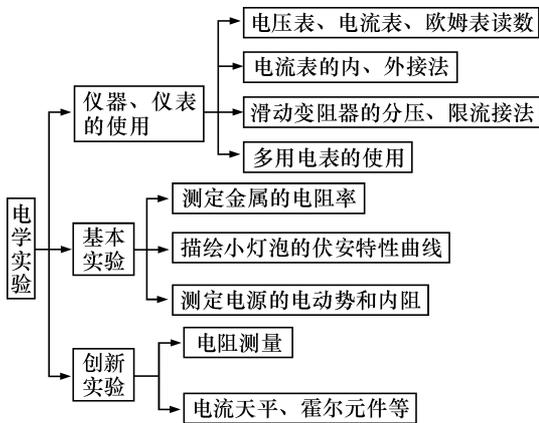


第2讲 电学实验

知识网络



基础落实

1. 电学实验器材的选择

器材选取三原则

(1)安全性原则:要能够根据实验要求和客观条件选用合适的仪器,使实验切实可行,能达到预期目标.另外还要注意测量仪器的量程,电器元件的电流不能超过其允许通过的最大电流等.

(2)精确性原则:根据实验的需要,选用精度合适的测量工具,但对某个实验来讲,精确程度合适即可,并不是精度越高越好.

(3)方便性原则:实验时需考虑调节方便,便于操作,如滑动变阻器的选择,既要考虑它的额定电流,又要考虑它的阻值范围,在二者都能满足实验要求的情况下,还要考虑阻值大小对实验操作是否调节方便的问题.

2. 电学控制电路的选择

(1)控制电路的比较:(设电源内阻为 0)

比较项目	限流式接法	分压式接法
电路		
电压调节的范围	_____	_____
电能损耗	节能	耗能

(2)控制电路的选择:

①从节能的角度考虑,优先选用_____.

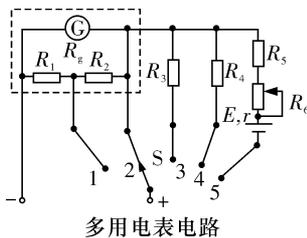
②以下三种情况必须用_____:
 a. 要求待测电路的 U 、 I 从 0 起开始变化;
 b. $R_{滑} \ll R_x$;
 c. 若选用限流式,则会使 U_x 、 I_x 过大(超过电流表量程,烧坏电表、电源或用电器等).

3. 电流表内接法与外接法的选择

比较项目	电流表内接法	电流表外接法
电路		
误差原因	由于电流表内阻的分压作用,电压表测量值偏大	由于电压表内阻的分流作用,电流表测量值偏大
测量结果	$R_{测} = \frac{U}{I} = R_A + R_x > R_x$ 电阻的测量值大于真实值	$R_{测} = \frac{U}{I} = \frac{R_V R_x}{R_V + R_x} < R_x$ 电阻的测量值小于真实值
适用条件	_____	_____

4. 多用电表的内部结构

多用电表是由一个小量程的电流表和若干元件组成的,每进行一种测量时,只使用其中一部分电路,其他部分不起作用.如图所示,其中1、2为电流测量端,3、4为电压测量端,5为电阻测量端,测量时,黑表笔插入“-”插孔,红表笔插入“+”插孔,并通过转换开关接入与待测量相应的测量端.



考点突破

考点一 电学测量类仪器的使用与读数

例1 某中学的物理实验小组利用实验室的器材组装成了一个多用电表,电路如图1所示, G 是量程为 $400 \mu\text{A}$ 、内阻为 240Ω 的电流表, O 为旋钮, A 、 B 为两插孔,旋钮扳到位置1时为量程 $I=1 \text{ mA}$ 的电流表、旋钮扳到位置2时为“ $\times 100$ ”挡位的欧姆表、旋钮扳到位置3时为量程 $U=5 \text{ V}$ 的电压表.由所学的知识回答下列问题:

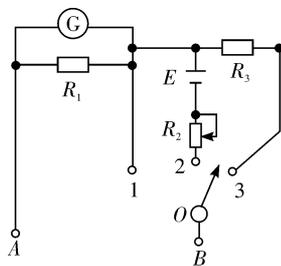


图1

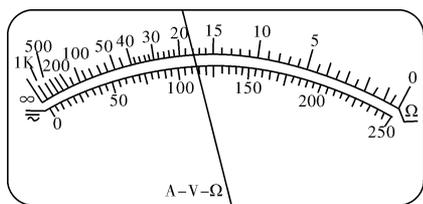


图2

(1)若该多用电表的指针位于图2位置,当旋钮分别扳到位置1、2、3时,其示数分别为_____ mA、_____ Ω、_____ V;

(2)电路图中,两定值电阻的阻值分别为 $R_1 =$ _____ Ω、 $R_3 =$ _____ Ω;

(3)如果用该改装表测二极管的反向电阻时,图1中的插孔A应与二极管的_____ (填“正极”或“负极”)相连接;

(4)假设电路图1中,电池的电动势变小、内阻变大;将插孔A、B用导线直接连接,调节 R_2 ,使电流表的示数达到满偏;然后将插孔A、B用导线与一未知电阻连接,则该电阻的测量值_____ (填“大于”“等于”或“小于”)真实值.

【方法总结】1. 电流表、电压表、欧姆表的对比

仪器	极性	量程选择	读数
电流表	有正、负极的电表,电流由电表的正极流入,负极流出	使指针指在比满偏刻度 $\frac{1}{3}$ 多的位置	若最小分度为 1、0.1、0.01 等,需要估读到最小分度的下一位;如果最小分度不是 1、0.1、0.01 等,只需要读到最小分度位即可
电压表		使指针尽量指在表盘的中间位置左右	取两位有效数字并乘以相应挡位的倍率

2. 多用电表的使用方法

(1)选倍率,一般要选择比被测电阻的估计值低一个数量级的倍率,如估计值为 $200\ \Omega$ 就应该选“ $\times 10$ ”的倍率.

(2)进行欧姆调零.

(3)将红黑表笔接被测电阻两端进行测量.

(4)将指针示数乘以倍率,得测量值.

(5)测量结束后,将选择开关扳到“OFF”或交流电压最高档.

3. 欧姆表使用五注意

(1)选挡后接着欧姆调零;

(2)换挡后重新欧姆调零;

(3)待测电阻与电路、电源要断开;

(4)尽量使指针指在表盘中间位置附近;

(5)读数之后要乘以倍率得阻值.

变式训练 1 (1)①如图1所示的电流表使用 $0.6\ \text{A}$ 量程时,对应刻度盘上每一小格代表_____ A,图中表针示数是_____ A;当使用 $3\ \text{A}$ 量程时,对应刻度盘上每一小格代表_____ A,图中表针示数为_____ A.



图1

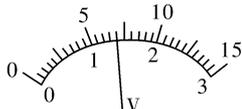


图2

②如图2所示的电压表使用较小量程时,每小格表示_____ V,图中指针的示数为_____ V.若使用的是较大量程,则这时表盘刻度每小格表示_____ V,图中表针指示的是_____ V.

(2)旋钮式电阻箱如图3所示,电流从接线柱A流入,从B流出,则接入电路的电阻为_____ Ω.今欲将接入电路的电阻改为 $2\ 087\ \Omega$,最简单的操作方法是_____.

若用两个这样的电阻箱,则可得到的电阻值范围为_____.

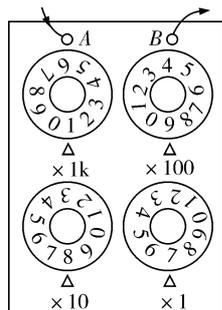
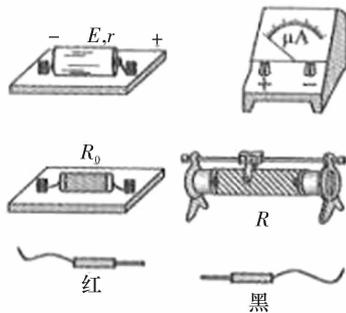


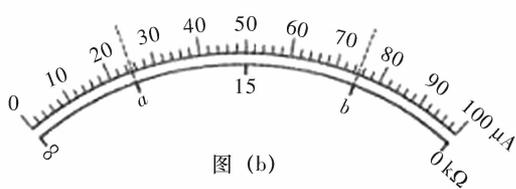
图3

变式训练 2 (2019·全国卷Ⅲ)某同学欲将内阻为 $98.5\ \Omega$ 、量程为 $100\ \mu\text{A}$ 的电流表改装成欧姆表并进行刻度

