

端电压  $U_2$ ,  $V_3$  测  $R_2$  两端电压  $U_3$ , 滑片  $P$  向上滑动, 则  $R_2$  接入电路的阻值减小, 电路总电阻减小, 干路电流增大, 则电流表示数增大, 因  $U_1 = E - Ir$ ,  $U_3 = E - I(R_1 + r)$ ,  $I$  增大, 则  $U_1$ 、 $U_3$  减小, 且  $U_3$  比  $U_1$  减小得快, 所以题图乙中图线  $b$  表示电压表  $V_1$  的示数随电流表示数变化的情况, 图线  $a$  表示电压表  $V_3$  的示数随电流表示数变化的情况, 故 **A、B 正确**; 因  $R_1$  不变, 电流增大, 则  $U_2$  增大, 所以图乙中图线  $c$  表示电压表  $V_2$  的示数随电流表示数变化的情况, 因  $U_1 = E - Ir$ , 则  $\Delta U_1 = -r\Delta I$ , 故  $\Delta U_1$  和  $\Delta I$  比值的绝对值为电源内阻不变,  $\Delta U_3$  和电流表的示数变化量  $\Delta I$  比值的绝对值为电源内阻  $r$  与  $R_1$  之和, 即  $\frac{|\Delta U_3|}{\Delta I} = r + R_1$ , 又因为  $\frac{|\Delta U_2|}{\Delta I} = R_1$ , 所以满足关系式  $\frac{|\Delta U_1|}{\Delta I} + \frac{|\Delta U_2|}{\Delta I} = \frac{|\Delta U_3|}{\Delta I}$ , 故 **C 错误, D 正确**.

**9. BD** 【解析】光照强度减弱,  $R_1$  电阻增大, 总电流减小, 路端电压

增大, 电流表示数变小,  $R_0$  两端电压减小,  $R_1$  两端电压增大, 电压表示数增大, **A 错误**; 由闭合电路欧姆定律可知电压表示数的变化量等于  $R_0$  及  $r$  串联部分电压的变化量, 故有  $\frac{\Delta U}{\Delta I} = R_0 + r$ , **B 正确**;

电容器两端电压增大, 电容器充电, 电容器左极板带负电, 右极板带正电, 充电时有从右向左的电流流过  $R_2$ , **C 错误**; 总电流变

小, 由  $P = I^2 R_0$  可知  $R_0$  的功率变小, 电源的输出功率为  $P_{\text{出}} = I^2 R_{\text{外}} = \left(\frac{E}{R_{\text{外}} + r}\right)^2 R_{\text{外}} = \frac{E^2}{\frac{(R_{\text{外}} - r)^2}{R_{\text{外}}} + 4r}$ , 可知当外电路总电阻等于内

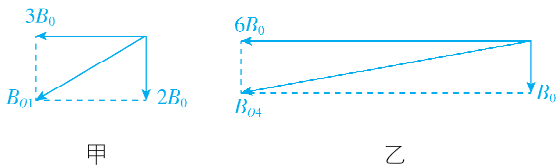
阻时, 电源的输出功率最大, 由于题干信息无法判断外电路总电阻与内阻的大小关系, 所以不能确定电源的输出功率变化情况, 故 **D 正确**.

## 专题 11 磁场

### 考向 37 磁场 磁场对通电导体的作用

**1. ACD** 【解析】以“磁石磨针锋”, 是指针磁化成为一个小磁体, 是磁化现象, **A 正确**; 磁感线是闭合的曲线, 地球磁场的磁感线从地理南极附近发出, 从地理北极附近回到地球, 形成闭合曲线, 地球表面任意位置的地磁场方向不一定都与地面平行, **B 错误**; “微偏东, 不全南也”, 指的是地磁场存在磁偏角, 即地球的地理南北极与地磁南北极并不重合, **C 正确**; 由于地磁场的北极在地理南极附近, 故地磁场的磁感线有一个由南向北的分量, 而当导线的方向与地磁场的方向平行时, 一通电, 导线正下方就会产生东西方向的磁场, 小磁针偏转现象明显, 可以排除地磁场对其的干扰, 故在进行奥斯特实验时, 通电直导线水平南北方向放置实验现象更明显, **D 正确**.

**2. B** 【解析】由题可知,  $C$  点的导线在  $O$  点产生的磁感应强度大小也为  $B_0$ , 又通电直导线在空间某点产生的磁感应强度大小与该点到导线的距离成反比, 则  $B$  点的导线在  $O$  点产生的磁感应强度大小为  $3B_0$ , 由安培定则知, 三根通电直导线在  $O$  点产生的磁场如图甲所示, 则  $O$  点的磁感应强度大小为  $B_{O1} = \sqrt{(2B_0)^2 + (3B_0)^2} = \sqrt{13}B_0$ , **A 错误**; 仅将  $C$  点导线的电流方向反向, 则  $A$ 、 $C$  导线在  $O$  点产生的磁场的合磁感应强度为零, 则  $O$  点的磁感应强度大小为  $B_{O2} = 3B_0$ , **B 正确**; 仅将  $C$  点的导线移到  $D$  处并固定, 则  $B$ 、 $D$  处的导线在  $O$  点产生的磁场的合磁感应强度为零, 则  $O$  点的磁感应强度大小为  $B_{O3} = B_0$ , **C 错误**; 仅将  $A$  点的导线移到  $D$  处并固定, 由安培定则知, 三根通电直导线在  $O$  点产生的磁场如图乙所示, 则  $O$  点的磁感应强度大小为  $B_{O4} = \sqrt{B_0^2 + (6B_0)^2} = \sqrt{37}B_0$ , **D 错误**.



**3. B** 【解析】由对称性可知,  $S$  断开时悬挂  $b$  端的细线的拉力大小

为  $F_1$ , 设金属棒质量为  $m$ , 对金属棒受力分析有  $mg = 2F_1$ ,  $S$  闭合后, 悬挂  $b$  端的细线的拉力大小为  $F_2$ , 根据左手定则可知, 金属棒受到的安培力方向竖直向下, 根据受力平衡有  $F_{\text{安}} = 2F_2 - mg$ , 又  $F_{\text{安}} = BIL$ , 根据闭合电路欧姆定律  $I = \frac{E}{R+r}$ , 联立解得  $B = \frac{2(F_2 - F_1)(R+r)}{EL}$ , 故 **B 正确**.

**4. BCD** 【解析】导体杆  $ab$  向右做匀加速直线运动, 受到的安培力向右, 根据左手定则可知, 流过导体杆的电流方向由  $a$  到  $b$ , **A 错误**; **关键点: 根据导体杆运动情况, 判断安培力方向**; 导体杆  $ab$  向右做匀加速直线运动, 根据运动学公式可得  $2aL = v^2$ , 结合牛顿第二定律可得  $F_{\text{安}} - kmg = ma$ , 又  $F_{\text{安}} = BIL$ , 联立解得磁感应强度的大小为  $B = \frac{mv^2 + 2Lkmg}{2LId}$ , **B 正确**; 整个过程的运动时间为  $t = \frac{v}{a} = \frac{2L}{v}$ , 整个过程通过  $ab$  的电荷量为  $q = It = \frac{2IL}{v}$ , **C 正确**; 由于不计一切电阻、忽略电路的自感, 根据能量守恒定律可知, 储能装置刚开始储存的能量为  $E = kmgL + \frac{1}{2}mv^2$ , **D 正确**.

