

本试卷共 8 页，100 分。考试时长 90 分钟。考生务必将答案答在答题纸上，在试卷上作答无效。考试结束后，将本试卷和答题纸一并交回。

第一部分

本部分共 10 题，每题 3 分，共 30 分。在每题给出的四个选项中，有的题只有一个选项是正确的，有的题有多个选项是正确的。全部选对的得 3 分，选不全的得 2 分，有选错或不答的得 0 分。把正确的答案填涂在答题纸上。

1. 如图 1 所示，三个同心圆是带正电的点电荷周围的三个等势面，同一条电场线上的 A、B、C 三点分别位于三个等势面上，其电场强度的大小分别为 E_A 、 E_B 、 E_C ，A、B 两点间的电势差为 U_{AB} ，B、C 两点间的电势差为 U_{BC} 。已知三个圆的半径关系为 $r_C - r_B = r_B - r_A$ 。下列判断正确的是

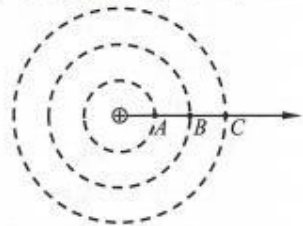


图 1

- A. $E_A > E_B > E_C$ B. $E_A = E_B = E_C$
 C. $U_{AB} = U_{BC}$ D. $U_{AB} > U_{BC}$

2. 某理想变压器的原线圈接在如图 2 所示的正弦式交流电源上，副线圈接一个阻值为 $10\ \Omega$ 的电阻。已知原、副线圈的匝数之比为 11:5，下列说法正确的是

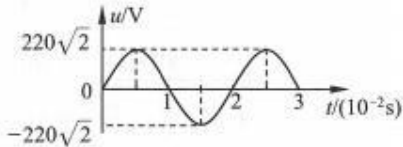


图 2

- A. 原线圈两端电压的有效值为 $220\sqrt{2}\ \text{V}$
 B. 副线圈中电流的有效值为 10 A
 C. 变压器的输入功率为 $1 \times 10^3\ \text{W}$
 D. 经过 1 min，电阻上产生的热量为 $6 \times 10^3\ \text{J}$

3. 铁芯上绕有两个线圈 M 和 N，如图 3 所示。为了能使线圈 N 中产生感应电流，在线圈 M 中通入的电流 i 随时间 t 的变化关系可以是图 4 中的



图 3

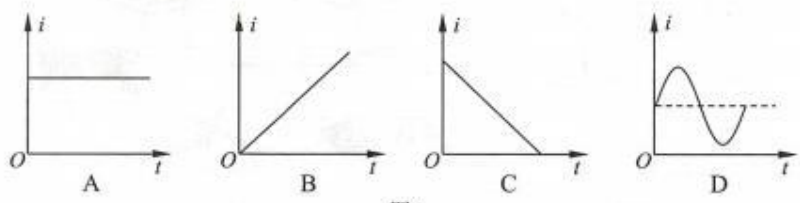


图 4

4. 在图 5 所示的电路中, 电源电动势 $E = 12\text{ V}$ 、内阻 $r = 1\ \Omega$, 电阻 $R_1 = 1\ \Omega$ 、 $R_2 = 6\ \Omega$, 电动机的额定电压 $U_M = 6\text{ V}$ 、线圈电阻 $R_M = 0.5\ \Omega$ 。闭合开关 S 后, 电动机正常工作, 下列说法正确的是

- A. 通过 R_1 的电流为 3 A
 B. 通过电动机的电流为 12 A
 C. 电动机的输出功率为 10 W
 D. 电源的输出功率为 27 W

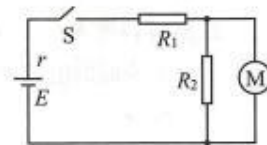


图 5

5. 利用如图 6 所示电路观察电容器的充、放电现象, 其中 E 为电源, R 为定值电阻, C 为电容器。 $t = 0$ 时, 先将开关 S 与 1 端相连, 一段时间后再将开关 S 掷向 2 端。图 7 所示的电容器两极板间的电势差 U_{PQ} 和电阻 R 两端的电势差 U_{MN} 随时间 t 的变化关系, 可能正确的是

