

第十一章 电路及其应用

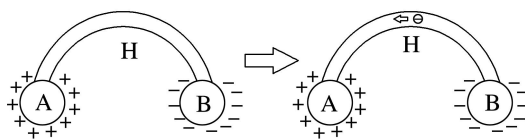


1 电源和电流

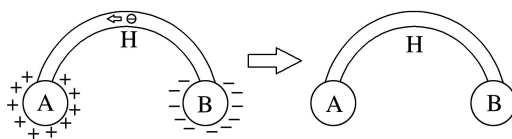
[学习目标] 1.了解形成电流的条件，知道电源的作用和导体中的恒定电场。2.理解电流的定义，知道电流的单位和方向，会用公式 $I = \frac{q}{t}$ 分析问题(重点)。3.会推导电流的微观表达式，了解表达式中各物理量的意义(重难点)。

一、电源

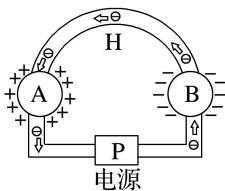
1.如图所示，用导线 H 连接两个分别带正、负电荷的导体 A、B，导线 H 中的电荷将如何移动？导线中有无电流？



2.如图所示，在上述过程中，两导体的电荷量如何变化，A、B 之间的电势差如何变化，自由电子会一直运动吗？能否形成持续的电流？



3. 如图所示，如果想让导线中有持续的电流，我们需要一个怎样的装置？



「梳理与总结」

- 1.电源的定义：在电源内部把电子从电源_____搬运到电源_____的装置就是电源。
- 2.电源的作用：使导体两端始终存在一定的_____，使电路中有持续的电流。

二、恒定电流

- 1.导线内的电场是如何形成的？

- 2.在恒定电场的作用下，导体中自由电荷会做什么样的运动？

- 3.自由电荷会在导体中一直加速吗？

「梳理与总结」

- 1._____、_____都不随时间变化的电流称为恒定电流。
- 2.电流的定义式： $I=\frac{q}{t}$ ，其物理意义：_____时间内通过导体横截面的_____，是表示电流强弱程度的物理量。

注意：(1)横截面选取是任意的，电流大小与所选横截面大小无关。

(2) q 是通过导体某横截面的电荷量，而不是通过单位横截面积的电荷量。

(3)用该式计算出的电流是时间 t 内的平均值。对于恒定电流，电流的瞬时值与平均值相等。

- 3.在国际单位制中，电流的单位是安培，符号是A。常用单位：毫安(mA)、微安(μ A)， $1\text{ A}=\text{_____ mA}=\text{_____ }\mu\text{A}$ 。

- 4.电流的方向：规定为_____定向移动的方向，与负电荷定向移动的方向_____。

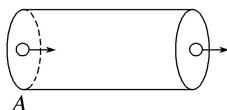
注意：(1)电流虽然有方向，但它是标量，其计算遵循代数运算法则。

(2)在外电路中电流方向由电源正极到负极，在电源内部电流方向由电源负极到正极。

「易错辨析」

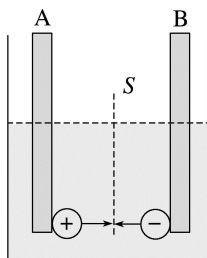
- (1)导体中有电荷运动就会形成电流。()
- (2)在国际单位制中，电流是一个基本物理量，其单位安培是基本单位。()
- (3)对于导体，只要其两端电势差为零，电路中的电流也必为零。()

【例1】(2025·盐城市高二月考)如图所示是通有恒定电流的某段导体，在5 s内有0.5 C的负电荷向右通过横截面A，则导体内电流的大小和方向分别是()



- A. 0.1 A 向右 B. 0.1 A 向左
C. 2.5 A 向右 D. 2.5 A 向左

【例 2】如图所示，电解池内有一价的电解液(A、B 间所接电源未画出)，时间 t 内通过溶液内截面 S 的正离子数是 n_1 ，负离子数是 n_2 ，设元电荷为 e ，以下说法正确的是()



- A. 当 $n_1 = n_2$ 时，电流为零
B. 当 $n_1 > n_2$ 时，电流方向从 A→B，电流大小为 $I = \frac{(n_1 - n_2)e}{t}$
C. 当 $n_1 < n_2$ 时，电流方向从 B→A，电流大小为 $I = \frac{(n_1 + n_2)e}{t}$
D. 溶液内电流方向从 A→B，电流大小为 $I = \frac{(n_1 + n_2)e}{t}$

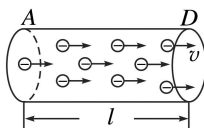
■ 总结提升 ■

不同导体中电流的计算方法

金属导体	自由电荷只有自由电子，运用 $I = \frac{q}{t}$ 计算时， q 是 t 时间内通过金属导体横截面的自由电子的总电荷量，电流方向与自由电子的运动方向相反
电解液	自由电荷是正、负离子，运用 $I = \frac{q}{t}$ 计算时， q 是在时间 t 内通过电解液横截面的正、负两种离子的电荷量的绝对值之和，电流方向与正离子运动方向相同
电离状态的气体	空气是绝缘体，但空气被电离后就成了导体，其中自由电荷既有正、负离子，也有自由电子，利用公式 $I = \frac{q}{t}$ 求气体导电电流时， q 应是在时间 t 内通过横截面的三种带电粒子的电荷量的绝对值之和

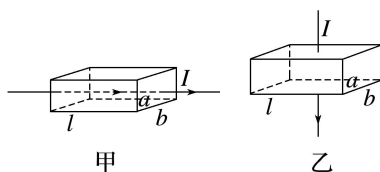
三、电流的微观表达式

如图所示为表示粗细均匀的一段长为 l 的导体，两端加一定的电压，导体中的自由电荷沿导体定向移动的速率为 v ，设导体的横截面积为 S ，导体单位体积内的自由电荷数为 n ，每个自由电荷的电荷量大小为 q 。则：



导体内的自由电荷全部通过横截面 D 所用的时间 $t = \underline{\hspace{2cm}}$ 。导体内的自由电荷总数 $N = \underline{\hspace{2cm}}$ ，总电荷量 $Q = Nq = \underline{\hspace{2cm}}$ ，此导体中的电流 $I = \frac{Q}{t} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

【例 3】 如图所示为一长方形金属导体，其长为 l 、高为 a 、宽为 b 。当从左右两面或者上下两面流过的电流均为 I 时，金属导体内自由电子定向移动的速率之比为()



- A. $a : b$ B. $l : a$ C. $l : b$ D. $a : l$

【例 4】 一根长为 L ，横截面积为 S 的铜棒，两端电压为 U ，铜棒的电阻为 R ，铜棒单位体积内自由电子的数目为 n ，每个自由电子电荷量为 e ，求：

- (1) 通过铜棒的电流；
(2) 自由电子定向移动的速率。

■ 总结提升 ■

1. 自由电子定向移动速率：金属导体中的自由电子定向移动形成电流，其中自由电子定向移动速率的数量级一般为 10^{-4} m/s。
2. 电子热运动速率：导体内的自由电子在永不停息地做无规则的热运动，由于热运动，自由电子向各个方向运动的机会相等，故不能形成电流，常温下自由电子热运动速率的数量级为 10^5 m/s。
3. 电场传播速率(或电流传导速率)：等于光速。闭合开关的瞬间，电路中各处以真空中光速 c 的速度建立恒定电场，在恒定电场的作用下，电路中各处的自由电子几乎同时开始定向移动，整个电路也就几乎同时形成了电流。

四、电池的容量

某充电宝信息如图所示，其中 20 000 mA·h 代表哪个物理量？

电池类型：AAA 级锂电芯
容 量：20 000 mA · h
本机输入 / 输出：DC5 V/1 A 或 2 A
产品颜色：(灰色、蓝色、黄色、绿色) 边框
产品尺寸：151 mm × 78 mm × 22 mm
产品重量：约 350 g

【梳理与总结】

- 1.定义：电池放电时输出的总电荷量。
- 2.单位：“安时”(A·h)或“毫安时”(mA·h)。

【例 5】 某手机的说明书标明该手机电池容量为 4 000 mA·h，待机时间为 22 d，请估算该手机的待机电流有多大。说明书还标明，用该手机播放视频的时间是 17 h，请估算播放视频的电流大约是待机电流的几倍。(结果均保留两位有效数字)

某手机说明书(节选)

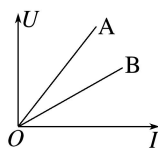
手机类型	智能手机、4G 手机……
屏幕分辨率	1 920×1 080 像素(FHD)
电池容量	4 000 mA·h
电池类型	不可拆卸式电池
待机时间	22 d

2 导体的电阻

[学习目标] 1.知道电阻的定义式及其物理意义。2.理解电阻的大小与哪些因素有关,掌握电阻定律(重点)。
3.了解电阻率的物理意义及其与温度的关系(重点)。4.能根据伏安特性曲线求导体的电阻(难点)。

一、电阻

如图所示的图像为金属导体 A、B 的 $U-I$ 图像,思考:



(1)对导体 A(或导体 B)来说,电流与它两端的电压有什么关系? U 与 I 的比值有什么特点?

(2)对导体 A、B,在电压 U 相同时,谁的电流小?谁对电流的阻碍作用大?

「梳理与总结」

1.电阻

(1)物理意义:反映导体对电流的_____作用。

(2)定义:导体两端的电压 U 与通过导体的电流 I 的比值。定义式: $R=_____$ 。

(3)单位:国际单位制单位为欧姆(Ω),常用单位还有千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)

$1\text{ k}\Omega=_____ \Omega$; $1\text{ M}\Omega=_____ \Omega$ 。

2.欧姆定律 $I=\frac{U}{R}$ 、电阻定义式 $R=\frac{U}{I}$ 的比较

	欧姆定律 $I=\frac{U}{R}$	电阻的定义式 $R=\frac{U}{I}$
内容或意义	在电路中,通过导体的电流 I 与导体两端的电压 U 成正比,与导体的电阻 R 成反比	这是电阻的基本定义式,是比值法定义的物理量,但 R 与电压 U 和电流 I 无关
适用范围	欧姆定律适用于纯电阻电路,即线性元件(如金属导体、电解质溶液)在恒定温度下的情况。对于非线性元件(如气态导体、半导体元件)或温度变化较大的情况,欧姆定律可能不适用	适用于所有导体(不适用于电动机、电解槽等非纯电阻电路)

应用 场景	常用于计算电路中的电流，尤其是在已知电压和电阻的情况下	常用于测量或计算电阻值，尤其是在已知电压和电流的情况下
----------	-----------------------------	-----------------------------

「易错辨析」

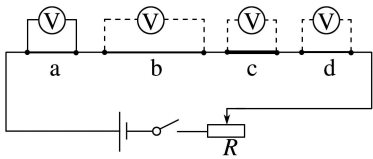
- (1)由关系式 $U=IR$ 可知，对于阻值一定的导体，通过它的电流越大，它两端的电压也越大。()
- (2)由关系式 $R=\frac{U}{I}$ 可知，导体两端的电压为零时，导体的电阻也为零。()
- (3)由关系式 $I=\frac{U}{R}$ 可知，对于阻值一定的导体，当导体两端的电压增大一倍时，导体中的电流也增大一倍。()

【例 1】 (多选)小强在探究定值电阻两端电压和电流的关系，当在该电阻两端加 $U=20\text{ V}$ 的电压时，通过该电阻的电流为 $I=5\text{ A}$ 。下列说法正确的是()

