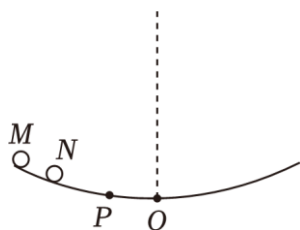


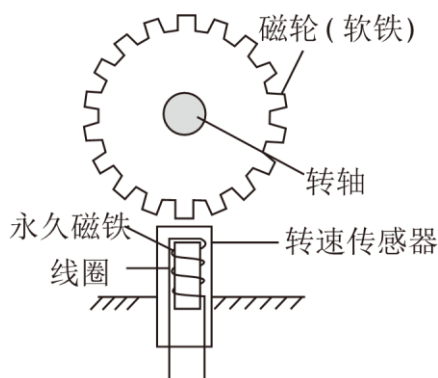
2022-2023 学年江苏省苏州市昆山中学实验班高二（下）期末物理试卷

一、单选题（共 40 分）

- 1.（4 分）如图所示，固定在竖直平面内的光滑圆弧轨道所含圆弧的度数很小，O 是圆弧的最低点。两个完全相同的小球 M、N 从圆弧左侧的不同位置同时释放。它们从释放到到达 O 点过程中都经过图中的 P 点。下列判断正确的是（ ）

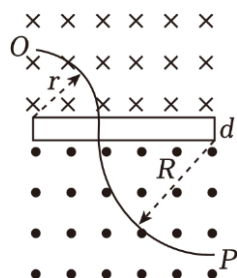


- A. M 比 N 后到达 O 点
- B. M、N 通过 P 点时所受的回复力相同
- C. M 有可能在 P 点追上 N 并与之相碰
- D. 从释放到到达 O 点过程中，重力对 M 的冲量比重力对 N 的冲量大
- 2.（4 分）磁电式转速传感器的结构如图所示。它是由永久磁铁、线圈、磁轮等组成，在磁盘上加工有齿形凸起，齿数为 nx 。当磁轮与转轴一起旋转时，磁轮的凹凸齿形将引起磁轮与永久磁铁间气隙大小的变化，使绕在永久磁铁上的线圈的磁通量发生变化，从而使线圈输出变化的电压，根据电压变化就可以测出转速。则关于该转速传感器，下列说法正确的是（ ）



- A. 转速变化时，线圈输出电压不变
- B. 它是靠线圈输出电压的频率来测转速的
- C. 输出电压的频率等于磁盘的转速
- D. 若输出电压的频率为 f ，则磁盘的转速为 nf
- 3.（4 分）如图所示为一带电粒子探测器装置的侧视图：在一水平放置、厚度为 d 的薄板上下，有磁感应强度大小均为 B 但方向相反的匀强磁场：上方的磁场方向垂直纸面向里，而下方磁场方向垂直纸面向

外。有一电荷量为 q 、质量为 m 的粒子进入该探测器，其运动轨迹如图中曲线所示，粒子的轨迹垂直于磁场方向且垂直穿过薄板。如果薄板下方轨迹的半径 R 大于薄板上方轨迹的半径 r ，设粒子重力与空气阻力可忽略不计，则下列说法正确的是（ ）



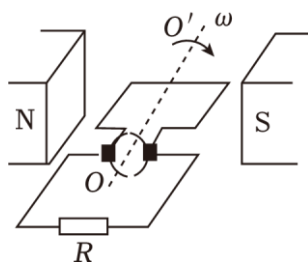
A. 粒子带正电，由 O 点沿着轨迹运动至 P 点

B. 穿过薄板后，粒子的动能为 $\frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$

C. 穿过薄板导致的粒子动能改变 $\frac{q^2 B^2}{2m} (R^2 - r^2)$

D. 粒子穿过薄板时，所受到的平均阻力大小为 $\frac{qB}{md} (R^2 - r^2)$

4. (4 分) 发电机的示意图如图所示， n 匝正方形线圈在匀强磁场中以恒定角速度 ω 绕 OO' 轴转动，阻值为 R 的电阻两端电压的有效值为 U_0 。线圈电阻为 r ，其余电阻不计，转动过程中，线圈中磁通量的最大值为（ ）



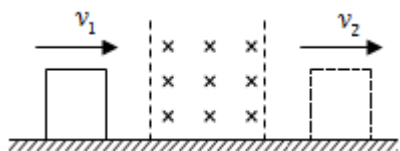
A. $\frac{U_0 (R+r)}{2n\omega R}$

B. $\frac{\sqrt{2} U_0 (R+r)}{2n\omega R}$

C. $\frac{U_0 (R+r)}{n\omega R}$

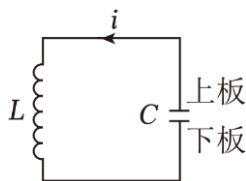
D. $\frac{\sqrt{2} U_0 (R+r)}{n\omega R}$

5. (4 分) 如图所示，在光滑绝缘水平面上，一矩形线圈以速度 v_1 开始进入磁场，离开磁场区域后速度为 v_2 。已知磁场区域宽度大于线圈宽度，则线圈（ ）



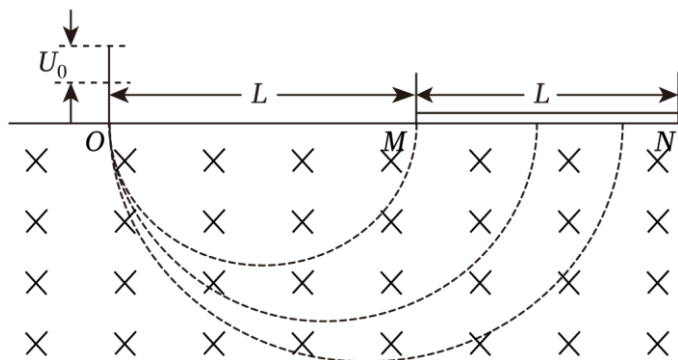
- A. 进、出磁场过程通过截面的电荷量不同
- B. 进、出磁场过程中产生的焦耳热相同
- C. 线圈在磁场中匀速运动的速度为 $\frac{v_1 + v_2}{2}$
- D. 进、出磁场过程动量的变化量不同

6. (4分) 如图所示是某时刻 LC 振荡电路中振荡电流 i 的方向，下列对回路情况的判断正确的是 ()



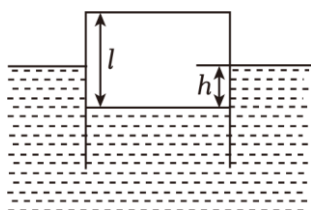
- A. 若电路中电容的上板带正电，则该电路中电流在增大
- B. 若电路中电容的下板带正电，则电感产生的磁场在增强
- C. 若电路中电流 i 正在增大，则该电路中电容上的电荷量也在增大
- D. 若电路中电流 i 正在减小，则该电路中电容器里的电场必定向下

7. (4分) 一台质谱仪的工作原理如图所示，电荷量和质量均相同的粒子飘入电压为 U_0 的加速电场，其初速度几乎为零，这些粒子经加速后通过狭缝 O 沿着与磁场垂直的方向进入匀强磁场，粒子刚好能打在底片上的 M 点。已知放置底片的区域 $MN=L$ ，且 $OM=L$ 。若想要粒子始终能打在底片 MN 上，则加速电场的电压最大为 ()



- A. $\sqrt{2}U_0$
- B. $2U_0$
- C. $4U_0$
- D. $8U_0$

8. (4分) 如图所示，将一个铁桶倒扣在水面上，平衡时铁桶内外水面高度差为 h ，桶内空气柱长度为 l 。已知水的密度为 ρ ，铁桶的横截面积为 S ，不计桶壁厚度，忽略封闭气体的质量，设封闭气体的温度不变，水足够深，下列说法正确的是 ()



