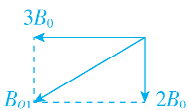


专题 11 磁场

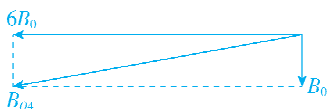
考点 44 磁场 磁感应强度 磁场对通电导体作用

1. ACD 【解析】“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，组成闭合曲线，不是地球表面任意位置的地磁场方向都与地面平行，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北南极并不重合，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。



甲



乙

3. A 【解析】线框平均分成两部分并联接入电路中，线框的等效电阻为 $R_1 = \frac{2R \cdot 2R}{2R + 2R} = R$ ，由闭合电路欧姆定律知，电路中的总电流为

$$I = \frac{E}{R_1 + r} = \frac{E}{R + r}, \text{方向从左向右通过线框, 由并联分流原理知, 通过线}$$

$$\text{框上下部分的电流均为 } I_1 = \frac{E}{2(R + r)}, \text{由左手定则知, 线框上下部分}$$

$$\text{均受向下的安培力, 则线框受到的安培力为 } F_{\text{安}} = 2BI_1d = \frac{BdE}{R + r}, \text{由}$$

$$\text{胡克定律 } F = kx \text{ 可知, 弹簧长度的变化量为 } \Delta x = \frac{F_{\text{安}}}{k} = \frac{BdE}{k(R + r)}, \text{则}$$

$$\text{此时的弹簧长度为 } L = L_1 + \Delta x = L_1 + \frac{BdE}{k(R + r)}, \text{A 正确.}$$

- 4. D** 【解析】由“同向电流吸引,反向电流排斥”知导体棒 a 和导体棒 b 对导体棒 c 都是排斥力,作用力的合力方向竖直向上,故弹簧的拉力小于导体棒 c 的重力,A 错误;导体棒 c 对导体棒 a 的作用力为斜向左下的排斥力,导体棒 b 对导体棒 a 的作用力为水平向右的吸引力,两力大小相等,夹 120° 角,合力斜向右下方,导体棒 a 受力平衡,说明桌面对导体棒 a 的摩擦力不为零,方向水平向左,同理桌面对导体棒 b 的摩擦力也不为零,方向水平向右,B 错误;选择导体棒 a 、 b 、 c 整体进行研究,由于弹簧的弹力竖直向上,桌面对整体的支持力小于 $3mg$,根据对称性可知,桌面对导体棒 a 的支持力小于 $\frac{3}{2}mg$,C 错误;若对称地缓慢增大导体棒 a 、 b 间的距离,导体棒 a 和导体棒 b 对导体棒 c 的作用力都在减小,且两力的夹角增大,故两力的合力减小,则弹簧的弹力增大,长度变长,D 正确。

考点 45 带电粒子在磁场中的运动

- 1. AD** 【解析】粒子在磁场中的轨迹如图 × 所示,由图可知,粒子的轨迹半径为 ×
 $r = \frac{L}{3}$, 根据洛伦兹力提供向心力 ×
 $qv_0B = \frac{mv_0^2}{r}$, 解得 $\frac{q}{m} = \frac{3v_0}{BL}$, 故 A 正确; 由 ×
 图知, 粒子不能运动到 Q 点, 故 B 错误; 粒子从 a 点到 P 点的时间 $t_1 = \frac{60^\circ}{360^\circ} \cdot \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\pi L}{9v_0}$, 粒子从 P 点到 M 点的时间 $t_2 = \frac{x_{PM}}{v_0} = \frac{\sqrt{3}L}{3v_0}$, 粒子从 M 点到 c 点的时间 $t_3 = \frac{180^\circ}{360^\circ} \cdot \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\pi L}{3v_0}$, 粒子第一次到达 c 点的时间为 $t = t_1 + t_2 + t_3 = \left(\frac{4\pi + 3\sqrt{3}}{9} \right) \frac{L}{v_0}$, 故 C 错误; 由图可知, 粒子第一次回到 a 点相当于 3 个从 a 到 c 的时间, 则所用的时间为 $t' = 3t = \left(\frac{4\pi + 3\sqrt{3}}{3} \right) \frac{L}{v_0}$, 故 D 正确。

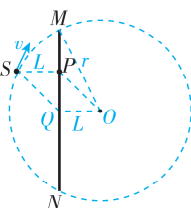
- 2. B** 【解析】 MN 上有离子经过的区域长为 $\frac{2\sqrt{3}}{3}L$, 如图所示, 根据几何关系可知, 当轨迹直径与直线 MN 恰好相交时打到最远点, 故 $(2R)^2 = L^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{3}L \right)^2$, 解得离子的圆

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 $v = \frac{\sqrt{3}kBL}{3}$, 故选 B。

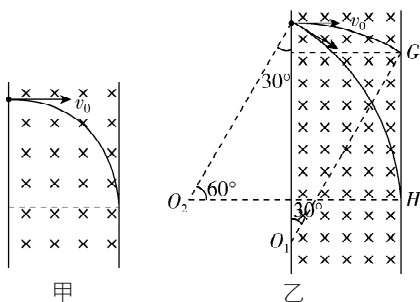
- 3. C** 【解析】粒子要打中 MN 右侧的所有位置, 有粒子从 S 飞出, 绕过距离最近的 M 点, 从右侧打中 MN 最下端的 N 点, 此时粒子的速率是满足条件的最小值, 粒子运动的轨迹如图所示, MN 为轨迹圆的弦长, Q 为 MN 的中点, $SP = PQ = L$, $MQ = 2L$, 设粒子运动的半径为 r , 根据几何关系知四边形 $SPOQ$ 为平行四边形, 则 $r^2 = OQ^2 +$

MQ^2 , 解得 $r = \sqrt{5}L$, 粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动, 洛伦兹力提供向心力, 根据牛顿第二定律知 $qvB = m \frac{v^2}{r}$, 解得粒子的最小速率为 $v =$

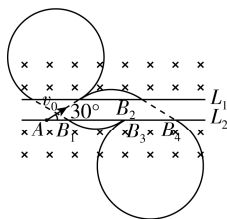
$$\frac{\sqrt{5}qBL}{m}, \text{C 正确.}$$



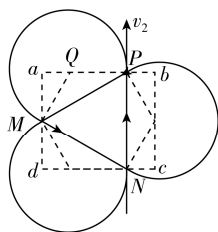
- 4. B** 【解析】电子垂直边界射入, 恰好未被 EF 吸收, 其运动轨迹如图甲所示, 由几何关系可知电子做圆周运动的半径为 d , 根据 $qvB = \frac{mv^2}{r}$ 可知, 当磁感应强度变为原来的一半时, 电子在磁场中做圆周运动的半径变为 $2d$, 速度方向改变时, 电子能够打到挡板上, 临界的运动轨迹如图乙所示, 能够吸收到电子的区域为 GH , 由几何关系可得 $GH = 2d \cos 30^\circ - 2d(1 - \cos 30^\circ) = 2(\sqrt{3} - 1)d$, B 正确.



