

# 2026 北京朝阳高三（上）期末

## 物 理

2026.1

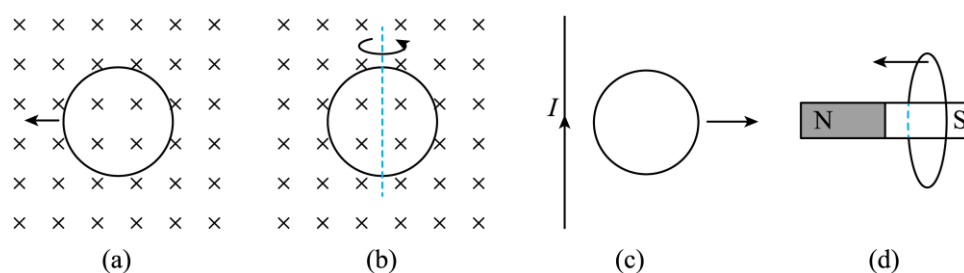
（考试时间 90 分钟 满分 100 分）

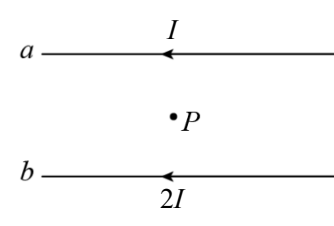
一、本题共 10 小题，每小题 3 分，共 30 分。在每题列出的四个选项中，选出最符合题目要求的一项。

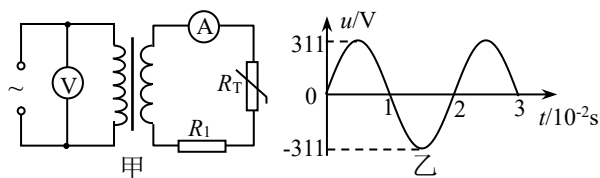
1. 下列说法正确的是

- A. 公式  $E = \frac{F}{q}$  表明，电场强度的大小与试探电荷的电荷量  $q$  成反比
- B. 公式  $E = k \frac{Q}{r^2}$  表明，点电荷周围某点电场强度的大小与其电荷量  $Q$  成正比
- C. 公式  $\varphi = \frac{E_p}{q}$  表明，电场中某点的电势与试探电荷的电荷量  $q$  成反比
- D. 公式  $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$  表明，电场中  $A$ 、 $B$  两点间的电势差与试探电荷的电荷量  $q$  成反比

2. 某圆环做如下运动，下列说法不正确的是

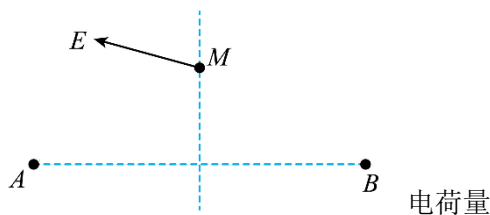


- A. 图(a)中，在匀强磁场中向左平移，圆环最高点与最低点的电势相等，环中无感应电流
  - B. 图(b)中，在匀强磁场中绕轴以不同转速匀速转动时，产生电流的最大值不相等
  - C. 图(c)中，在通有恒定电流的长直导线旁水平向右移动时，受到水平向左的磁场力
  - D. 图(d)中，从图示位置平移至磁铁中心位置的过程中，穿过圆环的磁通量不断增加
3. 如图所示，两根长直平行导线  $a$ 、 $b$ ，分别通以大小为  $I$  和  $2I$  的同向电流，两导线所在的平面内有一点  $P$  到两导线的距离相等。下列说法正确的是
- 
- A. 导线  $a$  受到导线  $b$  的作用力为斥力
  - B. 若仅使导线  $a$  电流加倍，则其受到的安培力也加倍
  - C. 移走导线  $b$  前后， $P$  点的磁感应强度方向不会改变
  - D. 在两导线所在平面外的有限空间内，存在磁感应强度为零的位置
4. 图甲中理想变压器的原、副线圈的匝数比为 10:1， $R_T$  为阻值随温度升高而减小的热敏电阻， $R_1$  为定值电阻，电压表和电流表均为理想电表。原线圈所接电压  $u$  随时间  $t$  按正弦规律变化，如图乙所示。下列说法正确的是



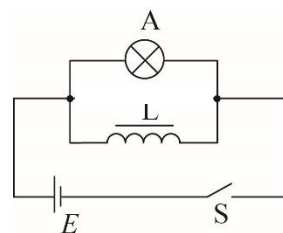
- A. 变压器输入、输出功率之比为 10:1  
 B. 电压表的示数为 311V  
 C. 变压器原线圈两端的电压  $u$  随时间  $t$  变化的规律为  $u = 311\sin 50\pi t$  V  
 D. 若热敏电阻  $R_T$  的温度升高, 则电流表的示数变大