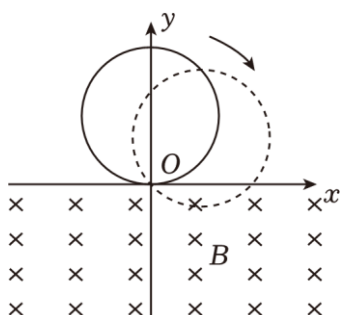
- A. 铁桶的质量为 $hS\rho$
- B. 铁桶的质量为 $lS\rho$
- C. 将铁桶下压 $(l - h)$ 的距离后，桶将自动下沉
- D. 桶受到重力、大气对桶的压力，封闭气体对桶的压力、水对桶的压力和浮力

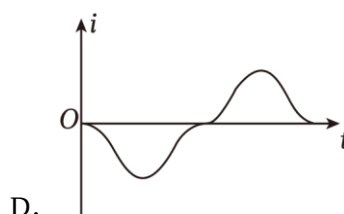
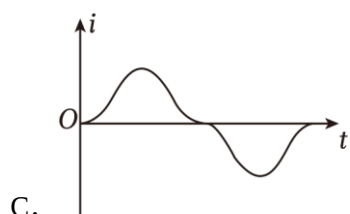
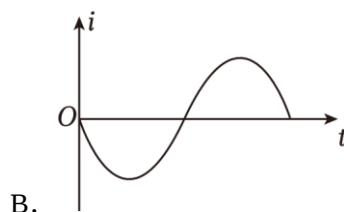
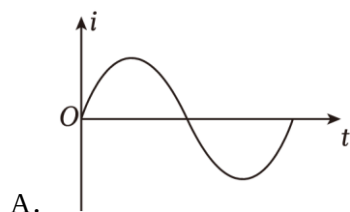
9. (4 分) 活塞式真空泵的工作原理如图所示，抽气筒与被抽密闭容器通过自动阀门相连，当活塞从抽气筒的左端向右移动到右端的过程中，阀门自动开启，密闭容器内的气体流入抽气筒，活塞从右端向左移动到左端的过程中，阀门自动关闭，抽气筒内活塞左侧的气体被排出，即完成一次抽气过程，如此往复，密闭容器内的气体压强越来越小。若密闭容器的容积为 V ，抽气筒的容积为 $0.05V$ ，抽气前密闭容器内气体的压强为 p_0 。抽气过程中气体的温度不变，若第 1 次抽气过程中被抽出的气体质量为 m_1 ；第 2 次抽气过程中被抽出的气体质量为 m_2 ，则 ()



- A. $m_2 : m_1 = 20 : 21$
- B. $m_2 : m_1 = 1 : 21$
- C. $m_2 : m_1 = 19 : 20$
- D. $m_2 : m_1 = 1 : 1$

10. (4 分) 如图所示， xOy 平面第三、四象限内有垂直纸面向里的匀强磁场，圆形金属环与磁场边界相切于 O 点。金属环在 xOy 平面内绕 O 点沿顺时针方向匀速转动， $t=0$ 时刻金属环开始进入第四象限。规定顺时针方向电流为正，下列描述环中感应电流 i 随时间 t 变化的关系图像可能正确的是 ()





二、实验题（共 15 分）

11.（15 分）某实验小组利用油膜法估测油酸分子的大小，实验步骤如下：

- A. 取 $V_1=0.2\text{mL}$ 的纯油酸和一定体积的无水酒精配制成 $V_2=1000\text{mL}$ 油酸酒精溶液；
- B. 用注射器将配好的油酸酒精溶液一滴一滴地滴入量筒中，测得 $n=80$ 滴油酸酒精溶液的体积为 $V_3=1\text{mL}$ ；
- C. 取一个直径为 $D=30\text{cm}$ 的水槽，并在水槽中倒入适量的清水，待水面稳定后将适量痱子粉均匀地撒在水面上；
- D. 用注射器将配好的油酸酒精溶液滴一滴在水面上，待薄膜形状稳定；
- E. 将透明玻璃板盖在水槽上，然后将油膜的形状用记号笔描绘在玻璃板上；
- F. 将画有油膜形状的玻璃板平放在坐标纸上，计算出油膜的面积 S 。

回答下列问题：

（1）将画有油膜形状的玻璃板平放在坐标纸上，如图甲所示，已知坐标纸上小格子的边长为 1cm ，则油膜的面积 $S=$ _____ m^2 。

（2）实验配制的一滴油酸酒精溶液中含有的纯油酸的体积为 _____ m^3 （结果保留两位有效数字）。

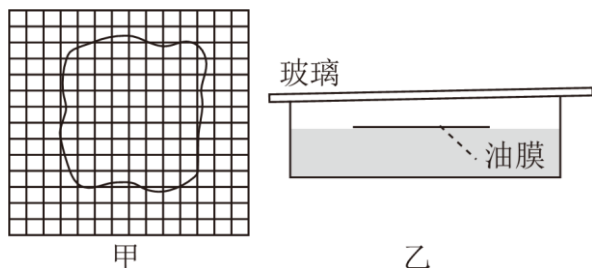
（3）将油酸分子简化成球形处理，并认为它们紧密排布形成单分子油膜，则油酸分子半径的计算公式为 $r=$ _____（用题目中的物理量符号表示）。

（4）若估测出油酸分子的半径为 r ，已知阿伏加德罗常数为 N_A ，由此可以推算出油酸的 _____。

- A. 摩尔体积
- B. 摩尔质量
- C. 密度

D. 平均动能

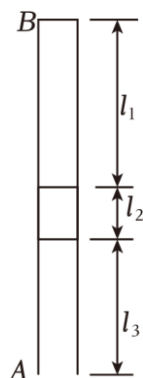
(5) 在步骤 E 中，由于水槽边缘不平整，盖在水槽上的玻璃板与形成的油膜并不平行，侧视图如图乙所示，则该情况会导致最终测得油酸分子的半径结果 _____（填“偏大”或“偏小”）。



三、解答题（8+8+14+15 分）

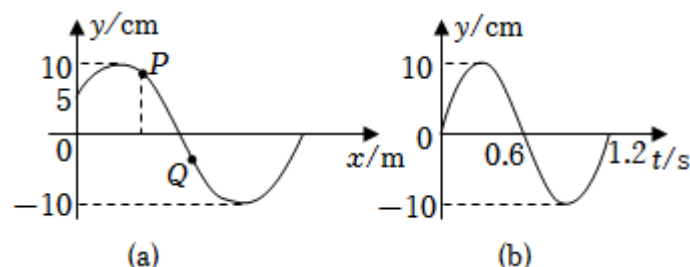
12. (8 分) 如图，一下端 A 开口、上端 B 封闭的细长玻璃管竖直放置。玻璃管的上部封有长 $l_1=45\text{cm}$ 的空气柱，中间有一段长 $l_2=5\text{cm}$ 的水银柱，下部空气柱的长度 $l_3=4\text{cm}$ 。已知大气压强为 $p_0=75.0\text{cmHg}$ 。现将玻璃管竖直插入水银槽中，设整个过程温度不变，稳定后上部空气柱的长度为 $l_4=42\text{cm}$ 。求：

- (1) 稳定后上部空气柱的压强 p ；
- (2) 从玻璃管下端 A 进入玻璃管的水银柱长度。



13. (8 分) 一列简谐横波在 $t=0.4\text{s}$ 时的波形图如图 (a) 所示，P 是介质中的质点，图 (b) 是质点 P 的振动图像。已知该波在该介质中的传播速度为 20m/s ，求：

