

第 106 學年度清華大學普通物理實驗(13)

預報 或 結報 課程編號：10620PHYS102011

實驗名稱：安培計、伏特計和歐姆計

系 級：材料 21 組 別：7

學 號：106031204-106031209 姓 名：彭慧文

組 員：林暄慈

實驗日期：107年3月14日 補作日期：___年___月___日

◎ 以下為助教記錄區

| 預報繳交日期 | 報告成績 | 助教簽名欄 |
|--------|----------------|-------|
| | A ⁺ | |
| 結報繳交日期 | | |
| | | |
| 報告缺失紀錄 | | |

一、結果與分析

(一) 內電阻量測

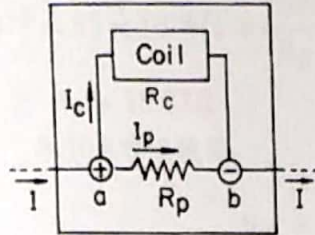
| | |
|----------------|-------|
| V | 77mV |
| I | 49μA |
| R _c | 1571Ω |

$$V = IR$$

$$77 \times 10^{-3} = 49 \times 10^{-6} \times R_c$$

$$R_c = 1571\Omega$$

(二) 安培計



1. 數據 1

$$V_{ab} = I_c R_c = I_p R_p$$

$$I = I_c + I_p$$

$$I = I_c \left(1 + \frac{R_c}{R_p}\right)$$

$$50\text{mA} = 50\mu\text{A} \left(1 + \frac{1571\Omega}{R_p}\right)$$

$$50 \times 10^{-3} = 50 \times 10^{-6} \left(1 + \frac{1571}{R_p}\right)$$

$$R_p = 1.57\Omega$$

取1Ω電阻使用

| | |
|-------------------|--------|
| V | 5V |
| R _c | 1571Ω |
| R _p | 1Ω |
| I _c | 22μA |
| I | 0.03A |
| I _{三用電表} | 29.7mA |
| I 誤差 | 1% |

$$V_{ab} = I_c R_c = I_p R_p$$

$$I = I_c + I_p$$

$$I = I_c \left(1 + \frac{R_c}{R_p}\right)$$

$$I = 22 \times 10^{-6} \left(1 + \frac{1571}{1}\right)$$

$$I = 0.03\text{A}$$

$$I \text{ 誤差} = \frac{|I - I_{\text{三用電表}}|}{I_{\text{三用電表}}} \times 100\%$$

$$I \text{ 誤差} = \frac{|0.03 - 29.7 \times 10^{-3}|}{29.7 \times 10^{-3}} \times 100\%$$

$$I \text{ 誤差} = 1\%$$

2. 數據 2

$$V_{ab} = I_C R_C = I_P R_P$$

$$I = I_C + I_P$$

$$I = I_C \left(1 + \frac{R_C}{R_P}\right)$$

$$5\text{mA} = 50\mu\text{A} \left(1 + \frac{1571\Omega}{R_P}\right)$$

$$5 \times 10^{-3} = 50 \times 10^{-6} \left(1 + \frac{1571}{R_P}\right)$$

$$R_P = 15.87\Omega$$

取10Ω電阻使用

| | |
|-------------------|-------------------------------|
| V | 1V |
| R_C | 1571Ω |
| R_P | 10Ω |
| I_C | 20μA |
| I | $3.16 \times 10^{-3}\text{A}$ |
| $I_{\text{三用電表}}$ | 3.2mA |
| I 誤差 | 1% |

$$V_{ab} = I_C R_C = I_P R_P$$

$$I = I_C + I_P$$

$$I = I_C \left(1 + \frac{R_C}{R_P}\right)$$

$$I = 20 \times 10^{-6} \left(1 + \frac{1571}{10}\right)$$

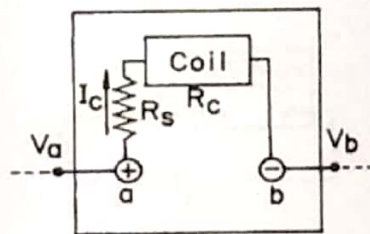
$$I = 3.16 \times 10^{-3}\text{A}$$

$$I \text{ 誤差} = \frac{|I - I_{\text{三用電表}}|}{I_{\text{三用電表}}} \times 100\%$$

$$I \text{ 誤差} = \frac{|3.16 \times 10^{-3} - 3.2 \times 10^{-3}|}{3.2 \times 10^{-3}} \times 100\%$$