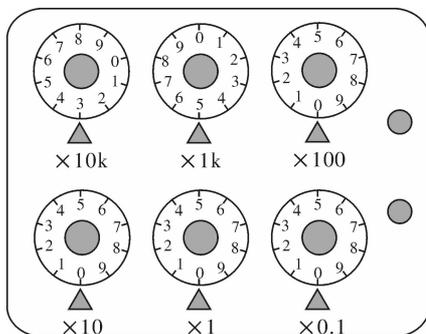
和校准,要求改装后欧姆表的 $15\ \text{k}\Omega$ 刻度正好对应电流表表盘的 $50\ \mu\text{A}$ 刻度.可选用的器材还有:定值电阻 R_0 (阻值 $14\ \text{k}\Omega$),滑动变阻器 R_1 (最大阻值 $1\ 500\ \Omega$),滑动变阻器 R_2 (最大阻值 $500\ \Omega$),电阻箱 ($0\sim 99\ 999.9\ \Omega$),干电池 ($E=1.5\ \text{V}$, $r=1.5\ \Omega$),红、黑表笔和导线若干.



图(a)



图(b)



图(c)

(1)欧姆表设计

将图(a)中的实物连线组成欧姆表. 欧姆表改装好后, 滑动变阻器 R 接入电路的电阻应为 $\underline{\hspace{2cm}}$ Ω ; 滑动变阻器选 $\underline{\hspace{2cm}}$ (填“ R_1 ”或“ R_2 ”).

(2)刻度欧姆表表盘

通过计算, 对整个表盘进行电阻刻度, 如图(b)所示. 表盘上 a 、 b 处的电流刻度分别为 25 和 75, 则 a 、 b 处的电阻刻度分别为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 、 $\underline{\hspace{2cm}}$.

(3)校准

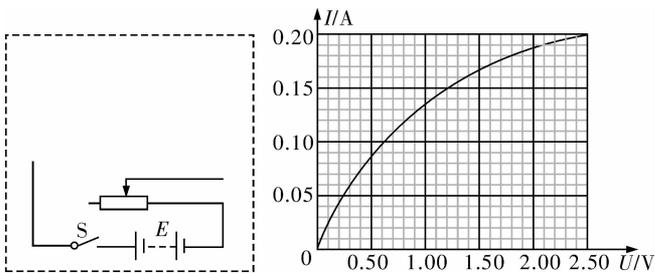
红、黑表笔短接, 调节滑动变阻器, 使欧姆表指针指向 $\underline{\hspace{2cm}}$ $k\Omega$ 处; 将红、黑表笔与电阻箱连接, 记录多组电阻箱接入电路的电阻值及欧姆表上对应的测量值, 完成校准数据测量. 若校准某刻度时, 电阻箱旋钮位置如图(c)所示, 则电阻箱接入的阻值为 $\underline{\hspace{2cm}}$ Ω .

考点二 电学元件的伏安特性曲线描绘

例 2 为了描绘小电珠(标有“2.5 V 0.5 W”字样)的伏安特性曲线, 现提供如下器材:

- 电压表 V_1 (量程 0~3 V, 内阻约 3 k Ω);
- 电压表 V_2 (量程 0~15 V, 内阻约 15 k Ω);
- 电流表 A_1 (量程 0~0.6 A, 内阻约 1.0 Ω);
- 电流表 A_2 (量程 0~3 A, 内阻约 0.1 Ω);
- 电流表 A_3 (量程 0~300 mA, 内阻约 5 Ω);
- 滑动变阻器 R_1 (0~10 Ω , 3 A);
- 滑动变阻器 R_2 (0~1 k Ω , 0.1 A);
- 电源 E (电动势约为 6 V, 内阻可不计);
- 开关 S 、导线若干.

为了尽可能减小实验误差, 测量时方便得到多组数据, 请回答下列问题:



甲

乙

(1)电压表应选用 $\underline{\hspace{2cm}}$, 电流表应选用 $\underline{\hspace{2cm}}$, 滑动变阻器应选用 $\underline{\hspace{2cm}}$. (填器材代号)

(2)在图甲所示虚线框内补充完整实验电路的原理图并标明选用的器材代号.