- 5. C** 【解析】作出粒子的运动轨迹的可能情况如图所示, 由此可知, 粒子可能带正电也可能带负电, 且粒子经过 B 点时的速度一定跟在 A 点时的速度大小相等, 而速度方向可能相同, 也可能不同, 故 A、B 错误; 若只稍微增大该粒子在 A 点的初速度, 粒子仍可能经过 B 点, 故 C 正确; 设 L_1 与 L_2 之间的距离为 d , 则 A 到 B 的距离可能为 $x = \frac{2d}{\tan \theta}$ (如图中 AB_2 的距离), 若将带电粒子在 A 点时的初速度方向改为与 L_2 成 60° 角斜向右上方, 经过多个周期后仍有可能经过 B 点, 故 D 错误.



- 6. 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 N 点 ($Nc = l$), 再经过 $\frac{2}{3}$ 个圆周运动到 P 点, 速度方向与 ab 边夹角为 30° ; 接着沿直线 PM 运动到 M , 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 $t_{\min} = \frac{240^\circ}{360^\circ}T + \frac{MN}{v_2} + \frac{240^\circ}{360^\circ}T$,

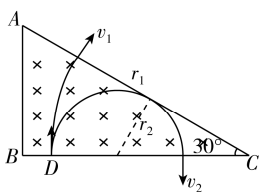
其中 $T = \frac{2\pi m}{qB_0}$, $MN = 2\sqrt{3}l$, $v_2 = \frac{2qB_0l}{m}$, 解得 $t_{\min} = \frac{(8\pi + 3\sqrt{3})m}{3qB_0}$, 故 C

正确, D 错误.

7. C 【解析】

由题意再结合左手定则可知粒子带负电,故 A 错误;根据题意作出粒子在磁场中运动的轨迹如图所示,由图

中几何关系可得 $r_1 = r_2 + \frac{r_2}{\sin 30^\circ}$, 可知粒



子在磁场中运动的半径之比 $r_1 : r_2 = 3 : 1$, 故 B 错误;根据洛伦兹力

充当向心力有 $Bqv = m \frac{v^2}{r}$, 解得粒子在磁场中运动时的速度为 $v =$

$\frac{Bqr}{m}$, 由此可知粒子在磁场中运动的速率之比等于轨迹半径之

比, 即 $v_1 : v_2 = r_1 : r_2 = 3 : 1$, 故 C 正确;根据粒子在磁场中运动的

轨迹可知, 一个在磁场中偏转了 30° , 另一个在磁场中偏转了

180° , 而同一种粒子在相同磁场中运动的周期为 $T = \frac{2\pi m}{qB}$, 周期

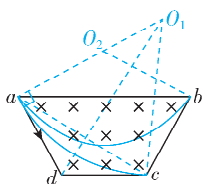
8. BC 【解析】

粒子的运动轨迹如图所示, 由

几何关系可知, 当粒子从 c 点飞出时, 半径

为 $r_1 = ac = \sqrt{3}l$, 粒子从 b 点飞出时, 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

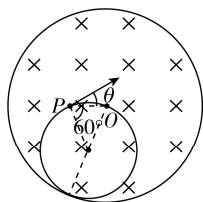
9. C 【解析】

如图, 当电子的运动轨迹与磁场

边界相切时, 根据 $evB = m \frac{v^2}{r}$, 得 $v = \frac{eBr}{m}$, 电子

运动半径最大, 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 $v =$

$\frac{21eBR}{40m}$, 故选 C.

10. A 【解析】

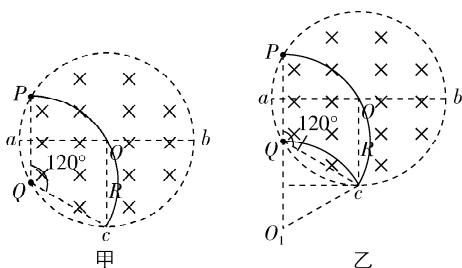
作出从 P 点射入的粒子的运动轨迹如图甲所示, 由

几何关系易知, Q 点为做圆周运动的圆心, 圆心角 $\angle PQc = 120^\circ$,

让粒子从 Q 点射入磁场, 根据平移法得出粒子运动轨迹如图

乙, 由几何关系得 $\angle QO_1c = 60^\circ$, 粒子在磁场中运动的周期 $T =$

$\frac{2\pi m}{qB}$, 则运动的时间为 $t = \frac{60^\circ}{360^\circ} \times T$, 联立解得 $t = \frac{\pi m}{3qB}$, A 正确.



11. AC 【解析】

由题意可知, 要使所有的粒子都不能穿出磁场, 当磁感应强度 B 取到最小值时, 以与内圆相切的方向进入磁场的粒子在磁场中运动的轨迹刚好与外圆相切, 如图所示, 由几何知识可知, 粒子

运动轨迹的半径 $r = \frac{R_2 - R_1}{2}$, 粒子在磁场中做圆周运动时由洛伦兹力提供向心力, 由牛顿第二定律得 $qvB = m \frac{v^2}{r}$, 又粒子比荷为

k , 联立解得 $B = \frac{2v}{k(R_2 - R_1)}$, 所以要使粒子不离开磁场, 则有 $B \geq$

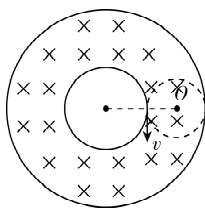
$\frac{2v}{k(R_2 - R_1)}$, 由于 $R_1 < R_2$, 因此 $\frac{2R_2 v}{k(R_2^2 - R_1^2)} = \frac{2v}{k(R_2 - R_1)} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_1} <$

$\frac{2v}{k(R_2 - R_1)}$, 故 A、C 正确, B、D 错误.

【解析】设圆形磁场区域的半径为 R , 粒子的质量为 m , 电荷量绝对值为 q , 粒子在磁场中做匀速圆周运动, 由洛伦兹力提供向心力, 则有 $qvB = \frac{mv^2}{r}$, 解得粒子的轨迹半径为 $r = \frac{mv}{qB}$, 粒子运动的周期为 $T = \frac{2\pi m}{qB}$. 粒子射入第一个圆形磁场后, 从 P 点射入第二个圆形磁场, 粒子在磁场中转过的角度为 60° , 其轨迹半径 $r_1 =$

$\frac{R}{\tan 30^\circ} = \sqrt{3}R$, 同理可得, 粒子在第二个圆形磁场中转过的角度为 120° , 其轨迹半径 $r_2 = \frac{R}{\tan 60^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{3}R$, 粒子从 M 点射入第三个圆形磁场中, 射出时恰好过三角形 $O_1 O_2 O_3$ 的几何中心 O 点, 则粒子在第三个圆形磁场中转过的角度为 150° , 其轨迹半径 $r_3 =$

