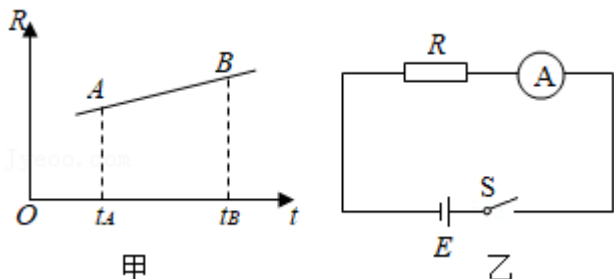


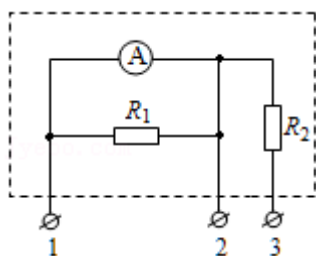
高考物理真题汇编系列--恒定电流--章节检测卷

一. 选择题（共 14 小题）

1. 图甲表示某金属丝的电阻 R 随摄氏温度 t 变化的情况。把这段金属丝与电池、电流表串联起来（图乙），用这段金属丝做测温探头，把电流表的刻度改为相应的温度刻度，就得到了一个简易温度计。下列说法正确的是（ ）

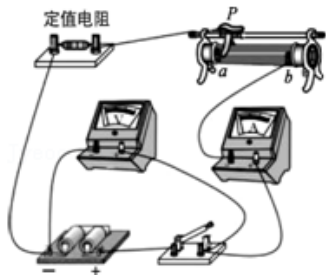


- A. t_A 应标在电流较大的刻度上，且温度与电流是线性关系
 B. t_A 应标在电流较大的刻度上，且温度与电流是非线性关系
 C. t_B 应标在电流较大的刻度上，且温度与电流是线性关系
 D. t_B 应标在电流较大的刻度上，且温度与电流是非线性关系
2. 某兴趣小组探究用不同方法测定干电池的电动势和内阻，他们提出的实验方案中有如下四种器材组合。为使实验结果尽可能准确，最不可取的一组器材是（ ）
- A. 一个安培表、一个伏特表和一个滑动变阻器
 B. 一个伏特表和多个定值电阻
 C. 一个安培表和一个电阻箱
 D. 两个安培表和一个滑动变阻器
3. 如图所示，其中电流表 A 的量程为 0.6A，表盘均匀划分为 30 个小格，每一小格表示 0.02A， R_1 的阻值等于电流表内阻的 $\frac{1}{2}$ ； R_2 的阻值等于电流表内阻的 2 倍。若用电流表 A 的表盘刻度表示流过接线柱 1 的电流值，则下列分析正确的是（ ）



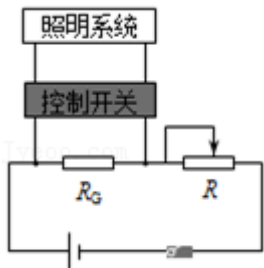
- A. 将接线柱 1、2 接入电路时，每一小格表示 0.04A
 B. 将接线柱 1、2 接入电路时，每一小格表示 0.02A
 C. 将接线柱 1、3 接入电路时，每一小格表示 0.06A
 D. 将接线柱 1、3 接入电路时，每一小格表示 0.01A

7. 在如图所示的电路中，电源内阻和定值电阻的阻值均为 r ，滑动变阻器的最大阻值为 $2r$ 。闭合开关，将滑动变阻器的滑片 P 由 a 端向 b 端滑动的过程中，下列选项正确的是()



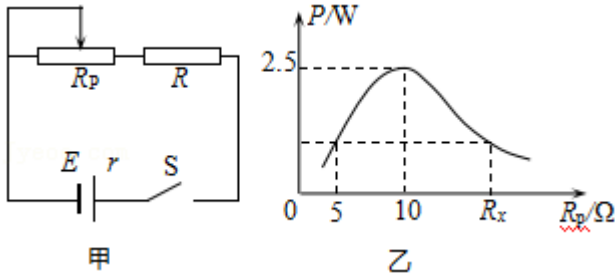
- A. 电压表的示数变大
 - B. 电流表的示数变大
 - C. 电源的效率变大
 - D. 滑动变阻器消耗功率变大
8. 为了节能和环保，一些公共场所用光敏电阻制作光控开关来控制照明系统，如图为电路原理图。图中，直流电源电动势为 $3V$ ，内阻可不计， R 为可变电阻， R_G 为光敏电阻，其在不同照度下的阻值如表（照度是描述光的强弱的物理量，光越强照度越大， lx 是它的单位）。若控制开关两端电压升至 $2V$ 时将自动开启照明系统，则以下说法正确的是 ()

照度/ lx	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
电阻 $R_G/k\Omega$	75	40	28	23	20	18

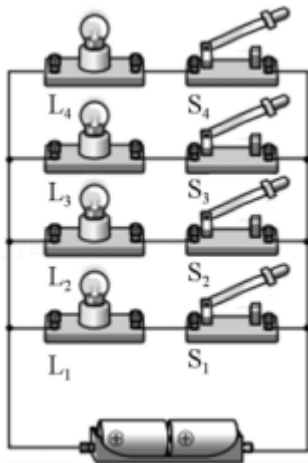


- A. 若将 R 接入电路的阻值调整为 $20k\Omega$ ，则当照度降低到 $1.0lx$ 时启动照明系统
 - B. 若要使照明系统在照度降低到 $0.8lx$ 时启动，则要将 R 接入电路的阻值调整为 $46k\Omega$
 - C. R 接入电路的阻值不变时，照度越大，控制开关两端的电压越大
 - D. 若要在光照更暗时启动照明系统，应将 R 接入电路的阻值调大
9. 一个迷你型电风扇安装有小直流电动机，其线圈电阻为 R_M ，额定电压为 U ，额定电流为 I ，将它与电动势为 E 、内阻为 r 的直流电源相连，电动机恰好正常工作，则 ()
- A. 电动机的总功率为 I^2R_M
 - B. 电源的输出功率为 EI
 - C. 电动机输出的机械功率为 UI
 - D. 通过电动机的电流为 $\frac{E-U}{r}$

10. 如图甲所示，电动势为 E 、内阻为 r 的电源与 $R=6\Omega$ 的定值电阻、滑动变阻器 R_P 、开关 S 组成闭合回路。已知滑动变阻器消耗的功率 P 与其接入电路的有效阻值 R_P 的关系如图乙所示。下述说法中正确的是 ()



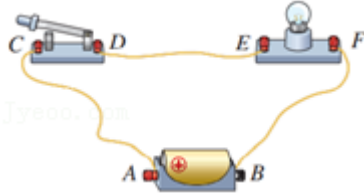
- A. 图乙中 $R_x=15\Omega$
 B. 电源的电动势 $E=10V$ ，内阻 $r=4\Omega$
 C. 滑动变阻器消耗功率 P 最大时，定值电阻 R 也消耗功率最大
 D. 调整滑动变阻器 R_P 的阻值，可以使电源的输出电流达到 $1.25A$
11. 如图所示，四个完全相同的小灯泡并联。闭合开关 S_1 ，灯泡 L_1 发光；陆续闭合 S_2 、 S_3 、 S_4 ，其它灯泡也相继发光。关于灯泡 L_1 的亮度变化分析，下列说法正确的是 ()



- A. 电源电动势不变， L_1 两端电压不变， L_1 亮度不变
 B. 电路总电阻变小， L_1 两端电压变小， L_1 亮度变暗
 C. 电路总电阻变大，导致 L_1 两端电压变大， L_1 亮度变亮
 D. 干路电流不变，其它灯分流导致流过 L_1 电流变小， L_1 亮度变暗

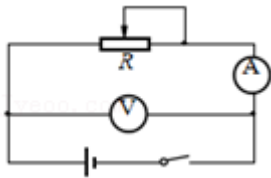
12. 在如图所示的电路中，干电池、开关和额定电压为 1.5V 的灯泡组成串联电路。当闭合开关时，发现灯泡不发光。在闭合开关的情况下，某同学用多用电表直流电压挡进行检测。检测结果如表所示，已知电路仅有一处故障，由此做出的判断中正确的是（ ）

测试点	A、B	D、E	E、F	F、B
多用表示数	1.5V	0	1.5V	0



- A. A、C 间导线断路
- B. D、E 间导线断路
- C. 灯泡断路
- D. F、B 间导线断路

13. 如图所示的闭合电路中，已知电源电动势为 E ，内阻为 r 。随着滑动变阻器滑片的移动可以改变外电路的电阻值 R ，电压表的示数 U 、电流表的示数 I 、电源内阻消耗的功率 P 都将随之改变。以下四幅图中能正确反映 $P - I$ 、 $P - U$ 关系的是（ ）



