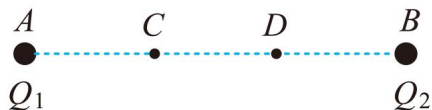


## 上海市普陀区 2021 届物理等级考一模试卷含解析

一、单项选择题：本题共 6 小题，每小题 5 分，共 30 分。在每小题给出的四个选项中，只有一项是符合题目要求的

1. 如图， $A$ 、 $B$  两点固定有电荷量分别为  $+Q_1$  和  $+Q_2$  的点电荷， $A$ 、 $B$  连线上有  $C$ 、 $D$  两点，且  $AC=CD=DB$ 。

试探电荷  $+q$  只在静电力作用下，从  $C$  点向右沿直线运动到  $D$  点，电势能先减小后增大，则（ ）

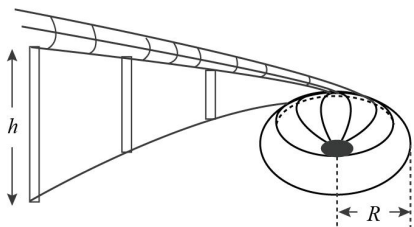


- A.  $Q_1$  一定大于  $Q_2$
- B.  $C$ 、 $D$  两点的场强方向可能相同
- C.  $+q$  的加速度大小先减小后增大
- D.  $+q$  的动能和电势能的总和先减小后增大

2. 下列核反应方程正确的是（ ）

- A. 轻核聚变反应方程  ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + x$  中， $x$  表示电子
- B. 铀核裂变的一种核反应方程  ${}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{56}^{141}\text{Ba} + {}_{36}^{92}\text{Kr} + 2{}_0^1\text{n}$
- C. 核反应方程  ${}_2^4\text{He} + {}_7^{14}\text{N} \rightarrow {}_8^{17}\text{O} + {}_1^1\text{H}$  为轻核聚变
- D. 放射性元素  ${}_{84}^{210}\text{Po}$  发生的  $\alpha$  衰变方程为  ${}_{84}^{210}\text{Po} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb} + {}_2^4\text{He}$

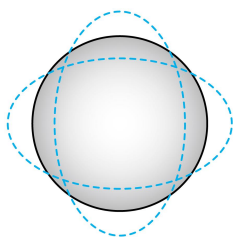
3. 大喇叭滑梯是游客非常喜爱的大型水上游乐设施。如图所示，一次最多可坐四人的浮圈从高为  $h$  的平台由静止开始沿滑梯滑行，到达底部时水平冲入半径为  $R$ 、开口向上的碗状盆体中，做半径逐渐减小的圆周运动。重力加速度为  $g$ ，下列说法正确的是（ ）



- A. 人和浮圈沿滑梯下滑过程中处于超重状态
- B. 人和浮圈刚进入盆体时的速度大小为  $\sqrt{2gh}$
- C. 人和浮圈进入盆体后所受的摩擦力指向其运动轨迹的内侧

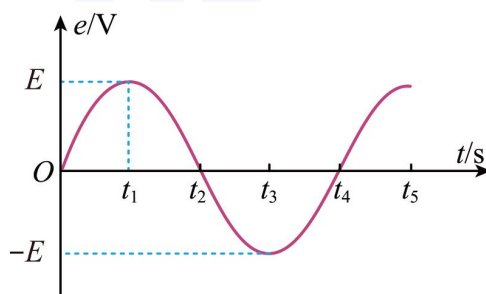
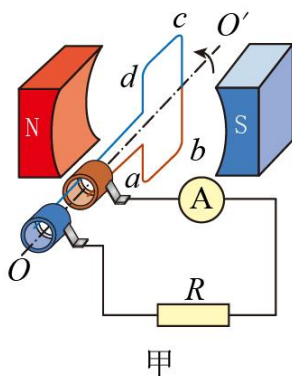
D. 人和浮圈进入盆体后，所受支持力与重力的合力大于所需的向心力

4. 2013 年 6 月 20 日，女航天员王亚平在“天宫一号”目标飞行器里成功进行了我国首次太空授课。授课中的一个实验展示了失重状态下液滴的表面张力引起的效应。在视频中可观察到漂浮的液滴处于相互垂直的两个椭球之间不断变化的周期性“脉动”中。假设液滴处于完全失重状态，液滴的上述“脉动”可视为液滴形状的周期性微小变化（振动），如图所示。已知液滴振动的频率表达式为  $f = kr^\alpha \rho^\beta \sigma^\gamma$ ，其中  $k$  为一个无单位的比例系数， $r$  为液滴半径， $\rho$  为液体密度， $\sigma$  为液体表面张力系数（其单位为  $\text{N/m}$ ）， $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  是相应的待定常数。对于这几个待定常数的大小，下列说法中可能正确的是（ ）



- A.  $\alpha = \frac{3}{2}$ ,  $\beta = \frac{1}{2}$ ,  $\gamma = -\frac{1}{2}$
- B.  $\alpha = -\frac{3}{2}$ ,  $\beta = -\frac{1}{2}$ ,  $\gamma = \frac{1}{2}$
- C.  $\alpha = -2$ ,  $\beta = \frac{1}{2}$ ,  $\gamma = -\frac{1}{2}$
- D.  $\alpha = -3$ ,  $\beta = -1$ ,  $\gamma = 1$

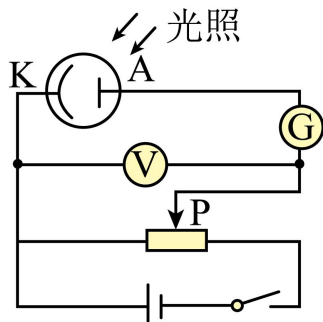
5. 如图甲所示，在磁感应强度为  $B$  的匀强磁场中，有一匝数为  $n$ 、面积为  $S$ 、总电阻为  $r$  的矩形线圈  $abcd$  绕轴  $OO'$  做角速度为  $\omega$  的匀速转动，矩形线圈在转动中可以保持和外电路电阻  $R$  形成闭合电路，回路中接有一理想交流电流表，图乙是线圈转动过程中产生的感应电动势  $e$  随时间  $t$  变化的图像，下列说法中正确的是（ ）



- A. 从  $t_1$  到  $t_3$  这段时间穿过线圈的磁通量变化量为  $2nBS$
- B. 从  $t_3$  到  $t_4$  这段时间通过电阻  $R$  的电荷量为  $\frac{nBS}{R}$
- C.  $t_3$  时刻穿过线圈的磁通量变化率为  $nBS\omega$

D. 电流表的示数为  $\frac{nBS\omega}{\sqrt{2}(R+r)}$

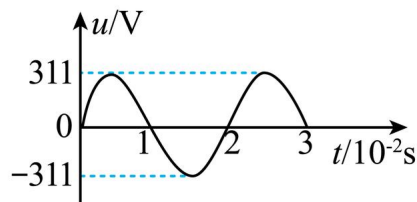
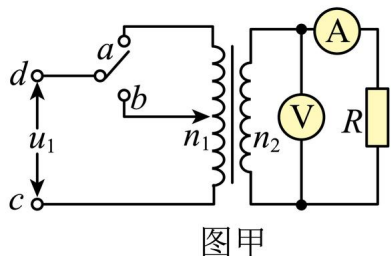
6. 在光电效应实验中，某实验小组用同种频率的单色光，先后照射锌和银的表面，都能产生光电效应。对这两个过程，下列四个物理量中，可能相同的是（ ）



- A. 饱和光电流  
B. 遏止电压  
C. 光电子的最大初动能  
D. 逸出功

二、多项选择题：本题共 6 小题，每小题 5 分，共 30 分。在每小题给出的四个选项中，有多项符合题目要求。全部选对的得 5 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

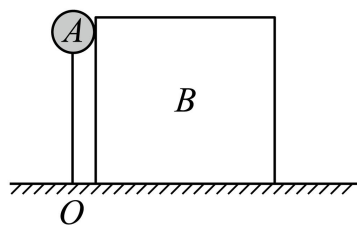
7. 如图甲所示，理想变压器原、副线圈的匝数比为 10 : 1， $b$  是原线圈的中心抽头，图中电表均为理想的交流电表，定值电阻  $R=10\Omega$ ，其余电阻均不计。从某时刻开始在  $c$ 、 $d$  两端加上如图乙所示的交变电压。则下列说法中正确的有（ ）



- A. 当单刀双掷开关与  $a$  连接时，电压表的示数为 22V  
B. 当单刀双掷开关与  $b$  连接时，在  $t=0.01s$  时刻，电流表示数为 4.4A  
C. 当单刀双掷开关由  $a$  拨向  $b$  时，副线圈输出电压的频率变为 25Hz  
D. 当单刀双掷开关由  $a$  拨向  $b$  时，原线圈的输入功率变小

8. 如图所示，长度为  $l$  的轻杆上端连着一质量为  $m$  的小球 A（可视为质点），杆的下端用铰链固接于水平面上的  $O$  点。置于同一水平面上的立方体 B 恰与 A 接触，立方体 B 的质量为  $m_2$ 。施加微小扰动，使杆向

右倾倒，各处摩擦均不计，而小球 A 与立方体 B 刚脱离接触的瞬间，杆与地面夹角恰为  $\frac{\pi}{6}$ ，重力加速度为  $g$ ，则下列说法正确的是（ ）



A. 小球 A 与立方体 B 刚脱离接触的瞬间 A 与立方体 B 的速率之比为 1:2

B. 小球 A 与立方体 B 刚脱离接触的瞬间，立方体 B 的速率为  $\sqrt{\frac{gl}{8}}$

C. 小球 A 落地时速率为  $\sqrt{2gl}$

D. 小球 A、立方体 B 质量之比为 1:4

9. 质量  $m=2\text{kg}$  的小物块在某一高度以  $v_0=5\text{m/s}$  的速度开始做平抛运动，若  $g=10\text{m/s}^2$ ，当运动到竖直位移与水平位移相等时，对于物块（ ）