5.  $M$  点是两个固定点电荷  $A$ 、 $B$  连线中垂线上的一点, 其电场强度的方向如图所示。取无穷远处为电势零点。下列说法正确的是



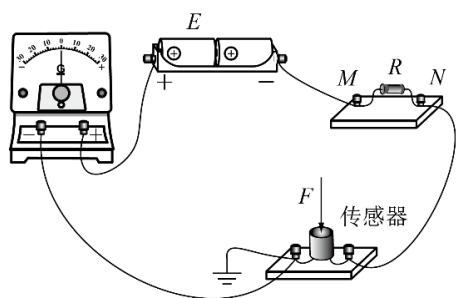
- A.  $A$  带正电,  $B$  带负电  
 B.  $A$  的电荷量大于  $B$  的电荷量  
 C. 若仅使  $A$  的电荷量增大, 则  $M$  点的电势会升高  
 D. 若使  $A$  和  $B$  的电荷量均变为原来的 2 倍, 则  $M$  点的场强大小也变为原来的 2 倍

6. 在研究自感现象的实验中, 按图示方式连接电路。设灯泡正常发光时的电阻为  $R_A$ , 带铁芯的线圈  $L$  的电阻为  $R_L$ , 且  $R_L < R_A$ , 电源内阻忽略不计。先闭合开关, 电路稳定后灯泡正常发光。下列说法正确的是

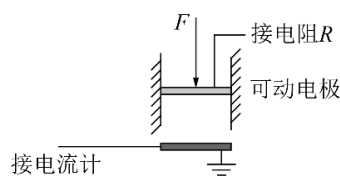


- A. 断开开关后, 灯泡  $A$  不会出现闪亮现象  
 B. 断开开关前后, 流经灯泡  $A$  的电流方向不变  
 C. 若拔去线圈中的铁芯再次实验, 断开开关瞬间流经灯泡  $A$  的电流比没有拔铁芯时的小  
 D. 若拔去线圈中的铁芯再次实验, 断开开关后灯泡  $A$  消耗的电能比没有拔铁芯时的小

7. 图甲是使用电容式压力传感器测量微小压力的原理图。电池组  $E$ 、定值电阻  $R$ 、灵敏电流计和压力传感器构成闭合回路,  $M$ 、 $N$  为电阻  $R$  的两个接线柱。压力传感器可简化为一个电容器, 如图乙所示, 固定电极接地, 当待测压力  $F$  作用于可动电极时, 电极间距  $d$  会发生改变。已知电容器的电容  $C \propto \frac{1}{d}$ , 电极间距的变化量正比于压力的变化量。电流从灵敏电流计的“+”接线柱流入时其指针向右偏转。若待测压力  $F$  突然增大时



甲



压力传感器内部结构原理

乙

A. 压力传感器的电容将减小

B.  $M$ 点的电势低于 $N$ 点的电势

C. 灵敏电流表指针向左偏转

D. 若电流计示数稳定且不为零, 说明压力 $F$ 随电极间距均匀变化

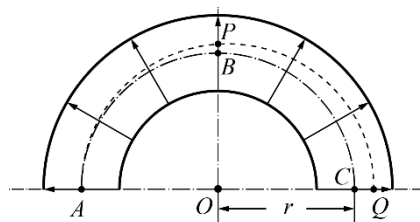
8. 某种静电分析器的原理简图如图所示, 在两半圆形圆弧板组成的管道中加有径向电场。一动能为 $E_k$ 的电子 $a$ 自 $A$ 点垂直电场入射, 恰好做圆周运动, 轨迹为 $ABC$ , 半径为 $r$ 。另一电子 $b$ 自 $A$ 点垂直电场入射, 轨迹为 $APQ$ , 其中 $P$ 、 $B$ 、 $O$ 三点共线, 已知 $B$ 、 $P$ 两点间的电势差为 $U$ ,  $CQ=2BP$ 。电子的电荷量为 $e$ 。则

A.  $P$ 点的电场强度大于 $C$ 点的电场强度

B.  $B$ 点的电场强度大小为 $\frac{E_k}{er}$

C. 电子 $b$ 从 $A$ 点到 $Q$ 点电势能的增加量小于 $2eU$

D. 电子 $b$ 在 $P$ 点的动能小于在 $Q$ 点的动能



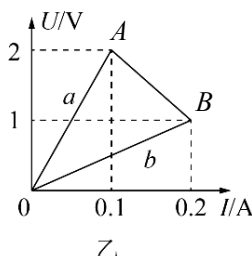
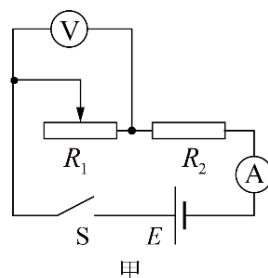
9. 图甲电路中的 $R_1$ 是可变电阻,  $R_2$ 是定值电阻, 电源内阻不计。实验时调节 $R_1$ 的阻值, 得到多组电压和电流的数据, 用这些数据作出的 $U-I$ 图像如图乙中的直线 $AB$ 所示。下列说法正确的是

