

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

探究精神獎

030203

不酚青紅皂白

學校名稱：興國學校財團法人臺南市興國高級中學(國
中部)

作者： 國三 陳秉渝 國三 鄭浩哲 國三 曹鈞盛	指導老師： 黃淑芬
---	------------------

關鍵詞：酚酞、溶解度、強鹼褪色動力學

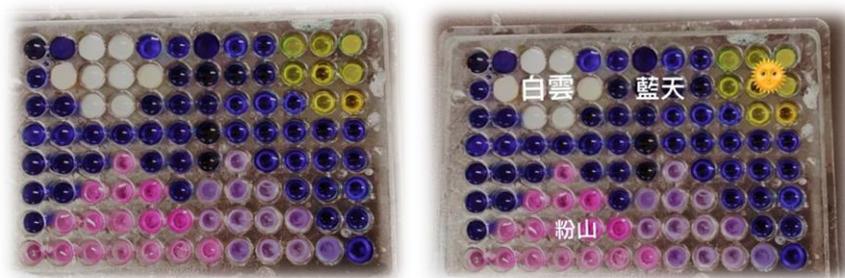
不酚青紅皂白

摘要

自配1%酚酞酒精溶液，在進行微型酸鹼顏色判斷時，會因為酸鹼溶液與指示劑之間比例問題，造成酚酞溶解度下降而出現白色混濁，造成顏色誤判；(1%酚酞酒精溶液/酸性水溶液)比值在pH=1、2 之HCl水溶液產生白色的範圍依次為1.1~10.3、1.3~10.0；pH=1、2 之H₂SO₄水溶液產生白色的範圍依次為1.4~15.0、1.8~10.0。0.1%、0.5%、1%酚酞在pH=14之NaOH水溶液，均可觀察到粉紅色褪色為無色； pH=15則因出現白色混濁，無法清楚判斷變色；0.5%酚酞在pH=-1的HCl、H₂SO₄可觀察淡淡橙色。0.07~0.6M的NaOH在0.01M酚酞中的褪色動力學，褪色反應隨著NaOH濃度增加而變快，可以得到反應速率常數 $k=0.032\text{M}^{-1}\text{s}^{-1}$ 。而在NaOH溶液中加入酒精，酒精含量越高的情形下，會使得褪色的反應速率變慢；若改加入丙酮，反應速率差異不大。

壹、研究動機

酸鹼單元，老師準備了pH=1與pH=13的水溶液，讓我們利用稀釋法得到不同pH值的水溶液，再利用不同指示劑，如廣用、BTB與酚酞，讓我們在小小的多孔盤上先進行指示劑在不同pH值的顏色變化紀錄，之後再如同[LIS實驗室：酸鹼作畫－重現百年經典瑪麗蓮夢露]影片中，在小孔盤上進行酸鹼作畫。然而卻發現，酚酞滴在酸性溶液時，出現了白色混濁或者橘色，在強鹼時又好像會粉紅有混濁或者也會變透明，似乎變色情形跟教科書上不符合。因此我們想要更仔細去探討酚酞在不同條件的水溶液中之變化，解決出現不當的顏色變化或者殘留干擾的情形。



怎麼會有
白色呢??



貳、研究目的

我們先由原本觀察到的白色混濁下手，找到酚酞作為指示劑不會生成白色干擾的條件；進一步的去探討酚酞在強酸或強鹼溶液中的顏色變化。最後運用PASCO無線光度計或Arduino簡易光度計來探討酚酞在強鹼溶液下的褪色動力學。

- 一、 觀察自配不同濃度酚酞在不同pH溶液中的溶解度情形。找尋自配酚酞指示劑適宜濃度與在酸鹼溶液中的相對比例。
- 二、 探討不同濃度酚酞在不同pH的強鹼溶液中的變色情形。
- 三、 探討不同濃度酚酞在不同pH不同種類的強酸溶液中的變色情形。
- 四、 探討酚酞在NaOH溶液中的褪色動力學，變因有：NaOH濃度、不同種類有機溶劑酒精與丙酮。

參、研究設備及器材

一、研究設備

(一) 偵測設備	1. PASCO PS-3215無線光度/濁度計 SPARKvue數據擷取軟體 	2. Arduino光敏電阻光度計 
----------	---	--

