

# 2024 年全省普通高中学业水平等级考试

## 物 理

注意事项:

- 1.答卷前,考生务必将自己的姓名、考生号等填写在答题卡和试卷指定位置。
- 2.回答选择题时,选出每小题答案后,用铅笔把答题卡上对应题目的答案标号涂黑。如需改动,用橡皮擦干净后,再选涂其他答案标号。回答非选择题时,将答案写在答题卡上。写在本试卷上无效。
- 3.考试结束后,将本试卷和答题卡一并交回。

一、单项选择题:本题共 8 小题,每小题 3 分,共 24 分。每小题只有一个选项符合题目要求。

1. 2024 年是中国航天大年,神舟十八号、嫦娥六号等已陆续飞天,部分航天器装载了具有抗干扰性强的核电池。已知  ${}_{38}^{90}\text{Sr}$  衰变为  ${}_{39}^{90}\text{Y}$  的半衰期约为 29 年;  ${}_{94}^{238}\text{Pu}$  衰变为  ${}_{92}^{234}\text{U}$  的半衰期约 87 年。现用相同数目的  ${}_{38}^{90}\text{Sr}$  和  ${}_{94}^{238}\text{Pu}$  各做一块核电池,下列说法正确的是 ( )

- A.  ${}_{38}^{90}\text{Sr}$  衰变为  ${}_{39}^{90}\text{Y}$  时产生  $\alpha$  粒子
- B.  ${}_{94}^{238}\text{Pu}$  衰变为  ${}_{92}^{234}\text{U}$  时产生  $\beta$  粒子
- C. 50 年后,剩余的  ${}_{38}^{90}\text{Sr}$  数目大于  ${}_{94}^{238}\text{Pu}$  的数目
- D. 87 年后,剩余的  ${}_{38}^{90}\text{Sr}$  数目小于  ${}_{94}^{238}\text{Pu}$  的数目

【答案】D

【解析】

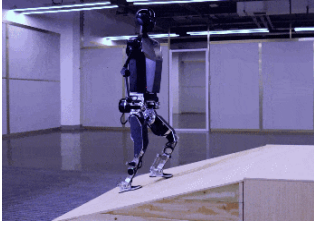
【详解】A. 根据质量数守恒和电荷数守恒可知  ${}_{38}^{90}\text{Sr}$  衰变为  ${}_{39}^{90}\text{Y}$  时产生电子,即  $\beta$  粒子,故 A 错误;

B. 根据质量数守恒和电荷数守恒可知  ${}_{94}^{238}\text{Pu}$  衰变为  ${}_{92}^{234}\text{U}$  时产生  ${}_{2}^{4}\text{He}$ ,即  $\alpha$  粒子,故 B 错误;

CD. 根据题意可知  ${}_{94}^{238}\text{Pu}$  的半衰期大于  ${}_{38}^{90}\text{Sr}$  的半衰期,现用相同数目的  ${}_{38}^{90}\text{Sr}$  和  ${}_{94}^{238}\text{Pu}$  各做一块核电池,经过相同的时间,  ${}_{38}^{90}\text{Sr}$  经过的半衰期的次数多,所以  ${}_{38}^{90}\text{Sr}$  数目小于  ${}_{94}^{238}\text{Pu}$  的数目,故 D 正确, C 错误。

故选 D。

2. 如图所示,国产人形机器人“天工”能平稳通过斜坡。若它可以在倾角不大于  $30^\circ$  的斜坡上稳定地站立和行走,且最大静摩擦力等于滑动摩擦力,则它的脚和斜面间的动摩擦因数不能小于 ( )



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

【答案】 B

【解析】

【详解】 根据题意可知机器人“天工”它可以在倾角不大于  $30^\circ$  的斜坡上稳定地站立和行走，对“天工”分析有

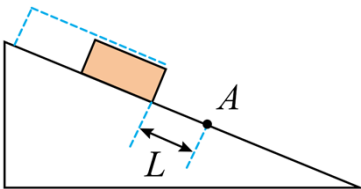
$$mg \sin 30^\circ \leq \mu mg \cos 30^\circ$$

可得

$$\mu \geq \tan 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

故选 B。

3. 如图所示，固定的光滑斜面上有一木板，其下端与斜面上 A 点距离为  $L$ 。木板由静止释放，若木板长度  $L$ ，通过 A 点的时间间隔为  $\Delta t_1$ ；若木板长度为  $2L$ ，通过 A 点的时间间隔为  $\Delta t_2$ 。  $\Delta t_2 : \Delta t_1$  为 ( )



- A.  $(\sqrt{3}-1):(\sqrt{2}-1)$   
 B.  $(\sqrt{3}-\sqrt{2}):(\sqrt{2}-1)$   
 C.  $(\sqrt{3}+1):(\sqrt{2}+1)$   
 D.  $(\sqrt{3}+\sqrt{2}):(\sqrt{2}+1)$

【答案】 A

【解析】

【详解】 木板在斜面上运动时，木板的加速度不变，设加速度为  $a$ ，木板从静止释放到下端到达 A 点的过程，根据运动学公式有

$$L = \frac{1}{2}at_0^2$$

木板从静止释放到上端到达  $A$  点的过程，当木板长度为  $L$  时，有

$$2L = \frac{1}{2}at_1^2$$

当木板长度为  $2L$  时，有

$$3L = \frac{1}{2}at_2^2$$

又

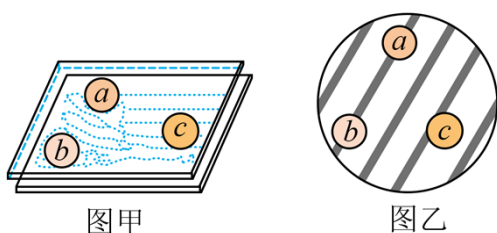
$$\Delta t_1 = t_1 - t_0, \quad \Delta t_2 = t_2 - t_0$$

联立解得

$$\Delta t_2 : \Delta t_1 = (\sqrt{3} - 1) : (\sqrt{2} - 1)$$

故选 A。

4. 检测球形滚珠直径是否合格的装置如图甲所示，将标准滚珠  $a$  与待测滚珠  $b$ 、 $c$  放置在两块平板玻璃之间，用单色平行光垂直照射平板玻璃，形成如图乙所示的干涉条纹。若待测滚珠与标准滚珠的直径相等为合格，下列说法正确的是（ ）



- A. 滚珠  $b$ 、 $c$  均合格
- B. 滚珠  $b$ 、 $c$  均不合格
- C. 滚珠  $b$  合格，滚珠  $c$  不合格
- D. 滚珠  $b$  不合格，滚珠  $c$  合格