A. 直线 $a$ 的斜率表示 $R_1$ 的阻值, 直线 $b$ 的斜率表示 $R_2$ 的阻值

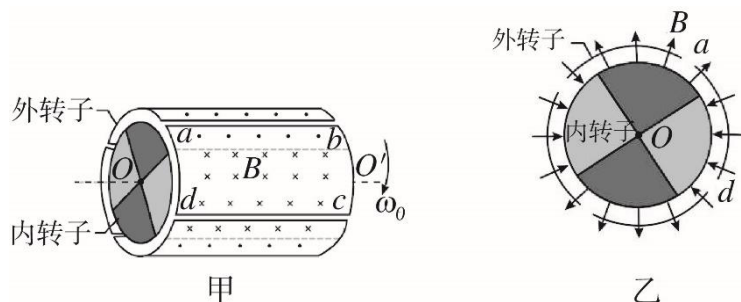
B. 本实验电源电动势的测量值为 $2V$

C.  $R_1$ 消耗的最大电功率为 $0.225W$

D. 若不考虑偶然误差, 本实验测得的电动势大于电源电动势的实际值



10. 圆筒式磁力耦合器由内转子、外转子两部分组成, 工作原理如图甲所示。内、外转子可绕中心轴 $OO'$ 转动。两转子间距可忽略。外转子处在半径为 $r$ 的圆周上, 由四个相同的单匝线圈紧密围成, 每个线圈的电阻均为 $R$ , 直边的长度均为 $L$ , 与轴线平行。内转子由四个形状相同的永磁体组成, 磁体产生径向磁场, 线圈处的磁感应强度大小均为 $B$ 。外转子转动后, 连接负载的内转子也会随之转动起来。某时刻线圈 $abcd$ 的直边 $ab$ 与 $cd$ 处的磁场方向截面图如乙图所示。系统达到稳定后, 内、外转子分别以角速度 $\omega$ 、 $\omega_0$ 匀速转动, 线圈中产生大小为 $I$ 的感应电流。不计所有摩擦。下列说法正确的是



A. 感应电流 $I = \frac{BLr(\omega_0 - \omega)}{R}$

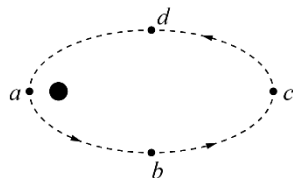
B. 线圈中感应电流的变化周期 $T = \frac{2\pi}{\omega_0 - \omega}$

C. 维持外转子匀速转动的外力功率为  $P = 8BIL\omega_0 r$

D. 若突然增大内转子上连接的负载，则线圈中的感应电流将突然减小

二、本题共 4 小题，每小题 3 分，共 12 分。在每小题列出的四个选项中，有多个选项是符合题目要求的。全部选对得 3 分，选对但不全得 2 分，错选不得分。

11. 图示虚线为电子绕某固定电荷  $+Q$  运行的椭圆形轨道， $a$ 、 $c$  为椭圆轨道长轴的端点， $b$ 、 $d$  为椭圆轨道短轴的端点。电子沿图中箭头方向运行，运动周期为  $T$ 。若电子某时刻位于  $a$  点，再经过时间  $t$  第一次到达  $d$  点。则下列说法正确的是



A.  $\frac{1}{2}T < t < \frac{3}{4}T$

B.  $\frac{3}{4}T < t < T$

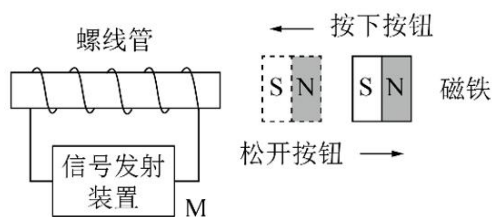
C. 电子从  $a$  点运动到  $d$  点的过程中速度先增大后减小

D. 电子从  $a$  点运动到  $d$  点的过程中电势能先增大后减小

12. 图甲为某无线门铃按钮，其原理如图乙所示。其中  $M$  为信号发射装置， $M$  中有电流通过时，门铃会发出声音。磁铁固定在按钮内侧，按下门铃按钮，磁铁靠近螺线管，松开门铃按钮，磁铁远离螺线管回归原位。下列说法正确的是



甲



乙

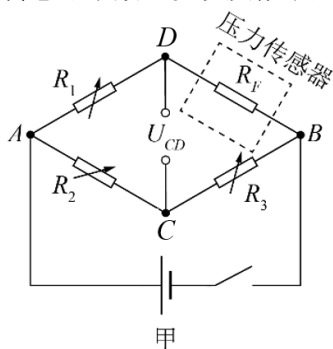
A. 门铃的工作原理主要是应用了电流的磁效应

B. 按下按钮的过程中，通过  $M$  中的电流方向从左向右

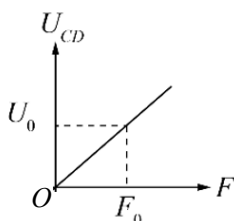
C. 按住按钮不动后， $M$  中不会产生感应电流

D.  $M$  中的电流大小仅由磁铁的磁性强弱决定

13. 某小组利用半导体薄膜压力传感器等元件设计了一个测量微小压力的装置，其电路如图甲所示， $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  为电阻箱， $R_F$  为半导体薄膜压力传感器， $C$ 、 $D$  间连接电压传感器（内阻可视为无穷大）。读出电压传感器示数  $U_{CD}$  以及微小压力  $F$ ，可得到图示的  $U_{CD}-F$  图像。下列说法正确的是