二、研究器材

(一) 反應用	電子天平、安全吸球與吸量管、容量瓶、玻棒、燒杯、加熱攪拌器、比色皿、滴定管、多孔盤
(二) 動力學	iPad錄影、SPARKVue軟體

三、藥品：

名稱	化學式	名稱	化學式	名稱	化學式	名稱	化學式
酚酞	C ₂₀ H ₁₄ O ₄	氫氧化鈉	NaOH	鹽酸	HCl	硫酸	H ₂ SO ₄
酒精	C ₂ H ₅ OH	氯化鈉	NaCl	丙酮	CH ₃ COCH ₃	KHP	C ₈ H ₅ O ₄ K

肆、研究過程或方法

一、文獻回顧

(一) 酚酞

在理化課本上，對於酚酞的說明：酚酞是一種酸鹼指示劑，其變色範圍為 8~10，也就是在 pH<8 時呈現無色，pH>10 時呈現粉紅色，只能用來檢驗鹼性溶液。

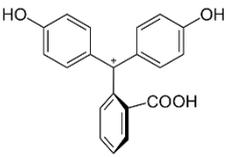
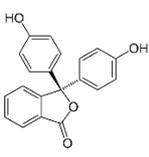
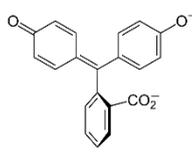
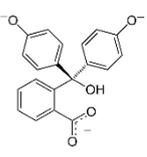
指示劑名稱	低 pH 值顏色	變色範圍 (pH)	高 pH 值顏色
酚酞指示劑	無色	8 ~ 10	粉紅



圖片來源：康軒二下 PPT 經典款

經查相關資料，酚酞(H_2In ，無色)本身是一種弱酸的酸鹼指示劑；在鹼中，酚酞失去兩個 H^+ ，形成 In^{2-} (粉紅色)；在大量鹼中， OH^- 接在三個苯環間的 C，形成 $In(OH)^{3-}$ (無色)。在強酸中，酚酞變成(H_3In^+ ，橙色)。

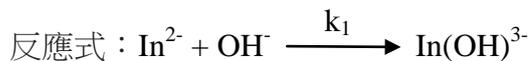
酚酞的變色過程可細分為極酸區、弱酸中性到弱鹼區、鹼性區及極鹼區四種：

	極酸區	弱酸中性到弱鹼區	鹼性區	極鹼區
形式	H_3In^+	H_2In	In^{2-}	$In(OH)^{3-}$
結構				
pH值	<-1 (in H_2SO_4)	0-8.3	8.3-10.0	>10
顏色	Orange (橙色)	Colorless (無色)	Pink to fuchsia (粉紅至品紅)	Colorless (無色)
			 	

資料來源：引自維基百科Phenolphthalein

色碼來源：引自Color Meanings 色票網站

酚酞在強鹼下，可以由 In^{2-} 變成 $In(OH)^{3-}$ ，可由紅色褪色成透明無色來探討反應速率。



$$\text{反應速率定律式：} R = -\frac{d[In^{2-}]}{dt} = k_1[In^{2-}]^m[OH^-]^n$$

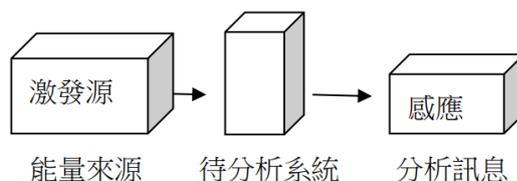
酚酞為白色固體，在水中的溶解度僅有400mg/L，可溶於乙醇與乙醚，市售的酚酞指

示劑溶液並不會告知為純酒精溶液或者酒精與水的混合溶液，也不一定標示濃度。網路搜尋配製酚酞指示劑，可以使用酒精，濃度為0.1~1%。

(二) 指示劑變色觀測_光度計

在酸鹼單元，可以利用指示劑的變色來辨別溶液的酸鹼性，當只是判斷酸鹼時，顏色變化明顯的，例如無→紅，或者橙→藍等，很容易知道溶液是鹼性；但像是我們在做酸鹼滴定時的終點判斷，以pH=13的NaOH滴定pH=1的HCl溶液，滴加3~5滴酚酞到HCl中，課本說：當溶液由透明無色變成紅色，且維持10秒不消失即為滴定終點！實驗時大家一直互問：這是粉紅色了嗎？這算終點了嗎？這種要我們使用肉眼來觀測，因每一個人辨色力不同，判斷的時間點不同，易造成人為的誤差。因此若能藉助更客觀的電子儀器，如光度計來觀測，便可以減少誤差，提高測量結果的準確度與精密度。

