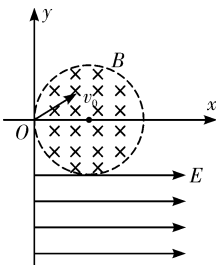


## 微专题突破六 磁聚焦和磁发散

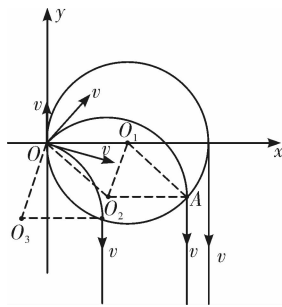
### 试题回顾

1. 如图所示,真空中有一以 $(r,0)$ 为圆心,半径为 $r$ 的圆柱形匀强磁场区域,磁场的磁感应强度大小为 $B$ ,方向垂直于纸面向里,在 $y \leq -r$ 的范围内,有方向水平向右的匀强电场,电场强度的大小为 $E$ .从 $O$ 点向不同方向发射速率相同的电子,电子的运动轨迹均在纸面内.已知电子的电荷量为 $e$ 、质量为 $m$ ,电子在磁场中的偏转半径也为 $r$ ,不计重力及阻力的作用,求:
- (1)电子射入磁场时的速度大小;
  - (2)速度方向沿 $x$ 轴正方向射入磁场的电子,到达 $y$ 轴所需的时间;
  - (3)速度方向与 $x$ 轴正方向成 $30^\circ$ 角(如图中所示)射入磁场的电子,到达 $y$ 轴的位置与原点 $O$ 的距离.



### 模型破解

如图所示,一带电粒子以任意角 $\theta$ 从圆周上一点 $O$ 沿垂直于磁场方向射入磁场,若粒子的轨道半径与圆形磁场区域半径相同时,轨道圆弧与磁场区域圆弧对应的两条半径线组成平行四边形(即四边形 $OO_1AO_2$ 为平行四边形),带电粒子的速度方向总垂直于半径,因此带电粒子射出磁场时速度方向都平行于射入点磁场区域圆的切线(即平行于 $y$ 轴),所以所有带电粒子都以平行于入射点磁场区域圆的切线的方向成平行线射出磁场.

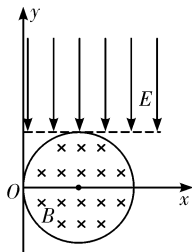


1. 磁发散:圆形匀强磁场区域,带电粒子从圆周上一点沿垂直于磁场方向进入磁场,当带电粒子做圆周运动的轨道半径与圆形磁场区域半径相同时,所有带电粒子都以平行于入射点磁场区域圆的切线的方向成平行线射出磁场;

2. 磁聚焦:若带电粒子以平行的速度射入磁场,这些带电粒子在磁场中做圆周运动将会聚通过平行速度方向的圆形区域切线与圆的切点.

### 热身练习

1. 如图所示,在 $xOy$ 坐标系中,以 $(r,0)$ 为圆心、 $r$ 为半径的圆形区域内存在匀强磁场,磁场的磁感应强度大小为 $B$ ,方向垂直于纸面向里.在 $y > r$ 的足够大的区域内,存在沿 $y$ 轴负方向的匀强电场,电场强度大小为 $E$ .从 $O$ 点以相同速率向不同方向发射质子,质子的运动轨迹均在纸面内,且质子在磁场中运动的轨迹半径也为 $r$ .已知质子的电荷量为 $q$ 、质量为 $m$ ,不计质子所受重力及质子间相互作用力的影响.
- (1)求质子从 $O$ 点射入磁场时速度的大小;

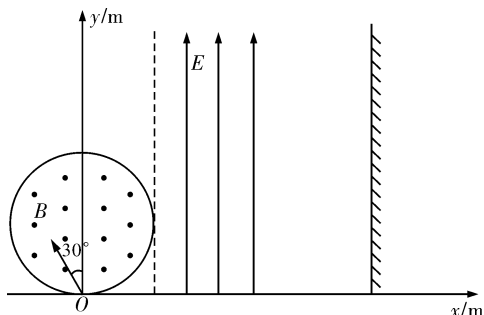


### 模型构建

本模型是指速率相同的同种带电粒子在经过圆形匀强磁场运动的过程中,当粒子运动轨迹半径与磁场区域半径相等时所引起的一类会聚与发散现象.