**5. A** 【解析】设每根金属棒的电阻均为  $R$ , 将  $C$ 、 $D$  端接入电路,  $AE$  棒中没有电流, 电路总电阻为  $R_{\text{总}} = R + \frac{2R \cdot 2R}{2R + 2R} = 2R$ ,  $CD$  棒受到的安培力大小为  $F = I_{CD}BL = \frac{1}{2}BIL$ , **A 正确**; 线框  $CAD$  与  $CED$  的有效长度均为  $CD$  棒的长度, 根据左手定则, 整个线框受到的安培力在  $CDE$  面内垂直  $CD$  向右, **B 错误**;  $DE$ 、 $CE$  两根金属棒受到的安培力大小相等, 方向不同, **C 错误**;  $AE$  棒没有电流,  $AE$  棒不受安培力, **D 错误**.

**6. B** 【解析】当开关  $S$  断开时,  $ab$  中电流  $I_1 = \frac{E}{R_0 + r} = \frac{3}{5} \text{ A} = 0.6 \text{ A}$ , 当开关  $S$  闭合时,  $ab$  中电流  $I_2 = \frac{1}{2} \times \frac{E}{r + R_{\text{并}}} = \frac{1}{2} \times \frac{3}{3} \text{ A} = 0.5 \text{ A}$ , 开

关闭前后根据受力平衡分别有  $BI_1d = \mu mg \cos \theta + mg \sin \theta$ ,  $BI_2d + \mu mg \cos \theta = mg \sin \theta$ , 联立解得  $\mu = \frac{3}{44}$ , **B 正确**.

**7. D 【解析】**  $a$ 、 $b$  受到重力、安培力以及轨道的作用力(支持力与摩擦力), 同一时刻, 通过  $a$ 、 $b$  的电流大小、方向都相同, 则所受安培力大小和方向相同, 都水平向右, 所以重力和安培力的合力相同, 根据平衡条件可知  $a$ 、 $b$  棒受轨道的作用力相同, 故 **A 正确**; 根据平衡条件结合牛顿第三定律, 垂直于轨道方向分别有  $F_{Na} = mg \cos \theta + F_A \sin \theta$ ,  $F_{Nb} = mg \cos \theta - F_A \sin \theta$ , 可知  $F_{Na} > F_{Nb}$ , 故 **B 正确**; 根据平衡条件, 沿轨道方向分别有  $f_b = mg \sin \theta + F_A \cos \theta$ , 随着磁感应强度增大,  $b$  棒所受安培力  $F_A$  变大,  $b$  棒所受摩擦力增大, 故 **C 正确**;  $b$  棒先发生滑动, 此时恰好有  $f_b = \mu F_{Nb}$ , 通过  $b$  的电流是  $I$ , 则  $F_A = BIL$ , 联立可得  $B = \frac{mg(\mu \cos \theta - \sin \theta)}{IL(\mu \sin \theta + \cos \theta)}$ , 故 **D 错误**.

**8. D 【解析】** 由闭合电路欧姆定律可得  $I = \frac{E}{R+r+R_0} = 2 \text{ A}$ , 导体棒  $ab$  受到的安培力大小为  $F_A = BIL = 5 \times 2 \times 0.5 \text{ N} = 5 \text{ N}$ , 方向垂直于磁场向左上方, **B 错误**; 若导体棒  $ab$  恰好有水平向左的运动趋势时, 导体棒所受静摩擦力水平向右, 则由共点力平衡条件可得  $mg = F_A \cos \alpha + F_N$ ,  $F_A \sin \alpha = F_{f\max} + G_1$ ,  $F_{f\max} = \mu F_N$ , 联立解得  $G_1 = 0.5 \text{ N}$ , 若导体棒  $ab$  恰好有水平向右的运动趋势时, 导体棒所受静摩擦力水平向左, 则由共点力平衡条件可得  $mg = F_A \cos \alpha + F_N$ ,  $F_A \sin \alpha + F_{f\max} = G_2$ ,  $F_{f\max} = \mu F_N$ , 联立解得  $G_2 = 7.5 \text{ N}$ , 所以导体棒  $ab$  保持静止状态时, 重物重力  $G$  的取值范围为  $0.5 \text{ N} \leq G \leq 7.5 \text{ N}$ , **A、C 错误, D 正确**.

### 考向 38 带电粒子在磁场中的运动

**1. C 【解析】** 粒子恰好垂直于  $y$  轴射出磁

场, 作两速度的垂线交点为圆心  $O_1$ , 轨迹如图所示, 根据几何关系可得  $\cos 30^\circ = \frac{a}{R}$ , 所以  $R = \frac{2\sqrt{3}}{3}a$ , 故 **C 正确**; 粒子在磁场中做圆周运动时由洛伦兹力

提供向心力,  $qBv = m \frac{v^2}{R}$ , 解得带电粒子在磁场中运动的速率为

$v = \frac{qBR}{m}$ , 因为磁感应强度大小  $B$  未知, 则无法求出带电粒子在磁场中运动的速率, 故 **A、B 错误**; 带电粒子在磁场中运动轨迹对应的圆心角为  $\frac{2}{3}\pi$ , 而周期为  $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$ , 则带电粒子在磁场中

运动的时间为  $t = \frac{T}{3} = \frac{2\pi m}{3qB}$ , 因为磁感应强度大小  $B$  未知, 则运动时间无法求出, 故 **D 错误**.

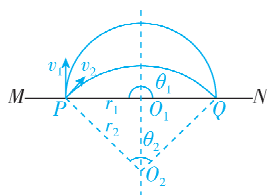
**2. B 【解析】** 粒子的运动轨迹如图所示

示, 两粒子电荷量相等, 质量关系为

$m_2 = 2m_1$ , 由周期公式得  $T = \frac{2\pi m}{qB}$ , 可

得  $T_2 = 2T_1$ , 两粒子在磁场中运动的时

间相等, 由  $t = \frac{\theta}{2\pi}T$ , 可知  $\theta_1 T_1 = \theta_2 T_2$ , 所以  $\theta_2 = \frac{1}{2}\theta_1$ , 二者飞入磁



场的动能相等, 由牛顿第二定律有  $qvB = m \frac{v^2}{r}$ , 可得  $r = \frac{mv}{qB} =$

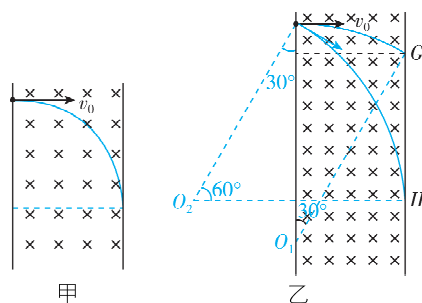
$\frac{\sqrt{2mE_k}}{qB}$ , 可得  $r_2 = \sqrt{2}r_1$ , 由数学知识可知  $\triangle PO_1O_2$  为等腰直角三

角形,  $\angle PO_1O_2 = \frac{\pi}{2}$ , 又  $\theta_2 = \frac{1}{2}\theta_1$ , 可得两粒子入射速度方向间的夹角为  $45^\circ$ .

