





第 11 讲 带电粒子在复合场中的运动（复习篇）

模块导航

-  **考点聚焦：** 复习要点+知识网络，有的放矢
-  **重点专攻：** 知识点和关键点梳理，查漏补缺
-  **难点强化：** 难点内容标注与讲解，能力提升
-  **提升专练：** 真题感知+提升专练，全面突破

考点聚焦

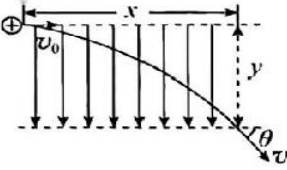
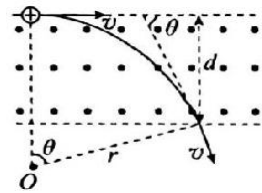


重点专攻

知识点 1：带电粒子在组合场中的运动

1. 带电粒子在电场和磁场的组合场中运动，实际上是将粒子在电场中的加速与偏转，跟磁偏转两种运动组合在一起，有效地区别电偏转和磁偏转，寻找两种运动的联系和几何关系是解题的关键，当带电粒子连续通过几个不同的场区时，粒子的受力情况和运动情况也发生相应的变化，其运动过程则由几种不同的运动阶段组成。

2. “磁偏转”和“电偏转”的比较

项目	电偏转	磁偏转
偏转条件	带电粒子以 $v \perp E$ 进入匀强电场(不计重力)	带电粒子以 $v \perp B$ 进入匀强磁场(不计重力)
受力情况	只受恒定的电场力 $F=qE$	只受大小恒定的洛伦兹力 $F=qvB$
运动情况	类平抛运动	匀速圆周运动-
运动轨迹	抛物线 	圆弧 
求解方法	利用类平抛运动的规律 $x = v_0 t$, $y = \frac{1}{2} a t^2$, $a = \frac{qE}{m}$, $\tan \theta = \frac{at}{v_0}$	牛顿第二定律、匀速圆周运动公式 $r = \frac{mv}{qB}$, $T = \frac{2\pi m}{qB}$, $t = \frac{\theta}{2\pi} T = \frac{\theta m}{qB}$

知识点 2: 带电粒子在叠加场中的应用

1. 磁场、重力场并存

- (1) 若重力和洛伦兹力平衡, 则带电体做速直线运动.
- (2) 若重力和洛伦兹力不平衡, 则带电体将做复杂的曲线运动, 因洛伦兹力不做功. 故机械能守恒. 如速度选择器、磁流体发电机。

2. 电场磁场并存 (不计重力)

- (1) 若电场力和洛伦兹力平衡, 则带电体做匀速直线运动.
- (2) 若电场力和洛伦兹力不平衡, 则带电体做复杂的曲线运动, 可用动能定理求解.

3. 电场、磁场、重力场并存

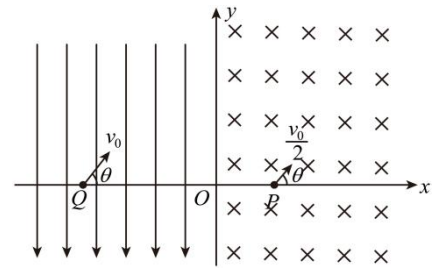
- (1) 若三力平衡, 则带电体做匀速直线运动;
- (2) 若重力与电场力平衡, $v \perp B$, 则带电体做匀速圆周运动;
- (3) 若合力不为 0, 则带电体可能做复杂的曲线运动, 可用能量守恒定律定理求解.

