀速圆周运动，以及沿  $x$  轴方向的匀加速直线运动。对于垂直于  $x$  轴平面内的匀速圆周运动，有

$$q_\alpha v_y B = m_\alpha \frac{v_y^2}{r}$$

解得圆周运动半径

$$r = \frac{m_{\alpha} v_y}{q_{\alpha} B} = \frac{4mv_y}{2qB} = \frac{\sqrt{3}mv_0}{qB}$$

故  $\alpha$  粒子离  $x$  轴的最远距离为直径的长度  $\frac{2\sqrt{3}mv_0}{qB}$ ;

(2)  $\alpha$  粒子从  $O$  点射出后, 第 3 次与  $x$  轴相交时, 由垂直于  $x$  轴的平面内的匀速圆周运动, 可知, 此过程经历的时间

$$t = 3T = 3 \times \frac{2\pi m_{\alpha}}{q_{\alpha} B} = \frac{12\pi m}{qB}$$

沿  $x$  轴方向的匀加速直线运动所通过的位移

$$s = v_x t + \frac{1}{2} at^2$$

又加速度

$$a = \frac{q_{\alpha} E}{m_{\alpha}} = \frac{qE}{2m}$$

解得

$s = \frac{6\pi m}{qB} (v_0 + \frac{6\pi E}{B})$   $\alpha$  粒子从  $O$  点射出后, 第 3 次与  $x$  轴相交过程, 由动能定理

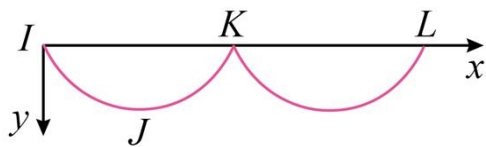
$$q_{\alpha} Es = E_k - \frac{1}{2} m_{\alpha} v_0^2$$

联立解得  $\alpha$  粒子从  $O$  点射出后, 第 3 次与  $x$  轴相交时的动能

$$E_k = 2mv_0^2 + \frac{12\pi mE}{B} (v_0 + \frac{6\pi E}{B})$$

#### ● 题型 05 带电粒子在叠加场中的一般曲线运动

5. 空间中存在竖直向下、电场强度为  $E$  的匀强电场和垂直纸面向里、磁感应强度大小为  $B$  的匀强磁场。电场、磁场均未画出。一质量为  $m$ 、电荷量为  $q$  ( $q > 0$ ) 的粒子只在电场力和洛伦兹力作用下, 从  $I$  点由静止开始运动, 以  $I$  点为原点建立平面直角坐标系, 粒子运动轨迹如图所示, 粒子在轨迹上任意一点的坐标为  $(x, y)$ 。 $J$  点是轨迹上的第一个最低点, 以粒子开始运动时为计时起点, 则下列说法正确的是 ( )



A.  $J$  点的坐标为  $(\frac{m\pi E}{qB^2}, \frac{2Em}{qB^2})$

B. 粒子在轨迹上任意点的速率为  $\sqrt{\frac{2Eqy}{m}}$

C.  $t = \frac{\pi m}{2Bq}$  时, 粒子速度与  $y$  轴正方向夹角为  $30^\circ$

D. 若电场强度的大小突然加倍, 则粒子可能做匀速直线运动

【答案】ABD

【知识点】带电粒子在叠加场中的一般曲线运动

【详解】A. 粒子在  $I$  点的速度为 0, 根据配速法, 将粒子在  $I$  点的速度配成沿  $x$  轴正方向的  $v_0$  与沿  $x$  轴负方向的  $v_0$ , 且使得  $x$  轴正方向的  $v_0$  所受洛伦兹力与电场力平衡, 即有

$$qv_0B = qE$$

粒子的运动可以看作  $x$  轴正方向的匀速直线运动与逆时针运动的匀速圆周运动两个分运动, 则有

$$qv_0B = m \frac{v_0^2}{R}$$

解得

$$R = \frac{mE}{qB^2}$$

圆周运动的周期

$$T = \frac{2\pi R}{v_0} = \frac{2\pi m}{qB}$$

当粒子运动到  $J$  点时, 根据分运动的等时性与独立性有

$$x_1 = v_0 \cdot \frac{T}{2}, \quad y_1 = 2R$$

解得

$$x_1 = \frac{m\pi E}{qB^2}, \quad y_1 = \frac{2Em}{qB^2}$$

即  $J$  点的坐标为  $\left(\frac{m\pi E}{qB^2}, \frac{2Em}{qB^2}\right)$ , 故 A 正确;