**3. B 【解析】** 电子垂直边界射入, 恰好未被  $EF$  吸收时运动轨迹如

**关键点:** 恰好未被吸收, 临界条件为轨迹与挡板相切

图甲所示, 由几何关系可知电子做圆周运动的轨迹半径为  $d$ , 根据  $qvB = \frac{mv^2}{r}$  可知, 当磁感应强度大小变为原来的一半时, 电子在磁场中做圆周运动的轨迹半径变为  $2d$ , 速度方向改变时, 电子能够打到挡板上, 临界运动轨迹如图乙所示, 能够吸收到电子的区域为  $GH$ , 由几何关系可得  $GH = 2d \cos 30^\circ - 2d(1 - \cos 30^\circ) = 2(\sqrt{3} - 1)d$ , **B 正确**.



**4. AD 【解析】** 粒子从  $A$  点射出, 由左手定则可知, 粒子带负电, 故 **A 正确**. 设粒子做圆周运动的轨迹半径为  $R$ , 由几何关系可得

$2R \sin 60^\circ = L$ , 解得  $R = \frac{\sqrt{3}}{3}L$ , 由牛顿第二定律

得  $qv_0B = \frac{mv_0^2}{R}$ , 解得  $B = \frac{\sqrt{3}mv_0}{qL}$ , 故 **B、C 错误**. 为保证粒子能够刚好从  $A$  点射出磁场, 如图所示, 则  $OD$  边长至少为  $R - R \cos 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{6}L$ , 故 **D 正确**.

**5. D 【解析】**  $a$ 、 $b$  两粒子运动轨迹如图所示,  $\times \times \times$

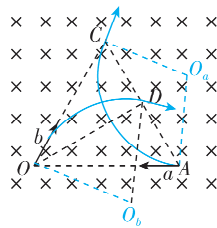
由左手定则可知,  $a$ 、 $b$  两粒子都带负电, **A**

**错误**; 由几何知识可知  $r_a = \frac{L}{\sin 60^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{3}L$ ,  $r_b = OD = L \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}L$ , 粒子在磁场中做圆

周运动, 由牛顿第二定律对粒子  $a$  有  $qv_0B = m \frac{v_0^2}{r_a}$ , 对粒子  $b$  有

$qvB = m \frac{v^2}{r_b}$ , 解得  $B = \frac{\sqrt{3}mv_0}{qL}$ , 粒子  $b$  的速度大小  $v = 1.5v_0$ , **B、C 错误**; 粒子  $b$  从  $O$  点以原速率沿水平面内任意方向射出, 粒子  $b$  在

磁场中做圆周运动的轨迹半径  $r_b = \frac{\sqrt{3}}{2}L$ , 粒子  $b$  从  $O$  点出发到达



AC 边运动轨迹对应的最短弦长为  $OD = \frac{\sqrt{3}}{2}L$ , 对应的圆心角  $\theta =$

**关键点:** 求粒子最短运动时间, 需要找到运动轨迹对应的最短弦长

$60^\circ$ , 粒子在磁场中做圆周运动的周期  $T = \frac{2\pi r_b}{v} = \frac{2\pi \times \frac{\sqrt{3}}{2}L}{1.5v_0} =$

$\frac{2\sqrt{3}\pi L}{3v_0}$ , 粒子的最短运动时间  $t = \frac{\theta}{360^\circ}T = \frac{\sqrt{3}\pi L}{9v_0}$ , **D 正确**.

**6. C** 【解析】电子在磁场中做匀速圆周运

动, 由洛伦兹力提供向心力有  $evB = m \frac{v^2}{r}$ ,

可得  $v = \frac{erB}{m}$ , 如图所示, 当电子的运动轨迹

与磁场边界相切时, 电子运动轨迹半径最

大, 速度最大. 电子运动轨迹的圆心与圆形磁场的圆心以及切点共线, 过电子运动轨迹的圆心作  $OP$  的垂线, 由几何关系得

$r \cos 60^\circ + \sqrt{(R-r)^2 - (r \sin 60^\circ)^2} = 0.4R$ , 解得  $r = \frac{21}{40}R$ , 则最大速

率为  $v = \frac{21eBR}{40m}$ , 故 **C 正确**.

**7. AD** 【解析】若粒子的发射速度大小为  $\frac{\sqrt{2}qBR}{2m}$ , 由  $qvB = m \frac{v^2}{r}$  可

知粒子在磁场中运动的半径为  $\frac{\sqrt{2}}{2}R$ , 根据几何关系可知粒子在磁场中运动转过的圆心角为  $90^\circ$ , 则粒子在磁场中运动的时间为

$t = \frac{1}{4}T = \frac{1}{4} \times \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\pi m}{2qB}$ , **A 正确, B 错误**; 若粒子的发射速度大小

为  $\frac{\sqrt{3}qBR}{3m}$ , 则粒子在磁场中运动的半径为  $\frac{\sqrt{3}}{3}R$ , 根据几何关系可

知粒子在磁场中运动转过的圆心角为  $120^\circ$ , 则粒子在磁场中运动的时间为  $t' = \frac{1}{3}T = \frac{1}{3} \times \frac{2\pi m}{qB} = \frac{2\pi m}{3qB}$ , **C 错误, D 正确**.

**8. ACD** 【解析】粒子从区域 I 的圆心 O 点沿半径方向射入环形磁场后, 都没有从区域 II 的外圆射出, 设粒子在磁场中运动的最大

**关键点:** 临界条件为粒子运动轨迹与外圆相切

轨迹半径为  $r_m$ , 此时粒子的运动轨迹如图甲所示, 由几何关系可得  $(3R - r_m)^2 = R^2 + r_m^2$ , 解得  $r_m = \frac{4}{3}R$ , 根据洛伦兹力提供向心力有

$qv_m B = m \frac{v_m^2}{r_m}$ , 解得粒子运动速率的最大值为  $v_m = \frac{4qBR}{3m}$ , **A 正确**;

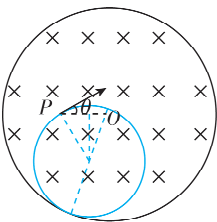
粒子从区域 I 射入区域 II, 在区域 II 中运动的时间为  $t = \frac{\alpha}{2\pi}T =$

$\frac{\alpha m}{qB}$ , 根据几何关系得  $\alpha = 2\pi - 2\arctan \frac{R}{r}$ , 则当  $r = r_m$  时  $\alpha$  最大, 粒

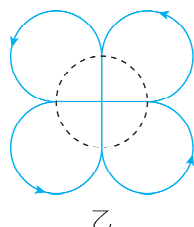
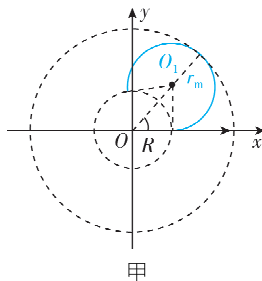
子在区域 II 中运动的时间为  $t_{\max} = \frac{143\pi m}{90qB}$ , **B 错误**; 根据对称性可

知, 粒子从区域 II 射出返回区域 I 时, 速度方向沿径向, 则粒子在区域 I 中运动的距离为  $2R$ , 在区域 I 中运动的最短时间为

$t_{\min} = \frac{2R}{v_m} = \frac{3m}{2qB}$ , **C 正确**; 若粒子运动速率为  $\frac{qBR}{m}$ , 根据洛伦兹力提



供向心力有  $qvB = m \frac{v^2}{r}$ , 解得  $r = R$ , 根据题意, 作出粒子的运动轨迹如图乙所示, 可知粒子将在区域 I、区域 II 间做周期运动, 粒子每运动距离  $s = 4 \times (2R + \frac{3}{4} \times 2\pi R) = (6\pi + 8)R$ , 轨迹就会重复一次, **D 正确**.