$\frac{R}{\tan 75^\circ} = (2 - \sqrt{3})R$, 则粒子在三个区域中做圆周运动的轨迹半径之比 $r_1 : r_2 : r_3 = 3 : 1 : (2\sqrt{3} - 3)$, 故 A 错误; 由洛伦兹力提供向心力有 $qvB = m \frac{v^2}{r}$, 可得 $B = \frac{mv}{qr}$, 则三个区域中磁感应强度大小之比 $B_1 : B_2 : B_3 = 1 : 3 : (3 + 2\sqrt{3})$, 故 B 错误; 粒子在磁场中运动的时间 $t = \frac{\theta}{2\pi} T$, 且 $T = \frac{2\pi r}{v}$, 则粒子在三个区域中做圆周运动的周期之比 $T_1 : T_2 : T_3 = 3 : 1 : (2\sqrt{3} - 3)$, 故粒子在三个区域中做圆



12. C 【解析】

【解析】设圆形磁场区域的半径为 R , 粒子的质量为 m , 电荷量绝对值为 q , 粒子在磁场中做匀速圆周运动, 由洛伦兹力提供向心力, 则有 $qvB = \frac{mv^2}{r}$, 解得粒子的轨迹半径为 $r = \frac{mv}{qB}$, 粒子运动的周期为 $T = \frac{2\pi m}{qB}$. 粒子射入第一个圆形磁场后, 从 P 点射入第二个圆形磁场, 粒子在磁场中转过的角度为 60° , 其轨迹半径 $r_1 =$

$\frac{R}{\tan 30^\circ} = \sqrt{3}R$, 同理可得, 粒子在第二个圆形磁场中转过的角度为 120° , 其轨迹半径 $r_2 = \frac{R}{\tan 60^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{3}R$, 粒子从 M 点射入第三个圆形磁场中, 射出时恰好过三角形 $O_1 O_2 O_3$ 的几何中心 O 点, 则粒子在第三个圆形磁场中转过的角度为 150° , 其轨迹半径 $r_3 =$

$\frac{R}{\tan 75^\circ} = (2 - \sqrt{3})R$, 则粒子在三个区域中做圆周运动的轨迹半径之比 $r_1 : r_2 : r_3 = 3 : 1 : (2\sqrt{3} - 3)$, 故 A 错误; 由洛伦兹力提供向心力有 $qvB = m \frac{v^2}{r}$, 可得 $B = \frac{mv}{qr}$, 则三个区域中磁感应强度大小之比 $B_1 : B_2 : B_3 = 1 : 3 : (3 + 2\sqrt{3})$, 故 B 错误; 粒子在磁场中运动的时间 $t = \frac{\theta}{2\pi} T$, 且 $T = \frac{2\pi r}{v}$, 则粒子在三个区域中做圆周运动的周期之比 $T_1 : T_2 : T_3 = 3 : 1 : (2\sqrt{3} - 3)$, 故粒子在三个区域中做圆

【解析】设圆形磁场区域的半径为 R , 粒子的质量为 m , 电荷量绝对值为 q , 粒子在磁场中做匀速圆周运动, 由洛伦兹力提供向心力, 则有 $qvB = \frac{mv^2}{r}$, 解得粒子的轨迹半径为 $r = \frac{mv}{qB}$, 粒子运动的周期为 $T = \frac{2\pi m}{qB}$. 粒子射入第一个圆形磁场后, 从 P 点射入第二个圆形磁场, 粒子在磁场中转过的角度为 60° , 其轨迹半径 $r_1 =$

$\frac{R}{\tan 30^\circ} = \sqrt{3}R$, 同理可得, 粒子在第二个圆形磁场中转过的角度为 120° , 其轨迹半径 $r_2 = \frac{R}{\tan 60^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{3}R$, 粒子从 M 点射入第三个圆形磁场中, 射出时恰好过三角形 $O_1 O_2 O_3$ 的几何中心 O 点, 则粒子在第三个圆形磁场中转过的角度为 150° , 其轨迹半径 $r_3 =$

$\frac{R}{\tan 75^\circ} = (2 - \sqrt{3})R$, 则粒子在三个区域中做圆周运动的轨迹半径之比 $r_1 : r_2 : r_3 = 3 : 1 : (2\sqrt{3} - 3)$, 故 A 错误; 由洛伦兹力提供向心力有 $qvB = m \frac{v^2}{r}$, 可得 $B = \frac{mv}{qr}$, 则三个区域中磁感应强度大小之比 $B_1 : B_2 : B_3 = 1 : 3 : (3 + 2\sqrt{3})$, 故 B 错误; 粒子在磁场中运动的时间 $t = \frac{\theta}{2\pi} T$, 且 $T = \frac{2\pi r}{v}$, 则粒子在三个区域中做圆周运动的周期之比 $T_1 : T_2 : T_3 = 3 : 1 : (2\sqrt{3} - 3)$, 故粒子在三个区域中做圆

【解析】设圆形磁场区域的半径为 R , 粒子的质量为 m , 电荷量绝对值为 q , 粒子在磁场中做匀速圆周运动, 由洛伦兹力提供向心力, 则有 $qvB = m \frac{v^2}{r}$, 解得粒子的轨迹半径为 $r = \frac{mv}{qB}$, 粒子运动的周期为 $T = \frac{2\pi m}{qB}$. 粒子射入第一个圆形磁场后, 从 P 点射入第二个圆形磁场, 粒子在磁场中转过的角度为 60° , 其轨迹半径 $r_1 =$

$\frac{R}{\tan 30^\circ} = \sqrt{3}R$, 同理可得, 粒子在第二个圆形磁场中转过的角度为 120° , 其轨迹半径 $r_2 = \frac{R}{\tan 60^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{3}R$, 粒子从 M 点射入第三个圆形磁场中, 射出时恰好过三角形 $O_1 O_2 O_3$ 的几何中心 O 点, 则粒子在第三个圆形磁场中转过的角度为 150° , 其轨迹半径 $r_3 =$

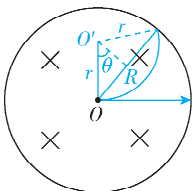
$\frac{R}{\tan 75^\circ} = (2 - \sqrt{3})R$, 则粒子在三个区域中做圆周运动的轨迹半径之比 $r_1 : r_2 : r_3 = 3 : 1 : (2\sqrt{3} - 3)$, 故 A 错误; 由洛伦兹力提供向心力有 $qvB = m \frac{v^2}{r}$, 可得 $B = \frac{mv}{qr}$, 则三个区域中磁感应强度大小之比 $B_1 : B_2 : B_3 = 1 : 3 : (3 + 2\sqrt{3})$, 故 B 错误; 粒子在磁场中运动的时间 $t = \frac{\theta}{2\pi} T$, 且 $T = \frac{2\pi r}{v}$, 则粒子在三个区域中做圆周运动的周期之比 $T_1 : T_2 : T_3 = 3 : 1 : (2\sqrt{3} - 3)$, 故粒子在三个区域中做圆

周运动所用时间之比 $t_1:t_2:t_3=6:4:(10\sqrt{3}-15)$, 故 C 正确; 粒子做圆周运动的加速度 $a=\frac{qvB}{m}$, 则粒子在三个区域中做圆周运动的向心加速度大小之比 $a_1:a_2:a_3=1:3:(3+2\sqrt{3})$, 故 D 错误.