B. 粒子运动过程中, 洛伦兹力不做功, 根据动能定理有

$$qEy = \frac{1}{2}mv^2$$

解得

$$v = \sqrt{\frac{2Eqy}{m}}$$

故 B 正确;

C. 结合上述可知

$$t = \frac{\pi m}{2Bq} = \frac{T}{4}$$

此时，圆周分运动的线速度方向与匀速直线分运动的速度方向垂直，由于两分速度大小相等，可知，此时粒子合速度与  $y$  轴正方向夹角为  $45^\circ$ ，故 C 错误；

D. 结合上述可知，当粒子运动到最低点时，圆周分运动的线速度方向与匀速直线分运动的速度方向均沿  $x$  轴正方向，此时的洛伦兹力

$$F_1 = q \cdot 2v_0 B = 2qE$$

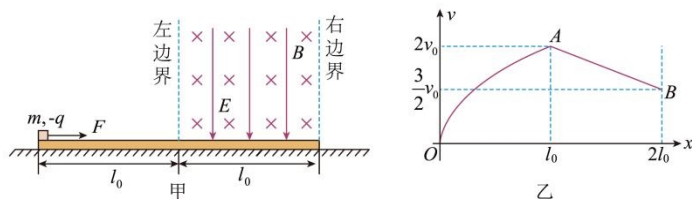
根据左手定则可知，此时洛伦兹力的分析沿  $y$  轴负方向，于电场方向相反。若此时电场强度的大小突然加倍，即电场力与洛伦兹力大小相等，方向相反，粒子所受合力为 0，则粒子随后将以  $2v_0$  的速度，沿  $x$  轴正方向做匀速直线运动，故 D 正确。

故选 ABD。

### ● 题型 06 带电粒子在叠加场中含动量问题

如图甲，一质量为  $m$  足够长的绝缘板静止在光滑水平面上，板的左端有一个质量也为  $m$  的带电小物块，其电荷量为  $-q$  ( $q > 0$ )。距绝缘板左端  $l_0$  到  $2l_0$  之间存在电场和磁场，匀强磁场方向垂直于纸面向里，匀强电场方向竖直向下。现让带电小物块在水平恒力的作用下从静止开始向右运动。小物块到达电、磁场区域的左边界时刻，撤去水平恒力，此时绝缘板的速度大小为  $v_0$ 。带电小物块从开始运动到前进  $2l_0$  的过程中，速度随位移变化的  $v-x$  图像如图乙，其中  $AB$  段为直线，重力加速度为  $g$ 。求：

- (1) 带电小物块从开始运动到电磁场左边界的时间  $t$ ；
- (2) 小物块与绝缘板的动摩擦因数  $\mu$  和水平恒力  $F$  的大小；
- (3) 从开始运动到小物块前进  $2l_0$  过程，系统克服摩擦力所做的功  $W_f$ ；
- (4) 电场强度  $E$  和磁感应强度  $B$  的大小。



【答案】 (1)  $\frac{l_0}{v_0}$ ； (2)  $\frac{v_0^2}{gl_0}$ ，  $\frac{3mv_0^2}{l_0}$ ； (3)  $\frac{3}{4}mv_0^2$ ； (4)  $\frac{mg}{q}$ ，  $\frac{mg}{2qv_0}$