(3)若测得通过小电珠灯丝的电流 I 随灯泡两端电压 U 变化的关系图象如图乙所示, 将该小电珠与电动势为 1.5 V、内阻为 3 Ω 的干电池组成闭合电路, 则该小电珠消耗的电功率为 $\underline{\hspace{2cm}}$ W. (结果保留两位有效数字)

【方法总结】1. 电学元件(小灯泡等)电阻较小, 为了减小误差, 电流表采用外接法, 为了使元件两端的电压能从零开始连续变化, 滑动变阻器应采用分压接法.

2. 实验过程中为了减小误差, 电压表量程要进行变换. $U \leq 3$ V 时, 采用 0~3 V 量程; $U > 3$ V 时, 采用 0~15 V 量程.

3. 闭合开关前, 滑动变阻器滑动触头应移到使开关闭合时小灯泡两端的电压为零的位置.

考点三 电阻、电阻率的测量

例 3 (2018·天津卷) 某同学用伏安法测定待测电阻 R_x 的阻值(约为 10 k Ω), 除了 R_x 、开关 S 、导线外, 还有下列器材供选用:

- A. 电压表(量程 0~1 V, 内阻约为 10 k Ω)
- B. 电压表(量程 0~10 V, 内阻约为 100 k Ω)
- C. 电流表(0~1 mA 内阻约为 30 Ω)
- D. 电流表(0~0.6 A, 内阻约为 0.05 Ω)
- E. 电源(电动势 1.5 V, 额定电流 0.5 A, 内阻不计)
- F. 电源(电动势 12 V, 额定电流 2 A, 内阻不计)
- G. 滑动变阻器 R_0 (阻值范围 0~10 Ω , 额定电流 2 A)

①为使测量尽量准确, 电压表选用 $\underline{\hspace{2cm}}$, 电流表选用 $\underline{\hspace{2cm}}$, 电源选用 $\underline{\hspace{2cm}}$. (均填器材的字母代号);

②画出测量 R_x 阻值的实验电路图.



③该同学选择器材、连接电路和操作均正确, 从实验原理上看, 待测电阻测量值会 $\underline{\hspace{2cm}}$ (填“大于”“小于”或“等于”)其真实值, 原因是 $\underline{\hspace{2cm}}$.

例 4 (2019·江苏卷) 某同学测量一段长度已知的电阻丝的电阻率. 实验操作如下:

(1)螺旋测微器如图 1 所示. 在测量电阻丝直径时, 先将电阻丝轻轻地夹在测砧与测微螺杆之间, 再转动 $\underline{\hspace{2cm}}$ (选填“ A ”“ B ”或“ C ”), 直到听见“喀喀”的声音, 以保证压力适当, 同时防止螺旋测微器的损坏.

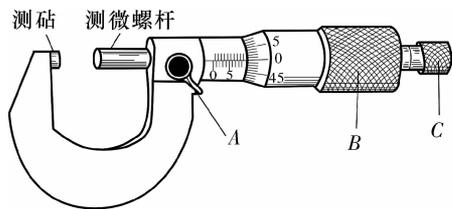


图 1

(2)选择电阻丝的 $\underline{\hspace{2cm}}$ (选填“同一”或“不同”)位置进行多次测量, 取其平均值作为电阻丝的直径.

(3)图 2 中 R_x 为待测电阻丝. 请用笔画线代替导线, 将滑动变阻器接入图 3 实物电路中的正确位置.

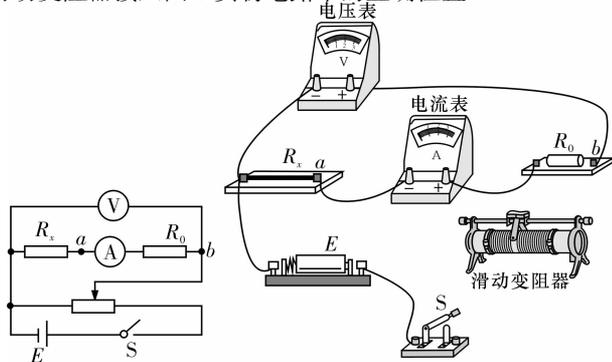


图 2

图 3

(4)为测量 R_x , 利用图 2 所示的电路, 调节滑动变阻器测得 5 组电压 U_1 和电流 I_1 的值, 作出的 U_1-I_1 关系图象如图 4 所示. 接着, 将电压表改接在 a, b 两端, 测得 5 组电压 U_2 和电流 I_2 的值, 数据见下表:

U_2/V	0.50	1.02	1.54	2.05	2.55
I_2/mA	20.0	40.0	60.0	80.0	100.0

请根据表中的数据, 在方格纸上作出 U_2-I_2 图象.