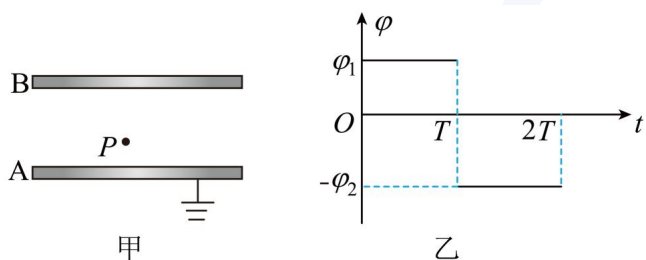
A. 此时的瞬时速度大小为  $5\sqrt{2}\text{ m/s}$

B. 此时重力的瞬时功率大小为 200W

C. 此过程动量改变大小为  $10(\sqrt{5}-1)\text{ kgm/s}$

D. 此过程重力的冲量大小为 20Ns

10. 如图甲所示，两平行金属板 A、B 放在真空中，间距为  $d$ ，P 点在 A、B 板间，A 板接地，B 板的电势  $\varphi$  随时间  $t$  的变化情况如图乙所示， $t=0$  时，在 P 点由静止释放一质量为  $m$ 、电荷量为  $e$  的电子，当  $t=2T$  时，电子回到 P 点。电子运动过程中未与极板相碰，不计重力，则下列说法正确的是（ ）



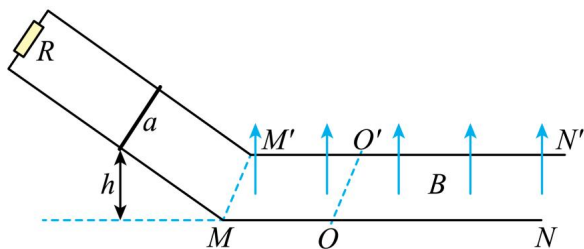
A.  $\varphi_1 : \varphi_2 = 1 : 2$

B.  $\varphi_1 : \varphi_2 = 1 : 3$

C. 在  $0 \sim 2T$  时间内，当  $t=T$  时电子的电势能最小

D. 在  $0 \sim 2T$  时间内，电子的动能增大了  $\frac{2\phi_1^2 e^2 T^2}{d^2 m}$

11. 如图所示的光滑导轨，由倾斜和水平两部分在  $MM'$  处平滑连接组成。导轨间距为  $L$ ，水平部分处于竖直向上、磁感应强度为  $B$  的匀强磁场中，倾斜导轨连接阻值为  $R$  的电阻。现让质量为  $m$ 、阻值为  $2R$  的金属棒  $a$  从距离水平面高度为  $h$  处静止释放。金属棒  $a$  到达磁场中  $OO'$  时，动能是该金属棒运动到  $MM'$  时动能的  $\frac{1}{4}$ ，最终静止在水平导轨上。金属棒  $a$  与导轨接触良好且导轨电阻不计，重力加速度  $g=10\text{m/s}^2$ 。以下说法正确的是（ ）



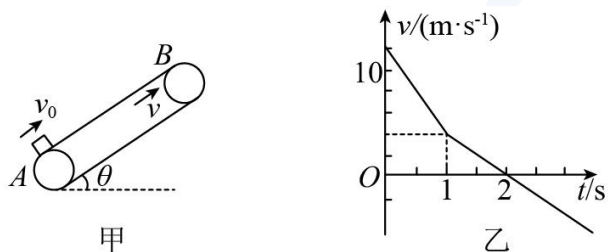
A. 金属棒  $a$  运动到  $MM'$  时回路中的电流大小为  $\frac{BL}{3R} \sqrt{2gh}$

B. 金属棒  $a$  运动到  $OO'$  时的加速度大小为  $a = \frac{B^2 L^2 \sqrt{2gh}}{3mR}$

C. 金属棒  $a$  从  $h$  处静止下滑到在水平导轨上静止过程中，电阻上产生的焦耳热为  $\frac{1}{3} mgh$

D. 金属棒  $a$  若从  $h$  处静止释放，在它运动的整个过程中，安培力的冲量大小是  $m\sqrt{2gh}$ ，方向向左

12. 如图甲所示，一足够长的传送带倾斜放置，倾角为  $\theta$ ，以恒定速率  $v=4\text{m/s}$  顺时针转动。一煤块以初速度  $v_0=12\text{m/s}$  从  $A$  端冲上传送带，煤块的速度随时间变化的图像如图乙所示，取  $g=10\text{m/s}^2$ ，则下列说法正确的是（ ）



A. 倾斜传送带与水平方向夹角的正切值  $\tan \theta=0.75$

B. 煤块与传送带间的动摩擦因数  $\mu=0.5$

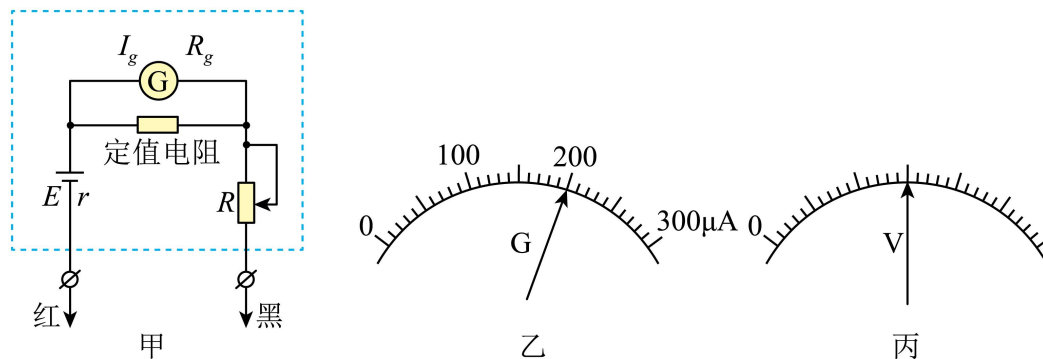
C. 煤块从冲上传送带到返回  $A$  端所用的时间为  $4\text{s}$

D. 煤块在传送带上留下的痕迹长为  $(12+4\sqrt{5})\text{m}$

三、实验题：共 2 小题，每题 8 分，共 16 分

13. 某同学欲将内阻为  $100\ \Omega$ 、量程为  $300\ \mu\text{A}$  的电流计  $G$  改装成欧姆表，要求改装后欧姆表的 0 刻度正好对准电流表表盘的  $300\ \mu\text{A}$  刻度。

可选用的器材还有：定值电阻  $R_1$ （阻值  $25\ \Omega$ ）；定值电阻  $R_2$ （阻值  $100\ \Omega$ ）；滑动变阻器  $R$ （最大阻值  $1000\ \Omega$ ）；干电池（ $E=1.5\text{V}$ ， $r=2\ \Omega$ ）；红、黑表笔和导线若干。改装电路如图甲所示。



- (1) 定值电阻应选择\_\_\_\_（填元件符号），改装后的欧姆表的中值电阻为\_\_\_\_ $\Omega$ 。
- (2) 该同学用改装后尚未标示对应刻度的欧姆表测量内阻和量程均未知的电压表  $V$  的内阻。步骤如下：先将欧姆表的红、黑表笔短接，调节 \_\_\_\_（填图甲中对应元件代号），使电流计  $G$  指针指到\_\_\_\_ $\mu\text{A}$ ；再将\_\_\_\_（填“红”或“黑”）表笔与  $V$  表的“+”接线柱相连，另一表笔与  $V$  表的“-”接线柱相连。若两表的指针位置分别如图乙和图丙所示，则  $V$  表的内阻为\_\_\_\_ $\Omega$ ，量程为\_\_\_\_ $\text{V}$ 。

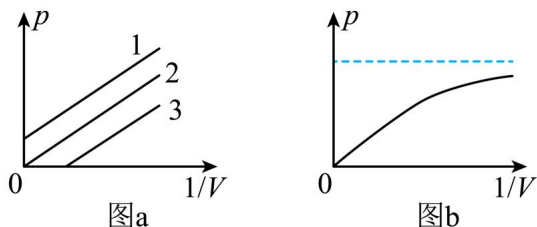
14. 在“研究一定质量理想气体在温度不变时，压强和体积的关系”实验中。某同学按如下步骤进行实验：

- ①将注射器活塞移动到体积适中的  $V_1$  位置，接上软管和压强传感器，通过  $DIS$  系统记录下此时的体积  $V_1$  与压强  $p_1$
- ②用手握住注射器前端，开始缓慢推拉活塞改变气体体积。
- ③读出注射器刻度表示的体积  $V$ ，通过  $DIS$  系统记录下此时的  $V$  与压强  $p$ 。
- ④重复②③两步，记录 5 组数据。作  $p - \frac{1}{V}$  图。

(1) 由相关数学知识可知，在软管内气体体积  $\Delta V$  不可忽略时，(1) 在上述步骤中，该同学对器材操作的错误是：\_\_\_\_\_。因为该操作通常会影响气体的\_\_\_\_\_（填写状态参量）。

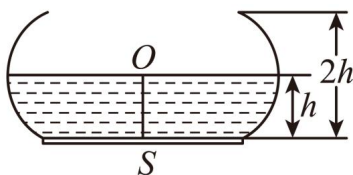
(2) 若软管内容积不可忽略，按该同学的操作，最后拟合出的  $p - \frac{1}{V}$  直线应是图  $a$  中的\_\_\_\_\_。（填写编号） $p - \frac{1}{V}$  图像为双曲线，试用玻意耳定律分析，该双曲线的渐近线（图  $b$  中的虚线）方程是  $p=$ \_\_\_\_\_。

