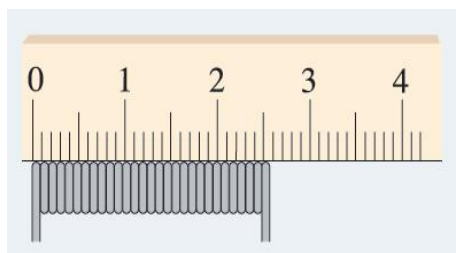


课程基本信息							
课例编号	2020QJ11WLRJ020	学科	物理	年级	高二	学期	上学期
课题	实验：金属丝电阻率的测量						
教科书	书名：物理必修（第三册）						
	出版社：人民教育出版社		出版日期：2019 年 4 月				
教学人员							
	姓名		单位				
授课教师	龚朝辉		北京师范大学第二附属中学				
指导教师	赵建利、宋白珂、黎		北京师范大学第二附属中学、北京师范大学第二附属中				
	红		学、西城教育研修学院				
教学目标							
<b>教学目标：</b> 1. 理解测量电阻率的实验原理及实验方法。 2. 通过分组实验，学会测量导体的电阻率。 3. 通过使用游标卡尺或螺旋测微器测量长度、以及测量电阻等过程，进一步形成自觉遵守实验操作规程和谨慎操作的习惯。							
<b>教学重点：</b> 1. 设计实验电路，电表量程的选择，测量电路的设计以及控制电路的设计 2. 根据原理图连接实物电路 3.长度测量工具的使用以及读数 4.根据 $U-I$ 图像求电阻丝的电阻							
<b>教学难点：</b> 1. 测量电路设计和控制电路设计 2. 根据原理图连接实物电路							
教学过程							
时间	教学环节	主要师生活动					
2 分钟	环节一：明确实验原理	<b>环节一：明确实验原理</b> <b>【问题】</b> 要想测量导体的电阻率，请同学们思考如下两个问题： （1）测量金属丝的电阻率依据的物理规律是什么？ （2）需要测定哪些物理量？  <b>【老师】</b> 根据上述两个问题，我们明确实验原理。我们刚学习了导体的电阻 $R$ 与它的长度 $l$ 成正比，与它的横截面积 $S$ 成反比，导					

理	<p>体电阻还与电阻率有关，写成表达式为 <math>R = \rho \frac{l}{S}</math>，导体的横截面积不能直接测量，可以通过测量直径 <math>d</math> 得到，即 <math>S = \frac{\pi d^2}{4}</math>，从而可以得到导体的电阻率 <math>\rho = \frac{\pi d^2 R}{4l}</math>。根据表达式可知，只需要测量电阻丝的电</p> <p>阻 <math>R</math>、直径 <math>d</math> 和电阻丝有效长度 <math>l</math>，就可测出金属丝的电阻率。</p>
12 分 钟	<p><b>环节二：设计实验方案</b></p> <p>给同学们提供如下实验器材，请同学们从中选择合适的器材，设计实验方案，并完成实验。</p> <p><b>电流表 A<sub>1</sub>:0~0.6 A 量程,内阻约为 0.125 Ω;</b></p> <p><b>电流表 A<sub>2</sub>:0~3 A 量程,内阻约为 0.025 Ω;</b></p> <p><b>电压表 V<sub>1</sub>:0~3 V 量程,内阻约为 3 kΩ;</b></p> <p><b>电压表 V<sub>2</sub>:0~15 V 量程,内阻约为 15 kΩ;</b></p> <p><b>电源电压约为 3 V,滑动变阻器最大值 5 Ω;</b></p> <p><b>待测金属丝的总电阻约为 10 Ω;</b></p> <p><b>一个开关和若干导线;</b></p> <p><b>测量长度的工具:毫米刻度尺、游标卡尺和螺旋测微器。</b></p> <p><b>1.长度的测量</b></p> <p>本实验需要测量接入电路中电阻丝的有效长度 <math>l</math> 和电阻丝的直径 <math>d</math>，实验提供了毫米刻度尺、游标卡尺和螺旋测微器三种测量工具。测量工具的选择既要考虑使用的方便，也要考虑测量误差的大小，我们分别进行选择。</p> <p><b>【问题 1】</b>测量电阻丝的有效长度 <math>l</math> 要选用哪种测量工具？</p> <p><b>【学生】</b>电阻丝总长度为几十厘米，所以应选用毫米刻度尺，注意刻度尺的分度值为 1mm，读数时可读到 0.1mm。</p> <p><b>【问题 2】</b>测量电阻丝的直径 <math>d</math> 要选用哪种测量工具？</p> <p>因为电阻丝比较细，所以直接用刻度尺测量就会产生比较大的误差，提供如下 2 种方案可选。</p> <p><b>方案 1：</b>用刻度尺测量电阻丝的直径</p> <p>如图所示，取一段电阻丝，在圆柱形物体上紧密缠绕，用刻度尺</p>