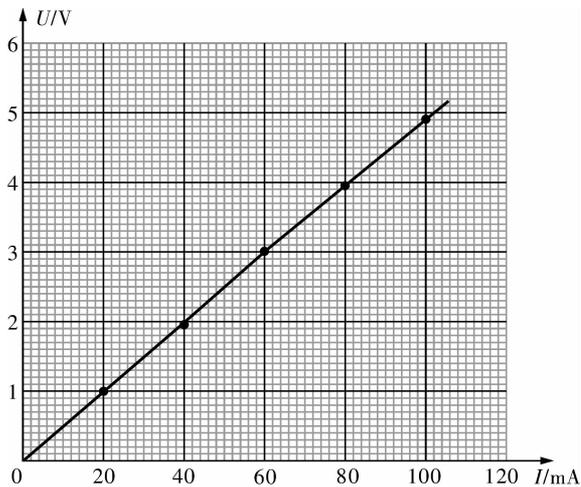


图4

(5)由此, 可求得电阻丝的 $R_x = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$. 根据电阻定律可得到电阻丝的电阻率.

【方法总结】一、测电阻的方法

1. 最直接的测量方法: 使用多用电表欧姆挡测量

其原理是闭合电路的欧姆定律: $I = \frac{E}{R_{内} + R + r + R_x}$

$= \frac{E}{R_{内} + R_x}$, 欧姆调零后, $R_{内}$ 定值, 对应一个 R_x , 就有一个 I 值.

欧姆表用久后, E 减小, R_g 不变, r 增大, 若仍能欧姆调零, 则 R 应减小, 使 $R_{内}$ 减小, $I = \frac{E}{R_{内} + R_x} = \frac{I_g R_{内}}{R_{内} + R_x} = \frac{I_g}{1 + \frac{R_x}{R_{内}}}$, 当

$R_{内}$ 变小时, I 变小, 指针跟原来的位置相比偏左了, 欧姆表读数变大, 使 R_x 的测量值变大了.

2. 最广泛的测量方法: 伏安法测电阻

其原理是部分电路的欧姆定律 $R = \frac{U}{I}$

控制电路有限流式和分压式两种, 测量电路有电流表内接法和外接法两种, 还可以依给出的电表, 把内阻已知的电流表作为电压表使用或者把已知内阻的电压表作为电流表使用.

3. 最准确的测量方法: 替代法

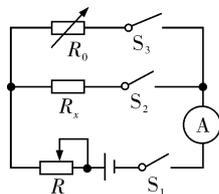
其原理是用电阻箱阻值替代被测电阻 R_x , 使电路中电流不变或电压不变

(1) 电流等效替代, 电路如图.

①把 R_0 调到最大, R 的滑片移到右端;

②断开 S_3 , 闭合 S_1, S_2 调节 R , 记下电流表示数 I .

③保持 R 不变, 断开 S_2 , 闭合 S_3 . 调节 R_0 使电流表示数仍为 I , 则 $R_x = R_0$.

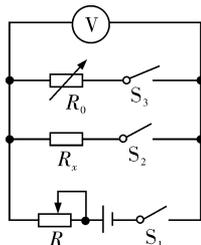


(2) 电压等效替代, 电路如图

①把 R_0 调到最适当位置, R 的滑片移到右端;

②断开 S_3 , 闭合 S_1, S_2 , 调节 R , 记下电压表示数 U ;

③保持 R 不变, 断开 S_2 , 闭合 S_3 , 调节 R_0 使电压表示数为 U , 则 $R_x = R_0$.



4. 电表内阻的测量常用半偏法

(1) 半偏法测电流表内阻的电路如图.

①断开 S_2 , 闭合 S_1 , 调节 R_1 使电流表读数为满偏电流 I_g .

