

压轴题 07 带电粒子在磁场中的运动

NO.1

压轴题解读

1. 本专题是磁场的典型题型之一，包括应用洛伦兹力的知识解决实际问题。高考中经常在选择题中命题，更是在计算题中频繁出现。2024 年高考对于洛伦兹力的考查仍然是热点。
2. 通过本专题的复习，不仅利于完善学生的知识体系，也有利于培养学生的物理核心素养。
3. 用到的相关知识有：左手定则，洛伦兹力与现代科技等。近几年的高考命题中一直都是以压轴题的形式存在，重点考查类型带电粒子在有界磁场中的运动，电磁场与现代科技等。

NO.2

压轴题密押



解题要领归纳

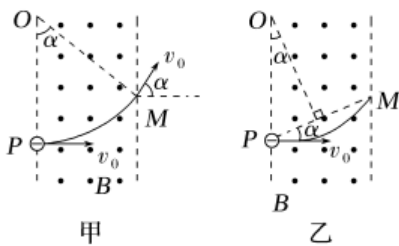
考向一：带电粒子在有界磁场中运动

带电粒子在有界磁场中运动的分析方法

1. 圆心的确定

圆心位置的确定通常有以下两种基本方法：

- (1) 已知入射方向和出射方向时，可以过入射点和出射点作垂直于入射方向和出射方向的垂线，两条垂线的交点就是圆弧轨道的圆心(如图甲所示， P 为入射点， M 为出射点)。
- (2) 已知入射方向和出射点的位置时，可以过入射点作入射方向的垂线，连接入射点和出射点，作其中垂线，这两条垂线的交点就是圆弧轨道的圆心(如图乙所示， P 为入射点， M 为出射点)。



2. 半径的确定

半径的计算一般利用几何知识解直角三角形。做题时一定要作好辅助线，由圆的半径和其他几何边构成直角三角形。由直角三角形的边角关系或勾股定理求解。

3. 粒子在匀强磁场中运动时间的确定

- (1) 粒子在匀强磁场中运动一周的时间为 T ，当粒子运动轨迹的圆弧所对应的圆心角为 α 时，其运动时间 $t =$

$$\frac{\alpha}{360^\circ} T (\text{或 } t = \frac{\alpha}{2\pi} T).$$

圆心角 = 偏向角 = 2 倍弦切角。

(2) 当 v 一定时，粒子在匀强磁场中运动的时间 $t = \frac{l}{v}$ ， l 为带电粒子通过的弧长。

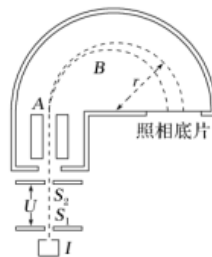
考向二：带电粒子在有界磁场中运动的临界问题

解决带电粒子在磁场中运动的临界问题的关键，通常以题目中的“恰好”“最大”“至少”等为突破口，寻找临界点，确定临界状态，根据磁场边界和题设条件画好轨迹，建立几何关系求解。

- (1) 刚好穿出或刚好不能穿出磁场的条件是带电粒子在磁场中运动的轨迹与边界相切。
- (2) 当以一定的速率垂直射入磁场时，运动的弧长越长、圆心角越大，则带电粒子在有界磁场中的运动时间越长。
- (3) 当比荷相同，速率 v 变化时，圆心角越大的，运动时间越长。

考向三：质谱仪

1. 原理示意图



2. 用途：分离和检测同位素；准确测离子的质量。

3. 工作原理

(1) 带电粒子经过电压为 U 的加速电场加速， $qU = \frac{1}{2}mv^2$ 。

(2) 垂直进入磁感应强度为 B 的匀强磁场中，做匀速圆周运动， $r = \frac{mv}{qB}$ 。

(3) 偏转距离 $x = 2r$ ，比荷 $\frac{q}{m} = \frac{8U}{B^2x^2}$ ，所以比荷不相等的离子会被分开，并按比荷的大小顺序排列，利用质谱仪

