

2023 北京十一学校高二（上）期中

物 理

满分：100分 时长：90分钟

一、本题共 12 小题，每小题 3 分，共 36 分。在每小题给出的四个选项中，至少有一个选项是正确的。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。把你认为正确答案的代表字母填写在答题卡上相应位置。

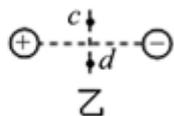
1. 由库仑定律可知，真空中两个静止的点电荷，当所带电荷量分别 q_1 和 q_2 ，其间距为 r 时，它们之间静电力的大小为 F ，式中 k 为静电力常量。在国际单位制中， k 的单位是（ ）

- A. $\text{N}\cdot\text{m}/\text{C}^2$ B. $\text{C}^2/(\text{N}\cdot\text{m}^2)$ C. $\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ D. $\text{C}^2/\text{N}\cdot\text{m}$

2. 关于电源电动势，下列说法正确的是（ ）

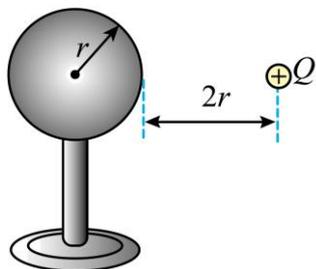
- A. 电动势就是电源供给电路的能量
B. 电动势反映出电源将其它形式能转化成电能的本领
C. 电源接入电路时，其两端的电压就是电源电动势
D. 电动势的大小一定等于电路中的电流与全电路电阻的乘积

3. 如图所示，甲图中 a 、 b 两点在两个等量同种点电荷的连线上、与连线中点距离相等，乙图中 c 、 d 两点在两个等量异种点电荷连线的中垂线上、与连线中点距离相等， a 、 b 、 c 、 d 四点的电场强度分别为 E_a 、 E_b 、 E_c 、 E_d ，电势分别为 φ_a 、 φ_b 、 φ_c 、 φ_d ，下列说法正确的是



- A. E_a 与 E_b 相同， φ_a 与 φ_b 相同 B. E_a 与 E_b 相同， φ_a 与 φ_b 不同
C. E_c 与 E_d 不同， φ_c 与 φ_d 相同 D. E_c 与 E_d 相同， φ_c 与 φ_d 相同

4. 如图所示，一个原来不带电的半径为 r 的空心金属球放在绝缘支架上，右侧放一个电荷量为 $+Q$ 的点电荷，点电荷到金属球表面的最近距离为 $2r$ 。由于静电感应金属球上产生感应电荷。设静电力常量为 k 。则关于金属球内的电场以及感应电荷的分布情况，下列说法正确的是（ ）

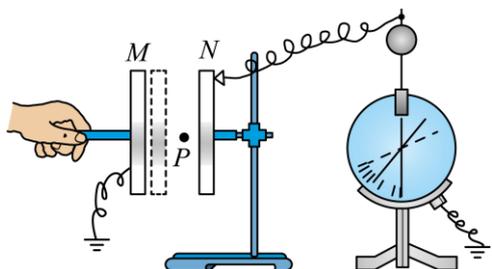


- A. 金属球的左侧感应出负电荷，右侧感应出正电荷
B. 感应电荷全部分布在金属球的表面上
C. 金属球最左侧表面的电势等于最右侧表面的电势



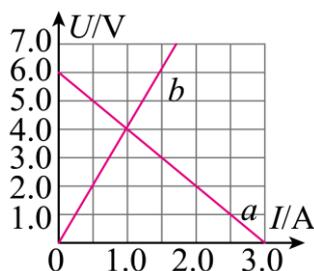
D. 感应电荷在金属球球心处产生的场强大小为 $E = \frac{kQ}{3r}$ ，方向向右

5. 如图所示，平行板电容器与静电计相连，带有等量异种电荷，且左极板 M 带负电，右极板 N 带正电。静电计金属外壳和电容器的左极板都接地。P 是两极板间一点，E 表示两极板间的场强大小， φ 表示 P 点的电势， θ 表示静电计指针的偏角。实验中，可认为极板所带电荷量不变。若保持右极板不动，将左极板向右移动一小段距离至图中虚线位置，则 ()



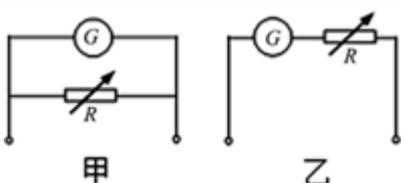
- A. θ 增大，E 不变
- B. θ 增大，E 减小
- C. θ 减小， φ 不变
- D. θ 减小， φ 减小

6. 在如图所示的 $U-I$ 图中，直线 a 为某电源的路端电压与电流的关系，直线 b 为某电阻 R 的电压与电流的关系。现用该电源直接与电阻 R 连接成闭合电路，由图可知 ()



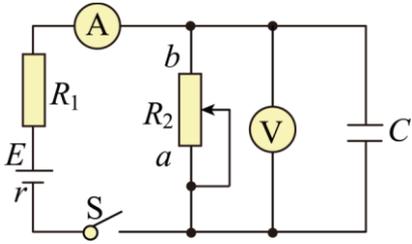
- A. 该电阻的阻值为 2.0Ω
- B. 该电源的电动势为 $6.0V$ ，内阻为 0.5Ω
- C. 该电源的路端电压为 $4.0V$ ，输出功率为 $4.0W$
- D. 选一个 $R=1.0\Omega$ 的电阻与该电源组成闭合回路，电源的输出功率一定相等

7. 如图所示，甲图是由一个灵敏电流计 G 和一个电阻箱 R 改装成的电流表，乙图是由同样的一个灵敏电流计 G 和一个电阻箱 R 改装成的电压表。当使电阻箱 R 的电阻增大时，下列说法正确的是 ()