- A.该电阻的阻值为 $4\ \Omega$
- B.如果仅将电压升高到 30 V ，则通过的电流为 6 A
- C.如果仅将该电阻换成阻值为 $10\ \Omega$ 的定值电阻，则通过的电流应为 2 A
- D.当通过该电阻电流为零时，定值电阻的阻值应为零

二、电阻定律 电阻率

1.实验装置：如图所示，a、b、c、d 是四条不同的金属导体。导体 b、c、d 在长度、横截面积、材料三个因素方面，分别只有一个因素与导体 a 不同。



2.实验原理

- (1)四个不同的导体串联，电流相同，因此，电阻之比等于相应的电压之比。
- (2)用控制变量法，探究导体的电阻与长度、横截面积、材料的关系。

3.探究过程及结论：

下表所示为四个串联导体的各方面因素关系及导体两端的电压关系。

三个因素及电压 不同导体	长度	横截面积	材料	电压
a	l	S	铁	U
b	$2l$	S	铁	$2U$
c	l	$2S$	铁	$\frac{U}{2}$
d	l	S	镍铜合金	$5U$

- (1)对比导体 a 和 b 说明什么？
- (2)对比导体 a 和 c 说明什么？
- (3)对比导体 a 和 d 说明什么？

『梳理与总结』

1.电阻定律

- (1)内容：同种材料的导体，其电阻 R 与它的_____成正比，与它的_____成反比；导体电阻还与构成它的_____有关。
- (2)表达式： $R=$ _____，此式为电阻的决定式，式中 ρ 是比例系数， ρ 叫作这种材料的电阻率，单位为 $\Omega\cdot\text{m}$ 。

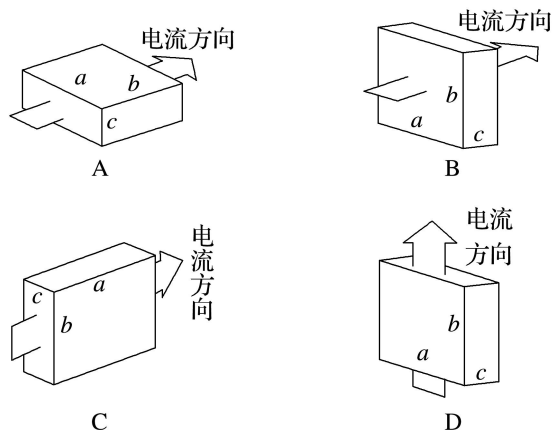
2.电阻率

- (1)电阻率是反映导体_____性能的物理量，是导体材料本身的属性。
- (2)电阻率与温度的关系及应用
 - ①金属的电阻率随温度的升高而_____，可用于制作电阻温度计。
 - ②大部分半导体的电阻率随温度的升高而减小，半导体的电阻率随温度的变化较大，可用于制作热敏电阻。
 - ③有些合金，如锰铜合金和镍铜合金，电阻率几乎不受温度变化的影响，常用来制作_____。
 - ④一些金属在温度特别低时电阻可以降到零，这种现象叫作_____。

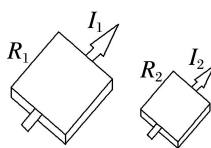
3. $R=\frac{U}{I}$ 与 $R=\rho\frac{l}{S}$ 的区别与联系

公式 区别、联系		$R=\frac{U}{I}$	$R=\rho\frac{l}{S}$
区别	1	提供了一种测量电阻 R 的方法：只要测出 U 、 I 就可求出 R	提供了一种测导体的电阻率 ρ 的方法：只要测出 R 、 l 、 S 就可求出 ρ
	2	适用于纯电阻元件	适用于粗细均匀的金属导体或浓度均匀的电解液
联系		$R=\rho\frac{l}{S}$ 是对 $R=\frac{U}{I}$ 的进一步说明，即导体的电阻与 U 和 I 无关，仅取决于导体本身的材料、长度和横截面积	

【例 2】 (2024·杭州市高二期中)有一个长方体金属电阻，材料分布均匀，边长分别为 a 、 b 、 c ，且 $a>b>c$ 。电流沿以下方向流过该金属电阻，其中电阻阻值最大的是()



针对训练 (2024·安徽师范大学附属中学高二月考) 现有两电阻 R_1 和 R_2 是材料、厚度相同的正方形导体板, 但 R_1 的尺寸比 R_2 的尺寸大, 下列说法中正确的是()



- A. 按如图方式分别与电源串联, 若用相同恒压电源, 则 $I_1 > I_2$
- B. 按如图方式分别与电源串联, 若用相同恒压电源, 则 $I_1 < I_2$
- C. 按如图方式分别与电源串联, 若用相同恒压电源, 则 $I_1 = I_2$
- D. 无论怎样接电源, 正方形导体板电阻 $R_1 > R_2$

【例 3】 (2024·上海市高二期末) 某同学将待测量的金属丝单层缠绕在底面半径为 r 的圆柱形铅笔上, 测得 N 圈的电阻丝宽度为 d , 电阻丝的总电阻值为 R , 总长度为 L , 则该电阻丝的电阻率为()

- A. $\frac{\pi r^2 R}{L}$
- B. $\frac{\pi d^2 R}{4L}$
- C. $\frac{\pi d^2 R}{4LN^2}$
- D. $\frac{\pi(2r+d)^2 R}{4L}$

■ 总结提升 ■

公式 $R = \rho \frac{l}{S}$ 的应用技巧

- 公式 $R = \rho \frac{l}{S}$ 中的 l 是沿电流方向的导体长度, S 是垂直电流方向的横截面积。
- 一定几何形状的导体的电阻大小与接入电路的具体方式有关, 在应用公式 $R = \rho \frac{l}{S}$ 求电阻时要注意导体长度和横截面积的确定。

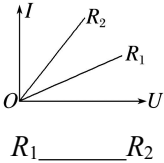
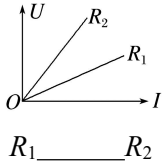
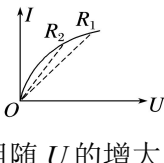
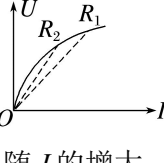
三、导体的伏安特性曲线

- 伏安特性曲线: 在实际应用中, 常用横坐标表示_____, 纵坐标表示_____, 这样画出的 $I-U$ 图像叫作导体的伏安特性曲线。
- 线性元件和非线性元件

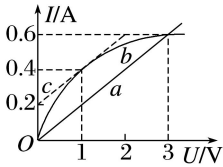
- (1)线性元件：伏安特性曲线是一条过原点的_____，如金属导体(在温度没有显著变化时)、电解质溶液。
- (2)非线性元件：伏安特性曲线是一条曲线，如气态导体、半导体元件。

『思考与讨论』

I - U 图像与 U - I 图像

图像 比较内容	I - U 图像	U - I 图像
坐标轴	横坐标表示电压 U 、 纵坐标表示电流 I	横坐标表示电流 I 、 纵坐标表示电压 U
斜率	图线上的点与坐标原点连线的斜率表示_____	图线上的点与坐标原点连线的斜率表示_____
线性元件图线的形状	 R_1 _____ R_2	 R_1 _____ R_2
非线性元件图线的形状	 电阻随 U 的增大而_____, $R_1 > R_2$	 电阻随 I 的增大而_____, $R_2 > R_1$

【例 4】 (多选)(2024·广州市高二期末)图中的实线分别是电阻 a 、 b 的伏安特性曲线，虚线 c 是 b ($U=1\text{ V}$) 的切线， a 、 c 相互平行，下列说法正确的是()



- A. $U=1\text{ V}$ 时， b 的电阻为 $5\ \Omega$
- B. $U=1\text{ V}$ 时， a 、 b 的电阻相等
- C. b 的电阻随电压的升高而增大
- D. $U=3\text{ V}$ 时， a 、 b 的电阻相等

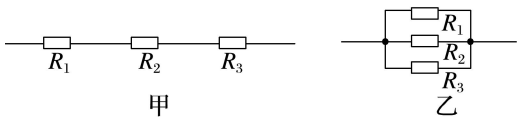
3 串联电路和并联电路

第 1 课时 串联电路和并联电路 滑动变阻器的两种接法

[学习目标] 1.掌握串、并联电路的电流、电压和电阻关系，并能进行有关计算(重点)。2.理解滑动变阻器的两种接法，并能正确选择(难点)。

一、串联电路和并联电路

1.串联电路：把几个导体或用电器依次首尾连接，接入电路的连接方式，如图甲所示。



2.并联电路：把几个导体或用电器的一端连在一起，另一端也连在一起，再将两端接入电路的连接方式，如图乙所示。

3.串联电路、并联电路的特点

	串联电路	并联电路
电流 关系	各处电流相等，即 $I=I_1=I_2=\cdots=I_n$	总电流等于各支路电流之和，即 $I=I_1+I_2+\cdots+I_n$
电压 关系	总电压等于各部分电压之和，即 $U=U_1+U_2+\cdots+U_n$	各支路两端电压相等，即 $U=U_1=U_2=\cdots=U_n$
电阻 关系	总电阻等于各部分电阻_____，即 $R=$ _____	总电阻的倒数等于各支路电阻的_____，即 $\frac{1}{R}=$ _____

「思考与讨论」

1. n 个相同电阻(阻值为 R_0)串联或并联，其总电阻分别为多少？

2.并联电路中，若某一电阻增大，总电阻如何变化？若增加一支路，总电阻如何变化？

3.阻值为 R_1 和 R_2 的两个电阻并联后阻值 $R_{\text{并}}$ _____ R_1 ， $R_{\text{并}}$ _____ R_2 (均填“>”或“<”)；若 $R_1 \ll R_2$ ， $R_{\text{并}}$ 约为_____ (填“ R_1 ”或“ R_2 ”)。

「易错辨析」

- (1)电路中电阻的个数越多，电路的总电阻越大。()
- (2)无论是串联电路还是并联电路，只要其中一个电阻增大，总电阻就增大。()

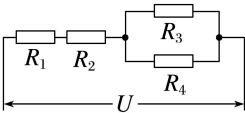
【例 1】 (2024·普宁市高二期中)阻值分别为 R_1 、 R_2 、 R_3 的电阻串联在电路中。已知 $R_1=10\ \Omega$ 、 $R_3=5\ \Omega$ ， R_1 两端的电压为 $6\ \text{V}$ ， R_2 两端的电压为 $12\ \text{V}$ ，则()

- A.电路中的电流为 $0.6\ \text{A}$
- B. R_2 为 $15\ \Omega$
- C.三只电阻两端的总电压为 $20\ \text{V}$
- D. R_3 两端的电压为 $4\ \text{V}$

【例 2】 已知 $R_1=10\ \Omega$ ， $R_2=20\ \Omega$ ， R_1 允许通过的最大电流为 $1.5\ \text{A}$ ， R_2 两端允许加的最大电压为 $10\ \text{V}$ 。若将它们串联，加在电路两端的最大电压是()

- A. $45\ \text{V}$ B. $5\ \text{V}$ C. $25\ \text{V}$ D. $15\ \text{V}$

【例 3】 (2024·广东普宁勤建学校高二月考)如图所示的电路中，路端电压 $U=39\ \text{V}$ ，外电路中 $R_1=7\ \Omega$ ， $R_2=4\ \Omega$ ， $R_3=6\ \Omega$ ， $R_4=3\ \Omega$ 。



- (1)求电路的总电阻；
- (2)分别求电路中的每个电阻两端的电压。

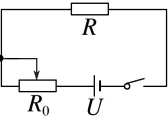
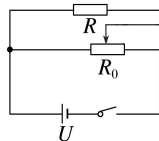
■ 总结提升 ■