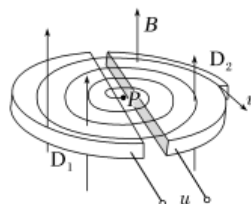
我们还可以准确地测量出每种离子的质量 $m = \frac{qB^2}{8U}x^2$ 。

4. 质谱仪区分同位素：由 $qU = \frac{1}{2}mv^2$ 和 $qvB = m\frac{v^2}{r}$ 可求得 $r = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$ 。同位素电荷量 q 相同，质量不同，在质谱仪

照相底片上显示的位置就不同，故能据此区分同位素。

考向四：回旋加速器

1. 原理示意图



2. 工作原理

(1) 电场的特点及作用

特点：两个 D 形盒之间的窄缝区域存在交变电场，交变电场的周期与粒子在磁场中运动的周期相同。

作用：带电粒子经过该区域时被加速。

(2) 磁场的特点及作用

特点：D 形盒处于与盒面垂直的匀强磁场中。

作用：带电粒子在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动，从而改变运动方向，半个周期后再次进入电场。

3. 同步问题

交变电压的频率与粒子在磁场中做匀速圆周运动的频率相等，交变电压的频率 $f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$ (当粒子的比荷或磁感应强度改变时，同时也要调节交变电压的频率)。

4. 粒子的最大动能

粒子从 D 形盒边缘离开回旋加速器时动能最大， $E_{km} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$ ，可知在 q 、 m 和 B 一定的情况下，回旋加速器的半径 R 越大，粒子的动能就越大(最大动能与加速电压无关)。

5. 回旋加速的次数

粒子每加速一次动能就增加 qU ，故需要加速的次数 $n = \frac{E_{km}}{qU}$ ，回旋的周期数为 $\frac{n}{2}$ 。

6. 粒子的运动时间

粒子的运动时间由加速次数 n 或回旋的周期数 $\frac{n}{2}$ 决定，在磁场中的回旋时间 $t_1 = \frac{n}{2}T$ ；在电场中的加速时间 $t_2 = \frac{nd}{\frac{v}{2}}$

或 $t_2 = \sqrt{\frac{2nd}{a}}$ ，其中 $a = \frac{qU}{md}$ 。在回旋加速器中运动的总时间 $t = t_1 + t_2$ (因 $t_1 \gg t_2$ ，故可认为粒子在盒内的运动时间近似等于 t_1)。

7. 回旋轨迹半径

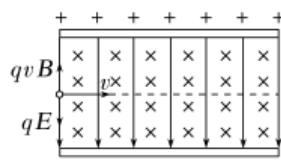
$r_n = \frac{mv^n}{qB}$ ， $nqU = \frac{1}{2}mv^{2n}$ ， n 为加速次数。

考向五：洛伦兹力的其他应用实例

1. 速度选择器

(1) 装置及要求

如图所示，两极板间存在匀强电场和匀强磁场，二者方向互相垂直，带正电粒子从左侧射入，不计粒子重力。



(2) 带电粒子能够沿直线匀速通过速度选择器的条件是 $qE=qvB$, 即 $v=\frac{E}{B}$ 。

(3) 速度选择器的特点

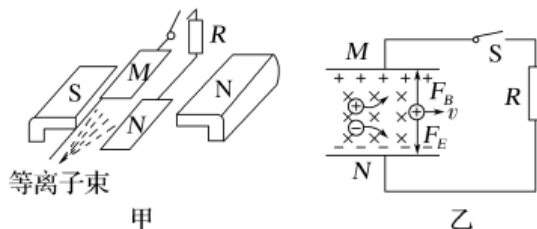
① v 的大小等于 E 与 B 的比值, 即 $v=\frac{E}{B}$ 。速度选择器只对选择的粒子的速度有要求, 而对粒子的质量、电荷量大小及带电正、负无要求。