- (1) 波长和波的传播方向；
- (2) 质点 P 的平衡位置的 x 坐标。

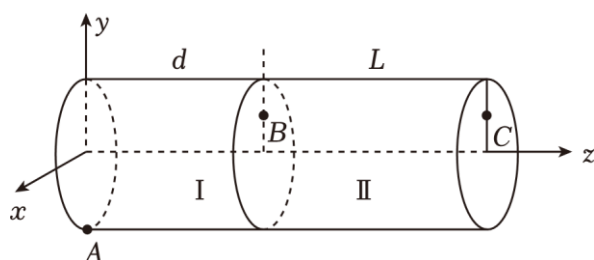


14. (14 分) 用基本原理如图所示的装置做离子控制实验，其相关参数如下：

- ①空腔圆柱截面半径为 R ，壁厚可以忽略不计；
- ②工作区 I 长度 $d=4R$ ，内有沿 y 轴正向的匀强电场；
- ③工作区 II 长度未知，内有沿 z 轴负向的匀强磁场。

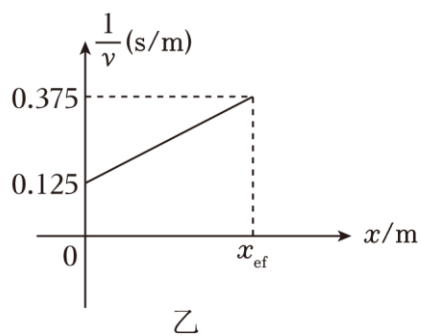
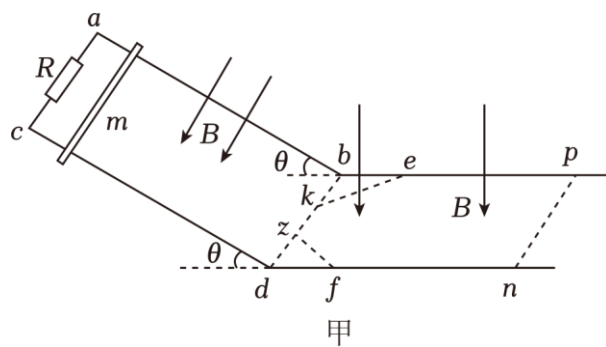
现有一质量为 m ，电量为 q 的正离子从左侧截面的最低点 A 处，以初速度 v_0 沿 z 轴正向进入 I 区，经过两个区域分界面上的 B 点进入 II 区，在以后的运动过程中恰好未碰到圆柱腔的内壁，最终从右侧截面上的 C 点飞出， B 点和 C 点均为所在截面处竖直半径的中点（如图中所示），不计粒子重力，求：

- (1) I 区中电场强度的大小 E ；
- (2) II 区中磁感应强度大小 B ；
- (3) II 区的长度 L 应为多大。



15. (15 分) 如图甲所示，两根完全相同的光滑金属导轨平行放置，宽 $L=3\text{m}$ ，倾斜部分 $abcd$ 与水平方向夹角为 $\theta=30^\circ$ ，匀强磁场垂直斜面向下，磁感应强度 $B=0.5\text{T}$ ，轨道顶端 ac 接有电阻 $R=1.5\Omega$ 。导轨水平部分只有边界 zk 、 ke 、 ep 、 pn 、 nf 、 fz 之间有竖直向下的匀强磁场，磁感应强度大小也为 $B=0.5\text{T}$ ，其中磁场左边界 zk 长为 $d=1\text{m}$ ，边界 ke 、 zf 与水平导轨间夹角均为 $\alpha=45^\circ$ 且长度相等，磁场右边界 pn 与两个导轨垂直。一金属棒与导轨接触良好，在斜面上由静止释放，到达底端 bd 时已经匀速，速度大小为 $v_0=8\text{m/s}$ 。当金属棒进入导轨的水平部分时，给金属棒施加外力，在轨道水平部分 $zkef$ 之间运动时速度的倒数 $\frac{1}{v}$ 与位移 x 图像如图乙所示，棒运动到 ef 处时撤去外力，此时棒速度大小为 $\frac{v_0}{3}$ 。最终金属棒恰能运动到磁场的右边界 pn 处。已知运动中金属棒始终与导轨垂直，金属棒连入电路中的电阻为 $r=0.5\Omega$ 。 $g=10\text{m/s}^2$ 。求：

- (1) 金属棒的质量 m 的大小；
- (2) 水平磁场边界 ep 的距离大小；
- (3) 金属棒在水平导轨上运动时，电阻 R 产生的焦耳热。

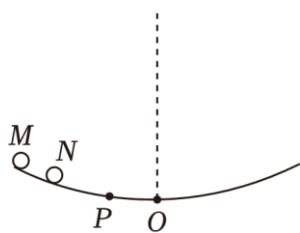


2022-2023 学年江苏省苏州市昆山中学实验班高二（下）期末物理试卷

参考答案与试题解析

一、单选题（共 40 分）

1. （4 分）如图所示，固定在竖直平面内的光滑圆弧轨道所含圆弧的度数很小，O 是圆弧的最低点。两个完全相同的小球 M、N 从圆弧左侧的不同位置同时释放。它们从释放到到达 O 点过程中都经过图中的 P 点。下列判断正确的是（ ）



- A. M 比 N 后到达 O 点
- B. M、N 通过 P 点时所受的回复力相同
- C. M 有可能在 P 点追上 N 并与之相碰
- D. 从释放到到达 O 点过程中，重力对 M 的冲量比重力对 N 的冲量大

【答案】B

【分析】根据单摆周期公式，两个小球做简谐振动的周期相同；两个小球在 P 点回复力相同；M、N 同时到达 O 点，M 不可能在 P 点追上 N 并与之相碰；根据冲量定义 $I = mgt$ ，比较冲量。

【解答】解：A. 根据单摆周期公式有 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

两个小球做简谐振动的周期相同，M、N 同时到达 O 点，故 A 错误；

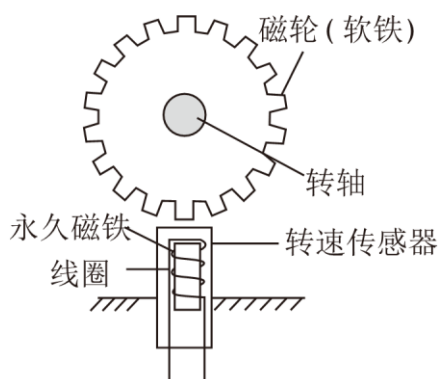
B. M、N 通过 P 点时所受的回复力相同，故 B 正确；

C. M、N 同时到达 O 点，则 M 不可能在 P 点追上 N 并与之相碰，故 C 错误；

D. 从释放到到达 O 点过程中，根据冲量定义 $I = mgt$ ，两个完全相同的小球，重力对 M 的冲量等于重力对 N 的冲量，故 D 错误。

故选：B。

2. （4 分）磁电式转速传感器的结构如图所示。它是由永久磁铁、线圈、磁轮等组成，在磁盘上加工有齿形凸起，齿数为 nx 。当磁轮与转轴一起旋转时，磁轮的凹凸齿形将引起磁轮与永久磁铁间气隙大小的变化，使绕在永久磁铁上的线圈的磁通量发生变化，从而使线圈输出变化的电压，根据电压变化就可以测出转速。则关于该转速传感器，下列说法正确的是（ ）



- A. 转速变化时，线圈输出电压不变
- B. 它是靠线圈输出电压的频率来测转速的
- C. 输出电压的频率等于磁盘的转速
- D. 若输出电压的频率为 f ，则磁盘的转速为 nf