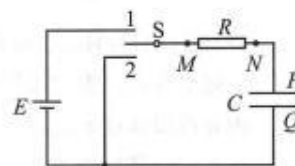


图 6

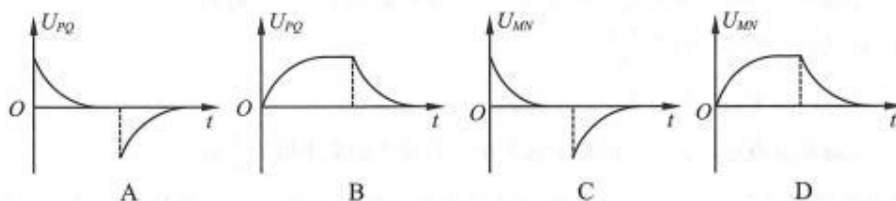


图 7

6. 如图 8 所示, 倾角一定的两根平行且粗糙的金属导轨固定在水平面上, 两导轨的顶端接有电源和滑动变阻器 R_p 。整个装置处于竖直向下的匀强磁场中 (图中未画出)。有一金属杆 ab 在导轨上保持静止。下列判断正确的是

- A. 增大 R_p 接入电路中的阻值, 金属杆 ab 受到的支持力一定变大
 B. 减小 R_p 接入电路中的阻值, 金属杆 ab 受到的静摩擦力一定变大
 C. 增大 R_p 接入电路中的阻值, 导轨对金属杆 ab 的作用力一定变大
 D. 仅将电源正负极对调, 金属杆 ab 仍可能保持静止

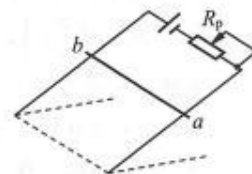


图 8

7. 如图 9 所示, 光滑水平面上的正方形导线框 $abcd$, 以水平向右的初速度进入竖直向下的匀强磁场并最终完全穿出。线框的边长小于磁场宽度, 线框在进和出磁场的两个过程中, 下列说法正确的是

- A. 线框中电流均沿逆时针方向
 B. 线框所受安培力的方向相同
 C. 线框中所产生的焦耳热相同
 D. 线框中 b 点电势均高于 c 点电势

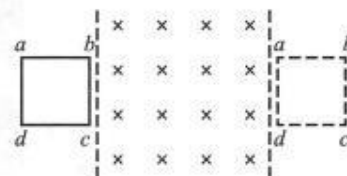


图 9

8. 如图 10 所示, 一块长为 a 、宽为 b 、高为 c 的长方体金属导体器件中通有从左表面流向右表面的恒定电流 I (电流方向与左、右表面垂直)。导体内的自由电子数密度 (单位体积内的自由电子数) 为 n 。在空间中施加一个磁感应强度大小为 B 、沿 x 轴负方向的匀强磁场, 稳定时, 导体上、下表面的电势分别为 φ_P 、 φ_M , 下列说法正确的是

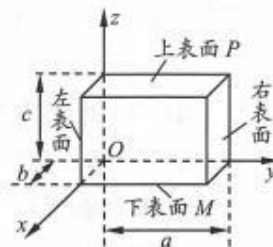


图 10

- A. $\varphi_P > \varphi_M$
 B. 若仅增大电流 I , 则 $|\varphi_P - \varphi_M|$ 保持不变
 C. 自由电子定向移动的速率为 $\frac{|\varphi_P - \varphi_M|}{Bc}$
 D. 若仅将导体绕 z 轴旋转一定角度 (小于 90°), 则 $|\varphi_P - \varphi_M|$ 将变小
9. 空间中存在一方向未知的匀强电场。一质量为 m 、电荷量为 q 的带负电的小球, 从竖直平面内 a 点以速度 v_0 沿水平方向抛出后, 先、后经过同一竖直平面内的 b 、 c 两点, 其中 a 、 c 两点在同一条竖直线上。小球运动至 b 点时的速度方向竖直向下, 其大小为 v_0 。已知重力加速度 g , 不计空气阻力, 下列说法正确的是
- A. 小球从 a 点运动至 b 点的时间小于其从 b 点运动至 c 点的时间
 B. 电场强度的最小值为 $\frac{mg}{q}$
 C. 小球运动至 c 点时的速度大小为 $\sqrt{2}v_0$
 D. 小球从 a 点运动至 c 点的整个过程中, 其动能的最小值为 $\frac{1}{4}mv_0^2$
10. 自由电子激光器是把电子束的能量转换成相干辐射的激光器, 其核心部件之一是扭摆磁铁。如图 11 所示, 扭摆磁铁由沿 y 方向周期性交错排列的 $2n$ 对、宽度均为 a 的永磁体组成 ($n \gg 10$)。电子经加速后, 以不同的速度从坐标原点 O 射入 xOy 平面, 在周期性磁场力作用下, 部分电子沿 y 方向前进的同时在 x 方向上做小幅摆动并辐射电磁波。电子运动情况相同时, 辐射的电磁波相位相同。已知磁场沿 z 方向的分量 B_z 随 y 的变化关系为 $B_z = B_0 \sin\left(\frac{\pi}{a}y\right)$, 电子的质量为 m 、电荷量为 e 。仅考虑 B_z 对电子的作用, 忽略电子质量和速率的变化。下列说法正确的是