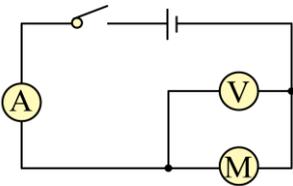
- A. 电流表的内阻减小，量程增大
- B. 电流表的内阻增大，量程减小
- C. 电压表的内阻增大，量程减小
- D. 电压表的内阻减小，量程增大

8. 在如图所示电路中，电源内阻不可忽略，导线电阻不计，电流表、电压表均为理想电表。开关 S 闭合后，在滑动变阻器 R_2 的滑动端由 a 向 b 缓慢滑动的过程中，下列说法正确的是 ()



- A. 电流表的示数增大
- B. 电压表的示数增大
- C. 电源的内阻消耗的热功率减小
- D. 电容器 C 贮存的电量减小

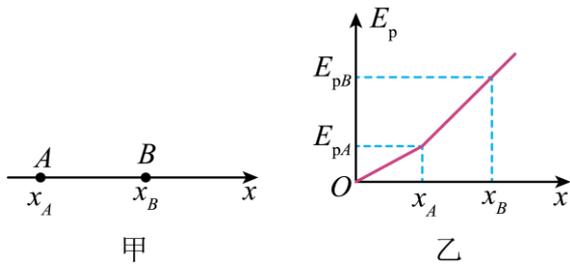
9. 在如图所示的电路中，电压表、电流表均为理想电表。电源电动势为 12.0V ，内阻为 1.0Ω ，电动机线圈电阻为 0.5Ω 。开关闭合，电动机正常工作，电流表示数为 2.0A 。则 ()



- A. 电压表的示数为 4.0V
- B. 电动机的机械功率为 20.0W
- C. 电动机消耗的总电功率为 8.0W
- D. 电动机消耗的热功率为 2.0W

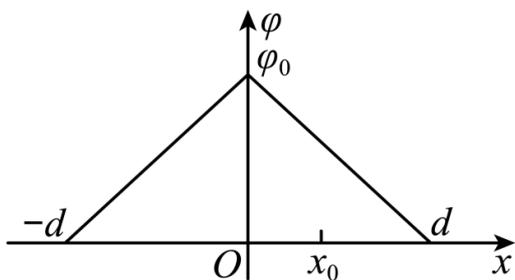


10. 如图甲所示，在某电场中建立 x 坐标轴， A 、 B 为 x 轴上的两点， x_A 、 x_B 分别为 A 、 B 两点在 x 轴上的坐标值。一电子仅在电场力作用下沿 x 轴运动，该电子的电势能 E_p 随其坐标 x 变化的关系如图乙所示，则下列说法中正确的是 ()



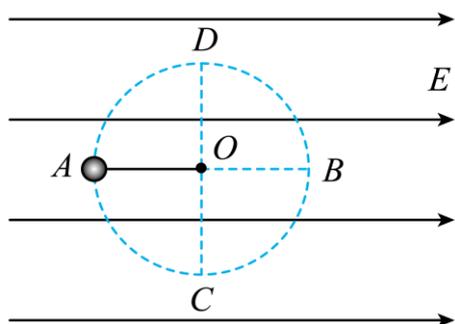
- A. 该电场一定是匀强电场
- B. A 点的电势小于 B 点的电势
- C. 电子由 A 点运动到 B 点的过程中做变加速直线运动
- D. 电子运动过程在 A 点的速率大于在 B 点的速率

11. 静电场方向平行于 x 轴，其电势 φ 随 x 的分布可简化为如图所示的对称两段直线。一个质量为 m 、电荷量为 q 的带负电的粒子，只在电场力作用下沿 x 轴方向运动。某段时间内，粒子以一定速度经过 O 点向右运动到达 $x=x_0$ 处速度恰好为 0 。图中 φ_0 、 d 和 x_0 均为已知量。下列说法正确的是 ()



- A. 在 O 点, 粒子的速度大小 $\sqrt{\frac{q\phi_0 x_0}{md}}$
- B. 在 $x=x_0$ 处, 粒子的加速度大小为 $\frac{\phi_0}{md}$
- C. 由 O 向 $x=x_0$ 处运动过程中, 粒子运动的时间为 $\sqrt{\frac{mdx_0}{q\phi_0}}$
- D. 由 O 向 $x=x_0$ 处运动过程中, 粒子的电势能增加 $\frac{q\phi_0 x_0}{d}$

12. 如图所示, 在地面上方的水平匀强电场中, 一个质量为 m 、电荷量为 $+q$ 的小球, 系在一根长为 L 的绝缘细线一端, 可以在竖直平面内绕 O 点做圆周运动。 AB 为圆周的直径, CD 为竖直直径。已知重力加速度为 g , 电场强度 $E = \frac{mg}{q}$ 。下列说法正确的是 ()

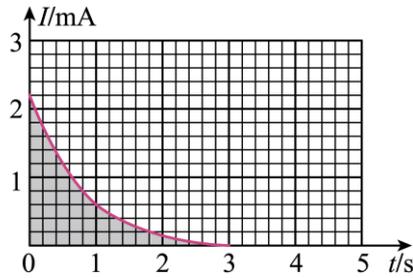
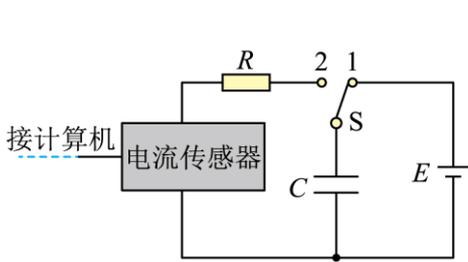


