

专题 10 磁场 带电粒子在磁场中的运动

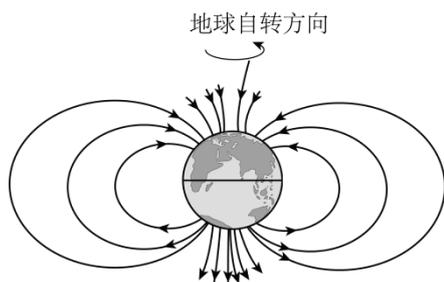
目录

01 磁场的性质 安培力 洛伦兹力	2
考向一 磁场的性质	2
考向二 安培力	7
考向三 洛伦兹力	15
02 带电粒子在磁场中的运动	16
考向一 带电粒子在磁场中的圆周运动	16
考向二 带电粒子在有界磁场运动的临界与极值问题	20
考向三 带电粒子在磁场中运动的多解问题	42

考点 01 磁场的性质 安培力 洛伦兹力

考向一 磁场的性质

1. (2023·福建·高考真题)(多选) 地球本身是一个大磁体, 其磁场分布示意图如图所示。学术界对于地磁场的形成机制尚无共识。一种理论认为地磁场主要源于地表电荷随地球自转产生的环形电流。基于此理论, 下列判断正确的是 ()



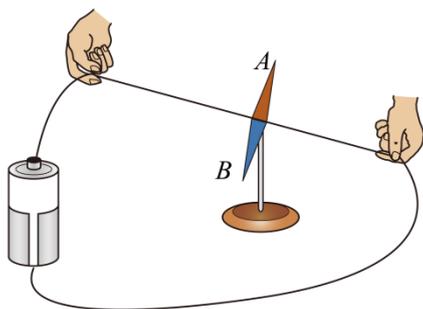
- A. 地表电荷为负电荷
- B. 环形电流方向与地球自转方向相同
- C. 若地表电荷的电量增加, 则地磁场强度增大
- D. 若地球自转角速度减小, 则地磁场强度增大

【答案】AC

【详解】A. 根据右手螺旋定则可知, 地表电荷为负电荷, 故 A 正确; B. 由于表电荷为负电荷, 则环形电流方向与地球自转方向相反, 故 B 错误; C. 若地表电荷的电量增加, 则等效电流越大, 地磁场强度增大, 故 C 正确; D. 若地球自转角速度减小, 则等效电流越小, 地磁场强度减小, 故 D 错误。

故选 AC。

2. (2022·福建·高考真题)(多选) 奥斯特利用如图所示实验装置研究电流的磁效应。一个可自由转动的小磁针放在白金丝导线正下方, 导线两端与一伏打电池相连。接通电源瞬间, 小磁针发生了明显偏转。奥斯特采用控制变量法, 继续研究了导线直径、导线材料、电池电动势以及小磁针位置等因素对小磁针偏转情况的影响。他能得到的实验结果有 ()



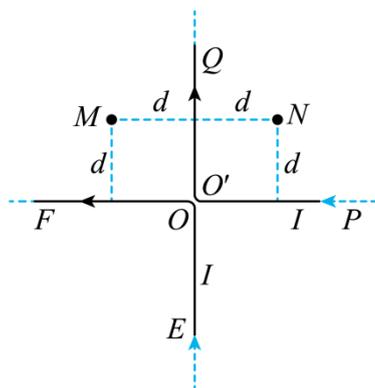
- A. 减小白金丝直径，小磁针仍能偏转 B. 用铜导线替换白金丝，小磁针仍能偏转
- C. 减小电源电动势，小磁针一定不能偏转 D. 小磁针的偏转情况与其放置位置无关

【答案】AB

【详解】A. 减小导线直径，仍存在电流，其产生的磁场仍能使小磁针偏转，选项 A 正确；
 B. 白金导线换成铜导线，仍存在电流，产生的磁场仍能使小磁针偏转，选项 B 正确；
 C. 减小伏打电池电动势，只要导线中有电流，小磁场还是会发生偏转，选项 C 错误；
 D. 通电导线产生的磁场与地磁场叠加后，其空间磁场方向与位置有关，当小磁针在不同位置时其偏转情况不同，选项 D 错误。

故选 AB。

3. **(2021·全国·高考真题)** 两足够长直导线均折成直角，按图示方式放置在同一平面内， EO 与 $O'Q$ 在一条直线上， PO' 与 OF 在一条直线上，两导线相互绝缘，通有相等的电流 I ，电流方向如图所示。若一根无限长直导线通过电流 I 时，所产生的磁场在距离导线 d 处的磁感应强度大小为 B ，则图中与导线距离均为 d 的 M 、 N 两点处的磁感应强度大小分别为 ()



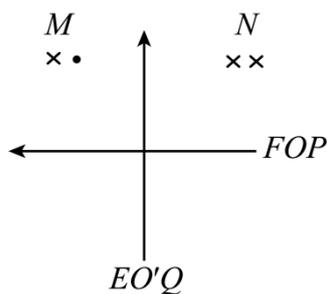
- A. B 、 0 B. 0 、 $2B$ C. $2B$ 、 $2B$ D. B 、 B

【答案】B

【详解】 两直角导线可以等效为如图所示的两直导线，由安培定则可知，两直导线分别在 M 处的磁感应强度方向为垂直纸面向里、垂直纸面向外，故 M 处的磁感应强度为零；两导线在 N 处的磁感应强度方向均垂直纸面向里，故 N 处的磁感应强度为 $2B$ ；综上所述 B 正

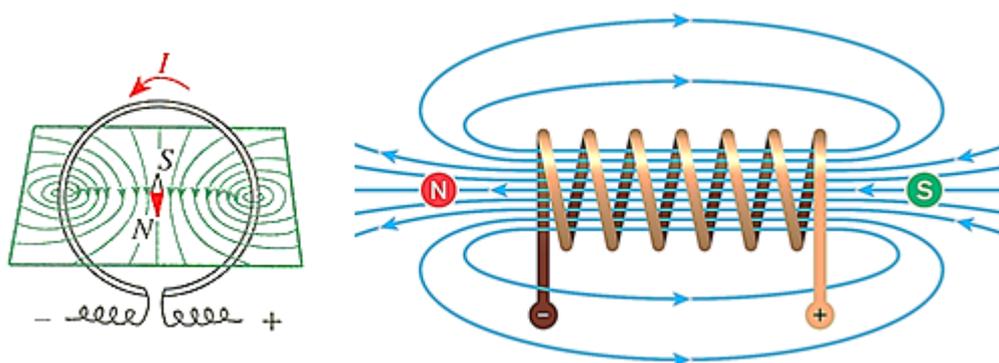
确。

故选 B。



4. (2021·浙江·高考真题) 如图所示是通有恒定电流的环形线圈和螺线管的磁感线分布图。

若通电螺线管是密绕的, 下列说法正确的是 ()



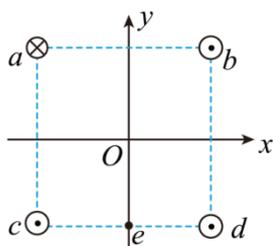
- A. 电流越大, 内部的磁场越接近匀强磁场
- B. 螺线管越长, 内部的磁场越接近匀强磁场
- C. 螺线管直径越大, 内部的磁场越接近匀强磁场
- D. 磁感线画得越密, 内部的磁场越接近匀强磁场

【答案】B

【详解】根据螺线管内部的磁感线分布可知, 在螺线管的内部, 越接近于中心位置, 磁感线分布越均匀, 越接近两端, 磁感线越不均匀, 可知螺线管越长, 内部的磁场越接近匀强磁场。