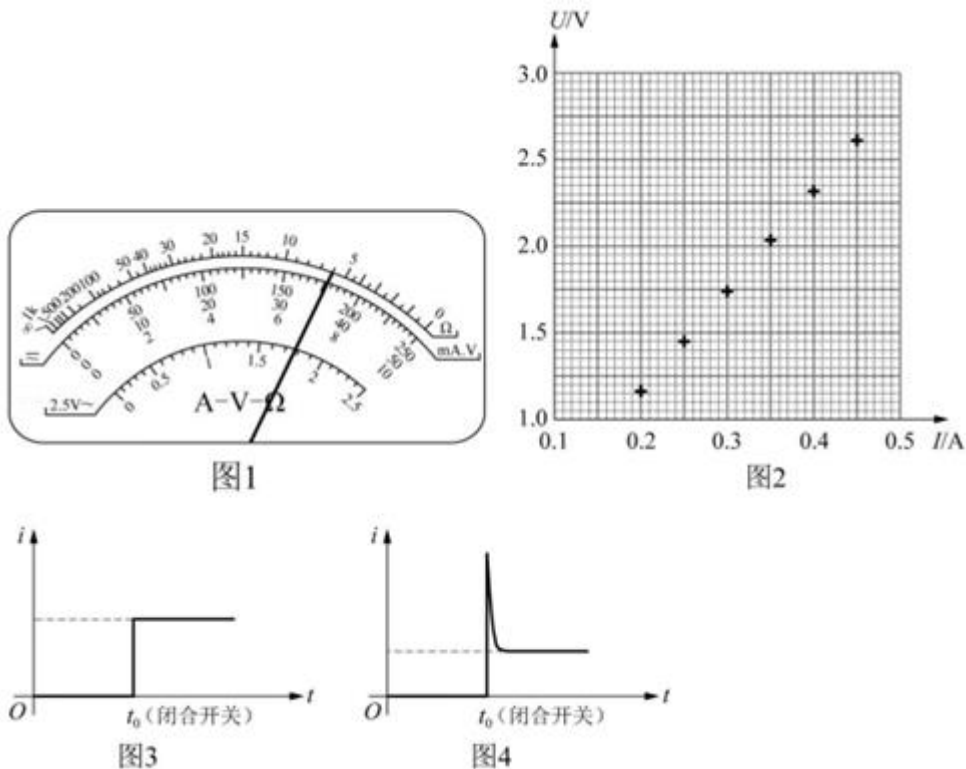
- A.
- B.
- C.
- D.

14. 一不带电的均匀金属圆线圈，绕通过圆心且垂直于线圈平面的轴匀速率转动时，线圈中不会有电流通过；若线圈转动的线速度大小发生变化，线圈中会有电流通过，这个现象被称为斯泰瓦·托尔曼效应。这一现象可解释为：当线圈转动的线速度大小变化时，由于惯性，自由电子与线圈中的金属离子间产生定向的相对运动，从而形成电流。若此线圈在匀速转动的过程中突然停止转动，由于电子在导线中运动会受到沿导线的平均阻力，所以只会形成短暂的电流。已知该金属圆线圈周长为 L 、横截面积为 S 、单位体积内自由电子数为 n ，电子质量为 m 、电荷量为 e ，自由电子受到的平均阻力大小与电子定向移动的速率成正比，比例系数为 k 。若此线圈以角速度 ω 匀速转动时突然停止转动（减速时间可忽略不计），此后，下列说法正确的是（ ）

- A. 线圈中电流方向与线圈原转动方向相同
- B. 自由电子在线圈中运动的线速度均匀减小
- C. 自由电子沿着线圈运动的路程为 $\frac{mL\omega}{4\pi k}$
- D. 通过线圈横截面的电荷量为 $\frac{nem\omega LS}{2\pi k}$

二. 实验题 (共 2 小题)

15. 在“测量金属丝的电阻率”实验中，某同学用电流表和电压表测量一金属丝的电阻。



(1) 该同学先用欧姆表“ $\times 1$ ”挡粗测该金属丝的电阻，示数如图 1 所示，对应的读数是 $\underline{\quad}$ Ω 。

(2) 除电源 (电动势 3.0V，内阻不计)、电压表 (量程 0~3V，内阻约 3k Ω)、开关、导线若干外，还提供如下实验器材：

- A. 电流表 (量程 0~0.6A，内阻约 0.1 Ω)
- B. 电流表 (量程 0~3.0A，内阻约 0.02 Ω)
- C. 滑动变阻器 (最大阻值 10 Ω ，额定电流 2A)
- D. 滑动变阻器 (最大阻值 1k Ω ，额定电流 0.5A)

为了调节方便、测量准确，实验中电流表应选用 $\underline{\quad}$ ，滑动变阻器应选用 $\underline{\quad}$ 。(选填实验器材前对应的字母)

(3) 该同学测量金属丝两端的电压 U 和通过金属丝的电流 I ，得到多组数据，并在坐标图上标出，如图 2 所示。请作出该金属丝的 $U - I$ 图线，根据图线得出该金属丝电阻 $R = \underline{\quad}$ Ω (结果保留小数点后两位)。

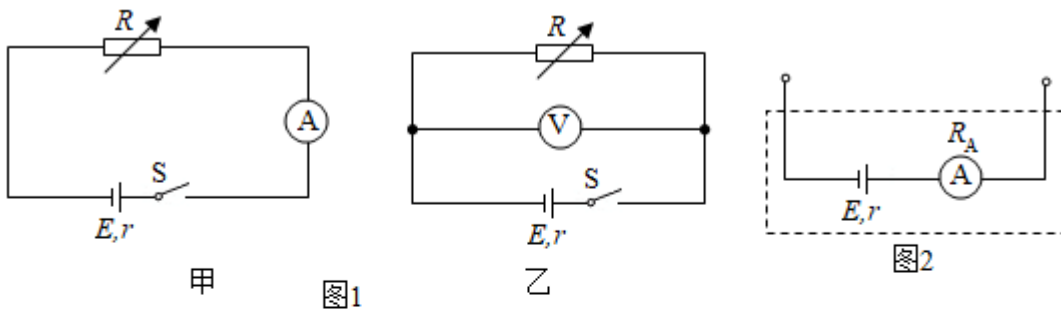
(4) 用电流传感器测量通过定值电阻的电流，电流随时间变化的图线如图 3 所示。将定值电阻替换为小灯泡，电流随时间变化的图线如图 4 所示，请分析说明小灯泡的电流为什么随时间呈现这样的变化。

16. 用图 1 所示的甲、乙两种方法测量某电源的电动势和内电阻（约为 1Ω ）。其中 R 为电阻箱，电流表的内电阻约为 0.1Ω ，电压表的内电阻约为 $3k\Omega$ 。

(1) 利用图 1 中甲图实验电路测电源的电动势 E 和内电阻 r ，所测量的实际是图 2 中虚线框所示“等效电源”的电动势 E' 和内电阻 r' 。若电流表内电阻用 R_A 表示，请你用 E 、 r 和 R_A 表示出 E' 、 r' ，并简要说明理由。

(2) 某同学利用图象分析甲、乙两种方法中由电表内电阻引起的实验误差。在图 3 中，实线是根据实验数据（图甲： $U=IR$ ，图乙： $I=\frac{U}{R}$ ）描点作图得到的 $U-I$ 图象；虚线是该电源的路端电压 U 随电流 I 变化的 $U-I$ 图象（没有电表内电阻影响的理想情况）。在图 3 中，对应图甲电路分析的 $U-I$ 图象是：_____；对应图乙电路分析的 $U-I$ 图象是：_____。

(3) 综合上述分析，为了减小由电表内电阻引起的实验误差，本实验应选择图 1 中的（填“甲”或“乙”）。



Jy500.com

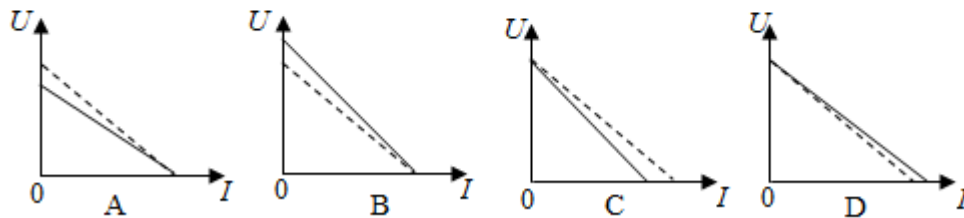


图3

三. 计算题 (共 4 小题)

17. 如图 1 所示, 用电动势为 E 、内阻为 r 的电源, 向滑动变阻器 R 供电。改变变阻器 R 的阻值, 路端电压 U 与电流 I 均随之变化。

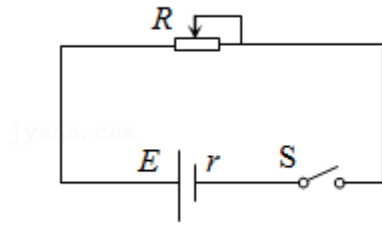


图 1

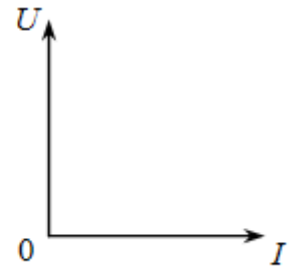


图 2

(1) 以 U 为纵坐标, I 为横坐标, 在图 2 中画出变阻器阻值 R 变化过程中 $U - I$ 图象的示意图, 并说明 $U - I$ 图象与两坐标轴交点的物理意义。

(2) a. 请在图 2 画好的 $U - I$ 关系图线上任取一点, 画出带网格的图形, 以其面积表示此时电源的输出功率;

b. 请推导该电源对外电路能够输出的最大电功率及条件。

(3) 请写出电源电动势定义式, 并结合能量守恒定律证明: 电源电动势在数值上等于内、外电路电势降落之和。

18. 放射性同位素电池具有工作时间长、可靠性高和体积小等优点，是航天、深海、医学等领域的重要新型电源，也是我国近年重点科研攻关项目。某同学设计了一种利用放射性元素 β 衰变的电池，该电池采用金属空心球壳结构，如图 1 所示，在金属球壳内部的球心位置放有一小块与球壳绝缘的放射性物质，放射性物质与球壳之间是真空的。球心处的放射性物质的原子核发生 β 衰变发射出电子，已知单位时间内从放射性物质射出的电子数为 N ，射出电子的最大动能为 E_{km} 。在 0 和 E_{km} 之间的电子分布是均匀的，即任意相等的动能能量区间 ΔE 内的电子数相同。为了研究方便，假设所有射出的电子都是沿着球形结构径向运动，忽略电子的重力及在球壳间的电子之间的相互作用。元电荷为 e ， a 和 b 为接线柱。