- A. 若小球在竖直平面内绕 O 点做圆周运动, 则它运动的最小速度为 \sqrt{gL}
- B. 若将小球在 A 点以大小为 \sqrt{gL} 的速度竖直向上抛出, 它将能够到达 B 点
- C. 若小球在竖直平面内绕 O 点做圆周运动, 则小球运动到 B 点时的机械能最大
- D. 若小球在竖直平面内绕 O 点做圆周运动, 则小球运动到右下方 CB 圆弧中间位置时重力势能和电势能之和最大

二、实验填空题。本题共 3 小题, 共 18 分。把正确答案填在答题卡上相应横线上。

13. 某同学用如图所示电路来研究电容器的充放电问题, 电源电动势为 $E=6V$, 开关先接 1 给电容器充电, 稳定后再将开关接 2 让电容器放电, 测得在电容器放电时电流传感器记录下的电流随时间变化的图象如图所示。

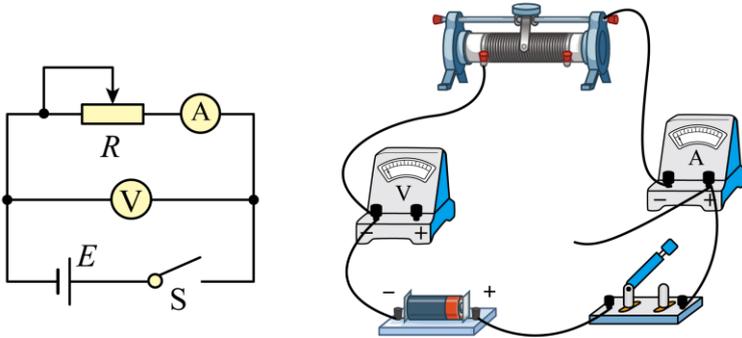
- (1) 请估算电容器在全部放电过程中释放的电荷量 $Q = \underline{\hspace{2cm}}$;



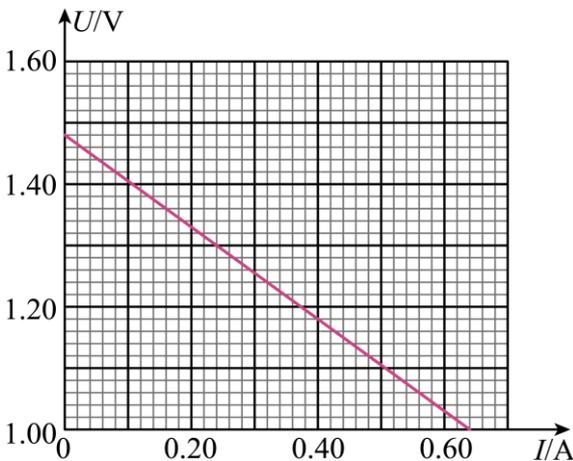
(2) 类比 $v-t$ 图象所围的面积求位移, 请借助 $u-q$ 图像, 则电容器放电最初时储存的能量 $E_{\text{电}} =$ _____

14. 在测量一节干电池的电动势和内阻的实验中, 实验电路如图所示:

(1) 请按照电路图完成图对应的实物间的连线_____。



(2) 用所选器材按照图连接好电路后, 将滑动变阻器滑片置于合适位置, 闭合开关 S, 通过调整滑动变阻器, 得到多组电流 I 和电压 U 。根据实验数据, 绘制出如图所示的 $U-I$ 图像, 由图线可求出 $E =$ _____ V, $r =$ _____ Ω ; (结果均保留 3 位有效数字)



(3) 通过分析误差原因, 比较测量值和真实值的关系。下列说法中正确的是_____。

- A. 由于电流表的分压作用, 使电动势的测量值小于真实值
- B. 由于电流表的分压作用, 使电动势的测量值大于真实值
- C. 由于电压表的分流作用, 使内阻的测量值小于真实值
- D. 由于电压表的分流作用, 使内阻的测量值大于真实值

15. 在“金属丝电阻率的测量”的实验中:

(1) 用伏安法测量金属丝的电阻 R_x (阻值约为 5Ω), 实验中除开关、若干导线之外还提供下列器材:

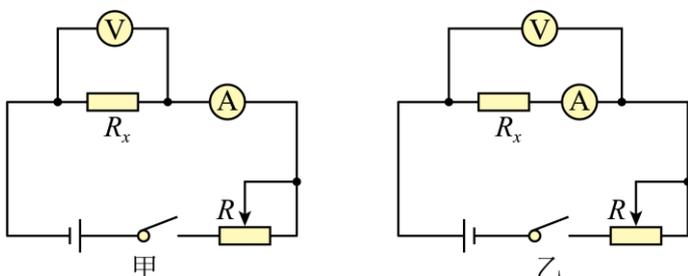
电流表 A_1 (量程 $0\sim 0.6A$, 内阻约 0.1Ω);

电流表 A_2 (量程 $0\sim 3A$, 内阻约 0.01Ω);

电压表 V_1 (量程 $0\sim 3V$, 内阻约 $3k\Omega$);
 电压表 V_2 (量程 $0\sim 15V$, 内阻约 $20k\Omega$);
 滑动变阻器 R ($0\sim 20\Omega$);
 电源 E (电动势为 $3.0V$, 内阻不计)。

为了调节方便, 测量准确, 实验中电流表应选 _____, 电压表应选 _____。

(2) 根据所选用的实验器材, 应选用以下图中哪个电路图进行实验? _____



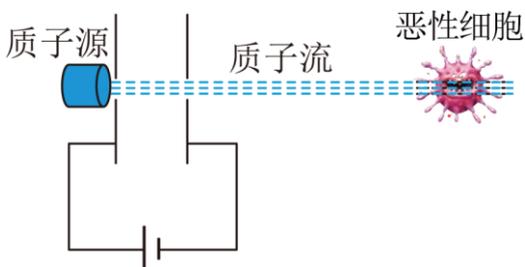
(3) 若通过测量可知, 金属丝接入电路的长度为 l , 直径为 d , 通过金属丝的电流为 I , 金属丝两端的电压为 U , 由此可计算得出金属丝的电阻率 $\rho =$ _____ (用题目所给字母表示)