甲



乙

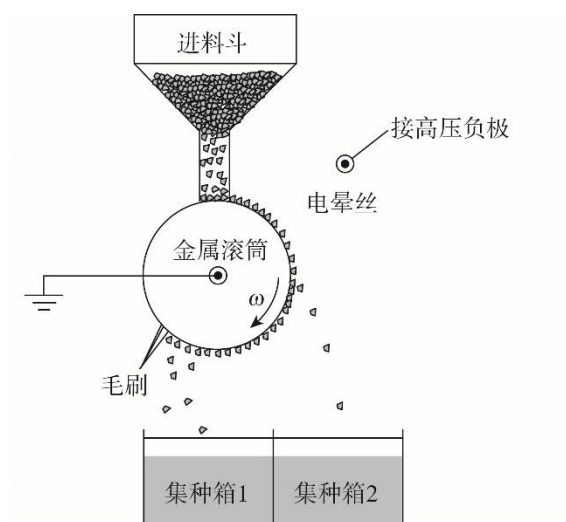
A. 电压传感器示数为 0 时,  $R_F$  的阻值为  $\frac{R_3 R_1}{R_2}$

B. 若压力增大, 则  $R_F$  的阻值将随之增大

C. 若换用非理想电压表测量  $C$ 、 $D$  间的电压, 则测得的电压会偏大

D. 若换用非理想电压表测得  $C$ 、 $D$  间的电压为  $U_0$  时, 此时的实际压力大于  $F_0$

14. 现代农业常用电晕-滚筒分选机实现精良选种, 其装置简图如图所示。金属滚筒接地, 与滚筒轴线平行的电晕丝接高压负极, 两者间形成了辐射状的强电场, 电晕丝附近极易引发电晕放电, 产生大量电子。混合种子从进料斗落入该电场区域后, 所有种子会带上负电。带电种子落到转动的金属滚筒表面时, 饱满种子的导电性相对较好, 其电荷迅速经滚筒导入大地, 呈电中性; 干瘪种子因导电性差, 其负电荷无法释放, 被静电力牢牢“钉”在滚筒上, 由毛刷将其强制剥离, 这是滚筒下两个集种箱能收集不同品质种子的主要原因。事实上, 由于种子不属于电的良导体, 在该电场中也会受到一种微弱的、指向电晕丝的“偏向力”, 这是因为在外电场作用下, 致使种子一端显正电, 另一端显负电。相对而言, 干瘪种子受到的“偏向力”更微弱。不计空气阻力。根据上述信息并结合所学知识, 下列推断正确的是



A. 集种箱 2 主要收集到的是饱满种子

B. 饱满种子离开滚筒后, 其运动轨迹不是抛物线

C. 在研究种子所受“偏向力”产生的原因时, 可将种子视为质点

D. 若使用匀强电场选种, 会比非匀强电场效果更好

三、本题共 2 小题, 共 18 分。把答案填在答题纸相应的横线上。

15. (8 分) 多用电表是常用的测量工具。

(1) 某实验小组利用图 1 所示的多用电表测量一节干电池的电动势, 应选择\_\_\_\_\_ (选填“直流电压挡”“交流电压挡”或“欧姆挡”), 机械调零后, 测量前无需进行的操作是\_\_\_\_\_ (选填“选择合适量程”或“欧姆调零”), 测量时红表笔应接干电池的\_\_\_\_\_ (选填“正极”或“负极”)。

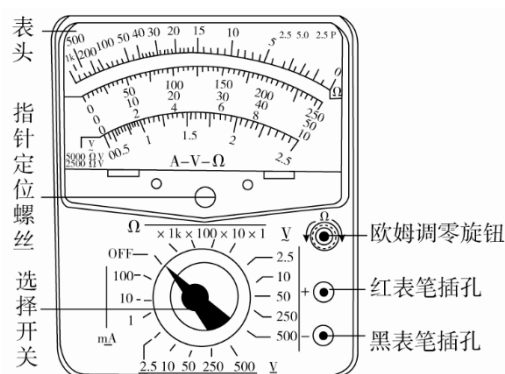


图 1

(2) 某同学需将一电流表(满偏电流为  $250\mu\text{A}$ , 内阻为  $1.2\text{k}\Omega$ ) 改装成有两个量程的电流表, 设计电路如图 2 所示, 其中  $R_1=40\Omega$ ,  $R_2=360\Omega$ 。当开关 S 接 A 时, 该电流表的量程为\_\_\_\_\_mA; 当开关 S 接 B 时, 该电流表的量程比接 A 时的量程\_\_\_\_\_ (选填“大”或“小”)。

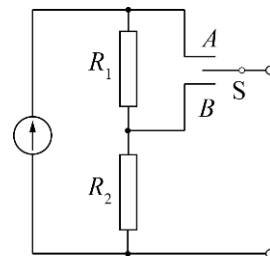


图2

(3) 若选用量程合适的电压表(内阻未知)和(2)问中的改装电流表测量某未知电阻的阻值, 不考虑偶然误差, 则使用图 3 中的\_\_\_\_\_ (选填“甲”或“乙”) 电路, 可修正由电表内阻引起的实验误差。