- 1.串联电路中各电阻两端的电压跟它们的阻值成正比，即 $\frac{U_1}{R_1}=\frac{U_2}{R_2}=\cdots=\frac{U_n}{R_n}=\frac{U}{R_{\text{总}}}=I$ 或 $U_1:U_2:U_3:\cdots:U_n=R_1:R_2:R_3:\cdots:R_n$ 。
- 2.并联电路中通过各支路电阻的电流跟它们的阻值成反比，即 $I_1R_1=I_2R_2=\cdots=I_nR_n=I_{\text{总}}R_{\text{总}}=U$ 或 $I_1:I_2:I_3:\cdots:I_n=\frac{1}{R_1}:\frac{1}{R_2}:\frac{1}{R_3}:\cdots:\frac{1}{R_n}$ 。

二、滑动变阻器的两种接法

1.两种接法的特点

	限流式接法	分压式接法
--	-------	-------

电路图(图中 R 为负载电阻, R_0 为滑动变阻器)		
滑动变阻器接入电路的特点	采用“一上一下”的接法	采用“一上两下”的接法
闭合开关前滑片位置	如图所示应在最_____端, 即保证滑动变阻器接入电路中的阻值最_____	如图所示应在最_____端, 即开始时 R 两端电压为_____
通过 R 的电流范围	$\frac{U}{R_0+R} \sim \frac{U}{R}$	$0 \sim \frac{U}{R}$
R 两端的电压范围	$\frac{R}{R_0+R}U \sim U$	_____
优点	电路连接简单, 耗电少	R 的电压调节范围大

2.两种接法的适用条件

(1)限流式接法适合测量阻值较小的电阻(与滑动变阻器的总电阻相当)。由于 R 小, 限流式接法中滑动变阻器分得的电压大, 移动滑片调节范围大。

(2)分压式接法适合测量阻值较大的电阻(比滑动变阻器的总电阻大)。若 R 很大, 分压式接法中 R 几乎不影响电压的分配, 移动滑片电压变化明显, 便于调节。

(3)以下几种情况必须采用分压式接法

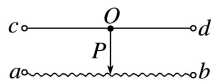
①要求电压表能从零开始读数, 要求电压(电流)测量范围尽可能大;

②当待测电阻 $R \gg R_0$ (滑动变阻器的最大阻值)时(限流式接法滑动变阻器几乎不起作用);

③若采用限流式接法, 电路中的最小电流仍超过电路中电表、电阻允许的最大电流。

(4)在两种电路均可使用的情况下, 应优先采用限流式接法, 因为限流式接法电路简单, 能耗低。

【例 4】 (多选)滑动变阻器的原理如图所示, 则下列说法中正确的是()



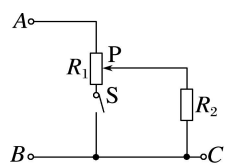
A.若仅将 a 、 c 两端连在电路中, 则当滑片 OP 向右滑动时, 滑动变阻器接入电路中的阻值增大

B.若仅将 a 、 d 两端连在电路中, 则当滑片 OP 向右滑动时, 滑动变阻器接入电路中的阻值减小

C.将滑动变阻器以限流式接法接入电路时, 必须连入三个接线柱

D.将滑动变阻器以分压式接法接入电路时, 必须连入三个接线柱

【例 5】 如图所示, 滑动变阻器 R_1 的最大阻值是 $200\ \Omega$, $R_2=300\ \Omega$, A 、 B 两端电压 $U_{AB}=8\ \text{V}$ 。



(1)当 S 断开时，移动滑片 P， R_2 两端可获得的电压变化范围是多少？

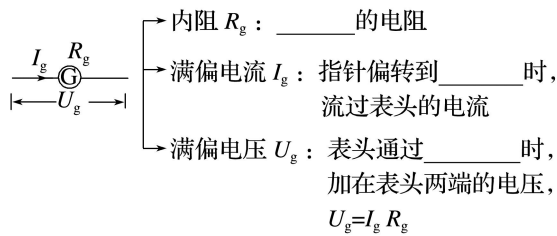
(2)当 S 闭合时，移动滑片 P， R_2 两端可获得的电压变化范围是多少？

第 2 课时 电表的改装 电流表的内接法和外接法

[学习目标] 1.理解将小量程电流表改装成大量程电流表和电压表的原理，并能进行有关计算(重难点)。2.理解电流表的内接法和外接法，并能正确选择接法(重难点)。

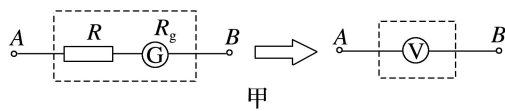
一、电表的改装

1.小量程电流表 G(表头)的三个参量

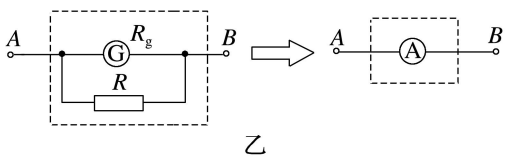


2.电表改装原理

(1)电压表改装：将表头 _____ 一个较 _____ 电阻，该电阻常被叫作分压电阻，如图甲所示。



(2)电流表改装：将表头 _____ 一个较 _____ 电阻，该电阻常被叫作分流电阻，如图乙所示。



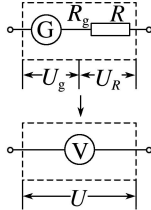
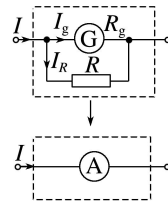
【例 1】 有一电流表 G，内阻 $R_g=10\ \Omega$ ，满偏电流 $I_g=3\ \text{mA}$ 。

(1)要把它改装成量程为 $0\sim 3\ \text{V}$ 的电压表，应串联一个多大的电阻？改装后电压表的内阻是多大？

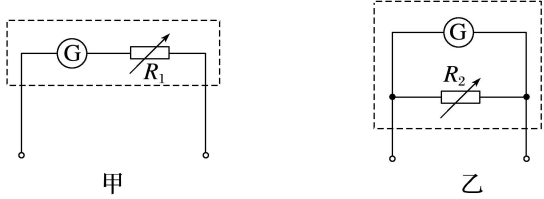
(2)要把它改装成量程为 $0\sim 0.6\ \text{A}$ 的电流表，需要并联一个多大的电阻？改装后电流表的内阻是多大？

■ 总结提升 ■

项目	改装成电压表	改装成电流表
----	--------	--------

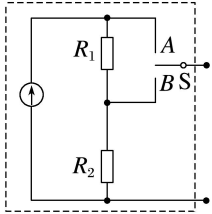
内部电路		
改装原理	串联分压	并联分流
改装后的量程	$U=I_g(R+R_g)$	$I=\frac{R+R_g}{R}I_g$
量程扩大的倍数	$n=\frac{U}{U_g}$	$n=\frac{I}{I_g}$
接入电阻的阻值	$R=\frac{U}{I_g}-R_g=(n-1)R_g$	$R=\frac{I_g R_g}{I-I_g}=\frac{R_g}{n-1}$
改装后的总内阻	$R_V=R_g+R=nR_g$	$R_A=\frac{R R_g}{R+R_g}=\frac{R_g}{n}$

针对训练 (多选)(2024·呼和浩特市高二期末)如图所示, 将一个电流计 G 和一个电阻串联可以改装成电压表, 将一个电流计 G 和一个电阻并联可以改装成电流表, 要使它们的量程增大, R_1 、 R_2 应如何变化()



- A. R_1 增大 B. R_1 减小
C. R_2 减小 D. R_2 增大

【例 2】 (2024·成都市外国语学校高二月考)某同学要将一小量程电流表(满偏电流为 $250\ \mu\text{A}$, 内阻为 $10\ \Omega$)改装成有两个量程的电流表, 设计电路如图所示, 其中定值电阻 $R_1=6\ \Omega$, $R_2=4\ \Omega$ 。



- (1)当开关 S 接 A 端时, 该电流表的量程为 $0\sim$ _____ mA。
(2)当开关 S 接 B 端时, 该电流表的量程为 $0\sim$ _____ mA。

■ **总结提升** ■ _____

关于电表改装的四点提醒

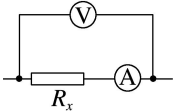
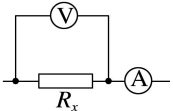
- 1.电表改装的问题实际上是串、并联电路中电流、电压的计算问题, 只要把表头看成一个电阻 R_g 即可。
- 2.无论表头改装成电压表还是电流表, 它的三个参量 U_g 、 I_g 、 R_g 是不变的, 即通过表头的最大电流并不改变。

3.由改装后电压表的内阻 $R_V=R_{\text{串}}+R_g=nR_g$ (其中 $n=\frac{U}{U_g}=\frac{U}{I_gR_g}$)可知, 电压表量程越大, 其分压电阻 $R_{\text{串}}$ 越大, 电压表内阻 R_V 越大。

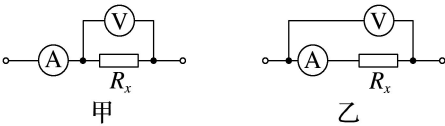
4.由改装后电流表的内阻 $R_A=\frac{R_{\text{并}}R_g}{R_{\text{并}}+R_g}=\frac{R_g}{n}$ (其中 $n=\frac{I}{I_g}$)可知, 电流表的量程越大, 其分流电阻 $R_{\text{并}}$ 越小, 电流表的内阻 R_A 越小。

二、伏安法测电阻的两种接法

两种接法的比较

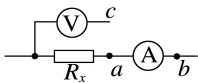
	内接法	外接法
电路		
误差来源	电流表的分压作用	电压表的分流作用
误差分析	$R_{\text{测}}=\frac{U_{\text{测}}}{I_{\text{测}}}=\frac{U_x+U_A}{I_x}=R_x+R_A>R_x$	$R_{\text{测}}=\frac{U_{\text{测}}}{I_{\text{测}}}=\frac{U_x}{I_x+I_V}<R_x$
适用情况	测大电阻	测小电阻

【例 3】 (多选)如图所示, 甲、乙为伏安法测量电阻时的两种不同接法。所用的电压表内阻约为 5 000 Ω, 电流表内阻约为 0.5 Ω。现有一阻值约为 500 Ω的待测电阻 R_x , 采用不同电路比较()



- A.用图甲电路进行测量, 测量误差小
- B.用图乙电路进行测量, 测量误差小
- C.若用图甲电路进行测量, 测量值比真实值偏大
- D.若用图乙电路进行测量, 测量值比真实值偏大

【例 4】 如图所示, 用电流表和电压表测量电阻 R_x 的阻值, c 端与 b 端相连时, 电流表示数为 4.60 mA, 电压表示数为 2.50 V, c 端与 a 端相连时, 电流表示数为 5.20 mA, 电压表示数为 2.30 V, 比较这两次结果, 下列说法正确的是()



- A.电阻的真实值更接近 543 Ω, 且大于 543 Ω
- B.电阻的真实值更接近 543 Ω, 且小于 543 Ω
- C.电阻的真实值更接近 442 Ω, 且大于 442 Ω