- (2)若质子沿  $x$  轴正方向射入磁场,求质子从  $O$  点射入磁场到第二次离开磁场经历的时间;
- (3)若质子沿与  $x$  轴正方向成  $\theta$  角的方向从  $O$  点射入第一象限的磁场中,求质子在磁场中运动的总时间.

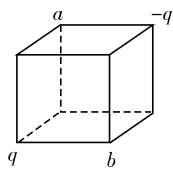
2. 如图所示,真空中有一个半径  $r=0.5\text{ m}$  的圆形磁场,与坐标原点相切,磁场的磁感应强度大小  $B=2\times 10^{-3}\text{ T}$ ,方向垂直于纸面向外,在  $x=r$  处的虚线右侧有一个方向竖直向上的宽度为  $L_1=0.2\text{ m}$  的匀强电场区域,电场强度  $E=1.5\times 10^3\text{ N/C}$ . 在  $x=1.7\text{ m}$  处有一垂直  $x$  方向的足够长的荧光屏. 从  $O$  点处向不同方向发射出速率相同的比荷为  $\frac{q}{m}=1\times 10^9\text{ C/kg}$  带正电的粒子,粒子的运动轨迹在纸面内. 一个速度方向沿  $y$  轴正方向射入磁场的粒子,恰能从磁场与电场的相切处进入电场. 不计重力及阻力的作用.



- (1)求粒子进入电场时的速度和沿  $y$  轴正方向射入的粒子在磁场中运动的时间;
- (2)从  $O$  点入射的所有粒子经磁场偏转后出射的速度方向有何特点? (直接答结论,不必证明)
- (3)速度方向与  $y$  轴正方向成  $30^\circ$  角(如图中所示)射入磁场的粒子,最后打到荧光屏上,求该发光点的位置坐标.

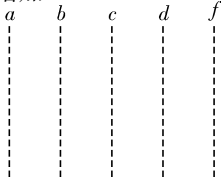
## 高考回眸

1. (2019·全国卷Ⅲ)(多选)如图,电荷量分别为  $q$  和  $-q$  ( $q>0$ ) 的点电荷固定在正方体的两个顶点上,  $a$ 、 $b$  是正方体的另外两个顶点. 则 ( )



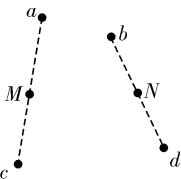
- A.  $a$  点和  $b$  点的电势相等  
 B.  $a$  点和  $b$  点的电场强度大小相等  
 C.  $a$  点和  $b$  点的电场强度方向相同  
 D. 将负电荷从  $a$  点移到  $b$  点, 电势能增加

2. (2018·全国卷Ⅰ)(多选)图中虚线  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $f$  代表匀强电场内间距相等的一组等势面, 已知平面  $b$  上的电势为  $2\text{ V}$ . 一电子经过  $a$  时的动能为  $10\text{ eV}$ , 从  $a$  到  $d$  的过程中克服电场力所做的功为  $6\text{ eV}$ . 下列说法正确的是 ( )



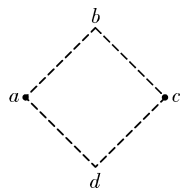
- A. 平面  $c$  上的电势为零  
 B. 该电子可能到达不了平面  $f$   
 C. 该电子经过平面  $d$  时, 其电势能为  $4\text{ eV}$   
 D. 该电子经过平面  $b$  时的速率是经过  $d$  时的 2 倍

3. (2018·全国卷Ⅱ)(多选)如图, 同一平面内的  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  四点处于匀强电场中, 电场方向与此平面平行,  $M$  为  $a$ 、 $c$  连线的中点,  $N$  为  $b$ 、 $d$  连线的中点. 一电荷量为  $q$  ( $q>0$ ) 的粒子从  $a$  点移动到  $b$  点, 其电势能减小  $W_1$ ; 若该粒子从  $c$  点移动到  $d$  点, 其电势能减小  $W_2$ , 下列说法正确的是 ( )



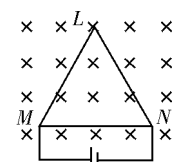
- A. 此匀强电场的电场强度方向一定与  $a$ 、 $b$  两点连线平行  
 B. 若该粒子从  $M$  点移动到  $N$  点, 则电场力做功一定为  $\frac{W_1+W_2}{2}$   
 C. 若  $c$ 、 $d$  之间的距离为  $L$ , 则该电场的电场强度大小一定为  $\frac{W_2}{qL}$   
 D. 若  $W_1=W_2$ , 则  $a$ 、 $M$  两点之间的电势差一定等于  $b$ 、 $N$  两点之间的电势差