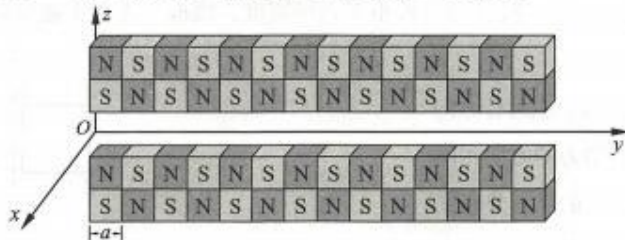


图 11

第二部分

本部分共 8 题，共 70 分。

11. (5 分) 多用电表可用来测量电流、电压和电阻。

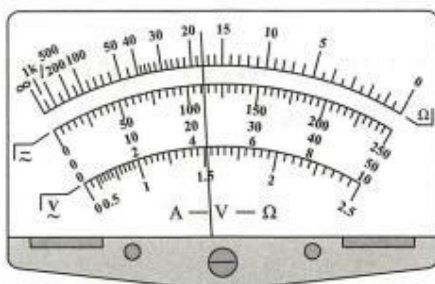


图 12

- (1) 用多用电表的欧姆挡测量一阻值约为 $2\text{ k}\Omega$ 的电阻，应把选择开关旋转到_____ (选填“ $\times 1\text{ k}$ ”或“ $\times 100$ ”)位置，经过正确的操作后，表针位置如图 12 所示，其对应的阻值是_____ Ω 。
- (2) 用多用电表的直流电流挡测量电流时，红表笔的电势_____黑表笔的电势；用多用电表的直流电压挡测量电压时，红表笔的电势_____黑表笔的电势。(选填“高于”或“低于”)
- (3) 某同学用电池、开关和灯泡组成如图 13 所示的电路。闭合开关，发现灯泡不发光。该同学在闭合开关且不拆开导线的情况下，用多用电表直流电压挡进行电路故障检测。他将红表笔接 a，黑表笔分别试触 b、c、d、e、f，检测结果如下表所示。

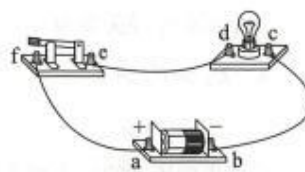


图 13

试触	b	c	d	e	f
示数	接近 1.5 V	接近 1.5 V	0	0	0

若电路中仅有一处故障，则故障可能是_____。

- A. 开关接触不良 B. 灯泡断路 C. f 处接触不良

12. (10 分) 某实验小组利用下列器材测量某种金属丝的电阻率，金属丝的阻值约为 $9\ \Omega$ 。

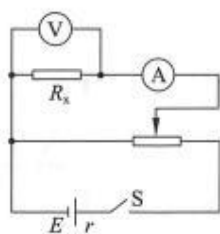


图 14

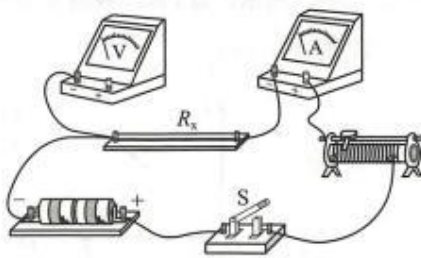


图 15

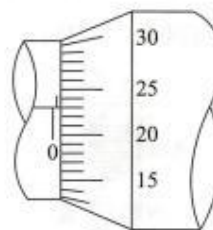


图 16

除了导线和开关外, 还有以下器材可供选择:

- A. 电源电动势 $E = 3.0 \text{ V}$, 内阻不计
- B. 电压表 V (量程 $0 \sim 3 \text{ V}$, 内阻约 $3 \text{ k}\Omega$)
- C. 电流表 A (量程 $0 \sim 0.6 \text{ A}$, 内阻约 0.1Ω)
- D. 滑动变阻器 R_1 (最大阻值 5Ω , 额定电流 3 A)
- E. 滑动变阻器 R_2 (最大阻值 200Ω , 额定电流 1.25 A)

- (1) 为了调节方便, 滑动变阻器应选用_____。(选填选项前的字母)
- (2) 请根据图 14 补充完成图 15 中实物间的连线。
- (3) 用螺旋测微器测量金属丝的直径, 其中某一次测量结果如图 16 所示, 其读数为 $D =$ _____ mm 。
- (4) 该小组测得金属丝接入电路的有效长度 L 、直径 D 、电阻 R_x , 由此得出金属丝的电阻率 $\rho =$ _____。(用 L 、 D 和 R_x 表示)
- (5) 该小组又设计了如图 17 所示的另一种实验方案测量该金属丝的电阻率。

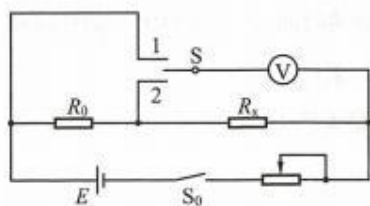


图 17

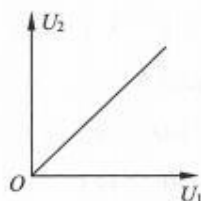


图 18

该小组按规范操作完成了实验器材的连接。在测量过程中, 先闭合开关 S_0 , 再将 S 与 1 端相连, 电压表读数记为 U_1 ; 然后将 S 与 2 端相连, 电压表读数记为 U_2 。改变滑动变阻器的阻值, 重复上述实验步骤记录多组电压值, 作出 $U_2 - U_1$ 图像, 如图 18 所示。已知图线的斜率为 k , 金属丝接入电路的有效长度为 L 、直径为 D , 定值电阻的阻值为 R_0 。不考虑电压表内阻的影响, 可求得金属丝的电阻率 $\rho =$ _____。(用 L 、 D 、 R_0 和 k 表示)

13. (8 分) 如图 19 所示, 交流发电机的矩形金属线圈 $abcd$ 处于磁感应强度 $B = 0.04 \text{ T}$ 的匀强磁场中。线圈面积 $S = 0.1 \text{ m}^2$ 、匝数 $n = 100$ (图中只画出 1 匝)、总电阻 $r = 20 \Omega$, 线圈可绕垂直于磁场且过 bc 和 ad 边中点的转轴 OO' 以角速度 $\omega = 300 \text{ rad/s}$ 匀速转动。线圈的两个末端分别与两个彼此绝缘的铜环 E 、 F 焊接在一起, 并通过电刷与阻值 $R = 100 \Omega$ 的定值电阻连接。电路中其他电阻忽略不计。求:

- (1) 线圈中感应电动势的最大值 E_m 。
- (2) 线圈中电流的有效值 I 。
- (3) 电阻 R 上的发热功率 P 。

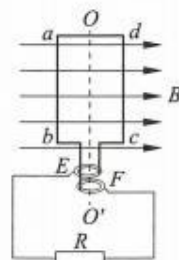


图 19

14. (8分) 如图 20 所示, 有两个相同的平行金属极板水平正对放置, OO' 为平行于极板的中线。两极板间的距离为 d , 极板长度为 L 。两极板间的电压恒定, 其间的电场可看作匀强电场。一带正电粒子以初速度 v 沿 OO' 射入电场, 并恰能从上极板边缘射出。不计粒子所受重力。