【知识点】带电粒子在叠加场中含动量问题、带电粒子在叠加场中做直线运动

【详解】 (1) 带电小物块在恒力作用下做匀加速运动，根据运动学公式

$$l_0 = \frac{0 + 2v_0}{2} \cdot t$$

解得

$$t = \frac{l_0}{v_0}$$

(2) 带电小物块运动  $l_0$  过程，根据动量定理

对绝缘板

$$\mu mgt = mv_0$$

解得

$$\mu = \frac{v_0^2}{gl_0}$$

对小物块

$$(F - \mu mg)t = m \cdot 2v_0$$

解得

$$F = \frac{3mv_0^2}{l_0}$$

(3) 撤力后，系统动量守恒，设小物块前进  $2l_0$  时，绝缘板的速度大小为  $v'$ ，则有

$$m \cdot 2v_0 + mv_0 = m \cdot \frac{3}{2}v_0 + mv'$$

小物块前进  $2l_0$  过程，系统由功能关系有

$$Fl_0 - W_f = \frac{1}{2}m\left(\frac{3}{2}v_0\right)^2 + \frac{1}{2}mv'^2$$

联立解得

$$W_f = \frac{3}{4}mv_0^2$$

(4) 撤去恒力后，带电小物块在电、磁场区域时，竖直方向

$$N + qE = mg + qvB$$

水平方向，小物块所受摩擦力为

$$f = \mu N$$

根据动量定理，得

$$-\sum(f\Delta t) = mv - m \cdot 2v_0$$

化简得

$$v = 2v_0 + \mu \frac{(qE - mg)}{m} t - \mu \frac{qB}{m} x$$

依题意可知

$$\mu \frac{(qE - mg)}{m} = 0$$

解得

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

由图乙可知

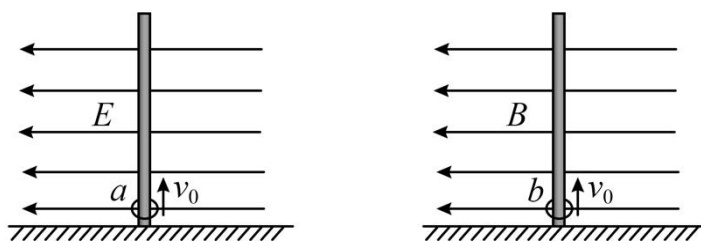
$$\mu \frac{qB}{m} = \frac{2v_0 - \frac{3}{2}v_0}{l_0}$$

解得

$$B = \frac{mg}{2qv_0}$$

### NO.3 压轴题速练

1. 如图，水平地面上竖直固定着两根相同的圆柱形粗糙绝缘杆，将两相同的带电小环  $a$  和  $b$  分别套在两杆上，其电荷量均为  $q$ 、质量均为  $m$ 。小环的直径略大于杆的直径。在套  $a$  环的杆所处空间加一水平方向、电场强度大小为  $E$  的匀强电场，在套  $b$  环的杆所处空间加一水平方向、磁感应强度大小为  $B$  的匀强磁场，在水平面高度相同的位置同时分别给  $a$ 、 $b$  一个竖直向上的大小相等的初速度  $v_0$ 。发现  $a$ 、 $b$  上升到最高点时高度相同。若带电小环  $a$ 、 $b$  与两杆的动摩擦因数均为  $\mu$ ，重力加速度大小为  $g$ ，则（ ）



- A. 带电小环  $a$  从开始到上升到最高点的时间大于带电小环  $b$  从开始到上升到最高点的时间
- B. 初速度  $v_0$  应满足  $v_0 > \frac{E}{B}$
- C. 带电小环  $a$  与  $b$  到达最高点后，均可以从最高点返回初始位置

D. 带电小环  $b$  从开始到上升到最高点的时间  $t_b$  满足  $t_b = \frac{v_0}{g} - \frac{\mu q B v_0^2}{2(mg^2 + \mu g q E)}$

【答案】BD

【详解】A. 对环  $a$  进行分析，根据牛顿第二定律可得

$$mg + \mu q E = ma_a$$

解得

$$a_a = g + \frac{\mu q E}{m}$$

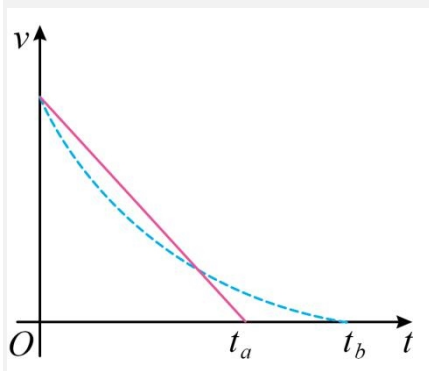
可知，环  $a$  向上做匀减速直线运动。对环  $b$  进行分析，根据牛顿第二定律可得

$$mg + \mu q v B = ma_b$$

解得

$$a_b = g + \frac{\mu q v B}{m}$$

可知，环  $b$  向上做加速度减小的减速直线运动。由于当两者速度都为零时，其位移相同，可以作出环  $a$  和环  $b$  运动的  $v \sim t$  图像分别如图中的实线和虚线所示