◆ 难点强化

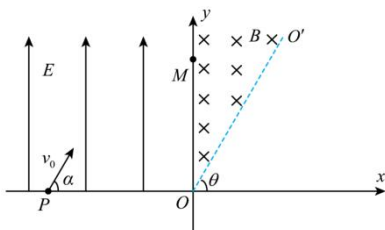
强化点一 带电粒子由磁场进入电场

【典例 1】(23-24 高二下·辽宁锦州·期末) 如图, 在 $x < 0$ 的区域存在方向沿 y 轴负方向的匀强电场, 在 $x > 0$ 的区域存在方向垂直于 xOy 平面向里的匀强磁场。一个氦核和一个氟核先后从 x 轴上 P 、 Q 两点射出, 速度大小分别为 $\frac{v_0}{2}$ 、 v_0 , 速度方向与 x 轴正方向的夹角均为 $\theta = 37^\circ$ 。一段时间后, 氦核和氟核同时沿平行 x 轴方向到达 y 轴上的 M 点 (图中未画出)。已知 Q 点坐标为 $(-d, 0)$, 不计粒子重力及粒子间的静电力作用, $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$, 求:

- (1) y 轴上 M 点的纵坐标及 x 轴上 P 点的横坐标；
 (2) 匀强电场的电场强度 E 与匀强磁场的磁感应强度 B 大小之比。



【变式 1-1】 (多选) (23-24 高二下·江西上饶·期末) 如图所示, 在 xOy 平面直角坐标系中, 虚线 OO' 与 x 轴正方向的夹角为 $\theta = 60^\circ$, 与 y 轴之间存在垂直纸面向里磁感应强度为 B 的匀强磁场, 第二象限存在沿 y 轴正方向的匀强电场。一带负电的粒子从 x 轴负半轴的 P 点以初速度 v_0 进入电场, 与 x 轴正方向的夹角为 $\alpha = 60^\circ$, 经电场偏转后从点 $M(0, L)$ 垂直 y 轴进入磁场, 粒子恰好不从 $O'O$ 边界射出磁场。不计粒子重力, 下列正确的是 ()

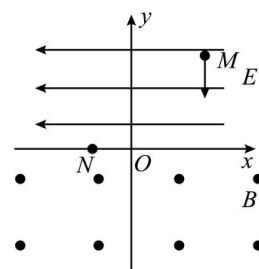


- A. P 点坐标 $\left(-\frac{2\sqrt{3}}{3}L, 0\right)$ B. 粒子在电场中运动的时间 $\frac{4\sqrt{3}L}{v_0}$
 C. 粒子的比荷为 $\frac{3v_0}{2BL}$ D. 电场强度大小为 $\frac{Bv_0}{2}$

【变式 1-2】 (23-24 高二上·山东济南·期末) 如图所示, 在 xOy 坐标系中, x 轴上方有匀强电场, 电场强度 $E = 0.2 \text{ N/C}$, 方向水平向左, x 轴下方有匀强磁场, 磁感应强度为 B , 方向垂直纸面向外。一电荷量 $q = 0.02 \text{ C}$, 质量 $m = 4 \times 10^{-6} \text{ kg}$ 的带正电粒子从第一象限中的 M 点开始运动, 初速度方向沿 y 轴负方向, 恰好从坐标原点 O 进入磁场; 在磁场中运动一段时间后从 x 轴上的 N 点离开磁场, 已知 M 点的坐标为 $(15\text{m}, 10\sqrt{3}\text{m})$, N 点的坐标为 $(-2\text{m}, 0)$, 不计粒子的重力, 求:

- (1) 粒子进入磁场时速度的大小和方向;

