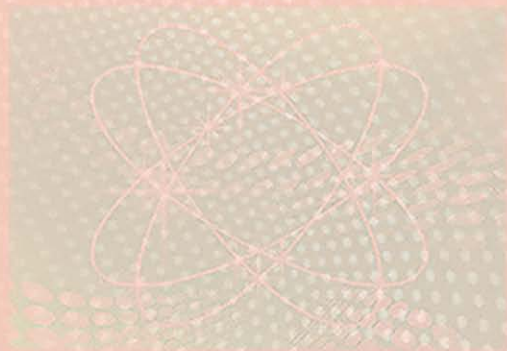


科学实验动手做·物理 电学实验改进设计实践



目 录

1 电磁学实验中仪器、器材的使用与操作

滑动变阻器的接法选择·····	(1)
电表改装及表盘刻度·····	(7)
发光两极管在物理实验中的应用·····	(11)
用黑白电视机演示欧姆定律、电磁振荡、振动波合成·····	(14)
学生万用表改进·····	(18)
电磁综合演示仪·····	(19)
简易电学实验盒的自制·····	(31)
旧蓄电池负极的判断方法·····	(33)

2 静电实验的操作与改进设计

影响电容的几个因素·····	(36)
用发光二极管作电容器充电和放电作用的演示实验·····	(38)
平行板电容器实验·····	(40)
电容实验的原理·····	(45)
电容器能量的测量·····	(48)
描绘电场中等势线实验方法的改进·····	(52)
研究静电力的实验装置·····	(53)

静电计模型	(57)
试用土办法自制导电纸	(60)
对感应起电机的修复方法	(61)
法拉第圆筒实验	(63)
易拉罐矿泉水瓶做静电除尘实验效果好	(65)
用废灯管制作静电除尘演示器	(66)
电容式静电实验仪的制作	(67)

3 磁场的实验操作与改进设计

安培力演示器	(72)
磁场对电流作用演示装置的改进二则	(76)
通电螺线管磁性演示装置二则	(79)
旋转磁场演示实验的改进	(82)
用单相交流电演示三相旋转磁场	(84)
对电功实验装置的改进	(87)
永磁体仪器的维护与充磁	(91)

4 物质导电性实验的操作与改进

示波管示波	(94)
气体导电性演示实验的改进	(102)
用废灯管制作稀薄气体中的辉光放电演示器	(104)
“玻璃变成了导体”演示实验	(105)
用明矾作导体和绝缘体相互转化实验	(108)

5 恒定电流的实验操作与改进设计

串、并联电路的两个结论与比较法测电阻	(110)
补偿法测电阻的实验设计	(112)
欧姆表测电阻的误差估读	(117)
充分利用中学实验室器材测电阻	(121)
电流表内阻的测量实验与线路分析	(126)
演示试验和数学推证并举研究“串联电路”	(133)
全电路欧姆定律实验的改进	(138)
一种内阻可变的新型实验电池	(144)
伏打电验电器的一种新方法	(146)
简便明显的“电流热效应”演示的改进	(149)
怎样判断电度表走得是否准确	(149)
焦耳定律实验的改进(一)	(150)
焦耳定律实验的改进(二)	(151)

1

电磁学实验中仪器、器材 的使用与操作

✨ 滑动变阻器的接法选择

滑动变阻器具有多种用途和接线方式。滑动变阻器在电学实验中使用频率极高,是重要的电学仪器,是教学的重点。选择何种方式将滑动变阻器接入电路具有较高的技巧性,学生不易掌握,也是教学的难点。

滑动变阻器有三种基本用途:(1)保护电路:选定滑片位置,使加在负载、电压表、电流表等电学元件上的电压以及流过它们和电源的电流在额定值以内;(2)调节、控制:改变滑片位置,使加在工作元件及工作电路上的电压和流过它们的电流在额定值内变化;(3)变阻负载:作为能改变接入电路电阻的负载电阻往往兼具保护、调节作用。