$$I \text{ 誤差} = 1\%$$

(三) 伏特計



1. 數據 1

$$V_{ab} = I_C (R_C + R_S)$$

$$10\text{V} = 50\mu\text{A} (1571\Omega + R_S)$$

$$10 = 50 \times 10^{-6} (1571 + R_S)$$

$$R_S = 198429\Omega$$

取200kΩ電阻使用

| | |
|--------------------|-------|
| V _{電源供應器} | 5V |
| R _C | 1571Ω |
| R _S | 200kΩ |
| I _C | 26μA |
| V | 5.24V |
| V _{三用電表} | 5V |
| V 誤差 | 5% |

$$V_{ab} = I_C(R_C + R_S)$$

$$V = 26 \times 10^{-6}(1571 + 200 \times 10^3)$$

$$V = 5.24V$$

$$V \text{ 誤差} = \frac{|V - V_{\text{三用電表}}|}{V_{\text{三用電表}}} \times 100\%$$

$$V \text{ 誤差} = \frac{|5.24 - 5|}{5} \times 100\%$$

$$V \text{ 誤差} = 5\%$$

2. 數據 2

$$V_{ab} = I_C(R_C + R_S)$$

$$2.5V = 50\mu A(1571\Omega + R_S)$$

$$2.5 = 50 \times 10^{-6}(1571 + R_S)$$

$$R_S = 48429\Omega$$

取50kΩ電阻使用

| | |
|--------------------|-------|
| V _{電源供應器} | 2V |
| R _C | 1571Ω |
| R _S | 50kΩ |
| I _C | 40μA |
| V | 2.06V |
| V _{三用電表} | 2V |
| V 誤差 | 3% |

$$V_{ab} = I_C(R_C + R_S)$$

$$V = 40 \times 10^{-6}(1571 + 50 \times 10^3)$$

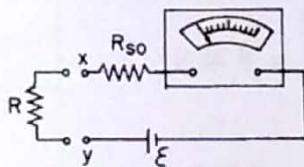
$$V = 2.06V$$

$$V \text{ 誤差} = \frac{|V - V_{\text{三用電表}}|}{V_{\text{三用電表}}} \times 100\%$$

$$V \text{ 誤差} = \frac{|2.06 - 2|}{2} \times 100\%$$

$$V \text{ 誤差} = 3\%$$

(四) 歐姆計



$$I_C (= 50\mu A) = \frac{\varepsilon}{R_C + R_{S0}}$$

$$50\mu A = \frac{2V}{1571\Omega + R_{S0}}$$

$$50 \times 10^{-6} = \frac{2}{1571 + R_{S0}}$$

$$R_{S0} = 38429\Omega$$

取39kΩ電阻使用

1. 數據 1

| | |
|-------------------|--------|
| V | 2V |
| R _C | 1571Ω |
| R _{SO} | 39kΩ |
| I _c | 50μA |
| I | 26μA |
| R | 37450Ω |
| R _{三用電表} | 39.2kΩ |
| R 誤差 | 4% |

$$I_c (= 50\mu A) = \frac{\varepsilon}{R_C + R_{SO}}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R_C + R_{SO} + R} = \frac{(R_C + R_{SO})I_c}{R_C + R_{SO} + R}$$

$$R = \frac{(R_C + R_{SO})(I_c - I)}{I}$$

$$R = \frac{(1571 + 39000)(50 \times 10^{-6} - 26 \times 10^{-6})}{26 \times 10^{-6}}$$

$$R = 37450\Omega$$

$$R \text{ 誤差} = \frac{|R - R_{\text{三用電表}}|}{R_{\text{三用電表}}} \times 100\%$$

$$R \text{ 誤差} = \frac{|37450 - 39200|}{39200} \times 100\%$$

$$R \text{ 誤差} = 4\%$$

2. 數據 2

| | |
|-------------------|--------|
| V | 2V |
| R _C | 1571Ω |
| R _{SO} | 39kΩ |
| I _c | 50μA |
| I | 49.5μA |
| R | 409Ω |
| R _{三用電表} | 390Ω |
| R 誤差 | 5% |

$$I_c (= 50\mu A) = \frac{\varepsilon}{R_C + R_{SO}}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R_C + R_{SO} + R} = \frac{(R_C + R_{SO})I_c}{R_C + R_{SO} + R}$$

$$R = \frac{(R_C + R_{SO})(I_c - I)}{I}$$

$$R = \frac{(1571 + 39000)(50 \times 10^{-6} - 49.5 \times 10^{-6})}{49.5 \times 10^{-6}}$$