一般測光度裝置包含三個部分：激發源、待分析系統與感應元部分，示意圖如下：



所使用的原理是比爾-朗伯定律

(Beer-Lambert Law)與濃度換算如下公式，

相關參數意義如右：

$$A = -\log_{10} \frac{I_t}{I_0} = \log_{10} \frac{1}{T} = K \cdot l \cdot c$$

A：吸光度
I₀：入射光強度；無樣品時空白值
I_t：透射光強度；有樣品時光強度
T：光穿透率
K：係數，吸收係數
l：光徑長，單位為cm
c：吸光物質的濃度，單位mol/L

一般市售的光度計，因功用不同價錢差異頗大，1萬~10萬均有。近年來由於資訊免費開發軟、硬體的發展迅速，Arduino 開發硬體結合了相對應的感應器，可以讓自然領域融入更多面向的學習。以下為幾屆科展參賽作品利用自製比色計或光度計來解決因肉眼判斷造成誤差所提出的設計：

1. 「大家一起來比色—比色法實驗器材的創新及改良」_第四十三屆全國科展作品

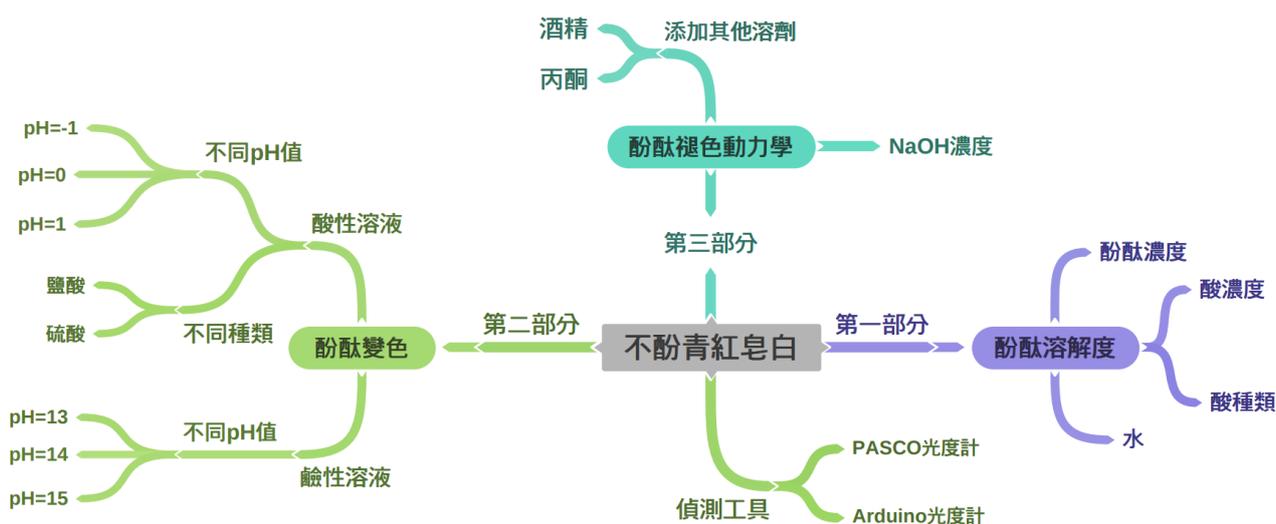
以簡易自製器材、光敏電阻偵測，測定化學反應平衡常數。但所使用的光源開啟過久，燈管發熱，會使得試管與溶液溫度上升，管壁出現有液滴凝結，數據產生誤差。

2. 「自製濃度觀測工具及其在高中化學實驗的應用」_第四十六屆全國科展作品

利用光敏電阻，連結數位電表與電源，自製觀察溶液濃度的裝置，應用在許多高中化學實驗上，有化學反應速率、酸鹼滴定、氧化還原以及平衡常數的測定實驗。但須使用較大型的電源供應器與暗箱。

因此我們也使用Arduino簡易光度計來作為本次研究的光度分析工具。

二、實驗思考架構圖



三、基本操作

所有實驗藥品皆由精密天平秤量質量，蒸餾水溶解後，再使用量瓶配製體積莫耳濃度或燒杯與天平配製重量百分濃度。或經由稀釋法配製所需的濃度。NaOH會以KHP進行濃度標定。