滑动变阻器接入电路时有两种基本接线方式：(1)接成限流器，如图 1 所示（分成 p 、 b 间短路和断路两种接线方式）；(2)接成分压器，如图 2 所示。

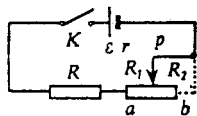


图 1

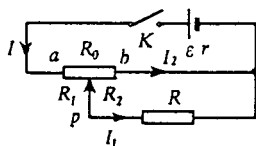


图 2

滑动变阻器接入电路时应该接成限流电路还是接成分压电路，这取决于多种因素的制约。江苏扬州市第五中学陈金鹏老师对滑动变阻器接线方式的选择依据作了介绍：

滑动变阻器作为负载电阻时总是接成限流电路。例如，用安培表和伏特表测定电池的电动势和内电阻实验中的滑动变阻器，见图 3。又如，研究电源的输出功率与外电路电阻关系实验中的滑动变阻器，见图 4，都作为负载电阻，都接成限流电路。

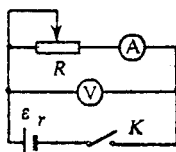


图 3

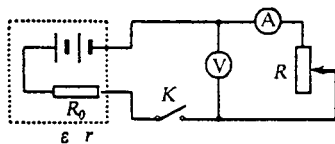


图 4

滑动变阻器在电路中主要起保护、调节作用时，应依据下述诸原则，以确定其具体的接线方式。

① 确保电路安全原则 电路安全是电学实验中必须考虑的第一位因素

滑动变阻器必须接成适当电路,以确保流过电源、用电器、电表及变阻器本身的电流在各自的额定值以内。

例 1 图 5 为伏安法测量一个定值电阻阻值的实验所需的器材实物图。器材规格如下:

- (1)待测电阻 R_x (约 100 欧)
- (2)直流毫安表(量程 0—10 毫安,内阻 50 欧)
- (3)直流电压表(量程 0—3 伏,内阻 5 千欧)
- (4)直流电源(输出电压 4 伏,内阻不计)
- (5)滑动变阻器(阻值范围 0—15 欧,允许最大电流 1 安)
- (6)电键一个,导线若干条

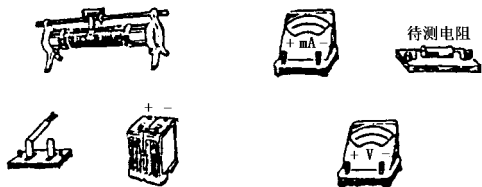


图 5

根据器材的规格和实验要求,在本题的实物图上连接。

分析与解 若将滑动变阻器接成限流器,当接入电路电阻取最大值 15 欧时,流过电路的电流为 24 毫安,超过毫安表的量程,违反了电路安全原则,故变阻器一定要接成分压器,如图 6 所示。值得注意的是,由 $\epsilon = IR_{\text{总}}$, $I = I_x + I_2$, $R_{\text{总}} = (15$

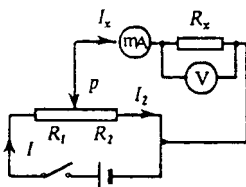


图 6

$-R_2) + \frac{R_2(R_x + R_A)}{R_2 + (R_x + R_A)}$ 可求得, 仅当 $R_2 \leq 5.7$ 欧时, 流过毫安表的电流 $I_x \leq 10$ 毫安, 电路才是安全的。

② 减小实验误差原则

实验时应根据具体情况, 选择变阻器的合适接法, 使实验结果比较精确。

(1) 使电流、电压的调节范围较大: 变阻器的适当接法应使加在负载电阻上的电压和流过的电流能在较大范围内变化, 以便多测几组数据, 取平均值, 减小偶然误差。

滑动变阻器的总电阻 R_0 远小于负载电阻 R 时, 应接成图 2 式的分压电路。设 $R = 10R_0$, 忽略电源内阻, 若接成图 1 的限流电路, 则电路中的最大电流、最小电流分别为:

$$I_{\max} = \epsilon / R \quad I_{\min} = \epsilon / (R + R_0) = 10\epsilon / (11R)$$

