

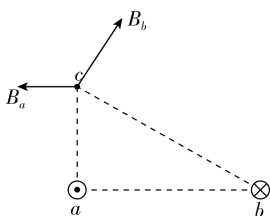
# 第十一单元 磁 场

## 考点基础巩固卷 I

### 1. C 必刷考点 ▶ 通电长直导线周围的磁场叠加

【深度解析】 $a$  处电流在  $c$  处产生的磁感应强度大小为  $B_a = k \frac{I}{l}$ ,  $b$  处电流在  $c$  处产生的磁感应强度大小为  $B_b = k \frac{4I}{2l} = \frac{2kI}{l}$ ,  $B_a$ 、 $B_b$  的方向如图所示, 夹角为  $120^\circ$ , 由余弦定理可知  $c$  点磁感应强度大小为  $B_c = \sqrt{B_a^2 + B_b^2 - 2B_a B_b \cos 60^\circ} = \sqrt{3} k \frac{I}{l}$ ,

C 正确。

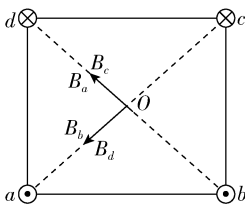


### 技巧必背

磁场叠加问题的解题思路, 首先确定磁场场源, 如通电导线, 然后定位空间中需要求解磁场的点, 利用安培定则判定各个场源在这点上产生的磁感应强度的大小和方向, 再应用平行四边形定则进行合成。

### 2. A 必刷考点 ▶ 通电长直导线周围磁场的叠加+安培力的计算

【深度解析】 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  四条通电直导线在  $O$  处产生的磁感应强度的大小均为  $B = \sqrt{2} k \frac{I}{L}$ , 根据安培定则可知, 各通电直导线在  $O$  处的磁场方向 (俯视) 如图所示, 根据平行四边形定则结合几何关系可得  $B_{\text{合}} = 2 \times \sqrt{2} \times \sqrt{2} k \frac{I}{L} = 4k \frac{I}{L}$ , 方向水平向左, 再由左手定则可知, 通电导线  $O$  受到的安培力方向垂直纸面向外 ( $d \rightarrow a$ ), 大小为  $F_A = \frac{4kI}{L} \cdot 2I \cdot L = 8kI^2$ 。由平衡条件得, 施加给导线  $O$  的外力大小应为  $F = 8kI^2$ , 方向垂直纸面向里, A 正确。



3. B 必刷考点 ▶ 磁场的叠加与图像问题

| 选项 | 分析  | 正误 |
|----|---|----|
| A  | 开始时 $N$ 背离 $O$ 点,所以 $O$ 点处的磁极是 $N$ 极,即 $P$ 的右端为 $N$ 极   | ×  |
| B  | 无穷远处小磁针所指的方向为地磁场的方向, $x$ 趋向无穷时, $\sin \theta$ 趋向 1,则 $\theta$ 趋向 $90^\circ$ ,即小磁针的方向与 $x$ 轴的方向垂直, $x$ 轴方向与地磁场方向垂直                             | √  |
| C  | 小磁针在 $x_0$ 处有 $\sin \theta = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \theta = 45^\circ$ ,则有<br>$\tan 45^\circ = \frac{B_0}{B_p} \Rightarrow B_p = B_0$ | ×  |
| D  | $x_0$ 处合磁场的磁感应强度大小 $B = \frac{B_0}{\sin 45^\circ} = \sqrt{2}B_0$  | ×  |

4. C 必刷考点 ▶ 通电长直导线之间的安培力作用

【深度解析】因四根导线中的电流大小相等, $O$  点与四根导线的距离均相等,由右手螺旋定则和对称性可知, $L_1$  在  $O$  点产生的磁感应强度与  $L_3$  在  $O$  点产生的磁感应强度等大反向, $L_2$  在  $O$  点产生的磁感应强度与  $L_4$  在  $O$  点产生的磁感应强度等大反向,所以  $O$  点的磁感应强度等于零, **A、B 错误**;根据“同向电流吸引,反向电流排斥”的推论可知, $L_1$  受其余三条导线的吸引力分别指向三条导线,根据对称性, $L_2$  与  $L_4$  对  $L_1$  的安培力大小相等,所以两者合力的方向由  $M$  点指向  $P$  点,再与  $L_3$  对  $L_1$  的安培力合成,总安培力方向由  $M$  点指向  $P$  点, **C 正确**;  $L_2$  相比  $L_3$  离  $L_1$  更近些,对于  $L_1$  产生的磁场,  $L_2$  处磁感应强度更大,由安培力大小与磁感应强度成正比可知  $L_1$  对  $L_2$  的安培力大于  $L_1$  对  $L_3$  的安培力,则  $L_2$  对  $L_1$  的安培力大于  $L_3$  对  $L_1$  的安培力, **D 错误**。

技巧必背

同向电流互相吸引,异向电流互相排斥;两不平行的直线电流相互作用时,有转到平行且电流方向相同的趋势。

5. C 必刷考点 ▶ 安培力作用下的应用问题

| 选项 | 分析   | 正误 |
|----|--|----|
| A  | 列车磁铁定子和电流转子分别安装在轨道和车体上,凭无接触力推动列车飞驰,车体前进的驱动力不是静电力,而是磁场对电流的安培力 | ×  |
| B  | 车体在水平运动过程中速度不一定相等,不会始终保持平衡状态                                 | ×  |

| 选项 | 分析   | 正误 |
|----|--|----|
| C  | 轨道对车体的吸引力等于列车重力,车体满载时较空载时吸引力更大, $I_{\text{磁}}$ 更大  | √  |
| D  | 车体右转时乘客受到座位的作用力,不足以提供向心力时,乘客将做离心运动,发生离心现象,并没有离心力作用 | ×  |

#### 6. D 必刷考点 ▶ 左手定则与安培力的简单应用

【深度解析】由题意可知,导体棒  $PQ$  通入电流后,弹簧的弹力变大,可知  $PQ$  所受安培力方向竖直向下,根据左手定则可知电流方向从右向左, **A 错误**;因为导体棒  $PQ$  在磁场中的长度小于  $L$ ,所以  $PQ$  受到的安培力大小小于  $BIL$ , **B 错误**;若撤去电流, $PQ$  的平衡位置处于磁场上边界,可知  $PQ$  将做振幅为  $\frac{h}{2}$  的简谐运动, **C 错误**;设磁场宽度为  $L_0$ ,根据题意可得  $\Delta F = k \times \frac{h}{2} = BIL_0$ ,若电流大小缓慢增加到  $1.5I$ ,则有  $\Delta F' = k \cdot x = B \cdot 1.5IL_0$ ,解得  $x = \frac{3}{4}h < h$ ,可知  $PQ$  未离开磁场, **D 正确**。

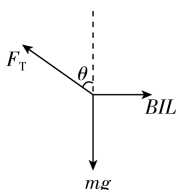
#### 7. A 必刷考点 ▶ 安培力作用下的力电综合问题

【深度解析】悬挂金属棒的绝缘细线向左偏离竖直方向最大摆角为  $37^\circ$ ,说明安培力水平向左,由左手定则可知磁场方向竖直向下,由动能定理有  $-mgl(1 - \cos 37^\circ) + BIL \cdot l \sin 37^\circ = 0$ ,金属棒的质量  $m = \rho SL$ ,通过金属棒的电流  $I = \frac{U}{R}$ ,联立可得  $B = \frac{\rho SgR}{3U}$ , **A 正确, B 错误**;设金属棒电阻率为  $\rho_0$ ,则  $R = \rho_0 \frac{L}{S}$ ,金属棒运动过程中受到的安培力不变,将重力与安培力合成为等效重力,可知金属棒经过最低点与最高点圆弧的中点时受力平衡,则有  $\tan \frac{\theta}{2} = \frac{F_{\text{安}}}{mg} = \frac{IBL}{mg} = \frac{UBL}{Rmg} = \frac{UBS}{\rho_0 mg}$ ,可知  $\theta$  与绝缘细线的长度无关,与金属棒的质量成反比,所以增长绝缘细线长度,其余条件不变,金属棒摆角将不变;减小金属棒长度,其余条件不变,则金属棒质量减小,摆角将大于  $37^\circ$ , **C、D 错误**。

#### 8. C 必刷考点 ▶ 安培力

【深度解析】 $bc$  边与磁场垂直,则安培力大小为  $F = BIL$ ,根据左手定则,沿  $OO'$  方向观测,安培力方向水平向右, **A 错误**;线框摆动到最高点时,与竖直平面成  $\theta$  角,  $bc$  边受力如图所示,由于此时  $bc$  受力不平衡,所以  $\tan \theta \neq \frac{BIL}{mg}$ , **B 错误**;线框由静止摆动到最大幅度的过程中,根据动能定理得  $BIL \cdot L \sin \theta - mgL(1 - \cos \theta) = 0$ ,可得  $\frac{1 - \cos \theta}{\sin \theta} = \frac{BIL}{mg}$ , **C 正确**;当  $\theta =$