(一) 配製0.1%、0.5%、1% 酚酞酒精溶液

分別取酚酞粉末0.1g、0.5g、1g置於500 mL 燒杯中，再分別加入99.9g、99.5g、99.0g酒精，室溫下攪拌混合均勻即可得到0.1%、0.5%、1% 酚酞酒精溶液。

(二) 配製不同 pH 值之氫氧化鈉溶液

分別先用小燒杯秤取0.4g、4g、40g 氫氧化鈉顆粒，以少許水溶解後，置於100 mL 的容量瓶中，再加蒸餾水至刻度線即可得 pH=13、pH=14、pH=15的氫氧化鈉溶液。

(三) 配製不同 pH 值之鹽酸溶液

取0.42mL、4.16mL、41.60mL 12M 濃鹽酸溶液，置於事先有少許蒸餾水之50mL 量瓶中，再加蒸餾水到50mL 刻度線，即可得 pH=1、pH=0、pH=-1鹽酸溶液。

(四) 配製不同濃度之硫酸溶液

取0.14mL、1.38mL、13.8mL 18M 濃硫酸溶液，置於事先有少許蒸餾水之50mL量瓶中，再加蒸餾水到50mL 刻度線，即可得0.05M、0.50M、5.00M 硫酸溶液。

(五) 顏色吸光值測定

我們使用PASCO無線光度計測量吸光值或Arduino搭配光敏電阻測量電壓值。

取2mL待測溶液於比色皿中，用PASCO光度計先測空白光度值；Arduino光度計則使用螺絲起子調整電壓值至約3.5V；取出後再滴入酚酞指示劑，稍搖晃1秒後，經由，達平衡後取出比色皿，再滴入一次酚酞溶液，測得第二次平衡。除此之外，第三個比色皿在同樣條件下，以iPad錄影，截圖記錄顏色的變化。

四、實驗項目

第一部分：酚酞溶解度

實驗一：觀察酚酞在pH=1~13的顏色變化

(一) 實驗步驟：

1. 按照基本操作的流程，以pH=1與pH=13的溶液稀釋得到pH=2~6，pH=12~8的溶液。
2. 滴加不同pH值的溶液(約0.5mL)到多孔盤中。
3. 分別滴入廣用、酚酞與BTB指示劑1-2滴。記錄顏色變化。

實驗二：比較不同條件下酚酞在酸性水溶液的溶解度情形

(一) 實驗步驟：

1. 慢慢滴加 A.『1%』的酚酞指示劑於裝有 B.『0.5 mL』、C.『pH=1』之 D.『鹽酸溶液』之試管中。記錄顏色變化情形。
2. 上述步驟A(酚酞濃度)，改用0.1%、0.5%，重複上述步驟。
3. 上述步驟B(酸溶液的體積)，改用1mL、1.5mL、2mL，重複上述步驟。
4. 上述步驟C(酸溶液的濃度)，改用pH=2、pH=0，pH=-1，重複上述步驟。
5. 上述步驟D(酸的種類)，改用硫酸，重複上述步驟。

實驗三：比較酚酞在不同酒精與水比例下的溶解度情形

(一) 實驗步驟：

1. 取固定0.1g 的酚酞、分別以下列不同酒精與水的質量，配製1%的酚酞溶液。

質量(g)	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
酚酞	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
酒精	4.2	4.5	4.6	4.7	4.8
水	5.7	5.4	5.3	5.3	5.1

2. 觀察1%酚酞溶液的溶解情形。

第二部分：酚酞顏色

為了更精確定義酚酞的顏色，我們利用 PASCO 無線光度計來量測酚酞的顏色，若溶液有出現白色混濁，則利用無線濁度計測量其濁度值。

實驗四：比較酚酞在強鹼性溶液中的顏色變化

(一) 實驗步驟：

1. 參照基本操作(二)，配製 pH=13、14、15的 NaOH 水溶液。
2. 操作變因：酚酞(0.1%、0.5%、1%)與 NaOH pH 值(13、14、15)。
3. 參照基本操作(五)，以 PASCO 光度計記錄溶液的吸光值。

實驗五：比較酚酞在強酸性溶液中的顏色變化

(一) 實驗步驟：

1. 參照基本操作(三)、(四)，配製 pH=-1、0、1的 HCl 與 H₂SO₄水溶液。
2. 操作變因：酚酞(0.1%、0.5%、1%)與 HCl 與 H₂SO₄水溶液的 pH 值 (-1、0、1)。
3. 參照基本操作(五)，以 PASCO 光度計記錄溶液的吸光值。