(4) 本实验在测量电阻时, 由电压表或电流表的内阻引起的误差属于系统误差。将电压表或电流表的内阻计算在内, 可以消除由测量仪表内阻所引起的系统误差。在未消除该系统误差时本实验的电阻丝的测量阻值为 R_0 , 若已知电压表的内阻为 R_V , 电流表的内阻为 R_A , 那么消除该系统误差后, 电阻丝的阻值 R_x 应该为 _____。

三、本题包括 5 小题, 共 46 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, 答案中必须明确写出数值和单位。

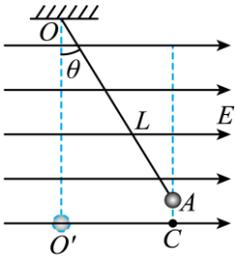
16. 某些肿瘤可以用“质子疗法”进行治疗。在这种疗法中, 质子先被加速到具有较高的能量, 然后被引向轰击肿瘤, 杀死其中的恶性细胞, 如图所示。来自质子源的质子(初速度为零), 经加速电压为 U 的加速器加速后, 形成细柱形的质子流, 细柱形的质子流横截面积为 S , 其等效电流为 I ; 已知质子的加速长度为 d , 加速电场为匀强电场, 质子电量为 q , 质量为 m , 求:

- (1) 加速电场中质子的加速度大小 a ;
- (2) 质子在加速电场中获得的最大速度 v 。
- (3) 加速后这束质子流内单位体积的质子数 n 。



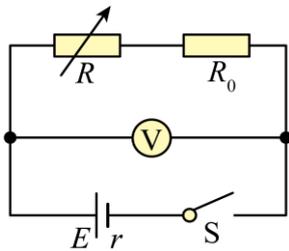
17. 如图所示, 长为 L 的绝缘轻细线一端固定在 O 点, 另一端系一质量为 m 的带电小球, 小球静止时处于 O 点正下方的 O' 点。若将此装置放在水平向右、电场强度大小为 E 的匀强电场中, 当带电小球静止在 A 点时, 细线与竖直方向成 $\theta = 37^\circ$, 已知电场的范围足够大, 空气阻力可忽略不计, 重力加速度为 g 。(已知: $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$)

- 请说明小球所带电荷的电性，并求小球所带的电荷量 q ；
- 若将小球从 O' 点由静止释放，求小球运动到 A 点时的速度大小 v ；
- 过 A 点做等势面相交电场线于 C 点，论证沿电场线方向电势 $\varphi_O > \varphi_C$ 。



18. 如图所示，定值电阻 $R_0 = 1.5\Omega$ ， R 为变阻器，其最大阻值为 10Ω ，电压表为理想电表，当变阻器 $R_1 = 2.5\Omega$ 时，电压表读数为 $U_1 = 4V$ 。当变阻器 $R_2 = 8.5\Omega$ 时，电压表读数为 $U_2 = 5V$ 。实验过程中，电源的电动势和内阻视为不变，结果保留两位小数。

- 求电源的电动势 E 和内阻 r 的值；
- 当 R_0 上消耗的功率最大时，求电源的效率 η ；
- 求出电源的输出功率的范围大小。



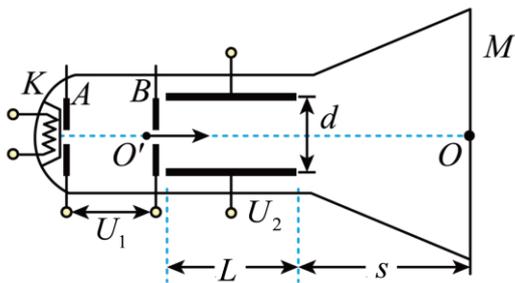
19. 如图所示为示波管的结构原理图，加热的阴极 K 发出的电子（初速度可忽略不计）进入 AB 两金属板间的加速电场，其电势差为 U_1 。经加速电场加速后，电子进入水平放置的两平行金属板间的偏转电场，其电势差为 U_2 ，两极板的水平长度为 L ，两极板间距离为 d 。电子经偏转电场偏转后打在右侧竖直的荧光屏 M 上，偏转电场极板的右侧距离荧光屏为 s 。整个装置处在真空中，忽略电子之间的相互作用力，不考虑相对论效应和电子所受的重力。已知电子的质量为 m ，电荷量为 e 。

(1) 在解决一些实际问题时，为了简化问题，常忽略一些影响相对较小的量。若已知 $U_1 = 2000V$ ， $U_2 = 200V$ ， $d = 1.0 \times 10^{-2}m$ ， $m = 9.0 \times 10^{-31}kg$ ， $e = 1.6 \times 10^{-19}C$ 重力加速度 $g = 10m/s^2$ 请以电子在偏转电场中的运动为例，利用上述数据通过计算说明：在分析电子在电场中的运动时，可以不考虑电子所受重力的影响。

(2) 求电子离开偏转电场时的动能 E_k ；

(3) 若仅使偏转电场的电压减半，即 $\frac{U'_2}{U_2} = \frac{1}{2}$ ，为使电子仍打在荧光屏上的 M 点，则加速电压应当调整

为 U'_1 ，求 $\frac{U'_1}{U_1}$ 的值。



20. 电场线和等势面可以形象地描述静电场。

(1) 在物理学中，静电场中的电场线的疏密程度反映了空间区域电场强度的大小，把电场强度的大小 E 与垂直于场强方向的面积 S 的乘积定义为电通量 Φ ，定义式为 $\Phi = ES$ ， Φ 可以反映穿过该面电场线条数的多少。已知静电力常量为 k 。(提示：球体的表面积 $S = 4\pi r^2$)；