90°时,重力和电场力大小相等,两力的合力大小为  $F_{\text{合}} = \sqrt{2}mg$ ,方向与重力成 45°角斜向下,可知当摆角为 45°时,  $bc$  速度最大,根据动能定理有  $\sqrt{2}mg \cdot L(1 - \cos 45^\circ) = \frac{1}{2}mv^2$ ,解得  $v = \sqrt{(2\sqrt{2} - 2)gL}$ , **D 错误**。



### 9. D 必刷考点 ▶ 左手定则和安培力作用下的简单计算

【深度解析】由于左盘中的砝码质量大于右盘下矩形线圈的质量,所以当天平平衡时,线圈必然受到了向下的安培力,由左手定则可以判定线圈中电流的方向为顺时针, **A 错误**;当天平平衡时,线圈受到的安培力应等于左盘中砝码重力与右盘下线圈重力之差,即  $F_{\text{安}} = m_1g - m_0g = 0.05 \text{ N}$ , **B 错误**;由于电路为串联结构,所以流过线圈的电流等于流过内阻的电流,即  $I = \frac{E - U}{r} = 0.1 \text{ A}$ , **C 错误**;由安培力公式可得  $F_{\text{安}} = nBIL$ ,可得磁感应强度的大小  $B = \frac{F_{\text{安}}}{nIl} = \frac{0.05}{10 \times 0.1 \times 0.1} \text{ T} = 0.5 \text{ T}$ , **D 正确**。

### 10. C 必刷考点 ▶ 安培力作用下的力电综合

【深度解析】由电路可知钢球中电流方向垂直于纸面向里,由左手定则可知磁铁上方轨道处磁场方向向上,故磁铁 N 极朝上, **A 错误**;取下电池后,小钢球缺少安培力做功,即使能从导轨末端抛出,小钢球抛出时的初速度减小将不能到达平台, **B 错误**;小钢球抛出后的运动可反向看作平抛运动,则  $y = \frac{1}{2}gt^2$ ,  $x = v_x t$ ,解得  $t = 0.2 \text{ s}$ ,  $v_x = 1 \text{ m/s}$ ,所以  $v_y = gt = 2 \text{ m/s}$ ,所以小钢球抛出时的速度为  $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{5} \text{ m/s}$ , **C 正确**;为了维持“永动”,每个循环安培力做的功应该补充机械能的损失,则安培力做功一部分克服摩擦力做的功,还有一部分是碰撞挡板的损失,一定大于  $0.04 \text{ J}$ , **D 错误**。

### 11. (1) 2 kg (2) 15 N

#### 必刷考点 ▶ 安培力作用下的平衡问题+牛顿第二定律

【深度解析】(1) 根据闭合电路欧姆定律有  $I = \frac{E}{R + r}$ ,

可得通过金属棒的电流大小  $I = 5 \text{ A}$ ,

因为金属棒恰好不向右滑动,所以其所受最大静摩擦力方向向左,对金属棒根据平衡条件可得  $BIL + f = T$ ,

其中  $f = \mu mg$ ,

对重物有  $T = Mg$ ,

联立以上各式解得  $M=2\text{ kg}$ 。

(2) 若撤去磁场, 则安培力消失, 设细线中张力大小为  $T'$ , 对金属棒和重物分别有  $T'-f=ma$ ,

$$Mg-T'=Ma,$$

代入数据得  $T'=15\text{ N}$ 。

12. (1)  $\sqrt{\frac{gd^2}{2h}+2gh}$ , 其中  $\sin \theta = \frac{2h}{\sqrt{4h^2+d^2}}$

(2)  $Bl\sqrt{\frac{gd^2}{2h}+2gh} + \frac{2mghR}{Bl\sqrt{4h^2+d^2}}$

### 必刷考点 ▶ 安培力作用下的力电综合

【深度解析】(1) 炮弹发射出去后的运动可看作平抛运动的

逆过程, 则  $h = \frac{1}{2}gt^2$ ,

$$v_x = \frac{d}{t}, v_y = gt,$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2},$$

联立可得  $v = \sqrt{\frac{gd^2}{2h} + 2gh}$ ,

设炮弹的发射速度方向与水平方向的夹角为  $\theta$ , 则

$$\sin \theta = \frac{v_y}{v},$$

可得  $\sin \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{d^2}{4h^2}}} = \frac{2h}{\sqrt{4h^2 + d^2}}$ 。

(2) 炮弹匀速运动时, 有  $mg \sin \theta = BIl$ ,

根据欧姆定律得  $E - Blv = IR$ ,

联立可得  $E = Bl\sqrt{\frac{gd^2}{2h} + 2gh} + \frac{2mghR}{Bl\sqrt{4h^2 + d^2}}$ 。

## 考点基础巩固卷 II

### 1. B 必刷考点 ▶ 左手定则和带电粒子在磁场中做圆周运动

【深度解析】带电粒子在磁场中做圆周运动, 有  $qvB = m \frac{v^2}{r}$ , 可

得  $r = \frac{mv}{qB}$ , 根据题意可知, 粒子的动能逐渐减小, 即粒子的速度越来越小, 则粒子的轨迹半径越来越小, 由图可知粒子从  $b$  运动到  $a$ , 由粒子的轨迹可以判断洛伦兹力的方向, 再根据左手定则可知, 粒子带正电, 粒子在磁场中运动时, 洛伦兹力对它不做功, 故 **B** 正确。

### 2. D 必刷考点 ▶ 粒子在有界磁场中的运动

【深度解析】电子在磁场中运动的轨迹半径  $R = \frac{mv}{qB}$ , 电子的速

度越大, 其在磁场中运动的轨迹半径就越大, 轨迹可能越长, 但由数学知识可知, 在磁场中运动轨迹长的电子轨迹所对应的圆心角不一定越大, 例如从  $ab$  射出的所有电子轨迹所对

应的圆心角均为  $120^\circ$ , 根据  $t = \frac{\theta}{2\pi} \cdot T = \frac{\theta}{2\pi} \cdot \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\theta m}{qB}$ , 可知这些电子在磁场中运动的时间均相等, **A 错误**; 设  $ab = bc = cd = \frac{1}{2}ad = l$ , 由数学知识知该等腰梯形的顶角  $\angle bad = 60^\circ$ , 利用几何知识可得垂直于  $cd$  边射出磁场的电子轨迹半径  $r = 2\sqrt{3}l$ , 在磁场中运动轨迹所对应的圆心角为  $30^\circ$ , 即  $\theta = \frac{\pi}{6}$ , 故有  $t = \frac{\theta m}{qB} = \frac{\pi m}{6qB}$ , 垂直于  $bc$  边射出磁场的电子轨迹半径为  $r' = ab \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}l = \frac{1}{4}r$ , 在磁场中运动轨迹所对应的圆心角为  $90^\circ$ , 即  $\theta' = \frac{\pi}{2}$ , 故有  $t' = \frac{\theta' m}{qB} = \frac{\pi m}{2qB} = 3t$ , **B、C 错误**; 由数学知识可知弦切角等于所夹弧所对应圆心角的一半, 可知电子从  $a$  点运动到  $b$  点轨迹所对应的弦为  $ab$ , 弦切角  $\angle bad = 60^\circ$ , 可得轨迹对应的圆心角为  $\theta_1 = 120^\circ$ , 从  $a$  点运动到  $c$  点轨迹所对应的弦为  $ac$ , 弦切角  $\angle cad = 30^\circ$ , 可得轨迹对应的圆心角为  $\theta_2 = 60^\circ$ , 根据  $t = \frac{\theta m}{qB}$ , 可知电子从  $a$  点运动到  $b$  点所用的时间是从  $a$  点运动到  $c$  点所用时间的 2 倍, **D 正确**。

### 技巧必背

带电粒子在磁场中运动, 比较时间长短及求最值, 速度大小相同利用  $t = \frac{s}{v}$  来比较时间长短及求最值, 粒子比荷相同利用  $t = \frac{\theta m}{qB}$  来比较时间长短及求最值, 由圆心角确定粒子在磁场中的运动时间。

### 3. B 必刷考点 ▶ 粒子在直线边界磁场中运动的最值问题

**【深度解析】** 离子在磁场中运动, 由  $qvB = m \frac{v^2}{r}$ , 可得  $r = \frac{mv}{qB} = \frac{m}{qB} \cdot \frac{qBL}{m} = L$ , 则垂直左边界射入磁场的离子恰与右边界相切, 在磁场中运动半个圆周且时间最长, 最长时间  $t_{\max} = \frac{T}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\pi m}{qB}$ , 此时离子从左边界离开磁场, 射入点与射出点间的距离最大, 大小为  $2L$ , **A、D 错误**; 当离子在磁场中做圆周运动的弦长最短时, 圆心角最小, 运动时间最短, 则最短弦长为  $L$ , 由几何关系可得, 此时圆心角为  $60^\circ$ , 此过程最短时间  $t_{\min} = \frac{T}{6} = \frac{1}{6} \cdot \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\pi m}{3qB}$ , **B 正确**; 离子初速度沿左边界向下时, 做四分之一周期的圆周运动, 从右侧边界离开磁场, 此时有最大弦长, 则离子从右侧边界离开磁场时, 在磁场中运动的最长时间  $t'_{\max} = \frac{T}{4} = \frac{1}{4} \cdot \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\pi m}{2qB}$ , **C 错误**。