（用  $V_1$ 、 $p_1$ 、 $\Delta V$  表示）



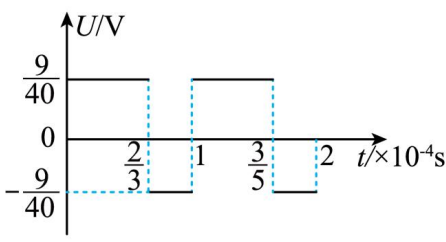
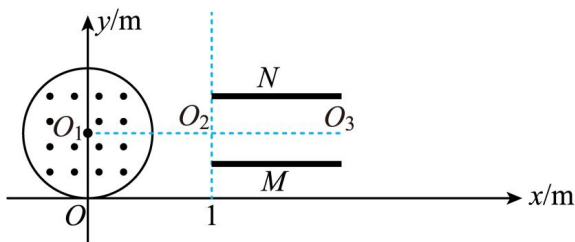
四、解答题：本题共 3 题，每题 8 分，共 24 分

15. 如图所示是一个水平横截面为圆形的平底玻璃缸，玻璃缸深度为  $2h$ ，缸底面圆心处有一单色点光源  $S$ ，缸中装有某种液体，深度为  $h$ ， $O$  点为液面的圆心， $OS$  垂直于水平面。用面积为  $\pi h^2$  的黑纸片覆盖在液面上，则液面上方恰好无光线射出。若在上述黑纸片上，以  $O$  为圆心剪出一个面积为  $\frac{1}{3}\pi h^2$  的圆孔，把余下的黑纸环仍放置在液面上原来的位置，使所有出射光线都从缸口射出，则缸口的最小面积为多少？



16. 如图所示，真空中有一个半径  $r=0.5\text{m}$  的圆形磁场区域，与坐标原点  $O$  相切，磁场的磁感应强度大小  $B=2\times 10^{-4}\text{T}$ ，方向垂直于纸面向外，在  $x=1\text{m}$  处的竖直线的右侧有一水平放置的正对平行金属板  $M$ 、 $N$ ，板间距离为  $d=0.5\text{m}$ ，板长  $L=1\text{m}$ ，平行板的中线的延长线恰好过磁场圆的圆心  $O_1$ 。若在  $O$  点处有一粒子源，能向磁场中不同方向源源不断的均匀发射出速率相同的比荷为  $\frac{q}{m}=1\times 10^8\text{C/kg}$ ，且带正电的粒子，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，恰能从沿直线  $O_2O_3$  方向射入平行板间。不计重力及阻力和粒子间的相互作用力，求：

- (1) 沿  $y$  轴正方向射入的粒子进入平行板间时的速度  $v$  和粒子在磁场中的运动时间  $t_0$ ；
- (2) 从  $M$ 、 $N$  板左端射入平行板间的粒子数与从  $O$  点射入磁场的粒子数之比；
- (3) 若在平行板的左端装上一挡板（图中未画出，挡板正中间有一小孔，恰能让单个粒子通过），并且在两板间加上如图示电压（周期  $T_0$ ）， $N$  板比  $M$  板电势高时电压值为正，在  $x$  轴上沿  $x$  轴方向安装有一足够长的荧光屏（图中未画出），求荧光屏上亮线的左端点的坐标和亮线的长度  $l$ 。

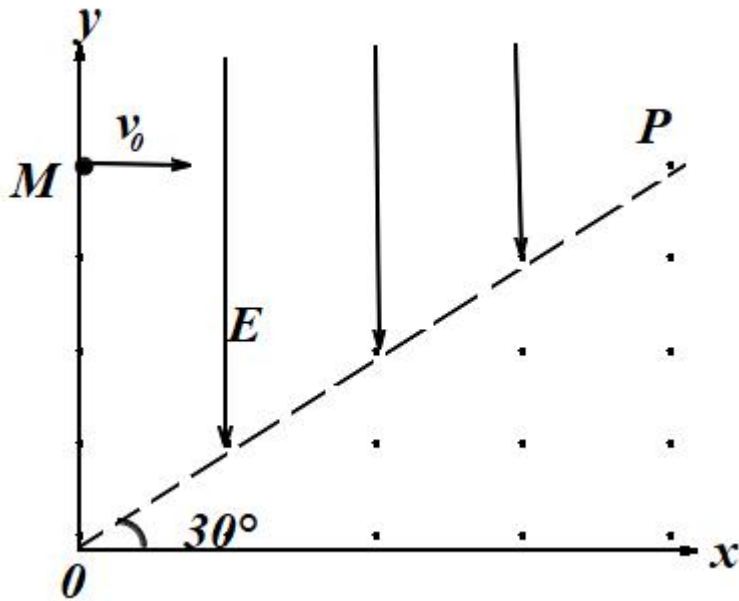


17. 如图所示，在  $xoy$  平面内，虚线  $OP$  与  $x$  轴的夹角为  $30^\circ$ 。 $OP$  与  $y$  轴之间存在沿着  $y$  轴负方向的匀强



电场，场强大小为  $E$ 。 $OP$  与  $x$  轴之间存在垂直于  $xoy$  平面向外的匀强磁场。现有一带电的粒子，从  $y$  轴上的  $M$  点以初速度  $v_0$ 、沿着平行于  $x$  轴的方向射入电场，并从边界  $OP$  上某点  $Q$ （图中未画出）垂直于  $OP$  离开电场，恰好没有从  $x$  轴离开第一象限。已知粒子的质量为  $m$ 、电荷量为  $q$  ( $q>0$ )，粒子的重力可忽略。求：

- (1) 磁感应强度的大小；
- (2) 粒子在第一象限运动的时间；
- (3) 粒子从  $y$  轴上离开电场的位置到  $O$  点的距离。

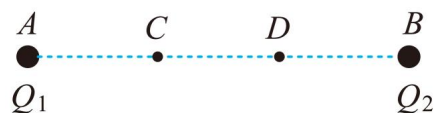




## 上海市普陀区 2021 届物理等级考一模试卷含解析

一、单项选择题：本题共 6 小题，每小题 5 分，共 30 分。在每小题给出的四个选项中，只有一项是符合题目要求的

1. 如图， $A$ 、 $B$  两点固定有电荷量分别为  $+Q_1$  和  $+Q_2$  的点电荷， $A$ 、 $B$  连线上有  $C$ 、 $D$  两点，且  $AC=CD=DB$ 。试探电荷  $+q$  只在静电力作用下，从  $C$  点向右沿直线运动到  $D$  点，电势能先减小后增大，则（ ）



- A.  $Q_1$  一定大于  $Q_2$
- B.  $C$ 、 $D$  两点的场强方向可能相同
- C.  $+q$  的加速度大小先减小后增大
- D.  $+q$  的动能和电势能的总和先减小后增大

【答案】C

【解析】

【详解】A. 试探电荷  $+q$  只在静电力作用下，从  $C$  点向右沿直线运动到  $D$  点，电势能先减小后增大，电场力先做正功后做负功，电场线先向右后向左，可知在  $CD$  之间存在场强为零的位置，但是不能确定与两电荷的距离关系，则不能确定两电荷带电量的关系，故 A 错误；

B. 由以上分析可知， $C$ 、 $D$  两点的场强方向相反，故 B 错误；

C. 因  $CD$  之间存在场强为零的位置，则试探电荷从  $C$  向  $D$  移动时，所受电场力先减小后增加，加速度先减小后增加，故 C 正确；

D. 因  $+q$  只有电场力做功，则它的动能和电势能的总和保持不变，故 D 错误。

故选 C。

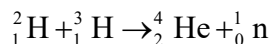
2. 下列核反应方程正确的是（ ）

- A. 轻核聚变反应方程  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + x$  中， $x$  表示电子
- B. 铀核裂变的一种核反应方程  ${}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{141}_{56}\text{Ba} + {}^{92}_{36}\text{Kr} + 2{}_0^1\text{n}$
- C. 核反应方程  ${}^4_2\text{He} + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$  为轻核聚变
- D. 放射性元素  ${}^{210}_{84}\text{Po}$  发生的  $\alpha$  衰变方程为  ${}^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + {}^4_2\text{He}$

【答案】D

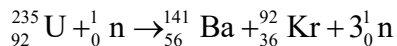
【解析】

【详解】A. 据质量数和电荷数守恒可得，轻核聚变反应方程为



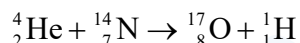
即 x 表示中子，故 A 项错误；

B. 铀核需要俘获一个慢中子才能发生裂变，其中铀核裂变的一种核反应方程为



故 B 项错误；

C. 核反应方程



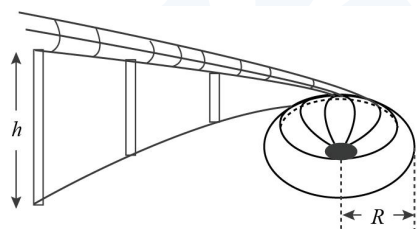
为人工转变，故 C 项错误；

D. 据质量数和电荷数守恒可得，放射性元素  ${}^{210}_{84}\text{Po}$  发生的  $\alpha$  衰变方程为



故 D 项正确。

3. 大喇叭滑梯是游客非常喜爱的大型水上游乐设施。如图所示，一次最多可坐四人的浮圈从高为  $h$  的平台由静止开始沿滑梯滑行，到达底部时水平冲入半径为  $R$ 、开口向上的碗状盆体中，做半径逐渐减小的圆周运动。重力加速度为  $g$ ，下列说法正确的是（ ）



A. 人和浮圈沿滑梯下滑过程中处于超重状态

B. 人和浮圈刚进入盆体时的速度大小为  $\sqrt{2gh}$

C. 人和浮圈进入盆体后所受的摩擦力指向其运动轨迹的内侧

D. 人和浮圈进入盆体后，所受支持力与重力的合力大于所需的向心力

【答案】D

【解析】

【详解】A. 由于人和浮圈沿滑梯下滑过程中有向下的分加速度，所以人和浮圈沿滑梯下滑过程中处于失重状态，故 A 错误。

B. 若不考虑摩擦阻力，根据机械能守恒有

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

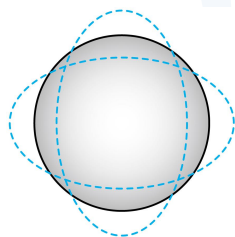
可得  $v = \sqrt{2gh}$ 。由于人和浮圈沿滑梯下滑过程中受到了阻力作用，所以人和浮圈刚进入盆体时的速度一定小于  $\sqrt{2gh}$ ，故 B 错误。