- (1) 求 a 、 b 之间的最大电势差 U_m ，以及将 a 、 b 短接时回路中的电流 $I_{短}$ ；
- (2) 图示装置可看作直流电源，在 a 、 b 间接上负载时，两极上的电压为 U ，通过负载的电流为 I ，在图 2 中画出 I 与 U 关系的图线。并由图像分析该电源电动势和内阻。

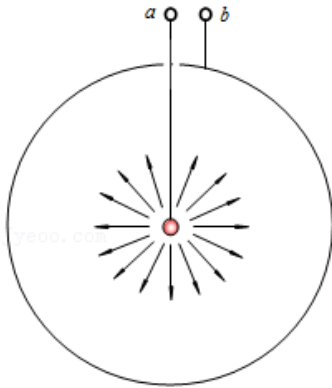


图 1

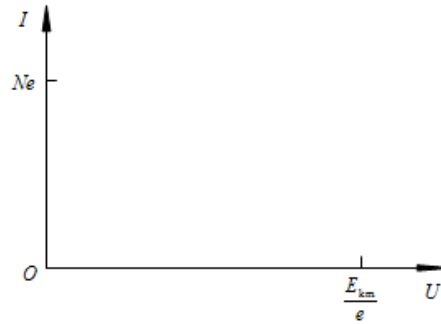


图 2

19. (1) 有 A、B 两段电阻丝，单位体积内的自由电子个数分别为 n_A 和 n_B ，它们的横截面的直径为 d_A 和 d_B 。把两段导体串联接入同一电路，认为大量自由电子的定向匀速移动形成电流。求两段导体内的自由电子的定向移动速率之比？

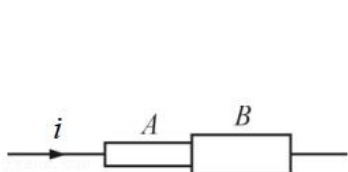


图 1

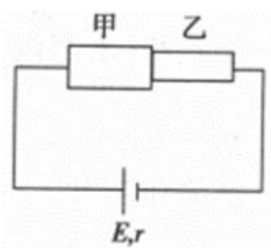


图 2

- (2) 电阻的阻值一般与温度有关，有时为了消除温度对电阻的影响，会把两种电阻串联起来。横截面积一定的甲、乙两种材料的导体棒单位长度电阻随温度 t 的变化规律关系式分别为 $r_1 = a - bt$ 、 $r_2 = c + dt$ ，其中 a 、 b 、 c 、 d 均为正值（常数），把甲、乙两种材料的导体棒按照一定长度比例焊接在一起，总长度为 L ，接到电动势为 E 、内阻为 r 的电源两端，如图所示，尽管温度 t 在不断变化，而电路中电流 I 恒定不变，求：

- i. 甲种材料的导体棒的电阻 $R_{甲}$ ；
- ii. 电路中的电流 I 。

20. 宏观规律是由微观机制所决定的。从微观角度看，在没有外电场的作用下，导线中的自由电子如同理想气体分子一样做无规则的热运动，它们朝任何方向运动的概率都是一样的，则自由电子沿导线方向的速度平均值为零，宏观上不形成电流。如果导线中加了恒定的电场，自由电子的运动过程可做如下简化：自由电子在电场力的驱动下开始定向移动，然后与导线内可视为不动的粒子碰撞，碰撞后电子沿导线方向的定向移动的速度变为零，然后再加速、再碰撞……在宏观上自由电子的定向移动就形成了电流。

(1) 在一段长为 L 、横截面积为 S 的长直导线两端加上电压 U ，已知单位体积内的自由电子数为 n ，电子电荷量为 e ，电子质量为 m ，连续两次碰撞的时间间隔为 t ，仅在自由电子和导线内不动的粒子碰撞时才考虑它们之间的相互作用力。

①求导体中电场强度的大小 E 和自由电子定向移动时的加速度大小 a ；

②求在时间间隔 t 内自由电子定向移动速度的平均值 \bar{v} ，并根据电流的定义，从微观角度推导此时导线上的电流大小；

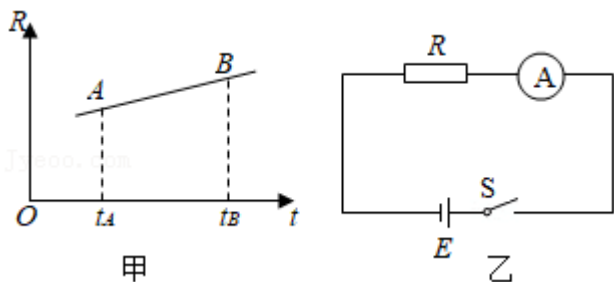
(2) 自由电子与粒子的碰撞宏观上表现为导线的电阻，请利用上述模型推导电阻 R 的微观表达式，并据此解释导线的电阻率为什么与导线的材质和温度有关。

高考物理真题汇编系列--恒定电流--章节检测卷

参考答案与试题解析

一. 选择题（共 14 小题）

1. 图甲表示某金属丝的电阻 R 随摄氏温度 t 变化的情况。把这段金属丝与电池、电流表串联起来（图乙），用这段金属丝做测温探头，把电流表的刻度改为相应的温度刻度，就得到了一个简易温度计。下列说法正确的是（ ）



- A. t_A 应标在电流较大的刻度上，且温度与电流是线性关系
 B. t_A 应标在电流较大的刻度上，且温度与电流是非线性关系
 C. t_B 应标在电流较大的刻度上，且温度与电流是线性关系
 D. t_B 应标在电流较大的刻度上，且温度与电流是非线性关系

【解答】解：AB、由甲图可知， t_A 点对应的电阻阻值较小，由闭合电路欧姆定律知对应电路中的电流较大，由图甲得：

$$R = R_0 + kt$$

由闭合电路欧姆定律得：
$$I = \frac{E}{R_A + R + r}$$

联立解得：
$$t = \frac{E}{kI} - \frac{R_0 + R_A + r}{k}$$
，可知，温度与电流是非线性关系，故 A 错误，B 正确；

CD、同理， t_B 应标在电流较小的刻度上，且温度与电流是非线性关系，故 CD 错误。

故选：B。

2. 某兴趣小组探究用不同方法测定干电池的电动势和内阻，他们提出的实验方案中有如下四种器材组合。为使实验结果尽可能准确，最不可取的一组器材是（ ）
- A. 一个安培表、一个伏特表和一个滑动变阻器
 B. 一个伏特表和多个定值电阻
 C. 一个安培表和一个电阻箱
 D. 两个安培表和一个滑动变阻器

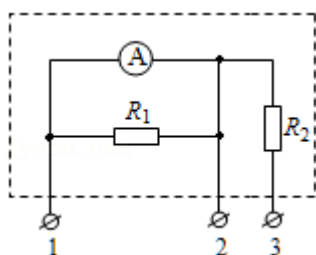
【解答】解：通过改变电路的阻值从而获得多组数据，根据 $U - I$ 图象与坐标轴的交点求解电动势和内阻。

A. 安培表测电流，伏特表测路端电压，滑动变阻改变电路的阻值从而获得多组数据，故 A 可取；

- B. 伏特表测路端电压，电流可由路端电压和定值电阻求得，通过改变接入定值电阻的个数改变电路的电阻，故 B 可取；
- C. 安培表测电流，再由电流和定值电阻可得路端电压，通过改变接入定值电阻的个数改变电路的电阻，故 C 可取；
- D. 两个安培表和一个滑动变阻器，不管怎么组合，不能测出路端电压，故不能测出电动势和内阻，故 D 最不可取。

本题选最不可取的一组器材，故选：D。

3. 如图所示，其中电流表 A 的量程为 0.6A，表盘均匀划分为 30 个小格，每一小格表示 0.02A， R_1 的阻值等于电流表内阻的 $\frac{1}{2}$ ； R_2 的阻值等于电流表内阻的 2 倍。若用电流表 A 的表盘刻度表示流过接线柱 1 的电流值，则下列分析正确的是 ()



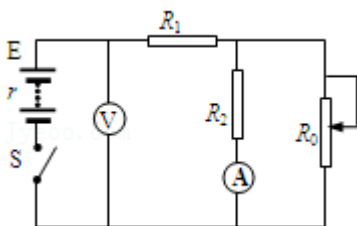
- A. 将接线柱 1、2 接入电路时，每一小格表示 0.04A
- B. 将接线柱 1、2 接入电路时，每一小格表示 0.02A
- C. 将接线柱 1、3 接入电路时，每一小格表示 0.06A
- D. 将接线柱 1、3 接入电路时，每一小格表示 0.01A

【解答】解：AB、当接线柱 1、2 接入电路时，电流表 A 与 R_1 并联，根据串并联电路规律可知， R_1 分流为 1.2A，故量程为 $1.2A+0.6A=1.8A$ ；故每一小格表示 0.06A；故 AB 错误；