**9. ABC** 【解析】根据粒子从 P 点垂直 ab 射

入磁场, 从 Q 处进入无场区, 可判断粒子

做圆周运动的轨迹半径为  $R_1 = l$ , 粒子在磁

场中做圆周运动, 有  $qv_1 B_0 = m \frac{v_1^2}{R_1}$ , 解得

$R_1 = \frac{mv_1}{qB_0}$ , 将入射速度变为  $v_2 = 2v_1$ , 则粒子

在磁场中做匀速圆周运动的轨迹半径变为  $R_2 = \frac{mv_2}{qB_0} = \frac{m \cdot 2v_1}{qB_0} =$

$2R_1 = 2l$ , 由数学知识可知, 粒子先以 Q 为圆心做  $\frac{2}{3}$  个圆周运动

到 ad 的中点 M, 再沿直线 MN 运动到 dc 边上的 N 点 ( $Nc = l$ ), 再经过  $\frac{2}{3}$  个圆周运动到 P 点, 到达 P 点时速度方向与 ab 边夹角为

$30^\circ$ ; 接着沿直线 PM 运动到 M 点, 再经过  $\frac{2}{3}$  个圆周运动到 N 点,

沿直线 NP 运动到 P 点, 速度方向垂直 ab 边, 之后重复上述运动, 粒子运动轨迹如图所示, 故 **A、B 正确**; 由以上分析可知, 粒子

从进入磁场到再次经过 P 点的最短时间为  $t_{\min} = \frac{240^\circ}{360^\circ}T + \frac{MN}{v_2} +$

$\frac{240^\circ}{360^\circ}T$ , 其中  $T = \frac{2\pi m}{qB_0}$ ,  $MN = 2\sqrt{3}l$ ,  $v_2 = \frac{2qB_0 l}{m}$ , 解得  $t_{\min} =$

$\frac{(8\pi + 3\sqrt{3})m}{3qB_0}$ , 故 **C 正确, D 错误**.

**10. BC** 【解析】粒子的运动轨迹如图所示, 由

几何关系可知, 当粒子从 c 点射出磁场区

域时, 半径为  $r_1 = ac = \sqrt{3}l$ , 粒子从 b 点射出

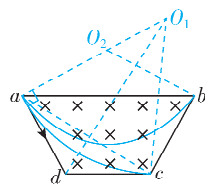
磁场区域时, 半径为  $r_2 = \frac{2\sqrt{3}}{3}l$ , 由牛顿第二

定律有  $qvB = m \frac{v^2}{r}$ , 解得  $r = \frac{mv}{qB}$ , 则有  $\frac{2\sqrt{3}}{3}l \leq \frac{mv}{qB} \leq \sqrt{3}l$ , 解得为使

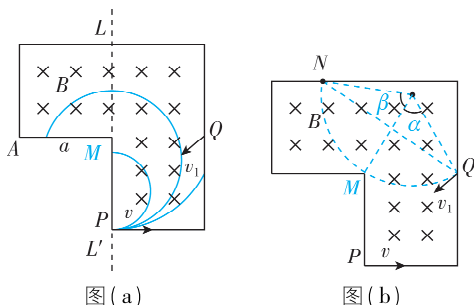
粒子从 cb 边射出磁场区域, 粒子的速度范围为  $\frac{2\sqrt{3}qBl}{3m} \leq v \leq$

$\frac{\sqrt{3}qBl}{m}$ , 故 **B、C 正确**.

**11. AC** 【解析】由粒子源 P 发射的粒子轨迹的圆心在图(a)中虚

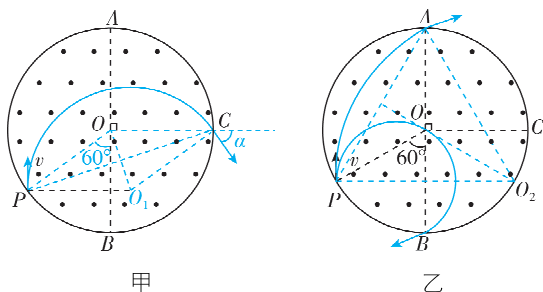


线  $LL'$  上,由洛伦兹力提供向心力有  $qBv = m \frac{v^2}{r}$ , 可知  $r = \frac{mv}{qB}$ , 轨迹半径  $r$  随速度的增大而增大. 当  $r \leq \frac{a}{2}$  时, 粒子能够到达  $MP$  之间; 当  $\frac{a}{2} < r \leq a$  时, 粒子能够到达  $MA$  之间; 当  $r > a$  时, 粒子能够到达  $Q$  点的正下方的边界上, 故由粒子源  $P$  发射的粒子, 能够到达的边界长度为  $3a$ , **A 正确, B 错误**; 由粒子源  $Q$  发射的粒子, 速率均为  $v_1 = \frac{qBa}{m}$ , 代入  $qBv_1 = m \frac{v_1^2}{r}$ , 可得  $r = a$ , 如图 (b) 所示, 粒子落在  $M$  点时, 此时是首次到达边界的最短时间, 由几何关系知  $\alpha = 60^\circ$ , 则  $t_{\min} = \frac{1}{6}T = \frac{1}{6} \times \frac{2\pi a}{v_1} = \frac{\pi m}{3qB}$ , 粒子恰好没有落在  $M$  点时, 落点为  $N$ , 此时是首次到达边界的最长时间, 由几何关系知  $\alpha + \beta < 180^\circ$ , 所以  $t_{\max} < \frac{\pi m}{qB}$ , 故 **C 正确, D 错误**.

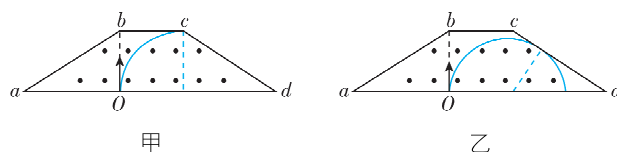


### 重难专项 11 带电粒子在磁场中运动的临界问题

**1. ABC** 【解析】根据题意可知, 粒子从  $P$  点射入磁场时, 速度方向与过入射点的圆形磁场半径之间的夹角为  $60^\circ$ , 作出粒子运动轨迹如图甲所示, 由几何知识可知,  $PO_1 = PO$ ,  $OO_1 \perp PC$ ,  $\angle \alpha = 90^\circ - \angle OCO_1 = 60^\circ$ , 即该束粒子射出磁场时速度方向与过出射点的磁场区域圆半径的夹角也为  $60^\circ$ , **A 正确**; 若粒子恰好从  $C$  点射出, 粒子的运动轨迹如图甲所示, 根据几何关系可知, 粒子在磁场中转过的圆心角为  $150^\circ$ , 运动的时间为  $t = \frac{150^\circ}{360^\circ} \cdot \frac{2\pi m}{qB} = \frac{5\pi m}{6qB}$ , **B 正确**; 若粒子恰好从  $A$  点射出, 粒子的运动轨迹如图乙所示, 根据几何关系可知, 轨迹半径  $r = \sqrt{3}R$ , 由洛伦兹力提供向心力可知  $qvB = m \frac{v^2}{r}$ , 解得  $v = \frac{qBr}{m} = \frac{\sqrt{3}qBR}{m}$ , **C 正确**; 作出粒子从  $B$  点射出的轨迹图如图乙所示, 可知从  $B$  点射出的粒子在磁场中转过的圆心角大于从  $A$  点射出的粒子在磁场中转过的圆心角, 根据  $t = \frac{\theta}{2\pi} \cdot \frac{2\pi m}{qB}$ , 可知从  $B$  点射出的粒子比从  $A$  点射出的粒子在磁场中运动的时间长, **D 错误**.