C. 人和浮圈进入盆体后所受的摩擦力为滑动摩擦力，与运动方向相反，故 C 错误。

D. 人和浮圈进入盆体后做半径逐渐减小的圆周运动，为向心运动，其所受支持力与重力的合力大于所需的向心力，故 D 正确。

故选 D。

4. 2013 年 6 月 20 日，女航天员王亚平在“天宫一号”目标飞行器里成功进行了我国首次太空授课。授课中的一个实验展示了失重状态下液滴的表面张力引起的效应。在视频中可观察到漂浮的液滴处于相互垂直的两个椭球之间不断变化的周期性“脉动”中。假设液滴处于完全失重状态，液滴的上述“脉动”可视为液滴形状的周期性微小变化（振动），如图所示。已知液滴振动的频率表达式为  $f = kr^\alpha \rho^\beta \sigma^\gamma$ ，其中  $k$  为一个无单位的比例系数， $r$  为液滴半径， $\rho$  为液体密度， $\sigma$  为液体表面张力系数（其单位为 N/m）， $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  是相应的待定常数。对于这几个待定常数的大小，下列说法中可能正确的是（ ）



A.  $\alpha = \frac{3}{2}, \beta = \frac{1}{2}, \gamma = -\frac{1}{2}$

B.  $\alpha = -\frac{3}{2}, \beta = -\frac{1}{2}, \gamma = \frac{1}{2}$

C.  $\alpha = -2, \beta = \frac{1}{2}, \gamma = -\frac{1}{2}$

D.  $\alpha = -3, \beta = -1, \gamma = 1$

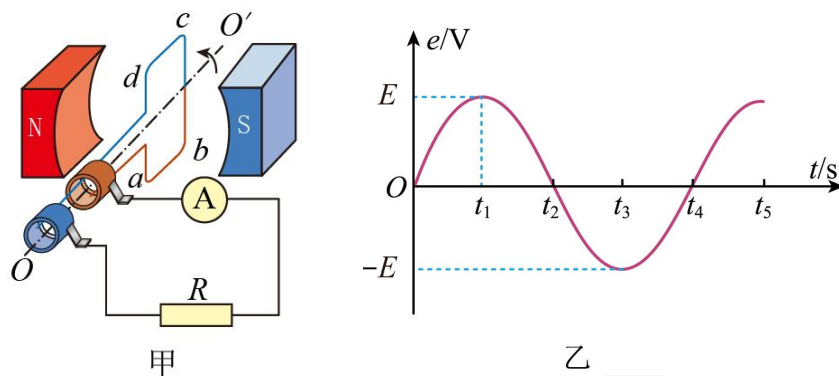
【答案】B

【解析】

【详解】从物理单位的量纲来考虑，则 A 中单位  $m^{\frac{3}{2}}(\frac{kg}{m^3})^{\frac{1}{2}}(\frac{N}{m})^{-\frac{1}{2}} = s$ ，故 A 错误；在 B 选项中， $m^{-\frac{3}{2}}(\frac{kg}{m^3})^{-\frac{1}{2}}(\frac{N}{m})^{\frac{1}{2}} = s^{-1}$ ，故 B 正确；对 C 选项， $m^{-2}(\frac{kg}{m^3})^{\frac{1}{2}}(\frac{N}{m})^{-\frac{1}{2}} = s \cdot m^{-\frac{7}{2}}$ ，故 C 错误；在 D 选项中， $m^{-3}(\frac{kg}{m^3})^{-1}(\frac{N}{m})^1 = s^{-2}$ ，故 D 错误。

故选 B。

5. 如图甲所示，在磁感应强度为  $B$  的匀强磁场中，有一匝数为  $n$ 、面积为  $S$ 、总电阻为  $r$  的矩形线圈  $abcd$  绕轴  $OO'$  做角速度为  $\omega$  的匀速转动，矩形线圈在转动中可以保持和外电路电阻  $R$  形成闭合电路，回路中接有一理想交流电流表，图乙是线圈转动过程中产生的感应电动势  $e$  随时间  $t$  变化的图像，下列说法中正确的是（ ）



A. 从  $t_1$  到  $t_3$  这段时间穿过线圈的磁通量变化量为  $2nBS$

B. 从  $t_3$  到  $t_4$  这段时间通过电阻  $R$  的电荷量为  $\frac{nBS}{R}$

C.  $t_3$  时刻穿过线圈的磁通量变化率为  $nBS\omega$

D. 电流表的示数为  $\frac{nBS\omega}{\sqrt{2}(R+r)}$

【答案】D

【解析】

【详解】A. 由题图乙可知， $t_1$  和  $t_3$  这两个时刻穿过线圈的磁通量大小均为 0，故  $t_1$  到  $t_3$  这段时间穿过线圈的磁通量变化量为 0，故 A 错误；

B. 从  $t_3$  到  $t_4$  这段时间穿过线圈的磁通量的变化量为  $BS$ ，则平均感应电动势为

$$\bar{E} = n \frac{BS}{\Delta t}$$

通过电阻  $R$  的电荷量为

$$q = \bar{I} \cdot \Delta t = \frac{\bar{E}}{R+r} \cdot \Delta t = \frac{nBS}{R+r}$$

故 B 错误；

C.  $t_3$  时刻线圈产生的感应电动势为

$$E = nBS\omega$$

由法拉第电磁感应定律可得

$$E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

则穿过线圈的磁通量变化率为

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = BS\omega$$

故 C 错误；

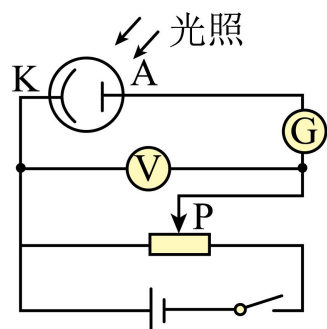
D. 电流表的示数为电流的有效值，则有

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{E_m}{\sqrt{2}(R+r)} = \frac{nBS\omega}{\sqrt{2}(R+r)}$$

故 D 正确。

故选 D。

6. 在光电效应实验中，某实验小组用同种频率的单色光，先后照射锌和银的表面，都能产生光电效应。对这两个过程，下列四个物理量中，可能相同的是（ ）



A. 饱和光电流

B. 遏止电压

C. 光电子的最大初动能

D. 逸出功

【答案】A

【解析】

【详解】A. 饱和光电流和光的强度有关，这个实验可以通过控制光的强度来实现饱和光电流相同，A 正确；

CD. 不同的金属其逸出功是不同的，根据光电效应方程：

$$E_k = h\nu - W$$

用同种频率的单色光，光子能量  $h\nu$  相同，光电子的最大初动能  $E_k$  不同，CD 错误；

B. 根据遏止电压和最大初动能关系：

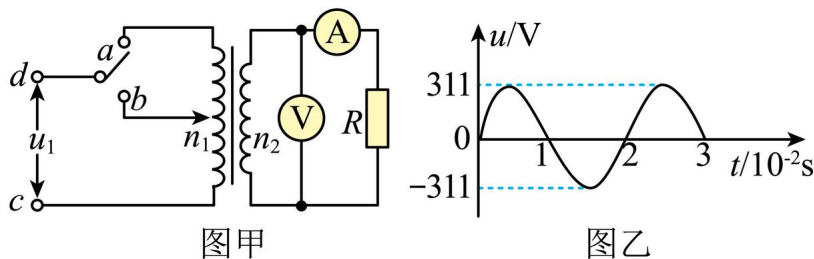
$$U = \frac{E_k}{e}$$

可知光电子的最大初动能不同，遏止电压也不同，B 错误。

故选 A。

二、多项选择题：本题共 6 小题，每小题 5 分，共 30 分。在每小题给出的四个选项中，有多项符合题目要求。全部选对的得 5 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

7. 如图甲所示，理想变压器原、副线圈的匝数比为 10：1， $b$  是原线圈的中心抽头，图中电表均为理想的交流电表，定值电阻  $R=10\Omega$ ，其余电阻均不计。从某时刻开始在  $c$ 、 $d$  两端加上如图乙所示的交变电压。则下列说法中正确的有（ ）



- A. 当单刀双掷开关与  $a$  连接时，电压表的示数为 22V
- B. 当单刀双掷开关与  $b$  连接时，在  $t=0.01\text{s}$  时刻，电流表示数为 4.4A
- C. 当单刀双掷开关由  $a$  拨向  $b$  时，副线圈输出电压的频率变为 25Hz
- D. 当单刀双掷开关由  $a$  拨向  $b$  时，原线圈的输入功率变小