由于  $v \sim t$  图像中，图像与时间轴所围几何图形的面积表示位移，由题意可知，两者上升到最高点位移相同，则有

$$t_a < t_b$$

故 A 错误；

B.  $v \sim t$  图像某点切线斜率的绝对值表示加速度大小，结合上述图像可知，初始的加速度

$$a_a < a_b$$

即有

$$g + \frac{\mu q E}{m} < g + \frac{\mu q v_0 B}{m}$$

解得

$$v_0 > \frac{E}{B}$$

故 B 正确；

C. 带电小环  $a$  与  $b$  到达最高点后，当  $mg \leq \mu qE$  时，环  $a$  将静止于最高点处，环  $b$  向下做加速度减小的加速运动，若加速度能够减小到 0，之后将做匀速直线运动，环  $b$  最终回到初始位置，故 C 错误；

D. 对环  $a$  进行分析，结合上述，利用逆向思维，根据速度与位移的关系有

$$v_0^2 = 2 \left( g + \frac{\mu q E}{m} \right) h$$

对环  $b$  进行分析，根据动量定理可得

$$\Sigma (mg + \mu q v B) \Delta t = 0 - mv_0$$

即有

$$mgt_b + \mu q Bh = mv_0$$

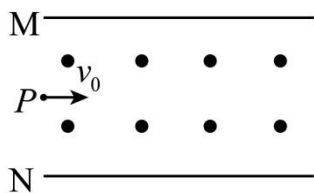
联立可得

$$t_b = \frac{v_0}{g} - \frac{\mu q B v_0^2}{2(mg^2 + \mu g q E)}$$

故 D 正确。

故选 BD。

2. 如图所示，水平固定的平行极板 M、N 间距为  $d$ ，两板间存在电场强度大小为  $E$  的匀强电场（图中未画出）和垂直纸面向外、磁感应强度大小为  $B$  的匀强磁场。一质量为  $m$ 、电荷量为  $q$  的带正电的粒子由两板间的中点  $P$  以大小为  $v_0$  的初速度水平向右射入两极板间的区域，该粒子恰好沿直线运动。仅将粒子初速度大小调整为  $2v_0$ ，发现粒子由  $Q$  点（未标出）沿水平方向射出两极板间的区域。不计粒子重力，下列说法正确的是（ ）



A. M 板带正电，N 板带负电

B. 磁感应强度大小  $B = \frac{E}{v_0}$

C.  $Q$  与  $P$  在同一水平线上

D.  $d$  的大小可能等于  $\frac{5mv_0}{Bq}$

【答案】BCD

【详解】A. 带正电的粒子恰好沿直线运动，该运动为匀速直线运动，根据左手定则可知，在  $P$  点受到竖直向下的洛伦兹力，故其受到竖直向上的电场力，可知  $N$  板带正电， $M$  板带负电，故 A 错误；

B. 结合上述，粒子受力平衡，则有

$$Bqv_0 = Eq$$

解得

$$B = \frac{E}{v_0}$$

故 B 正确；

C. 当射入速度大小为  $v_0$  时粒子做匀速直线运动，由此可知，可将  $2v_0$  分解为水平向右的  $v_0$  和  $v_1$ ，则满足

$$v_0 + v_1 = 2v_0$$

即有

$$v_1 = v_0$$

可知，粒子一个分运动为以初速度  $v_0$  向右匀速直线运动，另一个分运动为以速度  $v_1$  在竖直平面内做圆周运动，设其半径为  $r$ ，则有

$$Bqv_1 = \frac{mv_1^2}{r}$$

解得

$r = \frac{mv_0}{Bq}$   $P$  点为粒子轨迹最高点，只有当粒子运动至轨迹最高点时，其才能沿水平方向射出两极板间的区域，此时速度沿水平方向向右，可知  $Q$  点与  $P$  点在同一水平线上，故 C 正确；

D. 结合上述可知，粒子能射出两板间区域，可知

$$d \geq 4r$$

结合上述解得

$$d \geq \frac{4mv_0}{Bq}$$

故 D 正确。

故选 BCD。

3. 如图所示，倾角为  $53^\circ$  的光滑绝缘无限长的斜面处于匀强磁场中，磁感应强度大小为  $B$ ，方向垂直纸面向外。可视为质点的小球质量为  $m$ ，带电量为  $+q$ ，从斜面顶端由静止释放， $t$  时刻小球刚好离开斜面。已知重力加速度为  $g$ ， $\sin 53^\circ = \frac{4}{5}$ ，整个运动过程中小球带电量保持不变，下列说法正确的是（ ）

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/908050073141007045>