【答案】B

【分析】根据磁轮转速的变化，分析线圈中产生的感应电动势的变化，判断线圈输出电压的变化；磁轮与转轴一起旋转，磁轮每转过一齿，绕在永久磁铁上的线圈的输出电压周期性变化一次，从而分析转速的原理；若输出电压的频率为 f ，结合圆周运动的规律求解磁盘的转速，分析两者的关系。

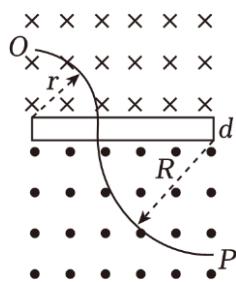
【解答】解：A、磁轮转速越大，磁场变化越快，线圈中产生的感应电动势就越大，则线圈输出的电压也越大，故 A 错误；

B、当磁轮与转轴一起旋转时，磁轮每转过一齿，绕在永久磁铁上的线圈的输出电压周期性变化一次，当磁轮转过 1 圈时，转过了 n 齿，电压周期性变化了 n 次，即输出电压的频率是转速的 n 倍，因此该传感器是靠线圈输出电压的频率来测转速的，故 B 正确；

CD、由上分析可知，输出电压的频率是转速的 n 倍，因此当输出电压的频率为 f 时，磁轮的转速为 $\frac{f}{n}$ ，故 CD 错误。

故选：B。

- 3.（4 分）如图所示为一带电粒子探测器装置的侧视图：在一水平放置、厚度为 d 的薄板上下，有磁感应强度大小均为 B 但方向相反的匀强磁场：上方的磁场方向垂直纸面向里，而下方磁场方向垂直纸面向外。有一电荷量为 q 、质量为 m 的粒子进入该探测器，其运动轨迹如图中曲线所示，粒子的轨迹垂直于磁场方向且垂直穿过薄板。如果薄板下方轨迹的半径 R 大于薄板上方轨迹的半径 r ，设粒子重力与空气阻力可忽略不计，则下列说法正确的是（ ）



- A. 粒子带正电，由 O 点沿着轨迹运动至 P 点
- B. 穿过薄板后，粒子的动能为 $\frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$
- C. 穿过薄板导致的粒子动能改变 $\frac{q^2 B^2}{2m} (R^2 - r^2)$
- D. 粒子穿过薄板时，所受到的平均阻力大小为 $\frac{qB}{md} (R^2 - r^2)$

【答案】C

【分析】根据洛伦兹力提供向心力，分析粒子穿过薄板后速度减小，判断粒子轨迹半径变化情况，进而判断粒子的运动轨迹以及粒子的电性；

先列出粒子在磁场中运动时动能的表达式，再求出粒子穿过薄板过程动能的变化量，再根据动能定理判断粒子所受的平均阻力大小。

【解答】A、粒子穿过薄板后速度会减小，根据洛伦兹力提供向心力，有 $qvB = m \frac{v^2}{r_0}$ ，可知粒子的轨道

半径会变小，又因为 $R > r$ ，则粒子是由 P 点沿着轨迹运动到 O 点的，由左手定则知，粒子带正电，故 A 错误；

BCD、粒子在磁场中运动时的动能

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m \left(\frac{qBr_0}{m} \right)^2 = \frac{q^2 B^2 r_0^2}{2m}$$

粒子穿过薄板过程中的动能变化量为： $\Delta E_k = E_{k后} - E_{k前} = \frac{q^2 B^2 (r^2 - R^2)}{2m}$

分析粒子穿过薄板过程，由动能定理

$$-F d = \Delta E_k$$

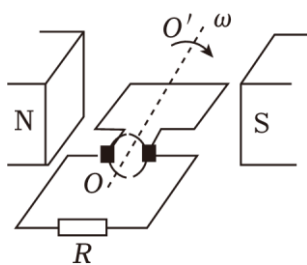
解得粒子所受的平均阻力大小

$$\overline{F} = \frac{q^2 B^2 (R^2 - r^2)}{2md}$$

故 C 正确，BD 错误。

故选：C。

- 4.（4 分）发电机的示意图如图所示， n 匝正方形线圈在匀强磁场中以恒定角速度 ω 绕 OO' 轴转动，阻值为 R 的电阻两端电压的有效值为 U_0 。线圈电阻为 r ，其余电阻不计，转动过程中，线圈中磁通量的最大值为（ ）



- A. $\frac{U_0 (R+r)}{2n\omega R}$ B. $\frac{\sqrt{2} U_0 (R+r)}{2n\omega R}$
- C. $\frac{U_0 (R+r)}{n\omega R}$ D. $\frac{\sqrt{2} U_0 (R+r)}{n\omega R}$

【答案】D

【分析】由闭合电路欧姆定律求出线圈转动产生的感应电动势的有效值和最大值，联立求出磁通量的最大值。

【解答】解：由闭合电路欧姆定律可得线圈转动产生感应电动势的有效值为： $E = \frac{U_0}{R} (R+r)$

再根据有效值和最大值之间的关系，可得电动势的最大值为： $E_m = \frac{\sqrt{2} U_0}{R} (R+r)$

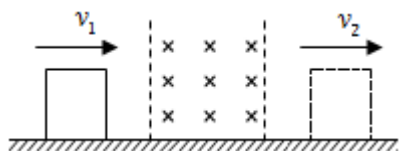
根据： $E_m = nBS\omega = n\Phi_m\omega$

联立解得： $\Phi_m = \frac{\sqrt{2} U_0 (R+r)}{nR\omega}$

故 ABC 错误，D 正确。

故选：D。

- 5.（4 分）如图所示，在光滑绝缘水平面上，一矩形线圈以速度 v_1 开始进入磁场，离开磁场区域后速度为 v_2 。已知磁场区域宽度大于线圈宽度，则线圈（ ）



- A. 进、出磁场过程通过截面的电荷量不同
- B. 进、出磁场过程中产生的焦耳热相同
- C. 线圈在磁场中匀速运动的速度为 $\frac{v_1 + v_2}{2}$
- D. 进、出磁场过程动量的变化量不同

【答案】C

【分析】通过截面的电荷量的经验公式为 $q = \frac{\Delta \Phi}{R}$ ；线圈在磁场中的速度问题可以根据动量定理，结合安培力冲量大小的经验公式 $I = BLq$ 解答；根据能量守恒求解线圈进出磁场过程产生的焦耳热。

【解答】解：A、线圈进磁场过程有： $q = \overline{I} \Delta t = \frac{\overline{E}}{R} \Delta t = \frac{\Delta \Phi}{R} = \frac{BS}{R}$ ，同理，线圈出磁场过程有： $q' = \overline{I'} \Delta t' = \frac{BS}{R}$ ，由此可知线圈进、出磁场过程通过截面的电荷量相同，故 A 错误；

C、以线圈运动方向为正方向，设线圈在磁场中匀速直线运动的速度 v ，线圈进磁场过程，根据动量定理得： $-B \overline{I} L \Delta t = mv - mv_1$

线圈出磁场过程，根据动量定理得： $-B \overline{I'} L \Delta t' = mv_2 - mv$

由 A 选项的结论可得： $mv - mv_1 = mv_2 - mv$

解得： $v = \frac{v_1 + v_2}{2}$ ，故 C 正确；

B、根据能量守恒，线圈进磁场过程产生焦耳热： $Q_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv^2$

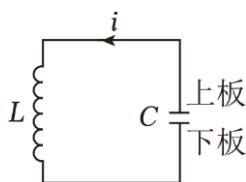
线圈出磁场过程产生焦耳热： $Q_2 = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_2^2$