【答案】AB

【解析】

【详解】A. 当单刀双掷开关与  $a$  连接时，变压器原副线圈的匝数比为 10：1，输入电压

$$U_1 = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 220 \text{ V}$$

故根据变压比公式

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{10}{1}$$

可得输出电压为 22 V，电压表的示数为 22V，故 A 正确；

B. 当单刀双掷开关与  $b$  连接时，变压器原副线圈的匝数比为 5：1，输入电压  $U_1=220 \text{ V}$ ，故根据变压比公式，输出电压为 44 V，根据欧姆定律，电流表的示数即为输出电流的有效值

$$I_2 = \frac{U_2}{R} = \frac{44}{10} \text{ A} = 4.4 \text{ A}$$

故 B 正确；

C. 由图象可知，交流电的周期为  $2 \times 10^{-2} \text{s}$ ，所以交流电的频率为

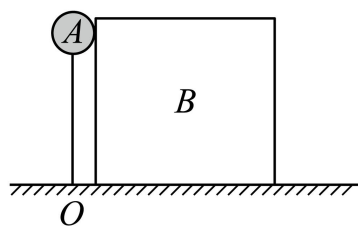
$$f = \frac{1}{T} = 50 \text{Hz}$$

当单刀双掷开关由  $a$  拨向  $b$  时，变压器不会改变电流的频率，所以副线圈输出电压的频率为 50 Hz。故 C 错误；

D. 当单刀双掷开关由  $a$  拨向  $b$  时，根据变压比公式，输出电压增加，故输出电流增加，故输入电流也增加，则原线圈的输入功率变大，故 D 错误。

故选 AB。

8. 如图所示，长度为  $l$  的轻杆上端连着一质量为  $m$  的小球 A（可视为质点），杆的下端用铰链固接于水平面上的  $O$  点。置于同一水平面上的立方体 B 恰与 A 接触，立方体 B 的质量为  $m_2$ 。施加微小扰动，使杆向右倾倒，各处摩擦均不计，而小球 A 与立方体 B 刚脱离接触的瞬间，杆与地面夹角恰为  $\frac{\pi}{6}$ ，重力加速度为  $g$ ，则下列说法正确的是（ ）



A. 小球 A 与立方体 B 刚脱离接触的瞬间 A 与立方体 B 的速率之比为 1:2

B. 小球 A 与立方体 B 刚脱离接触的瞬间，立方体 B 的速率为  $\sqrt{\frac{gl}{8}}$

C. 小球 A 落地时速率为  $\sqrt{2gl}$

D. 小球 A、立方体 B 质量之比为 1:4

【答案】BD

【解析】

【详解】A. A 与 B 刚脱离接触的瞬间，A 的速度方向垂直于杆，水平方向的分速度与 B 速度大小一样，设 B 运动的速度为  $v_B$ ，则

$$v_A \cos 60^\circ = v_B$$

因此

$$v_A : v_B = 2 : 1$$

故 A 错误；

B. 根据牛顿第二定律



$$mg\sin 30^{\circ}=m\frac{v_A^2}{L}$$

解得

$$v_A=\sqrt{\frac{1}{2}gl}$$

又

$$v_A:v_B=2:1$$

得

$$v_B=\sqrt{\frac{1}{8}gl}$$

故 B 正确；

C. 由机械能守恒可知

$$mgl\sin 30^{\circ}=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_A^2$$

解得

$$v=\sqrt{v_A^2+gl}=\sqrt{(\sqrt{\frac{1}{2}gl})^2+gl}=\sqrt{\frac{3}{2}gl}$$

故 C 错误；

D. 根据 A 与 B 脱离之前机械能守恒可知

$$mgl(1-\sin 30^{\circ})=\frac{1}{2}mv_A^2+\frac{1}{2}m_2v_B^2$$

解得

$$m:m_2=1:4$$

故 D 正确。

故选 BD。

9. 质量  $m=2\text{kg}$  的小物块在某一高度以  $v_0=5\text{m/s}$  的速度开始做平抛运动，若  $g=10\text{m/s}^2$ ，当运动到竖直位移与水平位移相等时，对于物块（ ）

A. 此时的瞬时速度大小为  $5\sqrt{2}\text{ m/s}$

B. 此时重力的瞬时功率大小为  $200\text{W}$

C. 此过程动量改变大小为  $10(\sqrt{5}-1)\text{ kgm/s}$

D. 此过程重力的冲量大小为  $20\text{Ns}$

【答案】BD

【解析】

【详解】物块做平抛运动，水平方向做匀速直线运动，竖直方向做自由落体运动，当运动到竖直位移与水平位移相等时

$$\frac{1}{2}gt^2 = v_0 t$$

解得

$$t=1\text{s}$$

A. 此时竖直方向的速度为

$$v_y = gt = 10\text{m/s}$$

则此时的速度为

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = 5\sqrt{5}\text{m/s}$$

故 A 错误；

B. 此时的重力瞬时功率为

$$P = mgv_y = 200\text{W}$$

故 B 正确；

C. 根据动量定理

$$I = \Delta P = mgt = 20\text{kgm/s}$$

故 C 错误；

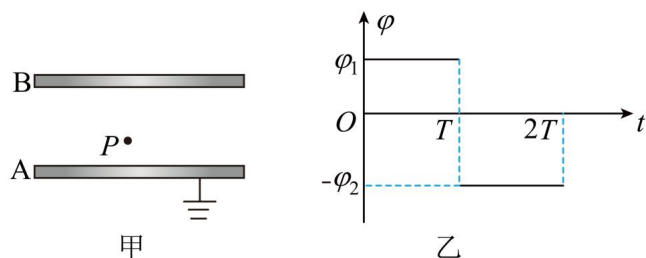
D. 此过程重力的冲量大小为

$$I = mgt = 20\text{N}\cdot\text{s}$$

故 D 正确。

故选 BD。

10. 如图甲所示，两平行金属板 A、B 放在真空中，间距为  $d$ ，P 点在 A、B 板间，A 板接地，B 板的电势  $\varphi$  随时间  $t$  的变化情况如图乙所示， $t=0$  时，在 P 点由静止释放一质量为  $m$ 、电荷量为  $e$  的电子，当  $t=2T$  时，电子回到 P 点。电子运动过程中未与极板相碰，不计重力，则下列说法正确的是（ ）



A.  $\varphi_1 : \varphi_2 = 1 : 2$

B.  $\varphi_1 : \varphi_2 = 1 : 3$

C. 在  $0 \sim 2T$  时间内，当  $t=T$  时电子的电势能最小

D. 在  $0 \sim 2T$  时间内，电子的动能增大了  $\frac{2\varphi_1^2 e^2 T^2}{d^2 m}$

【答案】BD

【解析】

【详解】AB. 电子在  $0 \sim T$  时间内向上加速运动，设加速度为  $a_1$ ，在  $T \sim 2T$  时间内先向上减速到零后向下加速回到原出发点，设加速度为  $a_2$ ，则

$$\frac{1}{2}a_1 T^2 = -(a_1 T \cdot T - \frac{1}{2}a_2 T^2)$$

解得

$$a_2 = 3a_1$$

由于

$$a_1 = \frac{\varphi_1 e}{dm}$$

$$a_2 = \frac{\varphi_2 e}{dm}$$

则

$$\varphi_1 : \varphi_2 = 1 : 3$$

选项 A 错误，B 正确；

C. 依据电场力做正功最多，电势能最小，而  $0 \sim T$  内电子做匀加速运动， $T \sim 2T$  之内先做匀减速直线运动，后反向匀加速直线运动，因  $\varphi_2 = 3\varphi_1$ ， $t_1$  时刻电子的动能

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{e^2 T^2 \varphi_1^2}{2md^2}$$

而粒子在  $t_2$  时刻的速度

$$v_2 = v_1 - a_2 T = -\frac{2\varphi_1 e T}{dm}$$

故电子在  $2T$  时的动能

$$E_{K2} = \frac{2e^2 T^2 \varphi_1^2}{md^2}$$

所以在  $2T$  时刻电势能最小，故 C 错误；

D. 电子在  $2T$  时刻回到 P 点，此时速度为

$$v_2 = v_1 - a_2 T = -\frac{2\varphi_1 e T}{dm} \quad (\text{负号表示方向向下})$$

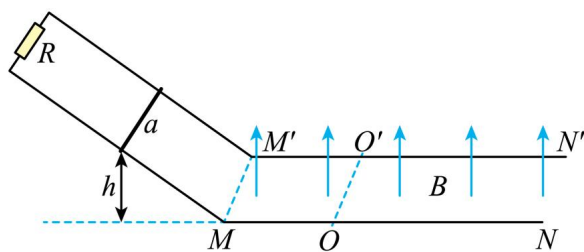
电子的动能为

$$E_k = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{2\phi_1^2 e^2 T^2}{d^2 m}$$

根据能量守恒定律，电势能的减小量等于动能的增加量，故 D 正确。

故选 BD。

11. 如图所示的光滑导轨，由倾斜和水平两部分在  $MM'$  处平滑连接组成。导轨间距为  $L$ ，水平部分处于竖直向上、磁感应强度为  $B$  的匀强磁场中，倾斜导轨连接阻值为  $R$  的电阻。现让质量为  $m$ 、阻值为  $2R$  的金属棒  $a$  从距离水平面高度为  $h$  处静止释放。金属棒  $a$  到达磁场中  $OO'$  时，动能是该金属棒运动到  $MM'$  时动能的  $\frac{1}{4}$ ，最终静止在水平导轨上。金属棒  $a$  与导轨接触良好且导轨电阻不计，重力加速度  $g=10\text{m/s}^2$ 。以下说法正确的是（ ）



- A. 金属棒  $a$  运动到  $MM'$  时回路中的电流大小为  $\frac{BL}{3R}\sqrt{2gh}$
- B. 金属棒  $a$  运动到  $OO'$  时的加速度大小为  $a = \frac{B^2 L^2 \sqrt{2gh}}{3mR}$
- C. 金属棒  $a$  从  $h$  处静止下滑到在水平导轨上静止过程中，电阻上产生的焦耳热为  $\frac{1}{3}mgh$
- D. 金属棒  $a$  若从  $h$  处静止释放，在它运动的整个过程中，安培力的冲量大小是  $m\sqrt{2gh}$ ，方向向左

【答案】ACD

【解析】

【详解】A. 金属棒  $a$  从静止运动到  $MM'$  的过程中，根据机械能守恒可得

$$mgh = \frac{1}{2}mv_1^2$$

解得金属棒  $a$  运动到  $MM'$  时的速度为

$$v_1 = \sqrt{2gh}$$

金属棒  $a$  运动到  $MM'$  时的感应电动势为

$$E = BLv_1 = BL\sqrt{2gh}$$

金属棒  $a$  运动到  $MM'$  时的回路中的电流大小为

$$I = \frac{E}{2R + R} = \frac{BL}{3R}\sqrt{2gh}$$

故 A 正确；

B. 金属棒  $a$  到达磁场中  $OO'$  时的速度为

$$v_2 = \frac{1}{2}v_1 = \frac{\sqrt{2gh}}{2}$$

金属棒  $a$  到达磁场中  $OO'$  时的加速度大小为

$$a = \frac{BIL}{m} = \frac{B^2L^2v_2}{m(2R + R)} = \frac{B^2L^2\sqrt{2gh}}{6mR}$$