② 当 $v>\frac{E}{B}$ 时, 粒子向 $F_{洛}$ 方向偏转, $F_{电}$ 做负功, 粒子的动能减小, 电势能增大。

③ 当 $v<\frac{E}{B}$ 时, 粒子向 $F_{电}$ 方向偏转, $F_{电}$ 做正功, 粒子的动能增大, 电势能减小。

2. 磁流体发电机

磁流体发电机的发电原理图如图甲所示, 其平面图如图乙所示。

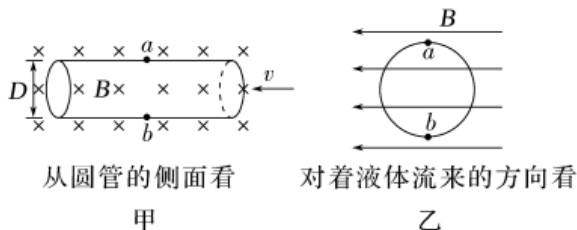


设带电粒子的运动速度为 v , 带电荷量为 q , 磁场的磁感应强度为 B , 极板间距离为 d , 极板间电压为 U , 根据 $F_{洛}=F_{电}$, 有 $qvB=qE=\frac{qU}{d}$, 得 $U=Bdv$ 。

根据外电路断开时, 电源电动势的大小等于路端电压, 知此磁流体发电机的电动势为 $E_{源}=U=Bdv$ 。

3. 电磁流量计

如图甲、乙所示是电磁流量计的示意图。



设管的直径为 D , 磁感应强度为 B , a 、 b 两点间的电势差是由于导电液体中电荷受到洛伦兹力作用, 在管壁的上、下两侧堆积产生的。到一定程度后, a 、 b 两点间的电势差达到稳定值 U , 上、下两侧堆积的电荷不再增多, 此时,

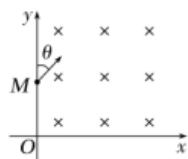
洛伦兹力和电场力平衡, 有 $qvB=qE=\frac{U}{D}$, 所以 $v=\frac{U}{DB}$, 又圆管的横截面积 $S=\frac{1}{4}\pi D^2$, 故流量 $Q=Sv=\frac{\pi UD}{4B}$ 。



● 题型01 带电粒子在有界磁场中运动

1. 如图所示, 在 xOy 平面的第一象限内存在方向垂直纸面向里, 磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。一带电粒子从

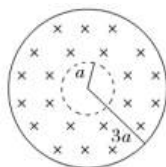
y 轴上的 M 点射入磁场，速度方向与 y 轴正方向的夹角 $\theta = 45^\circ$ 。粒子经过磁场偏转后在 N 点(图中未画出)垂直穿过 x 轴。已知 $OM = a$ ，粒子的电荷量为 q ，质量为 m ，重力不计。则()



- A. 粒子带负电荷
- B. 粒子速度大小为 $\frac{qBa}{m}$
- C. 粒子在磁场中运动的轨道半径为 a
- D. N 与 O 点相距 $(\sqrt{2}+1)a$

题型02 带电粒子在有界磁场中运动的临界问题

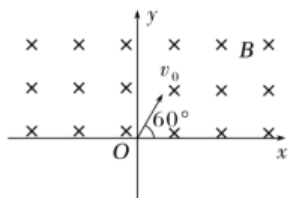
2. 真空中有一匀强磁场，磁场边界为两个半径分别为 a 和 $3a$ 的同轴圆柱面，磁场的方向与圆柱轴线平行，其横截面如图所示。一速率为 v 的电子从圆心沿半径方向进入磁场。已知电子质量为 m ，电荷量为 e ，忽略重力。为使该电子的运动被限制在图中实线圆围成的区域内，磁场的磁感应强度最小为()



- A. $\frac{3mv}{2ae}$
- B. $\frac{mv}{ae}$
- C. $\frac{3mv}{4ae}$
- D. $\frac{3mv}{5ae}$