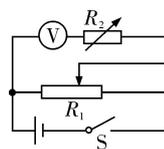
②保持 R_1 不变, 闭合 S_2 , 调节 R_2 , 使电流表读数为 $\frac{I_g}{2}$, 读取 R_2 之值, 在满足 $R_1 \gg R_A$ 时, 可认为 $R_A = R_2$.

③由于闭合 S_2 后的操作会使电路总电流增大, 使 R_2 中电流大于 $\frac{I_g}{2}$, 这样会使 R_A 的测量值偏小, R_1 与 R_A 倍数相差越大, 误差越小.

(2) 半偏法测电压表内阻的电路如图.

①把 R_2 的值调为 0, 闭合 S , 调节 R_1 , 使电压表示数为满偏值 U .

②保持 R_1 不变, 调节 R_2 , 使电压表示数为 $\frac{U}{2}$, 读取 R_2 之值, 在满足 $R_1 \ll R_V$ 时, 可认为 $R_V = R_2$.



③在调大 R_2 后, R_1 的输出电压大于 U , R_2 分值的电压大于 $\frac{U}{2}$, 所以 R_2 的值大于 R_V , 而把 R_2 的值作为 R_V 的测量值, 所以测量值偏大, 电压表内阻越大, 误差越小.

5. 独特的测量方法: 电桥法

基本测量电路如图(电桥电路) R_1, R_2 是标准电阻, G 是灵敏电流表(0 刻度在正中央). 闭合 S , 反复调节 R_3 , 使 G 表指针指在 0 刻度处(电桥平衡), 读取 R_3 之值, 依 R_1 与 R_3 电压相等, R_2 与 R_x 电压相等, 有 $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}, \frac{U_1}{R_3} = \frac{U_2}{R_x}, \therefore$ 有 $R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}, R_1, R_2$ 可用均匀电阻丝代替, 与 G 表相接处改为滑动触头, 电桥平衡时, 只要测出电阻丝长度 L_1, L_2 , 测 $R_x = \frac{L_2}{L_1} R_3$ (上右图).

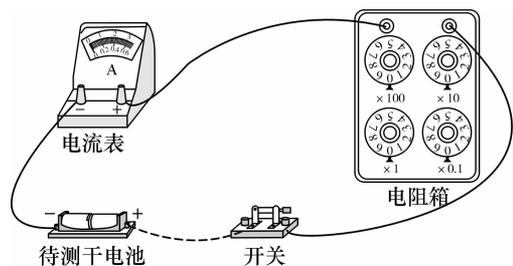
温馨提示: 请完成限时训练(二十)P155

考点突破

考点四 测电源电动势的内阻

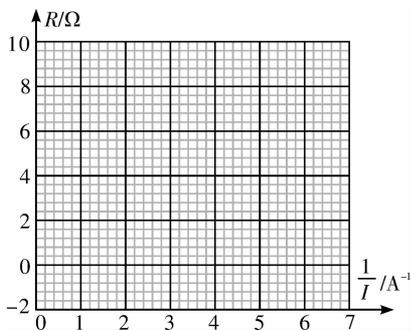
例 5 (2018·江苏卷) 一同学测量某干电池的电动势和内阻.

(1) 如图所示是该同学正准备接入最后一根导线(图中虚线所示)时的实验电路. 请指出图中在器材操作上存在的两个不妥之处 _____ ; _____

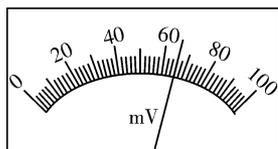


(2) 实验测得的电阻箱阻值 R 和电流表示数 I , 以及计算的 $\frac{1}{I}$ 数据见下表. 根据表中数据, 在方格纸上作出 $R-\frac{1}{I}$ 关系图象. 由图象可计算出该干电池的电动势为 _____ V; 内阻为 _____ Ω .

R/Ω	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0
I/A	0.15	0.17	0.19	0.22	0.26
$\frac{1}{I}/A^{-1}$	6.7	6.0	5.3	4.5	3.8



(3) 为了得到更准确的测量结果, 在测出上述数据后, 该同学将一只量程为 100 mV 的电压表并联在电流表的两端. 调节电阻箱, 当电流表的示数为 0.33 A 时, 电压表的指针位置如图所示, 则该干电池的电动势应为 _____ V; 内阻应为 _____ Ω .