故 B 错误；

C. 金属棒  $a$  从  $h$  处静止下滑到在水平导轨上静止过程中，根据能量守恒可得产生的焦耳热等于重力势能的减小量，则有

$$Q = mgh$$

电阻上产生的焦耳热为

$$Q_R = \frac{1}{3}Q = \frac{1}{3}mgh$$

故 C 正确；

D. 金属棒  $a$  从  $h$  处静止下滑到在水平导轨上静止过程中，规定向右为正方向，根据动量定理可得

$$I_{\text{安}} = 0 - mv_1$$

可得

$$I_{\text{安}} = -m\sqrt{2gh}$$

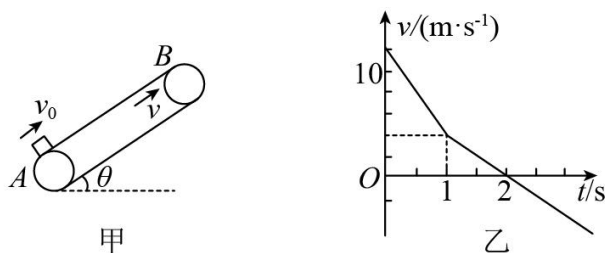
在它运动的整个过程中，安培力的冲量大小是  $m\sqrt{2gh}$ ，方向向左，故 D 正确；

故选 ACD。

12. 如图甲所示，一足够长的传送带倾斜放置，倾角为  $\theta$ ，以恒定速率  $v=4\text{m/s}$  顺时针转动。

一煤块以初速度  $v_0=12\text{m/s}$  从  $A$  端冲上传送带，煤块的速度随时间变化的图像如图乙所示，

取  $g=10\text{m/s}^2$ ，则下列说法正确的是（ ）



- A. 倾斜传送带与水平方向夹角的正切值  $\tan \theta = 0.75$
- B. 煤块与传送带间的动摩擦因数  $\mu = 0.5$
- C. 煤块从冲上传送带到返回 A 端所用的时间为 4s
- D. 煤块在传送带上留下的痕迹长为  $(12 + 4\sqrt{5})$  m

【答案】AD

【解析】

【分析】

【详解】AB. 由  $v-t$  图像得 0~1s 内煤块的加速度大小

$$a_1 = \frac{12-4}{1} \text{ m/s}^2 = 8 \text{ m/s}^2$$

方向沿传送带向下；1~2s 内煤块的加速度大小

$$a_2 = \frac{4-0}{1} \text{ m/s}^2 = 4 \text{ m/s}^2$$

方向沿传送带向下。0~1s，对煤块由牛顿第二定律得

$$mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta = ma_1$$

1~2s，对煤块由牛顿第二定律得

$$mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = ma_2$$

解得

$$\tan \theta = 0.75$$

$$\mu = 0.25$$

故 A 正确，B 错误；

C.  $v-t$  图像图线与时间轴所围面积表示位移大小，所以煤块上滑总位移大小为  $x=10\text{m}$ ，由运动学公式得下滑时间为

$$t_{\text{下}} = \sqrt{\frac{2x}{a_2}} = \sqrt{\frac{2 \times 10}{4}} \text{ s} = \sqrt{5} \text{ s}$$

所以煤块从冲上传送带到返回 A 端所用的时间为  $(2 + \sqrt{5})\text{s}$ ，故 C 错误；

D. 0~1s 内煤块比传送带多走 4m，划痕长 4m，1~2s 内传送带比煤块多走 2m，划痕还是 4m。

2~(2+√5)s 内传送带向上运动，煤块向下运动，划痕总长为

$$2 + \frac{1}{2}a_2t^2 + vt = (12 + 4\sqrt{5})\text{m}$$

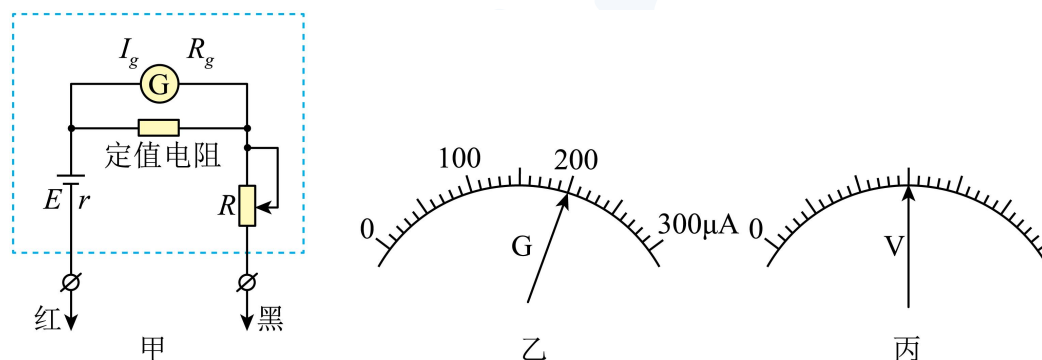
故 D 正确。

故选 AD。

### 三、实验题：共 2 小题，每题 8 分，共 16 分

13. 某同学欲将内阻为 100 Ω、量程为 300 μA 的电流计 G 改装成欧姆表，要求改装后欧姆表的 0 刻度正好对准电流表表盘的 300 μA 刻度。

可选用的器材还有：定值电阻  $R_1$ （阻值 25Ω）；定值电阻  $R_2$ （阻值 100Ω）；滑动变阻器  $R$ （最大阻值 1000 Ω）；干电池（ $E=1.5\text{V}$ ， $r=2\text{Ω}$ ）；红、黑表笔和导线若干。改装电路如图甲所示。



(1) 定值电阻应选择\_\_\_\_（填元件符号）。改装后的欧姆表的中值电阻为\_\_\_\_Ω。

(2) 该同学用改装后尚未标示对应刻度的欧姆表测量内阻和量程均未知的电压表 V 的内阻。步骤如下：先将欧姆表的红、黑表笔短接，调节 \_\_\_\_（填图甲中对应元件代号），使电流计 G 指针指到\_\_\_\_μA；再将\_\_\_\_（填“红”或“黑”）表笔与 V 表的“+”接线柱相连，另一表笔与 V 表的“-”接线柱相连。若两表的指针位置分别如图乙和图丙所示，则 V 表的内阻为\_\_\_\_Ω，量程为\_\_\_\_V。

【答案】 ①.  $R_1$  ②. 1000 ③.  $R$ （或滑动变阻器） ④. 300 ⑤. 黑 ⑥. 500 ⑦. 1

【解析】

【详解】(1) [1][2] 由于滑动变阻器的最大阻值为 1000Ω，故当滑动变阻器调到最大时，电路中的电路约为

$$I \approx \frac{E}{R} = 1.5\text{mA}$$



此时表头满偏，故定值电阻中的电流约为

$$I_1 \approx I - I_g = 1.2\text{mA}$$

故其阻值为

$$R' = \frac{I_g}{I_1} R_g = 25\Omega$$

因此定值电阻应该选择  $R_1$ 。

改装后将红黑表笔短接，将电流表调大满偏，此时多用表的总内阻为

$$R_{\text{内}} = \frac{E}{I_g + I_1} = 1000\Omega$$

故多用表的中值电阻为

$$R_{\text{中}} = R_{\text{内}} = 1000\Omega$$

(2) [3] [4] [5] 由于使用欧姆表测内阻，故首先要进行欧姆调 0，即调节  $R$ ，使电流表满偏，即指针指到  $300\mu\text{A}$ ，黑表笔接的电源正极，故将黑表笔与电压表的“+”接线柱相连；

[6][7] 欧姆表指针指在  $I=200\mu\text{A}$  位置，则电路中的总电流为  $5I$ ，故待测电压表的内阻为

$$R_v = \frac{E}{5I} - R_{\text{内}} = 500\Omega$$

设电压表量程为  $U$ ，此时电压表两端的电压为

$$\frac{U}{2} = 5I \times R_v = 0.5\text{V}$$

故其量程为  $1\text{V}$ 。

14. 在“研究一定质量理想气体在温度不变时，压强和体积的关系”实验中。某同学按如下步骤进行实验：

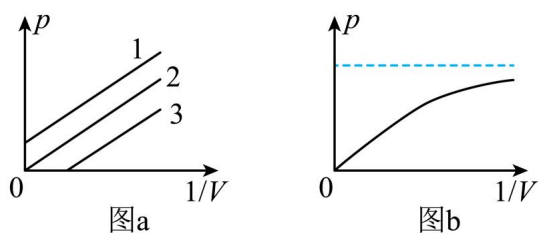
- ①将注射器活塞移动到体积适中的  $V_1$  位置，接上软管和压强传感器，通过  $DIS$  系统记录下此时的体积  $V_1$  与压强  $p_1$
- ②用手握住注射器前端，开始缓慢推拉活塞改变气体体积。
- ③读出注射器刻度表示的体积  $V$ ，通过  $DIS$  系统记录下此时的  $V$  与压强  $p$ 。
- ④重复②③两步，记录 5 组数据。作  $p - \frac{1}{V}$  图。

(1) 由相关数学知识可知，在软管内气体体积  $\Delta V$  不可忽略时，(1) 在上述步骤中，该同学对器材操作的错误是：\_\_\_\_\_。因为该操作通常会影响气体的\_\_\_\_\_（填写状态参量）。