① 如图所示，以点电荷 $+Q$ 为球心，半径为 r 的球面，请根据电场强度决定式和电通量的定义，试推导该球面电通量的表达式；

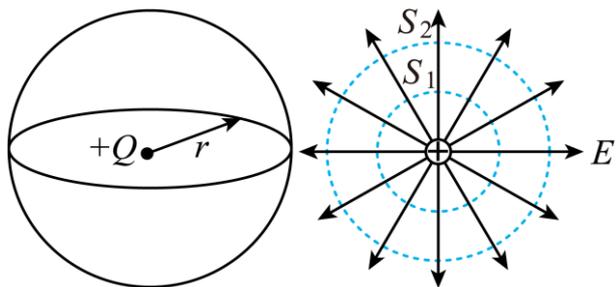
② 将点电荷 $+Q$ 分别换成点电荷 $+Q_1$ 、 $+Q_2$ ，半径 r 不变，在这两种情形中，请计算在两个对应球面上，单位面积通过的电场线条数比 $N_1 : N_2$ ；

(2) 点电荷 Q 形成的电场中，某一点的电势可以用 $\varphi = k \frac{Q}{r}$ 表示，该式仅由静电力常量 k 、点电荷 Q 的电量及该点到点电荷的距离 r 决定。已知点电荷 $+Q$ 形成的电场线和等势面分布如图所示，等势面 S_1 、 S_2 到点电荷的距离分别为 r_1 、 r_2 。一个质量为 m 、电荷量为 e 的电子仅在电场力的作用下，以适当的速度可沿该电场的某一等势面做匀速圆周运动。

若电子分别在等势面 S_1 、 S_2 上做匀速圆周运动时，求：

① 电子的动量大小比值 $p_1 : p_2$ ；

② 点电荷与电子组成的系统具有的总能量的比值 $E'_1 : E'_2$ 。(结果用已知量表示)



参考答案

一、本题共 12 小题，每小题 3 分，共 36 分。在每小题给出的四个选项中，至少有一个选项是正确的。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。把你认为正确答案的代表字母填写在答题卡上相应位置。

1. 【答案】C

【详解】根据库仑定律有

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

可得

$$k = \frac{Fr^2}{q_1 q_2}$$

上式中， F 的单位是 N， r 的单位是 m， q 的单位是 C，由此可得 k 的单位为 $\text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ 。

故选 C。

2. 【答案】B

【详解】A. 电源就是供给和维持电路所需的能量源也叫电动势，故 A 错误；

B. 电动势的物理意义是表征电源把其他形式的能转化为电能本领强弱，与外电路的结构无关，故 B 正确；

C. 电源与外电路断开时，电源电动势在数值上等于其两端电压，故 C 错误；

D. 当外电路有非纯电阻时，电动势的大小不等于电路中的电流与全电路电阻的乘积，故 D 错误。

故选 B。

3. 【答案】D

【详解】AB. 甲图中 a 、 b 两点在两个等量同种点电荷的连线上、与连线中点距离相等，根据对称性， E_a 与 E_b 大小相等、但方向不同， φ_a 与 φ_b 相同，AB 错误；

CD. 乙图中 c 、 d 两点在两个等量异种点电荷连线的中垂线上、与连线中点距离相等， φ_c 与 φ_d 相同，再根据场强的矢量合成可得 E_c 与 E_d 相同，C 错误，D 正确；

故选 D。

4. 【答案】BC

【详解】A. 根据同种电荷相斥，异种电荷相吸可得金属球的右侧带有负电荷，左端带有正电荷，故 A 错误；

B. 金属球感应后达到静电平衡，静电平衡状态的导体电荷分布在导体表面，故 B 正确；

C. 达到静电平衡的导体是等势体，电势处处相等，故 C 正确；

D. 感应电荷在金属球球心处产生的场强大小与 $+Q$ 在此处的电场强度大小相等，为

$$E = \frac{kQ}{(3r)^2} = \frac{kQ}{9r^2}$$



方向向右，故 D 错误。

故选 BC。

5. 【答案】D

【详解】根据

$$C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$$

可知若保持右极板不动，将左极板向右移动一小段距离至图中虚线位置，两极板间的距离减小，电容器电容增大，电容器带电量不变，根据

$$U = \frac{Q}{C}$$

可知电容器两极板间的电压减小， θ 减小，两极板间的场强大小为

$$E = \frac{U}{d} = \frac{Q}{Cd} = \frac{4\pi kQ}{\epsilon_r S}$$

故两极板间的场强不变，P 点与 M 板的电势差为

$$U_{PM} = \varphi_P - \varphi_M = Ed_{PM}$$

即

$$\varphi_P = Ed_{PM}$$

保持右极板不动，将左极板向右移动一小段距离至图中虚线位置，P 点与 M 板的距离减小，P 点的电势减小。综上所述， θ 减小，E 不变， φ 减小。

故选 D。

6. 【答案】CD

【详解】A. $U-I$ 图像中直线 b 的斜率表示电阻 R 的阻值，可得

$$R = \frac{\Delta U}{\Delta I} = 4.0\Omega$$

故 A 错误；

B. $U-I$ 图像中直线 a 的纵轴截距表示电源的电动势，斜率的绝对值表示电源的内阻，可得

$$E = 6.0\text{V}, r = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| = 2.0\Omega$$