第三部分：酚酞褪色動力學

實驗六：比較不同濃度 NaOH 對酚酞褪色的影響

(一) 實驗步驟：

1. 參照基本操作(一)，配製0.01M 的酚酞酒精溶液，約為0.4%。
2. 參照基本操作(二)，配製0.6M 的 NaOH 水溶液。以同濃度0.6M 的食鹽水稀釋配製得到0.3M、0.15M 與0.07M 的 NaOH 溶液。經由計算與使用 pH meter 量測，pH 分別約為13.78、13.48、13.18與12.85。

3. 參照基本操作(五)，取0.02mL 的酚酞溶液加到裝有2 mL NaOH 的比色皿中，以 PASCO 無線光度計與 Arduino 光度計測量溶液的吸光值或電壓值。

實驗七：比較同濃度 NaOH 不同酒精含量對酚酞褪色的影響

(一) 實驗步驟：

1. 參照基本操作(一)，配製0.01M 的酚酞酒精溶液，約為0.4%。
2. 依照下表比例配製不同酒精含量的 NaOH 溶液。

	0.6M NaOH (mL)	酒精(mL)	0.6M NaCl (mL)	酒精含量(%)
0.3 M	12.5	2.5	10	10
0.3 M	12.5	5	7.5	20
0.3 M	12.5	7.5	5	30
0.3 M	12.5	10	2.5	40

3. 參照實驗六步驟，測量溶液的吸光值或電壓值。

實驗八：比較同濃度 NaOH 添加不同丙酮含量對酚酞褪色的影響

(一) 實驗步驟：

1. 依照下表比例配製不同丙酮含量的 NaOH 溶液。

	0.6M NaOH (mL)	丙酮 (mL)	0.6M NaCl (mL)	丙酮含量(%)
0.3 M	12.5	2.5	10	10
0.3 M	12.5	5	7.5	20
0.3 M	12.5	7.5	5	30

2. 參照實驗六步驟，測量溶液的吸光值或電壓值。

伍、研究結果

第一部分：酚酞溶解度

實驗一~三：不同條件下對酚酞溶解度的影響

我們先重複一次課堂上的實驗：以pH=1以及pH=13的溶液，利用稀釋法，分別得到pH=2、3、4、5、6與pH=12、11、10、9、8的溶液，一一滴2-3滴到多孔盤中，再分別滴入1滴三種不同指示劑，廣用、酚酞與BTB。結果如圖(一)。



圖(一) 以酚酞點滴瓶滴入裝有不同pH值溶液的小孔盤中之顏色

我們觀察到，在圖左pH=1、2、3左右，都有些許微白出現，而在圖右酸性溶液pH=1~6都出現白色混濁，而在高pH值雖然有變粉紅色，但也有觀察到出現白色混濁(pH=11)。

後來得知，滴瓶裡的酚酞非市售的酚酞溶液，而是學長自行用粉末配製的1%酚酞酒精溶液。但這白色判讀會讓我們以為酚酞在酸中是白色。因此我們配製了其他濃度的酚酞酒精溶液，並滴到更酸的HCl溶液中。結果如下圖(二)所示。

	0.1%	0.5%	1%
pH=0			
pH=1			

圖(二) 不同濃度的酚酞滴入不同pH HCl的顏色變化

由圖(二)可知，在pH=1 HCl溶液中，滴入0.1%酚酞，呈現透明無色；但滴入0.5%、1%酚酞，呈現白色混濁，其中1%滴入後的白色更明顯。滴入濃度更濃pH=0的HCl，得到相同的結果。而為了證明此白色固體仍為酚酞的粉末，我們將白色混濁溶液蒸乾，以較多量的酒精再溶解，並滴入氫氧化鈉溶液，發現會呈現粉紅色。所以白色析出物為酚酞粉末。

由於課堂上是進行微型的酸鹼指示劑反應，所以原本取用的酸鹼溶液量都很少，因此滴加的酚酞溶液相對於整體溶液而言，比例是偏高的，也導致本身難溶於水的酚酞析出。因此我們想更仔細探討不同濃度酚酞與酸鹼溶液的比例問題，進行了實驗二，不同濃度酚酞在不同pH不同酸種類下，其兩者隨著體積比例，酚酞溶解度情形整理於(表一)。