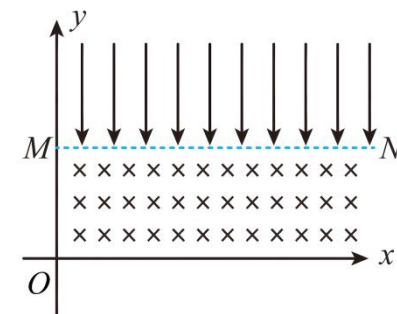
(2) 磁感应强度 B 的大小。



强化点二 带电粒子由电场进入磁场

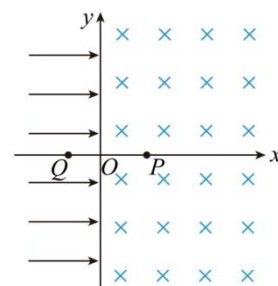
【典例 2】 (23-24 高二上·宁夏银川·期末) 如图所示, y 轴上 M 点的坐标为 $(0, L)$, MN 与 x 轴平行, MN 与 x 轴之间有匀强磁场区域, 磁场垂直纸面向里。在 $y > L$ 的区域存在沿 $-y$ 方向的匀强电场, 电场强度为 E , 在坐标原点 O 处有一带正电粒子以速率 v_0 沿 $+x$ 方向射入磁场, 粒子穿出磁场进入电场, 速度减小到 0 后又返回磁场。已知粒子的比荷为 $\frac{q}{m}$, 粒子重力不计。求:

- (1) 匀强磁场的磁感应强度的大小;
- (2) 从原点出发后经过多长时间, 带电粒子第一次经过 x 轴。



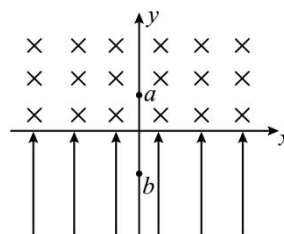
【变式 2-1】 (23-24 高二上·辽宁朝阳·期末) 如图所示的 xOy 坐标系中, y 轴的右侧存在垂直纸面向里的匀强磁场, 磁感应强度大小为 $B = 1\text{T}$, y 轴的左侧存在沿 x 轴正方向的匀强电场。 P 点为 x 轴上的点, $OP = 20\sqrt{3}\text{cm}$, 一电荷量为 $q = 1.0 \times 10^{-7}\text{C}$ 、质量为 $m = 1.0 \times 10^{-8}\text{kg}$ 的正粒子由 P 点沿 x 轴的正方向射入磁场, 经过一段时间粒子通过 y 轴进入电场, 速度方向与 y 轴的负方向成 $\alpha = 30^\circ$, 粒子在电场中垂直 x 轴经过 Q 点。忽略粒子的重力, 求:

- (1) 粒子射入磁场的初速度大小;
- (2) 电场强度 E ;
- (3) 粒子从 P 点运动到 Q 点的时间。



【变式 2-2】 (23-24 高二上·山西运城·期末) 如图所示, 在 x 轴上方存在匀强磁场, 磁感应强度为 B , 方向垂直纸面向里。在 x 轴下方存在匀强电场, 方向竖直向上。一个质量为 m , 电荷量为 q , 重力不计的带正电粒子从 y 轴上的 $a(0, h)$ 点沿 y 轴正方向以某初速度开始运动, 一段时间后, 粒子速度方向与 x 轴正方向成 45° 角进入电场, 经过 y 轴的 b 点时速度方向恰好与 y 轴垂直。求:

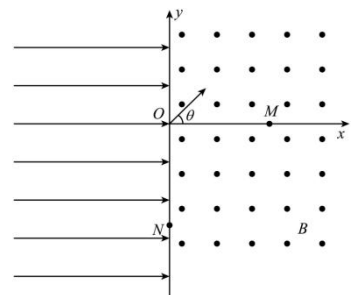
- (1) 粒子在磁场中运动的轨道半径 r ;
- (2) 粒子到达 b 点时的速度大小 v_b ;
- (3) 求坐标原点 O 到 b 点的距离。



强化点三 带电粒子在磁场和电场中的往复运动

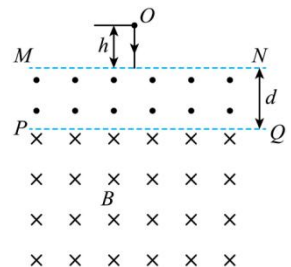
【典例 3】 (23-24 高二上·河北邯郸·期末) 在如图所示的平面直角坐标系中, $x > 0$ 的区域内有垂直纸面向外、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场, $x < 0$ 的区域内有沿 x 轴正方向的匀强电场。一个质量为 m 、电荷量为 $q (q > 0)$ 的粒子从 O 点射出, 初速度方向与 x 轴正方向夹角为 $\theta \left(0 < \theta < \frac{\pi}{2} \right)$, 粒子在平面内做曲线运动, 其运动轨迹经过 O 、 M 、 N 三点, 并一直沿 O 、 M 、 N 围成的闭合图形运动。已知 M 、 N 两点的坐标分别为 $M(\sqrt{2}l, 0)$, $N(0, +\sqrt{2}l)$, 粒子重力忽略不计。求:

- (1) 粒子初速度的大小;
- (2) 匀强电场的场强大小;
- (3) 粒子从 O 点出发到第一次返回 O 点的时间。



【变式 3-1】 (23-24 高二上·山西太原·期末) 水平分界线 MN 上方有竖直向下的匀强电场, 电场强度为 E 。 MN 下方存在如图所示的匀强磁场, 磁感应强度均为 B , PQ 分界线与 MN 平行。质量为 m 的带电粒子在 O 处由静止释放, 下落一定高度 h 后穿过 MN , 进入宽度为 d 、垂直纸面向外的匀强磁场中做匀速圆周运动。粒子穿过 PQ 后进入垂直纸面向内的匀强磁场, 经过一段时间后返回出发点 O 。不计粒子重力, 求:

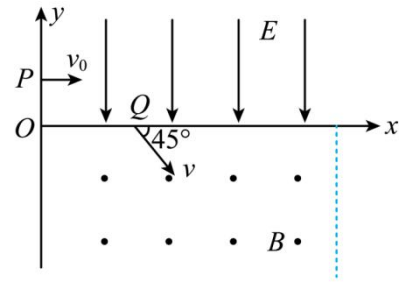
- (1) 粒子的带电量;
- (2) 粒子从 O 点经过多长时间后返回 O 点。



【变式 3-2】 (23-24 高二上·湖南衡阳·期末)

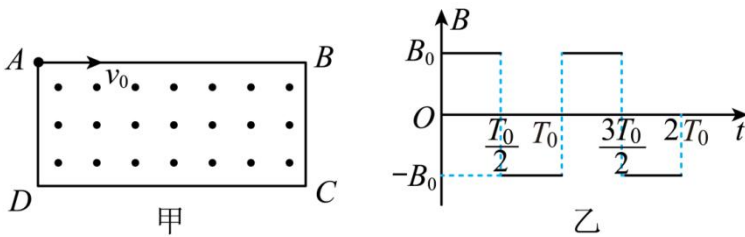
如图，在 xOy 平面第一象限有一匀强电场，电场方向平行 y 轴向下。在第四象限内存在一有界匀强磁场，左边界为 y 轴，右边界为 $x = \frac{11}{4}l$ 的直线。磁场方向垂直纸面向外。一质量为 m 、带电量为 q 的正粒子从 y 轴上 P 点以初速度 v_0 垂直 y 轴射入匀强电场，在电场力作用下从 x 轴上 Q 点以与 x 轴正方向成 45° 角进入匀强磁场。已知 $OQ = l$ ，不计粒子重力。求：

- (1) 电场强度的大小；
- (2) 要使粒子能再进入电场，磁感应强度 B 的范围；
- (3) 要使粒子能第二次进入磁场，磁感应强度 B 的范围。



强化点四 带电粒子在交变场中的运动

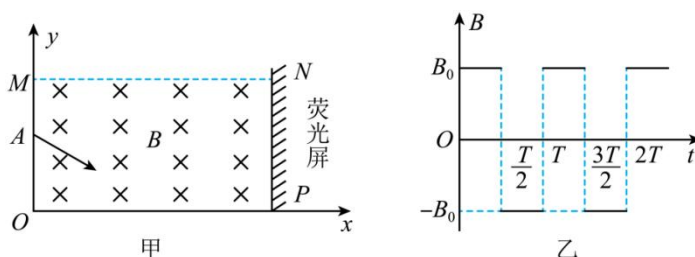
【典例 4】 (多选) 如图甲所示， $ABCD$ 是一长方形有界匀强磁场边界，磁感应强度按图乙规律变化，取垂直纸面向外为磁场的正方向，图中 $AB = \sqrt{3}AD = \sqrt{3}L$ ，一质量为 m 、所带电荷量为 q 的带正电粒子以速度 v_0 在 $t=0$ 时从 A 点沿 AB 方向垂直磁场射入，粒子重力不计。则下列说法中正确的是 ()