13. AD 【解析】如图所示, 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° , 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° , 则

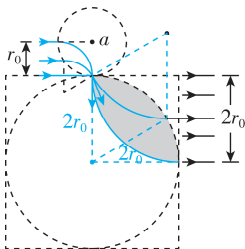
粒子在磁场中运动的时间为 $t'=\frac{1}{3}T=\frac{1}{3}\times\frac{2\pi m}{qB}=\frac{2\pi m}{3qB}$, C 错

误, D 正确.

14. 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 $B_0=\frac{mv}{qr_0}$, 要使汇聚到 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.

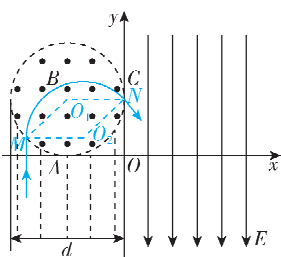
15. AC 【解析】粒子在磁场中做圆周

运动的过程中由洛伦兹力提供向

心力, 则有 $qv_0B=\frac{mv_0^2}{r}$, 解得 $r=$

$\frac{mv_0}{qB}=\frac{2.0\times 10^{-6}\times 1.0\times 10^3}{2\times 10^{-2}}\text{ m}=$

0.1 m , 任意画一条运动轨迹如图,



设粒子在磁场中的入射点为 M, 出射点为 N, 因为粒子做圆周运

动的半径等于磁场半径, 故四边形 O_1MO_2N 为菱形, 所以 $O_1N\parallel$

MO_2 , 即 O_1N 沿 x 轴正方向, N 点与 C 点重合, 故所有进入磁场

中偏转的粒子最后都经 C 点进入电场, 故 A 正确; 由上述分析

可知, 粒子进入磁场中偏转后经过 C 点的速度方向不一定平行

于 x 轴,故 B 错误;从 $x=-0.1\text{ m}$ 处进入的粒子在磁场中偏转后经 C 点平行于 x 轴进入电场,粒子在电场中做类平抛运动,则有 $a=\frac{qE}{m}$, $y=r=\frac{1}{2}at^2$, $x=v_0t$, 联立可得 $x=0.5\text{ m}$, 故 C 正确, D 错误.

考点 46 带电粒子在磁场中运动的临界、多解问题

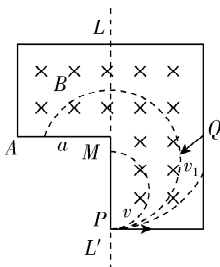
1. AC 【解析】由粒子源 P 发射的粒子轨迹的圆心在图(a)中虚线 LL' 上,如图所示,由 $qBv=m\frac{v^2}{r}$ 可知 $r=\frac{mv}{qB}$, 轨迹半径 r 随速度的

增大而增大. 当 $r\leq\frac{a}{2}$ 时, 粒子能够到达 MP 之间; 当 $\frac{a}{2}<r\leq a$

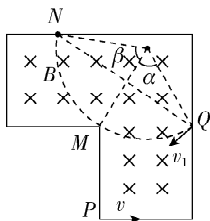
时, 粒子能够到达 MA 之间; 当 $r>a$ 时, 粒子能够到达 Q 点的正下方的边界上, A 正确, B 错误; 由粒子源 Q 发射的粒子, 速率相同, 将 $v_1=\frac{qBa}{m}$ 代入 $qBv_1=m\frac{v_1^2}{r}$, 可得 $r=a$, 如图(b)所示, 粒子首次到达 M 点的时间最短, 由几何关系知 $\alpha=60^\circ$, 则 $t_{\min}=\frac{1}{6}T=$

$\frac{1}{6}\cdot\frac{2\pi a}{v_1}=\frac{\pi m}{3qB}$, 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 $\beta<180^\circ$, 所以 $t_{\max}<\frac{\pi m}{qB}$, 故

C 正确, D 错误.



图(a)



图(b)

2. (1) 0.2 N/C 5 m/s (2) $\frac{5\pi}{4}\text{ m}$ (3) $\frac{\sqrt{17}}{8}\text{ m}$

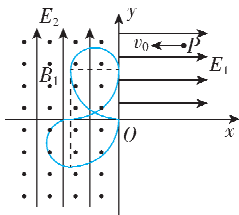
【解析】(1) 对带电液滴由动量定理可知, 在水平方向上有 $-qE_1\cdot t_1=0-mv_0$, 解得 $E_1=0.2\text{ N/C}$, 在竖直方向上有 $mg\cdot t_1=mv-0$, 解得 $v=5\text{ m/s}$.

(2) 液滴通过 O 点后, 由 $qE_2=mg$ 可知, 液滴将仅在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动, 由 $qvB=m\frac{v^2}{r}$, $T=\frac{2\pi r}{v}$, 解得, 磁感应强度大小为 B_0

时, 有 $T_1=\frac{\pi}{5}\text{ s}$, $r_1=0.5\text{ m}$, 磁感应强度大小为 $2B_0$ 时, 有 $T_2=\frac{\pi}{10}\text{ s}$,

$r_2=0.25\text{ m}$, $0\sim\frac{\pi}{4}\text{ s}$ 内液滴的运动轨迹如图所示, 则 $s=3\times\frac{1}{4}\times 2\pi r_1+$

$2\times\frac{1}{2}\times 2\pi r_2$, 解得 $s=\frac{5\pi}{4}\text{ m}$.



(3) 只有磁场 B_2 存在时,液滴在水平方向上做匀速圆周运动,则

周期 $T_3 = \frac{2\pi m}{qB_2} = \frac{\pi}{10}$ s, 半径 $r_3 = \frac{mv}{qB_2} = 0.25$ m, 液滴在竖直方向上做

自由落体运动, 经过 $t' = \frac{\pi}{20}$ s 沿 y 轴下落的高度为 $y = \frac{1}{2}gt'^2$, 经过

$t' = \frac{\pi}{20}$ s 后距 O 点的距离为 $s' = \sqrt{y^2 + (2r_3)^2}$, 解得 $s' \approx \frac{\sqrt{17}}{8}$ m.

一题多解

(1) 带电液滴在第 I 象限内, 在水平方向上做匀减速直线运动, 则有 $qE_1 = ma$, $v_0 = at_1$, 在竖直方向上做自由落体运动, 则有 $v = gt_1$, 解得 $E_1 = 0.2$ N/C, $v = 5$ m/s.

3. 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, 在 bc 边中点射出的粒子轨迹如图中实线所示, 由几何关系可

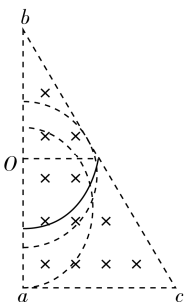
得 $r = \frac{L}{4}$, 则粒子的入射速度 $v = \frac{BqL}{4m}$, A 正确,

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 $t = \frac{2\pi m}{3Bq}$, D 错误.