CD、当接线柱 1、3 接入电路时，A 与 R_1 并联后与 R_2 串联，电流表的量程仍为 1.8A；故每一小格表示 0.06A；故 C 正确，D 错误；

故选：C。

4. 如图所示电路，电源内阻不可忽略。开关 S 闭合后，在变阻器 R_0 的滑动端向下滑动的过程中 ()



- A. 电压表与电流表的示数都减小
- B. 电压表与电流表的示数都增大

C. 电压表的示数增大，电流表的示数减小

D. 电压表的示数减小，电流表的示数增大

【解答】解：滑片下移，则滑动变阻器接入电阻减小，则总电阻减小，电路中总电流增大，内阻两端电压增大，则由闭合电路欧姆定律可知，电路的路端电压减小，故电压表示数减小；

由欧姆定律可知， R_1 上的分压增大，故并联部分电压减小，即可知电流表示数减小，故 A 正确，BCD 错误；

故选：A。

5. 一电池外电路断开时的路端电压为 3V，接上 8Ω 的负载电阻后路端电压降为 2.4V，则可以判定电池的电动势 E 和内阻 r 为（ ）

A. $E=2.4V$ ， $r=1\Omega$

B. $E=3V$ ， $r=2\Omega$

C. $E=2.4V$ ， $r=2\Omega$

D. $E=3V$ ， $r=1\Omega$

【解答】解：因电路断开时的路端电压即为 3V，故电动势 $E=3V$ ；

对负载由欧姆定律可知：

$$\text{电路中电流 } I = \frac{U}{R} = \frac{2.4V}{8\Omega} = 0.3A;$$

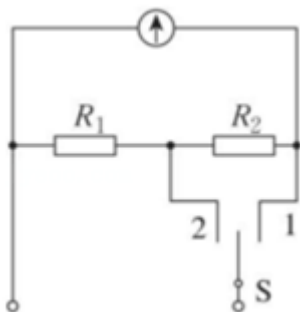
由闭合电路欧姆定律可知： $E=U+Ir$

$$\text{解得内阻 } r = \frac{E-U}{I} = \frac{0.6}{0.3}\Omega = 2\Omega;$$

故选：B。

6. 李伟同学在学习电表改装的原理以后，想找器材实践一下，于是他从学校实验室找来一个小量程电流计 G（表头），查阅说明书，知道了该电流表满偏电流为 $50\mu A$ ，内阻为 800Ω ，他想把该电流计改装成 $0\sim 1mA$ 和 $0\sim 10mA$ 的双量程电流表，电路图如下图所示。

下列说法正确的是（ ）



A. 改装后开关接 2 时量程为 $0\sim 1mA$

B. 改装后的电流表量程均随电阻 R_2 的阻值增大而减小

C. 改装后的电流表量程均随电阻 R_1 的阻值增大而减小

D. 改装后开关接 2 时电流表内阻大于开关接 1 时的内阻

【解答】解：A、接 2 时，分流电阻只有 R_1 ，分流电阻越小，改装后电流表的量程越大，

所以接 1 时量程为 $I_1 = 1\text{mA}$ ，接 2 时量程为 $I_2 = 10\text{mA}$ ，故 A 错误；

B、接 1 时量程 $I_1 = I_g + \frac{I_g R_g}{R_1 + R_2}$ ，若其他条件不变，当 R_2 增大时， I_1 减小，接 2 时量程

$I_2 = I_g + \frac{I_g(R_g + R_2)}{R_1}$ ，其他条件不变，当 R_2 增大时， I_2 也增大，故 B 错误；

C、接 1 时量程 $I_1 = I_g + \frac{I_g R_g}{R_1 + R_2}$ ，若其他条件不变，当 R_1 增大时， I_1 减小，接 2 时量程

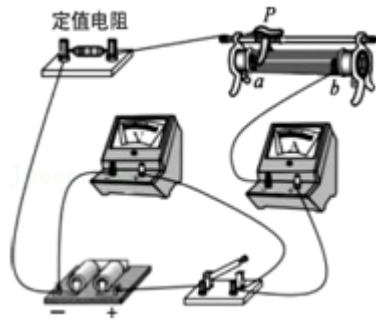
$I_2 = I_g + \frac{I_g(R_g + R_2)}{R_1}$ ，其他条件不变，当 R_1 增大时， I_2 也减小，故 C 正确；

D、开关接 1 时，新电流表的内阻 $R_{g1} = \frac{R_g(R_1 + R_2)}{R_g + R_1 + R_2}$ ，接 2 时新电流表的内阻 $R_{g2} = \frac{(R_g + R_2)R_1}{R_g + R_2 + R_1}$ ，由于 $R_1 < R_g$ ，所以 $R_{g1} > R_{g2}$ ，故 D 错误。

故选：C。

7. 在如图所示的电路中，电源内阻和定值电阻的阻值均为 r ，滑动变阻器的最大阻值为 $2r$ 。

闭合开关，将滑动变阻器的滑片 P 由 a 端向 b 端滑动的过程中，下列选项正确的是()



A. 电压表的示数变大

B. 电流表的示数变大

C. 电源的效率变大

D. 滑动变阻器消耗功率变大

【解答】解：AB、开关闭合后，电压表测量路端电压，电流表测量总电流。当滑动变阻器的滑片 P 由 a 端向 b 端滑动过程中，接入电路的电阻减小，总电流增大，电源的内电压增大，路端电压减小，故电压表的示数变小，电流表的示数变大，故 A 错误、B 正确；

C、所以电源的效率 $\eta = \frac{UI}{EI} \times 100\% = \frac{U}{E} \times 100\%$ ，当滑动变阻器的滑片 P 由 a 端向 b 端滑动过程中，路端电压 U 减小，则效率减小，故 C 错误；

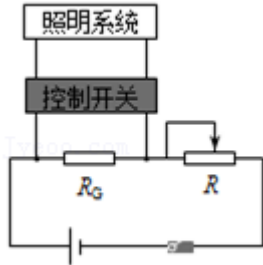
D、将定值电阻看成电源的内阻，则等效电源的内阻为 $2r$ ，滑动变阻器的最大阻值也是 $2r$ ，因为电源的内电阻与外电阻相等时电源的输出功率最大，所以滑片 P 由 a 端向 b 端滑动过程中，滑动变阻器消耗的功率变小，故 D 错误。

故选：B。

8. 为了节能和环保，一些公共场所用光敏电阻制作光控开关来控制照明系统，如图为电路原理图。图中，直流电源电动势为 3V ，内阻可不计， R 为可变电阻， R_G 为光敏电阻，

其在不同照度下的阻值如表（照度是描述光的强弱的物理量，光越强照度越大，lx 是它的单位）。若控制开关两端电压升至 2V 时将自动开启照明系统，则以下说法正确的是（ ）

照度/lx	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
电阻 $R_G/k\Omega$	75	40	28	23	20	18



- A. 若将 R 接入电路的阻值调整为 20k Ω ，则当照度降低到 1.0lx 时启动照明系统
- B. 若要使照明系统在照度降低到 0.8lx 时启动，则要将 R 接入电路的阻值调整为 46k Ω
- C. R 接入电路的阻值不变时，照度越大，控制开关两端的电压越大
- D. 若要在光照更暗时启动照明系统，应将 R 接入电路的阻值调大

【解答】解：A、若将 R 接入电路的阻值调整为 20k Ω ，当照度降低到 1.0lx 时，光敏电阻阻值为 20k Ω ，则控制开关两端的电压为 1.5V，小于 2V，所以，不能启动照明系统，故 A 错误；

B、若要使照明系统在照度降低到 0.8lx 时启动，此时光敏电阻阻值为 23k Ω ，根据 $\frac{U_{RG}}{U_R} = \frac{R_G}{R}$ 得 $R = \frac{U_R R_G}{U_{RG}} = \frac{1V \times 23k\Omega}{2V} = 11.5k\Omega$ ，即要将 R 接入电路的阻值调整为 11.5k Ω ，故 B 错误；

C、R 接入电路的阻值不变时，照度越大，光敏电阻阻值越小，光敏电阻与照明系统并联的阻值越小，根据串联电路中电压与电阻成正比，可知，控制开关两端的电压越小，故 C 错误；

D、在光照更暗时启动照明系统，此时光敏电阻阻值较大，光敏电阻与照明系统并联的阻值较大，控制开关两端的电压较大，所以，若要在光照更暗时启动照明系统，应将 R 接入电路的阻值调大，故 D 正确。

故选：D。

9. 一个迷你型电风扇安装有小直流电动机，其线圈电阻为 R_M ，额定电压为 U，额定电流为 I，将它与电动势为 E、内阻为 r 的直流电源相连，电动机恰好正常工作，则（ ）

- A. 电动机的总功率为 $I^2 R_M$
- B. 电源的输出功率为 EI

C. 电动机输出的机械功率为 UI

D. 通过电动机的电流为 $\frac{E-U}{r}$

【解答】解：A、因为电动机正常工作，通过它的电流为 I ，其额定电压为 U ，故它的总功率为 $P_{\text{总}}=IU$ ，热功率 $P_{\text{热}}=I^2R_M$ ，由于电能并不有全部转化为内能，故总功率大于 I^2R_M ，A 错误；