显见, $I_{\max} = 11I_{\min}$, 电流的调节范围很小。

若接成图 2 的分压电路, 则有

$$I_{\max} = \epsilon / R, I_{\min} = 0 \quad \dots\dots\dots ①$$

于是, 电流的调节范围较大。

滑动变阻器的总电阻 R_0 远大于负载电阻 R 时, 两种电

路都有较大的调节范围。设 $R_0 = 10R$, 忽略电源内阻, 接成限流器时。

$$I_{\max} = \epsilon/R, I_{\min} = \epsilon/(R+R_0) = \epsilon/11R, I_{\max} = 10I_{\min}$$

接成分压电路时, 结论仍为①式。

(2) 使变阻器的有效调节范围较大: 当 R_0 远大于 R 时, 接成限流电阻可使流过负载的电流有较大调节范围, 但变阻器滑片有效移动范围较小, 不能减小误差。设 $R_0 = 100R$, 忽略电源电阻, 图 1 的 $I_{\max}$ 、 $I_{\min}$ 分别为

$$I_{\max} = \epsilon/R \quad I_{\min} = \epsilon/(R+R_0) = \epsilon/101R, I_{\max} = 101I_{\min}$$

用电流表测量电路电流时, 电路中的最大电流 $I_{\max}$ 不能超过电流表量程。为便于讨论, 设两者相等, 为了使测量结果比较准确, 电路中的电流应在 $0.2I_{\max} - I_{\max}$ 之间变化。图 1 中, 滑片 P 从右向左移动时, 当变阻器接入电路电阻 R_1 减小到等于 $4R$ 时, 即滑片 p 移至非常靠近 a 端, 使 a 、 p 间距离比 p 、 b 间距离 $= 4 : (100 - 4) = 1 : 24$, 电路中电流才增大到 $0.2I_{\max}$, 此前滑片的移动是无效的, 无效移动距离占总长的 96% 。滑片此后的移动是有效的, 但有效移动距离仅占总长的 4% , 可见有效调节范围很小。接成分压电路则能消除弊端。

(3) 使测量仪表有合适的量程: 选择变阻器的合适接法使测量仪表有合适量程系指, 流过表的电流、加在表两端的电压既不能太大, 也不能太小, 太大则超过量程, 损坏电表; 太小则指针偏角太小, 读数误差较大。

例 2 用伏安法测量一个电阻的阻值, 备用仪器及元件有

(1) 待测电阻 R_x , 约 25 千欧

(2) 直流电流表 $\textcircled{A}$, 量程 $0 \sim 300 \mu\text{A}$, 内阻 300Ω

(3) 直流电压表 $\textcircled{V}$, 量程 $0 \sim 10\text{V}$, 内阻约为 $100\text{ k}\Omega$

(4) 直流电源两种: (ϵ_1) 一节干电池, 电动势 1.5V , 内阻不计; (ϵ_2) 直流稳压电源, 输出电压 15V

(5) 滑动变阻器 R_0 , 总电阻 $15\text{ k}\Omega$

(6) 电键 K , 导线若干

试从以上所提供的仪器和元件中选择合适的规格及适宜的线路, 使被测电阻的测量结果达到尽可能高的精确度。画出电路图并标明所选仪器及元件的规格。

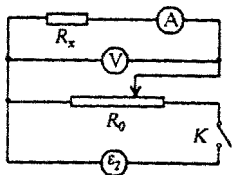


图 7

分析与解 由于 R_x 的阻值远远大于 $\textcircled{A}$ 的内阻且和 $\textcircled{V}$ 的内阻接近, 故选用安培表内接电路, 如图 7 所示。