4. (2018·海南卷)(多选)如图,  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  为一边长为  $l$  的正方形的顶点. 电荷量均为  $q$  ( $q>0$ ) 的两个点电荷分别固定在  $a$ 、 $c$  两点, 静电力常量为  $k$ . 不计重力. 下列说法正确的是 ( )



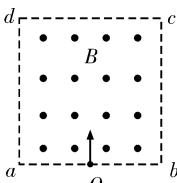
- A.  $b$  点的电场强度大小为  $\frac{\sqrt{2}kq}{l^2}$   
 B. 过  $b$ 、 $d$  点的直线位于同一等势面上  
 C. 在两点电荷产生的电场中,  $ac$  中点的电势最低  
 D. 在  $b$  点从静止释放的电子, 到达  $d$  点时速度为零

5. (2019·全国卷Ⅰ)如图, 等边三角形线框  $LMN$  由三根相同的导体棒连接而成, 固定于匀强磁场中, 线框平面与磁感应强度方向垂直, 线框顶点  $M$ 、 $N$  与直流电源两端相接, 已知导体棒  $MN$  受到的安培力大



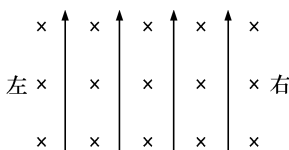
小为  $F$ , 则线框  $LMN$  受到的安培力的大小为 ( )  
 A.  $2F$       B.  $1.5F$       C.  $0.5F$       D.  $0$

6. (2019·全国卷Ⅱ)如图, 边长为  $l$  的正方形  $abcd$  内存在匀强磁场, 磁感应强度大小为  $B$ , 方向垂直于纸面 ( $abcd$  所在平面) 向外.  $ab$  边中点有一电子发射源  $O$ , 可向磁场内沿垂直于  $ab$  边的方向发射电子. 已知电子的比荷为  $k$ . 则从  $a$ 、 $d$  两点射出的电子的速度大小分别为 ( )



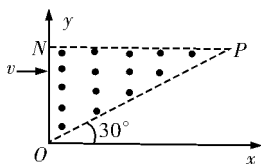
- A.  $\frac{1}{4}kBl, \frac{\sqrt{5}}{4}kBl$       B.  $\frac{1}{4}kBl, \frac{5}{4}kBl$   
 C.  $\frac{1}{2}kBl, \frac{\sqrt{5}}{4}kBl$       D.  $\frac{1}{2}kBl, \frac{5}{4}kBl$

7. (2017·全国卷Ⅰ)如图, 空间某区域存在匀强电场和匀强磁场, 电场方向竖直向上 (与纸面平行), 磁场方向垂直于纸面向里, 三个带正电的微粒  $a$ 、 $b$ 、 $c$  电荷量相等, 质量分别为  $m_a$ 、 $m_b$ 、 $m_c$ . 已知在该区域内,  $a$  在纸面内做匀速圆周运动,  $b$  在纸面内向右做匀速直线运动,  $c$  在纸面内向左做匀速直线运动. 下列选项正确的是 ( )



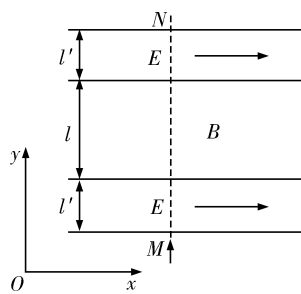
- A.  $m_a>m_b>m_c$       B.  $m_b>m_a>m_c$   
 C.  $m_c>m_a>m_b$       D.  $m_c>m_b>m_a$

8. (2019·全国卷Ⅰ)如图, 在直角三角形  $OPN$  区域内存在匀强磁场, 磁感应强度大小为  $B$ 、方向垂直于纸面向外. 一带正电的粒子从静止开始经电压  $U$  加速后, 沿平行于  $x$  轴的方向射入磁场; 一段时间后, 该粒子在  $OP$  边上某点以垂直于  $x$  轴的方向射出. 已知  $O$  点为坐标原点,  $N$  点在  $y$  轴上,  $OP$  与  $x$  轴的夹角为  $30^\circ$ , 粒子进入磁场的入射点与离开磁场的出射点之间的距离为  $d$ , 不计重力. 求:



- (1) 带电粒子的比荷;  
 (2) 带电粒子从射入磁场到运动至  $x$  轴的时间.