**2. BC** 【解析】粒子在磁场中向右偏转, 由左手定则可知粒子源发射的粒子均为带正电的粒子, **A 错误**; 当粒子从  $c$  点飞出磁场时, 其运动的速度最大, 轨迹所对应的圆心角最小, 则运动时间最短, 运动轨迹如图甲所示, 由几何知识可知, 粒子在磁场中运动的轨迹半径为  $R_1 = L$ , 则由牛顿第二定律有  $qv_m B = \frac{mv_m^2}{L}$ , 解得  $v_m = \frac{qBL}{m}$ , 粒子在磁场中运动的周期为  $T = \frac{2\pi L}{v_m} = \frac{2\pi m}{qB}$ , 在磁场中运动的最短时间为  $t = \frac{1}{4}T = \frac{\pi m}{2qB}$ , **B 正确**; 当粒子的运动轨迹和  $cd$  相切时, 粒子恰不从  $cd$  边射出, 其运动轨迹如图乙所示, 若粒子做圆周运动的轨迹半径为  $R_2$ , 根据几何知识有  $R_2 + 2R_2 = L + \sqrt{3}L$ , 解得  $R_2 = \frac{\sqrt{3}+1}{3}L$ , 解得带电粒子的发射速度为  $v_0 = \frac{(\sqrt{3}+1)qBL}{3m}$ , 可知带电粒子的发射速度取值范围为  $\frac{(\sqrt{3}+1)qBL}{3m} < v \leq \frac{qBL}{m}$ , **C 正确, D 错误**.



**3. ABD** 【解析】若粒子均平行于  $BC$

边射入, 当从  $BC$  边射出的粒子的速度最大时, 半径最大, 即粒子从  $C$  点射出, 作出运动轨迹如图甲所示, 由几何关系有  $R_1 \sin 30^\circ = R_1 - a \cos 30^\circ$ , 解得

$$\text{轨迹半径 } R_1 = \sqrt{3}a, \text{ 根据 } qv_{\max} B = m \frac{v_{\max}^2}{R}, \text{ 解得最大速率为 } v_{\max} = \frac{\sqrt{3}Bqa}{m},$$

**A 正确**; 当从  $BC$  边射出的粒子的速率最小时, 半径最小, 此时轨迹与  $BC$  边相切,

如图甲所示, 轨迹半径  $R_2 = \frac{1}{2}a \cos 30^\circ =$

$$\frac{\sqrt{3}}{4}a, \text{ 根据 } qv_{\min} B = m \frac{v_{\min}^2}{R}, \text{ 解得最小速率}$$

$$\text{为 } v_{\min} = \frac{\sqrt{3}Bqa}{4m}, \text{ B 正确; 若粒子均垂直于}$$

$AB$  边射入, 则当轨迹与  $BC$  边相切时, 射出点到  $B$  点的距离最近, 如图乙所示, 设此时轨迹半径为  $r$ , 则

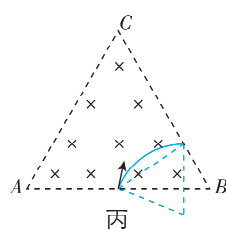
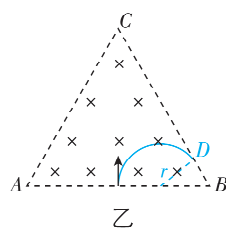
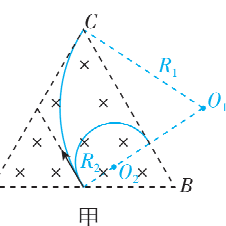
$$\text{有 } r + \frac{r}{\cos 30^\circ} = a, \text{ 解得 } BD = r \tan 30^\circ = (2 -$$

$$\sqrt{3})a, \text{ 则粒子不可能从 } BC \text{ 边上距 } B \text{ 点}$$

$$\frac{2-\sqrt{3}}{3}a \text{ 处射出, C 错误; 若粒子射入时}$$

的速率为  $\frac{\sqrt{3}Bqa}{2m}$ , 则轨迹半径为  $r' = \frac{\sqrt{3}}{2}a$ , 当粒子从  $BC$  边射出的时间最短时, 对应轨迹的弦长最短, 如图丙所示, 最短弦长为射

关键点: 周期相同, 弦长对应圆心角, 圆心角最小, 运动时间最短





入点到  $BC$  的垂线, 长度为  $\frac{\sqrt{3}}{2}a$ , 则由几何关系可知, 轨迹对应的

圆心角为  $\frac{\pi}{3}$ , 粒子在磁场中的运动时间为  $t = \frac{\pi}{2\pi} \cdot \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\pi m}{3Bq}$ , **D 正确**.

**4. B** 【解析】 $MN$  上有离子经过的区域长为  $\frac{2\sqrt{3}}{3}L$ , 如图所示, 根据几何关系可知, 当轨迹直径与直线  $MN$  恰好相交时到达  $MN$  的粒子位置最低, 故  $(2R)^2 = L^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{3}L\right)^2$ , 解

得离子做圆周运动半径  $R = \frac{\sqrt{3}}{3}L$ , 根据  $qvB = m \frac{v^2}{R}$ ,  $k = \frac{q}{m}$ , 联立解

得离子的速度大小  $v = \frac{\sqrt{3}kBL}{3}$ , **B 正确**.

**5. BD** 【解析】粒子在磁场中做圆周运动, 由洛伦兹力提供向心力, 则有  $qvB = \frac{mv^2}{R}$ , 解得  $R = L$ , 找到以  $O$  为圆心、半径为  $L$  的圆与

以  $c$  为圆心、半径为  $L$  的圆的交点, 设为  $H$ , 以  $H$  为圆心过  $O$  点和  $c$  点的圆弧如图甲所示, 可知粒子不可能通过  $c$  点, **A 错误**; 沿  $Ob$  方向入射的粒子, 轨迹如图乙中①所示, 设轨迹对应的圆心角

为  $\theta$ , 根据几何关系有  $\sin \theta = \frac{L}{2}$ , 解得  $\theta = 30^\circ$ , 故运动时间  $t_0 =$

$\frac{30^\circ}{360^\circ} \cdot \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\pi m}{6qB}$ , **B 正确**; 当粒子从  $d$  点飞出时运动时间最长,