故选 B。

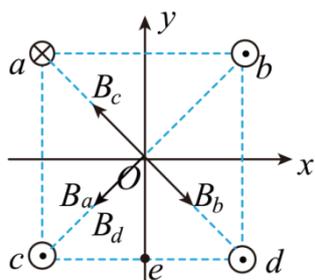
5. (2021·福建·高考真题) (多选) 如图, 四条相互平行的细长直导线垂直坐标系 xOy 平面, 导线与坐标平面的交点为 a 、 b 、 c 、 d 四点。已知 a 、 b 、 c 、 d 为正方形的四个顶点, 正方形中心位于坐标原点 O , e 为 cd 的中点且在 y 轴上; 四条导线中的电流大小相等, 其中过 a 点的导线的电流方向垂直坐标平面向里, 其余导线电流方向垂直坐标平面向外。则 ()



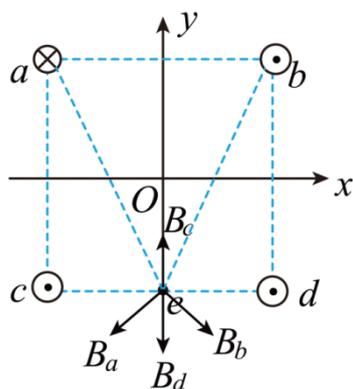
- A. O 点的磁感应强度为 0
- B. O 点的磁感应强度方向由 O 指向 c
- C. e 点的磁感应强度方向沿 y 轴正方向
- D. e 点的磁感应强度方向沿 y 轴负方向

【答案】BD

【详解】AB. 由题知，四条导线中的电流大小相等，且到 O 点的距离相等，故四条导线在 O 点的磁感应强度大小相等，根据右手螺旋定则可知，四条导线中在 O 点产生的磁感应强度方向，如图所示



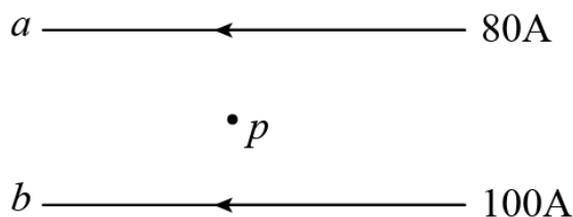
由图可知， B_b 与 B_c 相互抵消， B_a 与 B_d 合成，根据平行四边形定则，可知 O 点的磁感应强度方向由 O 指向 c ，其大小不为零，故 A 错误，B 正确；CD. 由题知，四条导线中的电流大小相等， a 、 b 到 e 点的距离相等，故 a 、 b 在 e 点的磁感应强度大小相等， c 、 d 到 e 点的距离相等，故 c 、 d 在 e 点的磁感应强度大小相等，根据右手螺旋定则可知，四条导线中在 O 点产生的磁感应强度方向，如图所示



由图可知 B_c 与 B_d 大小相等，方向相反，互相抵消；而 B_b 与 B_a 大小相等，方向如图所示，根据平行四边形定则，可知两个磁感应强度的合磁感应强度沿 y 轴负方向，故 C 错误，D 正确。

故选 BD。

6. (2021·浙江·高考真题)(多选) 如图所示, 有两根用超导材料制成的长直平行细导线 a 、 b , 分别通以 80A 和 100A 流向相同的电流, 两导线构成的平面内有一点 p , 到两导线的距离相等。下列说法正确的是 ()

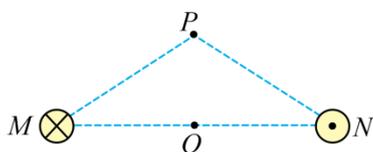


- A. 两导线受到的安培力 $F_b = 125F_a$
- B. 导线所受的安培力可以用 $F = ILB$ 计算
- C. 移走导线 b 前后, p 点的磁感应强度方向改变
- D. 在离两导线所在的平面有一定距离的有限空间内, 不存在磁感应强度为零的位置

【答案】BCD

【详解】A. 两导线受到的安培力是相互作用力, 大小相等, 故 A 错误; B. 导线所受的安培力可以用 $F = ILB$ 计算, 因为磁场与导线垂直, 故 B 正确; C. 移走导线 b 前, b 的电流较大, 则 p 点磁场方向与 b 产生磁场方向同向, 向里, 移走后, p 点磁场方向与 a 产生磁场方向相同, 向外, 故 C 正确; D. 在离两导线所在的平面有一定距离的有限空间内, 两导线在任意点产生的磁场均不在同一条直线上, 故不存在磁感应强度为零的位置。故 D 正确。故选 BCD。

7. (2023·云南·校联考模拟预测) 如图所示, 过 M 、 N 两点垂直纸面的两无限长直导线, 通以大小相同、方向相反的电流。 P 为纸面内 M 、 N 两点连线的中垂线上的一点, $\angle P = 120^\circ$, O 为 MN 连线的中点。已知通电无限长直导线周围某点磁感应强度大小与该点到直导线的距离成反比, 与电流大小成正比, 则 P 、 O 两点磁感应强度大小之比为 ()



- A. $\sqrt{3}:4$
- B. $1:\sqrt{3}$
- C. $3:4$
- D. $\sqrt{3}:2$

【答案】C

【详解】设 OM 距离为 r , 则 MP 距离为 $\frac{2}{\sqrt{3}}r$, O 点的合磁场为 $2\frac{kI}{r}$, P 点的合磁场为 $\frac{3kI}{2r}$, 所以 P 与 O 点的磁感应强度大小之比为 $3:4$, 故 C 正确。故选 C。

8. (2023·河北·校联考模拟预测) 利用智能手机中的传感器和相关软件可测量地磁场磁感应强度。如图所示, 在水平放置的手机上建立三维坐标系, 手机显示屏所在平面为 xOy 面, 竖直向上为 z 轴正方向, 测得 $B_x = 0$ 、 $B_y = 28\mu\text{T}$ 、 $B_z = 21\mu\text{T}$, 手机显示屏的面积约为 0.01m^2 , 根据测量数据可知 ()



- A. 测量地点位于赤道附近
- B. 测量地点位于北半球
- C. 通过手机显示屏的磁通量约为 $2.1 \times 10^{-7} \text{Wb}$
- D. 通过手机显示屏的磁通量约为 $3.5 \times 10^{-7} \text{Wb}$

【答案】C

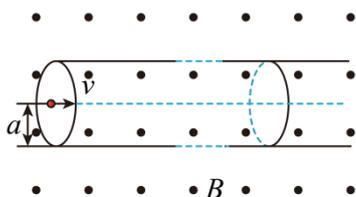
【详解】A. 由于 $B_z = 21 \mu\text{T}$, 表明磁感应强度竖直方向上的分量不为零, 而赤道上的地磁场方向沿水平方向, 竖直方向上的分量为零, 可知测量地点不是赤道位置, 故A错误; **B.** 根据地磁场特征, 穿过手机的磁通量有向上的分量, 所以测量地点位于南半球, B错误; **CD.** 根据磁通量的定义可知, 通过手机显示屏的磁通量约为

$$\Phi = |B_z|S = 21 \times 10^{-6} \times 0.01 \text{Wb} = 2.1 \times 10^{-7} \text{Wb}, \text{ 故C正确, D错误。}$$

故选C。

考向二 安培力

9. (2023·北京·高考真题) 如图所示, 在磁感应强度大小为 B 、方向垂直纸面向外的匀强磁场中, 固定一内部真空且内壁光滑的圆柱形薄壁绝缘管道, 其轴线与磁场垂直。管道横截面半径为 a , 长度为 l ($l \gg a$)。带电粒子束持续以某一速度 v 沿轴线进入管道, 粒子在磁场力作用下经过一段圆弧垂直打到管壁上, 与管壁发生弹性碰撞, 多次碰撞后从另一端射出, 单位时间进入管道的粒子数为 n , 粒子电荷量为 $+q$, 不计粒子的重力、粒子间的相互作用, 下列说法不正确的是 ()



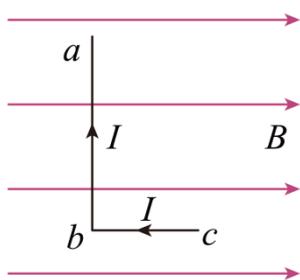
- A. 粒子在磁场中运动的圆弧半径为 a
- B. 粒子质量为 $\frac{Bqa}{v}$
- C. 管道内的等效电流为 nqa^2v
- D. 粒子束对管道的平均作用力大小为 $Bnql$