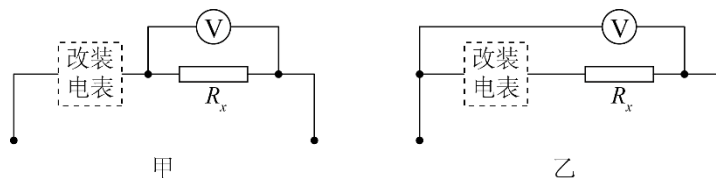


图3

#### 16. (10 分)

利用如图 1 所示的电路研究电容器的充、放电规律, 其中数字电压表 V 的内阻可视为无穷大。

(1) 关于本实验, 以下说法正确的是\_\_\_\_\_。

- A. 开关 S 接 1, 电压表示数不断增大, 随后逐渐稳定在某一数值
- B. 开关 S 接 1, 电流表指针迅速偏至最大值, 随后逐渐指在 0 刻度处
- C. 开关 S 接 1 和接 2, 电压表会出现正、负示数的变化
- D. 其他器材都相同, 若使用的电容器电容越大, 充电过程中电流的最大值就越大

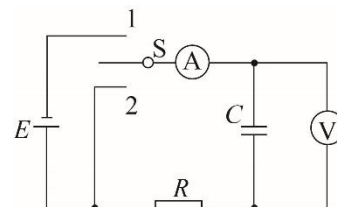
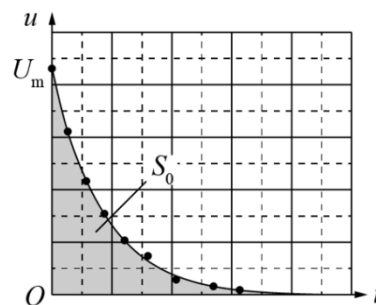


图1

(2) 使用上述电路记录的电容器放电过程中电压  $u$  随时间  $t$  变化的图像如图 2 所示。已知  $t=0$  时电压表的示数为  $U_m$ 。通过数据处理可得到该图线与坐标轴围成的“面积”约为  $S_0$  (单位:  $\text{V} \cdot \text{s}$ )。已知定值电阻  $R$  的阻值为  $R_1$ 。根据上述数据可估算该电容器的电容  $C=_____$ 。



(3) 已知图 2 中的曲线符合方程  $u = U_m e^{-\frac{t}{RC}}$  (式中  $R$  为放电电路的电阻值,  $e$  为自然常数), 该方程中“ $RC$ ”的国际单位是\_\_\_\_\_ (用国际基本单位表示)。

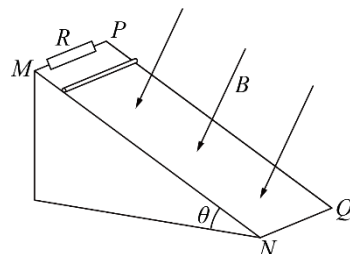
(4) 结合(2)问中的图像和(3)问中的方程式, 可测得“ $RC$ ”的数值。仅不断改变图 1 中定值电阻  $R$  的阻值, 多次重复实验, 结果显示测量值“ $RC$ ”总是大于“ $R_{\text{标}}C_{\text{标}}$ ”(  $R_{\text{标}}$  为定值电阻标称的准确值,  $C_{\text{标}}$  为电容器电容标称的准确值), 且二者的差值基本不变。请分析解释其原因。



四、本题共 4 小题，共 40 分。解答应写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤。只写出最后答案的不能得分，有数值计算的题，答案中必须明确写出数值和单位。把解答过程填在答题纸相应的空白处。

17. (9 分)

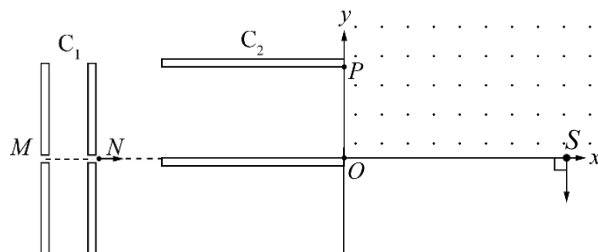
如图所示，两条固定的平行光滑金属导轨  $MN$ 、 $PQ$  与水平面夹角为  $\theta=30^\circ$ ，轨道间距  $d=1.0\text{m}$ 。空间存在匀强磁场，磁场方向垂直于轨道平面向下，磁感应强度大小  $B=1.0\text{T}$ ， $P$ 、 $M$  间连接阻值  $R=3.0\Omega$  的电阻。长度也为  $d$  的金属杆放置在导轨上，其两端与导轨接触良好，某时刻由静止释放。已知金属杆质量  $m=0.5\text{kg}$ ，电阻  $r=1.0\Omega$ 。导轨足够长且电阻不计。重力加速度  $g=10\text{m/s}^2$ 。



- (1) 求金属杆运动过程中的最大加速度大小  $a$ ;
- (2) 求金属杆运动过程中的最大速度大小  $v$  以及此时金属杆两端的电压  $U$ ;
- (3) 简要说明金属杆达到最大速度后该装置中能量的转化情况。

18. (9 分)