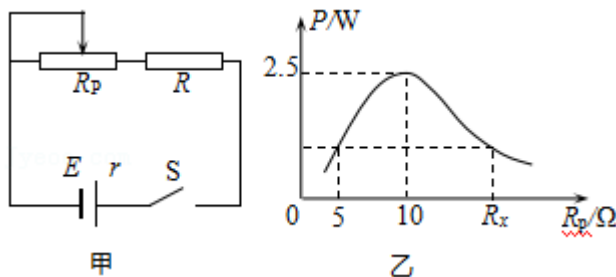
B、电源直接对电动机供电，电源的路端电压等于电动机两端的电压，故路端电压为 U ，故电源的输出功率为 $P=UI$ ，故 B 错误；

C、电源输出的机械功率等于总功率与热功率的差值，故电动机输出的机械功率为 $P_{\text{出}}=UI - I^2R_M$ ，故 C 错误；

D、因路端电压为 U ，故电源的内电压 $U_{\text{内}}=E - U=Ir$ ，解得通过电动机的电流为 $I=\frac{E-U}{r}$ ，故 D 正确。

故选：D。

10. 如图甲所示，电动势为 E 、内阻为 r 的电源与 $R=6\Omega$ 的定值电阻、滑动变阻器 R_P 、开关 S 组成闭合回路。已知滑动变阻器消耗的功率 P 与其接入电路的有效阻值 R_P 的关系如图乙所示。下述说法中正确的是（ ）



- A. 图乙中 $R_x=15\Omega$
- B. 电源的电动势 $E=10V$ ，内阻 $r=4\Omega$
- C. 滑动变阻器消耗功率 P 最大时，定值电阻 R 也消耗功率最大
- D. 调整滑动变阻器 R_P 的阻值，可以使电源的输出电流达到 $1.25A$

【解答】解：AB、将 R 看成电源的内阻，由图乙知，当 $R_P=R+r=10\Omega$ 时，滑动变阻器消耗的功率 P 最大，因 $R=6\Omega$ ，可得电源的内阻 $r=4\Omega$ 。

最大功率为 $P_m=\left[\frac{E}{2(R+r)}\right]^2 (R+r)=\frac{E^2}{4(R+r)}=2.5W$ ，解得电源的电动势 $E=10V$ ；

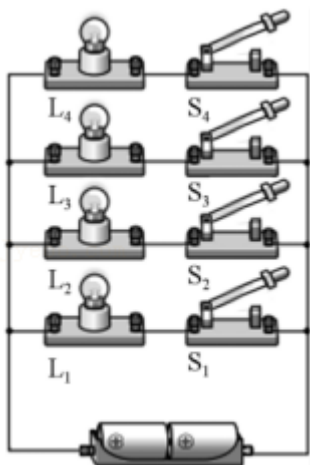
当滑动变阻器接入电路的有效阻值为 5Ω 与阻值为 R_x 时消耗的功率相等，则有 $\left(\frac{E}{5+R+r}\right)^2 \times 5 = \left(\frac{E}{R_x+R+r}\right)^2 R_x$ ，解得 $R_x=20\Omega$ ，故 A 错误，B 正确；

C、当 $R_P=0$ 时，电路中电流最大，定值电阻 R 消耗的功率最大，此时，滑动变阻器消耗功率 P 不是最大，故 C 错误；

D、当 $R_P=0$ 时，电路中电流最大，且最大值为 $I_{\max} = \frac{E}{R+r} = \frac{10}{6+4}A = 1A$ ，所以，调整滑动变阻器 R_P 的阻值，可以使电源的输出电流不会达到 $1.25A$ ，故 D 错误。

故选：B。

11. 如图所示，四个完全相同的小灯泡并联。闭合开关 S_1 ，灯泡 L_1 发光；陆续闭合 S_2 、 S_3 、 S_4 ，其它灯泡也相继发光。关于灯泡 L_1 的亮度变化分析，下列说法正确的是（ ）



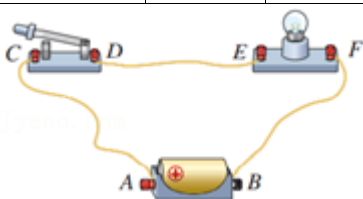
- A. 电源电动势不变， L_1 两端电压不变， L_1 亮度不变
- B. 电路总电阻变小， L_1 两端电压变小， L_1 亮度变暗
- C. 电路总电阻变大，导致 L_1 两端电压变大， L_1 亮度变亮
- D. 干路电流不变，其它灯分流导致流过 L_1 电流变小， L_1 亮度变暗

【解答】解：闭合开关 S_1 ，并陆续闭合 S_2 、 S_3 、 S_4 ，随着并联的灯泡增多，外电路总电阻变小，根据闭合电路欧姆定律分析可知，干路电流变大，由 $U' = Ir$ 知内电压变大，则路端电压变小， L_1 两端电压变小， L_1 亮度变暗，故 ACD 错误，B 正确。

故选：B。

12. 在如图所示的电路中，干电池、开关和额定电压为 $1.5V$ 的灯泡组成串联电路。当闭合开关时，发现灯泡不发光。在闭合开关的情况下，某同学用多用电表直流电压挡进行检测。检测结果如表所示，已知电路仅有一处故障，由此做出的判断中正确的是（ ）

测试点	A、B	D、E	E、F	F、B
多用表示数	1.5V	0	1.5V	0



- A. A、C 间导线断路
- B. D、E 间导线断路
- C. 灯泡断路
- D. F、B 间导线断路

【解答】解：A、若 A、C 间导线断路，电路中没有电流，则 E、F 间测得的电压应为 0，

与题不符，故 A 错误；

B、若 D、E 间导线断路，电路中没有电流，D 点的电势与 A 点的电势相等，E 点的电势与 B 点的电势相等，则 D、E 测得的电压应为 1.5V，与题不符，故 B 错误；

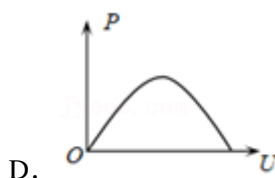
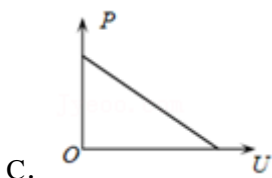
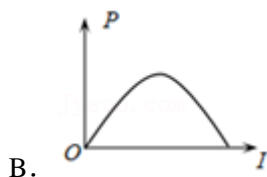
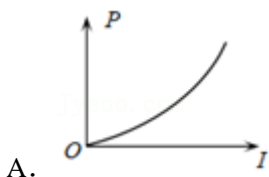
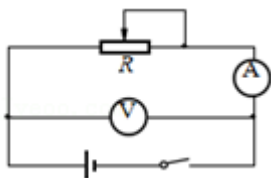
C、若灯泡断路，电路中没有电流，

当闭合开关时，发现灯泡不发光，电路中无电流，E 点的电势与 A 点的电势相等，F 点的电势与 B 点的电势相等，则 E、F 测得的电压为 1.5V，与题相符，故 C 正确；

D、若 F、B 间导线断路，电路中没有电流，则 E、F 间测得的电压应为 0，与题不符，故 D 错误。

故选：C。

13. 如图所示的闭合电路中，已知电源电动势为 E，内阻为 r。随着滑动变阻器滑片的移动可以改变外电路的电阻值 R，电压表的示数 U、电流表的示数 I、电源内阻消耗的功率 P 都将随之改变。以下四幅图中能正确反映 P - I、P - U 关系的是 ()



【解答】解：AB、电源内阻消耗的功率 $P=I^2r$ ，由于电源的内阻 r 不变，故电源的总功率 P 与干路电流 I 的平方成正比，图线应为二次函数曲线，故 A 正确，B 错误；

CD、电源内电压 $U_{内}=E-U(U \leq E)$ ，电源内阻消耗的功率 $P=\frac{U_{内}^2}{r}=\frac{(E-U)^2}{r}(U \leq E)$ ，故 P 随着 U 增大而减小，且成二次函数关系，故 CD 错误；

故选：A。

14. 一不带电的均匀金属圆线圈，绕通过圆心且垂直于线圈平面的轴匀速率转动时，线圈中不会有电流通过；若线圈转动的线速度大小发生变化，线圈中会有电流通过，这个现象被称为斯泰瓦·托尔曼效应。这一现象可解释为：当线圈转动的线速度大小变化时，由于惯性，自由电子与线圈中的金属离子间产生定向的相对运动，从而形成电流。若此线圈在匀速转动的过程中突然停止转动，由于电子在导线中运动会受到沿导线的平均阻力，所以只会形成短暂的电流。已知该金属圆线圈周长为 L、横截面积为 S、单位体积内自由

电子数为 n ，电子质量为 m 、电荷量为 e ，自由电子受到的平均阻力大小与电子定向移动的速率成正比，比例系数为 k 。若此线圈以角速度 ω 匀速转动时突然停止转动（减速时间可忽略不计），此后，下列说法正确的是（ ）

A. 线圈中电流方向与线圈原转动方向相同

B. 自由电子在线圈中运动的线速度均匀减小

C. 自由电子沿着线圈运动的路程为 $\frac{mL\omega}{4\pi k}$

D. 通过线圈横截面的电荷量为 $\frac{nem\omega LS}{2\pi k}$

【解答】解：A、若此线圈以角速度 ω 匀速转动时突然停止转动，则由于惯性自由电子将向前运动，则线圈中形成的电流方向与线圈原转动方向相反，故 A 错误；

B、因为自由电子受到的平均阻力大小与电子定向移动的速率成正比，即 $f = kv$ ，由于电子的速度减小、阻力减小、加速度减小，可知自由电子在线圈中运动的线速度不是均匀减小，故 B 错误；