4. CD 【解析】

带电粒子在磁场中的运动半径 $r = \frac{mv}{qB} = d$, A 错误; 设从某处 E

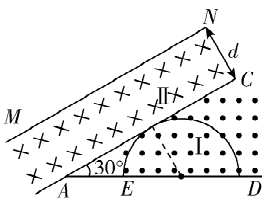
进入磁场的粒子, 其轨迹恰好与 AC 相切 (如图所示), 则 E 点距 A 点的距

离为 $2d - d = d$, 粒子在距 A 点 $0.5d$ 处射入, 会进入 II 区域, B 错误; 粒子在距 A 点 $1.5d$ 处射入, 不会进入 II 区域, 在 I 区域内的

轨迹为半圆, 运动的时间为 $t = \frac{T}{2} = \frac{\pi m}{qB}$, C 正确; 进入 II 区域的粒

子, 轨迹弦长最短的对应的粒子运动时间最短, 从 A 点进入 II 区域的粒子轨迹弦长最短且最短弦长为 d , 对应的圆心角为 60° , 最

短时间为 $t_{\min} = \frac{T}{6} = \frac{\pi m}{3qB}$, D 正确.



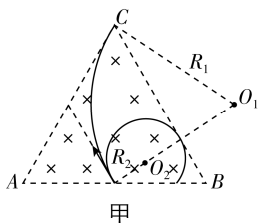
5. ABD 【解析】

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, 作出运动轨迹如图甲所示, 由几何关系有 $R_1 \sin 30^\circ =$

$R_1 - a \cos 30^\circ$, 解得轨迹半径 $R_1 = \sqrt{3}a$,

根据 $qvB = m \frac{v^2}{R}$, 解得最大速度为 $v_{\max} = \frac{\sqrt{3}Bqa}{m}$, A 正确; 当从 BC 边

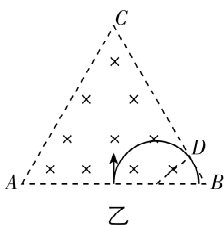
射出的粒子的速率最小时, 半径最小, 此时轨迹与 BC 边相切, 如



图甲所示, 轨迹半径 $R_2 = \frac{1}{2}a \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{4}$

a , 根据 $qvB = m \frac{v^2}{R}$, 解得最小速率为

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

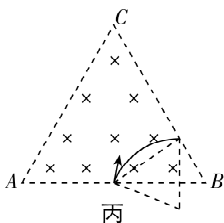


边射入, 则当轨迹与 BC 边相切时, 射出点到 B 点的距离最近, 如图乙所示, 设此时轨迹半径为 r , 则有 $r +$

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

$\sqrt{3})a$, 则粒子不可能从 BC 边上距 B 点

$\frac{2-\sqrt{3}}{3}a$ 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

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 $t = \frac{\theta}{2\pi} \cdot \frac{2\pi m}{qB} =$

$\frac{\pi m}{3Bq}$, D 正确.

6. BC 【解析】质子带正电, 可能的轨迹如图所示, $\angle A = 60^\circ$, 射出

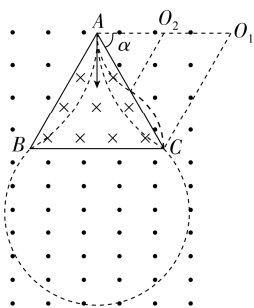
方向沿 $\angle A$ 的平分线, 所以 $\alpha = 60^\circ$, 则

轨迹的圆心角为 60° , 半径的可能值为

$r = \frac{L}{n} (n = 1, 2, 3, \dots)$, 由洛伦兹力提

供向心力可得 $qvB = m \frac{v^2}{r}$, $v = \frac{qBr}{m} = \frac{BkL}{n}$

$(n = 1, 2, 3, \dots)$, 当 $n = 2$ 时, $v = \frac{BLk}{2}$, A



错误, B 正确; 质子运动的周期为 $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB} = \frac{2\pi}{kB}$, 可能的轨

迹如图所示, 则最少时间为半径为 L 或 $\frac{L}{2}$ 的圆周运动, 圆心角

$\theta = \frac{7}{3}\pi$, 则质子再次通过 A 点需要的时间可能为 $t = \frac{\theta}{2\pi} T = \frac{7\pi}{3kB}$,

C 正确; 由质子运动的可能轨迹可知, 半径为 $\frac{L}{4}$ 的质子不能再

次通过 A 点, D 错误.

7. B 【解析】根据 $Bqv = m \frac{v^2}{r}$, 得 $v = \frac{Bqr}{m}$, 当粒子轨迹刚好与 AB 板

相切时, 半径最小, 速率最小, 如图甲所示, 根据几何关系可得 $r +$

$r \cos 30^\circ = l$, 解得 $r = \frac{l}{1 + \cos 30^\circ} = 2(2 - \sqrt{3})l$, 可得击中 AB 板的最

小速率为 $v = 2(2 - \sqrt{3}) \frac{qBl}{m}$, 故 A 错误; 粒子运动轨迹经过 B 点

时, 圆心角最小, 运动时间最短, 如图乙所示, 由几何关系, 圆心

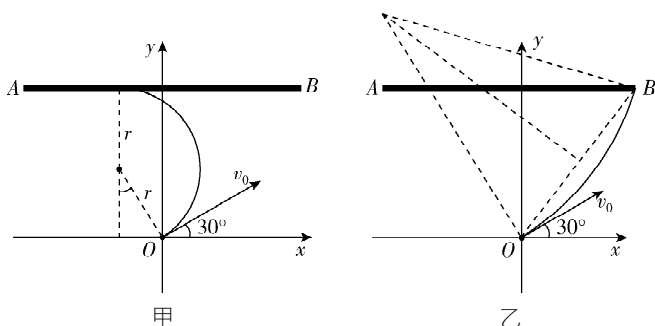
角为 30° , 击中 AB 板的粒子最短时间为 $t = \frac{30^\circ}{360^\circ} \times \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\pi m}{6qB}$, 故 B

正确; 若向各个方向发射的粒子速率大小为 $\frac{qBl}{m}$, 根据 $Bqv = m \frac{v^2}{r}$, 粒子的运动半径为 $r = l$, 则粒子能击中 AB 板所有位置, 击

中 AB 板的长度为 $2l$, 故 C 错误; 由 C 选项分析知, 粒子运动时间最短对应轨迹的弦长最短且最短弦长为 l , 粒子击中 AB 板中点,

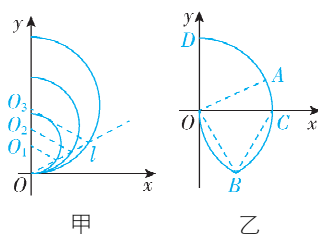
圆心角为 60° , 击中 AB 板的最短时间为 $t' = \frac{60^\circ}{360^\circ} \times \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\pi m}{3qB}$, 故