D.电阻的真实值更接近 $442\ \Omega$ ，且小于 $442\ \Omega$

■ 总结提升 ■

电流表内、外接的选择方法

方法一 直接比较法：当 $R_x \gg R_A$ 时，采用电流表内接法，当 $R_x \ll R_V$ 时，采用电流表外接法，可记忆为“大内小外”。

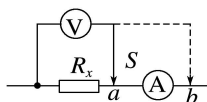
方法二 公式计算法

当 $\frac{R_V}{R_x} < \frac{R_x}{R_A}$ 即 $R_x > \sqrt{R_A R_V}$ 时，用电流表内接法，

当 $\frac{R_V}{R_x} > \frac{R_x}{R_A}$ 即 $R_x < \sqrt{R_A R_V}$ 时，用电流表外接法，

当 $R_x = \sqrt{R_A R_V}$ 时，两种接法效果相同。

方法三 试触法：适用于 R_x 、 R_V 、 R_A 的阻值关系不能确定的情况，如图所示，把电压表的接线端分别接 a 、 b 两点，观察两电表的示数变化：若电流表的示数变化明显，即 $\frac{|I_2 - I_1|}{I_1} > \frac{|U_2 - U_1|}{U_1}$ ，说明电压表的分流对电路影响大，表明 R_x 较大，应选用电流表内接法。反之，应选用电流表外接法。



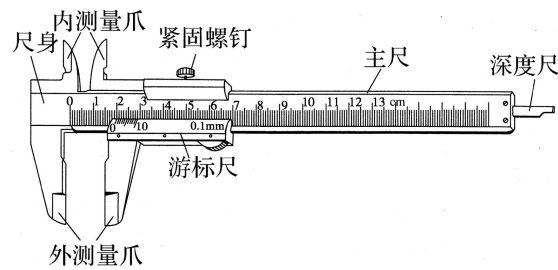
4 实验：导体电阻率的测量

第 1 课时 实验：长度的测量及测量工具的选用

[学习目标] 1.掌握游标卡尺和螺旋测微器的读数方法(重难点)。2.掌握电流表、电压表的读数方法(重点)。

一、游标卡尺的测量原理及使用

1.构造：主尺、游标尺(主尺和游标尺上分别有内、外测量爪)、游标卡尺上还有一个深度尺。(如图所示)



2.各部件的用途

- (1)内测量爪：用来测量槽的宽度和小圆管的内径等。
- (2)外测量爪：用来测量小钢球的直径、小圆管的外径、教科书的厚度等。
- (3)深度尺：固定在游标尺上，用来测量槽、孔和筒的深度。
- (4)紧固螺钉：读数时，为了防止游标尺移动，旋紧紧固螺钉可使游标尺固定在主尺上。

3.游标卡尺的原理

利用主尺的单位刻度与游标尺的单位刻度之间固定的微量差值来提高测量精度。无论游标尺上有多少个小等分刻度，它的刻度部分的总长度比主尺上的同样多的小等分刻度少 1 mm，常见的游标卡尺有 10 分度、20 分度、50 分度三种。

其规格见下表：

刻度格数(分度)	刻度总长度	每小格与主尺最小刻度(1 mm)的差值	精确度(可精确到)
10	9 mm	0.1 mm	_____ mm
20	19 mm	0.05 mm	_____ mm
50	49 mm	0.02 mm	_____ mm

4.读数方法：先读主尺上的刻度，当游标尺上第 N 条刻度线与主尺上某一刻度线对齐时，则：

10 分度：测量值=主尺整毫米数+ $N\times\frac{1}{10}$ mm

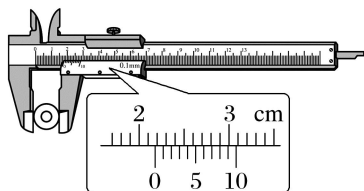
20 分度：测量值=主尺整毫米数+ $N\times\frac{1}{20}$ mm

50 分度：测量值=主尺整毫米数+ $N \times \frac{1}{50}$ mm

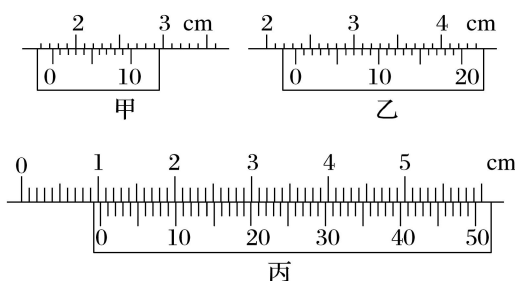
注意：(1)游标卡尺是根据刻度线对齐来读数的，所以不需要估读。但读数要注意最小精确度所在的位数，如果读数最后一位是零，该零不能去掉。读数时一般以毫米为单位，再进行单位换算。

(2)读数时，要注意游标尺第几条刻度线(不含零刻度线)与主尺对齐。

【例 1】 (2024·北京师范大学附中高二月考)物理实验中。用游标卡尺测量某金属管的外径，示数如图所示。则该金属管的外径为_____ mm。

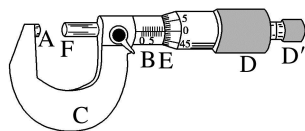


【例 2】 如图甲、乙、丙所示的三把游标卡尺，它们的读数依次为_____ mm、_____ mm、_____ mm。



二、螺旋测微器的测量原理及使用

1.结构：如图所示，测砧 A 和_____ B 固定在尺架 C 上，可动刻度 E、旋钮 D、微调旋钮 D'、测微螺杆 F 是连在一起的，通过精密螺纹套在 B 上。

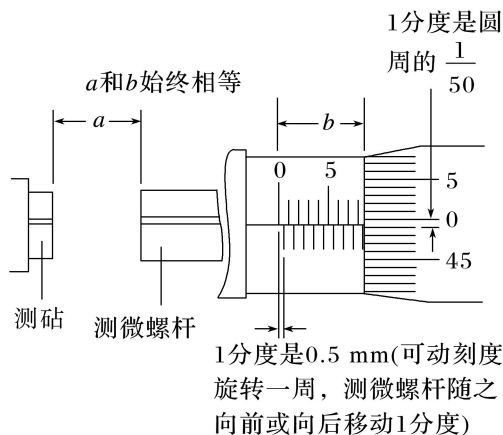


2.测量原理

螺旋测微器是依据螺旋放大的原理制成的。

(1)固定刻度 B 上的精密螺纹的螺距为 0.5 mm，即旋钮 D 每旋转一周，F 前进或后退 0.5 mm，而可动刻度 E 上有 50 个等分刻度，每转动一小格，F 前进或后退距离为_____ mm=_____ mm，即螺旋测微器的精确度为_____ mm。读数时再估读一位，则估读到毫米的千分位，因此，螺旋测微器又叫千分尺。

(2)可动刻度在固定刻度上旋转一周，可动刻度便沿着固定刻度方向前进或后退一个螺距的距离。因此，沿轴线方向移动的微小距离，就能用圆周上的读数表示出来，如图所示。



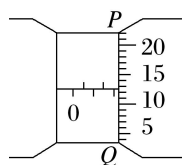
3.读数方法

(1)先读固定刻度：毫米的整数部分。

(2)再读半毫米刻度，若半毫米刻度线已露出，记作_____ mm；若半毫米刻度线未露出，记作 0.0 mm。

(3)再读可动刻度(注意估读一位)记作 $n \times 0.01$ mm。

(4)最终读数结果为：固定刻度+半刻度+可动刻度。



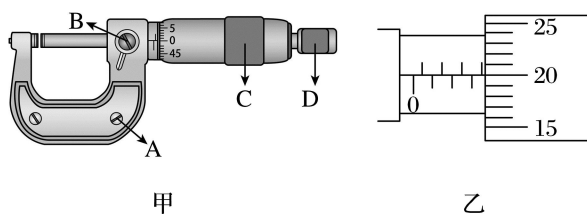
如图中固定刻度为 2 mm，半毫米刻度线未露出，可动刻度读数为 12.5(其中“12”是准确格数，“0.5”是估读的格数)，故被测长度是 $2 \text{ mm} + 0 + 0.01 \times 12.5 \text{ mm} = 2.125 \text{ mm}$ 。

4.注意事项

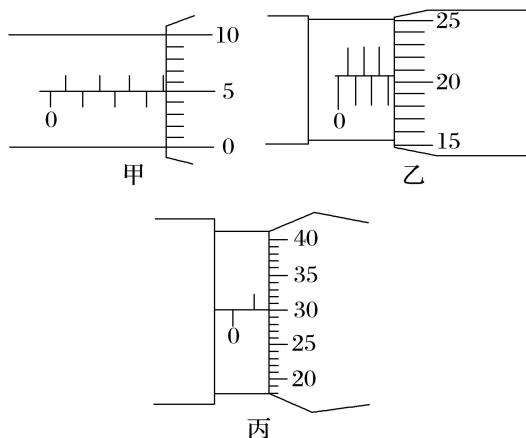
(1)测量时，在测微螺杆快靠近被测物体时应停止使用旋钮，改用微调旋钮，避免产生过大的压力，既可使测量结果精确，又能保护螺旋测微器。

(2)读数时准确到 0.01 mm，要估读到 0.001 mm，测量结果若用毫米作单位，则小数点后面必须保留____位数字。

【例 3】 螺旋测微器为精密仪器，用螺旋测微器测量合金丝的直径时，为防止螺旋测微器损伤，当测砧和测微螺杆快接触合金丝时应改为旋转图甲所示的部件_____(选填“A”“B”“C”或“D”)，将会听到“喀喀”响声，表示已经夹紧，为防止读数时测微螺杆发生转动，读数前还应先旋紧如图甲所示的部件_____(选填“A”“B”“C”或“D”)。从图乙中的示数可读出合金丝的直径为_____ mm。



【例 4】 读出下面螺旋测微器测量的读数。



甲_____mm，乙_____mm，丙_____mm。

三、电压表、电流表的读数

1.对于电压表和电流表的读数问题，首先要弄清电表量程，即指针指到_____时对应的电压或电流，然后根据表盘总的刻度数确定_____，按照指针的实际位置进行读数即可。

2.读数原则：

(1)最小刻度是 1、0.1、0.01，按十分之一估读，可分别估读到 0.1、0.01、0.001；

(2)最小刻度是 2、0.2、0.02，按二分之一估读，可分别估读到 1、0.1、0.01；

(3)最小刻度是 5、0.5、0.05，按五分之一估读，可分别估读到 1、0.1、0.01。

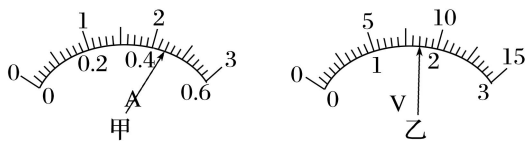
例如：

(1)0~3 V 的电压表和 0~3 A 的电流表的读数方法相同，此量程下的精确度分别是 0.1 V 和 0.1 A，看清楚指针的实际位置，读到小数点后面_____。

(2)对于 0~15 V 量程的电压表，精确度是 0.5 V，在读数时只要求读到小数点后面_____，即读到 0.1 V。

(3)对于 0~0.6 A 量程的电流表，精确度是 0.02 A，在读数时只要求读到小数点后面_____，这时要求“半格估读”，即读到最小刻度的一半 0.01 A。

【例 5】 如图为电流表和电压表的刻度盘。

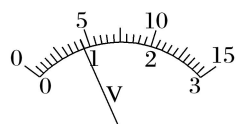


(1)图甲使用 0.6 A 量程时，对应刻度盘上每一小格代表_____A，图中表针的示数是_____A；当使用 3 A 量程时，对应刻度盘上每一小格代表_____A，图中表针示数为_____A。