**【答案】** C

**【解析】**

**【详解】** 单色平行光垂直照射平板玻璃，上、下玻璃上表面的反射光在上玻璃上表面发生干涉，形成干涉条纹，光程差为两块玻璃距离的两倍，根据光的干涉知识可知，同一条干涉条纹位置处光的波程差相等，即滚珠  $a$  的直径与滚珠  $b$  的直径相等，即滚珠  $b$  合格，不同的干涉条纹位置处光的波程差不同，则滚珠  $a$  的直径与滚珠  $c$  的直径不相等，即滚珠  $c$  不合格。

故选 C。

5. “鹊桥二号”中继星环绕月球运行，其 24 小时椭圆轨道的半长轴为  $a$ 。已知地球同步卫星的轨道半径为  $r$ ，则月球与地球质量之比可表示为（ ）

- A.  $\sqrt{\frac{r^3}{a^3}}$       B.  $\sqrt{\frac{a^3}{r^3}}$       C.  $\frac{r^3}{a^3}$       D.  $\frac{a^3}{r^3}$

【答案】D

【解析】

【详解】“鹊桥二号”中继星在 24 小时椭圆轨道运行时，根据开普勒第三定律

$$\frac{a^3}{T^2} = k$$

同理，对地球同步卫星根据开普勒第三定律

$$\frac{r^3}{T'^2} = k'$$

又开普勒常量与中心天体的质量成正比，所以

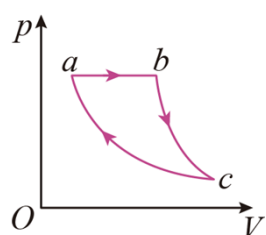
$$\frac{M_{\text{月}}}{M_{\text{地}}} = \frac{k}{k'}$$

联立可得

$$\frac{M_{\text{月}}}{M_{\text{地}}} = \frac{a^3}{r^3}$$

故选 D。

6. 一定质量理想气体经历如图所示的循环过程， $a \rightarrow b$  过程是等压过程， $b \rightarrow c$  过程中气体与外界无热量交换， $c \rightarrow a$  过程是等温过程。下列说法正确的是（ ）



- A.  $a \rightarrow b$  过程，气体从外界吸收的热量全部用于对外做功  
 B.  $b \rightarrow c$  过程，气体对外做功，内能增加  
 C.  $a \rightarrow b \rightarrow c$  过程，气体从外界吸收的热量全部用于对外做功  
 D.  $a \rightarrow b$  过程，气体从外界吸收的热量等于  $c \rightarrow a$  过程放出的热量

【答案】C

【解析】

【详解】A.  $a \rightarrow b$  过程压强不变，是等压变化且体积增大，气体对外做功  $W < 0$ ，由盖-吕萨克定律可知

$$T_b > T_a$$

即内能增大， $\Delta U_{ab} > 0$ ，根据热力学第一定律  $\Delta U = Q + W$  可知  $a \rightarrow b$  过程，气体从外界吸收的热量一部分用于对外做功，另一部分用于增加内能，A 错误；

B. 方法一： $b \rightarrow c$  过程中气体与外界无热量交换，即

$$Q_{bc} = 0$$

又由气体体积增大可知  $W_{bc} < 0$ ，由热力学第一定律  $\Delta U = Q + W$  可知气体内能减少。

方法二： $c \rightarrow a$  过程为等温过程，所以

$$T_c = T_a$$

结合  $T_b > T_a$  分析可知

$$T_b > T_c$$

所以  $b$  到  $c$  过程气体的内能减少。故 B 错误；

C.  $c \rightarrow a$  过程为等温过程，可知

$$T_c = T_a, \Delta U_{ac} = 0$$

根据热力学第一定律可知  $a \rightarrow b \rightarrow c$  过程，气体从外界吸收的热量全部用于对外做功，C 正确；

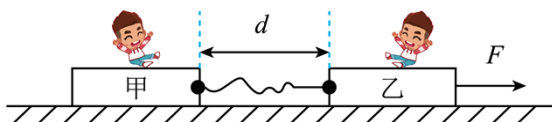
D. 根据热力学第一定律结合上述解析可知： $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow a$  一整个热力学循环过程  $\Delta U = 0$ ，整个过程气体对外做功，因此热力学第一定律可得

$$\Delta U = Q_{ab} - Q_{ca} - W = 0$$

故  $a \rightarrow b$  过程气体从外界吸收的热量  $Q_{ab}$  不等于  $c \rightarrow a$  过程放出的热量  $-Q_{ca}$ ，D 错误。

故选 C。

7. 如图所示，质量均为  $m$  的甲、乙两同学，分别坐在水平放置的轻木板上，木板通过一根原长为  $l$  的轻质弹性绳连接，连接点等高且间距为  $d$  ( $d < l$ )。两木板与地面间动摩擦因数均为  $\mu$ ，弹性绳劲度系数为  $k$ ，被拉伸时弹性势能  $E = \frac{1}{2} kx^2$  ( $x$  为绳的伸长量)。现用水平力  $F$  缓慢拉动乙所坐木板，直至甲所坐木板刚要离开原位置，此过程中两人与所坐木板保持相对静止， $k$  保持不变，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，重力加速度大小为  $g$ ，则  $F$  所做的功等于 ( )



- A.  $\frac{(\mu mg)^2}{2k} + \mu mg(l-d)$                       B.  $\frac{3(\mu mg)^2}{2k} + \mu mg(l-d)$
- C.  $\frac{3(\mu mg)^2}{2k} + 2\mu mg(l-d)$                       D.  $\frac{(\mu mg)^2}{2k} + 2\mu mg(l-d)$

【答案】 B

【解析】

【详解】 当甲所坐木板刚要离开原位置时，对甲及其所坐木板整体有

$$kx_0 = \mu mg$$

解得弹性绳的伸长量

$$x_0 = \frac{\mu mg}{k}$$

则此时弹性绳的弹性势能为

$$E_0 = \frac{1}{2} kx_0^2 = \frac{\mu^2 m^2 g^2}{2k}$$

从开始拉动乙所坐木板到甲所坐木板刚要离开原位置的过程，乙所坐木板的位移为

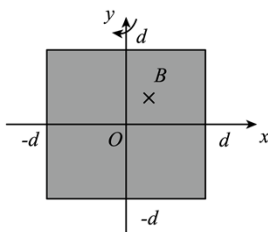
$$x_1 = x_0 + l - d$$

则由功能关系可知该过程  $F$  所做的功

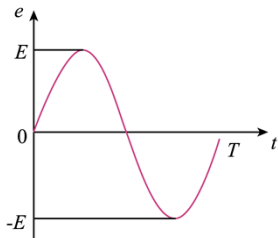
$$W = E_0 + \mu mgx_1 = \frac{3(\mu mg)^2}{2k} + \mu mg(l-d)$$