- A. 若粒子经时间 $t = \frac{1}{2}T_0$ 恰好垂直打在 CD 上，则磁场的磁感应强度 $B_0 = \frac{mv_0}{qL}$
- B. 若粒子经时间 $t = \frac{3}{2}T_0$ 恰好垂直打在 CD 上，则粒子运动的半径大小 $R = \frac{L}{2}$
- C. 若要使粒子恰能沿 DC 方向通过 C 点，则磁场的磁感应强度的大小 $B_0 = \frac{nmv_0}{2qL}$ ($n=1, 2, 3, \dots$)
- D. 若要使粒子恰能沿 DC 方向通过 C 点，磁场变化的周期 $T_0 = \frac{2\pi L}{3nv_0}$ ($n=1, 2, 3, \dots$)

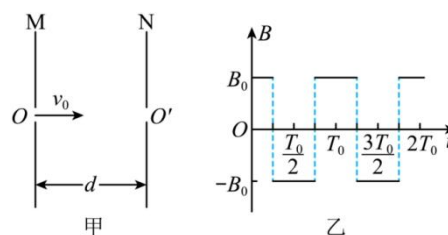
【变式 4-1】 (22-23 高二上·湖北武汉·期末) 在如图甲所示的平面直角坐标系 xOy (其中 Ox 水平, Oy 竖直) 内, 矩形区域 $OMNP$ 充满磁感应强度大小为 B 、方向垂直纸面向里的匀强磁场(边界处有磁场), 其中 $\overline{OM} = 3d$, $\overline{OP} = 4d$, P 点处放置一垂直于 x 轴的荧光屏, 现将质量为 m 、电荷量为 q 的带正电的粒子从 OM 边的中点 A 处以某一速度垂直于磁场且沿与 y 轴负方向夹角为 45° 的方向射入磁场, 不计粒子重力。

- (1) 若粒子打在荧光屏上形成的光点与 A 点等高, 求粒子速度的大小;
- (2) 求粒子能从 OM 边射出磁场的最大速度及其对应的运动时间;
- (3) 若规定垂直纸面向外的磁场方向为正方向, 磁感应强度 B 的变化规律如图乙所示 (图中 B_0 已知), 调节磁场的周期, 满足 $T = \frac{2\pi m}{3qB_0}$, 让粒子在 $t = 0$ 时刻从坐标原点 O 沿与 x 轴正方向成 60° 角的方向以一定的初速度射入磁场, 若粒子恰好垂直打在屏上, 求粒子的可能初速度大小及打在光屏上的位置。



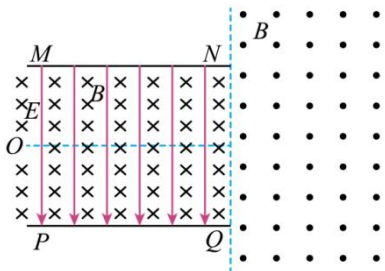
【变式 4-2】 如图甲所示, M 、 N 为竖直放置彼此平行的两块平板, 板间距离为 d , 两板中央各有一个小孔 O 、 O' 正对, 在两板间有垂直于纸面方向的磁场, 磁感应强度随时间的变化如图乙所示, 设垂直纸面向里为磁场的正方向。有一群正离子在 $t = 0$ 时垂直于 M 板从小孔 O 射入磁场。已知正离子质量为 m 、电荷量为 q , 正离子在磁场中做匀速圆周运动的周期与磁感应强度变化的周期都为 T_0 , 忽略粒子间的相互作用力和离子的重力。