D 错误。



8. A 【解析】离子进入磁场中做圆周运动的最大半径为 $R =$

$\frac{mv_m}{Bq} = 1 \text{ m}$, 如图甲所示, 由几何关系可知, 离子打到 y 轴上的范围为 $0 \sim 2 \text{ m}$, 故 A 错误; 离子



在磁场中运动的周期 $T = \frac{2\pi m}{Bq} = \pi \times 10^{-6} \text{ s}$, 经过 $t = \frac{5}{3} \pi \times 10^{-7} \text{ s}$, 这

些离子轨迹所对应的圆心角为 $\theta = \frac{2\pi t}{T} = \frac{\pi}{3}$, 这些离子的轨迹末端在过 O 点的虚线 l 上, 如图甲所示, 并令某一离子在此时刻的坐标

为 (x, y) , 则 $x = r \sin \theta$, $y = r(1 - \cos \theta)$, 可得 $y = \frac{\sqrt{3}}{3}x \left(0 \leq x \leq \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ m} \right)$,

故 B 正确; 如图乙, 将图中的 OA 段 (即选项 B 中所确定的线段) 从沿 y 轴正方向顺时针旋转, 在 x 轴上找一点 C , 以 C 为圆心、 R 为半径作圆弧, 两圆弧相交于 B , 则两圆弧与 y 轴所围成的面积

即为在 $t = \frac{5}{3} \pi \times 10^{-7} \text{ s}$ 时间内向 y 轴右侧各个方向放射各种速率

的离子可能出现的区域面积, 由几何关系可求得此面积为 $S =$

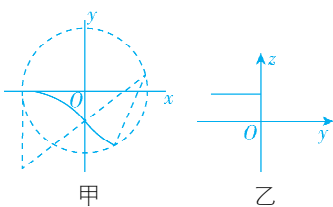
$\frac{5}{12} \pi R^2 + \frac{1}{6} \pi R^2 - \frac{1}{2} R \times \frac{\sqrt{3}}{2} R = \left(\frac{7}{12} \pi - \frac{\sqrt{3}}{4} \right) \text{ m}^2$, 故 C 正确; 因相同速

率的离子在磁场中运动轨迹半径相同, 经过相等时间转过的圆心角相同, 则通过的弧长相同, 弦长 (即始末位置连线) 长度也相同, 故都位于以入射点为圆心的同一圆周上, 由以上分析可知, 同时沿同向放射的不同速率的离子总位于同过原点的直线上, 故 D 正确。本题选错误的, 故选 A。

考点 47 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 $MNPQ$ 的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】粒子从 M 点由静止释放经

过电场加速到第一次经过 x 轴的过程

中有 $qEd = \frac{1}{2}mv_1^2$, 得 $v_1 = \sqrt{\frac{2qEd}{m}} = 4 \times$

10^4 m/s, 故 A 错误; 根据题意画出粒子

的运动轨迹如图所示, 设粒子经过电场加速一次后在磁场中的运动

半径 r_1 , 由洛伦兹力提供向心得 $qv_1B = \frac{mv_1^2}{r_1}$, 得 $r_1 = \frac{mv_1}{qB} = \frac{10^{-6} \times 4 \times 10^4}{0.4}$

m = 0.1 m, 同理可知, 粒子经过电场加速两次后有 $2qEd = \frac{1}{2}mv_2^2$, 得

$v_2 = \sqrt{\frac{4qEd}{m}} = 4\sqrt{2} \times 10^4$ m/s, 在磁场中的运动半径 $r_2 = \frac{mv_2}{qB} =$

$\frac{10^{-6} \times 4\sqrt{2} \times 10^4}{0.4}$ m = $0.1\sqrt{2}$ m, 由图可知, 粒子第三次经过 y 轴时速度

方向与 y 轴不垂直, 粒子第三次经过 y 轴时的位置坐标不为 (0, 0.2

m), 故 B、C 错误; 粒子在磁场中运动的周期为 $T = \frac{2\pi m}{qB} = \frac{2\pi \times 10^{-6}}{0.4}$ s =

$5\pi \times 10^{-6}$ s, 粒子在电场中第一次加速的时间为 $t_1 = \frac{d}{v} = \frac{d}{v_1} = \frac{0.4}{4 \times 10^4}$

s = 1×10^{-5} s, 粒子在电场中第二次加速的时间为 $t_2 = \frac{d}{v'} = \frac{d}{v_1 + v_2} =$

$\frac{0.4}{4 \times 10^4 + 4\sqrt{2} \times 10^4}$ s, 粒子在电场中第三次加速的时间为 $t_3 = \frac{d}{v''} =$

$\frac{d}{v_2 + v_3} = \frac{0.4}{4\sqrt{2} \times 10^4 + 4\sqrt{3} \times 10^4}$ s, 粒子在无电场和磁场区域做匀速直线运

动时间分别为 $t'_1 = \frac{d}{v_1}$ 、 $t'_2 = \frac{d}{v_2}$, 则粒子从开始释放到第五次经过 x

轴所用的时间为 $t = 2T + t_1 + t_2 + t_3 + t'_1 + t'_2 = \left(\frac{2 + \sqrt{2}}{4} + \sqrt{3} + \pi \right) \times 10^{-5}$ s,

故 D 正确.

3. (1) $\frac{mv_0^2}{3q}$ (2) 60° (3) 见解析

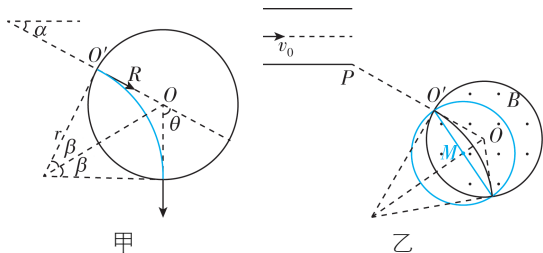
【解析】(1) 设板间距离为 d , 则板长 $l = \sqrt{3}d$, 粒子在匀强电场中做类平抛运动, 在水平方向上有 $\sqrt{3}d = v_0 t$, 在竖直方向上有 $qE = ma$, $\frac{1}{2}d = \frac{1}{2}at^2$, 又 $U = Ed$, 联立解得 $U = \frac{mv_0^2}{3q}$.

(2) 设粒子从 P 点离开电场时速度方向与初速度方向的夹角为 α , 则有 $\tan \alpha = \frac{d}{l}$, 解得 $\alpha = 30^\circ$, 设粒子从 P 点离开电场时速度为 v , 则 $v = \frac{v_0}{\cos 30^\circ}$, 粒子在磁场中运动时由洛伦兹力提供向心力, 有 $qvB = \frac{mv^2}{r}$, 解得 $r = \frac{2\sqrt{3}mv_0}{3qB}$. 粒子在磁场中运动轨迹如图甲所示, 速度偏转角为 θ , 设轨迹所对应的圆心角为 2β , 则有 $\theta = 2\beta$,

由几何关系得, 磁场圆半径 R 与运动轨迹半径 r 满足 $\tan \beta = \frac{R}{r}$,

联立解得 $\theta = 60^\circ$.