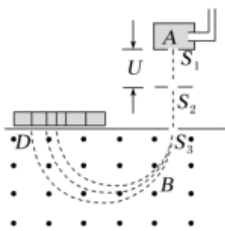
题型03 带电粒子在有界磁场中运动的多解问题

3. 如图所示，在 xOy 平面内， $y \geq 0$ 的区域有垂直于 xOy 平面向里的匀强磁场，磁感应强度为 B ，一质量为 m 、带电荷量的绝对值为 q 的粒子从原点 O 沿与 x 轴正方向成 60° 角方向以 v_0 射入，粒子的重力不计，求带电粒子在磁场中运动的时间和带电粒子离开磁场时的位置。



题型04 质谱仪

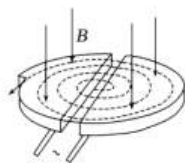
4. 如图所示为质谱仪的工作原理图，在容器 A 中存在若干种电荷量相同而质量不同的带电粒子，它们可从容器 A 下方的小孔 S_1 飘入电势差为 U 的加速电场(初速度可忽略)，然后经过 S_2 沿着与磁场垂直的方向进入磁感应强度为 B 的匀强磁场中，最后打到照相底片 D 上。若这些粒子中有两种电荷量均为 q 、质量分别为 m_1 和 m_2 的粒子 ($m_1 < m_2$)，粒子重力忽略不计。



- (1) 分别求出这两种粒子进入磁场时的速度 v_1 、 v_2 的大小；
 (2) 求这两种粒子打到照相底片上的位置间的距离。

题型05 回旋加速器

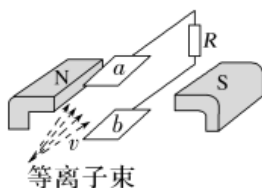
5. 回旋加速器是利用磁场和电场使带电粒子做回旋运动，经过多次加速，粒子最终从D形盒边缘引出，能量可达几十兆电子伏特(MeV)。如图所示为回旋加速器的原理示意图，利用回旋加速器对 ${}^2\text{H}$ 粒子进行加速，此时D形盒中磁场的磁感应强度大小为 B ，D形盒缝隙间电场变化周期为 T ，加速电压为 U 。忽略相对论效应和粒子在D形盒缝隙间的运动时间，下列说法正确的是()



- A. 保持 B 、 U 和 T 不变，该回旋加速器可以加速质子
 B. 仅增大加速电压 U ， ${}^2\text{H}$ 粒子在回旋加速器中运动的总时间不变
 C. 仅增大加速电压 U ， ${}^2\text{H}$ 粒子获得的最大动能增大
 D. 回旋加速器既能加速带正电的粒子，又能加速带负电的粒子

题型06 洛伦兹力的其他应用实例

6. 如图为磁流体发电机示意图。平行金属板 a 、 b 间有一匀强磁场，将一束等离子体(即高温下电离的气体，含有大量等量正、负离子)垂直于磁场的方向喷入磁场， a 、 b 两板间便产生电压。若磁场的磁感应强度大小为 B ，每个离子的电荷量为 q 、速度为 v ，等效直流电源两极板 a 、 b 间距为 d ，两板间等离子体的等效电阻为 r ，负载电阻为 R ，则()



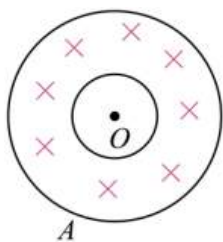
- A. 图中 a 板是电源的正极
 B. 稳定时电源的电动势为 Bdv
 C. 稳定时负载两端的电压为 $\frac{R}{R+r}Bdv$
 D. 若增加负载的阻值，发电机的输出功率一定减小

NO.3

压轴题速练

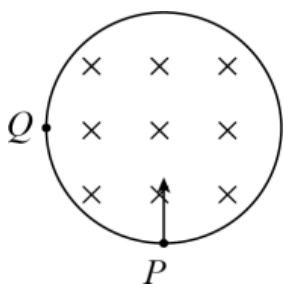
一、单选题

1. (2024·陕西安康·三模) 如图所示为空心圆柱形磁场的截面图, O 点为圆心, 半径为 R 内圆与半径为 $3R$ 外圆之间存在垂直纸面向里的匀强磁场, A 为外圆上一点。一粒子源 s 可持续发射出大小均为 v 、质量为 m 、电荷量为 q 的粒子, 不计粒子重力, 以下说法正确的是 ()