【方法总结】1. 三种方法的比较

方法	原理图	数据处理
用电压表、电流表和可变电阻(如滑动变阻器)测量		测出多组 U 、 I 值, 根据 $E=U+Ir$, 通过计算或利用图象法处理数据
用电流表、电阻箱测量		测出多组 I 、 R 值, 根据 $E=I(R+r)$ 通过计算或利用图象法处理数据
用电压表、电阻箱测量		测出多组 U 、 R 值, 根据 $E=U+\frac{U}{R}r$, 通过计算或利用图象法处理数据

2. 三种常用实验方法和原理, 伏安法 $E=U+Ir$ 、伏阻法 $E=U\left(1+\frac{r}{R}\right)$ 、安阻法 $E=I(R+r)$.

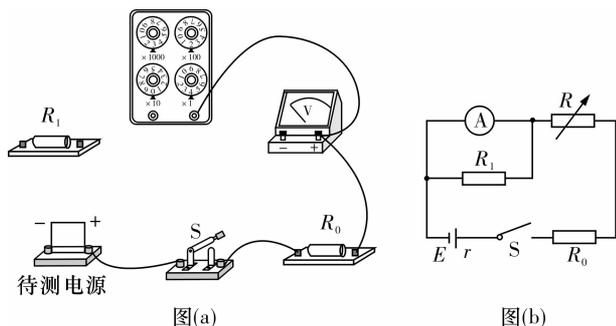
3. 两种数据处理方法: 联立方程求解法和图象处理法, 对伏安法利用电源的 $U-I$ 图象求电动势和内阻; 对伏阻法和安阻法需对方程 $E=U\left(1+\frac{r}{R}\right)$ 和 $E=I(R+r)$ 适当变形作线性处理, 并利用直线方程的截距和斜率求电动势或内阻等物理量.

【变式训练 3】两个学习小组分别用下面两种方案测量电源电动势和内阻.

(1) 方案一: 用内阻为 3 k Ω 、量程为 1 V 的电压表, 保护电阻 R_0 , 电阻箱 R , 定值电阻 R_1 , 开关 S , 测量一节干电池的电动势和内阻.

① 由于干电池电动势约为 1.5 V, 需要把量程为 1 V 的电压表扩大量程. 若定值电阻 R_1 可供选择的阻值有 1 k Ω 、1.5 k Ω 、2 k Ω , 其中最合适的是 _____.

② 请在虚线框内画出测量电源电动势和内阻的电路原理图, 并完成图(a)中剩余的连线.



(2) 方案二: 按照图(b)的电路测量电源电动势和内阻, 已知电流表内阻为 R_A , $R_1=R_A$, 保护电阻的阻值为 R_0 , 若电流表读数为 I , 则通过电源的电流为 _____. 根据测得的数据作出了 $\frac{1}{I}-R$ 图象, 图线的斜率为 k , 纵截距为 b , 则电源电动势 $E=_____$, 内阻 $r=_____$.

考点五 电学实验器材的选择与创新应用

【例 6】待测电阻 R_x 的阻值约为 20 Ω , 现要测量其阻值, 实验室提供器材如下:

- A. 电流表 A_1 (量程 150 mA, 内阻约为 10 Ω)
- B. 电流表 A_2 (量程 20 mA, 内阻 $r_2=30 \Omega$)
- C. 电压表 V (量程 15 V, 内阻约为 3 000 Ω)
- D. 定值电阻 $R_0=100 \Omega$

- E. 滑动变阻器 R_1 , 最大阻值为 $5\ \Omega$, 额定电流为 $1.0\ \text{A}$
- F. 滑动变阻器 R_2 , 最大阻值为 $5\ \Omega$, 额定电流为 $0.5\ \text{A}$
- G. 电源 E , 电动势 $E=4\ \text{V}$ (内阻不计)
- H. 开关 S 及导线若干

(1) 为了使电表调节范围较大, 测量准确, 测量时电表读数不得小于其量程的 $\frac{1}{3}$, 请从所给的器材中选择合适的实验器材 _____ (均用器材前对应的序号字母填写);

(2) 根据你选择的实验器材, 请在虚线框内画出测量 R_x 的最佳实验电路图并标明元件符号;