【答案】C

【详解】A. 带正电的粒子沿轴线射入，然后垂直打到管壁上，可知粒子运动的圆弧半径为 $r=a$ ，故 A 正确，不符合题意；B. 根据 $qvB = m\frac{v^2}{r}$ ，可得粒子的质量 $m = \frac{Bqa}{v}$ ，故 B 正确，不符合题意；C. 管道内的等效电流为 $I = NqSv$ ，单位体积内电荷数为 $\frac{n}{\pi a^2}$ ，则 $I = \frac{n}{\pi a^2} q\pi a^2 v = nq$ ，故 C 错误，符合题意；D. 由动量定理可得 $F\Delta t = 2nm\Delta tv$ ，粒子束对管道的平均作用力大小 $F' \times \frac{2a}{l} = F$ ，联立解得 $F' = nBql$ ，故 D 正确，不符合题意。

故选 C。

10. (2023·江苏·高考真题) 如图所示，匀强磁场的磁感应强度为 B 。L 形导线通以恒定电流 I ，放置在磁场中。已知 ab 边长为 $2l$ ，与磁场方向垂直， bc 边长为 l ，与磁场方向平行。该导线受到的安培力为 ()



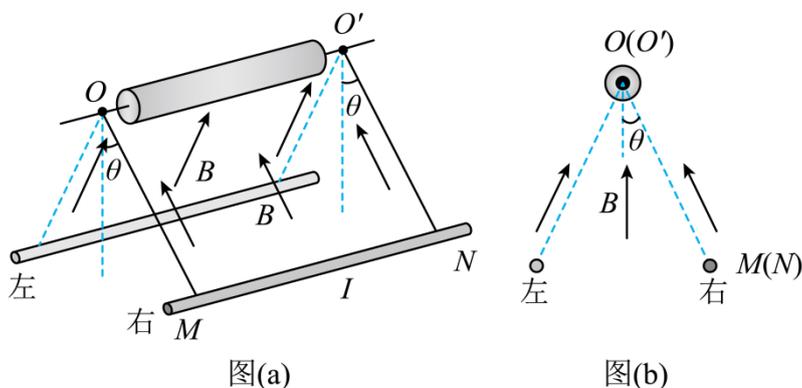
- A. 0
- B. BIl
- C. $2BIl$
- D. $\sqrt{5}BIl$

【答案】C

【详解】因 bc 段与磁场方向平行，则不受安培力； ab 段与磁场方向垂直，则受安培力为 $F_{ab} = BI \cdot 2l = 2BIl$ 。则该导线受到的安培力为 $2BIl$ 。故选 C。

11. (2022·湖南·高考真题) 如图 (a)，直导线 MN

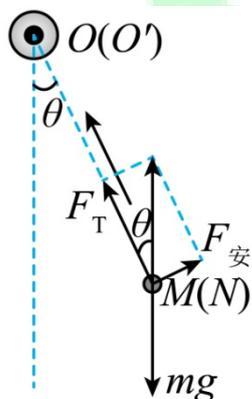
被两等长且平行的绝缘轻绳悬挂于水平轴 OO' 上, 其所在区域存在方向垂直指向 OO' 的磁场, 与 OO' 距离相等位置的磁感应强度大小相等且不随时间变化, 其截面图如图 (b) 所示。导线通以电流 I , 静止后, 悬线偏离垂直方向的夹角为 θ 。下列说法正确的是 ()



- A. 当导线静止在图 (a) 右侧位置时, 导线中电流方向由 N 指向 M
- B. 电流 I 增大, 静止后, 导线对悬线的拉力不变
- C. $\tan\theta$ 与电流 I 成正比
- D. $\sin\theta$ 与电流 I 成正比

【答案】D

【详解】A. 当导线静止在图 (a) 右侧位置时, 对导线做受力分析有

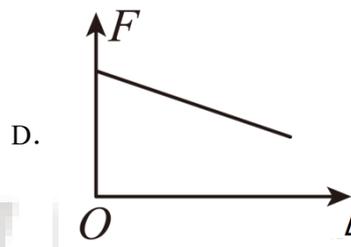
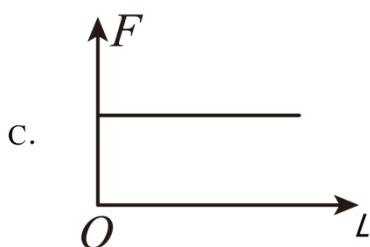
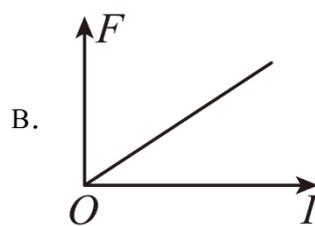
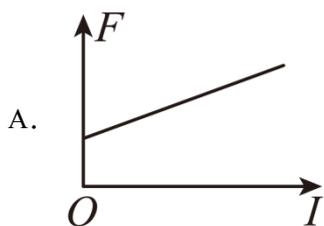
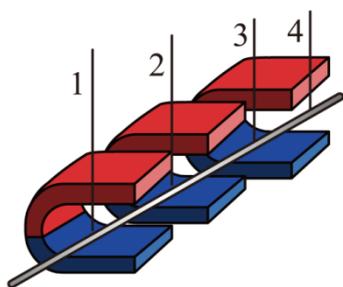


可知要让安培力为图示方向, 则导线中电流方向应由 M 指向 N , A 错误; BCD. 由于与 OO' 距离相等位置的磁感应强度大小相等且不随时间变化, 有 $\sin\theta = \frac{BIL}{mg}$, $F_T = mg\cos\theta$, 则可看出 $\sin\theta$ 与电流 I 成正比, 当 I 增大时 θ 增大, 则 $\cos\theta$ 减小, 静止后, 导线对悬线的拉力 F_T 减小, BC 错误、D 正确。

故选 D。

12. (2022·浙江·高考真题) 利用如图所示装置探究匀强磁场中影响通电导线受力的因素, 导线垂直匀强磁场方向放置。先保持导线通电部分的长度 L 不变, 改变电流 I 的大小, 然后保持电流 I 不变, 改变导线通电部分的长度 L , 得到导线受到的安培力 F 分别与 I 和 L

的关系图象，则正确的是（ ）

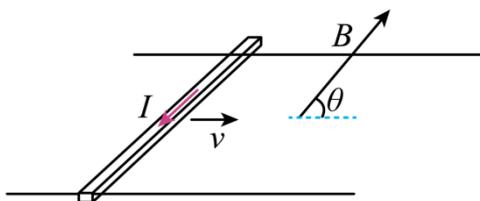


【答案】B

【详解】根据 $F = BIL$ ，可知先保持导线通电部分的长度 L 不变，改变电流 I 的大小，则 $F-I$ 图象是过原点的直线。同理保持电流 I 不变，改变通过电部分的长度 L ，则 $F-L$ 图象是过原点的直线。

故选 B。

13. (2022·湖北·高考真题) (多选) 如图所示，两平行导轨在同一水平面内。一导体棒垂直放在导轨上，棒与导轨间的动摩擦因数恒定。整个装置置于匀强磁场中，磁感应强度大小恒定，方向与金属棒垂直、与水平向右方向的夹角 θ 可调。导体棒沿导轨向右运动，现给导体棒通以图示方向的恒定电流，适当调整磁场方向，可以使导体棒沿导轨做匀加速运动或匀减速运动。已知导体棒加速时，加速度的最大值为 $\frac{\sqrt{3}}{3}g$ ；减速时，加速度的最大值为 $\sqrt{3}g$ ，其中 g 为重力加速度大小。下列说法正确的是（ ）