测量出总宽度，再除以圈数，通过累积法提高测量的准确度。



方案 2：用游标卡尺或螺旋测微器测量电阻丝的直径。

【学生】为了测量方便和减小误差，选用螺旋测微器进行测量，注意其分度值为  $0.01\text{mm}$ ，可读至  $0.001\text{mm}$ 。

## 2. 电阻丝电阻的测量

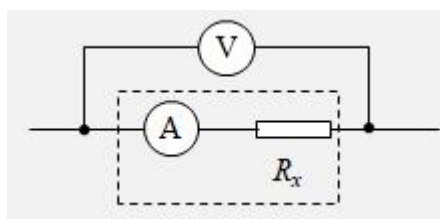
初中我们就学过使用伏安法测量导体的电阻，需要测量电压和电流两个物理量，那么就要选择合适量程的电压表和电流表，所以第一步，选择电表量程。

【问题 1】为了尽可能准确地测量电流和电压，电流表和电压表应该选择什么量程？

【学生】电源电压约  $3\text{V}$ ，因此电压表选择  $0\sim 3\text{V}$  量程，由于待测电阻丝阻值大约为  $10\Omega$ ，电路中最大电流约为  $3$  除以  $10$ ，大约为  $0.3\text{A}$ ，因此电流表选择  $0\sim 0.6\text{A}$  量程。

第二步设计测量电路，用伏安法测量电阻的电路有两种，一种是电流表内接法，另一种是电流表外接法。之前的学习我们知道，电压表和电流表都不是理想电表，由于电压表和电流表内阻的影响，两种测量电路都存在系统误差。我们分别对其进行分析，然后选择本实验选用的测量电路。

电流表内接法：



根据电路图可知，电流表测量流过电阻  $R_x$  电流，是准确的，电压表测量的是电流表和电阻  $R_x$  两端电压之和，那么电压表测量值偏

大，产生误差的原因是电流表分压。

$$R_{\text{测}} = \frac{U_{\text{测}}}{I_{\text{测}}} \quad U_{\text{测}} = U_A + U_{R_x}$$

$$R_{\text{测}} = \frac{U_A + U_{R_x}}{I} = R_A + R_x$$

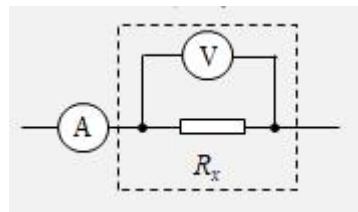
$R_{\text{测}}$  为虚线框中电流表和电阻  $R_x$  串联的总电阻。

计算相对误差：

$$\delta = \frac{|R_x - R_{\text{测}}|}{R_x} = \frac{R_A}{R_x}$$

根据相对误差可知，对于确定的电流表，待测电阻  $R_x$  阻值越大，相对误差就越小，电流表内接法适合测量阻值较大的电阻。

电流表外接法：



根据电路图可知，电压表测量电阻  $R_x$  两端电压，是准确的，电流表测量的是流过电压表和电阻  $R_x$  总电流，电流表测量值偏大，产生误差原因是电压表分流。

$$R_{\text{测}} = \frac{U_{\text{测}}}{I_{\text{测}}} \quad I_{\text{测}} = I_V + I_{R_x}$$

$$\frac{1}{R_{\text{测}}} = \frac{I_V + I_{R_x}}{U} = \frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_x} = \frac{R_V + R_x}{R_V \cdot R_x}$$

$$R_{\text{测}} = \frac{R_V \cdot R_x}{R_V + R_x} \quad R_{\text{测}} \text{ 为虚线框中电压表和电阻 } R_x \text{ 并联的总电阻}$$

计算相对误差：

$$\delta = \frac{|R_x - R_{\text{测}}|}{R_x} = \frac{R_x}{R_x + R_V} = \frac{1}{1 + \frac{R_V}{R_x}}$$

根据相对误差可知，

对于确定的电压表，待测电阻  $R_x$  阻值越小，相对误差酒越小，电流表外接法适合测量阻值较小的电阻。

【问题 2】本实验电流表采用内接法还是外接法？请同学们根据实验器材中的数据分别计算两种接法的误差，并进行选择。

【学生】

电流表内接法：

$$\delta = \frac{R_A}{R_x} \approx 1.3\%$$

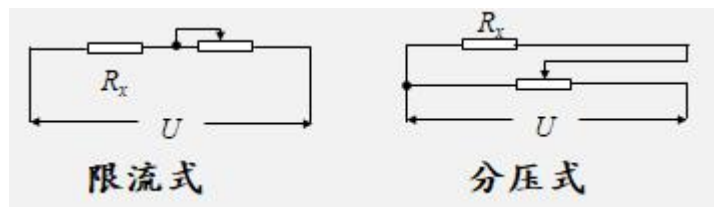
电流表外接法：

$$\delta = \frac{R_x}{R_x + R_V} \approx 0.3\%$$

根据计算结果可知，外接法相对误差较小，所以测量电路选择电流表外接法。

第三步是控制电路的选择。实验中要测量多组电压和电流值，通过  $U-I$  图像求得电阻  $R$ ，那么就需要滑动变阻器来控制电路中电压和电流的变化，滑动变阻器在电路中的连接方式有两种：分压式和限流式。