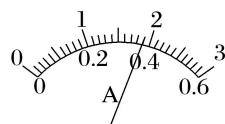
(2)图乙使用较小量程时，每小格表示_____V，图中表针的示数为_____V；若使用的是较大量程，则这时表盘刻度每小格表示_____V，图中表针示数为_____V。

【例 6】 请完成下列各表的读数，把答案填在图下的横线上。

(1)量程为 0~3 V 和 0~3 A 的电表读数。

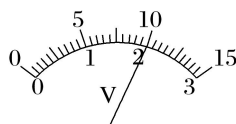


读数_____

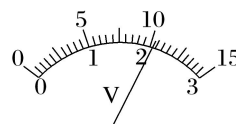


读数_____

(2)量程为 0~15 V 的电压表读数。

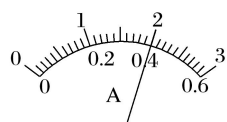


读数_____

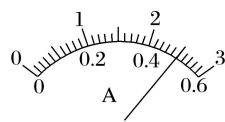


读数_____

(3)量程为 0~0.6 A 的电流表读数。



读数_____



读数_____

第2课时 实验：金属丝电阻率的测量

[学习目标] 1.掌握测量金属丝电阻率的实验原理和方法(重点)。2.了解伏安法测电阻的思路及实验数据的处理方法(难点)。

一、实验思路

- 1.取一段金属电阻丝连接到实验电路中，测出电阻丝的_____、_____和直径 $d(S=)$ _____。
- 2.由 $R=\rho\frac{l}{S}$ 得： $\rho=$ _____ (用 R 、 S 、 l 表示) = _____ (用 R 、 d 、 l 、 π 表示)，从而计算出该电阻丝所用材料的电阻率。

『思考与讨论』

- 1.待测电阻丝阻值较小时，电流表采用内接法，还是外接法？

- 2.为调节方便，尽可能测量多组数据，滑动变阻器采用限流式接法，还是分压式接法？闭合开关 S 之前，滑动变阻器的滑片处在什么位置？

- 3.请画出测量金属丝电阻率的实验电路图。

二、实验器材

直流电流表、直流电压表、电源、滑动变阻器、一段被测金属电阻丝、开关 1 个、导线若干、毫米刻度尺、螺旋测微器(或游标卡尺)。

三、物理量的测量

1.电阻的测量

根据伏安法测电阻的思想：用电压表测电阻丝两端的电压，用电流表测电阻丝中的电流，读取多组电压、电流值，通过 $U-I$ 图像求 R 。

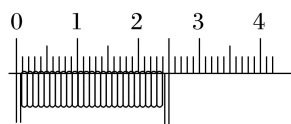
2.电阻丝有效长度的测量

用_____测量电阻丝_____的有效长度 l 。反复测量多次，得到有效长度的平均值。

3.电阻丝直径的测量

电阻丝比较细，所以可采用累积的方法测量，或选取_____或_____来测量电阻丝的直径。在不同位置测量三次，取平均值 d 后，根据 $S=$ _____ 计算出电阻丝的横截面积 S 。

4. 用刻度尺测量电阻丝的直径：取一段新的电阻丝，在圆柱形物体上紧密缠绕，用分度值为 1 mm 的刻度尺测出总宽度，再除以圈数，如图所示，该方法为累积法。



四、实验步骤

1. 用螺旋测微器测量金属丝的直径，在不同位置测量三次，取平均值。
2. 把金属丝接入电路中，先用毫米刻度尺测量金属丝接入电路的有效长度三次，取平均值；然后闭合开关 S ，调节滑动变阻器，用电压表测金属丝两端的电压，用电流表测通过金属丝的电流，利用欧姆定律 $R=\frac{U}{I}$ ，得到金属丝的电阻 R 。改变滑动变阻器滑片位置，多测几组 U 、 I 的数值。

五、数据处理

1. 电阻 R 的测量

(1) 平均值法：用 $R=\frac{U}{I}$ 分别算出各次的数值，再取平均值。

(2) 图像法：用 U - I 图像的斜率求出。

2. 电阻率的计算

将记录的数据 R 、 l 、 d 的值代入电阻率计算式得 $\rho=R\frac{S}{l}=\frac{\pi d^2 U}{4 l I}$ 。

六、误差分析

1. 金属丝的横截面积是利用直径计算而得，直径的测量是产生误差的主要来源之一。
2. 金属丝的直径、长度的测量、电流表和电压表的读数等会带来偶然误差。
3. 采用伏安法测量金属丝的电阻时，电流表内阻(不是无限小)、电压表内阻(不是无限大)会造成系统误差。

七、注意事项

1. 用分压式接法时，闭合开关 S 之前，一定要使滑动变阻器的滑片处在使待测电阻被短路的位置；用限流式接法时，滑动变阻器阻值调到最大。
2. 在用伏安法测电阻时，通过待测金属丝的电流 I 不宜过大(电流表用 0~0.6 A 量程)，通电时间不宜过长，以免金属丝的温度明显升高，造成其电阻率在实验过程中逐渐增大。
3. 若采用图像法，在描点时，要尽量使各点间的距离大一些，连线时要尽可能地让各点均匀分布在直线的两侧，个别明显偏离较远的点可以不予考虑。

【例 1】 某物理学习小组的两位同学采用伏安法测金属丝的电阻率，实验室备有下列实验器材：

- A. 电压表(量程 0~3 V，内阻约为 15 k Ω)
- B. 电压表(量程 0~15 V，内阻约为 75 k Ω)

C.电流表(量程 0~3 A, 内阻约为 $0.2\ \Omega$)

D.电流表(量程 0~0.6 A, 内阻约为 $1\ \Omega$)

E.滑动变阻器 R_1 (0~10 Ω , 0.6 A)

F.滑动变阻器 R_2 (0~2 000 Ω , 0.1 A)

G.电池组 E (电压为 3 V)

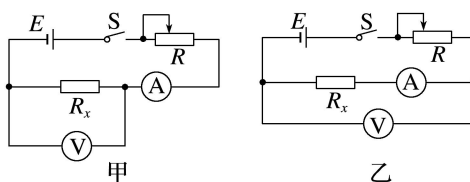
H.待测金属丝 R_x (阻值约为 $5\ \Omega$)

I.开关 S, 导线若干, 米尺, 螺旋测微器等

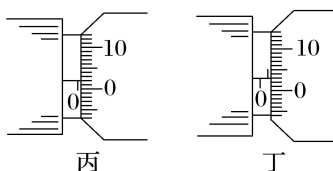
(1)为减小实验误差, 电压表应选用_____; 电流表应选用_____; 滑动变阻器应选用_____。

(均填字母代号)

(2)两位同学分别画出了两个电路图, 如图甲、乙所示。本实验选用_____ (填“甲”或“乙”)图比较合适。

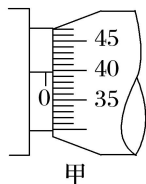


(3)实验中用螺旋测微器测量金属丝的直径, 使用时发现测微螺杆与测砧直接接触时读数如图丙所示, 测量金属丝直径时如图丁所示, 则金属丝的直径 d = _____ mm。



(4)如果实验中测得金属丝的电阻值为 R , 用米尺测出的金属丝长度为 l , 用螺旋测微器测出的金属丝的直径为 d , 则其电阻率 ρ = _____。(用所给字母表示)

【例 2】 在“测量金属丝的电阻率”实验中, 所用测量仪器均已校准。待测金属丝接入电路部分的长度约为 50 cm。



(1)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甲所示, 其读数应为 _____ mm (该值接近多次测量的平均值)。

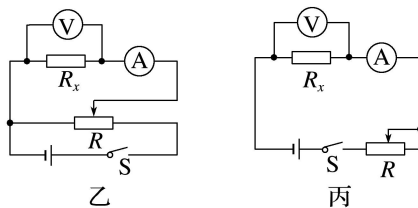
(2)用伏安法测金属丝的电阻 R_x 。实验所用器材为: 电池组(电压为 3 V)、电流表(内阻约 $0.1\ \Omega$)、电压表(内阻约 $3\ \text{k}\Omega$)、滑动变阻器 R (0~20 Ω , 额定电流 2 A)、开关、导线若干。

某小组同学利用以上器材正确连接好电路, 进行实验测量, 记录数据如下:

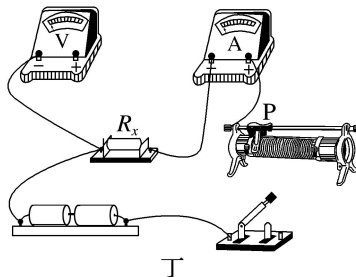
次数	U/V	I/A
----	--------------	--------------

1	0.10	0.020
2	0.30	0.060
3	0.70	0.160
4	1.00	0.220
5	1.50	0.340
6	1.70	0.460
7	2.30	0.520

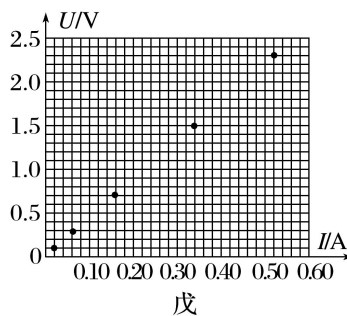
由以上实验数据可知，他们测量 R_x 采用的电路图是_____图(选填“乙”或“丙”)。



(3)如图丁所示是测量 R_x 的实验器材实物图，图中已连接了部分导线，滑动变阻器的滑片 P 置于变阻器的一端。请根据(2)中所选的电路图，补充完整图丁中实物间的连线，要求闭合开关的瞬间，电压表或电流表不被烧坏。



(4)该小组同学在坐标纸上建立 $U-I$ 坐标系，如图戊所示，图中已标出了与测量数据对应的 5 个坐标点，请在图中标出第 4、6 次测量数据的坐标点，并描绘出 $U-I$ 图线。由图线得到金属丝的阻值 $R_x=_____ \Omega$ (结果保留两位有效数字)。



(5)根据以上数据可以估算出金属丝的电阻率约为_____。

- A. $1 \times 10^{-2} \Omega \cdot m$ B. $1 \times 10^{-3} \Omega \cdot m$
C. $1 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$ D. $1 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

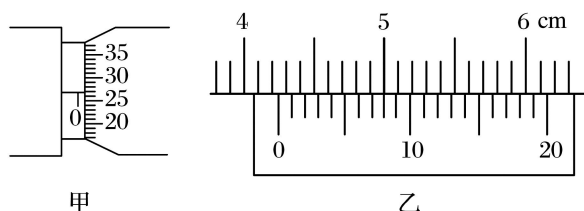
(6)任何实验测量都存在误差。本实验所用测量仪器均已校准，下列关于误差的说法正确的是_____。

- A.用螺旋测微器测量金属丝的直径时，由读数引起的误差属于系统误差
- B.由电流表和电压表的内阻引起的误差属于偶然误差
- C.若将电流表和电压表的内阻计算在内，可以消除由测量仪表引起的系统误差
- D.用 $U-I$ 图像处理数据求金属丝的电阻可以减小偶然误差

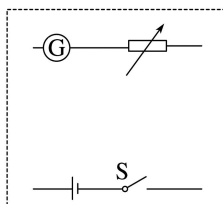
【例 3】 某中学课题研究小组为了撰写关于未知材料电阻率的实践报告，设计了一个测量电阻率(被测电阻丝的阻值约为 $25\ \Omega$)的实验方案，可提供的器材有：