- A. 棒与导轨间的动摩擦因数为 $\frac{\sqrt{3}}{6}$
- B. 棒与导轨间的动摩擦因数为 $\frac{\sqrt{3}}{3}$
- C. 加速阶段加速度大小最大时，磁场方向斜向下， $\theta=60^\circ$
- D. 减速阶段加速度大小最大时，磁场方向斜向上， $\theta=150^\circ$

【答案】BC

【详解】设磁场方向与水平方向夹角为 θ_1 ， $\theta_1 < 90^\circ$ ；当导体棒加速且加速度最大时，合力向右最大，根据左手定则和受力分析可知安培力应该斜向右上方，磁场方向斜向右下方，

此时有 $F \sin \theta_1 - \mu(mg - F \cos \theta_1) = ma_1$ ，令 $\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}$ ， $\sin \alpha = \frac{\mu}{\sqrt{1+\mu^2}}$ ，根据数学知识可

得 $F(\sqrt{1+\mu^2}) \sin(\theta_1 + \alpha) = \mu mg + ma_1$ ，则有 $\sin(\theta_1 + \alpha) = \frac{\mu mg + ma_1}{F(\sqrt{1+\mu^2})} \leq 1$ ，同理磁场方向与水平

方向夹角为 θ_2 ， $\theta_2 < 90^\circ$ ，当导体棒减速，且加速度最大时，合力向左最大，根据左手定则和受力分析可知安培力应该斜向左下方，磁场方向斜向左上方，此时有

$F \sin \theta_2 + \mu(mg + F \cos \theta_2) = ma_2$ ，有 $F(\sqrt{1+\mu^2}) \sin(\theta_2 + \alpha) = ma_2 - \mu mg$ ，

所以有 $\sin(\theta_2 + \alpha) = \frac{ma_2 - \mu mg}{F(\sqrt{1+\mu^2})} \leq 1$ ，当加速或减速加速度分别最大时，不等式均取等于，联

立可得 $\mu = \frac{\sqrt{3}}{3}$ ，

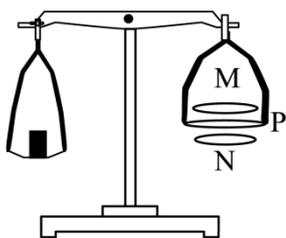
带入 $\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}$ ，可得 $\alpha = 30^\circ$ ，此时 $\theta_1 = \theta_2 = 60^\circ$ ，加速阶段加速度大小最大时，磁场方

向斜向右下方，有 $\theta = \theta_1 = 60^\circ$ ，减速阶段加速度大小最大时，磁场方向斜向左上方，有

$\theta = \pi - \theta_2 = 120^\circ$ ，故 BC 正确，AD 错误。

故选 BC。

14. (2021·重庆·高考真题)(多选) 某同学设计了一种天平，其装置如图所示。两相同的同轴圆线圈 M、N 水平固定，圆线圈 P 与 M、N 共轴且平行等距。初始时，线圈 M、N 通以等大反向的电流后，在线圈 P 处产生沿半径方向的磁场，线圈 P 内无电流且天平平衡。设从上往下看顺时针方向为正向。当左托盘放入重物后，要使线圈 P 仍在原位置且天平平衡，可能的办法是 ()



- A. 若 P 处磁场方向沿半径向外, 则在 P 中通入正向电流
- B. 若 P 处磁场方向沿半径向外, 则在 P 中通入负向电流
- C. 若 P 处磁场方向沿半径向内, 则在 P 中通入正向电流
- D. 若 P 处磁场方向沿半径向内, 则在 P 中通入负向电流

【答案】BC

【详解】AB. 当左托盘放入重物后, 要使线圈 P 仍在原位置且天平平衡, 则需要线圈 P 需要受到竖直向下的安培力, 若 P 处磁场方向沿半径向外, 由左手定则可知, 可在 P 中通入负向电流, 故 A 错误, B 正确; **CD.** 若 P 处磁场方向沿半径向内, 由左手定则可知, 可在 P 中通入正向电流, 故 C 正确, D 错误。

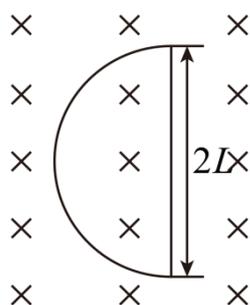
故选 BC。

15. (2021·江苏·高考真题) 在光滑桌面上将长为 πL 的软导线两端固定, 固定点的距离为 $2L$, 导线通有电流 I , 处于磁感应强度大小为 B 、方向竖直向下的匀强磁场中, 导线中的张力为 ()

- A. BIL
- B. $2BIL$
- C. πBIL
- D. $2\pi BIL$

【答案】A

【详解】 从上向下看导线的图形如图所示

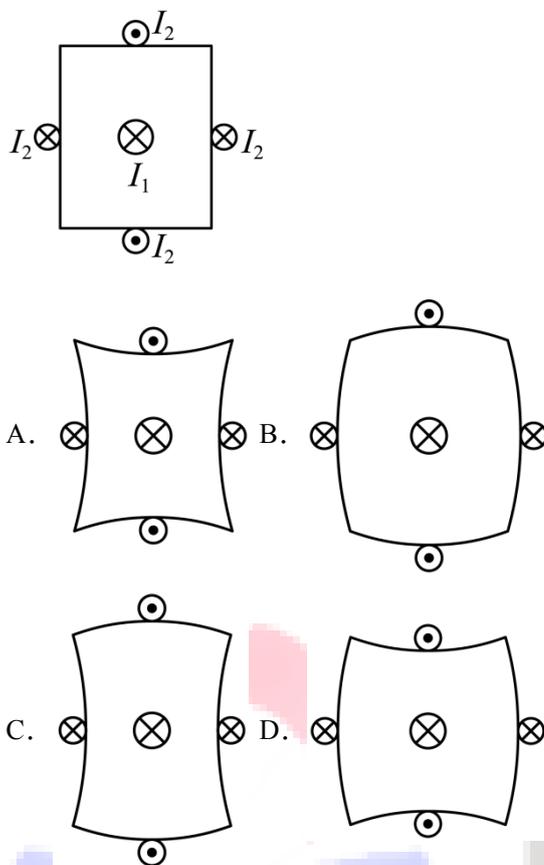


导线的有效长度为 $2L$, 则所受的安培力大小 $F = 2BIL$, 设绳子的张力为 T , 由几何关系可知 $T = \frac{F}{2}$, 解得 $T = BIL$, 故 A 正确, BCD 错误。

故选 A。

16. (2021·广东·高考真题) 截面为正方形的绝缘弹性长管中心有一固定长直导线, 长管外表面固定着对称分布的四根平行长直导线, 若中心直导线通入电流 I_1

，四根平行直导线均通入电流 I_2 ， $I_1 \neq I_2$ ，电流方向如图所示，下列截面图中可能正确表示通电后长管发生形变的是（ ）



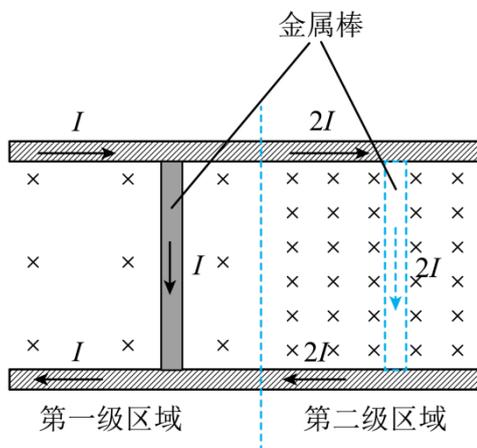
【答案】C

【详解】因 $I_1 \neq I_2$ ，则可不考虑四个边上的直导线之间的相互作用；根据两通电直导线间的安培力作用满足“同向电流相互吸引，异向电流相互排斥”，则正方形左右两侧的直导线 I_2 要受到 I_1 吸引的安培力，形成凹形，正方形上下两边的直导线 I_2 要受到 I_1 排斥的安培力，形成凸形，故变形后的形状如图 C。
故选 C。