故选 B。

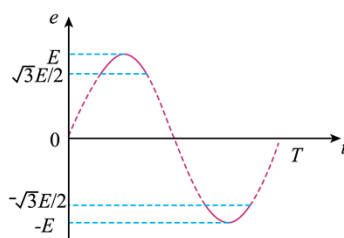
8. 如图甲所示，在  $-d \leq x \leq d$ ， $-d \leq y \leq d$  的区域中存在垂直  $Oxy$  平面向里、磁感应强度大小为  $B$  的匀强磁场（用阴影表示磁场的区域），边长为  $2d$  的正方形线圈与磁场边界重合。线圈以  $y$  轴为转轴匀速转动时，线圈中产生的交变电动势如图乙所示。若仅磁场的区域发生了变化，线圈中产生的电动势变为图丙所示实线部分，则变化后磁场的区域可能为（    ）



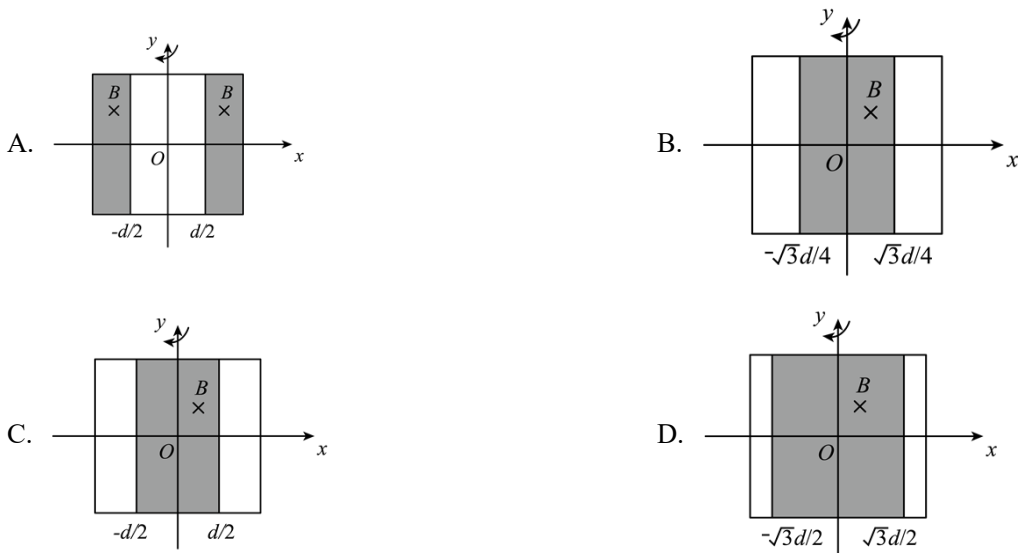
图甲



图乙



图丙



【答案】C

【解析】

【详解】根据题意可知，磁场区域变化前线圈产生的感应电动势为

$$e = E \sin \omega t$$

由题图丙可知，磁场区域变化后，当  $E \sin \omega t = \frac{\sqrt{3}E}{2}$  时，线圈的侧边开始切割磁感线，即当线圈旋转  $\frac{\pi}{3}$  时

开始切割磁感线，由几何关系可知磁场区域平行于  $x$  轴的边长变为

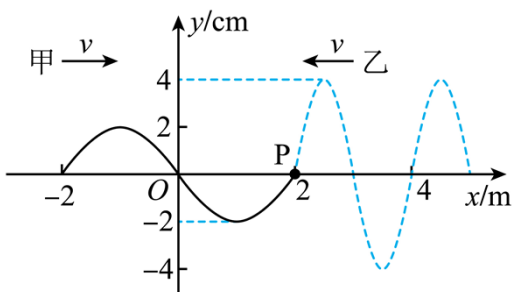
$$d' = 2d \cos \frac{\pi}{3} = d$$

C 正确。

故选 C。

二、多项选择题：本题共 4 小题，每小题 4 分，共 16 分。每小题有多个选项符合题目要求，全部选对得 4 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分。

9. 甲、乙两列简谐横波在同一均匀介质中沿  $x$  轴相向传播，波速均为  $2\text{m/s}$ 。  $t=0$  时刻二者在  $x=2\text{m}$  处相遇，波形图如图所示。关于平衡位置在  $x=2\text{m}$  处的质点 P，下列说法正确的是（ ）



- A.  $t=0.5\text{s}$  时，P 偏离平衡位置的位移为 0
- B.  $t=0.5\text{s}$  时，P 偏离平衡位置的位移为  $-2\text{cm}$
- C.  $t=1.0\text{s}$  时，P 向  $y$  轴正方向运动

D.  $t=1.0\text{s}$  时, P 向  $y$  轴负方向运动

【答案】BC

【解析】

【详解】AB. 在  $0.5\text{s}$  内, 甲、乙两列波传播的距离均为

$$\Delta x = v\Delta t = 2 \times 0.5\text{m} = 1\text{m}$$

根据波形平移法可知,  $t = 0.5\text{s}$  时,  $x = 1\text{m}$  处甲波的波谷刚好传到 P 处,  $x = 3\text{m}$  处乙波的平衡位置振动刚好传到 P 处, 根据叠加原理可知,  $t = 0.5\text{s}$  时, P 偏离平衡位置的位移为  $-2\text{cm}$ , 故 A 错误, B 正确;

CD. 在  $1.0\text{s}$  内, 甲、乙两列波传播的距离均为

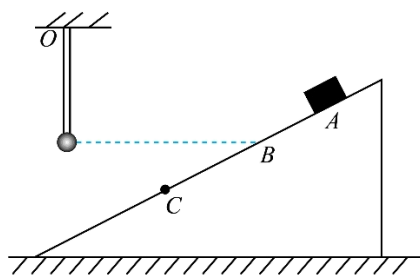
$$\Delta x' = v\Delta t' = 2 \times 1.0\text{m} = 2\text{m}$$

根据波形平移法可知,  $t = 1.0\text{s}$  时,  $x = 0$  甲波的平衡位置振动刚好传到 P 处,  $x = 4\text{m}$  处乙波的平衡位置振动刚好传到 P 处, 且此时两列波的振动都向  $y$  轴正方向运动, 根据叠加原理可知,  $t = 1.0\text{s}$  时, P 向  $y$  轴正方向运动, 故 C 正确, D 错误。