(3) 当弦长越长时, 对应的圆心角越大, 粒子在磁场中运动时间越长, 故当粒子在磁场中运动时轨迹的半径不变, 运动时间最长时轨迹对应的弦长最长, 为圆形磁场的直径, 即从 O' 进入磁场, 从直径另外一端离开磁场, 运动轨迹和相应的弦如图乙所示.



4. C 【解析】设小球的质量为 m , 半圆形轨道的半径为 R , 由于洛伦兹力不做功, 根据动能定理可得小球到达 P 点和 M 点时的速度 $v_P = v_M = \sqrt{2gR}$, 在电场中时, 有 $mgR - qER = \frac{1}{2}mv_N^2$, 解得 $v_N =$

$\sqrt{2gR - \frac{2qER}{m}}$, 可知 $v_P = v_M > v_N$, A 错误; 小球第一次到达最低点

时, 有 $F'_P - mg = m \frac{v_P^2}{R}$, $F'_M - mg - Bqv_M = m \frac{v_M^2}{R}$, $F'_N - mg = m \frac{v_N^2}{R}$, 可知

$F'_M > F'_P > F'_N$, 由牛顿第三定律得小球第一次到达轨道最低点时对轨道的压力 $F_M > F_P > F_N$, B 错误; 根据 A 项分析可知, 三球第一次运动的轨道最低点时, 在电场中运动的小球的速度小于其他两个小球, 且在磁场中运动的小球的速度等于在无场真空中运动的小球的速度, 所以小球从开始运动到第一次到达轨道最低点所用的时间关系为 $t_P = t_M < t_N$, C 正确; 在真空和磁场中运动的两球机械能守恒, 能到达右端等高点, 由于电场中小球向右运动时, 电场力做负功, 在电场中运动的小球不能到达右端等高点, 但三个球都能回到原来的出发点位置, D 错误.

5. D 【解析】圆环最终做匀速直线运动, 故最终洛伦兹力与重力等大反向, 即弹力为零. 由左手定则可知, 一开始圆环所受洛伦

兹力的方向竖直向上,匀速时仍然竖直向上,故而洛伦兹力一开始大于重力,弹力方向竖直向下,有 $qvB = N + mg$,又因为摩擦力与相对运动方向相反,物体加速度方向沿杆往左,故物体做减速运动.在减速过程中,弹力逐渐减小到零,弹力方向未发生改变,故 B 错误;在减速阶段,圆环所受摩擦力为 $f = \mu N = \mu(qvB - mg)$,加速度为 $a = \frac{f}{m} = \frac{\mu(qvB - mg)}{m}$,随着速度的减小,加速度逐渐减小,物体做加速度减小的减速运动,故 A 错误;当匀速时,洛伦兹力与重力等大反向,则有 $qv_1B = mg$,解得 $v_1 = \frac{mg}{qB}$,在减速过程中只有摩擦力做负功,故有 $W_f = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}m \cdot \left(\frac{mg}{qB}\right)^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{m^3g^2}{2q^2B^2} - \frac{1}{2}mv_0^2$,故 C 错误;在减速过程中,摩擦力始终等于合外力,故有 $I_f = mv_1 - mv_0 = \frac{m^2g}{qB} - mv_0$,又因为圆环做减速运动,末速度小于初速度,故摩擦力冲量的大小为 $mv_0 - \frac{m^2g}{qB}$,故 D 正确.

6. (1) 2 m/s (2) 3 N,方向竖直向下 (3) $12n^2\pi^2 m (n=1,2,3,\dots)$

【解析】(1) A 球从 O' 飞出后,在洛伦兹力的作用下做匀速圆周运动,轨迹半径 $r = \frac{R}{2}$,由洛伦兹力提供向心力有 $|q_1|v_A B = \frac{m_1 v_A^2}{r}$,解得 A 球的初速度大小 $v_A = 2 \text{ m/s}$.

(2) 设 B 球滑到 O 点时的速度为 v_B ,由动能定理有 $q_2 ER = \frac{1}{2}m_2 v_B^2$,解得 $v_B = 4 \text{ m/s}$,A、B 球在 O 点发生完全非弹性碰撞,设碰后组合成的 C 球的质量为 m_C ,速度大小为 v_1 ,以 x 轴正方向为正方向,则 $m_C = m_1 + m_2$,由动量守恒定律有 $m_2 v_B - m_1 v_A = m_C v_1$,解得 $v_1 = 2 \text{ m/s}$,在碰后瞬间,C 球做圆周运动,设管道对 C 球的支持力为 N ,C 球所带电荷量 $q = q_1 + q_2 = 1 \text{ C}$,则 $N - Eq + qv_1 B = \frac{m_C v_1^2}{R}$,解得 $N = 3 \text{ N}$,由牛顿第三定律可得 C 球对管道的压力为 3 N,方向竖直向下.

(3) C 球从管道飞出后,受到竖直向下的电场力和垂直纸面向外的洛伦兹力,在电场力作用下,C 球在竖直方向做初速度为零的匀加速直线运动,在洛伦兹力作用下,C 球在水平方向做匀速圆周运动,每隔一个周期 T ,C 球回到 y 轴上,设 C 球做圆周运动的轨迹半径为 R_C ,由 $qv_1 B = \frac{m_C v_1^2}{R_C}$ 及 $T = \frac{2\pi R_C}{v_1}$,解得 C 球做圆周运动的周期 $T = \frac{2\pi m_C}{qB}$,C 球在竖直方向上的加速度 $a = \frac{Eq}{m_C}$,C 球回到 y 轴时的坐标 $y = -\frac{1}{2}a(nT)^2 (n=1,2,3,\dots)$,则 C 球又回到 y 轴时离 O 点的距离为 $d = -y = 12n^2\pi^2 m (n=1,2,3,\dots)$.

考点 48 现代科学仪器

1. B 【解析】在右侧磁场区域,根据左手定则可以判断,离子 a 带正电,离子 b 带负电,在电磁场区域做匀速直线运动,则电场力等于

洛伦兹力,离子 a 带正电,则洛伦兹力方向向上,电场力方向向下,场强方向向下,所以板 M 带正电,板 N 带负电,对离子 b 分析也得到相同结论,故 A 错误,B 正确;在电场区域做匀速直线运动,则电场力等于洛伦兹力,则有 $Bqv = Eq$,解得 $v = \frac{E}{B}$,两者的速度大小相同,但在右侧磁场中,离子 a 的路程小,所以运动时间小于离子 b 的运动时间,故 C 错误;洛伦兹力与速度垂直,不做功,故 D 错误.

2. C 【解析】若粒子带正电,受到的电场力方向竖直向下,洛伦兹力方向竖直向上,若粒子带负电,受到的电场力方向竖直向上,洛伦兹力方向竖直向下,只要速度满足一定条件都能沿中线射出,故无法判断带电粒子的电性,故 A 错误;如果 $qvB = qE$,即 $v = \frac{E}{B}$,带电粒子可以从 Q 点沿中线射出,如果速度为 $v > \frac{E}{B}$ 或 $0 < v < \frac{E}{B}$,则电场力的大小不变,洛伦兹力的大小改变,粒子做曲线运动,若板长及板间距离符合条件,粒子可能从 Q 点射出,故 C 正确,B、D 错误.