若选用一节干电池作为电源, 变阻器无论接成限流器或是分压器, $\textcircled{A}$ 和 $\textcircled{V}$ 的最大读数相同, 分别为 $60\mu\text{A}$ 和 1.5V , 指针偏角太小, 误差较大, 故应选用 (ϵ_2) 作为电源。

若滑动变阻器接成限流电路, 流过 R_x 的最小电流为 $375\mu\text{A}$, 超过 $\textcircled{A}$ 的量程, 故变阻器必须接成分压器。

③ 节约电源电能原则

当限流电路和分压电路均可使用时, 例如滑动变阻器的总电阻和负载电阻阻值接近, 应该优先选用限流电路。因为

在负载电阻消耗功率不变的前提下,限流电路消耗的总功率小于分压电路消耗的总功率。

设变阻器接成两种电路时流过负载的电流皆为 I_0 ,接成限流电路时,电源消耗的功率为

$$P = \epsilon I_0$$

接成分压电路时,电源消耗的功率为

$$P = \epsilon(I_0 + I_2) > P$$

式中 I_2 是滑动变阻器上和负载电阻 R 并联部分 R_2 上的电流。

选择滑动变阻器的接线方式时,除了需要考虑上述三原则外,还需考虑某些实验的特殊要求。例如用标准伏特表、安培表校准改装成的伏特表、安培表,若要求加在伏特表两端的电压及流过安培表的电流能从 0 连续变化到满量程,则变阻器必须接成分压器方能满足实验要求。

❁ 电表改装及表盘刻度

高中物理课本指出,电流表的优点是刻度均匀、准确度高,缺点是对过载很敏感,如果通入的电流超过允许值,就很容易把它烧毁。扬电流表之长,避电流表之短,是把电流表改装成伏特表、安培表、欧姆表的基本出发点。

假定电流表允许通过的最大电流为 I_g ,内阻 R_g ,则能承受的最大电压 $U_g = I_g R_g$ 。现欲“借用”电流表的指针指示 $0—U_0 (> U_g)$ 的电压值,显然需串联分压电阻以承担 $U_0—$

U_g 的电压,按串联电路基本规律可求出串联电阻 R 值:

$$\therefore \frac{U_0 - I_g R_g}{R} = I_g \therefore R = \frac{U_0 - I_g R_g}{I_g} \dots\dots\dots (1)$$

也可求出量程扩大的倍数与阻值关系:

$$\therefore \frac{U_g}{R_g} = \frac{U_0}{R + R_g}, \therefore \frac{U_0}{U_g} = \frac{R + R_g}{R_g} \dots\dots\dots (2)$$

R 和电流表串联后的整体就是改装后的伏特表(如图 1)。

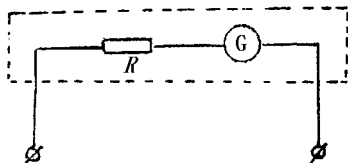


图 1

沈阳雷作春老师介绍按下述方法重新标出电流表表盘的刻度,即可“借用”电流表的指针指示出伏特表所测电压值。假定流过电流表的电流为 I' (I' 可以是 $0 - I_g$ 的任意值),指针指在表盘 I' 的位置上,此时电压表两端电压为 $U' = I'(R + R_g) \dots\dots\dots (3)$ 。只要把电流表表上 I' 处,重新标出 $U' = (R + R_g)I'$ (伏特),即可从刻好的表盘上直接读出所量电压了。由于电流表表盘刻度是均匀的,从式(3)可以看出,伏特表的表盘刻度也是均匀的。

电流表改装成安培表需用并联电路的知识,假定需“借用”电流表指针指示 $0 - I_0$ ($> I_g$) 的电流,由于电流表能负荷的最大电流是 I_g ,所以需在电流表上并联一个分流电阻,分掉多余的电流 $I_0 - I_g$ 。分流电阻可按并联电路特点求出: $\therefore I_g R_g = (I_0 - I_g) R$