故选 BC。

10. 如图所示, 带电量为  $+q$  的小球被绝缘棒固定在  $O$  点, 右侧有固定在水平面上、倾角为  $30^\circ$  的光滑绝缘斜面。质量为  $m$ 、带电量为  $+q$  的小滑块从斜面上  $A$  点由静止释放, 滑到与小球等高的  $B$  点时加速度为零, 滑到  $C$  点时速度为零。已知  $AC$  间的距离为  $S$ , 重力加速度大小为  $g$ , 静电力常量为  $k$ , 下列说法正确的是

( )



A.  $OB$  的距离  $l = \sqrt{\frac{\sqrt{3}kq^2}{mg}}$

B.  $OB$  的距离  $l = \sqrt{\frac{\sqrt{3}kq^2}{3mg}}$

C. 从  $A$  到  $C$ , 静电力对小滑块做功  $W = -mgS$

D.  $AC$  之间的电势差  $U_{AC} = -\frac{mgS}{2q}$

【答案】AD

【解析】

【详解】AB. 由题意知小滑块在  $B$  点处的加速度为零，则根据受力分析有沿斜面方向

$$mg \sin 30^\circ = \frac{kq^2}{l^2} \cos 30^\circ$$

解得

$$l = \sqrt{\frac{\sqrt{3}kq^2}{mg}}$$

A 正确，B 错误；

C. 因为滑到  $C$  点时速度为零，小滑块从  $A$  到  $C$  的过程，静电力对小滑块做的功为  $W$ ，根据动能定理有

$$W + mgS \sin 30^\circ = 0$$

解得

$$W = -\frac{mgS}{2}$$

故 C 错误；

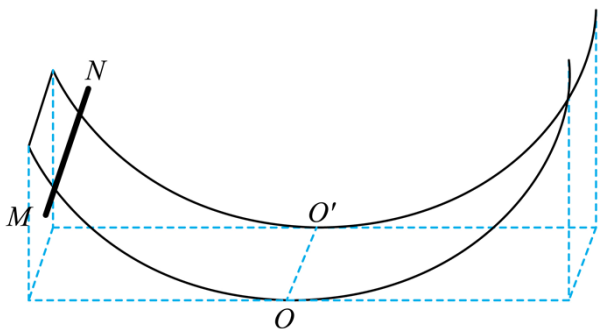
D. 根据电势差与电场强度的关系可知  $AC$  之间的电势差

$$U_{AC} = \frac{W}{q} = -\frac{mgS}{2q}$$

故 D 正确。

故选 AD。

11. 如图所示，两条相同的半圆弧形光滑金属导轨固定在水平桌面上，其所在平面竖直且平行，导轨最高点 to 水平桌面的距离等于半径，最低点的连线  $OO'$  与导轨所在竖直面垂直。空间充满竖直向下的匀强磁场（图中未画出），导轨左端由导线连接。现将具有一定质量和电阻的金属棒  $MN$  平行  $OO'$  放置在导轨图示位置，由静止释放。 $MN$  运动过程中始终平行于  $OO'$  且与两导轨接触良好，不考虑自感影响，下列说法正确的是（ ）



A.  $MN$  最终一定静止于  $OO'$  位置

B.  $MN$  运动过程中安培力始终做负功

- C. 从释放到第一次到达  $OO'$  位置过程中,  $MN$  的速率一直在增大  
 D. 从释放到第一次到达  $OO'$  位置过程中,  $MN$  中电流方向由  $M$  到  $N$

【答案】 ABD

【解析】

【详解】 A. 由于金属棒  $MN$  运动过程切割磁感线产生感应电动势, 回路有感应电流, 产生焦耳热, 金属棒  $MN$  的机械能不断减小, 由于金属导轨光滑, 所以经过多次往返运动,  $MN$  最终一定静止于  $OO'$  位置, 故 A 正确;

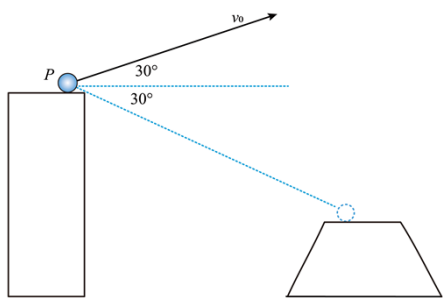
B. 当金属棒  $MN$  向右运动, 根据右手定则可知,  $MN$  中电流方向由  $M$  到  $N$ , 根据左手定则, 可知金属棒  $MN$  受到的安培力水平向左, 则安培力做负功; 当金属棒  $MN$  向左运动, 根据右手定则可知,  $MN$  中电流方向由  $N$  到  $M$ , 根据左手定则, 可知金属棒  $MN$  受到的安培力水平向右, 则安培力做负功; 可知  $MN$  运动过程中安培力始终做负功, 故 B 正确;

C. 金属棒  $MN$  从释放到第一次到达  $OO'$  位置过程中, 由于在  $OO'$  位置重力沿切线方向的分力为 0, 可知在到达  $OO'$  位置之前的位置, 重力沿切线方向的分力已经小于安培力沿切线方向的分力, 金属棒  $MN$  已经做减速运动, 故 C 错误;

D. 从释放到第一次到达  $OO'$  位置过程中, 根据右手定则可知,  $MN$  中电流方向由  $M$  到  $N$ , 故 D 正确。

故选 ABD。

12. 如图所示, 工程队向峡谷对岸平台抛射重物, 初速度  $v_0$  大小为  $20\text{m/s}$ , 与水平方向的夹角为  $30^\circ$ , 抛出点  $P$  和落点  $Q$  的连线与水平方向夹角为  $30^\circ$ , 重力加速度大小取  $10\text{m/s}^2$ , 忽略空气阻力。重物在此运动过程中, 下列说法正确的是 ( )



- A. 运动时间为  $2\sqrt{3}\text{s}$   
 B. 落地速度与水平方向夹角为  $60^\circ$   
 C. 重物离  $PQ$  连线的最远距离为  $10\text{m}$   
 D. 轨迹最高点与落点的高度差为  $45\text{m}$

【答案】 BD

【解析】

【详解】AC. 将初速度分解为沿  $PQ$  方向分速度  $v_1$  和垂直  $PQ$  分速度  $v_2$ , 则有

$$v_1 = v_0 \cos 60^\circ = 10\text{m/s}, \quad v_2 = v_0 \sin 60^\circ = 10\sqrt{3}\text{m/s}$$