3. CD 【解析】粒子在加速电场中加速,由动能定理可得 $U_1 q = \frac{1}{2}mv^2$,解得 $v = \sqrt{\frac{2U_1 q}{m}}$,粒子进入速度选择器中做直线运动,由平衡条件可得 $\frac{U_2 q}{d} = B_1 qv$,联立可得 $\frac{q}{m} = \frac{U_2^2}{2d^2 U_1 B_1^2}$,粒子在磁场中做圆周运动,由洛伦兹力充当向心力,有 $B_2 qv = m \frac{v^2}{D} = m \frac{2v^2}{D}$,又 $\frac{U_2 q}{d} = B_1 qv$,联立可得 $\frac{q}{m} = \frac{2U_2}{DdB_1 B_2}$, $B_2 qv = m \frac{2v^2}{D}$, $v = \sqrt{\frac{2U_1 q}{m}}$,联立可得 $\frac{q}{m} = \frac{8U_1}{D^2 B_2^2}$,故选 C、D.

4. AD 【解析】沿直线穿过速度选择器的电子所受洛伦兹力与电场力平衡,即 $evB = eE$,解得电子的速率为 $v = \frac{E}{B}$,故 A 正确;只增大速度选择器中的电场强度 E ,根据 A 项分析可知沿中轴线射入的电子速率增大,则穿过板间的时间变短,故 B 错误;若 $t = \frac{T}{4}$ 时刻进入 A 、 B 板间的电子恰能水平飞出,则电子在竖直方向加速和减速的时间一定相等,根据两板间电压的周期性可知电子在板间的运动时间一定为 $\frac{T}{2}$ 的整数倍,且当运动时间为 $\frac{T}{2}$ 的奇数倍时,电子飞出金属板的位置一定在 O_2 点的上方,当运动时间为 $\frac{T}{2}$ 的偶数倍时,电子飞出金属板的位置一定在 O_2 点,故 C 错误;若 $t = 0$ 时刻进入金属板 A 、 B 间的电子恰能水平飞出,由 C 项分析可知,电子在金属板间运动的时间为 $t = nT$ ($n = 1, 2, 3, \dots$),则电子的速率为 $v = \frac{L}{t} = \frac{L}{nT}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$),与 A 项分析中的表达式联立可得 $T = \frac{BL}{nE}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$),故 D 正确.

5. 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 α 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 α 粒子, 故 D 正确.

6. (1) $\frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$ **(2)** 见解析 **(3)** 1.6×10^3

【解析】(1) 当带电粒子运动半径为半圆金属盒的半径 R 时, 粒子的速度达到最大值 v_m , 由牛顿第二定律得 $qBv_m = m \frac{v_m^2}{R}$, 粒子离开加速器时获得的最大动能 $E_{km} = \frac{1}{2}mv_m^2$, 联立解得 $E_{km} = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$.

(2) 第 N 次加速后, 由动能定理得 $NqU = \frac{1}{2}mv_N^2$, 根据牛顿第二定律得 $qBv_N = m \frac{v_N^2}{r_N}$, 可解得第 N 次加速后 $r_N = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2NmU}{q}}$, 可推得第 $(N-1)$ 次加速后 $r_{N-1} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2(N-1)mU}{q}}$, $\Delta d = r_N - r_{N-1} = (\sqrt{N} - \sqrt{N-1}) \cdot \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$, 由此可知丙同学的判断是合理的.

(3) 粒子在电场中共被加速 n 次, 由动能定理得 $nqU = E_{km}$, 解得 $n = \frac{qB^2 R^2}{2mU}$, 粒子在加速器中运动的时间可以看成两部分时间之和, 即在金属盒内旋转 $\frac{n}{2}$ 圈的时间 t_1 和通过金属盒间隙 n 次所需的时间 t_2 之和, 粒子在磁场中做匀速圆周运动时, 由洛伦兹力提供向心力, 由牛顿第二定律得 $qBv = m \frac{v^2}{r}$, 运动周期 $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$, 粒子在磁场中运动时间 $t_1 = \frac{n}{2}T = \frac{\pi BR^2}{2U}$, 粒子在电场中运动时, 由匀变速直线运动规律得 $nd = \frac{v_m}{2}t_2$, 解得 $t_2 = \frac{BRd}{U}$, 粒子在磁场中的运动时间与在电场中的运动时间之比 $\frac{t_1}{t_2} = \frac{\pi R}{2d} \approx 1.6 \times 10^3$.

7. B 【解析】设霍尔片前后侧面的电压为 U , 根据洛伦兹力与电场力平衡可得 $qvB = qE_1$, 其中 $I = neSv = nebcv$, $E_1 = \frac{U}{b}$, 联立解得 $U = \frac{BI}{nec}$, 故

A 错误;霍尔片内沿前后侧面的电场强度大小为 $E_1 = \frac{U}{b} = \frac{BI}{nec}$, 沿

电流方向的恒定电场为 $E = \frac{v}{\mu} = \frac{I}{\mu nec}$, 则霍尔片内的电场强度为

$E_{\text{合}} = \sqrt{E_1^2 + E^2} = \frac{I}{nec} \sqrt{B^2 + \frac{1}{\mu^2}}$, 故 B 正确; 由于光电管所加的电压

为正向电压, 则调节滑动变阻器, 不可以使电流表的示数减为零,

故 C 错误; 若 I 已经为光电效应达到的饱和电流, 则滑动变阻器滑

片右移后, 电流 I 保持不变, 则单位时间到达光电管阳极的光电子

数等于 $\frac{I}{e}$, 故 D 错误.

8. C 【解析】 电子向 x 轴负方向运动, 根据左手定则知, 电子受洛伦兹力作用向半导体前侧偏转, 则 P 为负极, Q 为正极, 故 A 错

误; 电子所受电场力与洛伦兹力平衡, 则有 $evB = e \frac{U}{a}$, 又 $I =$

$neabv$, 联立解得磁感应强度的大小为 $B = \frac{nebU}{I}$, 其他条件不变时,

则 B 越大, U 越大, 故 B、D 错误, C 正确.

9. AC 【解析】 根据左手定则知, 带正电的离子受洛伦兹力向 b 极移动, 带负电的离子受洛伦兹力向 a 极移动, 故电极 a 为负, 电极 b 为正, 故 A 正确, B 错误; 带电粒子受到的洛伦兹力与电场力平衡, 则有

$q \frac{U_0}{D} = qvB$, 流量为 $Q = \frac{V}{t} = \frac{\pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 vt}{t} = \frac{\pi D^2 v}{4}$, 联立解得感应电动势

为 $U_0 = \frac{4QB}{\pi D}$, 故 U_0 与液体流量成正比, 故 C 正确, D 错误.