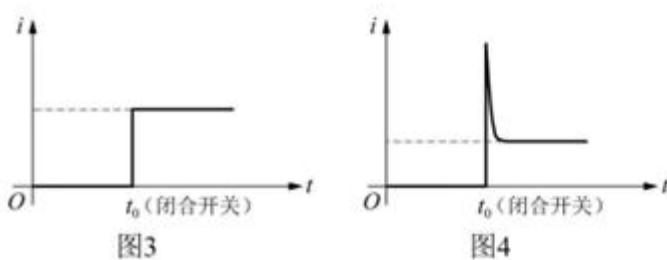
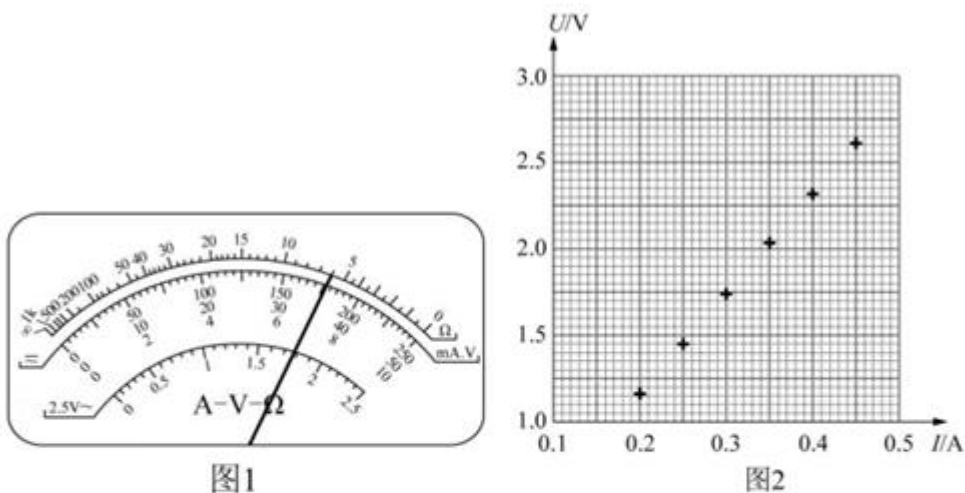
C、电子随线圈转动的线速度 $v = r\omega = \frac{L\omega}{2\pi}$ ；对电子由动量定理可得： $f\Delta t = mv$ ，即： $kv\Delta t = kx = mv$ ，解得： $x = \frac{m\omega L}{2\pi k}$ ，故 C 错误；

D、通过线圈横截面的电荷量为： $q = neSx = \frac{nem\omega LS}{2\pi k}$ ，故 D 正确。

故选：D。

二. 实验题（共 2 小题）

15. 在“测量金属丝的电阻率”实验中，某同学用电流表和电压表测量一金属丝的电阻。



(1) 该同学先用欧姆表“ $\times 1$ ”挡粗测该金属丝的电阻，示数如图 1 所示，对应的读数

是 6 Ω 。

(2) 除电源（电动势 3.0V，内阻不计）、电压表（量程 0~3V，内阻约 3k Ω ）、开关、导线若干外，还提供如下实验器材：

- A. 电流表（量程 0~0.6A，内阻约 0.1 Ω ）
- B. 电流表（量程 0~3.0A，内阻约 0.02 Ω ）
- C. 滑动变阻器（最大阻值 10 Ω ，额定电流 2A）
- D. 滑动变阻器（最大阻值 1k Ω ，额定电流 0.5A）

为了调节方便、测量准确，实验中电流表应选用 A，滑动变阻器应选用 C。（选填实验器材前对应的字母）

(3) 该同学测量金属丝两端的电压 U 和通过金属丝的电流 I ，得到多组数据，并在坐标图上标出，如图 2 所示。请作出该金属丝的 $U-I$ 图线，根据图线得出该金属丝电阻 $R=$ 5.80 Ω （结果保留小数点后两位）。

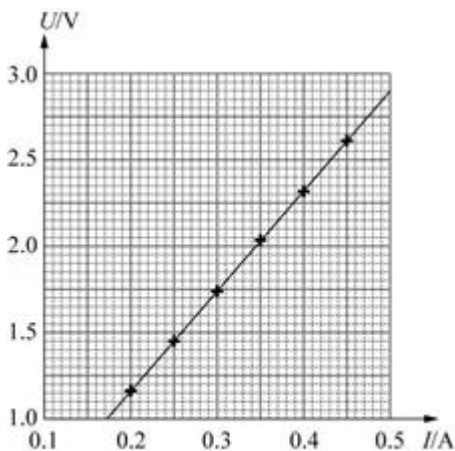
(4) 用电流传感器测量通过定值电阻的电流，电流随时间变化的图线如图 3 所示。将定值电阻替换为小灯泡，电流随时间变化的图线如图 4 所示，请分析说明小灯泡的电流为什么随时间呈现这样的变化。

【解答】解：(1) 欧姆表刻度值为 6，挡位为“ $\times 1$ ”，则读数为： $6 \times 1\Omega = 6\Omega$ ；（欧姆表刻度不均匀，用其粗测电阻值，可以不估读。）

(2) 电源电动势为 3.0V，电压表量程最大值为 3V，则流过待测金属丝的最大电流约为 $\frac{3}{6}A = 0.5A$ ，故电流表应选择量程 0~0.6A 的，故电流表应选用 A；

待测金属丝的电阻约为 6 Ω ，对于最大阻值 10 Ω 和 1k Ω 的两个滑动变阻器，为了调节方便，应选择最大值为 10 Ω 的滑动变阻器，故滑动变阻器应选用 C；

(3) 该金属丝的 $U-I$ 图像为：



答图1

作出的图线为直线，则金属丝的电阻保持不变，图线经过原点，为使相对误差较小，取 I 、

U 的值较大的点 (0.5A、2.9V)，则 $R = \frac{2.9}{0.5}\Omega = 5.80\Omega$ ；

(4) 由于灯丝的电阻随温度的升高而变大，刚闭合开关时，灯丝温度较低，电阻较小，电流较大；随着灯丝温度升高，灯丝电阻逐渐增大，电流逐渐减小；当灯丝发热与散热平衡时，温度保持不变，电阻不变，电流保持不变。

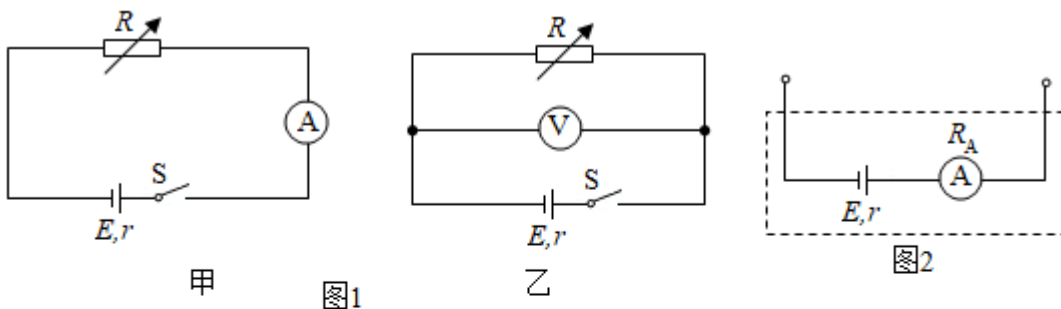
故答案为：(1) 6；(2) A；C；(3) 如答图 1；5.80；(4) 由于灯丝的电阻随温度的升高而变大，刚闭合开关时，灯丝温度较低，电阻较小，电流较大；随着灯丝温度升高，灯丝电阻逐渐增大，电流逐渐减小；当灯丝发热与散热平衡时，温度保持不变，电阻不变，电流保持不变。

16. 用图 1 所示的甲、乙两种方法测量某电源的电动势和内电阻（约为 1Ω ）。其中 R 为电阻箱，电流表的内电阻约为 0.1Ω ，电压表的内电阻约为 $3k\Omega$ 。

(1) 利用图 1 中甲图实验电路测电源的电动势 E 和内电阻 r ，所测量的实际是图 2 中虚线框所示“等效电源”的电动势 E' 和内电阻 r' 。若电流表内电阻用 R_A 表示，请你用 E 、 r 和 R_A 表示出 E' 、 r' ，并简要说明理由。

(2) 某同学利用图象分析甲、乙两种方法中由电表内电阻引起的实验误差。在图 3 中，实线是根据实验数据（图甲： $U=IR$ ，图乙： $I=\frac{U}{R}$ ）描点作图得到的 $U-I$ 图象；虚线是该电源的路端电压 U 随电流 I 变化的 $U-I$ 图象（没有电表内电阻影响的理想情况）。在图 3 中，对应图甲电路分析的 $U-I$ 图象是：C；对应图乙电路分析的 $U-I$ 图象是：A。

(3) 综合上述分析，为了减小由电表内电阻引起的实验误差，本实验应选择图 1 中的乙（填“甲”或“乙”）。



1jy500.com

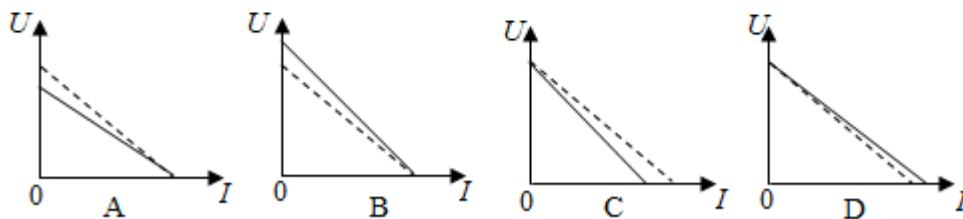


图3

【解答】解：(1) 将电源和电流表视为等效电源，电源电动势是电源本身具有的属性，电流表不具有产生电动势的本领，所以等效电源的电动势仍然为 $E' = E$ 而电流表的内阻和电动势的内阻作为等效电源的内阻，即： $r' = r + R_A$