轨迹如图乙中②所示, 设轨迹对应的圆心角为  $\alpha$ , 根据几何关系

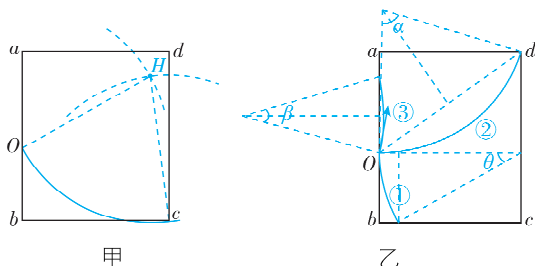
有  $L^2 + \left(\frac{\sqrt{11}}{5}L\right)^2 = Od^2$ ,  $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{2}{L}$ , 解得  $\alpha = 74^\circ$ , 粒子在磁场中

运动的最长时间  $t = \frac{74^\circ}{360^\circ} \times \frac{2\pi m}{qB} = \frac{37\pi m}{90qB}$ , **C 错误**;  $t_0$  时刻, 图乙中轨

迹①③之间的粒子仍处在磁场中, 根据图乙中轨迹③可知,  $\beta = \theta = 30^\circ$ , 则粒子入射速度方向与  $Oa$  边夹角为  $\frac{\beta}{2} = 15^\circ$ , 则在磁场

→ **突破点:** 轨迹对应圆心角小于  $30^\circ$  的粒子已飞出磁场

内的粒子数与发射的粒子总数之比为  $\frac{180^\circ - 15^\circ}{180^\circ} = \frac{11}{12}$ , **D 正确**.



**6. BC** 【解析】根据左手定则知, 带电粒子在磁场中沿逆时针方向做圆周运动, **A 错误**; 根据  $qvB = \frac{mv^2}{R}$  可得  $r = \frac{mv}{qB}$ , 代入  $v = \frac{\sqrt{3}qBl}{2m}$ , 解

得  $r = \frac{\sqrt{3}l}{2}$ , 粒子运动轨迹如图甲所示, 则打在挡板上的临界轨迹

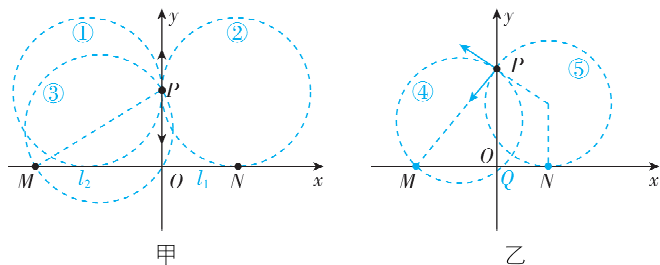
为①和②, 对应的角度范围为  $180^\circ$ , 则打在挡板上的粒子数占总数的  $\frac{1}{2}$ , **B 正确**; 打在挡板上的长度为两个临界轨迹②和③, 对

应的长度分别为  $l_1 = \frac{\sqrt{3}l}{2}$ ,  $l_2 = \sqrt{(2r)^2 - r^2} = \frac{3l}{2}$ , 挡板上粒子打

到的线段长度为  $\Delta l = l_1 + l_2 = \frac{(3+\sqrt{3})l}{2}$ , **C 正确**; 若  $v = \frac{qBl}{2m}$ , 可知粒

子的轨迹半径为  $r' = \frac{l}{2}$ , 打在  $M$ 、 $N$  两点的临界轨迹如图乙中④

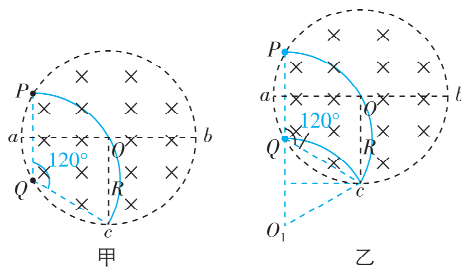
和⑤所示,  $QN$  段无粒子通过, **D 错误**.



**7. A** 【解析】作出从  $P$  点射入的粒子的运动轨迹如图甲所示, 由几何关系易知,  $Q$  点为轨迹的圆心, 圆心角  $\angle PQc = 120^\circ$ , 让粒子从  $Q$  点射入磁场, 根据平移法得粒子运动轨迹如图乙, 由几何关系

系得  $\angle QO_1c = 60^\circ$ , 粒子在磁场中运动的周期  $T = \frac{2\pi m}{qB}$ , 则运动的

时间为  $t = \frac{60^\circ}{360^\circ} T$ , 联立解得  $t = \frac{\pi m}{3qB}$ , **A 正确**.



**8. AC** 【解析】粒子进入磁场后做匀速圆周运

动, 洛伦兹力提供向心力, 则有  $r = \frac{mv}{Bq}$ , 因  $bc$  边

只有一半区域有粒子射出, 从  $bc$  边中点射出的

粒子轨迹如图中实线所示, 由几何关系可得  $r = \frac{L}{4}$ , 则粒子的入射速度  $v = \frac{BqL}{4m}$ , **A 正确**,

**B 错误**; 粒子在磁场中运动的最长轨迹为  $s =$

$\pi r = \frac{\pi L}{4}$ , **C 正确**; 从  $bc$  边射出的粒子中, 与  $bc$  边相切, 恰从  $bc$  边

射出的粒子对应的圆心角最大为  $\frac{2\pi}{3}$ , 从  $bc$  边射出的粒子在磁场

内运动的最长时间为  $t = \frac{\frac{2\pi}{3}}{2\pi} \cdot \frac{2\pi m}{qB} = \frac{2\pi m}{3Bq}$ , **D 错误**.

**9. BD** 【解析】根据左手定则可知, 磁场方向垂直于纸面向外, **A**

错误;根据  $qv_0B = \frac{mv_0^2}{R}$  得  $R = \frac{mv_0}{qB}$ , 可知比

荷  $\frac{q}{m} = \frac{v_0}{BR}$ , **B 正确**; 速度小于  $v_0$  的粒子

也能水平向右垂直打在屏  $M$  上, 所以磁场边界如图所示, 直线边界与  $y$  轴夹角

为  $45^\circ$ , 则磁场区域最小面积为阴影部分面积, 为  $S_{\min} = \frac{\pi R^2}{4}$

→ **关键点**: 根据磁发散的特点找到最小磁场区域的边界

$\frac{1}{2}R^2 = \frac{(\pi-2)R^2}{4}$ , **C 错误, D 正确**.

#### 10. BC 【解析】

根据磁聚焦原理, 粒子在半径为  $r_0$  的圆形磁场区域中运动, 粒子运动的轨迹半径为  $r_0$ , 则有  $qB_0v =$

$m \frac{v^2}{r_0}$ , 解得  $B_0 = \frac{mv}{qr_0}$ , 要使得会聚到  $O$  点

的粒子经正方形区域内的磁场偏转后

宽度变为  $2r_0$ , 且粒子仍沿水平向右射出, 作出粒子的运动轨迹如图所示, 由几何关系可知粒子的轨迹半径为  $2r_0$ , 正方形中磁

场区域应该为圆形磁场的一部分, 有  $qB_1v = m \frac{v^2}{2r_0}$ , 解得  $B_1 =$

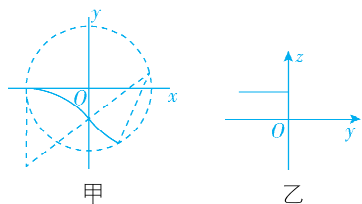
$\frac{mv}{2qr_0}$ , 比较可得  $B_1 = \frac{1}{2}B_0$ , 由左手定则可知, 方向垂直纸面向

里, 故 **A 错误, B 正确**; 如图中阴影部分所示, 磁场区域的最小面积为  $S_2 = 2(\pi-2)r_0^2$ , 故 **C 正确, D 错误**.