可得： $Q_1 - Q_2 = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}m \times \frac{(v_1 - v_2)^2}{2} > 0$ ，即 $Q_1 > Q_2$ ，故 B 错误；

D、由于 $mv - mv_1 = mv_2 - mv$ ，可知进、出磁场过程动量的变化量相同，故 D 错误。

故选：C。

- 6.（4分）如图所示是某时刻 LC 振荡电路中振荡电流 i 的方向，下列对回路情况的判断正确的是（ ）



- A. 若电路中电容的上板带正电，则该电路中电流在增大
- B. 若电路中电容的下板带正电，则电感产生的磁场在增强
- C. 若电路中电流 i 正在增大，则该电路中电容上的电荷量也在增大
- D. 若电路中电流 i 正在减小，则该电路中电容器里的电场必定向下

【答案】A

【分析】分情况讨论，电容的上板带正电和负电，根据电流方向判断电容器在放电还是充电，进而分析该电路中电流和磁场的变化情况；

然后，根据电流的变化情况，判断电容器的充放电情况，进而判断电容器的充放电以及电场方向。

【解答】解：A. 若电路中电容的上板带正电，根据电流方向，可知电容器在放电，该电路中电流在增大，故 A 正确；

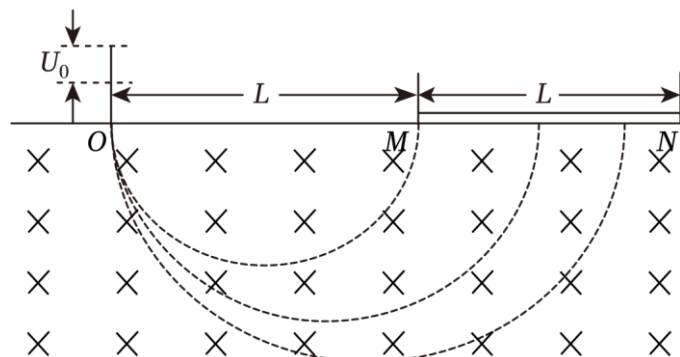
B. 若电路中电容的下板带正电，根据电流方向，可知电容器在充电，电感产生的磁场在减弱，故 B 错误；

C. 若电路中电流 i 正在增大，根据电流方向，可知电容器在放电，该电路中电容上的电荷量在减少，故 C 错误；

D. 若电路中电流 i 正在减小，根据电流方向，可知电容器在充电，电容的下板带正电，该电路中电容器里的电场向上，故 D 错误。

故选：A。

7. (4 分) 一台质谱仪的工作原理如图所示，电荷量和质量均相同的粒子飘入电压为 U_0 的加速电场，其初速度几乎为零，这些粒子经加速后通过狭缝 O 沿着与磁场垂直的方向进入匀强磁场，粒子刚好能打在底片上的 M 点。已知放置底片的区域 $MN=L$ ，且 $OM=L$ 。若想要粒子始终能打在底片 MN 上，则加速电场的电压最大为 ()



- A. $\sqrt{2}U_0$
- B. $2U_0$
- C. $4U_0$
- D. $8U_0$

【答案】C

【分析】粒子在电场中加速，应用动能定理可以求出粒子到达 O 点的速度大小。粒子在磁场中做匀速

圆周运动，由洛伦兹力提供向心力，应用牛顿第二定律可以求出粒子的轨迹半径，粒子打到 N 点时，加速电场的电压最大，根据动能定理和牛顿第二定律相结合解答。

【解答】解：粒子打到 M 点时，则粒子在电场中加速，由动能定理得

$$U_0 q = \frac{1}{2} m v_1^2$$

粒子在磁场中做匀速圆周运动，由牛顿第二定律得

$$q v_1 B = m \frac{v_1^2}{r_1}$$

由图知 $L = 2r_1$

粒子打到 N 点时，加速电场的电压最大，则粒子在电场中加速，由动能定理得

$$U q = \frac{1}{2} m v_2^2$$

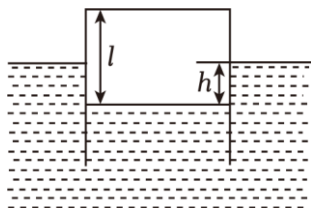
在磁场中，有 $q v_2 B = m \frac{v_2^2}{r_2}$

由图知 $2L = 2r_2$

联立解得： $U = 4U_0$ ，故 ABD 错误，C 正确。

故选：C。

- 8.（4 分）如图所示，将一个铁桶倒扣在水面上，平衡时铁桶内外水面高度差为 h ，桶内空气柱长度为 l 。已知水的密度为 ρ ，铁桶的横截面积为 S ，不计桶壁厚度，忽略封闭气体的质量，设封闭气体的温度不变，水足够深，下列说法正确的是（ ）



- A. 铁桶的质量为 hSp
- B. 铁桶的质量为 lSp
- C. 将铁桶下压 $(l - h)$ 的距离后，桶将自动下沉
- D. 桶受到重力、大气对桶的压力，封闭气体对桶的压力、水对桶的压力和浮力

【答案】A

【分析】铁桶平衡时，根据平衡条件求解铁桶的质量。将铁桶下压，分析气体体积的变化，判断桶的运动情况，结合桶的受力情况分析。

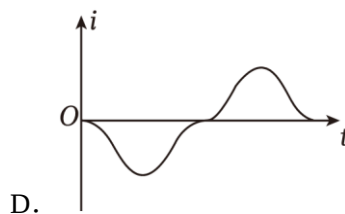
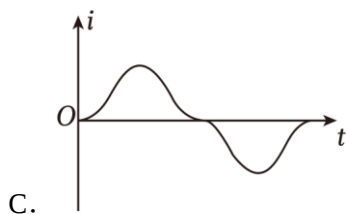
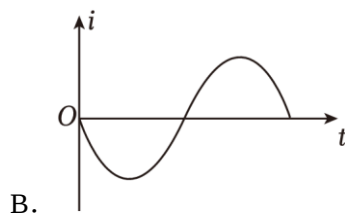
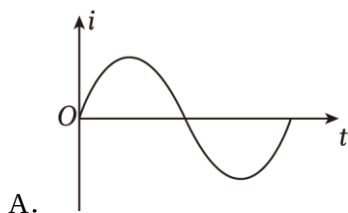
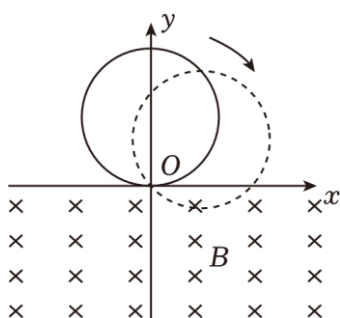
【解答】解：AB、铁桶平衡时，根据平衡条件有： $\rho h S g = m g$ ，解得铁桶的质量为： $m = h S \rho$ ，故 A 正

为

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{20}{21}, \text{ 故 A 正确, BCD 错误.}$$

故选：A。

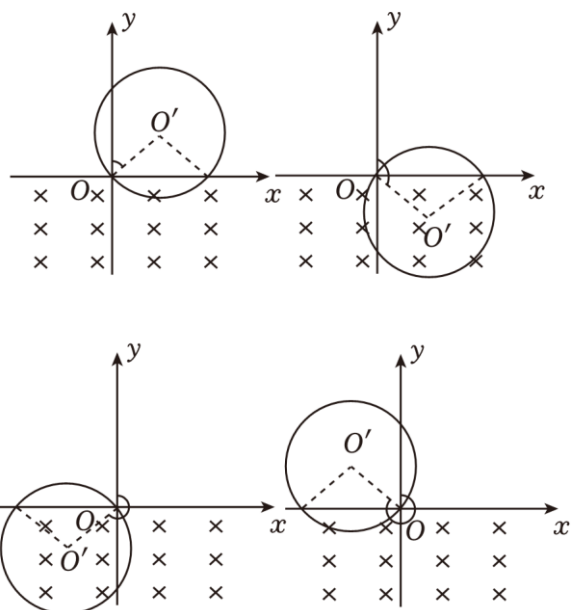
10. (4 分) 如图所示, xOy 平面第三、四象限内有垂直纸面向里的匀强磁场, 圆形金属环与磁场边界相切于 O 点。金属环在 xOy 平面内绕 O 点沿顺时针方向匀速转动, $t=0$ 时刻金属环开始进入第四象限。规定顺时针方向电流为正, 下列描述环中感应电流 i 随时间 t 变化的关系图像可能正确的是 ()