## 技巧必背

粒子源在同一位置发射速度大小一定、方向不同的同种带电粒子垂直进入匀强磁场时,利用旋转圆模型作图,确定临界状态;粒子源在同一直线上发射速度大小一定、方向相同的同种带电粒子垂直进入匀强磁场时,利用平移圆模型作图,确定临界状态;粒子源在同一位置发射速度大小不同、方向一定的同种带电粒子垂直进入匀强磁场时,利用缩放圆模型作图,确定临界状态。

### 4. A 必刷考点 ▶ 带电粒子在组合场中运动及洛伦兹力在现代科技中的应用

【深度解析】粒子在加速电场中运动,根据动能定理得  $qU = \frac{1}{2}mv^2$ ,粒子在匀强磁场中运动,由洛伦兹力提供向心力得

$$qvB = m \frac{v^2}{r}, \text{解得粒子做圆周运动的半径 } r = \frac{mv}{qB} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}, \text{对}$$

于给定的加速电压,由题意知  $r$  不变,带电粒子的比荷  $\frac{q}{m}$  越

大,则  $B = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$  越小, **A 正确, B 错误**;对于给定的带电粒

子,带电粒子的比荷  $\frac{q}{m}$  不变,加速电压  $U$  越大,要保持半径  $r$

不变,  $B$  应增大,则周期  $T = \frac{2\pi m}{qB}$  会减小, **C、D 错误**。

### 5. D 必刷考点 ▶ 带电粒子在组合场中的运动

【深度解析】由于粒子带正电,所受电场力方向竖直向下,而粒子沿直线穿过电容器,根据平衡条件可知其所受洛伦兹力方向一定竖直向上,根据左手定则可知磁场方向垂直纸面向里, **A 错误**;板间

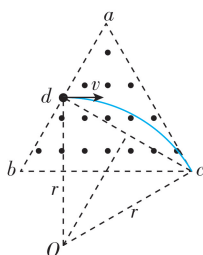
电场强度大小  $E = \frac{U}{d}$ ,根据平衡条件可

知  $Eq = B_1 qv$ ,解得  $B_1 = \frac{U}{vd}$ , **B 错误**;粒子在三角形区域运动轨

迹如图所示,由几何关系可知,三角形  $Odc$  为等边三角形,即

$r = dc$ ,由几何关系可知  $dc = \frac{\sqrt{3}}{2}l$ ,由牛顿第二定律可知

$$qvB_2 = m \frac{v^2}{r}, \text{解得 } B_2 = \frac{2\sqrt{3}mv}{3ql}, \text{C 错误, D 正确}。$$



### 6. B 必刷考点 ▶ 带电粒子在磁场中的运动

【深度解析】以速率  $v$  从  $A$  点沿  $AO$  方向射入磁场的粒子,经磁场偏转后,恰好垂直打到感光板上,由几何知识可知该圆形区域的半径恰好等于粒子在磁场中运动的半径,根据

$$Bqv = m \frac{v^2}{r} \text{ 可得圆形磁场区域半径 } r = \frac{mv}{qB}, \text{A 错误;若粒子以}$$

速率  $v$  从  $A$  点沿  $AP$  方向射出,可知粒子将沿  $AP$  直接运动到

$PQ$  上,所用时间最短,设为  $t_{\min}$ ,则  $t_{\min} = \frac{\sqrt{3}r}{v} = \frac{\sqrt{3}m}{qB} = \frac{4m}{qB}$ ;若粒

子以速率  $v$  从  $A$  点水平向左飞入磁场,则由选项 A 分析可知粒子在磁场中运动的圆心将位于  $O$  点,粒子从  $C$  点沿  $CQ$  运

动到  $PQ$  上,所用时间最长,设为  $t_{\max}$ ,则  $t_{\max} = \frac{T}{2} + \frac{\sqrt{3}r}{v}$ ,又

$$qvB = m \frac{v^2}{r}, T = \frac{2\pi r}{v}, \text{可得 } T = \frac{2\pi m}{qB}, \text{联立可得 } t_{\max} = \frac{(\pi + \sqrt{3})m}{qB} >$$

$$\frac{4m}{qB}, \text{结合几何知识可知,从 } A \text{ 点运动到 } PQ \text{ 上用时可能为 } \frac{4m}{qB},$$

**B 正确**;以速率  $2v$  从  $A$  点射入磁场,则粒子在磁场中做匀速圆周运动的轨迹半径为  $2r$ ,从  $C$  点射出磁场,由几何知识可得此时粒子运动轨迹所对应的圆心角为  $60^\circ$ ,则该粒子在磁

场中运动的时间  $t = \frac{T}{6} = \frac{\pi m}{3qB}$ , **C 错误**;若粒子从  $A$  点沿  $AO$  方

向射入磁场,最后恰好到达  $P$  点,由几何知识可得粒子在磁

场中运动的轨迹半径  $r'$  满足  $r' + 2r' = AP = \sqrt{3}r$ ,即  $3 \times \frac{mv'}{qB} = \sqrt{3} \times$

$\frac{mv}{qB}$ ,可得该粒子射入磁场时的速率  $v' = \frac{\sqrt{3}v}{3}$ , **D 错误**。

7. (1)  $\frac{qBR}{2m}$  (2)  $\frac{\pi m}{qB}$

**必刷考点** ▶ 带电粒子在有界磁场中的运动

【深度解析】(1) 质子运动轨迹恰好和地球表面外切时速度最小,轨迹如图所示,

$$\text{可知轨迹半径为 } r = \frac{R}{2},$$

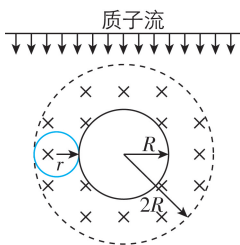
由洛伦兹力提供向心力有

$$qv_{\min}B = m \frac{v_{\min}^2}{r},$$

$$\text{解得 } v_{\min} = \frac{qBR}{2m}.$$

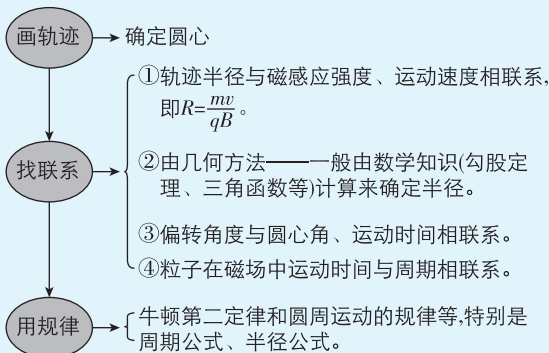
(2) 质子运动轨迹与地球表面内切或外切时运动时间最长,此时轨迹为半圆,可知圆心角  $\theta = \pi$ ,

$$\text{因此该质子在磁场中运动的最长时间 } t_{\max} = \frac{1}{2}T = \frac{\pi m}{qB}.$$



### 技巧必背

带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的分析方法



8. (1)  $\frac{\pi m}{qB}$  (2)  $\frac{(2 + \sqrt{3})mv}{2qB}$  (3) 5:1

**必刷考点** ▶ 带电粒子在有界磁场中的运动

【深度解析】(1) 设粒子在磁场中做匀速圆周运动的半径为

$$R, \text{有 } qvB = m \frac{v^2}{R},$$



粒子在磁场中做匀速圆周运动的周期  $T = \frac{2\pi R}{v}$

解得  $T = \frac{2\pi m}{qB}$ ,

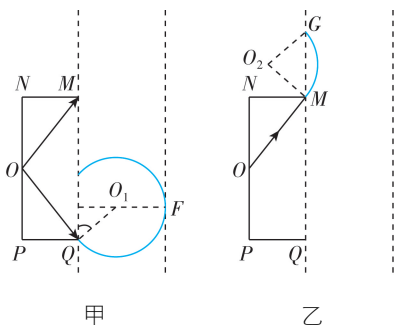
经分析可知,当粒子沿  $OH$  方向进入磁场时,垂直磁场边界向左射出磁场,有  $t = \frac{T}{2}$ ,

解得  $t = \frac{\pi m}{qB}$ 。

(2)若沿  $OQ$  方向进入磁场的粒子的运动轨迹与磁场右边界相切,则所有粒子均不能从磁场右边界穿出,如图甲所示,根据几何关系有  $d = R + R\sin 60^\circ$ ,

由(1)可得  $R = \frac{mv}{qB}$ ,

解得  $d = \frac{(2+\sqrt{3})mv}{2qB}$ 。



(3)沿  $OQ$  方向进入磁场的粒子在磁场中运动的时间最长,如图甲所示,根据几何关系有  $\angle QO_1F = 150^\circ$ ,

经分析可知  $t_{\max} = \frac{300^\circ}{360^\circ}T$ ,

沿  $OM$  方向进入磁场的粒子在磁场中运动的时间最短,如图乙所示,由几何关系有  $\angle MO_2G = 60^\circ$ ,

同理可得  $t_{\min} = \frac{60^\circ}{360^\circ}T$ ,

解得  $t_{\max} : t_{\min} = 5 : 1$ 。

9. (1)  $(1+\sqrt{3})L$  (2)  $\frac{4\sqrt{3}mv_0}{3eL}$   $\frac{\sqrt{3}mv_0}{eL}$  (3)  $2:1$