- A. 若粒子源放置在 O 点向各个方向均匀发射粒子, 且所有粒子均不从外圆射出, 则磁感应强度最小值为 $\frac{mv}{4qR}$
- B. 若粒子源放置在 O 点向各个方向均匀发射粒子, 且所有粒子均不从外圆射出, 则磁感应强度最小值为 $\frac{3mv}{5qR}$
- C. 若粒子源放置 A 点且沿 AO 连线发射粒子, 为使粒子不进入内圆, 则磁感应强度的最小值为 $\frac{mv}{4qR}$
- D. 若粒子源放置 A 点且沿 AO 连线发射粒子, 为使粒子不进入内圆, 则磁感应强度的最小值为 $\frac{mv}{5qR}$

2. (23-24 高三上·贵州贵阳·期末) 如图所示, 半径为 $R=1\text{m}$ 的圆形区域内有一垂直纸面向里的匀强磁场, P 为磁场边界上的一点, 大量相同的带正电的粒子, 在纸面内沿各个方向以相同的速率从 P 点射入磁场, 这些粒子射出磁场时的位置均位于 PQ 圆弧上且 Q 点为最远点。已知 PQ 圆弧长等于磁场边界周长的四分之一, 不计粒子重力和粒子间的相互作用, 则该圆形磁场中有粒子经过的区域面积为 ()

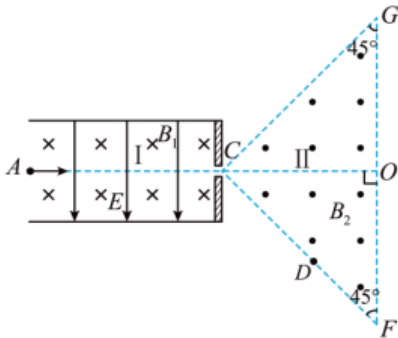


- A. $\left(\frac{3}{4}\pi - \frac{1}{2}\right)\text{m}^2$ B. $\left(\frac{1}{2}\pi + \frac{1}{4}\right)\text{m}^2$ C. $\frac{7}{4}\text{m}^2$ D. $\frac{1}{2}\pi\text{m}^2$

二、多选题

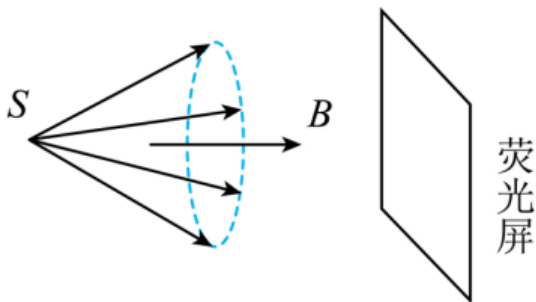
3. (2024·海南·模拟预测) 如图, 真空中有区域 I 和 II, 区域 I 中存在匀强电场和匀强磁场, 电场方向竖直向下 (与纸面平行), 磁场方向垂直纸面向里, 腰长为 L 的等腰直角三角形 CGF 区域 (区域 II) 内存在匀强磁场, 磁场方向垂直纸面向外。图中 A 、 C 、 O 三点在同一直线上, AO 与 GF 垂直, 且与电场和磁场方向均垂直。 A 点处的粒子源持续将比荷一定但速率不同的粒子射入区域 I 中, 只有沿直线 AC 运动的粒子才能进入区域 II

。若区域 I 中电场强度大小为 E 、磁感应强度大小为 B_1 ，区域 II 中磁感应强度大小为 B_2 ，则粒子从 CF 边靠近 F 的三等分点 D 射出，它们在区域 II 中运动的时间为 t_0 。若改变电场或磁场强弱，能进入区域 II 中的粒子在区域 II 中运动的时间为 t ，不计粒子的重力及粒子之间的相互作用，下列说法正确的是（ ）