将重力加速度分解为沿  $PQ$  方向分速度  $a_1$  和垂直  $PQ$  分速度  $a_2$ , 则有

$$a_1 = g \sin 30^\circ = 5\text{m/s}^2, \quad a_2 = g \cos 30^\circ = 5\sqrt{3}\text{m/s}^2$$

垂直  $PQ$  方向根据对称性可得重物运动时间为

$$t = 2 \frac{v_2}{a_2} = 4\text{s}$$

重物离  $PQ$  连线的最远距离为

$$d_{\max} = \frac{v_2^2}{2a_2} = 10\sqrt{3}\text{m}$$

故 AC 错误;

B. 重物落地时竖直分速度大小为

$$v_y = -v_0 \sin 30^\circ + gt = 30\text{m/s}$$

则落地速度与水平方向夹角正切值为

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{v_y}{v_0 \cos 30^\circ} = \sqrt{3}$$

可得

$$\theta = 60^\circ$$

故 B 正确;

D. 从抛出到最高点所用时间为

$$t_1 = \frac{v_0 \sin 30^\circ}{g} = 1\text{s}$$

则从最高点到落地所用时间为

$$t_2 = t - t_1 = 3\text{s}$$

轨迹最高点与落点的高度差为

$$h = \frac{1}{2}gt_2^2 = 45\text{m}$$

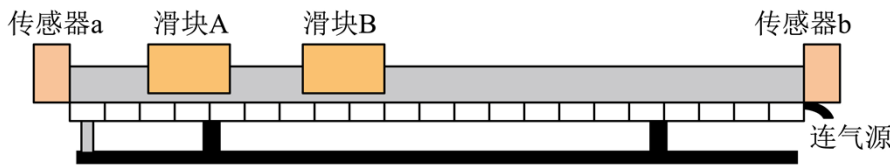
故 D 正确。

故选 BD。

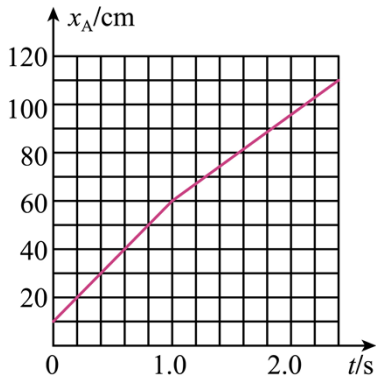
三、非选择题：本题共 6 小题，共 60 分。

13. 在第四次“天宫课堂”中，航天员演示了动量守恒实验。受此启发，某同学使用如图甲所示的装置进行了碰撞实验，气垫导轨两端分别安装  $a$ 、 $b$  两个位移传感器， $a$  测量滑块 A 与它的距离  $x_A$ ， $b$  测量滑块 B 与它的距离  $x_B$ 。部分实验步骤如下：

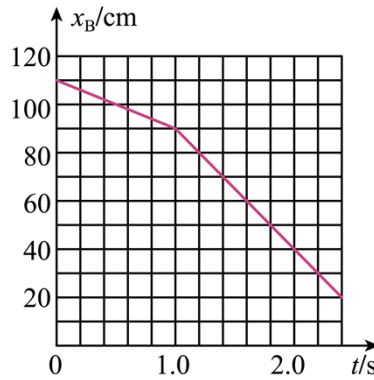
- ①测量两个滑块的质量，分别为 200.0g 和 400.0g；
- ②接通气源，调整气垫导轨水平；
- ③拨动两滑块，使 A、B 均向右运动；
- ④导出传感器记录的数据，绘制  $x_A$ 、 $x_B$  随时间变化的图像，分别如图乙、图丙所示。



图甲



图乙



图丙

回答以下问题：

- (1) 从图像可知两滑块在  $t = \underline{\hspace{2cm}}$  s 时发生碰撞；
- (2) 滑块 B 碰撞前的速度大小  $v = \underline{\hspace{2cm}}$  m/s (保留 2 位有效数字)；
- (3) 通过分析，得出质量为 200.0g 的滑块是          (填“A”或“B”)。

【答案】(1) 1.0      (2) 0.20

(3) B

【解析】

【小问 1 详解】

由  $x-t$  图像的斜率表示速度可知两滑块的速度在  $t = 1.0\text{s}$  时发生突变，即这个时候发生了碰撞；

【小问 2 详解】

根据  $x-t$  图像斜率的绝对值表示速度大小可知碰撞前瞬间 B 的速度大小为

$$v = \left| \frac{90 - 110}{1.0} \right| \text{cm/s} = 0.20\text{m/s}$$

【小问 3 详解】

由题图乙知，碰撞前 A 的速度大小  $v_A = 0.50\text{m/s}$ ，碰撞后 A 的速度大小约为  $v'_A = 0.36\text{m/s}$ ，由题图丙可知，碰撞后 B 的速度大小为  $v'_B = 0.5\text{m/s}$ ，A 和 B 碰撞过程动量守恒，则有