### 必刷考点 ▶ 带电粒子在磁场中的运动

【深度解析】(1)质子在磁场中运动,根据洛伦兹力提供向心力,则有

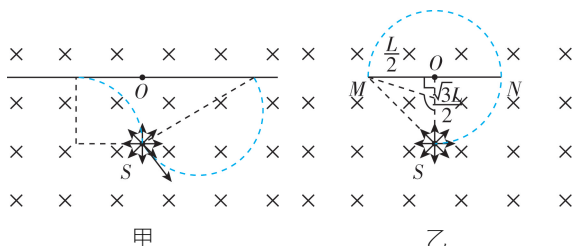
$$ev_0B_1 = \frac{mv_0^2}{R},$$

解得  $R = L$ ,

如图甲所示,当质子打在挡板右边上的最远距离时,落点到质子源的连线为轨迹圆的直径,则有

$$L_{\text{右}} = \sqrt{(2R)^2 - L^2} = \sqrt{3}L,$$

当质子竖直向上入射时,质子打在挡板左边上的距离最远,此时轨迹与挡板相切,则打在挡板上左侧离  $O$  点最远距离为  $L$ ,质子打在挡板  $MN$  上的长度  $s = L + \sqrt{3}L = (1+\sqrt{3})L$ 。



(2) 要使质子不打在挡板上, 则水平射出时轨迹恰好与挡板

相切, 则此时轨迹半径  $R' = \frac{OS}{2} = \frac{\sqrt{3}}{4}L$ ,

根据洛伦兹力提供向心力, 有  $ev_0B_{\min} = \frac{mv_0^2}{R'}$ ,

$$\text{解得 } B_{\min} = \frac{4\sqrt{3}mv_0}{3eL},$$

若向下平移后要使挡板  $MN$  的外侧面都有粒子打到, 则向右射出的粒子能够恰好越过  $N$  点然后打到  $M$  点, 如图乙所示, 根据几何关系有  $R''^2 = (OS - R'')^2 + OM^2$ ,

$$\text{解得 } R'' = \frac{\sqrt{3}L}{3},$$

根据洛伦兹力提供向心力有  $ev_0B_{\max} = \frac{mv_0^2}{R''}$ ,

$$\text{解得 } B_{\max} = \frac{\sqrt{3}mv_0}{eL}.$$

(3) 根据洛伦兹力提供向心力, 有  $ev_0B_1 = \frac{mv_0^2}{R}$ ,

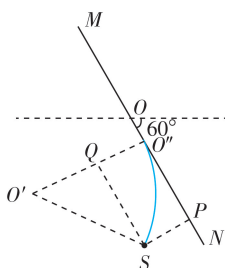
解得  $R = L$ ,

未转动时, 根据(1)的分析可知, 整个挡板均有粒子打到, 即最大长度为  $2L$ ,

根据数学知识可知, 当挡板缓慢转动  $60^\circ$  后, 质子打在挡板  $MN$  内侧面上长度最小, 如图丙所示, 此时  $S$  离挡板的距离  $SP = L \sin 30^\circ = \frac{L}{2}$ , 轨迹与挡板相切时, 打到的点离  $N$  最远,

打在挡板上的长度  $O''N = O''P + PN =$

$\sqrt{R^2 - O'Q^2} + L - OP = \sqrt{L^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} + L(1 - \cos 30^\circ) = L$ , 此即为最小长度, 故质子打在挡板  $MN$  内侧面上的最大长度和最小长度之比为  $2L:L = 2:1$ 。



10. (1)  $10^7 \text{ C/kg}$  (2) 见解析 (3)  $\frac{37}{50}N$

**必刷考点** ▶ 带电粒子在有界磁场中的运动

【深度解析】(1)  $\alpha = 0^\circ$  时, 离子恰好垂直磁场下边界, 从下边界中点射出, 此时离子的运动轨迹半径  $r = R$ ,

在运动过程中, 由洛伦兹力提供向心力可得  $qv_0B = m \frac{v_0^2}{r}$ ,

解得离子的比荷  $\frac{q}{m} = \frac{v_0}{RB} = 10^7 \text{ C/kg}$ 。

(2) 由题意和几何关系可知, 离子运动轨迹的半径  $r' =$

$$\frac{mv_0}{qB\cos\alpha} = \frac{R}{\cos\alpha},$$

在磁场区域中, 由几何关系可知, 离子做圆周运动的圆心在  $y=R$  (即  $AB$  边) 这条直线上, 则离子从  $AB$  边射出磁场时速度方向与  $AB$  垂直。

(3) 由题意可得, 离子打在探测板最右端时有

$$r' + r' \sin\alpha = 2R,$$

$$\text{即 } 1 + \sin\alpha = 2\cos\alpha,$$

解得  $\alpha = 37^\circ$ ,

$$r' = \frac{5}{4}R,$$

此时, 离子从  $B$  点垂直  $AB$  边射出, 所以  $\alpha$  角在  $0 \sim 37^\circ$  之间时, 离子从  $AB$  边射出, 且射出的方向都垂直  $AB$ 。

当角度大于  $37^\circ$  时, 离子的运动轨迹半径变大, 离子射出磁场后不能打在探测板上, 故在  $0 \sim 50^\circ$  的范围内, 单位时间内

打在探测板上的离子数为  $n = \frac{37}{50}N$ 。

$$11. (1) \frac{8v_0}{17kl} \quad (2) T_0 \leq \frac{5\pi l}{6v_0} \quad (3) \frac{8v_0^2}{(2n+1)\pi kl} (n=0, 1, 2, \dots)$$

**必刷考点** ▶ 带电粒子在交变磁场中的运动

【深度解析】(1) 在磁场中粒子做匀速圆周运动, 则有

$$qv_0 B_0 = \frac{mv_0^2}{R},$$

$$\text{由几何关系可得 } R^2 = l^2 + \left(R - \frac{l}{4}\right)^2,$$

$$\text{联立解得 } B_0 = \frac{8v_0}{17kl}.$$

$$(2) \text{由题意可得粒子运动的轨迹半径为 } R = \frac{mv_0}{qB_0} = \frac{l}{2},$$

临界情况为粒子从  $t=0$  时刻入射, 并且轨迹恰好与  $y$  轴相切, 此时刻进入的粒子不从  $y$  轴射出, 其他情况粒子都不会从  $y$  轴射出, 如图 1 所示,

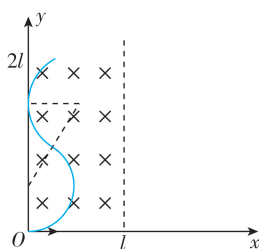


图 1

根据洛伦兹力提供向心力可得圆周运动的周期  $T = \frac{2\pi m}{qB_0}$ ,

由几何关系可得  $t = \frac{T_0}{2}$  内, 粒子转过的圆心角为  $\frac{5\pi}{6}$ , 对应运

$$\text{动时间为 } t_1 = \frac{\frac{5\pi}{6}}{\frac{2\pi}{T}} T,$$

故要使粒子离开磁场时的位置都不在  $y$  轴上, 应满足

$$t_1 \geq \frac{T_0}{2},$$

联立可得  $T_0 \leq \frac{5\pi l}{6v_0}$ 。

(3) 根据题意可得运动轨迹如图 2 所示,

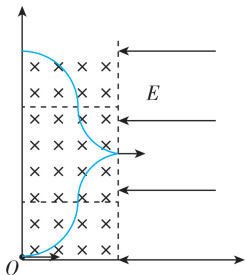


图 2

由题意可得  $\frac{T}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2\pi m}{qB_0} = T_0$ ,

在电场中根据牛顿第二定律可得  $Eq = ma$ ,

根据运动学规律可得往返一次用时  $\Delta t = \frac{2v_0}{a}$ ,

应有  $\Delta t = \left(n + \frac{1}{2}\right) T_0$ ,

联立解得电场强度的大小  $E = \frac{8v_0^2}{(2n+1)\pi kl} (n=0, 1, 2, \dots)$ 。



### 考点基础巩固卷 III

1. (1)  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  (2)  $\sqrt{2gL + \frac{4q^2 B^2 L^2}{m^2}}$

**必刷考点** ▶ 带电粒子在叠加场中的运动

【深度解析】(1) 在区域 I 中, 小球所受合力沿着  $PO$  方向, 根据平衡条件得  $qE_1 = mg \cos 45^\circ$ ,

区域 II 内, 小球在磁场中做匀速圆周运动, 根据平衡条件得  $qE_2 = mg$ ,

解得  $\frac{E_1}{E_2} = \frac{\sqrt{2}}{2}$ 。

(2) 小球从  $O$  点到  $P$  点根据动能定理得  $-mgL \tan 45^\circ =$

$\frac{1}{2}mv_P^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ ,

在磁场中根据牛顿第二定律得  $qv_P B = m \frac{v_P^2}{r}$ ,

根据几何知识得  $(2 + \sqrt{2})L = r + r \cos 45^\circ$ ,

解得  $r = 2L$ ,

$v_P = \frac{2qBL}{m}$ ,

$v_0 = \sqrt{2gL + \frac{4q^2 B^2 L^2}{m^2}}$ 。

2. (1)  $M$  为正极板,  $N$  为负极板  $\frac{dvB}{I}$  (2)  $\frac{IdvBt}{e(IR + dvB)}$

**必刷考点** ▶ 带电粒子在叠加场中的运动

【深度解析】(1) 根据左手定则, 正离子所受洛伦兹力使正离子向  $M$  板偏转, 则  $M$  板带正电,  $N$  板带负电,  $M$ 、 $N$  两板间产