9. (2018 · 全国 II 卷) 一足够长的条状区域内存在匀强电场和匀强磁场, 其在  $xOy$  平面内的截面如图所示: 中间是磁场区域, 其边界与  $y$  轴垂直, 宽度为  $l$ , 磁感应强度的大小为  $B$ , 方向垂直于  $xOy$  平面; 磁场的上、下两侧为电场区



域, 宽度均为  $l'$ , 电场强度的大小均为  $E$ , 方向均沿  $x$  轴正方向;  $M$ 、 $N$  为条形区域边界上的两点, 它们的连线与  $y$  轴平行. 一带正电的粒子以某一速度从  $M$  点沿  $y$  轴正方向射入电场, 经过一段时间后恰好以从  $M$  点入射的速度从  $N$  点沿  $y$  轴正方向射出. 不计重力.

- (1) 定性画出该粒子在电磁场中运动的轨迹;
- (2) 求该粒子从  $M$  点射入时速度的大小;
- (3) 若该粒子进入磁场时的速度方向恰好与  $x$  轴正方向的夹角为  $\frac{\pi}{6}$ , 求该粒子的比荷及其从  $M$  点运动到  $N$  点的时间.

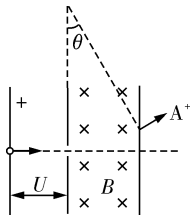
10. (2019 · 全国卷 III) 空间存在一方向竖直向下的匀强电场,  $O$ 、 $P$  是电场中的两点. 从  $O$  点沿水平方向以不同速度先后发射两个质量均为  $m$  的小球  $A$ 、 $B$ .  $A$  不带电,  $B$  的电荷量为  $q$  ( $q > 0$ ).  $A$  从  $O$  点发射时的速度大小为  $v_0$ , 到达  $P$  点所用时间为  $t$ ;  $B$  从  $O$  点到达  $P$  点所用时间为  $\frac{t}{2}$ . 重力加速度为  $g$ , 求:

- (1) 电场强度的大小;
- (2)  $B$  运动到  $P$  点时的动能.

考点限时训练(十三)

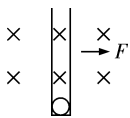
A 组

1. 如图所示, 静止的离子  $A^+$  和  $A^{3+}$ , 经电压为  $U$  的电场加速后进入方向垂直纸面向里的一定宽度的匀强磁场  $B$  中. 已知离子  $A^+$  在磁场中转过  $\theta=30^\circ$  后从磁场右边界射出. 在电场和磁场中运动时离子  $A^+$  和  $A^{3+}$  ( )



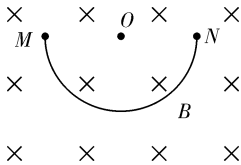
- A. 在电场中的加速度之比为 1 : 1
- B. 在磁场中运动的半径之比为 3 : 1
- C. 在磁场中转过角度之比为 1 : 2
- D. 在磁场中运动的时间之比为 1 : 2

2. (多选) 一根中空的绝缘圆管放在光滑的水平桌面上, 圆管底端有一个带正电的光滑小球, 小球的直径恰好等于圆管的内径. 空间存在一个竖直向下的匀强磁场, 如图. 现用一拉力  $F$  拉圆管并维持圆管以某速度水平向右匀速运动, 则在圆管水平向右运动的过程中 ( )



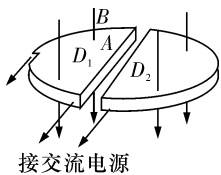
- A. 小球动能一直增加
- B. 小球做类平抛运动, 且洛伦兹力做正功
- C. 小球做类平抛运动, 且洛伦兹力不做功
- D. 小球所受洛伦兹力一直沿圆管向管口方向

3. 如图所示, 半圆光滑绝缘轨道  $MN$  固定在竖直平面内,  $O$  为其圆心,  $M, N$  与  $O$  高度相同, 匀强磁场方向与轨道平面垂直. 现将一个带正电的小球自  $M$  点由静止释放, 它将沿轨道在  $M, N$  间做往复运动. 下列说法中正确的是 ( )



- A. 小球在  $M$  点和  $N$  点时均处于平衡状态
- B. 小球由  $M$  到  $N$  所用的时间大于由  $N$  到  $M$  所用的时间
- C. 小球每次经过轨道最低点时对轨道的压力大小均相等
- D. 小球每次经过轨道最低点时所受合外力大小均相等