【答案】D

【分析】分段分析, 根据楞次定律判断感应电流 i 的方向。根据法拉第电磁感应定律和欧姆定律相结合分析感应电流 i 的大小变化情况, 再选择图像。

【解答】解: 如图所示。



设金属环转动的角速度大小为 ω ，圆环半径为 r ，电阻为 R 。

在 $0 \sim \frac{\pi}{\omega}$ 内，穿过圆环的磁通量向里增加，根据楞次定律可知，环中感应电流的方向为逆时针，即电流为负，感应电动势大小为

$$E = 2Brsin\omega t \cdot \frac{2r\omega \sin\omega t}{2} = 2r^2\omega \sin^2\omega t$$

则感应电流为 $i = -\frac{E}{R}$

$$\text{即得 } i = -\frac{2\omega Br^2 \sin^2\omega t}{R}$$

在 $0 \sim \frac{\pi}{\omega}$ 内，穿过圆环的磁通量向里减小，根据楞次定律可知，环中感应电流的方向为顺时针，即电流为正，感应电动势大小为

$$E = 2Br\cos(270^\circ - \omega t) \cdot \frac{2r\omega \cos(270^\circ - \omega t)}{2} = 2r^2\omega \sin^2\omega t$$

则感应电流为

$$i = -\frac{2\omega Br^2 \sin^2\omega t}{R}$$

根据数学导数知识可知， $t=0$ 或 $t=\frac{\pi}{\omega}$ 时， $i-t$ 图像的切线斜率为零，故 ABC 错误，D 正确。

故选：D。

二、实验题（共 15 分）

11.（15 分）某实验小组利用油膜法估测油酸分子的大小，实验步骤如下：

A. 取 $V_1=0.2\text{mL}$ 的纯油酸和一定体积的无水酒精配制成 $V_2=1000\text{mL}$ 油酸酒精溶液；

B. 用注射器将配好的油酸酒精溶液一滴一滴地滴入量筒中，测得 $n=80$ 滴油酸酒精溶液的体积为 V_3

=1mL;

C. 取一个直径为 $D=30\text{cm}$ 的水槽，并在水槽中倒入适量的清水，待水面稳定后将适量痱子粉均匀地撒在水面上；

D. 用注射器将配好的油酸酒精溶液滴一滴在水面上，待薄膜形状稳定；

E. 将透明玻璃板盖在水槽上，然后将油膜的形状用记号笔描绘在玻璃板上；

F. 将画有油膜形状的玻璃板平放在坐标纸上，计算出油膜的面积 S 。

回答下列问题：

(1) 将画有油膜形状的玻璃板平放在坐标纸上，如图甲所示，已知坐标纸上小格子的边长为 1cm ，则油膜的面积 $S=$ 7.0×10^{-3} m^2 。

(2) 实验配制的一滴油酸酒精溶液中含有的纯油酸的体积为 2.5×10^{-12} m^3 （结果保留两位有效数字）。

(3) 将油酸分子简化成球形处理，并认为它们紧密排布形成单分子油膜，则油酸分子半径的计算公式为 $r=$

$$\frac{V_1 V_3}{2n V_2 S} \quad (\text{用题目中的物理量符号表示})。$$

(4) 若估测出油酸分子的半径为 r ，已知阿伏加德罗常数为 N_A ，由此可以推算出油酸的 A。

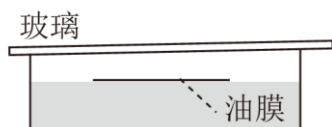
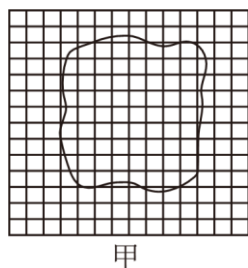
A. 摩尔体积

B. 摩尔质量

C. 密度

D. 平均动能

(5) 在步骤 E 中，由于水槽边缘不平整，盖在水槽上的玻璃板与形成的油膜并不平行，侧视图如图乙所示，则该情况会导致最终测得油酸分子的半径结果 偏小（填“偏大”或“偏小”）。



【答案】(1) 6.9×10^{-3} ，($6.9 \times 10^{-3} \sim 7.1 \times 10^{-3}$ 均算正确)；(2) 2.5×10^{-12} ；(3) $\frac{V_1 V_3}{2n V_2 S}$ ；(4) A；

(5) 偏小。

【分析】（1）采用估算的方法求油膜的面积，通过数正方形的个数：面积超过正方形一半的算一个，不足一半的舍去，数出正方形的总个数乘以一个正方形的面积，近似算出油膜的面积；

（2）根据一滴油酸酒精溶液的体积与浓度的乘积求解一滴油酸酒精溶液中含有的纯油酸的体积；

（3）用纯油酸的体积除以油膜的面积，求解油膜厚度，即为油酸分子的直径，再进一步得到油酸分子半径；

（4）将油酸分子看成球形，估算出一个油酸分子的体积，再乘以阿伏加德罗常数即算得油酸的摩尔体积；

（5）玻璃板与形成的油膜并不平行，根据油膜面积的误差，分析油酸分子的误差。

【解答】解：（1）已知坐标纸上小格子的边长为 1cm ，每个方格的面积为 1cm^2 ，油膜的面积为 1cm^2 乘方格数目，不足半格的不计入，超过半格的按一格计入，油膜覆盖的方格大约在 70 个，因此油膜的面积约为

$$S=70\text{cm}^2=7.0\times 10^{-3}\text{m}^2$$

（2）一滴油酸酒精溶液中含有的纯油酸的体积为

$$V=\frac{V_1}{V_2}\cdot\frac{V_3}{n}$$

代入数据得：

$$V=0.2\times\frac{1}{1000}\times\frac{1}{80}\text{mL}=2.5\times 10^{-12}\text{m}^3$$

（3）用纯油酸的体积除以油膜的面积，得出的油膜厚度，即是油酸分子的直径，根据实验数据，油酸分子的直径为

$$d=\frac{V_1 V_3}{n V_2 S}$$

所以油酸分子的半径为

$$r=\frac{d}{2}=\frac{V_1 V_3}{2n V_2 S}$$

（4）油酸分子可简化成球形处理，估测出其半径，就可估算出一个油酸分子的体积，再乘以阿伏加德罗常数即算得油酸的摩尔体积，不能求出油酸的摩尔质量、密度、平均动能，故 A 正确，BCD 错误。

故选：A。

（5）由于玻璃板和油膜平面不平行，导致在玻璃板上描绘的油膜轮廓围成的面积大于油膜的实际面积，

由 $r = \frac{d}{2} = \frac{V_1 V_3}{2nV_2 S}$ 知最终测得的油膜分子半径偏小。

故答案为：（1） 7.0×10^{-3} ，（ $6.9 \times 10^{-3} \sim 7.1 \times 10^{-3}$ 均算正确）；（2） 2.5×10^{-12} ；（3） $\frac{V_1 V_3}{2nV_2 S}$ ；（4）A；