【问题 3】为调节方便，尽可能测量多组数据，滑动变阻器采用分压式接法还是限流式接法？



【学生】滑动变阻器最大阻值跟待测电阻相差不多，如果选用限流式接法，滑动变阻器和电阻丝串联，提供的电压可调节范围

$\frac{R_x}{R_x + R} U \sim U$ ；如果选用分压式接法，可提供电压调节范围大约为

$0 \sim U$ ，都可以满足实验采集 6~8 组数据，考虑到分压式接法调节范围大，数据点可以更分散一些，本实验选用分压式接法。

【问题 4】请在纸上画出实验电路图，并指出电流表和电压表的正负接线柱，说明滑动变阻器的滑片应该放在哪端。

3 分钟

环节三：进行实验与收集证据

【学生】电路图如图所示，电流表采用外接法，滑动变阻器采用分压式接法，电流从电表的正接线柱流入，负接线柱流出。滑动变阻器的滑片应放在  $a$  端。

### 环节三：进行实验与收集证据

第一步：根据原理连接实物图

根据原理图连接实物图：先连接下面的控制电路，导线从电源正极出发，通过开关，再通过滑动变阻器，滑动变阻器连接下面两脚，最后回到电源的负极。再连接上面的测量电路，让电流从电流表的正接线柱流入，从负接线柱流出，流过电阻丝回到负极，最后将电压表并联在电阻丝上。注意将滑动变阻器的滑片放在最左端。

第二步：测量电阻丝有效长度  $l$ ：用毫米刻度尺测量接入电路中被测电阻丝的有效长度，测量 3 次，将数据记录在表格中，并求得有效长度的平均值。

	1	2	3	平均值
$l/\text{cm}$	56.50	56.45	56.46	56.47

第三步：测量电阻丝直径  $d$

用螺旋测微器在被测电阻丝不同位置测量 3 次，将数据记录在表格中，求得直径的平均值。

3 分钟

环节四：数据分析

	1	2	3	平均值
$d/\text{mm}$	0.395	0.396	0.399	0.397

第四步：测量电阻丝的电阻  $R$ 。闭合开关，改变滑片位置，测量 6 组电压和电流，将数据记录在表格中。

	1	2	3	4	5	6
电压/V	0.45	0.70	1.09	1.40	1.74	2.19
电流/A	0.06	0.10	0.15	0.20	0.25	0.32

选取合适的横纵坐标，描点并拟合成一条直线，做出  $U-I$  图像，

如图所示。在图像上选取较远的 AB 两个点，A 点坐标为 (0.13A,0.90V)，B 点坐标为(0.29A,2.00V)，求出斜率即为电阻丝的电阻  $R=6.9\Omega$ 。

**环节四：数据分析**

将测得的电阻丝有效长度  $l$ 、电阻丝直径  $d$ 、电阻丝的电阻  $R$  代入公式，计算出被测电阻丝的电阻率。

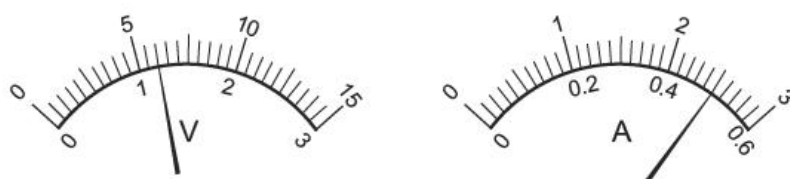
三个物理量都用国际单位表示，分别为  $l=0.5647\text{m}$ ， $d=0.397\times 10^{-3}\text{m}$ ， $R=6.9\Omega$

代入到表达式  $\rho = \frac{\pi d^2 R}{4l}$  中可得电阻率  $\rho=1.5\times 10^{-6} \ \Omega\cdot\text{m}$

本实验使用的金属丝为铁铬铝丝，其电阻率参考值为  $\rho=1.4\times 10^{-6} \ \Omega\cdot\text{m}$ ，计算相对误差为 7.1%

在实验过程中，除了测量电阻丝电阻  $R$ 、直径  $d$  和有效长度  $l$  产生误差外，由于电阻丝通电后会升温，导致电阻率变大，也会产生测量误差。

例题：在用电压表和电流表测量某种金属丝的电阻率时，用刻度尺测得金属丝长度为  $60\text{ cm}$ ，用螺旋测微器测得金属丝的直径为  $0.635\text{ mm}$ ，两电表的示数分别如图所示（电压表量程  $0\sim 3\text{ V}$ ，电流表量程  $0\sim 0.6\text{ A}$ ）。请计算，该金属丝的电阻率是多少？



首先整理本实验可直接测量的物理量：

电压表读数：  $U=1.20\text{ V}$

电流表读数：  $I=0.50\text{ A}$

金属丝长度：  $l=60\text{ cm}=0.60\text{ m}$

金属丝直径：  $d=0.635\text{ mm}=6.35\times 10^{-4}\text{ m}$

再计算得到间接测量的物理量：

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1.20}{0.50} \Omega = 2.4 \Omega$$

代入表达式可得电阻率：

$$\rho = \frac{\pi d^2 R}{4l} = 1.3 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$$

答：该金属丝的电阻率是  $1.3 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$