$\therefore R = \frac{I_g R_g}{I_0 - I_g} \dots\dots (4)$ 。也可求出安培表量程扩大的倍数与电

阻值的关系： $\therefore I_0 \frac{R R_g}{R + R_g} = I_g R_g \therefore \frac{I_0}{I_g} = \frac{R + R_g}{R}$ 。R 与电流表并联的整体就是改装后的安培表(如图 2)。

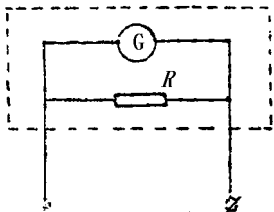


图 2

改装后的电流表需按下述方法重新刻度：假定安培表所测电流强度为 I' ， I' 与流过电流表的实际电流 I_g' 的关系为 $I' = \frac{R + R_g}{R} I_g' \dots\dots (5)$ 。可见 I' 与 I_g' 为线性关系，改装后的安培表也是均匀的。只要把电流表表盘上标 I_g' 的位置，重新标上 $I' (= \frac{R + R_g}{R} I_g')$ ，改装后的安培表的表盘就刻度好了。电流表的指针就直接指示出了安培表所测量的电流。

依全电路欧姆定律的知识，可以把电流表改装成为欧姆表(如图 3)。电流表与电源(电动势 ϵ 、内电阻 r)和电位器串联就组成了欧姆表。改装后的欧姆表“借用”电流计的指针直接指示外电路的电阻值。如果红、黑表笔直接接通，调整电位器阻值 R_0 使电流表指针为 I_g ，此时外电路电阻为 0；当外电路断开时，电阻为无限大电流表指针指 0，这就是欧姆表的两个端点值(对应电流表表盘上 I_g 与 0 的位置)。当被测电阻

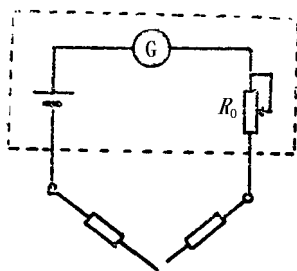


图 3

为 R_x 时,依闭合电路欧姆定律 $I_g' = \frac{\epsilon}{R_g + r + R_0 + R_x}$ 则 R_x

$= \frac{\epsilon}{I_g'} - (R_g + r + R_0) \dots \dots (6)$ 。式(6)反映出 R_x 的值与电流

表表盘刻度(I_g')一一对应,但并不是简单的线性关系,即欧姆表的刻度是不均匀的。实际上只要在 ϵ 、 r 、 R_0 取定值时,把电流表表盘上每个 I_g' 的值通过式(6)计算出对应的 R_x' ,并标在 I_g' 的位置上,就可用电流表的指针直接指示电阻了。

欧姆表的表盘刻度揭示出的被测电阻数,是与 ϵ 、 r 、 R_0 对应的,当 ϵ 、 r 、 R_0 之一发生变化时,表盘指示数就不准了。实际使用时, ϵ 、 r 会发生变化,尽管使用前可调节电位器使外电路电阻为零时,指针打满度(电流 I_g ,被测电阻为 0)但由于表盘刻度不能随调整后的 R_0' 做相应的改变,实际测量值还是有较大误差的,这是欧姆表只能粗测电阻的原因。

✨ 发光两极管在物理实验中的应用

苏州大学物理系陶洪老师分析介绍其两种应用：

① 楞次定律的直观演示

线路如图 1 所示。绕一个一万匝以上的螺线管(此螺线管还可做其它实验)。在螺线管的最外层用青壳纸裹紧,外贴白纸,并用红线条标明线圈的绕向,其引线与发光二极管按图所示所接。发光二极管处画上表示电流流向的箭头。条形磁铁可根据螺线管内径的大小,把几根磁铁用透明胶带纸扎在一起。