生匀强电场。

当  $evB = e \frac{U}{d}$  时, 两板间电压稳定,

解得两板间电压  $U = dvB$ ,

定值电阻  $R$  被短接时, 有  $U = Ir$ ,

得发电机的内阻为  $r = \frac{dvB}{I}$ 。

(2) 闭合开关后, 设电流为  $I'$ , 则  $U = I'(R+r)$ ,

在  $t$  时间内打在极板上的离子数为  $n = \frac{Q}{e} = \frac{I't}{e}$ ,

可得  $n = \frac{IdvBt}{e(IR+dvB)}$ 。

3. (1) 85 J (2) 76 N (3)  $\frac{5}{7}$  m

**必刷模型** ▶ 滑块与滑板模型

【深度解析】(1) 设滑块运动到  $D$  点时, 小车的速度大小为  $v_2$ , 滑块从  $A$  运动到  $D$  的过程中系统动量守恒, 以向右为正方向, 有  $mv_0 - Mv = mv_1 + Mv_2$ ,

解得  $v_2 = 0$ ,

设小车与滑块组成的系统损失的机械能为  $\Delta E$ , 则有  $\Delta E =$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}Mv^2 - \frac{1}{2}mv_1^2,$$

解得  $\Delta E = 85$  J。

(2) 设滑块刚过  $D$  点时, 受到轨道的支持力为  $F_N$ , 由牛顿第

二定律可得  $F_N - (mg + qE + qv_1B) = m \frac{v_1^2}{r}$ ,

解得  $F_N = 76$  N,

由牛顿第三定律可得滑块对轨道的压力大小  $F_{\text{压}} = F_N = 76$  N。

(3) 设圆弧最小半径为  $R$ , 滑块沿圆弧轨道上升到最大高度  $R$  时, 滑块与小车具有共同的速度  $v'$ , 由动量守恒定律可得  $mv_1 = (m+M)v'$ ,

解得  $v' = \frac{10}{7}$  m/s,

由能量守恒定律得  $\frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}(m+M)v'^2 + (mg + qE)R$ ,

解得  $R = \frac{5}{7}$  m。

4. (1)  $\frac{8+3\pi}{40}$  s (2)  $(60+20\sqrt{2})$  m (3) 20 m

**必刷考点** ▶ 带电粒子在交变电磁场中的运动

【深度解析】(1) 在  $0 \sim 0.2$  s 内粒子做类平抛运动, 则  $x_1 = v_0 t_1 = 40$  m,

$$y_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{Eq}{m} t_1^2 = 20 \text{ m},$$

沿  $y$  轴方向的速度  $v_y = \frac{Eq}{m} t_1 = 200$  m/s,

此时速度  $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = 200\sqrt{2}$  m/s,

在  $0.2 \sim \frac{2+\pi}{10}$  s 时间内,粒子在磁场中做匀速圆周运动,洛伦

兹力提供向心力,有  $qvB = m \frac{v^2}{R_1}$ ,

得  $R_1 = \frac{mv}{qB} = 20\sqrt{2}$  m,

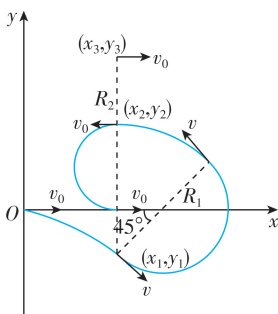
由几何关系可知圆心恰好在  $x$  轴上,粒子在磁场中做圆周运

动的周期  $T = \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\pi}{5}$  s,

粒子运动时间  $\Delta t = \frac{\pi}{10}$  s =  $\frac{T}{2}$ ,

即粒子运动半个周期后又进入电场,作出粒子运动的示意图  
如图所示,粒子第一次通过  $x$  轴,恰好在磁场中转过  $135^\circ$  角,

对应时刻  $t = 0.2 + \frac{3}{8}T = \frac{8+3\pi}{40}$  s,



坐标  $x = x_1 + R_1(1 + \cos 45^\circ) = (60 + 20\sqrt{2})$  m。

(2) 在  $\frac{2+\pi}{10} \sim \frac{4+\pi}{10}$  s 时间内,粒子做类斜上抛运动到最高点,

此时速度大小为零,  $t = \frac{4+\pi}{10}$  s 时刻,粒子的坐标  $x_2 = x_1 +$

$2R_1 \cos 45^\circ - x_1 = 40$  m,

$y_2 = y_1 + R_1 \sin 45^\circ = 40$  m,

此后粒子又做半个圆周运动,其轨道半径  $R_2 = \frac{mv_0}{qB} = 20$  m,

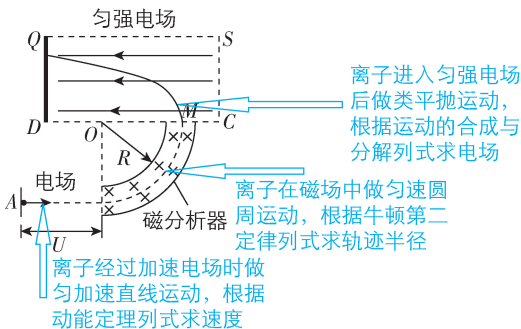
粒子距离  $y$  轴最近距离  $d = x_2 - R_2 = 20$  m。

## 考点基础巩固卷 IV

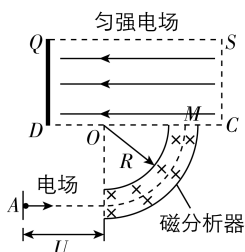
1. (1) 见解析 (2)  $\frac{1}{B} \sqrt{\frac{2Um}{q}}$  (3)  $\frac{8U}{d}$

必刷考点 ▶ 磁分析器

【题图剖析】



【深度解析】(1) 离子经过磁分析器的过程中用左手定则可  
知,离子带正电;当离子进入匀强电场后打在  $Q$  点,说明离子  
受到的电场力方向向左,故可判断匀强电场的场强方向向  
左,如图所示。



(2) 离子先经过加速电场加速,有  $qU = \frac{1}{2}mv^2$ ,

$$\text{可得 } v = \sqrt{\frac{2qU}{m}},$$

在磁分析器中,离子做匀速圆周运动,根据牛顿第二定律有

$$Bqv = \frac{mv^2}{R},$$

$$\text{联立解得 } R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2Um}{q}}.$$

(3) 离子进入匀强电场后做类平抛运动,由题可知

$$d = vt,$$

$$2d = \frac{1}{2} \cdot \frac{Eq}{m} t^2,$$

$$\text{解得 } E = \frac{8U}{d}.$$

$$2. (1) 2\sqrt{\frac{qEL}{m}}, \text{方向与 } x \text{ 轴负方向成 } 30^\circ \text{ 角} \quad (2) \sqrt{\frac{mE}{3qL}}$$

$$(3) (5\sqrt{3}L, (2\sqrt{3}+3)L)$$

### 必刷考点 ▶ 带电粒子在组合场中的运动

【深度解析】(1) 粒子在电场中做类平抛运动,水平方向有

$$\sqrt{3}L = v_0 t,$$

$$\text{竖直方向有 } v_y = \frac{Eq}{m} t,$$

$$\text{粒子第一次进入磁场时速度的大小 } v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2},$$

$$\text{解得 } v = 2\sqrt{\frac{qEL}{m}},$$

$$\text{设速度与 } x \text{ 轴夹角为 } \theta, \text{ 则有 } \sin \theta = \frac{v_y}{v} = 0.5,$$

$$\text{得 } \theta = 30^\circ,$$

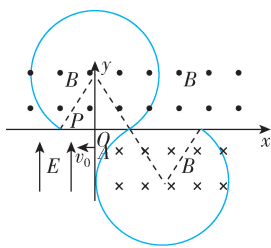
速度方向与  $x$  轴负方向成  $30^\circ$  角。

(2) 由于粒子在运动过程中恰好不再返回电场,则粒子进入  
磁场后轨迹如图甲所示,由几何关系可得

$$R = 2\sqrt{3}L,$$

$$\text{洛伦兹力提供向心力,有 } qvB = m \frac{v^2}{R},$$

解得  $B = \sqrt{\frac{mE}{3qL}}$ 。

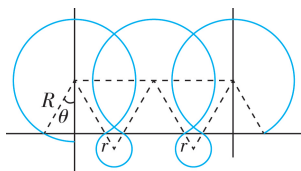


甲

(3) 粒子在第四象限时, 由洛伦兹力提供向心力, 有

$$4qvB = m \frac{v^2}{r},$$

得  $r = \frac{\sqrt{3}}{2}L$ , 运动轨迹如图乙所示,



乙

由几何关系得  $4(R+r) \sin 30^\circ = 5\sqrt{3}L$ ,

则可知粒子垂直打在挡板上, 粒子最终打在挡板上的纵坐标

$$y = R + R \cos \theta = (2\sqrt{3} + 3)L,$$

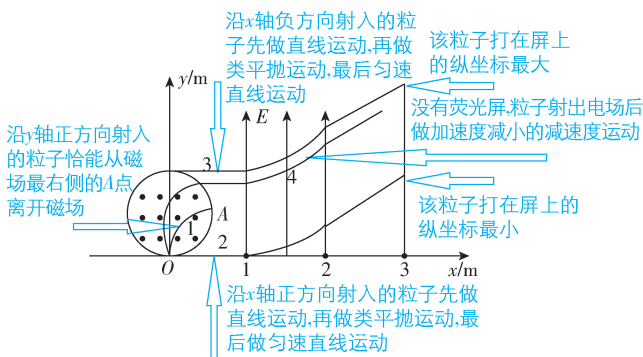
粒子最终打在挡板上的坐标为  $(5\sqrt{3}L, (2\sqrt{3} + 3)L)$ 。