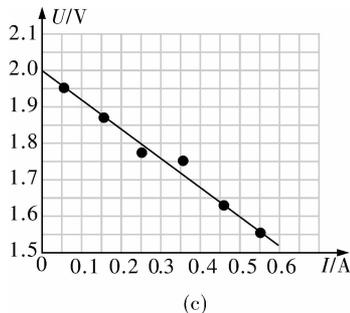
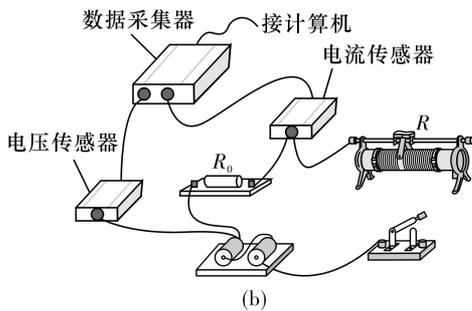
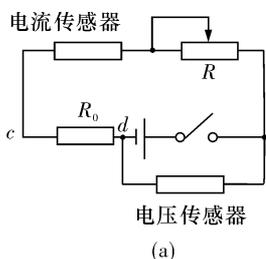


(3) 待测电阻的表达式为 _____, 式中各符号的物理意义为: _____.

【方法总结】 电学实验器材除了常见的基本用途外, 还可以根据其结构及原理灵活应用, 如: 定值电阻可应用于以下方面:

- (1) 保护电学元件, 使通过元件的电流不会过大, 避免损坏元件.
- (2) 与其他元件组合成混联电路, 利用串、并联电路的特点列式求待测电阻阻值.
- (3) 改装功能: 大阻值定值电阻与小量程电流表串联改装成大量程电压表; 小阻值定值电阻与小量程电流表并联改装成大量程电流表; 大阻值定值电阻与小量程电压表串联改装成大量程电压表.
- (4) 小阻值定值电阻与电源串联, 等效扩大电源内阻, 减小测量电源内阻的误差.
- (5) 与其他元件搭配组合, 通过开关控制以便于构成两个不同的电路, 测两次电流、电压值, 列出关系式求得未知量等等.

变式训练 4 图(a)为“用 DIS 测电源的电动势和内阻”的实验电路图, 定值电阻 $R_0=1\ \Omega$, R 为滑动变阻器, 图(b)为实验的实物连接图.



(1) 请用笔画线代替导线, 按图(a)的连接完成该实物连接图.

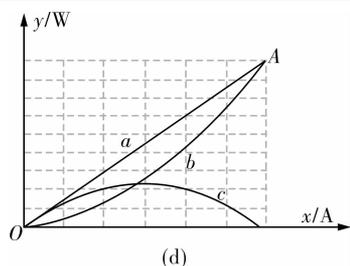
(2) A 组同学实验测得的路端电压 U 相应电流 I 的拟合曲线如图(c)所示, 由此得到电源内阻为 _____ Ω ; 当电压传感器的示数为 $1.6\ \text{V}$ 时电源的输出功率为 _____ W .

(3) 根据图(c)中实验测得的数据, 可以推测实验中选用滑动变阻器的型号较合理的是 _____.

- (A) $0\sim 5\ \Omega$
- (B) $0\sim 20\ \Omega$
- (C) $0\sim 50\ \Omega$
- (D) $0\sim 200\ \Omega$

(4) B 组同学也利用 A 组用的同一套器材完成此实验, 误把图(a)中电压传感器在 d 点的接线接在 c 点, 测得数据也在同一坐标中作出 $U-I$ 图象, 其他操作、读数等都准确无误. 则 B 组画出的图线与纵轴的交点相应的电压值、图线的斜率大小和 A 组相比, 分别 _____ 和 _____ (填“偏大”“相同”“偏小”或“无法确定”).

(5) 根据实验测得的 I, U 数据, 若令 $y=IU, x=I$, 则由计算机拟合得出的 $y-x$ 图线应是图中的 _____ (选填“a”“b”或“c”), 其余两条图线分别是令 $y=IE$ 和 $y=I^2r$ 得出的. 根据前面测量得到的电源电动势和内阻的值, 推测图中 A 点的 x, y 坐标分别为 _____ A 、_____ W (保留两位有效数字). 能否将电路长时间置于 A 点对应的工作状态, 简述原因 _____.



温馨提示: 请完成限时训练(二十一)P158