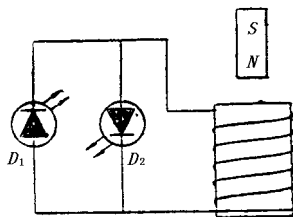


图 1

演示时,将条形磁铁 N 极插入螺线管,可见 D_2 发光(如果线圈匝数较多,磁铁磁性较强,可将磁铁慢慢插入螺线管,以延长 D_2 发光的时间。我们所用的螺线管匝数为 4 万匝,磁铁用三根条形磁铁扎在一起,二极管的发光时间在 1 秒左右)。根据螺线管中感应电流的流向,用右手螺线管定则判断

其产生的磁场方向得知,螺线管上端是 N 极,下端是 S 极。可见,这时螺线管中感应电流产生的磁场是阻碍磁铁运动,阻止螺线管内磁通量的增加的。同样,当磁铁向右抽出时, D_1 发光。用右手定则判断可知,这时螺线管上端是 S 极、下端是 N 极。通过对上述两个现象的分析,可容易地导出楞次定律。

② 调谐的演示

在高中课本所示的调谐实验中,若用发光二极管代替小电珠,既可提高灵敏度,又可降低对振荡器输出功率的要求。我们曾采用十分简单的振荡器——电感三点式和电容三点式振荡电路,配合发光二极管演示调谐实验,效果很好。电路如图 1 和图 2 所示。其中,可变电容器最好用空气单连电容器(如用双连电容器可把它们并联起来),其它电容器最好用圆片电容,以减小高频损耗;电感线圈可用直径为 1.8 毫米左右的漆包线密绕成直径为 3 厘米左右、匝数为 80 匝左右(L_1 、 L_2 的匝数相同)的空心单层螺线管,图 2—1 中,在 L_1 的 $\frac{2}{3}$ 处引出抽头;发光二极管用两只,且如图示那样焊接在一起(以提高发光效率)。

上述电路很容易起振。检验起振的方法可用把线圈插入螺线管内,看其小电珠(或发光二极管)是否发光,以判断是否起振及起振的强弱;也可用万用表交流电压档测电感两端高频电压有无,以判断是否起振(此方法对性能较差的万用表无效);还可万用表直流电压档测量三极管工作电压(应为: V_c 约 9V, V_b 约 3V, V_e 约 2.5V),以判断三极管是否正常工作。若正常工作,那么,只要各元件完好,接线正确,即说明起

振了。

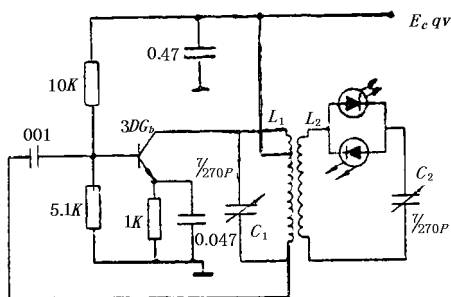


图 1

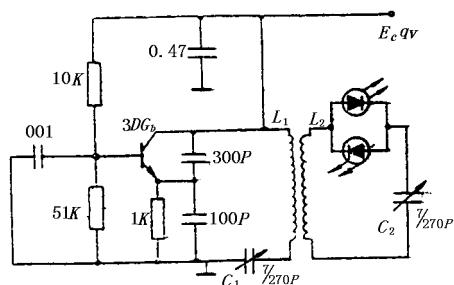


图 2

将振荡线路装在一小盒内(作为振荡器),和其它元件一起按课本图装在示教板上。为了使发光二极管发光亮度变化明显,可在二极管外面罩一个直径约 2 厘米的圆柱形(但没有上下底的)筒。筒高以在二极管发光时不遮住学生视线为限,筒内涂成黑色。为了使电容 C_1 、 C_2 能良好的跟踪,且谐振时船形旋钮指示的位置(方向)相同,可在 C_1 、 C_2 两端并联若干小定值电容(需经调试),以达到上述目的。