(2) 对甲图，考虑电表内阻时，根据闭合电路欧姆定律得： $E = U_{\text{路}} + Ir_{\text{内}} = U + I(r + R_A)$

变形得： $U = - (r + R_A) I + E$

直接通过实验获得数据，可得： $U = - rI + E$

图象与纵轴截距均为电源电动势 E ，虚线对应的斜率的绝对值为 $r + R_A$ ，实线对应的斜率绝对值为 r ，所以对应图甲电路分析的图象是 C；

对乙图，考虑电表内阻时（即虚线对应的真实情况），根据闭合电路欧姆定律得： $E = U_{\text{路}} + Ir_{\text{内}} = U + (I + \frac{U}{R_V})r = U + Ir + U \frac{r}{R_V}$

$$+ Ir_{\text{内}} = U + (I + \frac{U}{R_V})r = U + Ir + U \frac{r}{R_V}$$

变形得 $U = - \frac{R_V r}{R_V + r} I + \frac{R_V}{R_V + r} E$

直接通过实验获得数据，可得 $U = - rI' + E$

虚线对应的斜率绝对值为 r ，实线对应的斜率绝对值为 $\frac{R_V}{R_V + r} r < r$ ，虚线对应的纵轴截距为 E ，实线对应的纵轴截距为 $\frac{R_V}{R_V + r} E < E$ ；两图线在 $U = 0$ 时，对应的短路电流均为 $I_{\text{短}} = \frac{E}{r}$ ，

所以对应图乙电路分析的 $U - I$ 图象是 A。

(3) 图甲虽然测量的电源电动势准确，但电流表分压较为明显，所以内阻测量的误差很大；图乙虽然电动势和内阻测量均偏小，但是电压表内阻很大，分流不明显，所以电动势和内阻的测量误差较小，所以选择图乙可以减小由电表内电阻引起的实验误差。

故答案为：(1) $E' = E$ ， $r' = r + R_A$ ，理由如上所述；(2) C，A；(3) 乙。

三. 计算题 (共 4 小题)

17. 如图 1 所示，用电动势为 E 、内阻为 r 的电源，向滑动变阻器 R 供电。改变变阻器 R 的阻值，路端电压 U 与电流 I 均随之变化。

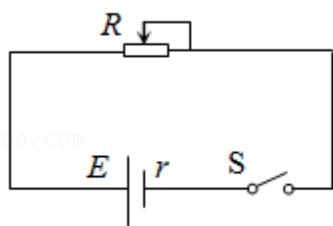


图 1

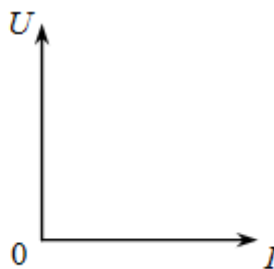


图 2

(1) 以 U 为纵坐标， I 为横坐标，在图 2 中画出变阻器阻值 R 变化过程中 $U - I$ 图象的示意图，并说明 $U - I$ 图象与两坐标轴交点的物理意义。

(2) a. 请在图 2 画好的 $U - I$ 关系图线上任取一点，画出带网格的图形，以其面积表示此时电源的输出功率；

b. 请推导该电源对外电路能够输出的最大电功率及条件。

(3) 请写出电源电动势定义式，并结合能量守恒定律证明：电源电动势在数值上等于内、外电路电势降落之和。

【解答】解：（1）根据闭合电路的欧姆定律可得 $E=U+Ir$ ，解得 $U=E-Ir$ ，

画出的 $U-I$ 图象如图所示；

图象与纵坐标的坐标值为电源电动势，与横轴交点表示短路电流；

（2）a、如图中网格图形所示；

b、电路中的电流强度为 $I=\frac{E}{R+r}$

$$\text{输出电功率 } P=I^2R=\left(\frac{E}{R+r}\right)^2R=\frac{E^2}{R+2r+\frac{r^2}{R}}$$

当 $R=\frac{r^2}{R}$ 即 $R=r$ 时输出功率最大，最大电功率 $P_m=\frac{E^2}{4r}$ ；

（3）电动势的定义式为 $E=\frac{W}{q}$ ，

根据能量守恒，在图 1 中，非静电力做的功 W 产生的电能等于外电路和内电路产生的电热，

$$\text{即： } W=I^2rt+I^2Rt,$$

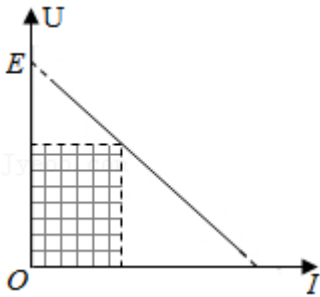
$$\text{所以 } EIt=U_{\text{内}}It+U_{\text{外}}It,$$

$$\text{解得 } E=U_{\text{内}}+U_{\text{外}}.$$

答：（1） $U-I$ 图象如图所示；图象与纵坐标的坐标值为电源电动势，与横轴交点表示短路电流；

（2）a、如图中网格图形所示；b、 $R=r$ 时输出功率最大，最大电功率 $P_m=\frac{E^2}{4r}$ ；

（3）电源电动势定义式 $E=\frac{W}{q}$ ；证明见解析。



18. 放射性同位素电池具有工作时长、可靠性高和体积小等优点，是航天、深海、医学等领域的重要新型电源，也是我国近年重点科研攻关项目。某同学设计了一种利用放射性元素 β 衰变的电池，该电池采用金属空心球壳结构，如图 1 所示，在金属球壳内部的球心位置放有一小块与球壳绝缘的放射性物质，放射性物质与球壳之间是真空的。球心处的放射性物质的原子核发生 β 衰变发射出电子，已知单位时间内从放射性物质射出的电子数为 N ，射出电子的最大动能为 E_{km} 。在 0 和 E_{km} 之间的电子分布是均匀的，即任意相等的动能能量区间 ΔE 内的电子数相同。为了研究方便，假设所有射出的电子都是沿着球形结构径向运动，忽略电子的重力及在球壳间的电子之间的相互作用。元电荷为 e ，

a 和 b 为接线柱。

(1) 求 a、b 之间的最大电势差 U_m ，以及将 a、b 短接时回路中的电流 $I_{短}$ ；

(2) 图示装置可看作直流电源，在 a、b 间接上负载时，两极上的电压为 U ，通过负载的电流为 I ，在图 2 中画出 I 与 U 关系的图线。并由图像分析该电源电动势和内阻。

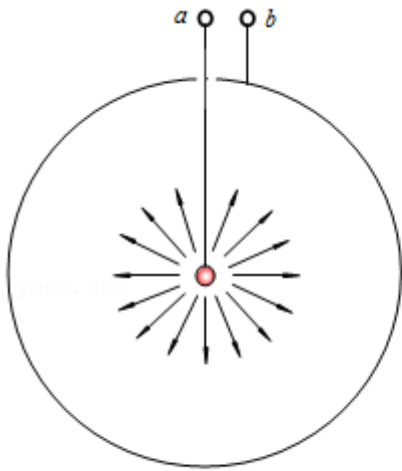


图 1

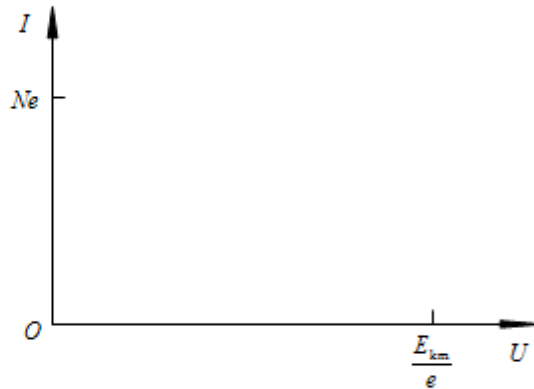


图 2

【解答】解：(1) 若外壳积累了大量电子后形成最大电压时，但仍有电子到达外壳，对动能最大的电子由动能定理有： $-eU_m = 0 - E_{km}$ 可得： $U_m = \frac{E_{km}}{e}$ ；

短路时所有逸出电子都能到达 b 壳，故短路电流为 $I_{短} = Ne$

(2) 由上一问知，该电源的电动势为 $E = U_m = \frac{E_{km}}{e}$ ，而短路电流 $I_{短} = Ne$ ，结合电路可

求出电流内阻 $r = \frac{E}{I_{短}} = \frac{\frac{E_{km}}{e}}{Ne} = \frac{E_{km}}{Ne^2}$ ，所以电路中此时电流 $I = \frac{E-U}{r} = \frac{\frac{E_{km}}{e} - U}{\frac{E_{km}}{Ne^2}} = -\frac{Ne^2}{E_{km}}U +$