- (1) 求磁感应强度 B_0 的大小;
- (2) 若正离子在 T_0 时刻恰好从 O' 孔垂直于 N 板射出磁场, 求该离子在磁场中的运动半径;
- (3) 要使正离子从 O' 孔垂直于 N 板射出磁场, 求正离子射入磁场时速度 v_0 的大小。



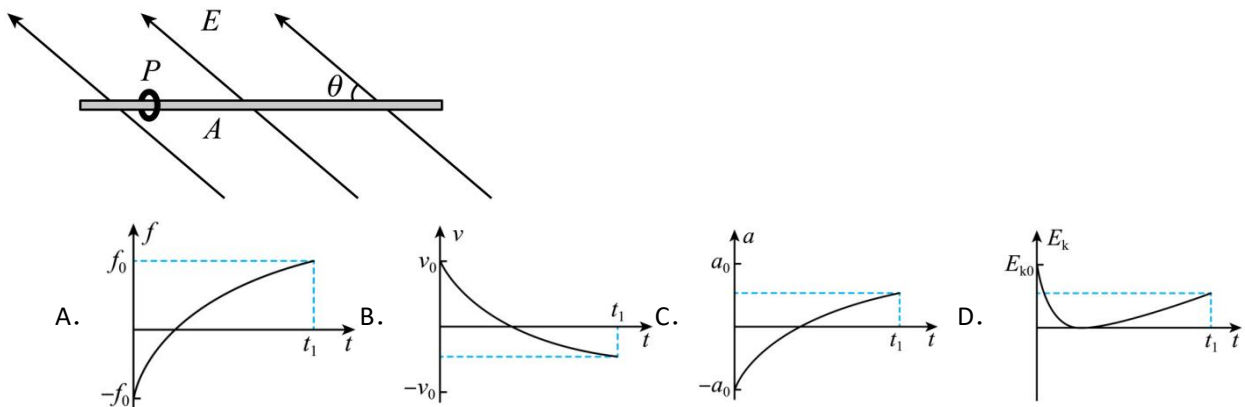
强化点五 带电粒子在叠加场中的直线运动

【典例 5】(23-24 高二下·四川凉山·期末) 利用电场和磁场控制带电粒子的运动是现代电子设备的常见现象。如图所示，两水平正对放置的平行金属板 MN 和 PQ 之间存在竖直向下的匀强电场 E (未知)，两金属板的板长和间距均为 $d = \frac{3m_0v_0}{Bq}$ 。平行金属板间有垂直纸面向里的磁场， N 、 Q 连线右侧空间有垂直纸面向外的磁场，两磁感应强度均为 B 。质量为 $2m_0$ 、速度为 v_0 、带电量为 $+q$ 的粒子甲和质量为 m_0 、速度为 $2v_0$ 、带电量也为 $+q$ 的粒子乙先后从 M 、 P 的连线中点 O 处沿两平行金属板中轴线进入后，甲粒子恰好沿轴线射出金属板，乙粒子恰好从 MN 板右侧 N 点射出，此时速度方向与水平方向夹角 $\theta = 60^\circ$ 。不计粒子大小及重力，关于两粒子的运动情况，下列说法正确的是 ()

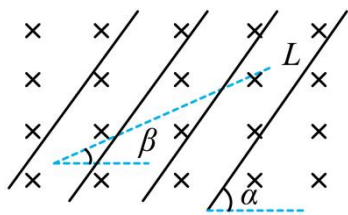


- A. 金属板间电场强度为 $E = Bv_0$
- B. 甲、乙两粒子在平行金属板间的运动时间之比为 2: 1
- C. 甲、乙两粒子在射出平行金属板的速度之比为 $1:2\sqrt{2}$
- D. 甲、乙两粒子在 N 、 Q 连线右侧的运动时间之比为 6: 5

【变式 5-1】(多选) (2024·福建福州·三模) 如图所示，带电圆环 P 套在足够长的、粗糙绝缘水平细杆上，空间中存在与水平杆成 θ 角斜向左上方的匀强电场，现给圆环 P 一向右初速度，使其在杆上与杆无挤压地滑行。当圆环 P 滑至 A 点时，在空间加上水平方向且垂直细杆的匀强磁场，并从此刻开始计时， t_1 时刻圆环 P 再次返回 A 点。选取水平向右为正方向，则运动过程圆环 P 受到的摩擦力 f 、速度 v 、加速度 a 、动能 E_k 随时间 t 变化的图像，可能正确的是 ()