### 考向 39 带电粒子在复合场中的运动问题

#### 1. D 【解析】

根据左手定则知, 质子所受的洛伦兹力和磁场方向垂直, 质子始终在平行于  $xOy$  的平面内运动, 在平面  $MNPQ$  左侧做顺时针圆周运动, 在平面  $MNPQ$  右侧做逆时针圆周运动, 其运动轨迹在  $xOy$  平面的投影如图甲所示, 故 **A、B 错误**; 质子始终在平行于  $xOy$  的平面内运动,  $z$  轴坐标为正值且不变, 其运动轨迹在  $zOy$  平面的投影始终出现在  $y$  轴的负半轴, 投影可能如图乙所示, 故 **C 错误, D 正确**.



#### 2. D 【解析】

当电场强度为 0 时, 从  $O$  点射入的粒子恰能运动到  $N$  点, 则粒子的轨迹半径  $r_1 = \frac{y_0}{2}$ , 根据洛伦兹力提供向心力, 有

$qv_0B = m \frac{v_0^2}{r_1}$ , 解得  $B = \frac{2mv_0}{qy_0}$ , **A 错误**; 若粒子从  $\frac{1}{3}y_0$  处射入, 则

$x_0 = v_0t_1$ ,  $y_1 = \frac{1}{2}at_1^2$ ,  $a = \frac{Eq}{m}$ , 联立解得  $y = y_1 + \frac{y_0}{3} = \frac{y_0}{2} + \frac{y_0}{3} = \frac{5}{6}y_0 <$

$y_0$ , 由此可知, 粒子从  $N$  点下方进入磁场, **B 错误**; 设粒子进入磁场时速度方向与竖直方向的夹角为  $\theta$ , 粒子进入磁场的速度大小

为  $v$ , 则  $v = \frac{v_0}{\sin \theta}$ ,  $qvB = m \frac{v^2}{r}$ , 所以粒子在磁场中竖直方向的偏转

距离为  $d = 2r \sin \theta = y_0$ , 由此可知, 粒子在磁场中竖直方向的偏转距离相等, **C 错误**; 由以上分析可知, 粒子在电场中的竖直位移为

$y_1 = \frac{y_0}{2}$ , 所以从  $\frac{1}{2}y_0$  处射入的粒子, 恰好从  $N$  点进入磁场, 且恰

好经磁场偏转后打在  $M$  点, 即只有  $0 \sim \frac{1}{2}y_0$  范围内平行于  $x$  轴

→ **关键点**: 从  $O$  点射入的粒子, 从点  $(x_0, \frac{y_0}{2})$  射入磁场, 打在  $(x_0, \frac{3}{2}y_0)$  处

正方向射出的粒子能被接收器接收, 所以接收器接收的粒子数占粒子总数的 50%, **D 正确**.

#### 3. BCD 【解析】

设粒子在磁场中做圆周运动的圆心为  $O_1$ , 如图所示, 在  $\triangle OO_1N$  中, 由几何关系可得

$R^2 = (\sqrt{3}L)^2 + (R-L)^2$ , 解得  $R = 2L$ , 洛伦兹力提供粒子做圆周运

动的向心力, 有  $qv_0B = \frac{mv_0^2}{R}$ , 解得

$B = \frac{mv_0}{2qL}$ , **A 错误**; 由几何关系可知, 粒子从  $N$  点进入电场时速度

方向与  $y$  轴正方向的夹角  $\theta = 60^\circ$ , **B 正确**; 粒子到达  $P$  点时的速度与经过  $N$  点时的速度大小相等, 说明两点的连线为等势线, 所

→ **突破点**: 通过速度相等判断电势相等

以电场方向垂直  $N、P$  连线斜向左下, 粒子在  $N$  点时速度方向与  $N、P$  连线的夹角也为  $\theta$ , 设粒子由  $N$  点运动到  $P$  点的时间为  $t$ , 沿

$NP$  方向有  $\frac{\sqrt{3}L}{\cos \theta} = v_0t \cos \theta$ , 垂直  $NP$  方向有  $Eqt = 2mv_0 \sin \theta$ , 联立

解得  $E = \frac{mv_0^2}{4qL}$ , **C 正确**; 当粒子沿电场方向速度为零时速度最小,

$v_{\min} = v_0 \cos \theta = \frac{1}{2}v_0$ , **D 正确**.

#### 4. ACD 【解析】

先分析沿  $ab$  方向抛出的带电小球, 若小球带正电, 则小球所受电场力方向与电场强度方向相同, 重力竖直向

下, 由左手定则知小球所受洛伦兹力方向垂直  $ab$  斜向上, 小球受力可能平衡, 可能做直线运动, 若小球带负电, 则小球受力不可

能平衡, 再分析沿  $ac$  方向抛出的带电小球, 同理可知, 只有小球带负电时可能受力平衡, 可能做直线运动, 若小球做直线运动,

假设小球同时做匀加速运动, 则小球受到的洛伦兹力持续增大, 那么小球将无法做直线运动, 假设不成立, 小球做的直线运动一

定是匀速运动, 故 **A、C 正确, B 错误**; 在两小球的运动过程中, 洛伦兹力不做功, 电场力对两小球做功, 故两小球的机械能不守

恒, **D 错误**.

#### 5. CD 【解析】

把  $F$  分别沿着水平方向和竖直方向分解, 竖直方向的分力为  $F_y = F \sin 37^\circ = 0.6mg$ , 圆环的合力大小为  $F_x = F \cos 37^\circ = 0.8mg$ , 由牛顿第二定律可得圆环的加速度大小为  $a = 0.8g$ , 所以圆环的加速度不变, 做初速度为 0 的匀加速直线运

动, **A 错误**; 经过一段时间  $t$ , 拉力的冲量大小为  $I_F = Ft = mgt$ , 合力的冲量大小为  $I_{\text{合}} = F_{\text{合}}t = 0.8mgt$ , **B 错误**; 当硬杆对圆环的弹力为 0 时, 竖直方向, 由三力平衡可得  $F_y + mg = Bqv_1$ , 解得  $v_1 = \frac{8mg}{5Bq}$ , **C 正确**; 同理, 当杆对圆环的弹力向上且大小等于  $mg$  时, 有  $F_y + mg - mg = Bqv_2$ , 圆环的动量为  $p = mv_2 = \frac{3m^2g}{5Bq}$ , **D 正确**.

**6. ACD** 【解析】小球以速度  $v_0$  向右做匀速直线运动, 有  $mg = qv_0B$ , 则  $v_0 = \frac{mg}{qB}$ , **A 正确**; 对从  $O$  点向左以速率  $v_0$  的匀速圆周运动, 由洛伦兹力提供向心力有  $qv_0B = m\frac{v_0^2}{R}$ , 圆周运动的周期  $T = \frac{2\pi R}{v_0}$ , 解得  $R = \frac{mv_0}{Bq}$ ,  $T = \frac{2\pi m}{qB}$ , 小球第一次到达滚轮线最低点时, 经过的时间  $t = \frac{1}{2}T = \frac{\pi m}{qB}$ , 最低点的纵坐标为  $y = -2R = -\frac{2m^2g}{q^2B^2}$ , **B 错误**, **C 正确**; 根据运动的合成可知, 小球在最低点的速度大小为  $2v_0 = \frac{2mg}{qB}$ , **D 正确**.