- A.电流表 G，内阻 $R_g=120\ \Omega$ ，满偏电流 $I_g=3\ \text{mA}$
- B.电流表 A，内阻约为 $0.2\ \Omega$ ，量程为 $0\sim 0.1\ \text{A}$
- C.螺旋测微器和游标卡尺
- D.电阻箱 $R_0(0\sim 9\ 999\ \Omega, 0.5\ \text{A})$
- E.滑动变阻器 $R(5\ \Omega, 1\ \text{A})$
- F.干电池组($3\ \text{V}$)
- G.一个开关和导线若干

(1)用螺旋测微器测量被测电阻丝横截面直径，示数如图甲所示，可知其直径 d 为_____mm；用游标卡尺测其长度，示数如图乙所示，可知其长度 L 为_____mm。



(2)把电流表 G 与电阻箱串联改装成电压表使用，最大测量电压为 $3\ \text{V}$ ，则电阻箱的阻值应调为 $R_0=$ _____ Ω 。



(3)请用改造完的电压表设计一个测量电阻丝 R_x 电阻率的实验电路，根据提供的器材和实验需要，请将图中电路图补画完整。

(4)实验数据的测量与电阻率的计算：如果电阻丝的长度用 L 表示，开关闭合后，调节滑动变阻器的滑片到合适位置，电流表 G 的示数为 I_1 ，电流表 A 的示数为 I_2 ，请用已知量和测量量写出计算电阻率的表达式 $\rho=$ _____。

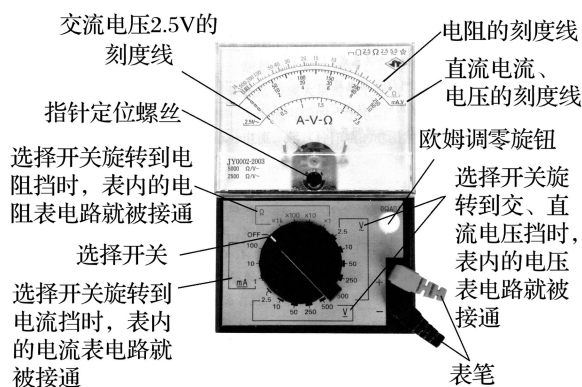
5 实验：练习使用多用电表

[学习目标] 1.了解多用电表的基本结构，知道多用电表的测量功能。2.会使用多用电表测量电压、电流和电阻(重点)。3.掌握多用电表的读数方法。4.会使用多用电表测量二极管的正反向电阻(难点)。5.会使用多用电表排查电路故障(难点)。

一、认识多用电表

1.指针式多用电表

认识表盘和选择开关



2.数字式多用电表



如图所示，数字式多用电表的测量值以数字形式直接显示，使用方便。数字式多用电表内部装有电子电路，这样可以使电表对被测电路的影响减到最小，同时还具有多种其他功能。

『思考与讨论』

多用电表的电流挡、电压挡的挡位表示什么意义？电阻挡和电流挡、电压挡的挡位表示的意义一样吗？

二、使用多用电表

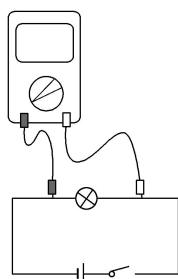
1.使用步骤

(1)使用前，应调整_____，使指针指到零刻度。这一步又称为“机械调零”。

(2)使用时，通过_____选择合适的挡位。

(3)使用完毕，应将选择开关旋转到_____位置。

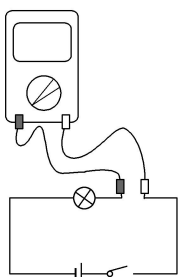
2.使用多用电表测量电压、电流和电阻



(1)测量直流电压

- ①选择_____挡合适的量程，并将选择开关旋至相应位置。
- ②将多用电表_____在待测电路两端，注意红表笔接触点的电势应比黑表笔接触点的电势_____。
- ③根据表盘上相应量程的直流电压刻度读出电压值，读数时注意_____刻度所表示的电压值。

(2)测量直流电流



- ①选择_____挡合适的量程，并将选择开关旋至相应位置。
- ②将被测电路导线拆开一端，把多用电表_____在电路中，注意电流应从_____表笔流入多用电表。
- ③读数时，根据表盘上相应量程的直流电流刻度进行读数，要认清刻度盘上的最小刻度。

(3)测量电阻

- ①选挡：估计待测电阻的大小，旋转选择开关，使其尖端对准电阻挡的合适倍率。选择倍率时，应使表针尽可能指在刻度盘的中间区域。
- ②欧姆调零：将红、黑表笔短接，调节欧姆调零旋钮，使指针指在表盘右端“0”刻度处。
- ③测量读数：将两表笔分别与待测电阻的两端接触，读数乘倍率即为待测电阻阻值。
- ④测另一电阻时重复①②③三步。
- ⑤实验完毕：应将选择开关置于“OFF”挡或交流电压最高挡。

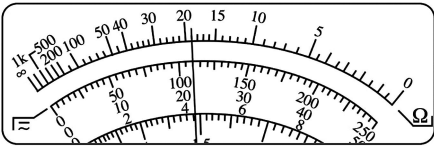
3.注意事项

- (1)用多用电表电压挡、电流挡测电压、电流时要注意红、黑表笔分别与电源的正、负极相连。
- (2)需要注意多用电表直流电流挡是毫安挡，不能测量比较大的电流。选择适当的量程，使指针偏转角尽量大一些，这样测量结果相对较准。
- (3)测电阻时应注意的问题

- ①选挡后要进行欧姆调零。
- ②换挡后要重新进行欧姆调零。
- ③被测电阻要与电源等其他元件分离，不能用手接触表笔的金属杆。
- ④操作完成后，要将两表笔从插孔中拔出，并将选择开关旋至“OFF”挡或交流电压最高挡，若长期不用，应将电池取出。

『思考与讨论』

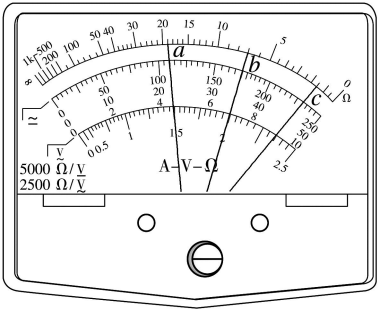
1.电阻表的表盘有什么特点？



2.若测一个阻值为 160 Ω左右的电阻，应该选择哪个电阻挡位？

【例 1】 (2024·四川省仁寿第一中学月考)在“练习使用多用电表”的实验中：

(1)前两次测量时，表盘指针如图中 *a*、*b* 所示。请据此完成记录表中的①和②；



	所测物理量	量程或倍率	指针	读数
第 1 次	直流电压	0~50 V	①____ (选填“ <i>a</i> ”或“ <i>b</i> ”)	34.0 V
第 2 次	直流电流	0~10 mA	②____ (选填“ <i>a</i> ”或“ <i>b</i> ”)	4.4 mA
第 3 次	电阻	×100	<i>c</i>	$1.5\times 10^2\ \Omega$

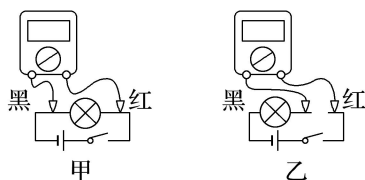
(2)第 3 次测量时，用“×100”电阻挡测量电阻，表盘指针如图中 *c* 所示，为了更准确测量需要换成____
(选填“×10”或“×1 k”)挡进行重新测量；

(3)多用电表改变不同倍率的电阻挡后,测量电阻前_____(选填“需要”或“不需要”)重新调零。

【例 2】 (2024·北京市昌平区高二期末)多用电表是常用的电学测量仪表,它既能测量电流又能测量电压,还能测量电阻。

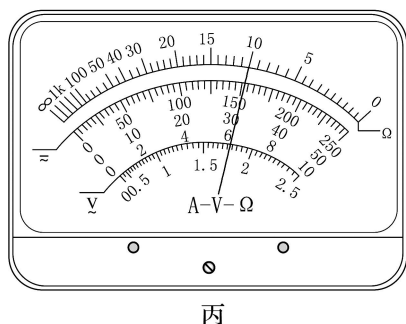
(1)关于多用电表的使用,下列操作正确的是_____;

- A.测灯泡电压时,应按图甲所示连线,测量时开关 S 应断开
- B.测灯泡电流时,应按图乙所示连线,测量时开关 S 应闭合
- C.测灯泡电阻时,应按图甲所示连线,测量时开关 S 应断开



(2)某次用多用电表测量电阻和直流电压时指针位置如图丙所示,若选择开关置于:

- ①电阻“ $\times 1\text{ k}$ ”位置,则电阻的测量值为_____ $\text{k}\Omega$;
- ②直流“ 10 V ”位置,则电压的测量值为_____ V 。

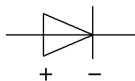


■ 总结提升 ■

- 1.读数时要注意读表盘上的刻度线:电阻表刻度不均匀,读最上一排刻度线;直流电流、电压刻度均匀,读中间刻度线。
- 2.电压表、电流表读数时,要看清选择开关所选择的量程,确定每一小格表示多少及应读到的有效数字位数。

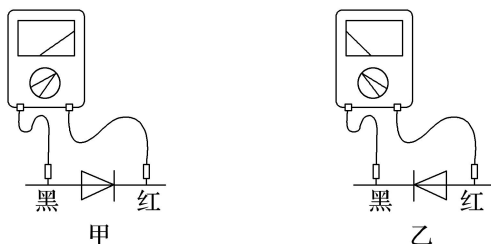
三、用多用电表测二极管正反向电阻

- 1.认识二极管:如图所示,它由半导体材料制成,左端为正极,右端为负极。



特点:二极管具有单向导电性。电流从正极流入时为正向电阻,电阻_____(填“很小”或“很大”),而从负极流入时为反向电阻,电阻_____(填“很大”或“很小”),接近断路。

- 2.多用电表测二极管的正、反向电阻



(1)测二极管正向电阻：将多用电表的选择开关旋至低倍率的电阻挡，欧姆调零之后将黑表笔接触二极管的正极，红表笔接触二极管的负极。

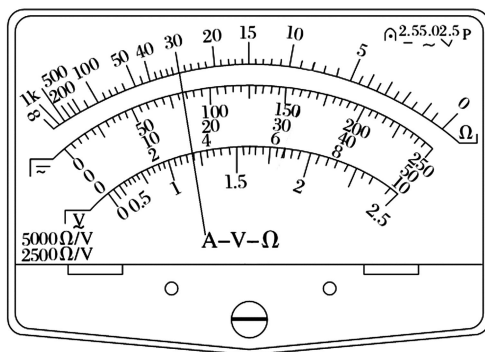
(2)测二极管反向电阻：将多用电表的选择开关旋至高倍率的电阻挡，欧姆调零之后将黑表笔接触二极管的负极，红表笔接触二极管的正极。

【例 3】 某同学利用多用电表测量二极管的反向电阻(二极管具有单向导电性，电流正向通过时几乎没有电阻，电流反向时，电阻很大)。完成下列测量步骤：

(1)检查多用电表的机械零点。

(2)将红、黑表笔分别插入“+”“-”插孔，二极管的两个极分别记作 a 和 b ，将红表笔接 a 端时，表针几乎不偏转，将红表笔接 b 端时偏转角度很大，则为了测量该二极管的反向电阻，应将红表笔接二极管的_____ (选填“ a ”或“ b ”)端。

(3)将选择开关拨至电阻“ $\times 100$ ”挡，进行正确的测量步骤后，发现表针偏角较小。为了得到准确的测量结果，应重新选择量程进行测量，则该同学应选择_____ (选填“ $\times 10$ ”或“ $\times 1\text{ k}$ ”)挡，然后_____，再进行测量。测量后示数如图所示，则测量结果为_____。