3. (1)  $1 \times 10^6 \text{ m/s}$  (2) (3 m, 2.25 m) 至 (3 m, 3.25 m)

(3)  $\frac{\sqrt{13}}{20} \text{ m}$

### 必刷考点 ▶ 带电粒子在组合场中的运动

#### 【题图剖析】



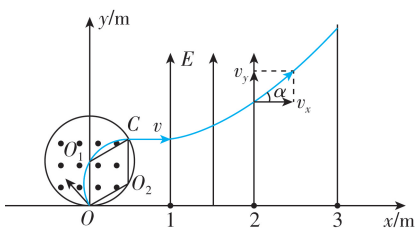
【深度解析】(1) 由题意可知, 粒子在磁场中做匀速圆周运动的轨迹半径  $R = r = 0.5 \text{ m}$ , 设粒子在磁场中运动的速度为  $v$ ,

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

解得  $v = 1 \times 10^6 \text{ m/s}$ 。

(2) 磁场区域半径与粒子在磁场中运动的轨迹半径相同, 所有射出磁场的粒子速度方向都和  $x$  轴平行, 如图所示。





粒子从  $O$  点出发,沿  $x$  轴正方向以速度  $v$  垂直射入电场,在

电场中的加速度大小  $a = \frac{qE}{m} = 1.5 \times 10^{12} \text{ m/s}^2$ ,

粒子在电场中,水平方向做匀速直线运动,粒子穿出电场用

时  $t_1 = \frac{\Delta x}{v} = 1 \times 10^{-6} \text{ s}$ ,

竖直方向做匀加速直线运动,则  $v_y = at_1 = 1.5 \times 10^6 \text{ m/s}$ ,

$\tan \alpha = \frac{v_y}{v} = 1.5$ ,

粒子在电场中的侧位移  $y_1 = \frac{1}{2} at_1^2 = 0.75 \text{ m}$ ,

飞出电场后粒子做匀速直线运动,侧位移  $y_2 = \Delta x' \tan \alpha =$

$1.5 \text{ m}$ ,

$y = y_1 + y_2 = 2.25 \text{ m}$ ,

则沿  $x$  轴正方向发射的粒子打在屏上的坐标为  $(3 \text{ m}, 2.25 \text{ m})$ ,

沿  $x$  轴负方向射出的粒子经磁场偏转后从坐标为  $(0, 1 \text{ m})$  的点平行于  $x$  轴方向射向电场,直至打在屏上的侧位移大小也为  $y$ ,故该粒子打在屏上的坐标为  $(3 \text{ m}, 3.25 \text{ m})$ ,

则带电粒子打在荧光屏上的区域为  $(3 \text{ m}, 2.25 \text{ m})$  至  $(3 \text{ m}, 3.25 \text{ m})$ 。

(3) 粒子在介质中运动的某一瞬间,设粒子的速度为  $v_t$ , 应

用牛顿第二定律有  $kv_t = ma_t = m \frac{\Delta v_t}{\Delta t}$  ( $\Delta v_t$  在这里是速度大小的变化),

求和有  $k \sum (v_t \Delta t) = m \sum \Delta v_t$ ,

设粒子在该介质中运动的轨迹长度为  $l$ , 刚进入介质时的速度为  $v_1$ , 则  $kl = mv_1$ ,

$v_1 = \sqrt{v^2 + v_y^2} = \frac{\sqrt{13}}{2} \times 10^6 \text{ m/s}$ ,

联立解得  $l = \frac{mv_1}{k} = \frac{\sqrt{13}}{20} \text{ m}$ 。

### 一题多解

若没有荧光屏,粒子射出电场后立即进入某种不导电的介质中运动,其所受介质阻力与速率成正比,则有  $f = kv$ ,

根据动量定理有  $-f \Delta t = 0 - mv_1$ ,

即  $f \Delta t = kv \Delta t = kl, v_1 = \sqrt{v^2 + v_y^2} = \frac{\sqrt{13}}{2} \times 10^6 \text{ m/s}$ ,

联立解得  $l = \frac{mv_1}{k} = \frac{\sqrt{13}}{20} \text{ m}$ 。

4. (1) 0.01 T (2) 0.005 m (3) 见解析

**必刷考点** ▶ 带电粒子在组合场中的运动

【深度解析】(1) 粒子经过磁场后全部水平向右飞出, 方向沿极板中心进入的粒子在磁场中运动的轨迹和圆心如图 1 所示,

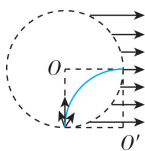


图 1

根据几何知识可知轨迹圆半径和磁场圆半径相等, 由洛伦兹力提供向心力有

$$qv_0 B = m \frac{v_0^2}{r},$$

解得  $B = \frac{mv_0}{qr} = 0.01 \text{ T}$ , 方向垂直纸面向外。

(2) 能射出电场的粒子在电场中运动的时间为

$$t = \frac{L}{v_0} = \frac{0.04}{1 \times 10^3} \text{ s} = 4 \times 10^{-5} \text{ s},$$

若零时刻射入电场的粒子从靠近 B 板进入电场且能射出电场,  $0 \sim 2 \times 10^{-5} \text{ s}$  时间内, A 板带正电, B 板带负电, 粒子向下做

类平抛运动, 粒子的加速度大小为  $a_1 = \frac{qE_1}{m} = \frac{qU_1}{md} = 1 \times 10^6 \times$

$$\frac{10}{0.20} \text{ m/s}^2 = 5 \times 10^7 \text{ m/s}^2,$$

竖直方向的位移为

$$y_1 = \frac{1}{2} a_1 t_1^2 = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^7 \times (2 \times 10^{-5})^2 \text{ m} = 0.01 \text{ m},$$

$2 \times 10^{-5} \sim 4 \times 10^{-5} \text{ s}$  时间内, A 板带负电, B 板带正电, 粒子向下做类斜抛运动, 粒子的加速度大小为

$$a_2 = \frac{qE_2}{m} = \frac{qU_2}{md} = 1 \times 10^6 \times \frac{20}{0.20} \text{ m/s}^2 = 1 \times 10^8 \text{ m/s}^2,$$

第一段类平抛运动的末速度和第二段类斜抛运动的初速度相同, 第二段竖直方向做减速运动, 则有  $a_1 t_1 = a_2 t_2$ ,

$$\text{解得 } t_2 = \frac{a_1}{a_2} t_1 = 1 \times 10^{-5} \text{ s},$$

第二段类斜抛运动在竖直方向的位移为

$$y_2 = \frac{1}{2} a_2 t_2^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 10^8 \times (1 \times 10^{-5})^2 \text{ m} = 0.005 \text{ m},$$

当类斜抛运动轨迹与 B 板相切时如图 2 所示,

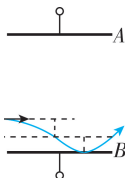


图 2

射出电场时粒子到 B 板距离最小, 最小距离为

$$y_{\min} = y_2 = 0.005 \text{ m}.$$

(3) 电场边界有粒子射出的区域如图 3 所示, 由 (2) 计算可

知粒子在  $D$  点竖直方向的速度大小

$$v_y = a_2 t_2 = 1 \times 10^8 \times 1 \times 10^{-5} \text{ m/s} = 1 \times 10^3 \text{ m/s},$$

$$\text{粒子在 } D \text{ 点的速度 } v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = \sqrt{2} \times 10^3 \text{ m/s},$$

设粒子在  $D$  点的速度方向与水平方向的夹角为  $\theta$ , 则有

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = 1,$$

$\theta = 45^\circ$ , 则速度方向与水平方向夹角为  $45^\circ$ 。

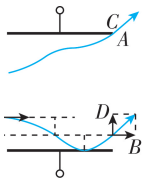


图 3

$$CD = d - y_2 = (0.2 - 0.005) \text{ m} = 0.195 \text{ m},$$

当  $1.0 \times 10^{-2} \text{ T} \leq B_1 \leq 4.0 \times 10^{-2} \text{ T}$  时, 由  $R = \frac{mv}{B_1 q}$  可得,  $\frac{\sqrt{2}}{40} \text{ m} \leq$