17. (2023·北京·高考真题) 2022 年，我国阶段性建成并成功运行了“电磁撬”，创造了大质量电磁推进技术的世界最高速度纪录。一种两级导轨式电磁推进的原理如图所示。两平行长直金属导轨固定在水平面，导轨间垂直安放金属棒。金属棒可沿导轨无摩擦滑行，且始终与导轨接触良好，电流从一导轨流入，经过金属棒，再从另一导轨流回，图中电源未画出。导轨电流在两导轨间产生的磁场可视为匀强磁场，磁感应强度 B 与电流 i 的关系式为 $B = ki$ (k 为常量)。金属棒被该磁场力推动。当金属棒由第一级区域进入第二级区域时，回路中的电流由 I 变为 $2I$ 。已知两导轨内侧间距为 L ，每一级区域中金属棒被推进的距离均为 s

，金属棒的质量为 m 。求：

- (1) 金属棒经过第一级区域时受到安培力的大小 F ；
- (2) 金属棒经过第一、二级区域的加速度大小之比 $a_1 : a_2$ ；
- (3) 金属棒从静止开始经过两级区域推进后的速度大小 v 。



【答案】(1) kI^2L ；(2) 1:4；(3) $\sqrt{\frac{10kI^2Ls}{m}}$

【详解】(1) 由题意可知第一级区域中磁感应强度大小为 $B_1 = kI$

金属棒经过第一级区域时受到安培力的大小为 $F = B_1IL = kI^2L$

(2) 根据牛顿第二定律可知，金属棒经过第一级区域的加速度大小为 $a_1 = \frac{F}{m} = \frac{kI^2L}{m}$

第二级区域中磁感应强度大小为 $B_2 = 2kI$

金属棒经过第二级区域时受到安培力的大小为 $F' = B_2 \cdot 2IL = 4kI^2L$

金属棒经过第二级区域的加速度大小为 $a_2 = \frac{F'}{m} = \frac{4kI^2L}{m}$

则金属棒经过第一、二级区域的加速度大小之比为 $a_1 : a_2 = 1 : 4$

(3) 金属棒从静止开始经过两级区域推进后，根据动能定理可得 $Fs + F's = \frac{1}{2}mv^2 - 0$

解得金属棒从静止开始经过两级区域推进后的速度大小为 $v = \sqrt{\frac{10kI^2Ls}{m}}$

18. (2022·天津·高考真题) 直流电磁泵是利用安培力推动导电液体运动的一种设备，可用图1所示的模型讨论其原理，图2为图1的正视图。将两块相同的矩形导电平板竖直正对固定在长方体绝缘容器中，平板与容器等宽，两板间距为 l ，容器中装有导电液体，平板底端与容器底部留有高度可忽略的空隙，导电液体仅能从空隙进入两板间。初始时两板间接有直流电源，电源极性如图所示。若想实现两板间液面上升，可在两板间加垂直于 Oxy 面的匀强磁场，磁感应强度的大小为 B ，两板间液面上升时两板外的液面高度变化可忽略不计。已知导电液体的密度为 ρ_0 、电阻率为 ρ ，重力加速度为 g 。

- (1) 试判断所加磁场的方向；
 (2) 求两板间液面稳定在初始液面高度 2 倍时的电压 U_0 ；
 (3) 假定平板与容器足够高，求电压 U 满足什么条件时两板间液面能够持续上升。

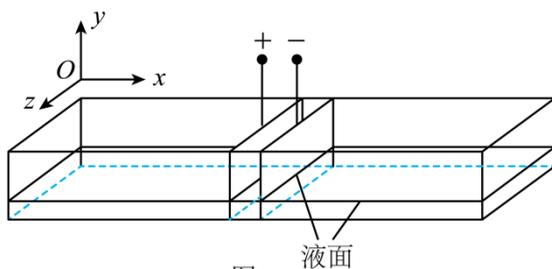


图1

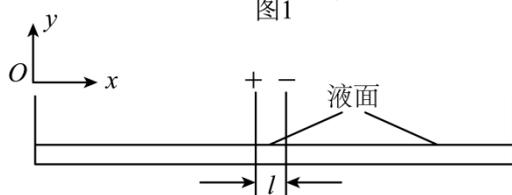


图2

【答案】(1) 沿 z 轴负方向；(2) $U_0 = \frac{\rho_0 \rho g l}{2B}$ ；(3) $U \geq \frac{\rho_0 \rho g l}{B}$

【详解】(1) 想实现两板间液面上升，导电液体需要受到向上的安培力，由图可知电流方向沿 x 轴正方向，根据左手定则可知，所加磁场的方向沿 z 轴负方向。

(2) 设平板宽度为 b ，两板间初始液面高度为 h ，当液面稳定在高度 $2h$ 时，两板间液体的电阻为 R ，则有

$$R = \rho \frac{l}{2hb}$$

当两板间所加电压为 U_0 时，设流过导电液体的电流为 I ，由欧姆定律可得 $I = \frac{U_0}{R}$

外加磁场磁感应强度大小为 B 时，设液体所受安培力的大小为 F ，则有 $F = BIl$

两板间液面稳定在高度 $2h$ 时，设两板间高出板外液面的液体质量为 m ，则有 $m = \rho_0 bhl$

两板间液体受到的安培力与两板间高出板外液面的液体重力平衡，则有 $F = mg$

联立以上式子解得 $U_0 = \frac{\rho_0 \rho g l}{2B}$

(3) 设两板间液面稳定时高度为 nh ，则两板间比容器中液面高出的部分液体的高度为 $(n-1)h$ ，与 (2) 同理可得

$$\frac{U}{\rho \frac{l}{nhb}} l B = \rho_0 (nh - h) b l g$$

整理上式，得 $U = \frac{n-1}{n} \cdot \frac{\rho \rho_0 l g}{B}$

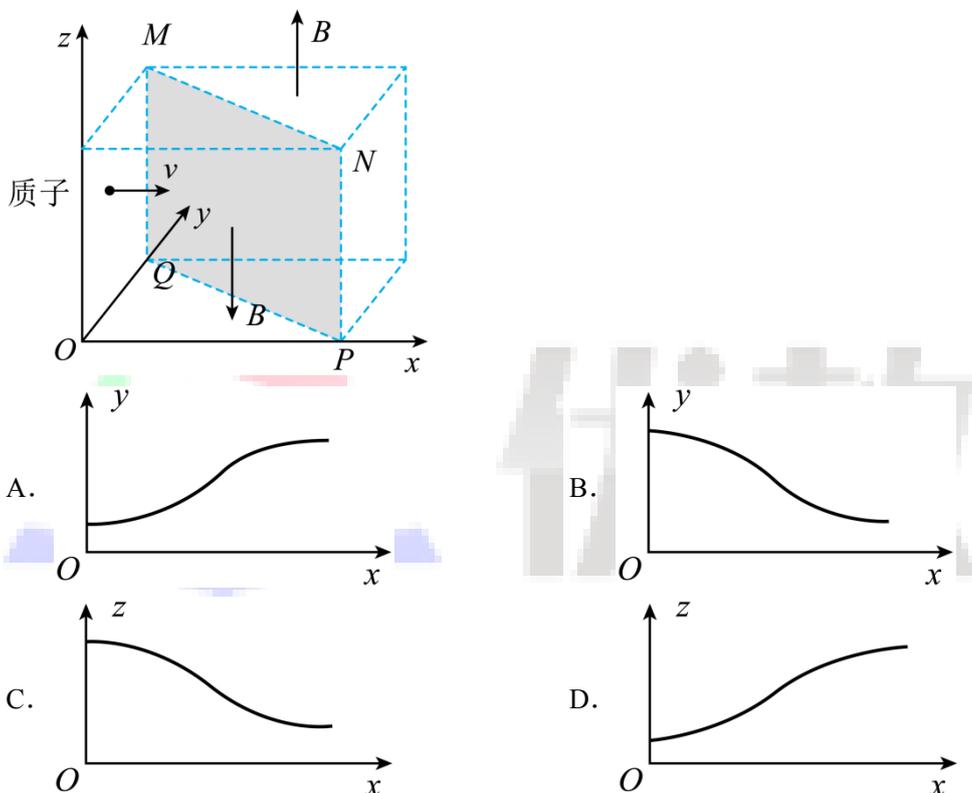
平板与容器足够高，若使两板间液面能够持续上升，则 n 趋近无穷大，即 $\frac{n-1}{n}$ 无限趋近于