(4)测量完成后，将选择开关拨向_____挡位置。

四、用多用电表判断电路故障

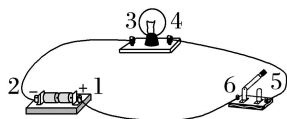
1.电压表检测法

若电路断路，将电压表与电源并联，若有电压说明电源完好。若电路断路，将电压表逐段与电路并联，若某一段电压表指针偏转，说明该段电路中有断点。若电路短路，则用电压表逐段与电路并联，某一段电压表示数为零，则该段电路被短路。

2.电阻表检测法

断开电路，用多用电表的电阻挡测量待测部分的电阻，若检测部分示数正常，说明两点间正常；若检测部分电阻很小(几乎为零)，说明该部分短路；若检测部分指针几乎不动，说明该部分断路。

【例 4】 在如图所示的电路中，1、2、3、4、5、6 为连接点的标号。在开关闭合后，发现小灯泡不亮。现用多用电表检查电路故障，需要检测的有：电源、开关、小灯泡、3 根导线以及电路中的各连接点。



(1)为了检测小灯泡以及 3 根导线，在连接点 1、2 已接好的情况下，应当选用多用电表的_____挡。

在连接点 1、2 同时断开的情况下，应当选用多用电表的_____挡。

(2)在开关闭合情况下，若测得 5、6 两点间的电压接近电源的电压，则表明_____可能有故障。

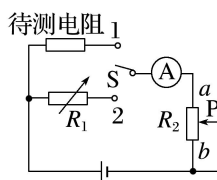
(3)将小灯泡拆离电路，写出用多用电表检测该小灯泡是否有故障的具体步骤：

专题强化 7 电阻的测量

[学习目标] 1.进一步理解电流表内接法、外接法及滑动变阻器的限流式接法和分压式接法,并能在具体问题中正确选择(重难点)。2.会用等效替代法、伏伏法、安安法、半偏法测电阻(重难点)。

一、等效替代法测电阻

如图所示,先让待测电阻与一电流表串联后接到电压恒定的电源上,读得电流表示数 I ;然后将电阻箱与电流表串联后接到同一电源上,调节电阻箱的阻值,使电流表的示数仍为 I ,则电阻箱的读数等于待测电阻的阻值。



说明: 等效替代法的实验原理简单,看似没有系统误差,但考虑到电阻箱不能连续调节,往往很难保证电流表的读数不变。

【例 1】 (2024·大连市滨城高中联盟高二月考)某实验小组同学想测量一个定值电阻 R_x 的准确阻值,实验室提供的器材如下:

待测定值电阻 R_x (阻值约为 $10\ \Omega$)

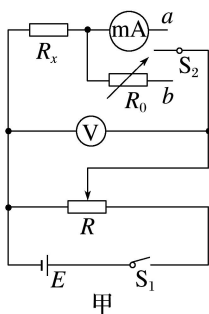
毫安表 mA(量程为 $200\ \text{mA}$,内阻未知)

电压表 V(量程 $3\ \text{V}$,内阻 $R_V \approx 3\ \text{k}\Omega$)

电阻箱 R_0 (最大阻值为 $99\ 999.9\ \Omega$)

滑动变阻器 R_1 (允许通过最大电流 $1.5\ \text{A}$,最大阻值 $5\ \Omega$)

滑动变阻器 R_2 (允许通过最大电流 $0.3\ \text{A}$,最大阻值 $300\ \Omega$)

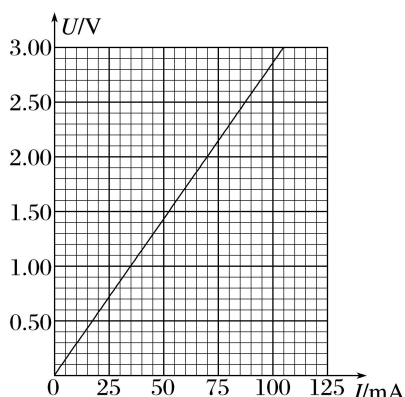


电源 E (电压约 $3\ \text{V}$)

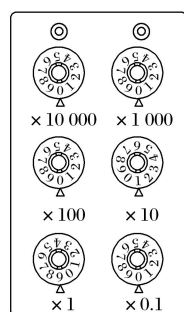
开关 S 、导线若干

(1)实验小组同学经过讨论设计出如图甲所示的电路,实验中滑动变阻器 R 应选用_____ (选填“ R_1 ”或“ R_2 ”);

(2)将单刀双掷开关 S_2 置于 a ，改变滑动变阻器滑片，测得多组电流、电压值，描绘出相应的 $U-I$ 图像，如图乙所示，图像为一条过原点的直线，则 $U-I$ 图像的斜率表示_____；



乙



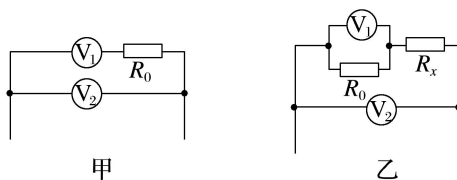
丙

(3)将单刀双掷开关 S_2 置于 b ，保持滑动变阻器滑片位置不变，调节电阻箱 R_0 的阻值，使电压表 V 的示数与单刀双掷开关 S_2 置于 a 时相同，此时电阻箱的阻值如图丙所示，则毫安表的内阻 $R_{mA} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ ；

(4)待测电阻的准确阻值 $R_{x \text{ 准}} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ (结果保留 2 位有效数字)。

二、伏伏法测电阻

伏伏法又称电压表差值法，是利用两个电压表的组合测量电压表的内阻或其他电阻的方法。常见电路如图甲、乙所示。



甲

乙

(1)条件：电压表 V_2 的量程必须大于电压表 V_1 的量程且能搭配使用。

(2)技巧：已知内阻值的电压表可当作电流表使用。在缺少合适的电流表的情况下，常用电压表代替电流表使用。

(3)原理：以图甲为例，电压表 V_1 、 V_2 的读数分别为 U_1 、 U_2 ，根据电路知识有 $U_2 = U_1 + \frac{U_1}{r_1} R_0$ ，则如果 R_0 已知，可求出电压表的内阻 $r_1 = \frac{U_1}{U_2 - U_1} R_0$ ；如果 r_1 已知，可以求出 $R_0 = \frac{U_2 - U_1}{U_1} r_1$ 。

【例 2】 (2024·广东省模拟)某实验兴趣小组,根据以下器材想要精确测量电压表 V_1 的内阻,其量程为 3 V,内阻大约为 $2\text{ k}\Omega$,除此以外提供的器材有:

- A.电源 E (电压 9 V)
- B.电压表 V_2 (量程 15 V,内阻约为 $5\text{ k}\Omega$)
- C.电流表 A (量程 0.6 A,内阻约为 $5\ \Omega$)
- D.滑动变阻器 R_1 (阻值范围为 $0\sim 10\ \Omega$)
- E.滑动变阻器 R_2 (阻值范围为 $0\sim 1\ 500\ \Omega$)
- F.定值电阻 $R_3=5\text{ k}\Omega$
- G.定值电阻 $R_4=500\ \Omega$
- H.开关一个,导线若干

(1)实验过程中,为减小实验误差,要求电表示数至少要达到量程的 $\frac{1}{3}$,同时方便电路调节,滑动变阻器应选择_____,实验所需的另一个电表应选择_____,定值电阻应选择_____(均选填器材前的字母代号);

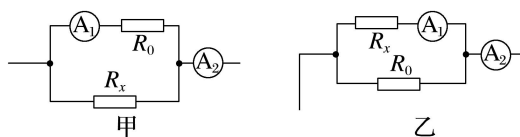
(2)请在虚线框内画出实验电路图;



(3)将电压表 V_1 的示数记为 U_1 ,将另一个电表的示数记为 X_2 ,将所选定值电阻的阻值记为 R ,在获得多组 U_1 、 X_2 的值后建立坐标系,绘制 X_2 - U_1 图像,拟合得到线性图像的斜率为 k ,则电压表 V_1 的内阻 $R_V=_____$ (用 k 、 R 表示)。

三、安安法测电阻

安安法又称电流表差值法,是利用两个电流表的组合测量电流表的内阻或其他电阻的方法,常见电路如图甲、乙所示。



(1)条件:电流表 A_2 的量程必须大于电流表 A_1 的量程且能搭配使用。

(2)技巧:已知内阻值的电流表可当作电压表使用。在缺少合适的电压表的情况下,常用电流表代替电压表使用。

(3)原理：电流表 A_1 、 A_2 的读数分别为 I_1 、 I_2 ，电流表 A_1 的内阻为 r_1 ，则以图甲为例，根据电路知识有 $I_1(r_1+R_0)=(I_2-I_1)R_x$ ，则如果 r_1 、 R_0 已知，可求出 R_x 的阻值；如果 R_0 、 R_x 已知，可以求出电流表 A_1 的内阻 $r_1=\frac{I_2-I_1}{I_1}R_x-R_0$ 。

【例 3】某同学想要准确测量一阻值约为 $2\text{ k}\Omega$ 的电阻 R_x 的阻值，实验室还提供了下列器材：

A. 电流表 A_1 (量程为 $0\sim 500\text{ }\mu\text{A}$ ，内阻 $r_1=1\text{ k}\Omega$)

B. 电流表 A_2 (量程为 $0\sim 1.5\text{ mA}$)

C. 滑动变阻器 R_1 ($0\sim 20\text{ }\Omega$)

D. 滑动变阻器 R_2 ($0\sim 2\text{ }000\text{ }\Omega$)

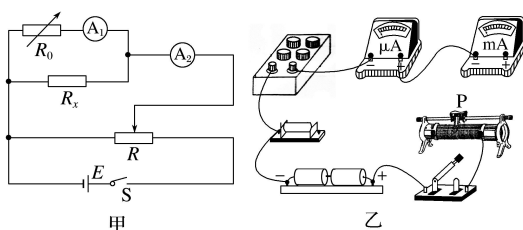
E. 电阻箱 R_0 ($0\sim 9\text{ }999\text{ }\Omega$)

F. 电源 (电压为 3 V)

G. 开关

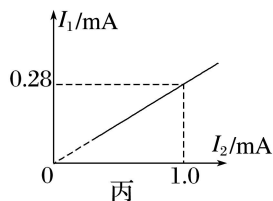
H. 导线若干

(1)某同学用如图甲所示电路图测电阻 R_x 的阻值，为尽可能获取多组数据且操作方便，滑动变阻器应选择_____ (填“ R_1 ”或“ R_2 ”)；为将电流表 A_1 改装成量程为 3 V 的电压表，需要将电阻箱 R_0 的阻值调为_____ Ω 。



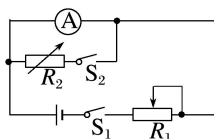
(2)如图乙所示为本实验的部分连线的实物图，请用笔画线代替导线将其连接成完整电路。

(3)按正确的电路连接，闭合开关，记录电流表 A_1 、 A_2 的示数 I_1 和 I_2 ，移动滑动变阻器的滑片，记录多组数据，并作出 I_1 - I_2 图线如图丙所示，则该待测电阻阻值为 R_x =_____ $\text{k}\Omega$ (计算结果保留两位有效数字)。