如图所示，直角坐标系  $xOy$  中第 I 象限内存在垂直纸面向外的匀强磁场。第 II、III 象限内有两平行板电容器  $C_1$ 、 $C_2$ ，其中  $C_1$  垂直  $x$  轴放置，极板与  $x$  轴相交处存在小孔  $M$ 、 $N$ ； $C_2$  垂直  $y$  轴放置，上、下极板右端分别紧贴  $y$  轴上的  $P$ 、 $O$  点。一质量为  $m$ 、带电量为  $q$  的粒子在小孔  $M$  处由静止释放，经电场加速后从小孔  $N$  射出，紧贴  $C_2$  下极板进入  $C_2$ ，之后从  $P$  点进入第 I 象限，经磁场偏转后恰好从  $S$  点垂直  $x$  轴射出。已知  $O$ 、 $P$  点间距为  $d$ ，两平行板电容器  $C_1$ 、 $C_2$  的板间电压均为  $U$ ，板间电场均视为匀强电场，忽略边缘效应。不计粒子重力及空气阻力。求：



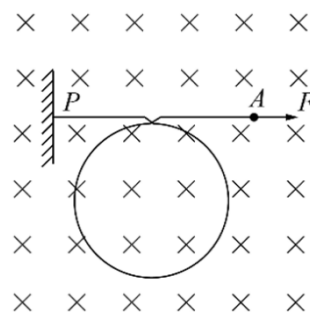
- (1) 粒子经过  $N$  点时的速度大小  $v_N$ ;
- (2) 粒子经过  $P$  点时的速度方向与  $y$  轴正方向的夹角  $\theta$ ;
- (3) 磁场的磁感应强度大小  $B$ 。

19. (10 分)

用匀质柔软导线绕制成半径为  $r_0$  的圆环，将其置于磁感应强度恒定的匀强磁场中，磁场方向垂直于圆环平面，导线单位长度的电阻为  $R_0$ 。某同学分别设计了下列方案测量磁感应强度的大小。

- (1) 方案一：在  $t_0$  时间内使圆环平面翻转  $180^\circ$ ，通过实验测得流过圆环的平均电流大小为  $I_1$ ，求磁感应强度的大小  $B$ ;
- (2) 方案二：设法使圆环半径  $r$  随时间  $t$  的变化规律为  $r=r_0-\alpha t$  (常数  $\alpha>0$ )，用电流传感器 (内阻忽略不计) 可测得流过圆环的电流大小几乎为定值，大小为  $I_2$ ，求磁感应强度的大小  $B$ ；(对于极小物理量  $x$ ，可取  $x^2\approx 0$ )

(3) 方案三：如图所示，保持导线的一端  $P$  点固定，在导线的另一端  $A$  点施加始终沿导线方向的恒定拉力  $F$ ，使线圈半径逐渐缩小（线圈缩小过程中可视为始终保持圆的形状），经过时间  $t_0$  圆环完全消失。该过程中导线相交处保持良好的电接触。不计导线质量及导线间摩擦。求磁感应强度的大小  $B$ 。



20. (12 分)

质疑是推动科学向前发展的重要动力。

如图所示，光滑绝缘水平面上两个相同的、带正电的金属球甲、乙，电荷量分别为  $2Q$  与  $Q$ 。甲球固定在  $A$  点，乙球位于  $B$  点，相距  $L$ 。现使乙球以初速度  $v_1$  向甲球运动，之后与甲球发生碰撞，碰后两球电量平分，且乙球以原速率反弹，返回  $B$  点时的速度大小为  $v_2$ 。乙球运动过程中电荷量不发生变化。不计空气阻力。两小球在碰前以及碰后的相互作用过程中均可视为点电荷。

(1) 设乙球从  $B$  点出发至碰前克服电场力做功为  $W_1$ ，碰后返回至  $B$  点电场力对其做功为  $W_2$ 。请推理说明  $W_2 > W_1$ 。

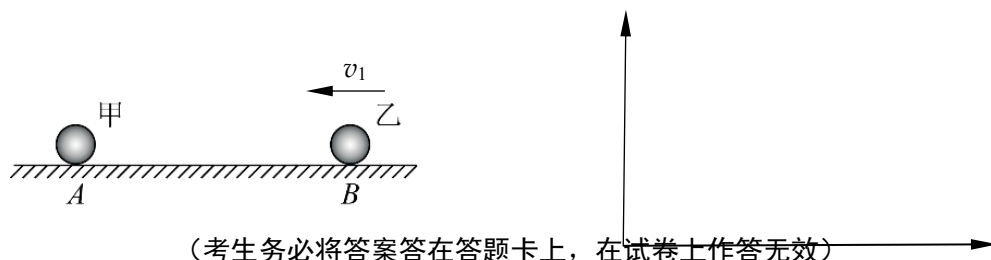
(2) 取无穷远处为电势零点，真空中电荷量为  $Q$  的点电荷在距离  $r$  处的电势为  $\varphi = k \frac{Q}{r}$ 。

a. 请从电势的定义式出发，推理说明乙球从  $B$  点出发至返回  $B$  点的过程中，甲、乙两球之间相互作用的电势能增加，并求出此增加量  $\Delta E_p$ 。

b. 小明同学对上述过程进行综合分析，由于  $W_2 > W_1$ ，则应当有  $v_2 > v_1$ ，即系统的动能也在增加，这不符合能量守恒定律。他通过查阅资料得知：带电小球自身也具有能量，称为自能。若将带电小球视为无穷多个带电微元，将这无穷多个微元从无限远处一个一个移送到小球表面过程中，克服静电斥力所做的功就等于该带电小球自能的大小。设两球半径均为  $R$ ，且  $L \gg R$ 。