$R \leq \frac{\sqrt{2}}{10} \text{ m}$ , 可能的轨迹如图 4 所示,

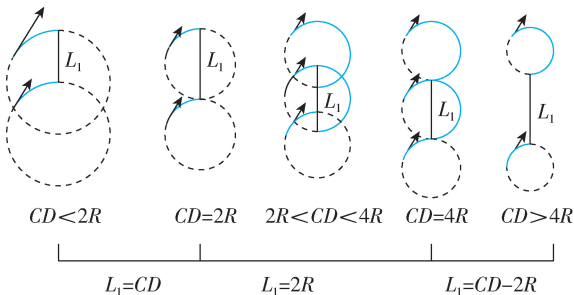


图 4

则有

$$L_1 = \begin{cases} 0.195 \text{ m} (1.0 \times 10^{-2} \text{ T} \leq B_1 \leq \sqrt{2} \times 10^{-2} \text{ T}) \\ \frac{2\sqrt{2} \times 10^{-3}}{B_1} \text{ m} (\sqrt{2} \times 10^{-2} \text{ T} < B_1 < 2\sqrt{2} \times 10^{-2} \text{ T}) \\ 0.195 \text{ m} - \frac{2\sqrt{2} \times 10^{-3}}{B_1} \text{ m} (2\sqrt{2} \times 10^{-2} \text{ T} \leq B_1 \leq 4.0 \times 10^{-2} \text{ T}) \end{cases}$$

## 单元综合提升卷

### 1. B 必刷考点 ▶ 磁通量

**【深度解析】**A 选项中, 根据安培定则可知, 电流  $I_1$ 、 $I_2$  在闭合线圈中的磁场方向均垂直纸面向里, 所以穿过线圈的磁通量不可能为零, **A 错误**; B 选项中, 电流  $I_1$  在闭合线圈中的磁场方向垂直纸面向外, 电流  $I_2$  在闭合线圈中的磁场方向垂直纸面向里, 所以穿过线圈的磁通量可能为零, **B 正确**; C 选项中, 电流  $I_1$  在闭合线圈中的磁场方向垂直纸面向外, 电流  $I_2$  在闭合线圈中的磁场方向垂直纸面向外, 所以穿过线圈的磁通量不可能为零, **C 错误**; D 选项中, 电流  $I_1$  在闭合线圈中的磁场方向垂直纸面向外, 电流  $I_2$  在闭合线圈中的磁场方向是上半部分垂直纸面向里, 下半部分垂直纸面向外, 则电流  $I_2$  产生的磁场穿过线

圈的磁通量为零,所以穿过线圈的磁通量不可能为零,**D 错误**。

## 2. B 必刷考点 ▶ 左手定则+安培力

【深度解析】根据左手定则可知安培力方向始终竖直向上,保持不变,**A 错误**;转动过程中,因有效长度不变,安培力大小始终不变,**B 正确**,**C 错误**;半圆导线的半径为  $r = \frac{L}{\pi}$ ,受到的

安培力为  $F = 2BIL = \frac{2BIL}{\pi}$ ,**D 错误**。

## 3. C 必刷考点 ▶ 磁场对电流的作用+左手定则

【深度解析】海水导电效果好于淡水,同等条件下海水中的推进效果好,**A 错误**;根据安培力公式可知,增加磁感应强度可以增强推进效果,**B 错误**;根据左手定则可知,海水受到的安培力垂直纸面向里,**C 正确**;根据牛顿第三定律可知,推进器受到的海水推力方向垂直纸面向外,**D 错误**。

## 4. D 必刷考点 ▶ 安培力作用下的平衡问题

【深度解析】为使电流表正常工作,作用于通有电流的金属棒  $MN$  的安培力必须向下,由左手定则可知金属棒中电流从  $M$  端流向  $N$  端,因此  $M$  端应接电源正极,故 **A 错误**;当电流表的示数为零时,设弹簧伸长量为  $\Delta x$ ,根据平衡条件可得  $mg = k\Delta x$ ,解得  $\Delta x = 0.1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$ ,故 **D 正确**;设电流表满量程时通过  $MN$  的电流大小为  $I_m$ ,则有  $BI_m \overline{ab} + mg = k(\overline{bc} + \Delta x)$ ,若  $\overline{bc} = 0.050 \text{ m}$ ,此电流表的满量程值为  $I_m = 2.5 \text{ A}$ ,设电流表的量程扩大 2 倍后,磁感应强度变为  $B'$ ,则有  $2B'I_m \overline{ab} + mg = k(\overline{bc} + \Delta x)$ ,可得  $B' = \frac{1}{2}B = 0.1 \text{ T}$ ,故 **B、C 错误**。

## 5. D 必刷考点 ▶ 洛伦兹力

【深度解析】甲粒子受到的洛伦兹力大小为  $qvB$ ,根据左手定则可知方向垂直于纸面向里,**A 错误**;乙粒子速度方向与磁感应强度方向平行,不受洛伦兹力作用,所以运动轨迹是直线,**B 错误**;将丙粒子速度  $v$  在沿磁感应强度方向和垂直磁感应强度方向分解为  $v_1$  和  $v_2$ ,其中  $v_1$  对应的分运动为水平向右的匀速直线运动, $v_2$  对应的分运动为在垂直纸面的平面内的匀速圆周运动,所以丙粒子的合运动为螺旋线运动,由于洛伦兹力不做功,所以其动能不变,**C 错误**;对丙粒子在垂直

于纸面内的匀速圆周运动,根据牛顿第二定律有  $qv_2B = \frac{mv_2^2}{r}$ ,

解得  $r = \frac{mv_2}{Bq}$ ,所以周期为  $T = \frac{2\pi r}{v_2} = \frac{2\pi m}{Bq}$ ,丙粒子在沿磁感应强度方向做匀速直线运动的速度为  $v_1 = v \cos \theta$ ,经过一个周期的时间,丙粒子位置改变了  $x = v_1 T = \frac{2\pi m v \cos \theta}{qB}$ ,**D 正确**。

## 6. D 必刷考点 ▶ 粒子在组合场中的运动

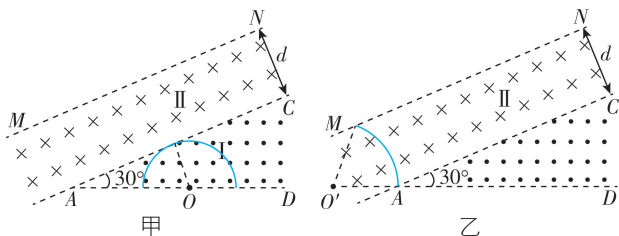
【深度解析】设离子通过  $O$  点的速度为  $v_0$ ,在 I 区内做类平抛运动的时间为  $t_1$ ,则在  $x$  轴方向有  $d_1 = v_0 t_1$ , $y$  轴方向有  $l =$

$\frac{1}{2}at_1^2$ ,由牛顿第二定律得  $qE = ma$ ,解得  $v_0 = d_1 \sqrt{\frac{Eq}{2ml}}$ ,**A 错**

误;离子刚飞出 I 区时沿  $y$  轴方向的速度大小  $v_y = at_1 = \sqrt{\frac{2qEl}{m}}$ , 合速度大小  $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = \sqrt{\frac{qE}{m} \left( 2l + \frac{d_1^2}{2l} \right)}$ , 离子在 II 区内沿  $x$  轴方向做匀速直线运动, 设离子在 II 区运动的时间为  $t_2$ , 沿  $x$  轴方向有  $d_2 = v_0 t_2$ , 解得  $t_2 = \frac{d_2}{d_1} \sqrt{\frac{2ml}{qE}}$ , 离子在 II 区运动轨迹的长度  $s = vt_2 = \frac{d_2}{d_1} \sqrt{4l^2 + d_1^2}$ , **B 错误**; 设离子在 II 区  $y_1 O z_1$  平面方向做匀速圆周运动的半径为  $r$ , 则  $qv_y B = m \frac{v_y^2}{r}$ ,  $T = \frac{2\pi r}{v_y}$ , 联立解得  $r = \frac{4ld_2}{3\pi d_1}$ ,  $T = \frac{4d_2}{3d_1} \sqrt{\frac{2ml}{qE}}$ , 则离子沿  $y_1$  轴方向转动的圈数  $N = \frac{t_2}{T} = \frac{3}{4}$  周, 由几何关系可知, 离子打在测试板上的位置与  $O_2$  点连线沿  $y'$  轴方向的距离  $l_1 = |l - r| = \left| l - \frac{4ld_2}{3\pi d_1} \right|$ , 离子打在测试板上的位置与  $O_2$  点连线沿  $z'$  轴方向的距离  $l_{z1} = r = \frac{4ld_2}{3\pi d_1}$ , **C 错误, D 正确**。

## 7. B 必刷考点 ▶ 带电粒子在磁场组合场中的运动

【深度解析】粒子做匀速圆周运动, 洛伦兹力提供向心力, 有  $qvB = m \frac{v^2}{r}$ , 其中  $v = \frac{qBd}{m}$ , 解得  $r = d$ , 故 **A 项正确**; 作出粒子恰好不进入 II 区域的临界轨迹如图甲所示, 由几何关系有  $AO = \frac{r}{\sin 30^\circ} = 2r = 2d$ , 可知临界入射点在距 A 点  $d$  处, 则在距 A 点  $0.5d$  处射入, 粒子会进入 II 区域, 故 **B 项错误**; 根据 B 项分析知, 粒子在距 A 点  $1.5d$  处射入, 在 I 区域内运动的轨迹为半圆, 则运动的时间  $t_1 = \frac{T}{2} = \frac{\pi m}{qB}$ , 故 **C 项正确**; 由  $r = d$  分析可知, 从 A 点进入的粒子在 II 区域中运动的轨迹最短 (弦长最短), 时间最短, 轨迹如图乙所示, 由几何关系得, 轨迹对应的圆心角为  $60^\circ$ , 则时间  $t_2 = \frac{T}{6} = \frac{\pi m}{3qB}$ , 故 **D 项正确**。