$$m_A v_A + m_B v = m_A v'_A + m_B v'_B$$

代入数据解得

$$\frac{m_A}{m_B} \approx 2$$

所以质量为 200.0g 的滑块是 B。

14. 某学习小组对两种型号铅笔芯的电阻率进行测量。实验器材如下：

学生电源（输出电压 0~16V）

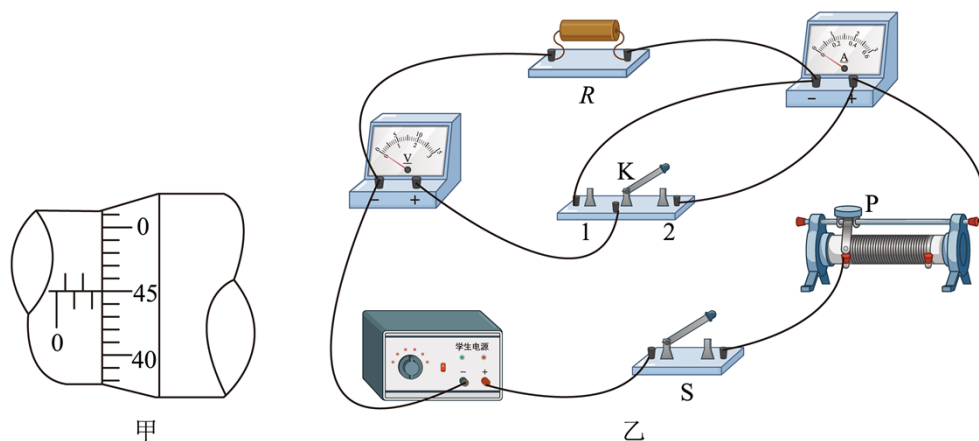
滑动变阻器（最大阻值  $10\Omega$ ，额定电流 2A）；

电压表 V（量程 3V，内阻未知）；

电流表 A（量程 3A，内阻未知）；

待测铅笔芯 R（X 型号、Y 型号）；

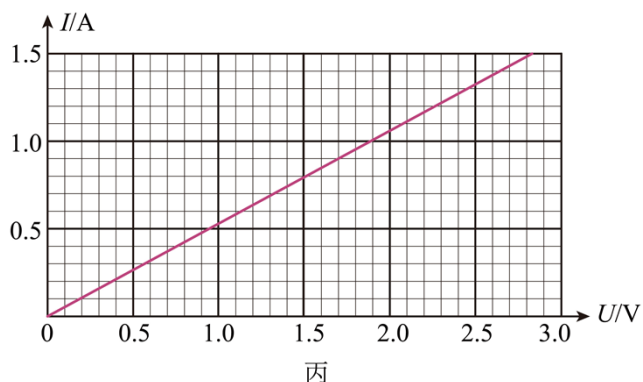
游标卡尺，螺旋测微器，开关 S，单刀双掷开关 K，导线若干。



回答以下问题：

- (1) 使用螺旋测微器测量铅笔芯直径，某次测量结果如图甲所示，该读数为 \_\_\_\_\_ mm；
- (2) 把待测铅笔芯接入图乙所示电路，闭合开关 S 后，将滑动变阻器滑片由最右端向左调节到合适位置，将单刀双掷开关 K 分别掷到 1、2 端，观察到电压表示数变化比电流表示数变化更明显，则测量铅笔芯电阻时应将 K 掷到 \_\_\_\_\_（填“1”或“2”）端；
- (3) 正确连接电路，得到 Y 型号铅笔芯  $I-U$  图像如图丙所示，求得电阻  $R_Y =$  \_\_\_\_\_  $\Omega$ （保留 3 位有效数字）；采用同样方法得到 X 型号铅笔芯的电阻为  $1.70\Omega$ ；

(4) 使用游标卡尺测得 X、Y 型号铅笔芯的长度分别为 40.68mm、60.78mm，使用螺旋测微器测得 X、Y 型号铅笔芯直径近似相等，则 X 型号铅笔芯的电阻率\_\_\_\_\_（填“大于”或“小于”）Y 型号铅笔芯的电阻率。



【答案】(1) 2.450

(2) 1      (3) 1.91

(4) 大于

【解析】

【小问 1 详解】

根据螺旋测微器的读数规则可知，其读数为

$$d = 2\text{mm} + 0.01 \times 45.0\text{mm} = 2.450\text{mm}$$

【小问 2 详解】

由于电压表示数变化更明显，说明电流表分压较多，因此电流表应采用外接法，即测量铅笔芯电阻时应将  $K$  掷到 1 端；

【小问 3 详解】

根据图丙的  $I-U$  图像，结合欧姆定律有

$$R_Y = \frac{2.50\text{V}}{1.31\text{A}} = 1.91\Omega$$

【小问 4 详解】

根据电阻定律

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

可得

$$\rho = \frac{RS}{l}$$

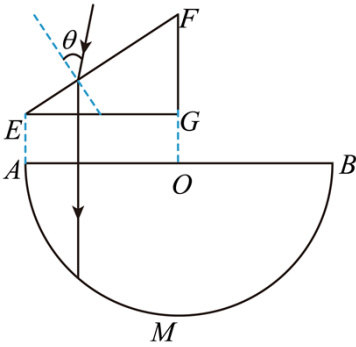
两种材料的横截面积近似相等，分别代入数据可知

$$\rho_X > \rho_Y$$

15. 某光学组件横截面如图所示，半圆形玻璃砖圆心为  $O$  点，半径为  $R$ ；直角三棱镜  $FG$  边的延长线过  $O$  点， $EG$  边平行于  $AB$  边且长度等于  $R$ ， $\angle FEG=30^\circ$ 。横截面所在平面内，单色光线以  $\theta$  角入射到  $EF$  边发生折射，折射光线垂直  $EG$  边射出。已知玻璃砖和三棱镜对该单色光的折射率均为 1.5。

(1) 求  $\sin\theta$ ；

(2) 以  $\theta$  角入射的单色光线，若第一次到达半圆弧  $AMB$  可以发生全反射，求光线在  $EF$  上入射点  $D$ （图中未标出）到  $E$  点距离的范围。



**【答案】** (1)  $\sin\theta = 0.75$ ；(2)  $0 < x \leq \frac{2\sqrt{3}}{9}R$

**【解析】**

**【详解】** (1) 由题意设光在三棱镜中的折射角为  $\alpha$ ，则根据折射定律有

$$n = \frac{\sin\theta}{\sin\alpha}$$

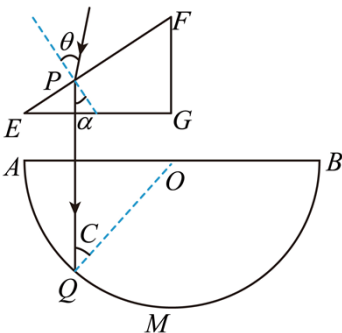
由于折射光线垂直  $EG$  边射出，根据几何关系可知

$$\alpha = \angle FEG = 30^\circ$$

代入数据解得

$$\sin\theta = 0.75$$

(2) 根据题意作出单色光第一次到达半圆弧  $AMB$  恰好发生全反射的光路图如图



则根据几何关系可知  $FE$  上从  $P$  点到  $E$  点以  $\theta$  角入射的单色光线第一次到达半圆弧  $AMB$  都可以发生全反射，根据全反射临界角公式有

$$\sin C = \frac{1}{n}$$

设  $P$  点到  $FG$  的距离为  $l$ ，则根据几何关系有

$$l = R \sin C$$

又因为

$$x_{PE} = \frac{R-l}{\cos 30^\circ}$$

联立解得

$$x_{PE} = \frac{2\sqrt{3}}{9}R$$

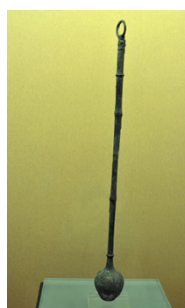
所以光线在  $EF$  上的入射点  $D$  到  $E$  点的距离范围为

$$0 < x \leq \frac{2\sqrt{3}}{9}R$$

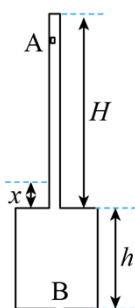
16. 图甲为战国时期青铜汲酒器，根据其原理制作了由中空圆柱形长柄和储液罐组成的汲液器，如图乙所示。长柄顶部封闭，横截面积  $S_1=1.0\text{cm}^2$ ，长度  $H=100.0\text{cm}$ ，侧壁有一小孔 A。储液罐的横截面积  $S_2=90.0\text{cm}^2$ ，高度  $h=20.0\text{cm}$ ，罐底有一小孔 B。汲液时，将汲液器竖直浸入液体，液体从孔 B 进入，空气由孔 A 排出；当内外液面相平时，长柄浸入液面部分的长度为  $x$ ；堵住孔 A，缓慢地将汲液器竖直提出液面，储液罐内刚好储满液体。已知液体密度  $\rho=1.0\times 10^3\text{kg/m}^3$ ，重力加速度大小  $g=10\text{m/s}^2$ ，大气压  $p_0=1.0\times 10^5\text{Pa}$ 。整个过程温度保持不变，空气可视为理想气体，忽略器壁厚度。