(i) 请在坐标系中做出合适的物理图像，利用该图像并结合相关知识，计算电荷量为  $Q$  的孤立金属小球的自能  $E_{\text{自}}$ ；

(ii) 请结合上述自能的相关知识，推理说明乙球从  $B$  点出发至返回  $B$  点的过程中，甲、乙两球自身以及相互之间所具有的总势能是减少的。





# 参考答案

(考试时间 90 分钟 满分 100 分)

一、本题共 10 小题，每小题 3 分，共 30 分。在每题列出的四个选项中，选出最符合题目要求的一项。

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
答案	B	A	B	D	D	D	B	C	C	C

二、本题共 4 小题，每小题 3 分，共 12 分。在每小题给出的四个选项中，有多个选项是符合题目要求的。全部选对得 3 分，选对但不全得 2 分，错选不得分。

题号	11	12	13	14
答案	BD	BC	AD	AB

三、本题共 2 小题，共 18 分。把答案填在答题纸相应的横线上。

15. (8 分)

(1) 直流电压挡；欧姆调零；正极 (3 分)

(2) 1；大 (2 分)

(3) 乙 (3 分)

16. (10 分)

(1) AB (3 分)

(2)  $\frac{S_0}{U_m R_1}$  (2 分)

(3) 秒 (2 分)

(4) 因为电流表有内阻，实验测得的电阻值包含了电流表内阻，因此测量值偏大。二者差值等于电流表内阻与电容的乘积，为定值。 (3 分)

三、本题共 4 小题，共 40 分。解答应写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤。只写出最后答案的不能得分，有数值计算的题，答案中必须明确写出数值和单位。把解答过程填在答题纸相应的空白处。

17. (9 分)

解：(1) 金属杆刚释放时加速度最大，根据牛顿第二定律有

$$mg \sin \theta = ma$$

得  $a=5\text{m/s}^2$  (3 分)

(2) 金属杆达到最大速度时加速度为零，根据平衡条件有

$$mg \sin \theta = BId$$

金属杆产生的感应电动势  $E = Bdv$

回路的感应电流  $I = \frac{E}{R+r}$

$$U=E-Ir$$

得  $v = 10\text{m/s}$

$$U=7.5\text{V} \quad (4 \text{ 分})$$

(3) 金属杆达到最大速度后其减少的重力势能全部转化为电路中的电热。 (2 分)

18. (9 分)

解: (1) 粒子从  $M$  到  $N$  的运动过程中, 根据动能定理, 有

$$qU = \frac{1}{2}mv_N^2$$

得 
$$v_N = \sqrt{\frac{2qU}{m}} \quad (3 \text{ 分})$$

(2) 粒子在  $C_2$  中, 根据牛顿运动定律有

$$q\frac{U}{d} = ma$$

根据匀变速直线运动规律有  $2ad = v_y^2$

$$\tan \theta = \frac{v_N}{v_y}$$

得  $\theta = 45^\circ \quad (3 \text{ 分})$

(3) 粒子在  $P$  处时的速度大小为  $v_p = \sqrt{2}v_N$

在磁场中运动时, 洛伦兹力提供向心力, 根据牛顿第二定律有

$$qv_p B = \frac{mv_p^2}{R}$$

其中  $R = \sqrt{2}d$

得 
$$B = \frac{1}{d} \sqrt{\frac{2mU}{q}} \quad (3 \text{ 分})$$

19. (10 分)

解: (1) 磁通变化量为  $\Delta\Phi = 2\pi Br_0^2$

根据法拉第电磁感应定律有

平均感应电动势 
$$\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{t_0}$$

根据欧姆定律有 
$$I_1 = \frac{\bar{E}}{2\pi r_0 R_0}$$

得 
$$B = \frac{I_1 t_0 R_0}{r_0} \quad (3 \text{ 分})$$

(2) 设  $t$  时刻圆环的半径为  $r$ , 该时刻的感应电动势可视为极短时间  $\Delta t$  内的平均感应电动势, 根据法拉第电磁感应定律, 有

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\pi Br^2 - \pi B(r - \Delta r)^2}{\Delta t}$$

将  $r=r_0-\alpha t$ ,  $\frac{\Delta r}{\Delta t}=\alpha$  代入上式, 并取  $\Delta r^2 \approx 0$

得  $E=2\pi\alpha Br$

$t$  时刻线圈的电阻为  $R=2\pi r R_0$

根据闭合电路欧姆定律有  $I_2 = \frac{E}{R}$

得  $B = \frac{I_2 R_0}{\alpha}$  (3 分)

(3) 方法一:

设极短时间  $\Delta t$  内, 圆环半径由  $r$  变化为  $r-\Delta r$  ( $\Delta r$  极小), 此过程圆环中的感电动势  $E$  可视为定值, 外力做功等于回路中产生的电热, 有

$$F \cdot 2\pi \cdot \Delta r = \frac{E^2}{R_0 \cdot 2\pi r} \Delta t$$

且  $E = B \frac{\Delta S}{\Delta t}$

其中  $\Delta S$  为圆环面积的变化量, 由于  $\Delta r$  极小, 则

$$\Delta S = 2\pi r \cdot \Delta r$$

联立上述各式有  $2\pi F R_0 \Delta t = B^2 \Delta S$

对上式两边分别累加有  $\Sigma(2\pi F R_0 \cdot \Delta t) = \Sigma(B^2 \cdot \Delta S)$

即  $2\pi F R_0 t_0 = B^2 \cdot \pi r_0^2$

得  $B = \sqrt{\frac{2F R_0 t_0}{r_0^2}}$  (4 分)

方法二:

在圆环逐渐缩小的过程中, 导线受到的安培力阻碍圆环缩小。由于圆环质量不计, 在圆环的每一小段上, 拉力  $F$  与安培力合力为零。取圆环上极小长度  $\Delta l$ , 其对应的圆心角为  $\Delta\alpha$ , 如图所示, 有

$$2F \sin \frac{\Delta\alpha}{2} = Bi \cdot \Delta l$$

因  $\Delta\alpha$  极小, 有  $\sin \frac{\Delta\alpha}{2} \approx \frac{\Delta\alpha}{2}$

即  $F \cdot \Delta\alpha = Bi \cdot \Delta l$

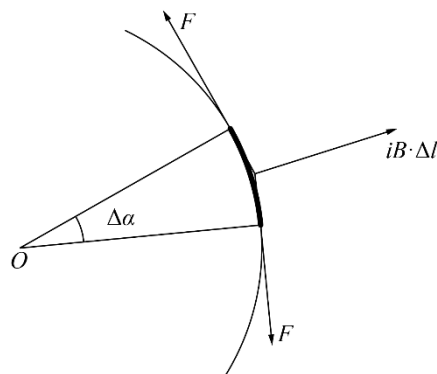
其中  $\Delta l = r \Delta\alpha$

得  $F = Bir$

根据法拉第电磁感应定律, 有  $E = B \frac{\Delta S}{\Delta t}$

根据欧姆定律有  $i = \frac{E}{2\pi r R_0}$

联立上述三式有  $2\pi F R_0 \Delta t = B^2 \Delta S$



对上式两边分别累加有  $\Sigma(2\pi FR_0 \cdot \Delta t) = \Sigma(B^2 \cdot \Delta S)$

即  $2\pi FR_0 t_0 = B^2 \cdot \pi r_0^2$

得  $B = \sqrt{\frac{2FR_0 t_0}{r_0^2}}$  (4分)

20. (12分)

解: (1) 碰后两球电荷量均变为  $\frac{3}{2}Q$ , 当两球间距为  $r$  时, 根据库仑定律有

碰前的电场力  $F_1 = k \frac{2Q^2}{r^2}$

碰后的电场力  $F_2 = k \frac{9Q^2}{4r^2}$

总有  $F_2 > F_1$

而乙球往返的路程相同, 因此有

$$W_2 > W_1 \quad (3分)$$

(2) a. 乙球从  $B$  点出发时, 两球之间相互作用的电势能

$$E_{p1} = Q \cdot k \frac{2Q}{L} = k \frac{2Q^2}{L}$$

乙球返回  $B$  点时, 两球之间相互作用的电势能

$$E_{p2} = \frac{3Q}{2} \cdot k \frac{3Q}{2L} = k \frac{9Q^2}{4L}$$

显然  $E_{p2} > E_{p1}$ , 即甲、乙两球之间的电势能增加量

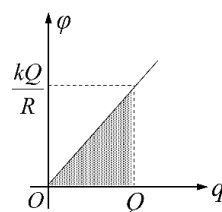
$$\Delta E_p = E_{p2} - E_{p1} = \frac{kQ^2}{4L} \quad (3分)$$

b.

(i) 做出  $\varphi - q$  图像, 其面积表示把相距无穷远处的带电微元一个一个移送到导体小球的表面上的过程中, 克服静电斥力所做的功。

即 
$$W = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot \frac{kQ}{R} = \frac{kQ^2}{2R}$$

根据功能关系得  $E_{\text{自}} = W = \frac{kQ^2}{2R} \quad (3分)$



(ii) 乙球从  $B$  点出发时, 甲、乙两球自身的能量分别为

$$E_{\text{A自}} = \frac{k(2Q)^2}{2R} = \frac{2kQ^2}{R}$$

$$E_{\text{B自}} = \frac{kQ^2}{2R}$$

则甲、乙两球自身的总和  $E_{\text{初}} = E_{\text{A自}} + E_{\text{B自}} = \frac{5kQ^2}{2R}$

同理可得乙球返回  $B$  点时  $E_{\text{A自}}' = E_{\text{B自}}' = \frac{9kQ^2}{8R}$

$$E_{\text{末}} = E_{\text{A自}}' + E_{\text{B自}}' = \frac{9kQ^2}{4R}$$

因此两球自能的减小量  $\Delta E_{\text{自}} = E_{\text{自初}} - E_{\text{自末}} = \frac{kQ^2}{4R} > 0$

又由于  $L \gg R$ ，可知  $\Delta E_{\text{自}} > \Delta E_p$ ，说明系统总的势能减少了。 (3 分)