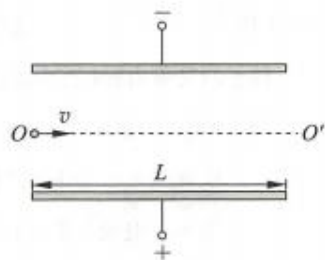


图 20

- (1) 求粒子在两极板间运动的时间 t_0 。
- (2) 求粒子在两极板间运动的加速度大小 a_0 。
- (3) 当粒子的水平位移为 $\frac{L}{2}$ 时, 若撤去电压, 求粒子从极板间射出时偏离 OO' 的距离 y_0 。

15. (8分) 如图 21 所示, 在 $y \geq 0$ 区域存在垂直纸面向外的匀强磁场。一质量为 m 、电荷量为 q 的带负电粒子, 从 x 轴上的 P 点以与 x 轴正方向成 30° 的速度 v 垂直磁场射入, 经过 y 轴上的 M 点时, 速度垂直于 y 轴, 最终从 x 轴上的 N 点 (图中未画出) 射出磁场。已知 $OP = a$ 。不计粒子所受重力。求:

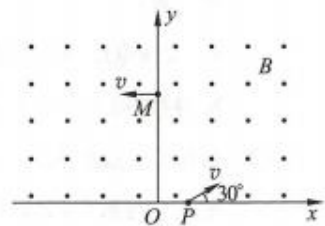


图 21

- (1) 磁场的磁感应强度大小 B 。
 - (2) 粒子从 P 点运动到 M 点所用的时间 t_0 。
 - (3) 粒子从 P 点运动到 N 点的过程中, 其动量变化量的大小 Δp 及方向。
16. (9分) 图 22 所示是用来冶炼合金钢的真空冶炼炉, 炉外有线圈。在线圈中通入变化的电流, 就会在炉内的金属中产生涡流, 涡流产生的热量使金属熔化。冶炼炉的工作原理可简化成图 23 所示的模型, 将冶炼炉内的金属块视为一个材质均匀的圆柱体。在某次加热过程中, 线圈中的电流 i 随时间 t 均匀增大, 即 $i = k_1 t$, 在炉内产生的磁场可视为匀强磁场 (图中未画出), 其磁感应强度的大小 $B = k_2 i$ 、方向与圆柱体轴线平行, 磁场截面圆心与圆柱体截面圆心重合。圆柱体可看作由一系列同轴圆柱状薄壳组成, 每层薄壳自成一个闭合回路, 各回路间互不影响。 k_1 和 k_2 均为已知常量。研究半径为 r 、厚度为 Δr ($\Delta r \ll r$) 的薄壳。

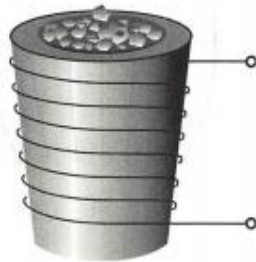


图 22

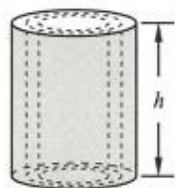


图 23

- (1) 求薄壳回路中的感应电动势 E 。
- (2) 已知圆柱体高为 h , 电阻率为 ρ 。
 - a. 求薄壳沿感应电流方向的电阻 R 。
 - b. 求薄壳内的感应电流 I 。
- c. 经典物理学认为, 金属导体中自由电子在定向移动过程中会受到与其定向移动方向相反的阻力。已知电子的电荷量为 e 。当薄壳中形成稳定的电流时, 论证某一自由电子定向移动过程中受到的阻力大小 $f \propto v^a$, 并确定 a 的值。

17. (10分) 兰州重离子加速器是我国首台大型重离子加速器, 其核心装置是回旋加速器。不考虑粒子所受重力和粒子间的相互作用。

(1) 回旋加速器的工作原理如图 24 所示, 置于真空中的两个 D 形金属盒半径均为 R , 磁感应强度大小为 B 的匀强磁场与盒面垂直, 在狭缝间加上周期性变化的交变电压。一质量为 m 、电荷量为 q 的带正电的粒子从中心位置 O 处飘入狭缝, 其初速度可视为 0。交变电压的周期与带电粒子在磁场中的运动周期相同。若忽略粒子穿过狭缝的时间, 不考虑相对论效应。求:

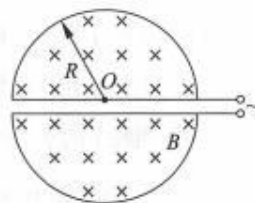


图 24

- a. 交变电压的周期 T 。
- b. 粒子加速后可获得的最大动能 E_k 。

(2) 当粒子速度很大时, 必须考虑相对论效应。粒子的质量随着速度的增加而增大, 质量的变化会导致其回转周期的变化, 从而破坏了与电压变化周期的同步。为解决这一问题, 某同学设计了随粒子运动半径变化的非匀强磁场。

- a. 为了保持粒子回转周期与电压变化周期的同步, 随粒子运动半径增大, 磁感应强度应越来越_____ (选填“大”或“小”)。

如图 25 所示, 现有甲、乙两种可供选择的非匀强磁场设计方案, 可代替图 24 中的匀强磁场, 你认为_____ (选填“甲”或“乙”) 方案可能符合设计要求。

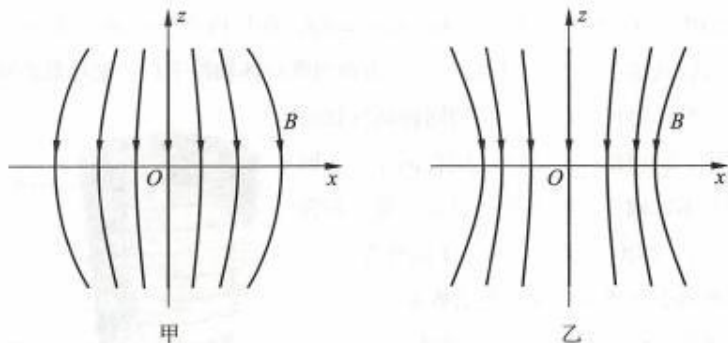


图 25

- b. 在上述非匀强磁场中, 除沿 z 轴方向的分量 B_z 外, 还存在垂直于 z 轴的径向分量 B_r ($B_r = k|z|$, k 为常量), 会对加速粒子的运动产生影响。实际从中心位置 O 处垂直于磁场方向入射的粒子束, 在 z 方向有很小的宽度。该粒子束在运动过程中, 其宽度将_____ (选填“变宽”“不变”或“变窄”), 请说明理由。

18. (12分) 如图26所示, 真空中有一长直细金属导线 OO' , 与导线同轴放置一高为 H 的金属圆柱面。假定导线 OO' 沿径向均匀射出电子, 单位长度导线单位时间内射出的电子数恒为 n 。已知电子的电荷量为 e 。忽略电子间的相互作用和电子所受重力。

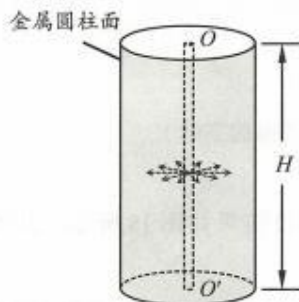


图26

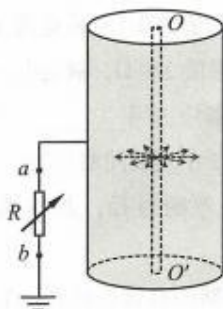


图27

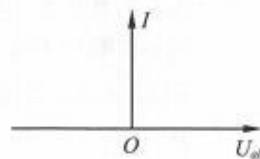


图28

- (1) 将导线 OO' 与圆柱面看作一个电容器, 导线发射电子前电容器不带电。经过一段时间 t (t 远大于电子从导线运动到圆柱面的时间), 导线 OO' 与圆柱面间电势差恰好达到最大值。假设射出的电子动能均为 E_{k0} , 求:
- 导线 OO' 与圆柱面间电势差的最大值 U_m 。
 - 电容器的电容 C 。
- (2) 如图27所示, 将圆柱面通过一个可调电阻 R 与大地相连, 同时使导线 OO' 与大地相连 (图中未画出)。假设射出的电子动能在 $0 \sim E_{k0}$ 之间均匀分布。
- 当电阻 R 的阻值为 R_0 时, 电流达到稳定后, 求流过电阻的电流 I_0 。
 - 改变电阻 R 的阻值, 稳定后, 流过电阻的电流 I 和其两端的电势差 U_{ab} 均改变。请写出 I 与 U_{ab} 的关系式, 并在图28中画出 $I - U_{ab}$ 的图线。