$$R = 409\Omega$$

$$R \text{ 誤差} = \frac{|R - R_{\text{三用電表}}|}{R_{\text{三用電表}}} \times 100\%$$

$$R \text{ 誤差} = \frac{|409 - 390|}{390} \times 100\%$$

$$R \text{ 誤差} = 5\%$$

3. 數據 3

| | |
|-------------------|-----------------|
| V | 2V |
| R_C | 1571 Ω |
| R_{SO} | 39k Ω |
| I_C | 50 μ A |
| I | 5 μ A |
| R | 365139 Ω |
| $R_{\text{三用電表}}$ | 390k Ω |
| R 誤差 | 6% |

$$I_C (= 50\mu\text{A}) = \frac{\varepsilon}{R_C + R_{SO}}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R_C + R_{SO} + R} = \frac{(R_C + R_{SO})I_C}{R_C + R_{SO} + R}$$

$$R = \frac{(R_C + R_{SO})(I_C - I)}{I}$$

$$R = \frac{(1571 + 39000)(50 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-6})}{5 \times 10^{-6}}$$

$$R = 365139\Omega$$

$$R \text{ 誤差} = \frac{|R - R_{\text{三用電表}}|}{R_{\text{三用電表}}} \times 100\%$$

$$R \text{ 誤差} = \frac{|365139 - 390000|}{390000} \times 100\%$$

$$R \text{ 誤差} = 6\%$$

二、結果與討論

(一) 安培計

本實驗可能造成誤差的因素(1)沒有用三用電表測出所選用電阻的實際值

(2)檢流計一開始並未歸0，儀器本身存在誤差

(3)三用電表並非精準，有誤差產生

(4) 檢流計是藉由比例的關係推算，無法像三用電表有一個確定的數值

(5) 電阻值 R_s 的誤差，造成誤差傳遞，使誤差變大

但是三用電表有時也不太精確，是因為讀數位數的問題，我們只能求得一個最接近的值，而無法較精準的求出數字。

(二) 伏特計

本實驗可能造成誤差的因素(1)檢流計是藉由比例的關係推算，無法像三用電表有一個確定的數值

(2)沒有用三用電表測出所選用電阻的實際值

(3)三用電表並非精準，有誤差產生

(4) 直流電源供應器的電流解析度較粗糙

電流流經電線時會消耗部分電壓，因此測得的電壓理應小於或等於輸出電壓。我們用三用電表測得的電壓與輸出電壓相等，是合理的情況。

(三) 歐姆計

本實驗可能造成誤差的因素(1)電動勢

(2)沒有用三用電表測出所選用電阻的實際值

(3)三用電表並非精準，有誤差產生

在測量 390Ω 的時候，檢流計的指針非常的接近 50 的位置，後來經過確認後，了解檢流計並未爆表，只是數值非常的接近。而數值只要有些微的不同，就會造成誤差劇烈的改變。因此檢流計數據的選取也是影響誤差的重要因素。

三、問題與討論

1. 在圖 8 中，以自製電流計測量流過 $150\ \Omega$ 電阻器的電流。試比較該電表兩端的電壓降與電阻器兩端的電壓降。

答：自製安培計的電阻 = $\frac{R_c R_p}{R_c + R_p} = \frac{1571 \times 1}{1571 + 1} = 0.999 \approx 1\ \Omega$

測得的電流 $I = 0.0297\text{A}$

故該表兩端的電壓降 = $0.0297 \times 1 = 0.0297\text{V}$

電阻器兩端的電壓降 = $0.0297 \times 150 = 4.455\text{V}$

電表的電壓降約為電阻器電壓降的 $1/150$ 倍。

2. 在圖 9 中，以自製伏特計測量 $150\ \Omega$ 電阻器兩端的電壓。流過該表的電流之數量級為何？

答：自製伏特計中的電阻 $R = 50000 + 1571 = 51571\ \Omega$

$I = \frac{V}{R} = \frac{2}{51571} = 3.8781 \times 10^{-5}$ 數量級為 10^{-5}

3. 在圖 10 的裝置中，將檢流計與三個電阻器 R_1 、 R_2 及 R_3 連接而成多範圍安培計，使其滿刻度偏轉時的電流分別為 1 安培、0.1 安培及 0.01 安培，試求電阻器 R_1 、 R_2 及 R_3 的數值。