- A. 从 D 点飞出的粒子速度大小为 $\frac{E}{B_2}$
- B. 粒子的比荷为 $\frac{3\sqrt{2}E}{2B_1B_2L}$
- C. 若仅将区域 I 中电场强度大小变为 $2E$ ，则 $t < t_0$
- D. 若仅将区域 II 中磁感应强度大小变为 $\frac{\sqrt{3}}{3}B_2$ ，则粒子从 GF 边出射，出射点距离 O 点 $\frac{\sqrt{6}}{6}L$

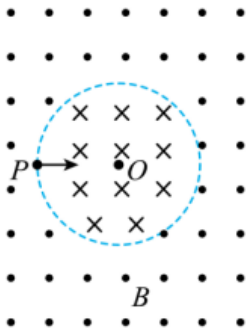
4. (2024·湖南岳阳·二模) 如图所示，空间中存在水平向右的匀强磁场，磁感应强度为 B 。某处 S 点有电子射出，电子的初速度大小均为 v ，初速度方向呈圆锥形，且均与磁场方向成 θ 角 ($0 < \theta < 90^\circ$)， S 点右侧有一与磁场垂直的足够大的荧光屏，电子打在荧光屏上的位置会出现亮斑。若从左向右缓慢移动荧光屏，可以看到大小变化的圆形亮斑 (最小为点状亮斑)，不考虑其它因素的影响，下列说法正确的是（ ）



- A. 若圆形亮斑的最大半径为 R ，则电子的比荷为 $\frac{2v \sin \theta}{RB}$
- B. 若圆形亮斑的最大半径为 R ，则电子的比荷为 $\frac{v \sin \theta}{RB}$
- C. 若荧光屏上出现点状亮斑时， S 到屏的距离为 d ，则电子的比荷可能为 $\frac{2\pi v \cos \theta}{Bd}$
- D. 若荧光屏上出现点状亮斑时， S 到屏的距离为 d ，则电子的比荷可能为 $\frac{4\pi v \cos \theta}{Bd}$

5. (2024·河北石家庄·二模) 利用磁场控制带电粒子

的运动，在现代科学实验和技术设备中有广泛的应用。如图所示，以 O 点为圆心、半径为 R 的圆形区域内有垂直纸面向里的匀强磁场，圆形区域外有垂直纸面向外的匀强磁场，两磁场的磁感应强度大小均为 B 。有一质量为 m 、电荷量为 $+q$ 的粒子从 P 点沿半径射入圆形区域，粒子 n 次穿越圆形区域边界（不包括经过 P 点）后又回到 P 点，此过程中粒子与圆心 O 的连线转过角度为 2π ，不计粒子重力，下列说法正确的是（ ）



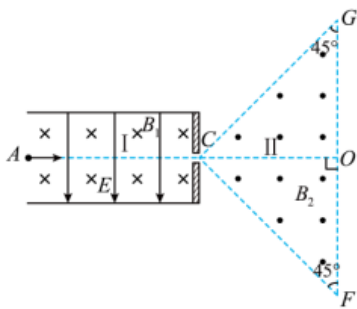
A. n 的最小值为 2

B. $n=3$ 时，粒子速度大小为 $\frac{\sqrt{3}qBR}{m}$

C. $n=4$ 时，粒子从 P 出发到回到 P 点的时间为 $\frac{23\pi m}{5qB}$

D. 粒子连续两次穿越圆形区域边界过程中，粒子与圆心的连线转过的角度为 $\frac{2\pi}{n}$

6. (2024·陕西西安·一模) 如图，真空中区域 I 中存在匀强电场和匀强磁场，等腰直角三角形 CGF 区域（区域 II）内存在匀强磁场。图中 A 、 C 、 O 三点在同一直线上， AO 与 GF 垂直，且与电场和磁场方向均垂直。 A 点处的粒子源持续将比荷一定但速率不同的粒子射入区域 I 中，只有沿直线 AC 运动的粒子才能进入区域 II。若区域 I 中电场强度大小为 E 、磁感应强度大小为 B_1 ，区域 II 中磁感应强度大小为 B_2 ，则粒子从 CF 的中点射出，它们在区域 II 中运动的时间为 t_0 。若改变电场或磁场强弱，能进入区域 II 中的粒子在区域 II 中运动的时间为 t ，不计粒子的重力及粒子之间的相互作用，下列说法正确的是（ ）