(1) 求  $x$ ；

(2) 松开孔 A，从外界进入压强为  $p_0$ 、体积为  $V$  的空气，使满储液罐中液体缓缓流出，堵住孔 A，稳定后罐中恰好剩余一半的液体，求  $V$ 。



图甲



图乙

【答案】(1)  $x = 2\text{cm}$ ；(2)  $V = 8.92 \times 10^{-4}\text{m}^3$

【解析】

【详解】(1) 由题意可知缓慢地将汲液器竖直提出液面过程只能够，气体发生等温变化，所以有

$$p_1(H-x)S_1 = p_2HS_1$$

又因为

$$p_1 = p_0$$

$$p_2 + \rho gh = p_0$$

代入数据联立解得

$$x = 2\text{cm}$$

(2) 当外界气体进入后，以所有气体为研究对象有

$$p_0V + p_2HS_1 = p_3\left(HS_1 + \frac{h}{2}S_2\right)$$

又因为

$$p_3 + \rho g \cdot \frac{h}{2} = p_0$$

代入数据联立解得

$$V = 8.92 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

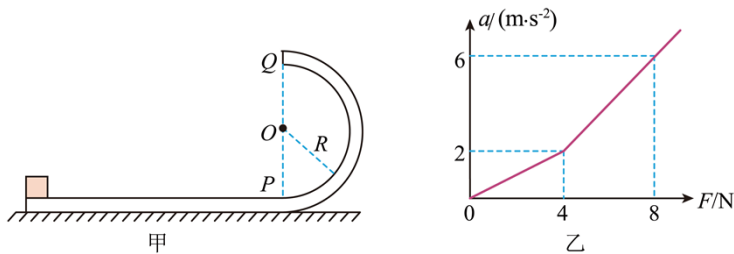
17. 如图甲所示，质量为  $M$  的轨道静止在光滑水平面上，轨道水平部分的上表面粗糙，竖直半圆形部分的表面光滑，两部分在  $P$  点平滑连接， $Q$  为轨道的最高点。质量为  $m$  的小物块静置在轨道水平部分上，与水平轨道间的动摩擦因数为  $\mu$ ，最大静摩擦力等于滑动摩擦力。已知轨道半圆形部分的半径  $R=0.4\text{m}$ ，重力加速度大小  $g=10\text{m/s}^2$

(1) 若轨道固定，小物块以一定的初速度沿轨道运动到  $Q$  点时，受到轨道的弹力大小等于  $3mg$ ，求小物块在  $Q$  点的速度大小  $v$ ；

(2) 若轨道不固定，给轨道施加水平向左的推力  $F$ ，小物块处在轨道水平部分时，轨道加速度  $a$  与  $F$  对应关系如图乙所示。

(i) 求  $\mu$  和  $m$ ；

(ii) 初始时，小物块静置在轨道最左端，给轨道施加水平向左的推力  $F=8\text{N}$ ，当小物块到  $P$  点时撤去  $F$ ，小物块从  $Q$  点离开轨道时相对地的速度大小为  $7\text{m/s}$ 。求轨道水平部分的长度  $L$ 。



【答案】(1)  $v = 4\text{m/s}$  ; (2) (i)  $m = 1\text{kg}$  ,  $\mu = 0.2$  ; (3)  $L = 4.5\text{m}$

【解析】

【详解】(1) 根据题意可知小物块在  $Q$  点由合力提供向心力有

$$mg + 3mg = m \frac{v^2}{R}$$

代入数据解得

$$v = 4\text{m/s}$$

(2) (i) 根据题意可知当  $F \leq 4\text{N}$  时, 小物块与轨道是一起向左加速, 根据牛顿第二定律可知

$$F = (M + m)a$$

根据图乙有

$$k = \frac{1}{M + m} = 0.5\text{kg}^{-1}$$

当外力  $F > 4\text{N}$  时, 轨道与小物块有相对滑动, 则对轨道有

$$F - \mu mg = Ma$$

结合题图乙有

$$a = \frac{1}{M}F - \frac{\mu mg}{M}$$

可知

$$k = \frac{1}{M} = 1\text{kg}^{-1}$$

截距

$$b = -\frac{\mu mg}{M} = -2\text{m/s}^2$$

联立以上各式可得

$$M = 1\text{kg} , m = 1\text{kg} , \mu = 0.2$$

(ii) 由图乙可知, 当  $F=8\text{N}$  时, 轨道的加速度为  $6\text{m/s}^2$ , 小物块的加速度为

$$a_2 = \mu g = 2\text{m/s}^2$$

当小物块运动到  $P$  点时，经过  $t_0$  时间，则轨道有

$$v_1 = a_1 t_0$$

小物块有

$$v_2 = a_2 t_0$$

在这个过程中系统机械能守恒有

$$\frac{1}{2} M v_1^2 + \frac{1}{2} m v_2^2 = \frac{1}{2} M v_3^2 + \frac{1}{2} m v_4^2 + 2mgR$$