(2) 若软管内容积不可忽略，按该同学的操作，最后拟合出的  $p - \frac{1}{V}$  直线应是图 a 中的

\_\_\_\_\_。(填写编号) $p - \frac{1}{V}$  图像为双曲线，试用玻意耳定律分析，该双曲线的渐近线（图

b 中的虚线）方程是  $p = \underline{\hspace{2cm}}$ 。（用  $V_1$ 、 $p_1$ 、 $\Delta V$  表示）



【答案】 ①. 用手握住注射器前端 ②. 温度 ③. 1 ④.  $p_1 \left( \frac{V_0 + \Delta V}{\Delta V} \right)$

【解析】

【分析】

【详解】（1）[1][2]在进行该实验时要保持被封闭气体的温度不变化，所以实验中，不能用手握住注射器前端，否则会使气体的温度发生变化。

（2）[3]在  $p - \frac{1}{V}$  图像中，实验中因软管的体积不可忽略，气体测出的体积要比实际体积要小，所以压强  $p$  会偏大，最后拟合出的  $p - \frac{1}{V}$  直线应是图 a 中的 1 图线

（3）[4]在软管内气体体积  $\Delta V$  不可忽略时，被封闭气体的初状态的体积为  $V_1 + \Delta V$ ，压强为  $p_1$ ，末状态的体积为  $V + \Delta V$ ，压强为  $p$ ，由等温变化有：

$$p_1 (V_1 + \Delta V) = p (V + \Delta V)$$

解得：

$$p = p_1 \left( \frac{V_0 + \Delta V}{V + \Delta V} \right)$$

当式中的  $V$  趋向于零时，有：

$$p = p_1 \left( \frac{V_0 + \Delta V}{\Delta V} \right)$$

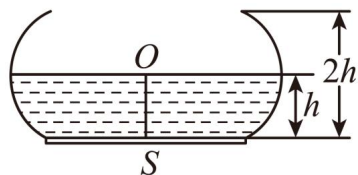
即该双曲线的渐近线（图 b 中的虚线）方程是：

$$p = p_1 \left( \frac{V_0 + \Delta V}{\Delta V} \right)$$

四、解答题：本题共 3 题，每题 8 分，共 24 分

15. 如图所示是一个水平横截面为圆形的平底玻璃缸，玻璃缸深度为  $2h$ ，缸底面圆心处有一单色点光源 S，缸中装有某种液体，深度为  $h$ ，O 点为液面的圆心，OS 垂直于水平面。用面积为  $\pi h^2$  的黑纸片覆盖在液面上，则液面上方恰好无光线射出。若在上述黑纸片上，以

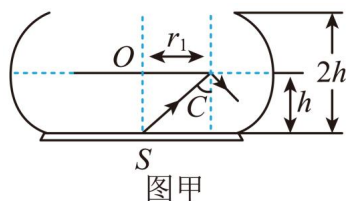
$O$  为圆心剪出一个面积为  $\frac{1}{3}\pi h^2$  的圆孔，把余下的黑纸环仍放置在液面上原来的位置，使所有出射光线都从缸口射出，则缸口的最小面积为多少？



【答案】  $\frac{4+2\sqrt{3}}{3}\pi h^2$

【解析】

【详解】用面积为  $S_1 = \pi h^2$  的黑纸片覆盖在液面上，液面上方恰好无光线射出，则从点光源  $S$  发出的光线射到黑纸片的边缘处恰发生全反射，临界角为  $C$ ，光路图如图甲所示。



$$S_1 = \pi r_1^2 = \pi h^2$$

由几何关系得

$$\tan C = \frac{r_1}{h}$$

由全反射知识有

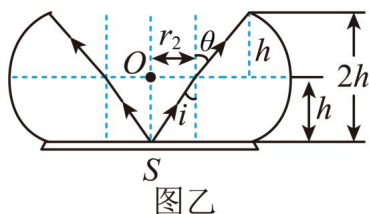
$$\sin C = \frac{1}{n}$$

解得

$$n = \sqrt{2}$$

剪出一个面积为  $S_2 = \frac{1}{3}\pi h^2$  圆孔后，设透光部分的半径为  $r_2$ ，射出光线的最大入射角为  $i$ ，

对应的折射角为  $\theta$ ，光路图如图乙所示。



$$S_2 = \pi r_2^2 = \frac{1}{3} \pi h^2$$

由几何关系得

$$\tan i = \frac{r_2}{h}$$

根据折射定律有

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

缸口的最小半径为

$$r_3 = r_2 + h \tan \theta$$

缸口的最小面积为

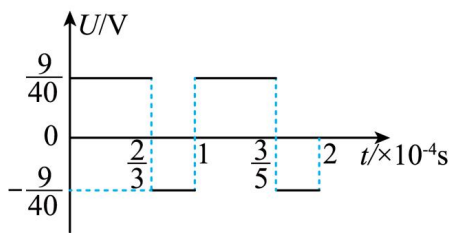
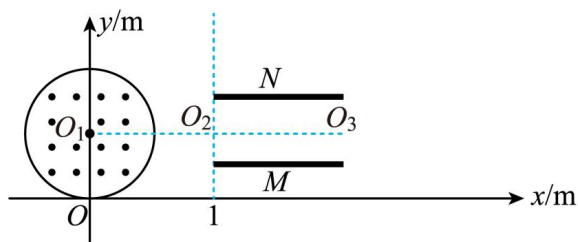
$$S_3 = \pi r_3^2$$

解得

$$S_3 = \frac{4 + 2\sqrt{3}}{3} \pi h^2$$

16. 如图所示，真空中有一个半径  $r=0.5\text{m}$  的圆形磁场区域，与坐标原点  $O$  相切，磁场的磁感应强度大小  $B=2 \times 10^{-4}\text{T}$ ，方向垂直于纸面向外，在  $x=1\text{m}$  处的竖直线的右侧有一水平放置的正对平行金属板  $M$ 、 $N$ ，板间距离为  $d=0.5\text{m}$ ，板长  $L=1\text{m}$ ，平行板的中线的延长线恰好过磁场圆的圆心  $O_1$ 。若在  $O$  点处有一粒子源，能向磁场中不同方向源源不断的均匀发射出速率相同的比荷为  $\frac{q}{m}=1 \times 10^8\text{C/kg}$ ，且带正电的粒子，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，恰能从沿直线  $O_2O_3$  方向射入平行板间。不计重力及阻力和粒子间的相互作用力，求：

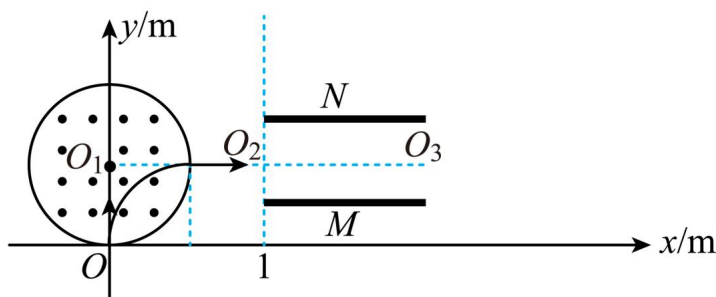
- (1) 沿  $y$  轴正方向射入的粒子进入平行板间时的速度  $v$  和粒子在磁场中的运动时间  $t_0$ ；
- (2) 从  $M$ 、 $N$  板左端射入平行板间的粒子数与从  $O$  点射入磁场的粒子数之比；
- (3) 若在平行板的左端装上一挡板（图中未画出，挡板正中间有一小孔，恰能让单个粒子通过），并且在两板间加上如图示电压（周期  $T_0$ ）， $N$  板比  $M$  板电势高时电压值为正，在  $x$  轴上沿  $x$  轴方向安装有一足够长的荧光屏（图中未画出），求荧光屏上亮线的左端点的坐标和亮线的长度  $l$ 。



【答案】(1)  $1 \times 10^4 \text{ m/s}$ ,  $7.85 \times 10^{-5} \text{ s}$ ; (2)  $\frac{1}{3}$ ; (3)  $(\frac{25}{6} \text{ m}, 0)$ , 亮线长为  $\frac{4}{3} \text{ m}$ 。

【解析】

【详解】(1) 由题意可知，沿  $y$  轴正向射入的粒子运动轨迹如图示



则粒子在磁场中做匀速圆周运动的轨道半径必定为

$$R=r=0.5\text{m}$$

根据洛伦兹力提供向心力有

$$Bqv=m\frac{v^2}{R}$$

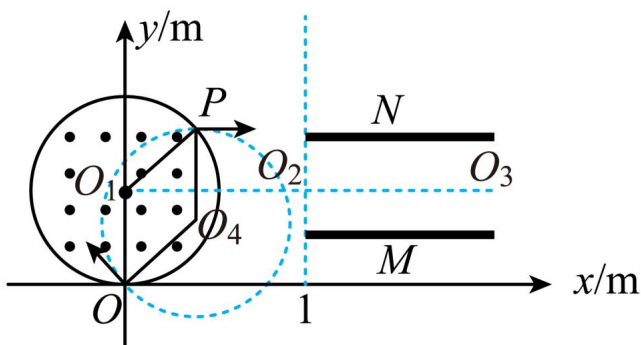
代入数据解得粒子进入电场时的速度为

$$v=1 \times 10^4 \text{ m/s}$$

在磁场中运动的时间为

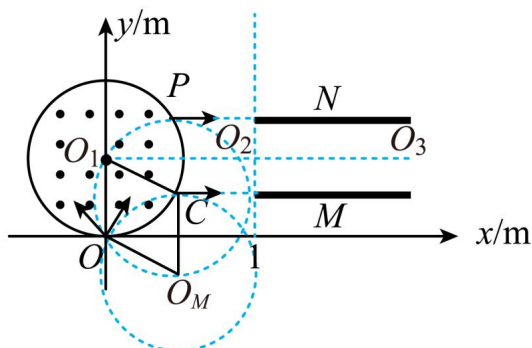
$$t_0=\frac{1}{4}T=\frac{\pi m}{2Bq}=7.85 \times 10^{-5} \text{ s}$$