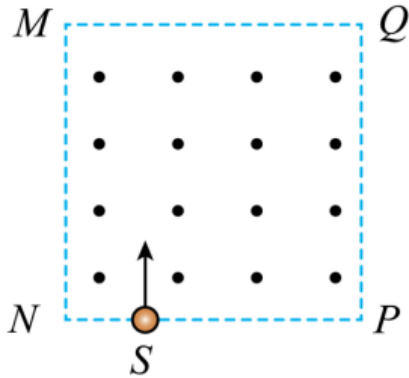
A. 若仅将区域 I 中磁感应强度大小变为 $2B_1$ ，则 $t=t_0$

B. 若仅将区域 I 中电场强度大小变为 $2E$ ，则 $t=t_0$

C. 若仅将区域 II 中磁感应强度大小变为 $\frac{1}{4}B_2$ ，则 $t=\frac{4}{3}t_0$

D. 若仅将区域 II 中磁感应强度大小变为 $\frac{\sqrt{2}}{4}B_2$ ，则 $t=\frac{1}{2}t_0$

7. (2024·河南郑州·模拟预测) 如图所示, 边长为 a 的正方形 $MNPQ$ 区域内有一方向垂直正方形平面向外的匀强磁场, NP 边上有一点 S , $SN = \frac{a}{4}$ 。两个质量相同、带等量异种电荷的粒子均从 S 点平行于 MN 方向射入磁场。带正电粒子甲与带负电粒子乙重力均不计, 不考虑甲、乙两粒子间的作用。下列说法正确的是 ()



- A. 若两粒子在磁场中运动的时间相等, 则乙与甲的初速度大小之比一定为 1:3
- B. 若两粒子的初速度相同, 则乙与甲在磁场中运动的时间之比可能为 1:2
- C. 若其中一个粒子垂直 PQ 边射出磁场, 则乙与甲在磁场中运动时间之比一定不大于 2:1
- D. 若两粒子分别从 M 、 Q 两点射出磁场, 则乙与甲的初速度大小之比恰好为 2:1

8. (2024·贵州·模拟预测) 如图所示, 在该区域存在一个方向垂直于纸面向里、磁感应强度大小为 B 的圆形磁场区域 (图中未画出), 一个质量为 m 、电荷量为 q 的带正电粒子从 M 点以水平向左的初速度射入磁场中, M 点在磁场中, 一段时间后从 N 点穿过竖直线 MN , 在 N 点时运动方向与 MN 成 30° 角, MN 长度为 $3L$, 不计粒子重力, 下列说法正确的是 ()



- A. 从 M 到 N 过程中粒子所受洛伦兹力的冲量大小为 $\frac{2\pi BqL}{3}$
- B. 粒子从 M 到 N 所用的时间为 $\frac{4\pi m}{3Bq}$
- C. 粒子在磁场中做圆周运动的半径为 L
- D. 圆形匀强磁场区域的最小面积为 $\frac{3\pi L^2}{4}$

9. (2024·四川成都·二模) 如图所示, 矩形磁场区域 $abcd$ 内存在垂直纸面向外的匀强磁场, O_1 为 b 边中点位置, O_2 为 O_1a 段中点位置; 现同时从 O_1 、 O_2 处水平向右发射速度相同的 M 、 N 两粒子, M 粒子恰好可以从 b 点飞出磁场, M 、 N 两粒子的运动轨迹相交于 P 点 (图中未标出), 且在 P 点处时 M 、 N 速度方向垂直。已知 ad 边长为 ab 边长的两倍, 不计粒子重力及粒子间的相互作用。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/878121001034006130>