故 B 错误；

C. $U-I$ 图像中直线 a 与直线 b 的交点纵坐标 4.0V 表示路端电压，横轴坐标 1.0A 表示电路中的干路电流，可得

$$P = UI = 4.0\text{W}$$

故 C 正确；

D. 选一个 $R=1.0\Omega$ 的电阻与该电源组成闭合回路，由闭合电路欧姆定律可得

$$I = \frac{E}{R+r} = 2\text{A}$$



电源的输出功率为

$$P = I^2 R = 4.0W$$

可知，改变外电路电阻后，电源的输出功率没有变化。故 D 正确。

故选 CD。

7. 【答案】B

【详解】AB. 甲图是电流表，当使电阻箱 R 的电阻增大时，甲图中改装后的电流表内阻增大，流过 R 的电流减小，则电流表量程减小，A 错误，B 正确；

CD. 乙图是电压表，当使电阻箱 R 的电阻增大时，乙图中改装后的电压表内阻增大， R 两端的分担的电压增大，则量程增大，CD 错误。

选 B。

8. 【答案】AD

【详解】AB. 电容器在电路中相当于断路，根据电路图可知，该电路为串联电路，定值电阻 R_1 与滑动变阻器串联，根据闭合电路的欧姆定律有

$$I = \frac{E}{r + R_1 + R_2}$$

当滑动变阻器的滑动触头从由 a 向 b 缓慢滑动的过程中，滑动变阻器接入电路中的电阻减小，从而使总电阻减小，导致电路中电流始终增大，电流表得示数变大，因此电路中的内电压