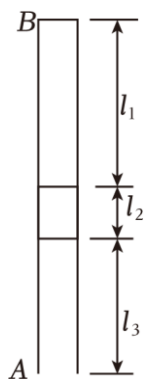
（5）偏小。

三、解答题（8+8+14+15 分）

12.（8 分）如图，一下端 A 开口、上端 B 封闭的细长玻璃管竖直放置。玻璃管的上部封有长 $l_1 = 45\text{cm}$ 的空气柱，中间有一段长 $l_2 = 5\text{cm}$ 的水银柱，下部空气柱的长度 $l_3 = 4\text{cm}$ 。已知大气压强为 $p_0 = 75.0\text{cmHg}$ 。现将玻璃管竖直插入水银槽中，设整个过程温度不变，稳定后上部空气柱的长度为 $l_4 = 42\text{cm}$ 。求：

（1）稳定后上部空气柱的压强 p ；

（2）从玻璃管下端 A 进入玻璃管的水银柱长度。



【答案】（1）稳定后上部空气柱的压强为 75cmHg ；

（2）从玻璃管下端 A 进入玻璃管的水银柱长度为 3.25cm 。

【分析】（1）根据题意得出上部分气体变化前的压强，结合玻意耳定律得出其变化后的压强；

（2）根据玻意耳定律得出下部分气体的长度，根据几何关系得出所求的水银柱的长度。

【解答】解：（1）没有插入水银槽时，上部空气的压强为：

$$p_1 = p_0 - \rho g l_2 = (75 - 5) \text{ cmHg} = 70 \text{ cmHg}$$

对上部空气，根据玻意耳定律得：

$$p_1 l_1 S = p l_4 S$$

解得： $p = 75 \text{ cmHg}$

（2）插入水银槽后，下部空气的压强为：

$$p_2 = p + \rho g l_2 = (75 + 5) \text{ cmHg} = 80 \text{ cmHg}$$

同理，对下部分气体有：

$$p_0 l_3 S = p_2 l_5 S$$

解得： $l_5=3.75\text{cm}$

则从玻璃管下端 A 进入玻璃管的水银柱长度

$$l=l_1+l_2+l_3-(l_4+l_2+l_5)$$

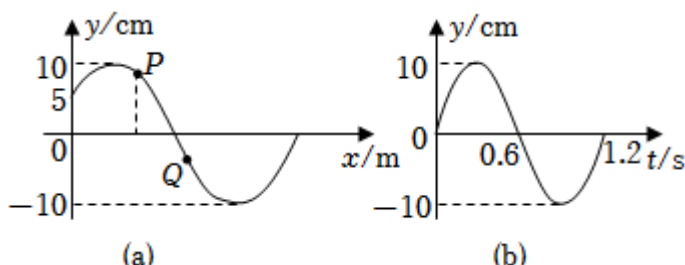
解得： $l=3.25\text{cm}$

答：（1）稳定后上部空气柱的压强为 75cmHg ；

（2）从玻璃管下端 A 进入玻璃管的水银柱长度为 3.25cm 。

- 13.（8 分）一列简谐横波在 $t=0.4\text{s}$ 时的波形图如图（a）所示，P 是介质中的质点，图（b）是质点 P 的振动图像。已知该波在该介质中的传播速度为 20m/s ，求：

- （1）波长和波的传播方向；
（2）质点 P 的平衡位置的 x 坐标。



【答案】（1）波长为 24m ，波的传播方向沿 x 轴负方向；

（2）质点 P 的平衡位置的 x 坐标为 6m 。

【分析】（1）由图（b）得到周期，根据 $v=\frac{\lambda}{T}$ 计算波速，根据振动情况确定传播方向。

（2）写出质点 P 的振动方程，然后求解坐标。

【解答】解：（1）由图像可知，波的周期： $T=1.2\text{s}$

$$\text{根据 } v=\frac{\lambda}{T}$$

可得 $\lambda=24\text{m}$

由振动图像可知， $t=0.4\text{s}$ 时质点 P 沿 y 轴负方向运动所以该波沿 x 轴负方向传播。

（2） $x=0$ 处的质点，从平衡位置到 $y=5\text{cm}$ 处经历的时间 Δt ，则

$$\text{由振动方程 } y=A\sin\frac{2\pi}{T}t \text{ 可得： } \Delta t=\frac{T}{12}$$

所以 P 的平衡位置坐标为 $x_p=v\cdot(t-\Delta t)$

代入数据解得 $x_p=6\text{m}$

答：（1）波长为 24m ，波的传播方向沿 x 轴负方向；

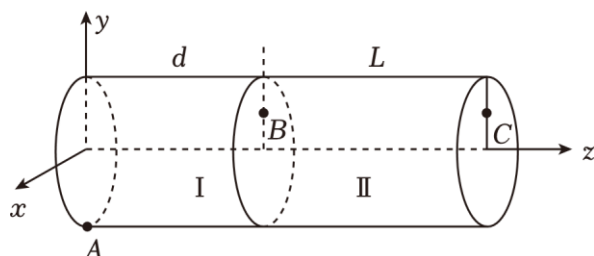
（2）质点 P 的平衡位置的 x 坐标为 6m 。

14.（14 分）用基本原理如图所示的装置做离子控制实验，其相关参数如下：

- ①空腔圆柱截面半径为 R ，壁厚可以忽略不计；
- ②工作区 I 长度 $d=4R$ ，内有沿 y 轴正向的匀强电场；
- ③工作区 II 长度未知，内有沿 z 轴负向的匀强磁场。

现有一质量为 m ，电量为 q 的正离子从左侧截面的最低点 A 处，以初速度 v_0 沿 z 轴正向进入 I 区，经过两个区域分界面上的 B 点进入 II 区，在以后的运动过程中恰好未碰到圆柱腔的内壁，最终从右侧截面上的 C 点飞出， B 点和 C 点均为所在截面处竖直半径的中点（如图中所示），不计粒子重力，求：

- （1）I 区中电场强度的大小 E ；
- （2）II 区中磁感应强度大小 B ；
- （3）II 区的长度 L 应为多大。



【答案】（1）I 区中电场强度的大小为 $\frac{3mv_0^2}{16Rq}$ ；

（2）II 区中磁感应强度大小为 $\frac{2mv_0}{qR}$ ；

（3）II 区的长度 L 应为 $n\pi R$ （ $n=1、2、3\cdots$ ）。

【分析】（1）根据类平抛运动的特点，结合牛顿第二定律得出场强的大小；

（2）根据几何关系得出粒子的运动半径，结合牛顿第二定律得出磁感应强度的大小；

（3）根据周期的计算公式，结合运动学公式得出对应的长度。

【解答】解：（1）离子在 I 区做类平抛运动，根据类平抛规律有

$$4R = v_0 t$$

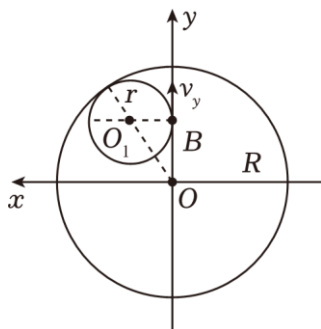
$$\frac{3R}{2} = \frac{1}{2} a t^2$$

根据牛顿第二定律有

$$a = \frac{Eq}{m}$$

解得： $E = \frac{3mv_0^2}{16Rq}$

(2) 离子在 II 区类，做复杂的旋进运动。将该运动分解为圆柱腔截面上的匀速圆周运动和 z 轴正方向的匀加速直线运动，在圆柱腔截面上的匀速圆周运动轨迹如下图所示