**7. BC** 【解析】粒子运动过程中, 洛伦兹力始终与速度方向垂直而不做功, 根据动能定理得  $-qEs = \frac{1}{2}mv_p^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ , 解得  $v_p = \sqrt{-\frac{2qEs}{m} + v_0^2}$ , **A 错误**; 将粒子进入叠加场的初速度  $v_0$  看成是两个水平向右分速度  $v_1$ 、 $v_2$  的合成, 其中分速度  $v_1$  满足  $qv_1B = qE$ , 解得  $v_1 = \frac{E}{B}$ , 另一分速度  $v_2$  满足  $v_2 = v_0 - \frac{E}{B} = \frac{2E}{B} - \frac{E}{B} = \frac{E}{B}$ , 则粒子在电磁场中的运动可分解为以  $v_1$  水平向右做匀速直线运动和以  $v_2$  做匀速圆周运动, 其中以速率  $v_2$  做匀速圆周运动过程中由洛伦兹力提供向心力, 可知粒子运动过程受到的合力大小为  $F_{\text{合}} = qv_2B = q \cdot \frac{E}{B} = qE$ , 根据牛顿第二定律可知带电粒子的加速度大小为  $a = \frac{F_{\text{合}}}{m} = \frac{qE}{m}$ , **B 正确**; 粒子以速率  $v_2$  做匀速圆周运动过程中由洛伦兹力提供向心力, 则有  $qv_2B = m\frac{v_2^2}{r}$ , 解得  $r = \frac{mv_2}{qB} = \frac{m \cdot \frac{E}{B}}{qB} = \frac{mE}{qB^2}$ , 若  $s = \frac{mE}{qB^2} = r$ , 可知粒子从射入该区域到  $P$  点所用时间至少为  $t_{\min} = \frac{1}{4}T = \frac{1}{4} \times \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\pi m}{2qB}$ , **C 正确**; 粒子的合速度为分速度  $v_1$  与  $v_2$  的合成, 其中  $v_1$  的大小方向均保持不变,  $v_2$  的大小不变, 方向时刻发生改变, 当  $v_2$  方向与  $v_1$  方向相反时, 粒子的合速度最小, 则有  $v_{\min} = |v_1 - v_2| = \frac{E}{B} - \frac{E}{B} = 0$ , 可知粒子受到的洛伦兹力最小值为零, 而粒子受到的电场力保持不变, **D 错误**.

#### 考向 40 现代科学仪器

**1. CD** 【解析】粒子在加速电场中加速, 由动能定理可得  $U_1q = \frac{1}{2}mv^2$ , 解得  $v = \sqrt{\frac{2U_1q}{m}}$ , 粒子进入速度选择器中做匀速直线运

动, 由平衡条件可得  $\frac{U_2q}{d} = B_1qv$ , 联立可得  $\frac{q}{m} = \frac{U_2^2}{2d^2U_1B_1^2}$ , 粒子在磁场中做圆周运动, 由洛伦兹力提供向心力, 有  $B_2qv = m\frac{v^2}{D} = m\frac{2v^2}{D}$ , 又  $\frac{U_2q}{d} = B_1qv$ , 联立可得  $\frac{q}{m} = \frac{2U_2}{DdB_1B_2}$ ,  $B_2qv = m\frac{2v^2}{D}$ ,  $v = \sqrt{\frac{2U_1q}{m}}$ , 联立可得  $\frac{q}{m} = \frac{8U_1}{D^2B_2^2}$ , 故 **C、D 正确**.

**2. D** 【解析】设离子进入静电分析器时的速度为  $v$ , 离子在静电分析器中做匀速圆周运动, 电场力提供向心力, 根据牛顿第二定律得  $qE = m\frac{v^2}{R}$ , 离子在加速电场中加速的过程中, 由动能定理得  $qU = \frac{1}{2}mv^2 - 0$ , 解得  $U = \frac{1}{2}ER$ , **A 错误**; 由题意可知, 若  $q < 0$ , 则加速电场的  $M$  板电势低于  $N$  板电势, 辐向电场的方向由圆心沿半径向外, 负离子刚进入磁分析器时所受洛伦兹力方向竖直向下, 根据左手定则可知, 磁分析器中匀强磁场方向垂直于纸面向里, **B 错误**; 由  $A$  项分析知, 静电分析器通道中心线半径  $R = \frac{2U}{E}$ ,  $R$  与离子质量、电荷量无关, 所以不同离子经相同的加速电压  $U$  加速后都可以沿通道中心线通过静电分析器, 离子在磁分析器中做匀速圆周运动, 洛伦兹力提供向心力, 由牛顿第二定律得  $qvB = m\frac{v^2}{r}$ , 解得  $r = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{mER}{q}}$ , 磁分析器  $P$  点到  $Q$  点的距离  $d = 2r = \frac{2}{B}\sqrt{\frac{mER}{q}}$ , 即打在胶片上的位置到  $P$  点距离与离子的质量和电荷量有关, 则电荷量相同的离子, 若质量不同, 不能打在胶片上的同一点, **C 错误**, **D 正确**.

**3. D** 【解析】根据  $qvB = m\frac{v^2}{R}$ , 可得  $v = \frac{qBR}{m}$ , 可知氦核离开回旋加速器时的最大速率与加速电压  $U$  无关, 故 **A 错误**; 氦核被加速到最大速度时的轨迹半径为  $R$ , 则  $v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi Rf$ , 故氦核被加速后的最大速度不可能超过  $2\pi Rf$ , 故 **B 错误**; 氦核第  $n$  次和第  $(n-1)$  次经过两金属盒间狭缝后分别有  $nqU = \frac{1}{2}mv_n^2$ ,  $(n-1)qU = \frac{1}{2}mv_{n-1}^2$ , 解得  $v_n = \sqrt{\frac{2nqU}{m}}$ ,  $v_{n-1} = \sqrt{\frac{2(n-1)qU}{m}}$ , 又  $r = \frac{mv}{qB}$ , 则氦核第  $n$  次和第  $(n-1)$  次经过两金属盒间狭缝后的轨迹半径之比为  $\frac{r_n}{r_{n-1}} = \frac{v_n}{v_{n-1}} = \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{n-1}}$ , 故 **C 错误**; 回旋加速器的周期为  $T = \frac{2\pi m}{qB}$ , 由于氦核( ${}^4_2\text{He}$ )和  $\alpha$  粒子( ${}^4_2\text{He}$ )的比荷相等, 所以不改变磁感应强度  $B$  和交流电的频率  $f$ , 该回旋加速器也能加速  $\alpha$  粒子, 故 **D 正确**.

**4. (1)**  $\frac{16d}{\pi}$  **(2)**  $d\sqrt{\frac{6m}{qU}} + 24d\sqrt{\frac{2m}{qU}}$  **(3)**  $8\sqrt{\frac{2qU}{m}}$

【解析】(1) 带电粒子在电场中加速, 由动能定理得  $qU = \frac{1}{2}mv^2$ , 在磁场中做匀速圆周运动, 有  $qvB = m\frac{v^2}{r}$ ,  $r = \frac{16d}{\pi}$ .