$$U_{\text{内}} = Ir$$

增大，而由

$$U_{\text{外}} = E - U_{\text{内}}$$

可知，外电压减小，但定值电阻 R_1 两端的电压

$$U_{R_1} = IR_1$$

随着电流的增大而增大，而

$$U_{\text{外}} = U_{R_1} + U_{R_2}$$

可知 R_2 两端的电压始终减小，根据电路图可知，电压表测得是 R_2 两端得电压，因此，电压表的示数减小，故 A 正确，B 错误

C. 电源内阻消耗的热功率

$$P_{\text{热}} = I^2 r$$

由于电流增大，则可知电源内阻消耗的热功率增大，故 C 错误；

D. 根据电路图可知，电容器两端的电压等于电压表所测电压，即等于滑动变阻器两端的电压，而滑动变阻器两端的电压 U_{R_2} 减小，则可知电容器两端的电压减小，根据

$$C = \frac{Q}{U}$$



可知，电容不变，电压减小，则电容器所带电荷量减小，故 D 正确。

故选 AD。

9. 【答案】D

【详解】A. 电压表测路端电压，电源两端的电压为

$$U = E - Ir = 12.0\text{V} - 2.0 \times 1.0\text{V} = 10.0\text{V}$$

故 A 错误；

BCD. 电动机消耗的电功率为

$$P_{\text{电}} = UI = 10.0 \times 2.0\text{W} = 20.0\text{W}$$

电动机消耗的热功率为

$$P_{\text{热}} = I^2 r_0 = 2^2 \times 0.5\text{W} = 2.0\text{W}$$

电动机的机械功率为

$$P = P_{\text{电}} - P_{\text{热}} = 18\text{W}$$

故 BC 错误，D 正确。

故选 D。

10. 【答案】CD

【详解】A. 由于电场力做功等于电势能的减小量。所以 $E_p - x$ 图像斜率表示电场力的大小，即

$$\left| \frac{\Delta E_p}{\Delta x} \right| = F = Ee$$

从图中可以看出斜率发生了变化，所以该电场不是匀强电场，A 错误；

B. 从图中可看出电子从 A 点到 B 点电势能增加，所以电势降低，A 点的电势大于 B 点的电势，B 错误；

C. 从 A 点到 B 点的 $E_p - x$ 图像不是直线，即斜率发生了变化，所以电子所受电场力发生变化，加速度变化，电子做变加速直线运动，C 正确；

D. 电子由 A 点运动到 B 点，电势能增加，电场力做负功，由于电子仅受电场力，所以动能减少，速度较小，电子在 A 点的速率大于在 B 点的速率，D 正确。

故选 CD。

11. 【答案】D

【详解】A. 由 O 点向 $x = x_0$ 处运动过程中，根据动能定理

$$-\frac{q\varphi_0}{d} x_0 = 0 - \frac{1}{2} m v_0^2$$

解得在 O 点粒子的速度

$$v_0 = \sqrt{\frac{2q\varphi_0 x_0}{md}}$$

故 A 错误；

B. 在 $x = x_0$ 处，电场力的大小



$$F = qE = \frac{q\varphi_0}{d}$$

根据牛顿第二定律，粒子的加速度大小

$$a = \frac{F}{m} = \frac{q\varphi_0}{md}$$

故 B 错误；

C. 由 O 向 $x=x_0$ 处运动过程中，粒子做匀减速运动，根据

$$x_0 = \frac{1}{2}at^2$$

解得

$$t = \sqrt{\frac{2mdx_0}{q\varphi_0}}$$

故 C 错误；

D. 粒子带负电，由 O 向 $x=x_0$ 处运动过程中，电场力做功为

$$W = -Fx_0 = -\frac{q\varphi_0 x_0}{d}$$

粒子的电势能增加

$$\Delta E_p = -W = \frac{q\varphi_0 x_0}{d}$$

故 D 正确。

故选 D。

12. 【答案】BC

【详解】A. 电场力和重力的合力为

$$F_{\text{合}} = \sqrt{(mg)^2 + (Eq)^2} = \sqrt{2}mg$$

故小球在竖直平面内绕 O 点做圆周运动，它运动的最小速度为

$$\sqrt{2}mg = \frac{mv^2}{L}$$

解得

$$v = \sqrt{\sqrt{2}gL}$$

故 A 错误；

B. 若将小球在 A 点以大小为 \sqrt{gL} 的速度竖直向上抛出，由

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

$$x = \frac{1}{2}at^2 = \frac{Eq}{2m}t^2$$



当 $y=0$ 时，解得

$$x = 2L$$

故当竖直位移为 0 时，水平位移刚好为 $2L$ ，故刚好过 B 点，故 B 正确；

C. 若小球在竖直平面内绕 O 点做圆周运动，根据能量守恒定律，当机械能最大时，小球的电势能最小，故小球运行到 B 点时，电场力做功最多，到 B 点时的机械能最大，故 C 正确；

D. 若小球在竖直平面内绕 O 点做圆周运动，根据能量守恒定律，重力势能和电势能之和最大时，动能最小，故在小球运动到左上方 AD 圆弧中间位置时满足题意，故 D 错误。

故选 BC。

二、实验填空题。本题共 3 小题，共 18 分。把正确答案填在答题卡上相应横线上。

13. 【答案】 ①. $1.72 \times 10^{-3} \text{C}$ ②. $\frac{CE^2}{2}$

【详解】(1) [1] 电流和时间图像中每个小格代表电荷量

$$0.2 \times 10^{-3} \times 0.2 \text{C} = 4 \times 10^{-5} \text{C}$$

图像阴影部分的格数约为 43 个。电流和时间图像围成的面积表示电容器在全部放电过程中释放的电荷量

$$Q = 43 \times 4 \times 10^{-5} \text{C} = 1.72 \times 10^{-3} \text{C}$$

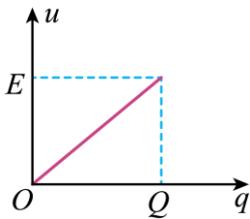
(2) [2] 电容器充电结束时所带的电荷量 Q 为

$$Q = CE$$

根据电容的定义公式 $C = \frac{Q}{U}$ ，可知电容器两极板间电压 u 和电荷量 q 间的关系

$$u = \frac{1}{C} q$$

所以充电过程中电容器两极板间的电压 u 随电容器所带电荷量 q 是线性变化的，图像如图所示



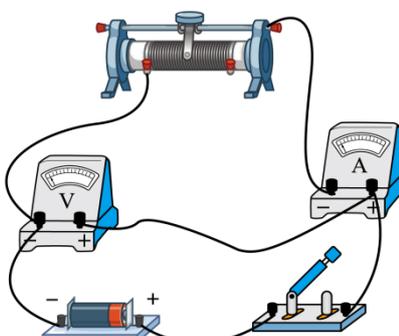
电容器储存的能量 E_0 为

$$E_0 = UIt = Uq$$

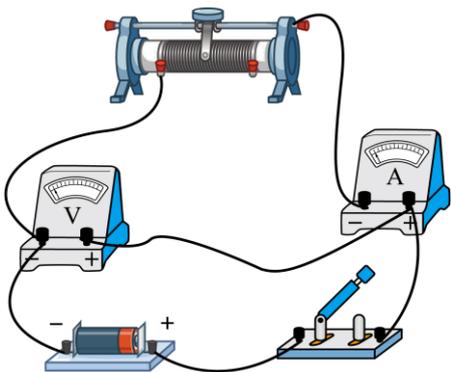
则 $u-q$ 图像的图形面积表示电容器储存的能量

$$E_0 = \frac{1}{2} EQ = \frac{CE^2}{2}$$



14. 【答案】 ①.  ②. 1.48 ③. 0.750 ④. C

【详解】(1) [1]实物图如图所示



(2) [2][3]根据闭合电路的欧姆定律

$$U = E - Ir$$

可知，由 $U-I$ 图像可得，电池的电动势为纵轴截距，即

$$E = 1.48\text{V}$$

电池的内阻为图像的斜率

$$r = |k| = \frac{1.48 - 1}{0.64 - 0} = 0.750\Omega$$

(3) [4]由于电压表的分流作用，导致测量电流小于真实的干路电流，造成内阻测量值偏小，故 ABD 错误，C 正确。

故选 C。

15. 【答案】 ①. A_1 ②. V_1 ③. 甲 ④. $\frac{\pi U d^2}{4 l l}$ ⑤. $\frac{R_V R_0}{R_V - R_0}$

【详解】(1) [1][2]电源电动势为 3V，金属丝的阻值约为 5Ω ，则最大电流约为 0.6A，则电流表选 A_1 ，电压表选 V_1 。

(2) [3]由于

$$R_x^2 < R_V R_A$$

电压表分流造成的误差较小，则电流表采用外接，应选用甲电路图。

(3) [4]金属丝电阻为

$$R_x = \frac{U}{I}$$

电阻定律为



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

又

$$S = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$$

联立得

$$\rho = \frac{\pi U d^2}{4 l l}$$

(4) [5]未消除误差前

$$R_0 = \frac{U}{I}$$

消除误差后

$$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}}$$

联立得

$$R_x = \frac{R_V R_0}{R_V - R_0}$$

三、本题包括 5 小题，共 46 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，答案中必须明确写出数值和单位。

16. 【答案】(1) $a = \frac{Uq}{dm}$; (2) $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$; (3) $n = \frac{I\sqrt{2mqU}}{2q^2SU}$