设临界圆轨迹半径为 r ，根据几何知识有

$$(R-r)^2 = r^2 + \frac{R^2}{4};$$

离子沿 y 轴正方向有

$$\frac{3R}{2} = \frac{1}{2} v_y t$$

则根据洛伦兹力提供向心力有

$$qv_y B = \frac{mv_y^2}{r}$$

解得 II 区中磁感应强度大小为

$$B = \frac{2mv_0}{qR}$$

(3) 离子在圆柱腔截面上做匀速圆周运动的周期为

$$T = \frac{2\pi r}{v_y}$$

离子在 z 轴的正方向做匀速直线运动，其位移

$$L = v_0 (nT) \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

联立解得： $L = n\pi R \quad (n=1, 2, 3, \dots)$

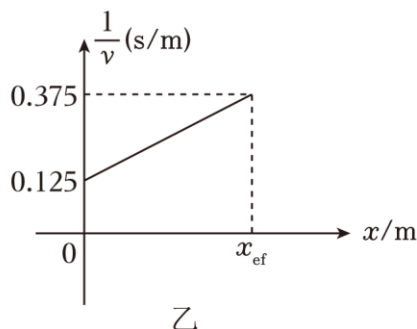
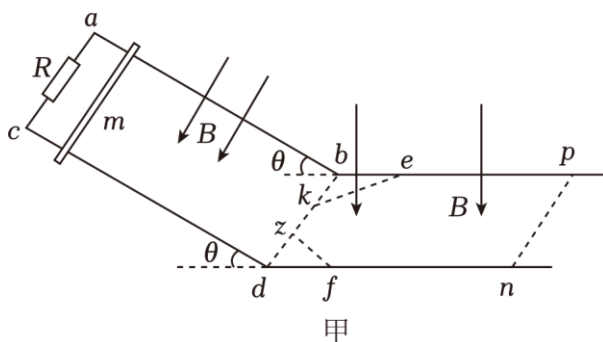
答：(1) I 区中电场强度的大小为 $\frac{3mv_0^2}{16Rq}$ ；

(2) II 区中磁感应强度大小为 $\frac{2mv_0}{qR}$ ；

(3) II区的长度 L 应为 $n\pi R$ ($n=1, 2, 3, \dots$)。

15. (15分) 如图甲所示, 两根完全相同的光滑金属导轨平行放置, 宽 $L=3\text{m}$, 倾斜部分 $abcd$ 与水平方向夹角为 $\theta=30^\circ$, 匀强磁场垂直斜面向下, 磁感应强度 $B=0.5\text{T}$, 轨道顶端 ac 接有电阻 $R=1.5\Omega$ 。导轨水平部分只有边界 zk 、 ke 、 ep 、 pn 、 nf 、 fz 之间有竖直向下的匀强磁场, 磁感应强度大小也为 $B=0.5\text{T}$, 其中磁场左边界 zk 长为 $d=1\text{m}$, 边界 ke 、 zf 与水平导轨间夹角均为 $\alpha=45^\circ$ 且长度相等, 磁场右边界 pn 与两个导轨垂直。一金属棒与导轨接触良好, 在斜面上由静止释放, 到达底端 bd 时已经匀速, 速度大小为 $v_0=8\text{m/s}$ 。当金属棒进入导轨的水平部分时, 给金属棒施加外力, 在轨道水平部分 $zkef$ 之间运动时速度的倒数 $\frac{1}{v}$ 与位移 x 图像如图乙所示, 棒运动到 ef 处时撤去外力, 此时棒速度大小为 $\frac{v_0}{3}$ 。最终金属棒恰能运动到磁场的右边界 pn 处。已知运动中金属棒始终与导轨垂直, 金属棒连入电路中的电阻为 $r=0.5\Omega$ 。 $g=10\text{m/s}^2$ 。求:

- (1) 金属棒的质量 m 的大小;
- (2) 水平磁场边界 ep 的距离大小;
- (3) 金属棒在水平导轨上运动时, 电阻 R 产生的焦耳热。



【答案】(1) 金属棒的质量 m 的大小为 1.8kg ;

(2) 水平磁场边界 ep 的距离大小为 $\frac{64}{15}\text{m}$;

(3) 金属棒在水平导轨上运动时, 电阻 R 产生的焦耳热为 6.3J 。

【分析】(1) 根据题设条件和平衡条件结合动生电动势公式、安培力公式、欧姆定律等求金属棒的质量;

(2) 从撤去外力到运动到 pn 处, 根据动量定理结合法拉第电磁感应定律、欧姆定律等求 ep 的水平距离;

(3) 金属棒进入竖直向下的磁场中, 由于切割的有效长度变化, 根据动生电动势公式、欧姆定律、安培力公式等结合题图 $\frac{1}{v} - x$ 图象的表达式, 联立求出速度 v 的表达式, 安培力表达式, 用平均值法求出克服安培力所做的功, 从而求得焦耳热。

【解答】解：（1）由题意知，金属棒在斜面上运动，匀速时，受力平衡： $F_{安_1} = mg \sin \theta$

而安培力： $F_{安_1} = BIL$

若中电流： $I = \frac{E}{R+r}$

动生电动势： $E = BLv_0$

代入平衡式： $F_{安_1} = mg \sin \theta$

代入数据得到： $m = 1.8 \text{ kg}$

（2）从撤去外力到运动至 pn 处，由动量定理： $I_{安} = 0 - m \frac{v_0}{3}$

而安培力的冲量： $\overline{I_{安}} = -B \overline{IL} \cdot \Delta t$

平均电流： $\overline{I} = \frac{\overline{E}}{R+r}$

根据法拉第电磁感应定律有： $\overline{E} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$

而总的磁通量的变化为： $\Delta \Phi = BLx_{ep}$

代入数据，联立求得： $x_{ep} = \frac{64}{15} \text{ m}$

（3）金属棒在水平轨道 zkef 间运动时，金属棒所受安培力： $F_{安_x} = BI_x L_x$

而电流： $I_x = \frac{E_x}{R+r}$

动生电动势： $E_x = BL_x v$

金属棒切割磁感线的有效长度： $L_x = d + 2x \tan 45^\circ = 1 + 2x$

联立得： $F_{安_x} = \frac{(1+2x)^2 v}{8}$

由图像得： $\frac{1}{v} = \frac{1}{8} + \frac{1}{4}x$

变形得到： $v = \frac{8}{1+2x}$

联立得： $F_{安_x} = 1 + 2x$

金属棒在水平轨道 zkef 间运动过程中

$\overline{F_{安}} = \frac{F_1 + F_2}{2} = \frac{(1+0) + (1+2 \times 1)}{2} \text{ N} = 2 \text{ N}$

$Q_1 = W_{克安} = \overline{F_{安}} x_{ef} = 2 \times 1 \text{ J} = 2 \text{ J}$

$$\text{撤去外力后: } Q_2 = \frac{1}{2} \times 1.8 \times \left(\frac{8}{3}\right)^2 \text{J} = 6.4\text{J}$$

电路产生的焦耳热

$$Q_{\text{总}} = Q_1 + Q_2 = 2\text{J} + 6.4\text{J} = 8.4\text{J}$$

则电阻 R 上产生的焦耳热为

$$Q_R = \frac{R}{R+r} Q = \frac{1.5}{1.5+0.5} \times 8.4\text{J} = 6.3\text{J}$$

答：（1）金属棒的质量 m 的大小为 1.8kg；

（2）水平磁场边界 ep 的距离大小为 $\frac{64}{15}\text{m}$ ；

（3）金属棒在水平导轨上运动时，电阻 R 产生的焦耳热为 6.3J。