(2) 如图示沿某一方向入射的粒子的运动圆轨迹和磁场圆的交点  $O$ 、 $P$  以及两圆的圆心  $O_1$ 、 $O_4$  组成菱形，故  $PO_4$  和  $y$  轴平行，所以  $v$  和  $x$  轴平行向右，即所有粒子平行向右出射。故恰能从  $M$  端射入平行板间的粒子的运动轨迹如图示



因为  $M$  板的延长线过  $O_1O$  的中点，故由图示几何关系可知  $\angle OO_1C = 60^\circ$ ，则入射速度与  $y$  轴间的夹角为  $30^\circ$

同理可得恰能从  $N$  端射入平行板间的粒子其速度与  $y$  轴间的夹角也为  $30^\circ$ ，如图所示



由图示可知，在  $y$  轴正向夹角左右都为  $30^\circ$  的范围内的粒子都能射入平行板间，故从  $M$ 、 $N$  板左端射入平行板间的粒子数与从  $O$  点射入磁场的粒子数之比为

$$\frac{60^\circ}{180^\circ} = \frac{1}{3}$$

(3) 根据  $U-t$  图可知，粒子进入板间后沿  $y$  轴方向的加速度大小为

$$a = \frac{qU}{md} = 1 \times 10^8 \times \frac{9}{40} \times \frac{1}{0.5} \text{ m/s}^2 = 4.5 \times 10^7 \text{ m/s}^2$$

所有粒子在平行板间运动的时间为

$$t = \frac{L}{v} = \frac{1}{1 \times 10^4} \text{ s} = 1 \times 10^{-4} \text{ s}$$

即粒子在平行板间运行的时间等于电场变化的周期  $T_0$ ，则当粒子由  $t=nT_0$  时刻进入平行板间时，向下侧移最大，则有

$$y_1 = \frac{a}{2} \left( \frac{2T_0}{3} \right)^2 + a \left( \frac{2T_0}{3} \right) \left( \frac{T_0}{3} \right) - \frac{a}{2} \left( \frac{T_0}{3} \right)^2 = 0.175 \text{ m}$$

当粒子由  $t=nT_0 + \frac{2T_0}{3}$  时刻进入平行板间时，向上侧移最大，则

$$y_2 = \frac{a}{2} \left( \frac{T_0}{3} \right)^2 = 0.025 \text{ m}$$

因为  $y_1$ 、 $y_2$  都小于  $\frac{d}{2} = 0.25 \text{ m}$ ，故所有射入平行板间的粒子都能从平行板间射出，根据动量

定理可得所有出射粒子的在  $y$  轴负方向的速度为

$$\frac{qU}{d} \times \frac{2T_0}{3} - \frac{qU}{d} \times \frac{T_0}{3} = mv_y - 0$$

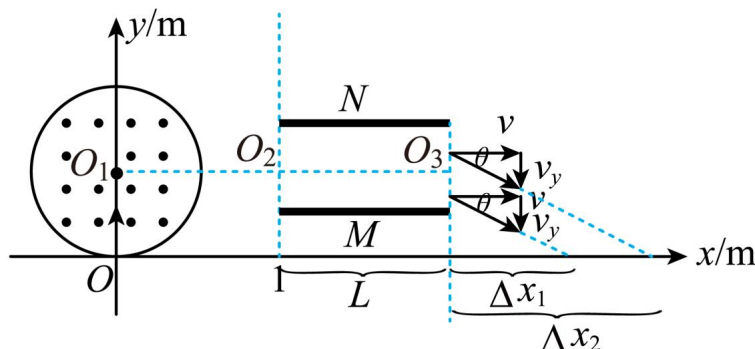
解得

$$v_y = 1.5 \times 10^3 \text{ m/s}$$

设速度  $v_y$  方向与  $v$  的夹角为  $\theta$ ，则

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{3}{20}$$

如图所示



从平行板间出射的粒子处于图示范围之内，则

$$l = \Delta x_2 - \Delta x_1$$

$$\tan \theta = \frac{r - y_1}{\Delta x_1}$$

$$\tan \theta = \frac{r + y_2}{\Delta x_2}$$

代入数据解得

$$\Delta x_1 = \frac{13}{6} \text{ m}, \quad l = \frac{4}{3} \text{ m}$$

亮线左端点距离坐标原点的距离为

$$x_{\text{左}} = \left( 2 + \frac{13}{6} \right) \text{ m} = \frac{25}{6} \text{ m}$$

即亮线左端点的位置坐标为  $\left( \frac{25}{6} \text{ m}, 0 \right)$ ，亮线长为  $\frac{4}{3} \text{ m}$

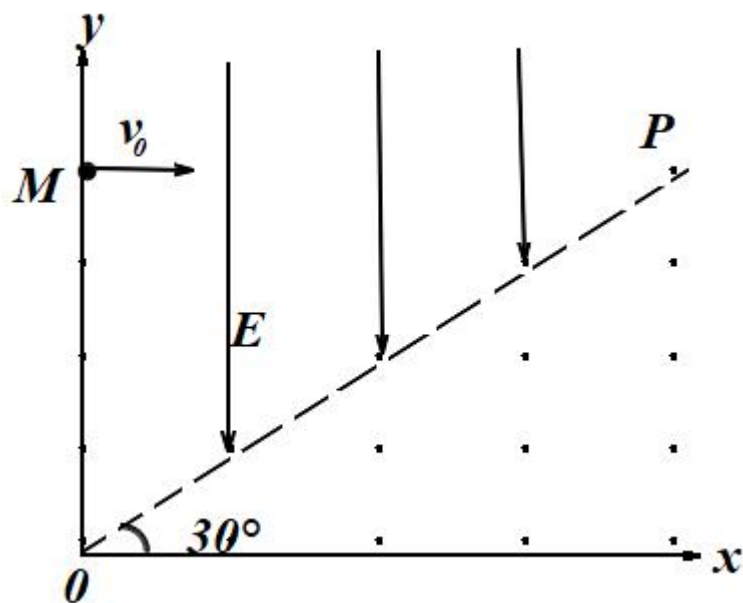
17. 如图所示，在  $xoy$  平面内，虚线  $OP$  与  $x$  轴的夹角为  $30^\circ$ 。 $OP$  与  $y$  轴之间存在沿着  $y$  轴负方向的匀强电场，场强大小为  $E$ 。 $OP$  与  $x$  轴之间存在垂直于  $xoy$  平面向外的匀强磁场。现有一带电的粒子，从  $y$  轴上的  $M$  点以初速度  $v_0$ 、沿着平行于  $x$  轴的方向射入电场，并从边界  $OP$  上某点  $Q$ （图中未画出）垂直于  $OP$  离开电场，恰好没有从  $x$  轴离开第一象限。已知粒子的质量为  $m$ 、电荷量为  $q$  ( $q > 0$ )，粒子的重力可忽略。求：

(1) 磁感应强度的大小；

(2) 粒子在第一象限运动的时间；



(3) 粒子从  $y$  轴上离开电场的位置到  $O$  点的距离。



【答案】(1)  $\frac{3E}{v_0}$ ; (2)  $(4\sqrt{3} + \pi) \frac{mv_0}{3qE}$ ; (3)  $\frac{7mv_0^2}{6qE}$

【解析】

【详解】(1) 由于粒子从  $Q$  点垂直于  $OP$  离开电场，设到  $Q$  点时竖直分速度为  $v_y$ ，由题意可知

$$v_y = \sqrt{3}v_0$$

设粒子从  $M$  点到  $Q$  点运动时间为  $t_1$ ，有

$$v_y = \frac{qE}{m} t_1$$

粒子做类平抛运动的水平位移如下的

$$x = v_0 t_1$$

由磁场方向可知粒子向左偏转，根据题意可知粒子运动轨迹恰好与  $x$  轴相切，设粒子在磁场中运动的半径为  $R$ ，由几何关系

$$x = R \cos 30^\circ + R \cot 30^\circ$$

设粒子在磁场中速度为  $v$ ，由前面分析可知

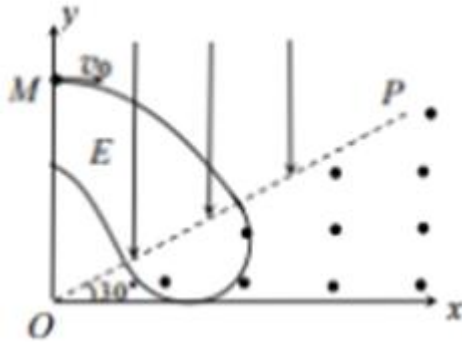
$$v = 2v_0$$

洛伦兹力提供向心力

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

解得

$$B = \frac{3E}{v_0}$$



(2)粒子在磁场中运动周期

$$T = \frac{2\pi R}{v}$$

设粒子在磁场中运动时间为  $t_2$ ，

$$t_2 = \frac{1}{2}T$$

粒子离开磁场的位置到  $y$  轴的距离为  $\Delta x$ ，则

$$\Delta x = x - 2R \cos 30^\circ$$

沿着  $x$  轴负方向做匀速直线运动，设经过时间  $t_3$  到达  $y$  轴，

$$\Delta x = v_0 t_3$$

即

$$t = (4\sqrt{3} + \pi) \frac{mv_0}{3qE}$$

(3)由几何关系可得粒子离开磁场的位置到  $x$  轴距离

$$y_1 = \frac{mv_0^2}{3qE}$$

粒子离开磁场后，竖直方向做匀速直线运动，经过时间  $t_3$  到达  $y$  轴并离开电场

$$y_2 = v_y t_3 - \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t_3^2$$

则

$$y_2 = \frac{5mv_0^2}{6qE}$$

粒子离开电场的位置到  $O$  点的距离

$$y = y_1 + y_2 = \frac{7mv_0^2}{6qE}。$$