1，可得

$$U \geq \frac{\rho_0 \rho g l}{B}$$

考向三 洛伦兹力

19. (2022·广东·高考真题) 如图所示, 一个立方体空间被对角平面 $MNPQ$ 划分成两个区域, 两区域分布有磁感应强度大小相等、方向相反且与 z 轴平行的匀强磁场。一质子以某一速度从立方体左侧垂直 Oyz 平面进入磁场, 并穿过两个磁场区域。下列关于质子运动轨迹在不同坐标平面的投影中, 可能正确的是 ()



【答案】A

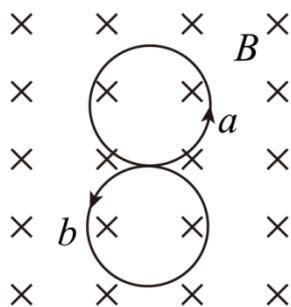
【详解】AB. 由题意知当质子射出后先在 MN 左侧运动, 刚射出时根据左手定则可知在 MN 受到 y 轴正方向的洛伦兹力, 即在 MN 左侧会向 y 轴正方向偏移, 做匀速圆周运动, y 轴坐标增大; 在 MN 右侧根据左手定则可知洛伦兹力反向, 质子在 y 轴正方向上做减速运动, 故 A 正确, B 错误; CD. 根据左手定则可知质人在整个运动过程中都只受到平行于 xOy 平面的洛伦兹力作用, 在 z 轴方向上没有运动, z 轴坐标不变, 故 CD 错误。

故选 A。

考点 02 带电粒子在磁场中的运动

考向一 带电粒子在磁场中的圆周运动

1. (2021·湖北·高考真题)(多选) 一电中性微粒静止在垂直纸面向里的匀强磁场中, 在某一时刻突然分裂成 a、b 和 c 三个微粒, a 和 b 在磁场中做半径相等的匀速圆周运动, 环绕方向如图所示, c 未在图中标出。仅考虑磁场对带电微粒的作用力, 下列说法正确的是()



- A. a 带负电荷 B. b 带正电荷
C. c 带负电荷 D. a 和 b 的动量大小一定相等

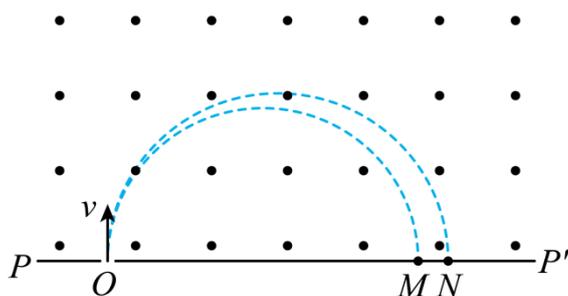
【答案】BC

【详解】ABC. 由左手定则可知, 粒子 a、粒子 b 均带正电, 电中性的微粒分裂的过程中, 总的电荷量应保持不变, 则粒子 c 应带负电, A 错误, BC 正确; **D.** 粒子在磁场中做匀速圆周运动时, 洛伦兹力提供向心力, 即 $qvB = m\frac{v^2}{R}$, 解得 $R = \frac{mv}{qB}$, 由于粒子 a 与粒子 b 的质量、电荷量大小关系未知, 则粒子 a 与粒子 b 的动量大小关系不确定, D 错误。

故选 BC。

2. (2023·福建·高考真题) 阿斯顿 (F. Aston) 借助自己发明的质谱仪发现了氖等元素的同位素而获得诺贝尔奖, 质谱仪分析同位素简化的工作原理如图所示。在 PP' 上方存在一垂直纸面向外的匀强磁场, 磁感应强度大小为 B 。两个氖离子在 O 处以相同速度 v 垂直磁场边界入射, 在磁场中发生偏转, 分别落在 M 和 N 处。已知某次实验中, $v = 9.6 \times 10^4 \text{ m/s}$, $B = 0.1 \text{ T}$, 落在 M 处氖离子比荷 (电荷量和质量之比) 为 $4.8 \times 10^6 \text{ C/kg}$; P 、 O 、 M 、 N 、 P' 在同一直线上; 离子重力不计。

- (1) 求 OM 的长度;
- (2) 若 ON 的长度是 OM 的 1.1 倍, 求落在 N 处氖离子的比荷。



【答案】(1) 0.4m；(2) $4.4 \times 10^6 \text{ C/kg}$

【详解】(1) 粒子进入磁场，洛伦兹力提供圆周运动的向心力则有 $qvB = m \frac{v^2}{r}$

整理得 $r = \frac{mv}{qB} = \frac{9.6 \times 10^4}{4.8 \times 10^6 \times 0.1} \text{ m} = 0.2 \text{ m}$

OM 的长度为 $OM = 2r = 0.4 \text{ m}$

(2) 若 ON 的长度是 OM 的 1.1 倍，则 ON 运动轨迹半径为 OM 运动轨迹半径 1.1 倍，根据洛伦兹力提供向心力得 $q'vB = m' \frac{v^2}{r'}$

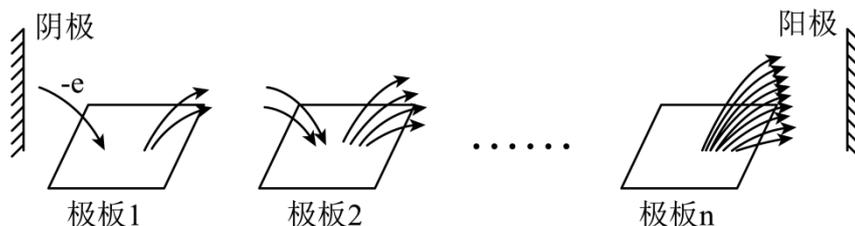
整理得 $\frac{q'}{m'} = \frac{v}{r'B} = \frac{v}{1.1rB} = 4.4 \times 10^6 \text{ C/kg}$

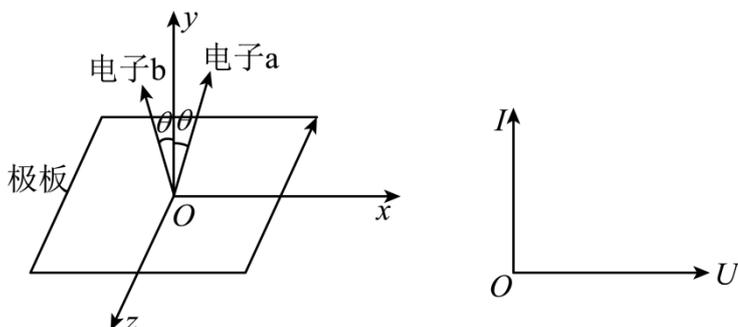
3. (2023·天津·高考真题) 信号放大器是一种放大电信号的仪器，如图 1，其可以通过在相邻极板间施加电压，使阴极逸出的电子，击中极板时，激发出更多电子，从而逐级放大电信号。已知电子质量 m ，带电量 e 。

(1) 如图 2，在极板上建系。极板上方空间内存在磁场，其强度为 B ，方向平行 z 轴。极板间电压 U 极小，几乎不影响电子运动。如图，某次激发中，产生了 2 个电子 a 和 b ，其初速度方向分别在 xOy 与 zOy 平面内，且与 y 轴正方向成 θ 角，则：