## 8. (1) 灵敏电流计的读数 $I$ (2) 左盘 (3) $\frac{g\Delta m}{2NIL}$

### 必刷考点 ▶ 磁场对电流的作用+平衡问题

【深度解析】(1) 将  $a$  与  $c$  连接、 $b$  与  $d$  连接, 闭合开关 S, 记录灵敏电流计的示数  $I$ , 由于通过线圈下边的电流方向向左, 线圈受到的安培力方向向下, 要使天平平衡, 需要在天平的左盘中放入合适质量的砝码;

(2) 断开开关 S, 将  $a$  与  $d$  连接、 $b$  与  $c$  连接, 再次闭合开关 S, 由左手定则可知线框所受的安培力方向向上, 应在天平的右盘中放入合适质量的砝码, 才能使天平平衡;

(3) 断开开关 S, 将  $a$  与  $d$  连接、 $b$  与  $c$  连接, 再次闭合开关 S, 这时需要在天平的右盘中放入质量为  $\Delta m$  的砝码使天平再

次平衡, 由平衡条件可知  $2BINL = \Delta mg$ , 解得  $B = \frac{g\Delta m}{2NIL}$ 。

9. (1)  $P$  (2)  $b \frac{\pi Ueb}{I}$  (3)  $0.235 \text{ cm}$

**必刷考点 ▶ 霍尔效应**

【深度解析】(1) 根据左手定则, 可知电压表的正极是  $P$  端;

(2) 电子受到的电场力和洛伦兹力平衡时, 有  $-eBv = -e \frac{U}{a}$ ,

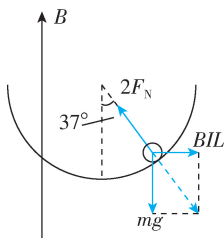
结合电流的微观表达式  $I = \pi vSe$ , 联立可得  $B = \frac{\pi b Ue}{I}$ 。

(3) 题图丙中游标卡尺的分度值为  $0.05 \text{ mm}$ , 读数为  $(2 + 7 \times 0.05) \text{ mm} = 0.235 \text{ cm}$ 。

10. (1)  $\frac{3mg}{4IL}$  (2)  $\frac{5mg}{8}$

**必刷考点 ▶ 含安培力的共点力平衡**

【深度解析】(1) 从左向右看导体棒的受力分析如图所示, 导体棒静止, 由受力平衡得  $BIL = mg \tan 37^\circ$ ,



解得  $B = \frac{3mg}{4IL}$ 。

(2) 两个导轨对导体棒的支持力大小为  $2F_N$ , 满足  $2F_N \cos 37^\circ = mg$ ,

解得  $F_N = \frac{5}{8}mg$ 。

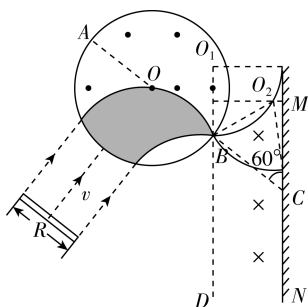
11. (1) 见解析 (2)  $\frac{\pi R}{3v}$  (3)  $1.5R$

**必刷考点 ▶ 带电粒子在组合场中的运动+磁聚焦原理**

【深度解析】(1) 线状粒子源发射粒子后, 粒子进入圆形磁场区域做匀速圆周运动, 则有  $qvB_0 = m \frac{v^2}{r}$ ,

其中  $B_0 = \frac{mv}{qR}$ , 可得  $r = R$ ,

即粒子做圆周运动的半径等于圆形磁场的半径, 射入磁场时速度方向均与直径  $AB$  垂直, 则所有粒子在  $B$  点汇聚, 如图所示, 阴影部分为圆形区域内磁场分布的最小区域。



(2) 圆心  $O$  到荧光屏的距离  $l = \frac{\sqrt{3}+2}{2}R$ , 由几何关系可知,  $B$

点到荧光屏的距离  $d = (\frac{l}{\sin 60^\circ} - R) \sin 60^\circ = R$ ,

当粒子到达荧光屏上的点与  $B$  点等高时, 运动轨迹对应的圆心角最小, 时间最短, 此时圆心角为  $60^\circ$ , 则粒子射出圆形

区域后打到荧光屏的最短时间  $t_{\min} = \frac{1}{6}T = \frac{1}{6} \cdot \frac{2\pi R}{v} = \frac{\pi R}{3v}$ 。

(3) 发光区域的最上端粒子轨迹恰好与荧光屏相切, 两粒子轨迹如图所示, 由几何关系可得, 荧光屏发光区域的长度  $L =$

$$\sqrt{R^2 - (R - R \sin 60^\circ)^2} - R \cdot \sin 30^\circ + R = R \sqrt{\frac{4\sqrt{3}-3}{4}} + \frac{R}{2} = 1.5R。$$

#### 技巧必背

当带电粒子的比荷相同时, 利用  $t = \frac{\theta m}{qB}$  可知圆心角最小, 时

间最短; 当带电粒子的运动速度相同时, 利用  $t = \frac{s}{v}$  可知弧

长最小, 时间最短。当磁场圆半径与轨迹圆的半径相等时, 若有一束平行粒子射入圆形磁场区域, 则粒子将从同一点穿出——这称为磁聚焦。

12. (1) 见解析 (2)  $2.0875 \times 10^{-2} \text{ T}$  (3)  $\left(\frac{\sqrt{3}}{25} - \frac{\pi}{150}\right) \text{ m}^2$

(4)  $26.72 \text{ N}$ , 方向沿  $x$  轴正方向

#### 必刷考点 ▶ 带电粒子在复合场的运动+动量定理

【深度解析】(1) 在  $xOy$  平面内, 对打在抛物线上  $(x_1, y_1)$  处的质子, 设经时间  $t_1$  到达  $y$  轴,

沿  $x$  轴方向有  $x = x_1 = v_0 t_1$ ,

沿  $y$  轴方向有  $y = \frac{1}{2} a t_1^2, a = \frac{eE_1}{m}$ ,

整理得  $y = \frac{3}{2} x_1^2, y = y_1$ ,

所以在  $xOy$  平面内通过抛物线  $OM$  进入电场区域的质子均经过坐标原点  $O$ 。

(2) 在  $xOy$  平面内, 沿  $x$  轴负方向经过原点的质子运动轨迹为半圆, 可知  $r_1 = 0.2 \text{ m}$ ,

根据向心力公式得  $ev_0 B_1 = m \frac{v_0^2}{r_1}$ ,

解得  $B_1 = 2.0875 \times 10^{-2} \text{ T}$ 。

(3) 对从  $M$  点进入电场的质子, 沿  $x$  轴方向有  $x_M = v_0 t_2$ ,

沿  $y$  轴方向有  $v_y = at_2$ ,

整理得  $v_y = 400\sqrt{3} \times 10^5 \text{ m/s}$ ,

则速度与竖直方向的夹角  $\alpha$  满足  $\tan \alpha = \frac{v_0}{v_y} = \frac{\sqrt{3}}{3}$ , 得  $\alpha = \frac{\pi}{6}$ ,

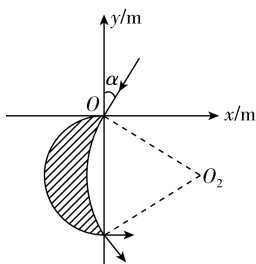
又  $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$ ,

根据向心力公式得  $evB_1 = m \frac{v^2}{r_2}$ ,

解得  $r_2 = 0.4 \text{ m}$ ,

通过分析可知, 上述所有离子均

从  $y$  轴上同一位置进入容器, 所



加磁场区域的最小面积为图中阴影部分面积, 则  $s = \frac{1}{2} \pi r_1^2 -$

$$\left( \frac{2\alpha}{2\pi} \pi r_2^2 - \frac{1}{2} \times r_2 \times r_2 \cos \alpha \right) = \left( \frac{\sqrt{3}}{25} - \frac{\pi}{150} \right) \text{ m}^2.$$

(4) 对  $\Delta t$  时间内打到抛物线  $OM$  上的质子, 进入容器时在  $x$

轴方向速度相等, 都为  $v_0$ , 在容器  $D$  中, 沿  $x$  轴方向, 根据动

力学公式  $v_x^2 - v_0^2 = 2a_2 L$ ,

又  $a_2 = \frac{eE_2}{m}$ ,

解得  $v_x = 8 \times 10^5 \text{ m/s}$ ,

根据动量定理可得  $F \Delta t = 2n \Delta t \cdot mv_x$ ,

解得  $F = 26.72 \text{ N}$ ,

由牛顿第三定律得, 容器受到的推力大小为  $F' = F =$

$26.72 \text{ N}$ , 方向沿  $x$  轴正方向。