【变式 5-2】(多选) (23-24 高二上·江西南昌·期末) 如图所示，实线表示在竖直平面内的电场线，电场线与水平方向成 α 角，水平方向的匀强磁场与电场正交，有一带电液滴沿虚线 L 斜向上做直线运动， L 与水平方向成 β 角，且 $\alpha > \beta$ ，则下列说法中正确的是 ()

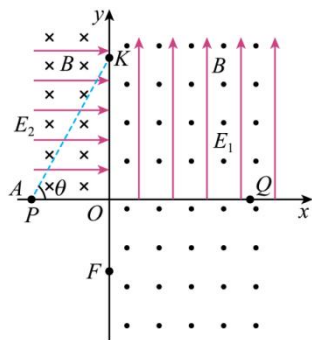


- A. 液滴一定做匀速直线运动
- B. 液滴有可能做匀变速直线运动
- C. 电场线方向可能斜向下
- D. 液滴一定带正电

强化点六 带电粒子在叠加场中的圆周运动

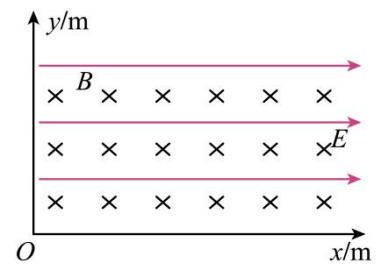
【典例 6】 (2024·河北·二模) 如图所示, 在竖直面内的直角坐标系 xOy 中, 在第二象限内存在沿 x 轴正方向的匀强电场和磁感应强度大小为 B 、方向垂直坐标平面向里的匀强磁场; 在第一象限内存在方向竖直向上的匀强电场和磁感应强度大小也为 B 、方向垂直坐标平面向外的匀强磁场。一带正电的小球 P 从 x 轴上的 A 点以某一速度沿 AK 方向做直线运动, AK 与 x 轴正方向的夹角 $\theta=60^\circ$, 从 K 点进入第一象限后小球 P 恰好做匀速圆周运动, 经过 x 轴时竖直向下击中紧贴 x 轴上方静止的带电小球 Q , 碰后两球结合为一个结合体 M , 之后 M 从 y 轴上的 F 点离开第四象限, 第四象限存在匀强磁场, 方向如图所示。已知重力加速度大小为 g , 小球 P 、 Q 带电荷量均为 q 、质量均为 m , 不计空气阻力。

- (1) 求第二象限与第一象限内电场的电场强度大小之比 $\frac{E_2}{E_1}$;
- (2) 求小球 Q 静止的位置距 O 点的距离;
- (3) 若结合体 M 进入第四象限时速度为 v , M 在第四象限运动时的最大速度为 $2v$, 则当其速度为 $2v$ 时, 结合体 M 距 x 轴的距离是多少?

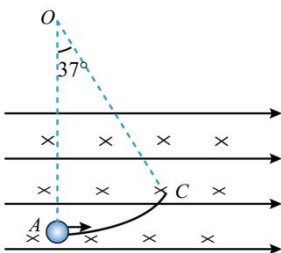


【变式 6-1】 (23-24 高二上·江西鹰潭·期末) 如图所示, 空间中存在着水平向右的匀强电场, 电场强度大小为 $E = 1\text{N/C}$, 同时存在着水平方向的匀强磁场, 其方向与电场方向垂直, 磁感应强度大小 $B = 0.5\text{T}$ 。有一带电微粒, 质量 $m = 1 \times 10^{-7}\text{kg}$, 电荷量 $q = +1 \times 10^{-6}\text{C}$, 从 $t = 0$ 时刻由 O 点开始以速度 v 在第一象限的竖直面内做匀速直线运动, 取 $g = 10\text{m/s}^2$, 求:

- (1) 微粒做匀速直线运动的速度 v 的大小和方向;
- (2) 若在 $t = 0.4\text{s}$ 时, 将电场方向逆时针旋转 90° , 在微粒继续运动的过程中, 求微粒第一次经过 y 轴时的坐标;
- (3) 若在某一时刻撤掉磁场 (不考虑磁场消失引起的电磁感应现象), 在微粒继续运动的过程中, 求微粒速度方向恰好平行于 x 轴正方向时微粒的动能 E_k 。



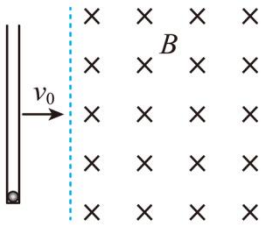
【变式 6-2】 (23-24 高二上·江苏南京·期末) 设在地面上方的真空室内, 存在着方向水平向右的匀强电场和方向垂直于纸面向内的匀强磁场, 如图所示。一段光滑且绝缘的圆弧轨道 AC 固定在纸面内, 其圆心为 O 点, 半径 $R = 1.4\text{m}$, O, A 连线在竖直方向上, AC 弧对应的圆心角 37° 。今有一质量 $m = 3.6 \times 10^{-4}\text{kg}$ 、电荷量 $q = +4.5 \times 10^{-4}\text{C}$ 的带电小球, 以 $v_A = 3.0\text{m/s}$ 的初速度沿水平方向从 A 点射入圆弧轨道内, 一段时间后从 C 点离开, 此后小球做匀速直线运动。重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$, $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$ 。求:



- (1) 匀强电场的场强 E ;
- (2) 小球经过 C 点时的速率;
- (3) 小球射入至圆弧轨道 A 端的瞬间, 小球对轨道的压力 (计算结果保留两位有效数字)。

强化点七 带电粒子在叠加场中的曲线运动

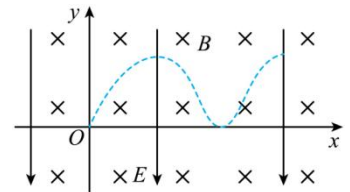
【典例 7】 (22-23 高二上·江苏南京·期末) 如图所示, 长度为 L , 内壁光滑的轻玻璃管平放在水平面上, 管底有一质量为 m , 电荷量为 q 的带正电小球。整个装置以速度 v_0 进入磁感应强度为 B 的匀强磁场, 磁场方向竖直向下, 在外力的作用下向右匀速运动, 最终小球从上端口飞出。从玻璃管进入磁场至小球飞出上端口的过程中 ()



- A. 小球沿管方向的加速度大小 $a = \frac{qv_0B - mg}{m}$ B. 小球做类平抛运动
 C. 管壁的弹力对小球不做功 D. 洛伦兹力对小球做功 $W_f = qv_0BL$

【变式 7-1】 (23-24 高二下·甘肃酒泉·期末) 霍尔推进器某局部区域可抽象成如图所示的模型。 xOy 平面内存在竖直向下的匀强电场和垂直坐标平面向里的匀强磁场, 磁感应强度大小为 B 。质量为 m , 电荷量为 e 的电子从 O 点沿 x 轴正方向水平入射, 入射速度为 v_0 时, 电子沿 x 轴做直线运动; 入射速度小于 v_0 时, 电子的运动轨迹如图中的虚线所示, 且在最高点与在最低点所受的合力大小相等。不计电子重力及电子间相互作用。

- (1) 求电场强度的大小 E ;
 (2) 若电子入射速度为 $\frac{v_0}{6}$, 求运动到速度为 $\frac{v_0}{3}$ 时位置的纵坐标 y ;
 (3) 若电子入射速度在 $0 < v < v_0$ 的范围内均匀分布, 求能到达纵坐标 $y_2 = \frac{mv_0}{4eB}$ 位置的电子数 N 占总电子数 N_0 的百分比。



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/508141123130007017>