4. (多选) 如图所示是回旋加速器的示意图, 置于真空中的 D 形金属盒的半径为  $R$ , 两 D 形盒接在高频交流电源上. 磁感应强度为  $B$  的匀强磁场与金属盒的盒面垂直. 粒子经过  $D_1, D_2$  狭缝间的电压大小恒为  $U$ , 若中心粒子源  $A$  处产生的质量为  $m$ 、电荷量为  $+q$  的粒子, 可以被  $D_1, D_2$  狭缝间的电场不断加速. 带电粒子的初速度为零不考虑相对论效应, 则下列说法正确的是 ( )



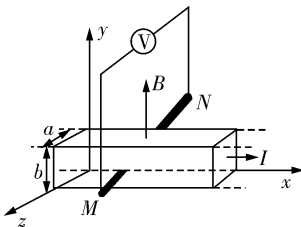
- A. 粒子在回旋加速器中的加速次数与粒子的比荷成正比
- B. 粒子在回旋加速器中相邻轨道半径之差保持不变
- C. 带电粒子在  $D_2$  盒中第  $n$  个半圆的半径是  $r_n =$

$$\frac{1}{B} \sqrt{\frac{2(n-1)mU}{q}}$$

- D. 若加速器的输出端的等效电流是  $I$ , 则输出平均功率是  $\frac{qIB^2R^2}{2m}$

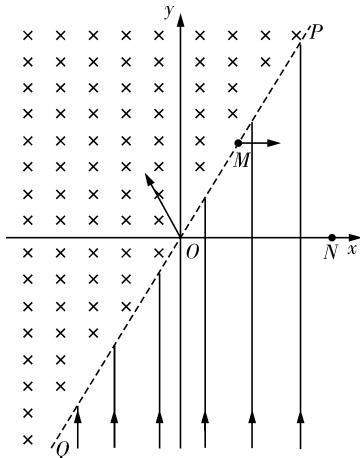
5. 有一种磁强计, 用于测定地磁场的磁感应强度. 磁强计的原理如图所示, 电路中有一段金属导体, 它的横截面是宽

为  $a$ 、高为  $b$  的长方形. 将金属导体放在沿  $y$  轴正方向的匀强磁场中, 导体中通有沿  $x$  轴正方向、大小为  $I$  的电流. 已知金属导体单位体积中的自由电子数为  $n$ , 电子电荷量为  $e$ , 金属导电过程中, 自由电子所做的定向移动可视为匀速运动. 两电极  $M, N$  均与金属导体的前后两侧接触, 用电压表测出金属导体前后两个侧面间的电势差为  $U$ . 则磁感应强度的大小和电极  $M, N$  的正负为 ( )



- A.  $\frac{nebU}{I}$ ,  $M$  正、 $N$  负
- B.  $\frac{neaU}{I}$ ,  $M$  正、 $N$  负
- C.  $\frac{nebU}{I}$ ,  $M$  负、 $N$  正
- D.  $\frac{neaU}{I}$ ,  $M$  负、 $N$  正

6. 如图所示, 在  $xOy$  坐标平面内, 虚线  $PQ$  与  $x$  轴正方向的夹角为  $60^\circ$ , 其右侧有沿  $y$  轴正方向的匀强电场; 左侧有垂直于纸面向里的匀强磁场, 磁感应强度大小为  $B$ . 一质量为  $m$ 、带电荷量为  $q$  的带负电的粒子自坐标原点  $O$  射入匀强磁场中, 经过一段时间后恰好自虚线  $PQ$  上的  $M$  点沿  $x$  轴正方向进入匀强电场, 粒子在电场中的运动轨迹与  $x$  轴的交点为  $N$ . 已知  $O, M$  两点间的距离为  $\sqrt{3}L$ ;  $O, N$  两点间的距离为  $(\frac{\sqrt{3}}{2} + 1)L$ , 粒子重力不计. 求:



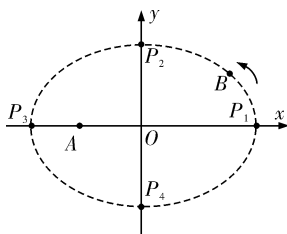
- (1) 带电粒子自坐标原点  $O$  射入匀强磁场的速度大小;
- (2) 匀强电场的电场强度大小;

题号	答案
1	
2	
3	
4	
5	
7	
8	

(3)若自  $O$  点射入磁场的粒子带正电,粒子的质量、带电荷量、初速度等都不变,则在粒子离开  $O$  点后的运动中第二次与虚线  $PQ$  相交的交点坐标.