【详解】(1) 加速电场中质子的加速度大小

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

(2) 根据动能定理

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

质子在加速电场中获得的最大速度

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

(3) 根据

$$I = nqSv$$

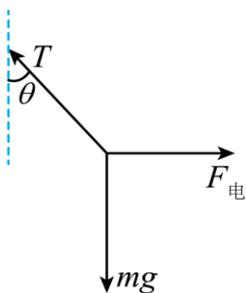
可得加速后这束质子流内单位体积的质子数

$$n = \frac{I\sqrt{2mqU}}{2q^2SU}$$



17. 【答案】(1) 正电荷, $\frac{3mg}{4E}$; (2) $\sqrt{\frac{gL}{2}}$; (3) 见解析

【详解】(1) 对小球受力分析, 受力如下图所示



可知小球受到电场力水平向右, 与电场强度方向相同, 所以小球带正电荷。根据平衡条件可得

$$F_{\text{电}} = mg \tan \theta = Eq$$

则小球所带的电荷量为

$$q = \frac{3mg}{4E}$$

(2) 根据动能定理可得

$$\frac{1}{2}mv^2 = Eq \cdot L \sin \theta - mgL(1 - \cos \theta)$$

解得, 小球运动到 A 点时的速度大小为

$$v = \sqrt{\frac{gL}{2}}$$

(3) 设有一电荷量为 q_0 的正电荷在电场力作用下从 O 点运动到 C 点, 则电场力做功为

$$W = q_0 U_{OC} = q_0(\varphi_O - \varphi_C)$$

由于该正电荷受电场力方向与其位移方向的夹角小于 90° , 则电场力做正功, 即 $W > 0$, 所以 $\varphi_O > \varphi_C$ 。

18. 【答案】(1) 6V, 2Ω ; (2) 42.9%; (3) $2.27\text{W} \leq P_{\text{出}} \leq 4.5\text{W}$

【详解】(1) 根据闭合电路欧姆定律有

$$E = U_1 + \frac{U_1}{R_0 + R_1} r$$

$$E = U_2 + \frac{U_2}{R_0 + R_2} r$$

联立解得, 电源的电动势 E 和内阻 r 的值分别为

$$E = 6\text{V}, \quad r = 2\Omega$$

(2) R_0 上消耗的功率为

$$P = I^2 R_0$$

可知, 当电路中的电流 I 最大, 即变阻器 R 阻值为 0 时, R_0 上消耗的功率最大, 此时电源的效率为

$$\eta = \frac{I^2 R_0}{I^2 r + I^2 R_0} \times 100\% \approx 42.9\%$$

(3) 电源的输出功率为

$$P_{\text{出}} = I^2 (R + R_0) = \left(\frac{E}{R + R_0 + r} \right)^2 (R + R_0) = \frac{E^2}{\frac{(R + R_0 - r)^2}{R + R_0} + 4r}$$

可知, 当 $R + R_0 = r$ 时, 电源的输出功率为最大值为

$$P_{\text{max}} = \frac{E^2}{4r} = 4.5\text{W}$$

当 $R + R_0 = 11.5\Omega$ 时, 电源的输出功率为最小值为

$$P_{\text{min}} \approx 2.27\text{W}$$

则电源的输出功率的范围为 $2.27\text{W} \leq P_{\text{出}} \leq 4.5\text{W}$ 。

19. 【答案】(1) 见解析; (2) $E_k = \frac{eU_2^2 L^2}{4U_1 d^2} + eU_1$; (3) $\frac{U'_1}{U_1} = \frac{1}{2}$

【详解】(1) 电子在偏转电场中受的电场力为

$$F = \frac{eU_2}{d} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 200}{1.0 \times 10^{-2}} \text{N} = 3.2 \times 10^{-15} \text{N}$$

电子的重力

$$mg = 9.0 \times 10^{-31} \times 10 \text{N} = 9.0 \times 10^{-30} \text{N}$$

因为 $F \gg mg$, 所以可以不考虑电子所受重力的影响。

(2) 电场中加速, 根据动能定理可得

$$eU_1 = \frac{1}{2} m v_0^2$$

设电子在偏转电场中运动的时间为 t , 电子射出偏转电场时在垂直方向上的偏移量为 y , 则根据类平抛

$$y = \frac{1}{2} a t^2$$

$$L = v_0 t$$

根据牛顿第二定律

$$\frac{eU_2}{d} = ma$$

在偏转电场, 根据动能定理

$$\frac{eU_2}{d} y = E_k - \frac{1}{2} m v_0^2$$

联立解得



$$E_k = \frac{eU_2^2 L^2}{4U_1 d^2} + eU_1$$

(3) 由上述公式可知

$$y = \frac{U_2 L^2}{4U_1 d}$$

如果偏转电压 U_2 减半, 为使电子仍打在荧光屏上的 M 点, 则加速电压 U_1 也应该减半, 故有

$$\frac{U_1'}{U_1} = \frac{1}{2}$$

20. 【答案】(1) ① $\Phi = 4\pi kQ$; ② $Q_1 : Q_2$; (2) ① $\sqrt{r_2} : \sqrt{r_1}$; ② $r_2 : r_1$

【详解】(1) ①以点电荷 $+Q$ 为球心, 半径为 r 的球面, 可得此球面上电场强度为

$$E = k \frac{Q}{r^2}$$

则可得该球面电通量的表达式为

$$\Phi = ES = 4\pi kQ$$

②已知 Φ 可以反映穿过该面电场线条数的多少, 可知 Φ 与电荷的带电量成正比, 将点电荷 $+Q$ 分别换成点电荷 $+Q_1$ 、 $+Q_2$, 则穿过两等势面的总电场线条数之比为 $Q_1 : Q_2$, 半径 r 不变, 则可得穿过两等势面的单位面积上的电场线条数之比为 $Q_1 : Q_2$;

(2) ①根据库仑定律和牛顿第二定律可得

$$k \frac{Qe}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

可得电子的动量为

$$p = mv = \sqrt{\frac{kQem}{r}}$$

则电子的动量大小比值为

$$p_1 : p_2 = \sqrt{\frac{kQem}{r_1}} : \sqrt{\frac{kQem}{r_2}} = \frac{\sqrt{r_2}}{\sqrt{r_1}}$$

②根据电子的动能为

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{kQe}{2r}$$

电子的势能为

$$E_p = q\varphi = -k \frac{Qe}{r}$$

则可得点电荷与电子组成的系统具有的能量是

$$E_{\text{总}} = E_k + E_p = -\frac{kQe}{2r}$$



可得点电荷与电子组成的系统具有的总能量的比值为

$$E'_1 : E'_2 = r_2 : r_1$$