答： $(R_c + R_2 + R_3)I_c = R_1(1 - I_c)$

$(R_c + R_3)I_c = (R_1 + R_2)(0.1 - I_c)$

$R_c I_c = (R_1 + R_2 + R_3)(0.01 - I_c)$

$R_c = 1571\ \Omega \quad I_c = 50\ \mu\text{A}$

解得 $R_1 = 0.079(\Omega)$ $R_2 = 0.71(\Omega)$ $R_3 = 7.11(\Omega)$

4. 在圖 11 的裝置中，將檢流計裝接三個電阻器，而成多範圍伏特計。欲使滿刻度分別為 2.5 伏特、10 伏特及 50 伏特，試求電阻器 R_1 、 R_2 及 R_3 的數值。

答： $2.5 = I_c(R_c + R_1)$

$10 = I_c(R_c + R_1 + R_2)$

$50 = I_c(R_c + R_1 + R_2 + R_3)$

$R_c = 1622(\Omega) \quad I_c = 50(\mu\text{A})$

解得 $R_1 = 48429(\Omega)$ $R_2 = 150000(\Omega)$ $R_3 = 800000(\Omega)$

5. 按色環標示法(參考附錄 A)，本實驗所用的電阻誤差為何？以此估計本實驗的儀器誤差(估計時須依照實驗 1 所講的誤差傳遞計算)。

答：所用電阻誤差值為±5%

(1) 電流

$$I = I_c \left(1 + \frac{R_c}{R_p}\right)$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \left(\frac{\sigma_I}{I}\right)^2 &\cong \left(\frac{\sigma_{I_c}}{I_c}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R_c}}{R_c}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R_p}}{R_p}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_{I_c}}{I_c}\right)^2 + \left(\frac{0.02}{1.8}\right)^2 + (0.05)^2 \\ &= \left(\frac{\sigma_{I_c}}{I_c}\right)^2 + 2.6 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 50 \text{ mA 安培計實驗的誤差 } 1\% \text{ 代入 } \Rightarrow \frac{\sigma_I}{I} &= \sqrt{\left(\frac{\sigma_{I_c}}{I_c}\right)^2 + 2.6 \times 10^{-3}} = 1\% \Rightarrow \frac{\sigma_{I_c}}{I_c} \\ &= 5.0\% \end{aligned}$$

表示檢流計的讀數有±5.0%的誤差。

此規格遠不及檢流計應有的準確度，可能是因為樣本數不夠多(未嘗試多個相同規格的電阻器)，導致估計出現落差。

(2) 電壓

$$V = I_c(R_c + R_s)$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\sigma_V}{V}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_{I_c}}{I_c}\right)^2 + \frac{(\sigma_{R_c})^2}{(R_c + R_s)^2} + \frac{(\sigma_{R_s})^2}{(R_c + R_s)^2} \cong \left(\frac{\sigma_{I_c}}{I_c}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{R_s}}{R_s}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_{I_c}}{I_c}\right)^2 + (0.05)^2$$

$$2.5 \text{ V 伏特計實驗的誤差 } 3.0\% \text{ 代入 } \Rightarrow \frac{\sigma_V}{V} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{I_c}}{I_c}\right)^2 + 2.5 \times 10^{-3}} = 3.0\%$$

$$\Rightarrow 6.0\%$$

表示檢流計的讀數有±6.0%的誤差

結果誤差極大可能是樣本數不夠多(未嘗試多個相同規格的電阻器)，導致估計出現落差。

(3) 電阻

$$R = \frac{\varepsilon}{I} - (R_c + R_{s0}) = (R_c + R_{s0}) \left(\frac{I_c}{I} - 1 \right)$$

當 I 接近 I_c 時

⇒ 右邊的括號接近 0， R_c 與 R_{s0} 的誤差影響不大，所以 I 的誤差貢獻最大

當 I 遠小於 I_c 時 ⇒ 右邊括號的 -1 可以忽略， $\left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2$

$$\cong \left(\frac{\sigma_{I_c}}{I_c}\right)^2 + \frac{(\sigma_{R_c})^2}{R_c + R_s} + \frac{(\sigma_{R_s})^2}{R_c + R_s}$$

四、心得

經過一個寒假沒有做實驗，我一直很擔心第一個實驗會做很久。但還好在和實驗搭檔的合作下，我們大約三點半就做完了！我覺得這個實驗最困難的地方應該就是接電路，接到後來其實已經搞不太清楚自己在做什麼。希望下次的電流天平也可以這麼順利，不要留下來過夜(但聽說會從七點半起跳QQ)

五、參考資料

清大普物實驗室：安培計、伏特計和歐姆計實驗講義