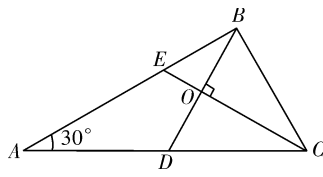
**B 组**

7. 如图所示,平面直角坐标系  $xOy$  的  $x$  轴上固定一带负电的点电荷  $A$ ,一带正电的点电荷  $B$  绕  $A$  在椭圆轨道上沿逆时针方向运动,椭圆轨道的中心在  $O$  点,  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$  为椭圆轨道与坐标轴的交点.为使  $B$  绕  $A$  做圆周运动,某时刻起在此空间加一垂直于  $xOy$  平面的匀强磁场,不计电荷  $B$  受到的重力.下列说法中可能正确的是 ( )



- A. 当  $B$  运动到  $P_1$  点时,加一垂直于  $xOy$  平面向里的匀强磁场
- B. 当  $B$  运动到  $P_2$  点时,加一垂直于  $xOy$  平面向外的匀强磁场
- C. 当  $B$  运动到  $P_3$  点时,加一垂直于  $xOy$  平面向里的匀强磁场
- D. 当  $B$  运动到  $P_4$  点时,加一垂直于  $xOy$  平面向外的匀强磁场

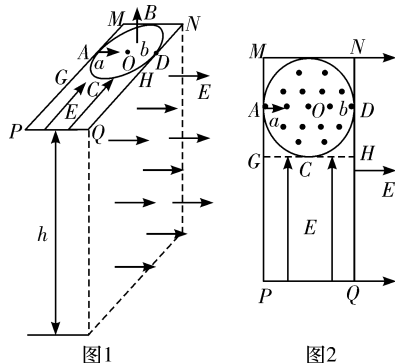
8. 如图所示,直角三角形  $ABC$  位于方向相互垂直的匀强电场和匀强磁场中,其中电场方向平行于三角形所在平面.已知  $\angle A=30^\circ$ ,  $AB$  边长为  $a$ ,  $D$  是  $AC$  的中点,  $CE$  垂直于  $BD$  且交于  $O$  点.一带电粒子由  $B$  点射入,恰能沿直线  $BD$  通过三角形区域.若  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点的电势分别为  $0$ 、 $\varphi$ 、 $2\varphi$ ,已知  $\varphi > 0$ ,粒子重力不计.下列说法正确的是 ( )



- A. 粒子一定带正电
- B. 磁场方向垂直三角形所在平面向外
- C.  $E$  点电势为  $\frac{2}{3}\varphi$
- D. 电场强度大小为  $\frac{\varphi}{a}$

9. 如图 1,光滑绝缘水平平台  $MNQP$  为矩形,  $GH \parallel PQ$ ,  $MP=NQ=1\text{ m}$ ,  $MN=GH=PQ=0.4\text{ m}$ ,平台离地面高度为  $h=2.45\text{ m}$ .半径为  $R=0.2\text{ m}$  的圆形匀强磁场区域,磁感应强度  $B=0.05\text{ T}$ ,方向竖直向上,与  $MP$  边相

切于  $A$  点,与  $NQ$  边相切于  $D$  点,与  $GH$  相切于  $C$  点.平台上  $PGHQ$  区域内有方向由  $P$  指向  $G$  的匀强电场,电场强度大小为  $E=0.25\text{ V/m}$ .平台右方整个空间存在方向水平向右的电场,电场强度大小也为  $E=0.25\text{ V/m}$ ,俯视图如图 2.两个质量均为  $m=2 \times 10^{-5}\text{ kg}$  的小球  $a$ 、 $b$ ,小球  $a$  带正电,电荷量  $q=4 \times 10^{-4}\text{ C}$ ,小球  $b$  不带电,小球  $a$ 、 $b$  均可视为质点.小球  $a$  从  $A$  点正对圆心  $O$  射入磁场,偏转  $90^\circ$  后离开磁场,一段时间后与静止在平台  $D$  点的小球  $b$  发生弹性碰撞,碰后两球离开平台,并在此后的运动过程中发生多次弹性碰撞, $a$  球所带电荷量始终不变,碰撞时间忽略不计.已知重力加速度  $g=10\text{ m/s}^2$ ,  $\pi=3.14$ ,不计空气阻力,求:



- (1) 小球  $a$  射入磁场时的速度大小;
- (2) 从小球  $a$  射入磁场到第一次与小球  $b$  相碰撞,小球  $a$  运动的路程;
- (3) 两个小球落地点与  $NQ$  的水平距离.