四、半偏法测电阻

1. “半偏法”测电流表的内阻

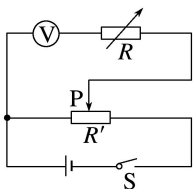


测量原理：实验电路如图所示。

- (1) 闭合开关 S_1 前，将滑动变阻器 R_1 、电阻箱 R_2 的阻值调到最大；
- (2) 闭合开关 S_1 ，调节 R_1 使电流表 A 的指针满偏；
- (3) 再闭合开关 S_2 ，保持滑动变阻器滑片的位置不变，调节电阻箱 R_2 的阻值，使电流表 A 的指针半偏；
- (4) 读取电阻箱的阻值 R_2 ，则 $R_A = R_2$ 。

注意： R_1 接入阻值越大，误差越小，故 R_1 应选择总阻值较大的。

2. “半偏法”测电压表的内阻



测量原理：实验电路如图所示。

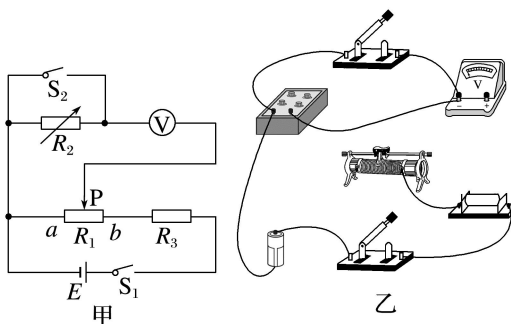
- (1) 闭合开关 S 之前，电阻箱 R 的阻值调到零，滑动变阻器 R' 的滑片 P 滑到最左端；
- (2) 闭合开关 S ，调节滑片 P 的位置使电压表 V 的指针满偏；
- (3) 保持滑动变阻器滑片位置不变，再调节电阻箱的阻值，使电压表 V 的指针半偏；
- (4) 读取电阻箱的阻值 R ，则有 $R_V = R$ 。

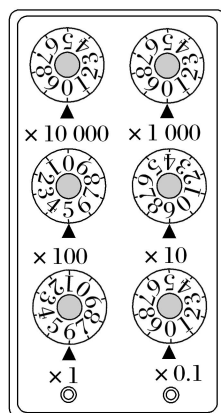
注意： R' 应选总阻值较小的，有利于减小实验误差。

【例 4】 某同学测量一量程为 500 mV 的电压表的内阻。实验所提供的器材有：待测电压表、滑动变阻器 R_1 (0~20 Ω)、电阻箱 R_2 、定值电阻 R_3 (阻值 20 Ω)、电池 (电压约为 1.5 V)、导线和两个开关。

该同学设计了如图甲所示的电路图，正确连接电路后进行了如下操作：

- ① 把滑动变阻器 R_1 的滑片滑到 a 端，闭合开关 S_2 ，并将电阻箱 R_2 的阻值调到较大；
- ② 闭合开关 S_1 ，调节 R_1 滑片的位置，使电压表的指针指到满刻度；
- ③ 保持开关 S_1 闭合、 R_1 滑片的位置不变，断开开关 S_2 ，调整 R_2 的阻值，当 R_2 调节旋钮位置如图丙所示时，电压表的指针指在满偏刻度的 $\frac{2}{3}$ 处。





丙

请回答下列问题：

(1)用笔画线代替导线将实物图乙补充完整；

(2)图丙中电阻箱 R_2 接入电路的阻值为_____ Ω ，该电压表内阻为_____ Ω ；

(3)在操作无误的情况下，实际测出的电压表内阻的测量值 $R_{V\text{测}}$ _____(选填“大于”“小于”或“等于”)真实值 $R_{V\text{真}}$ 。在其他条件不变的情况下，若 $R_{V\text{真}}$ 越大测量误差就越 _____(选填“大”或“小”)。

章末素养提升

素养再现

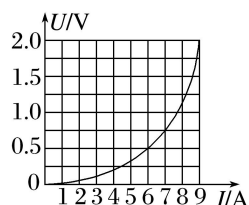
物理观念	电流	1.电流的定义式： $I=\frac{q}{t}$ ，其物理意义：_____时间内通过导体横截面的_____, 规定_____定向移动的方向为电流的方向 2.电流的微观表达式： $I=$ _____
	电阻	1.定义式：导体两端的电压 U 与通过导体的电流 I 的比值 $R=$ _____ 2.决定式：_____, 式中 ρ 叫作这种材料的_____
	串、并联电路	1.串联电路：各处电流_____, 总电压等于各部分电压_____, 总电阻等于各部分电阻_____ 2.并联电路：总电流等于各支路电流_____, 各支路两端电压_____, 总电阻的倒数等于各支路电阻的_____
	多用电表	1.了解多用电表的基本结构，知道多用电表的测量功能 2.会使用多用电表测量电压、电流和电阻 3.会使用多用电表测量二极管的正反向电阻，会排查电路故障
科学思维	1.能从微观视角和宏观表现分析电流的形成 2.会用控制变量法设计探究电阻与长度、横截面积及材料的定量关系的实验方案 3.熟练掌握伏安法测电阻的内接和外接的误差分析和对电路的选择 4.理解滑动变阻器的限流式接法和分压式接法	
科学探究	1.知道游标卡尺和螺旋测微器的测量原理，会正确使用游标卡尺和螺旋测微器，能根据实际情况选择合适的测量工具 2.能够掌握测量金属电阻率的实验原理和方法 3.会根据实验数据描绘 $U-I$ 图像，求出电阻值。能根据串、并联电路的规律，对实验误差进行分析 4.认识多用电表的表盘结构及选择开关的功能，掌握多用电表的操作程序与使用要求，会使用多用电表测量电压、电流和电阻及判断二极管的极性，知道减小实验误差的方法	
科学态度与责任	1.养成自觉遵守实验操作规程和谨慎操作的习惯 2.能认识物理测量的精度依赖于实验器材，而且测量是有误差的 3.通过分组实验，讨论、交流，培养团队合作意识	

提能训练

【例 1】 (2024·安徽省高二联考)随着中、日、美、韩等多家企业高调宣布全固态电池技术的新突破，全球范围内全固态电池技术再次引起广泛关注。2023 年 11 月，在我国试验测试中，相比常规固态电池，采用界面改性技术的固态电池在 150 周循环后容量的保持率大幅提高，超过 90%，电池寿命衰减率降低了 50%，关于电池中对电流定义式 $I=\frac{q}{t}$ 理解，下列说法正确的是()

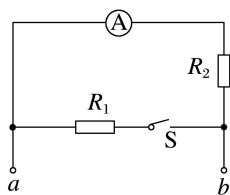
- A. 电池储存的电荷量 q 越多，它放电时的电流 I 一定越大
- B. I 的方向与自由电子的定向移动方向相反
- C. I 与通过导体横截面的电荷量成正比
- D. I 是矢量，方向由 q 的移动方向决定

【例 2】 某灯泡的 $U-I$ 图像如图所示，下列说法正确的是()



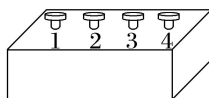
- A. 小灯泡的电阻随着电流的增大而减小
- B. 小灯泡的电阻随着电压的增大而减小
- C. 小灯泡是非线性电阻，所以不能计算出其在某状态下的电阻
- D. 当小灯泡两端的电压为 0.5 V 时，它的电阻约为 $\frac{1}{12} \Omega$

【例 3】 (2025·北京市通州区高二期末)如图所示，电流表 A 的量程为 0.6 A，内阻 $r=5 \Omega$ 。电阻 $R_1=5 \Omega$ ， $R_2=20 \Omega$ 。用该电流表改装成电压表和量程更大的电流表，将接线柱 a 、 b 接入电路，下列说法正确的是()



- A. 若开关 S 闭合，可测量的最大电流为 3 A
- B. 若开关 S 断开，可测量的最大电压为 12 V
- C. 若开关 S 闭合且增大 R_1 阻值，可测量的最大电流将增大
- D. 若开关 S 断开且增大 R_2 阻值，可测量的最大电流不变

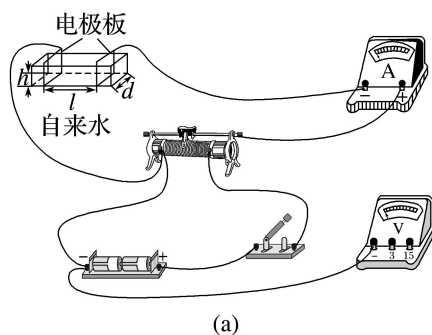
【例 4】 (多选)(2023·全国乙卷)黑箱外有编号为 1、2、3、4 的四个接线柱，接线柱 1 和 2、2 和 3、3 和 4 之间各接有一个电阻，在接线柱间还接有另外一个电阻 R 和一个直流电源。测得接线柱之间的电压 $U_{12}=3.0 \text{ V}$ ， $U_{23}=2.5 \text{ V}$ ， $U_{34}=-1.5 \text{ V}$ 。符合上述测量结果的可能接法是()



- A. 电源接在 1、4 之间， R 接在 1、3 之间
- B. 电源接在 1、4 之间， R 接在 2、4 之间
- C. 电源接在 1、3 之间， R 接在 1、4 之间
- D. 电源接在 1、3 之间， R 接在 2、4 之间

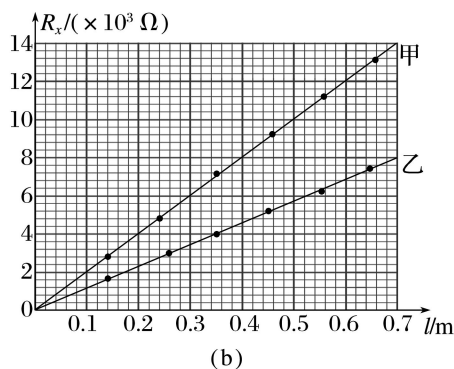
【例 5】(2024·江西卷)某小组欲设计一种电热水器防触电装置，其原理是：当电热管漏电时，利用自来水自身的电阻，可使漏电电流降至人体安全电流以下。为此，需先测量水的电阻率，再进行合理设计。

(1)如图(a)所示，在绝缘长方体容器左右两侧安装可移动的薄金属板电极，将自来水倒入其中，测得水的截面宽 $d=0.07\text{ m}$ 和高 $h=0.03\text{ m}$ 。



(2)现有实验器材：电流表(量程 $300\text{ }\mu\text{A}$ ，内阻 $R_A=2\text{ }500\text{ }\Omega$)、电压表(量程 3 V 或 15 V ，内阻未知)、直流电源(3 V)、滑动变阻器、开关和导线。请在图(a)中画线完成电路实物连接。

(3)连接好电路，测量 $26\text{ }^\circ\text{C}$ 的水在不同长度 l 时的电阻值 R_x 。将水温升到 $65\text{ }^\circ\text{C}$ ，重复测量。绘出 $26\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 水的 R_x-l 图，分别如图(b)中甲、乙所示。



(4)若 R_x-l 图线的斜率为 k ，则水的电阻率表达式为 $\rho=$ _____ (用 k 、 d 、 h 表示)。实验结果表明，温度 _____ (填“高”或“低”)的水更容易导电。

(5)测出电阻率后，拟将一段塑料水管安装于热水器出水口作为防触电装置。为保证出水量不变，选用内直径为 $8.0\times 10^{-3}\text{ m}$ 的水管。若人体的安全电流为 $1.0\times 10^{-3}\text{ A}$ ，热水器出水温度最高为 $65\text{ }^\circ\text{C}$ ，忽略其他电阻的影响(相当于热水器 220 V 的工作电压直接加在水管两端)，则该水管的长度至少应设计为 _____ m 。(保留两位有效数字)