水平方向动量守恒，以水平向左的正方向，则有

$$M v_1 + m v_2 = M v_3 + m v_4$$

联立解得

$$t_0 = 1.5s$$

根据运动学公式有

$$L = \frac{1}{2} a_1 t_0^2 - \frac{1}{2} a_2 t_0^2$$

代入数据解得

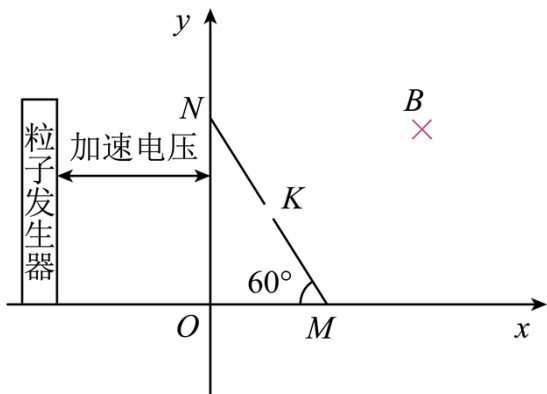
$$L = 4.5m$$

18. 如图所示，在  $Oxy$  坐标系  $x>0, y>0$  区域内充满垂直纸面向里，磁感应强度大小为  $B$  的匀强磁场。磁场中放置一长度为  $L$  的挡板，其两端分别位于  $x, y$  轴上  $M, N$  两点， $\angle OMN=60^\circ$ ，挡板上有一小孔  $K$  位于  $MN$  中点。 $\triangle OMN$  之外的第一象限区域存在恒定匀强电场。位于  $y$  轴左侧的粒子发生器在  $0 < y < \frac{\sqrt{3}}{2} L$  的范围内可以产生质量为  $m$ ，电荷量为  $+q$  的无初速度的粒子。粒子发生器与  $y$  轴之间存在水平向右的匀强加速电场，加速电压大小可调，粒子经此电场加速后进入磁场，挡板厚度不计，粒子可沿任意角度穿过小孔，碰撞挡板的粒子不予考虑，不计粒子重力及粒子间相互作用力。

(1) 求使粒子垂直挡板射入小孔  $K$  的加速电压  $U_0$ ；

(2) 调整加速电压，当粒子以最小的速度从小孔  $K$  射出后恰好做匀速直线运动，求第一象限中电场强度的大小和方向；

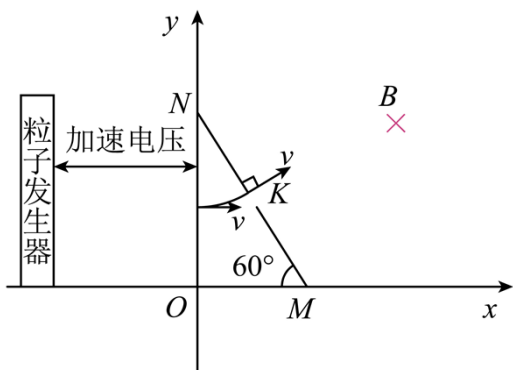
(3) 当加速电压为  $\frac{qB^2 L^2}{24m}$  时，求粒子从小孔  $K$  射出后，运动过程中距离  $y$  轴最近位置的坐标。



【答案】(1)  $U_0 = \frac{qB^2L^2}{8m}$ ; (2)  $E = \frac{qB^2L}{4m}$ , 方向沿  $x$  轴正方向; (3)  $d_m = \frac{(3-\sqrt{3})L}{12}$

【解析】

【详解】(1) 根据题意, 作出粒子垂直挡板射入小孔  $K$  的运动轨迹如图所示



根据几何关系可知粒子在磁场中做圆周运动的轨迹半径为

$$r = x_{SK} = \frac{L}{2}$$

在  $\triangle OMN$  区域根据洛伦兹力提供向心力有

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

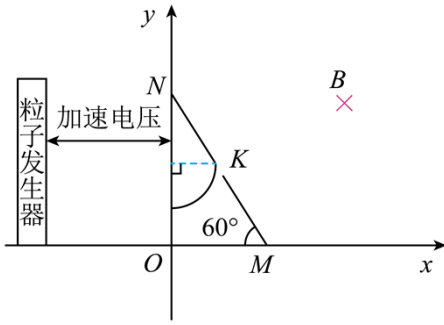
在匀强加速电场中由动能定理有

$$U_0q = \frac{1}{2}mv^2$$

联立解得

$$U_0 = \frac{qB^2L^2}{8m}$$

(2) 根据题意, 当轨迹半径最小时, 粒子速度最小, 则作出粒子以最小的速度从小孔  $K$  射出的运动轨迹如图所示



根据几何关系可知粒子在磁场中做圆周运动的轨迹半径为

$$r' = x_{NK} \cos 60^\circ = \frac{L}{4}$$

在  $\triangle OMN$  区域根据洛伦兹力提供向心力有

$$qv'B = m \frac{v'^2}{r'}$$

粒子从小孔 K 射出后恰好做匀速直线运动，由左手定则可知粒子经过小孔 K 后受到的洛伦兹力沿  $x$  轴负方向，则粒子经过小孔 K 后受到的电场力沿  $x$  轴正方向，又粒子带正电，则  $\triangle OMN$  之外第一象限区域电场强度的方向沿  $x$  轴正方向，大小满足

$$qv'B = Eq$$

联立可得

$$E = \frac{qB^2L}{4m}$$

(3) 在匀强加速电场中由动能定理有

$$Uq = \frac{1}{2}mv''^2$$

可得

$$v'' = \frac{\sqrt{3}qBL}{6m}$$

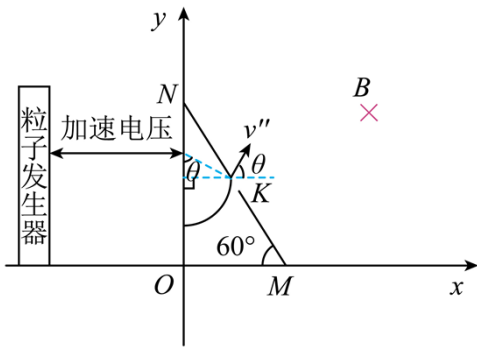
在  $\triangle OMN$  区域根据洛伦兹力提供向心力有

$$qv''B = m \frac{v''^2}{r''}$$

可得粒子在  $\triangle OMN$  区域运动的轨迹半径

$$r'' = \frac{\sqrt{3}}{6}L$$

作出从小孔 K 射出的粒子的运动轨迹如图所示



粒子从 K 射出时， $v''$  越偏向  $y$  轴，离  $y$  轴越近，由几何关系有

$$\sin \theta = \frac{\frac{L}{4}}{r''} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

则有

$$\theta = 60^\circ$$

由配速法将运动分解为  $y$  轴方向的匀速直线运动和沿  $x$  方向的匀速圆周运动，其中

$$v_y'' = v'' \sin \theta = \frac{qBL}{4m}$$

$$v_x'' = v'' \cos \theta = \frac{qBL}{4\sqrt{3}m}$$

匀速圆周运动的半径为

$$r_y = \frac{mv_x''}{qB} = \frac{\sqrt{3}}{12}L$$

故最小距离为

$$d_m = \frac{L}{4} - r_y = \frac{(3 - \sqrt{3})L}{12}$$