Ne

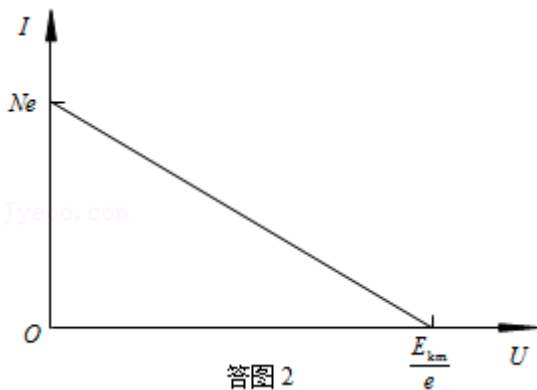
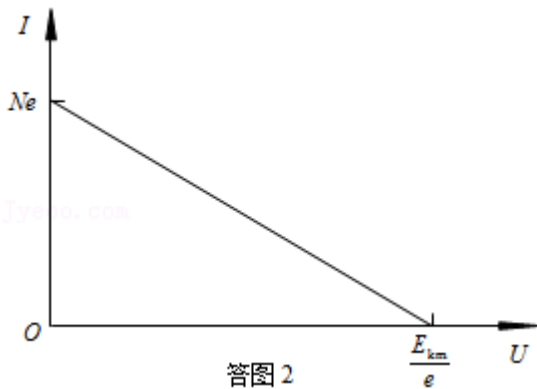
作出图象如图所示。

图象的横截距为电源电动势 $E = \frac{E_{km}}{e}$ ，纵截距为短路电流 $I_{短} = Ne$ 。

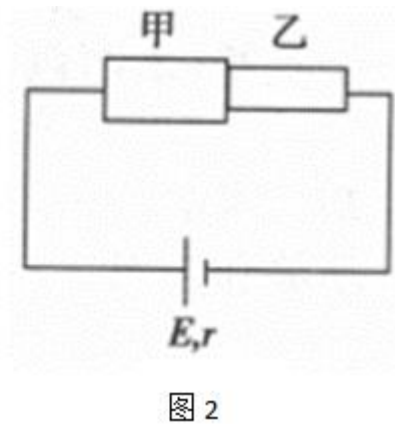
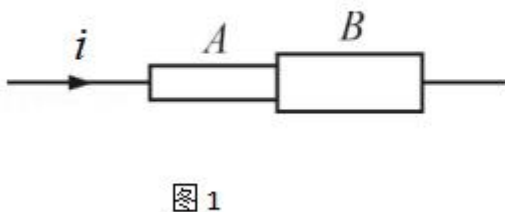
答：(1) a、b 之间的最大电势差 U_m 为 $\frac{E_{km}}{e}$ ，将 a、b 短接时回路中的电流 $I_{短}$ 为 Ne ；

(2) 图示装置可看作直流电源，在 a、b 间接上负载时，两极上的电压为 U ，通过负载的电流为 I ，在图 2 中画出 I 与 U 关系的图线如图所示。由图像分析该电源电动势为 $\frac{E_{km}}{e}$ 、

内阻为 $\frac{E_{km}}{Ne^2}$ 。



19. (1) 有 A、B 两段电阻丝，单位体积内的自由电子个数分别为 n_A 和 n_B ，它们的横截面的直径为 d_A 和 d_B 。把两段导体串联接入同一电路，认为大量自由电子的定向匀速移动形成电流。求两段导体内的自由电子的定向移动速率之比？



(2) 电阻的阻值一般与温度有关，有时为了消除温度对电阻的影响，会把两种电阻串接起来。横截面积一定的甲、乙两种材料的导体棒单位长度电阻随温度 t 的变化规律关系式分别为 $r_1 = a - bt$ 、 $r_2 = c + dt$ ，其中 a 、 b 、 c 、 d 均为正值（常数），把甲、乙两种材料的导体棒按照一定长度比例焊接在一起，总长度为 L ，接到电动势为 E 、内阻为 r 的电源两端，如图所示，尽管温度 t 在不断变化，而电路中电流 I 恒定不变，求：

- i. 甲种材料的导体棒的电阻 $R_{甲}$ ；
- ii. 电路中的电流 I 。

【解答】解：(1) 两段导体串联，电流相等，由 $I = n_A e \left(\frac{d_A}{2}\right)^2 v_A = n_B e \left(\frac{d_B}{2}\right)^2 v_B$
 得两段导体内的自由电子的定向移动速率之比： $\frac{v_A}{v_B} = \frac{n_B d_B^2}{n_A d_A^2}$

(2) i. 电路中电流恒定不变，根据闭合电路欧姆定律可知总电阻 R 不变，则需使甲、乙两种材料的导体棒的长度之比为 $d: b$ ，则甲种材料的导体棒的长度为

$$x = \frac{d}{b+d}L$$

则甲种材料的导体棒的电阻为

$$R_{甲} = xr_1 = \frac{d}{b+d}L (a - bt)$$

ii. 甲、乙两种材料的导体棒串联后总电阻为

$$R = xr_1 + (L - x)r_2$$

根据闭合电路欧姆定律可知电路中电流

$$I = \frac{E}{R+r}$$

$$\text{解得 } I = \frac{(b+d)E}{(b+d)r_1 + (ad+bc)L}$$

或 (i): 设甲导体棒长度为 x ，则甲乙导体棒总电阻为

$$R = (a - bt)x + (c+dt)(L - x) = ax + c(L - x) + [-bx + d(L - x)]t$$

由题意， R 与温度 t 无关，则 $[-bx + d(L - x)]t = 0$ ，则

$$x = \frac{d}{b+d}L$$

$$R_{甲} = xr_1 = \frac{d}{b+d}L (a - bt)$$

答：(1) 两段导体内的自由电子的定向移动速率之比 $\frac{n_B d_B^2}{n_A d_A^2}$;

(2) i. 甲种材料的导体棒的电阻 $R_{甲}$ 为 $\frac{d}{b+d}L (a - bt)$;

ii. 电路中的电流 I 为 $\frac{(b+d)E}{(b+d)r_1 + (ad+bc)L}$ 。

20. 宏观规律是由微观机制所决定的。从微观角度看，在没有外电场的作用下，导线中的自由电子如同理想气体分子一样做无规则的热运动，它们朝任何方向运动的概率都是一样的，则自由电子沿导线方向的速度平均值为零，宏观上不形成电流。如果导线中加了恒定的电场，自由电子的运动过程可做如下简化：自由电子在电场力的驱动下开始定向移动，然后与导线内可视为不动的粒子碰撞，碰撞后电子沿导线方向的定向移动的速度变为零，然后再加速、再碰撞……在宏观上自由电子的定向移动就形成了电流。

(1) 在一段长为 L 、横截面积为 S 的长直导线两端加上电压 U ，已知单位体积内的自由电子数为 n ，电子电荷量为 e ，电子质量为 m ，连续两次碰撞的时间间隔为 t ，仅在自由电子和导线内不动的粒子碰撞时才考虑它们之间的相互作用力。

①求导体中电场强度的大小 E 和自由电子定向移动时的加速度大小 a ;

②求在时间间隔 t 内自由电子定向移动速度的平均值 \bar{v} ，并根据电流的定义，从微观角度推导此时导线上的电流大小;

(2) 自由电子与粒子的碰撞宏观上表现为导线的电阻，请利用上述模型推导电阻 R 的微观表达式，并据此解释导线的电阻率为什么与导线的材质和温度有关。

【解答】解：(1) ①导体中电场强度的大小为

$$E = \frac{U}{L}$$

自由电子定向移动时的加速度大小

$$a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m} = \frac{eU}{mL}$$

②自由电子在连续两次碰撞的时间间隔 t 内做匀变速直线运动，设第二次碰撞前的速度为 v ，则

$$v = at, \quad \bar{v} = \frac{1}{2}v$$

解得

$$\bar{v} = \frac{eUt}{2mL}$$

t 时间内通过导线横截面积的电荷量为

$$q = nV_{\text{体}}e = neSL = neS\bar{v}t$$

则电流

$$I = \frac{q}{t} = neS\bar{v} = \frac{ne^2USt}{2mL}$$

(2) 电阻

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

解得

$$R = \frac{2m}{ne^2t} \cdot \frac{L}{S}$$

由电阻定律得

$$R = \rho \frac{L}{S} = \frac{2m}{ne^2t} \cdot \frac{L}{S}$$

解得

$$\rho = \frac{2m}{ne^2t}$$

从表达式可知导体的温度变化会导致导体内自由电子的热运动速度变化，从而使自由电子连续两次碰撞的时间间隔 t 发生变化，因此电阻率与导体的温度有关。且不同的材质在相同体积下，质量和单位体积内自由电子数不同，因此电阻率和导体的材质有关。

答：(1) ①导体中电场强度的大小 E 为 $\frac{U}{L}$ ，自由电子定向移动时的加速度大小 a 为 $\frac{eU}{mL}$ ；

②在时间间隔 t 内自由电子定向移动速度的平均值 \bar{v} 为 $\frac{eUt}{2mL}$ ，根据电流的定义，从微观角

度推导此时导线上的电流大小为 $\frac{ne^2USt}{2mL}$ ；

(2)自由电子与粒子的碰撞宏观上表现为导线的电阻,电阻 R 的微观表达式为 $R = \frac{2m}{ne^2t} \cdot \frac{L}{S}$, 由此可知导体的电阻率为 $\rho = \frac{2m}{ne^2t}$, 从表达式可知导体的温度变化会导致导体内自由电子的热运动速度变化, 从而使自由电子连续两次碰撞的时间间隔 t 发生变化, 因此电阻率与导体的温度有关。且不同的材质在相同体积下, 质量和单位体积内自由电子数不同, 因此电阻率和导体的材质有关。