- (i) 判断 B 的方向；
- (ii) a 、 b 两个电子运动到下一个极板的时间 t_1 和 t_2 ；

(2) 若单位时间内阴极逸出的电子数量不变，每个电子打到极板上可以激发出 δ 个电子，且 $\delta \propto U$ ，阳极处接收电子产生的电流为 I ，在答题纸给出坐标系里画出表示 U 和 I 关系的图像并说出这样画的理由。



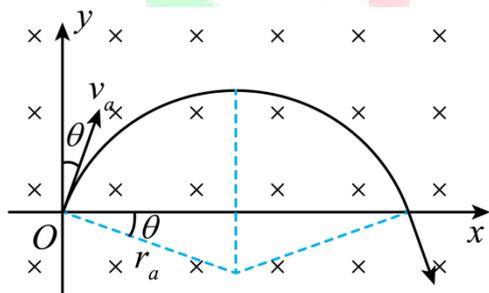


【答案】(1) (i) 沿 z 轴反方向; (ii) $t_1 = \frac{(\pi - 2\theta)m}{eB}$, $t_2 = \frac{\pi m}{eB}$ (2) 见解析

【详解】(1) (i) a 电子, 初速度方向在 xoy 平面内, 与 y 轴正方向成 θ 角; 若磁场方向沿 z 轴正方向, a 电子在洛伦兹力作用下向 x 轴负方向偏转, 不符合题意; 若磁场方向沿 z 轴反方向, a 电子在洛伦兹力作用下向 x 轴正方向偏转, 符合题意;

b 电子, 初速度方向在 zoy 平面内, 与 y 轴正方向成 θ 角。将 b 电子初速度沿坐标轴分解, 沿 z 轴的分速度与磁感线平行不受力, 沿 y 轴方向的分速度受到洛伦兹力使得电子沿 x 轴正方向偏转, 根据左手定则可知, 磁场方向沿 z 轴反方向。符合题意;

综上所述, 磁感应强度 B 的方向沿 z 轴反方向。



(ii) a 电子在洛伦兹力作用下运动轨迹如图, 由图可知电子运动到下一个极板的时间

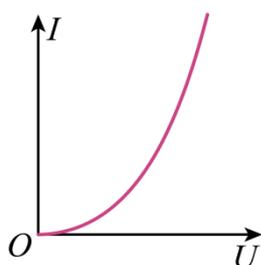
$$t_1 = \frac{2(\frac{\pi}{2} - \theta)}{2\pi} T = \frac{(\frac{\pi}{2} - \theta)}{\pi} \frac{2\pi m}{eB} = \frac{(\pi - 2\theta)m}{eB}$$

b 电子, 沿 z 轴的分速度与磁感线平行不受力, 对应匀速直线运动; 沿 y 轴方向的分速度受到洛伦兹力使电子向右偏转, 电子运动半个圆周到下一个极板的时间 $t_2 = \frac{\pi}{2\pi} T = \frac{\pi m}{eB}$

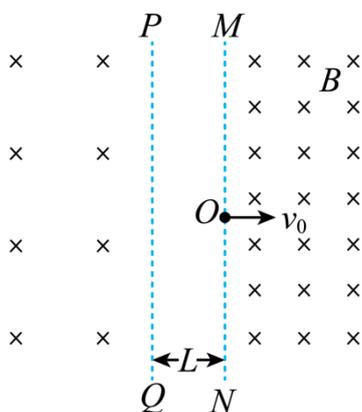
(2) 设 $\delta = kU$, 单位时间内阴极逸出的电子数量 N_0 不变, 每个电子打到极板上可以激发 δ 个电子, 经过 n 次激发阳极处接收电子数量 $N = N_0 \delta^n = N_0 (kU)^n = N_0 k^n U^n$

对应的电流 $I = Ne = eN_0 k^n U^n = (eN_0 k^n) U^n = AU^n$

可得 I-U 图像如图



4. (2023·河北唐山·迁西县第一中学校考二模)(多选) 如图所示, PQ 、 MN 是相互平行、间距为 L 的长直边界, 在两边界外侧都存在匀强磁场, 方向均垂直于纸面向内, MN 右侧磁场的磁感应强度大小为 B 。一质量为 m , 电荷量为 $+q$ 的带电粒子从 MN 边界的 O 点以大小为 v 的初速度垂直于边界沿纸面射入右侧磁场区, 一段时间后粒子从右向左再次经过 O 点, 不计粒子的重力。左侧磁场的磁感应强度可能值为 ()



A. $\frac{B}{4}$

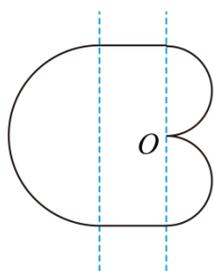
B. $\frac{B}{3}$

C. $\frac{B}{2}$

D. $\frac{2B}{3}$

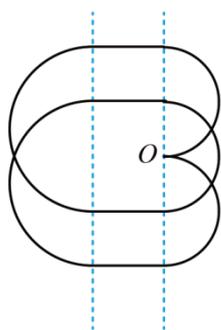
【答案】CD

【详解】根据题意, 设带电粒子在右侧匀强磁场中运动的轨道半径为 r , 由 $qvB = m\frac{v^2}{r}$, 解得 $B = \frac{mv}{qr}$, 设粒子在 PQ 左侧匀强磁场中运动的轨道半径为 R , 若粒子进入左侧磁场区运动一次后, 从右向左经过 O 点, 其轨迹如图



则有 $R_1 = 2r$, 由 $qvB_1 = m\frac{v^2}{R_1}$, 解得 $B_1 = \frac{mv}{qR_1} = \frac{B}{2}$, 若粒子两次进入左侧磁场区运动后, 才从

右向左经过O点，粒子运动轨迹如图

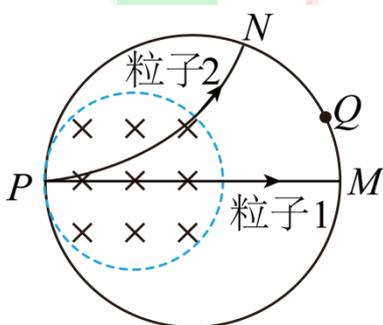


由几何关系可知 $2R_2 = 3r$ ，由 $qvB_2 = m\frac{v^2}{R_2}$ ，解得 $B_2 = \frac{mv}{qR_2} = \frac{2B}{3}$ 。

故选CD。

考向二带电粒子在有界磁场运动的临界与极值问题

5. (2022·辽宁·高考真题)(多选) 粒子物理研究中使用的一种球状探测装置横截面的简化模型如图所示。内圆区域有垂直纸面向里的匀强磁场，外圆是探测器。两个粒子先后从P点沿径向射入磁场，粒子1沿直线通过磁场区域后打在探测器上的M点。粒子2经磁场偏转后打在探测器上的N点。装置内部为真空状态，忽略粒子重力及粒子间相互作用力。下列说法正确的是()



- A. 粒子1可能为中子
- B. 粒子2可能为电子
- C. 若增大磁感应强度，粒子1可能打在探测器上的Q点
- D. 若增大粒子入射速度，粒子2可能打在探测器上的Q点

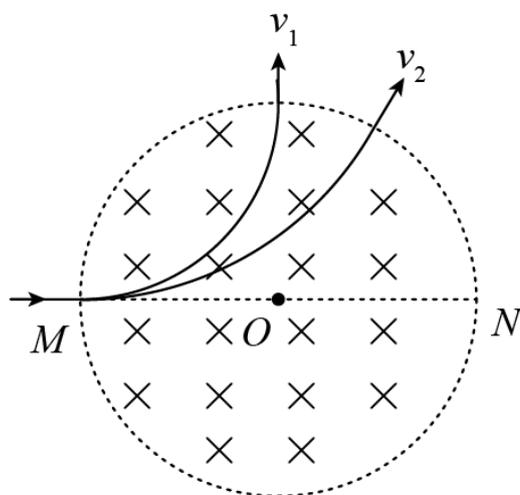
【答案】AD

【详解】AB. 由题图可看出粒子1没有偏转，说明粒子1不带电，则粒子1可能为中子；粒子2向上偏转，根据左手定则可知粒子2应该带正电，A正确、B错误；C. 由以上分析可知粒子1为中子，则无论如何增大磁感应强度，粒子1都不会偏转，C错误；D. 粒子2在磁场中洛伦兹力提供向心力有 $qvB = m\frac{v^2}{r}$ ，解得 $r = \frac{mv}{qB}$ ，可知若增大粒子入射速度，则粒

子 2 的半径增大，粒子 2 可能打在探测器上的 Q 点，D 正确。

故选 AD。

6. (2021·全国·高考真题) 如图，圆形区域内有垂直纸面向里的匀强磁场，质量为 m 、电荷量为 $q (q > 0)$ 的带电粒子从圆周上的 M 点沿直径 MON 方向射入磁场。若粒子射入磁场时的速度大小为 v_1 ，离开磁场时速度方向偏转 90° ；若射入磁场时的速度大小为 v_2 ，离开磁场时速度方向偏转 60° ，不计重力，则 $\frac{v_1}{v_2}$ 为 ()



A. $\frac{1}{2}$

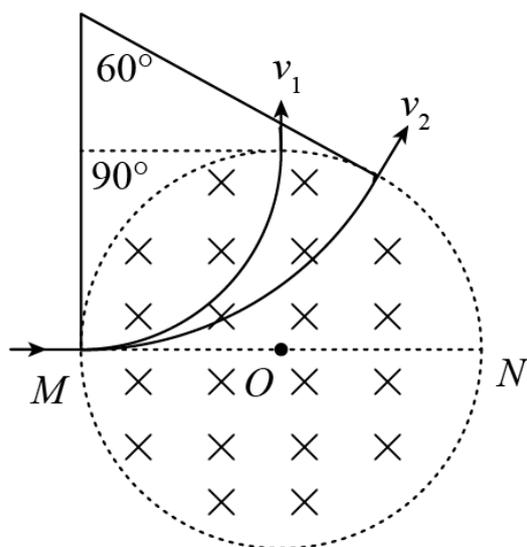
B. $\frac{\sqrt{3}}{3}$

C. $\frac{\sqrt{3}}{2}$

D. $\sqrt{3}$

【答案】B

【详解】根据题意做出粒子的圆心如图所示

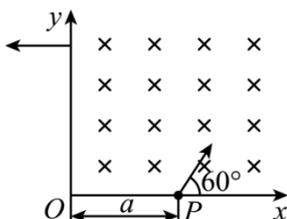


设圆形磁场区域的半径为 R ，根据几何关系有第一次的半径 $r_1 = R$ ，第二次的半径 $r_2 = \sqrt{3}R$ ，

根据洛伦兹力提供向心力有 $qvB = \frac{mv^2}{r}$ ，可得 $v = \frac{qrB}{m}$ ，所以 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{\sqrt{3}}{3}$ 。

故选 B。

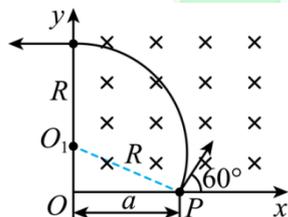
7. (2021·北京·高考真题) 如图所示，在 xOy 坐标系的第一象限内存在匀强磁场。一带电粒子在 P 点以与 x 轴正方向成 60° 的方向垂直磁场射入，并恰好垂直于 y 轴射出磁场。已知带电粒子质量为 m 、电荷量为 q ， $OP = a$ 。不计重力。根据上述信息可以得出 ()



- A. 带电粒子在磁场中运动的轨迹方程
- B. 带电粒子在磁场中运动的速率
- C. 带电粒子在磁场中运动的时间
- D. 该匀强磁场的磁感应强度

【答案】A

【详解】粒子恰好垂直于 y 轴射出磁场，做两速度的垂线交点为圆心 O_1 ，轨迹如图所示



A. 由几何关系可知 $OO_1 = a \tan 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3} a$ ， $R = \frac{a}{\cos 30^\circ} = \frac{2\sqrt{3}}{3} a$ ，因圆心的坐标为 $(0, \frac{\sqrt{3}}{3} a)$ ，

则带电粒子在磁场中运动的轨迹方程为 $x^2 + (y - \frac{\sqrt{3}}{3} a)^2 = \frac{4}{3} a^2$ ，故 A 正确；BD. 洛伦兹力提供

向心力，有 $qvB = m \frac{v^2}{R}$ ，解得带电粒子在磁场中运动的速率为 $v = \frac{qBR}{m}$ ，因轨迹圆的半径 R 可求出，但磁感应强度 B 未知，则无法求出带电粒子在磁场中运动的速率，故 BD 错误；

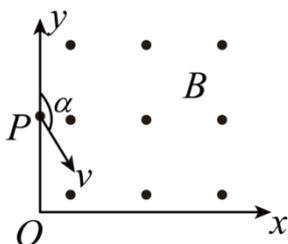
C. 带电粒子圆周的圆心角为 $\frac{2}{3} \pi$ ，而周期为 $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$ ，则带电粒子在磁场中运动的

时间为 $t = \frac{\frac{2}{3} \pi}{2\pi} T = \frac{2\pi m}{3qB}$ ，因磁感应强度 B 未知，则运动时间无法求得，故 C 错误；

故选 A。

8. (2021·海南·高考真题) (多选) 如图，在平面直角坐标系 Oxy 的第一象限内，存在垂直

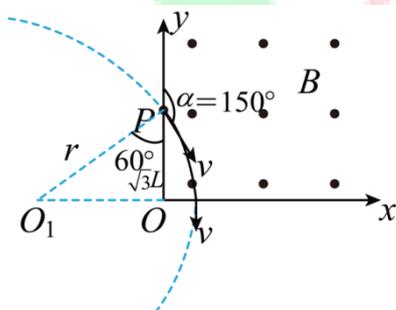
纸面向外的匀强磁场，磁感应强度大小为 B 。大量质量为 m 、电量为 q 的相同粒子从 y 轴上的 $P(0, \sqrt{3}L)$ 点，以相同的速率在纸面内沿不同方向先后射入磁场，设入射速度方向与 y 轴正方向的夹角为 α ($0 \leq \alpha \leq 180^\circ$)。当 $\alpha = 150^\circ$ 时，粒子垂直 x 轴离开磁场。不计粒子的重力。则 ()



- A. 粒子一定带正电
- B. 当 $\alpha = 45^\circ$ 时，粒子也垂直 x 轴离开磁场
- C. 粒子入射速率为 $\frac{2\sqrt{3}qBL}{m}$
- D. 粒子离开磁场的位置到 O 点的最大距离为 $3\sqrt{5}L$

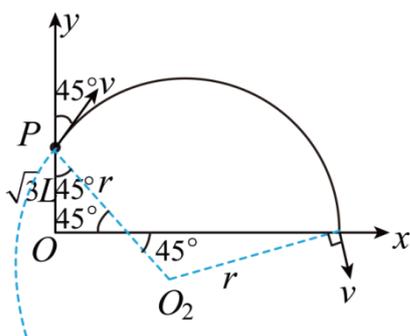
【答案】ACD

【详解】A. 根据题意可知粒子垂直 x 轴离开磁场，根据左手定则可知粒子带正电，A 正确
BC. 当 $\alpha = 150^\circ$ 时，粒子垂直 x 轴离开磁场，运动轨迹如图



粒子运动的半径为 $r = \frac{\sqrt{3}L}{\cos 60^\circ} = 2\sqrt{3}L$ ，洛伦兹力提供向心力 $qvB = m\frac{v^2}{r}$ ，解得粒子入射速率

$v = \frac{2\sqrt{3}qBL}{m}$ ，若 $\alpha = 45^\circ$ ，粒子运动轨迹如图



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/598030125006007001>