隨著1%酚酞的量增加，水的相對比例較低的情況下，酚酞在酸中可以顯現出透明而沒有白色沉澱干擾。

會有白色沉澱的範圍：

(1) HCl/1%酚酞量的比值在pH=-1、pH=0、pH=1時分別大約是2.2~13.3、1.6~20、1.1~13.3。

(2) H₂SO₄/1%酚酞量的比值在pH=-1、pH=0、pH=1時分別大約是1.6~20、1.5~20、1.4~15。

使用H₂SO₄溶液時，與1%酚酞的比例很容易造成白色沉澱，如在pH=-1，必須小於1.5或者大於20，才可能可以看到橙色而沒有白色沉澱干擾。整體會變白色的比例範圍示意圖，整理於圖(三)。

(表一) 不同條件下，酚酞在酸性溶液中的溶解情形

酚酞1% HCl pH=-1					酚酞1% HCl pH=0				酚酞1% HCl pH=1			
V(mL) 酚酞(滴)	2	1.5	1	0.5	2	1.5	1	0.5	2	1.5	1	0.5
5	白	白	白	透明	白	白	白	白	白	白	白	白
10	白	白	透明	透明	白	白	白	微白	白	白	白	透明
15	白	透明	透明	透明	白	白	微白	透明	白	白	透明	透明
20	白	透明	透明	透明	微白	透明	透明	透明	白	透明	透明	透明
25	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明
30	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明

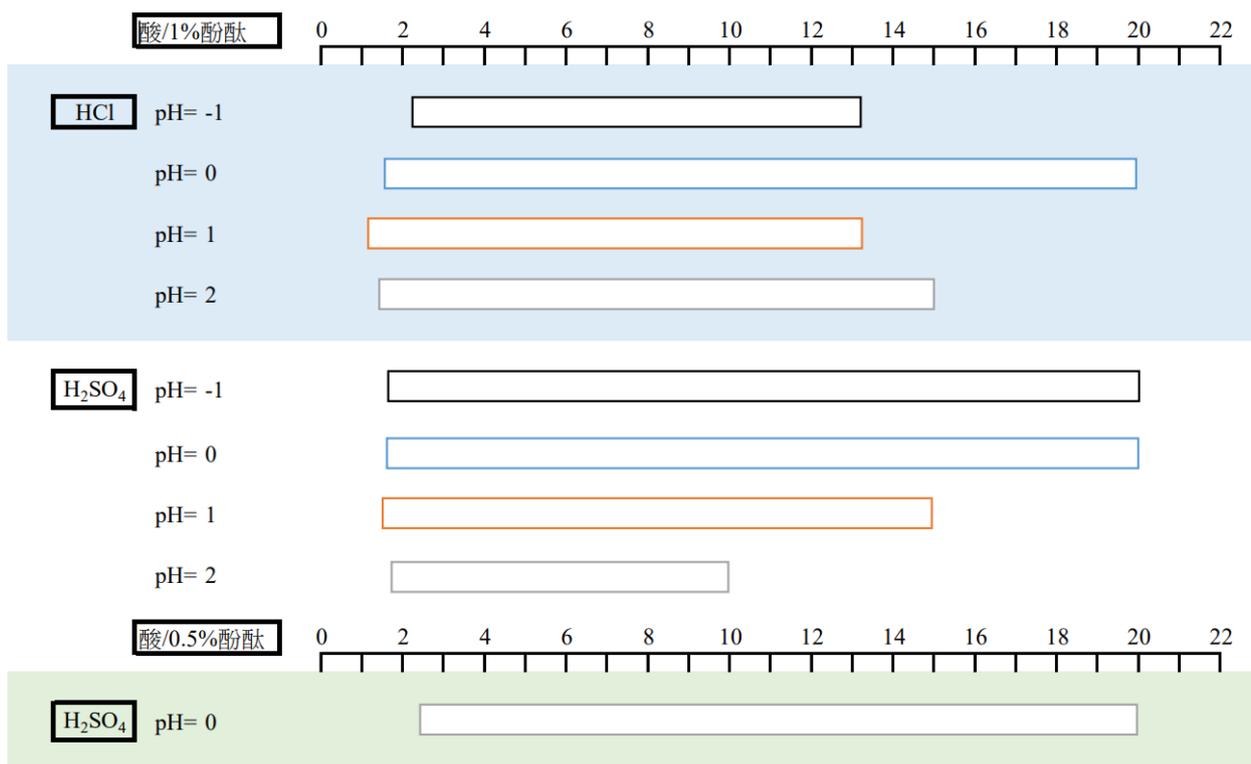
酚酞1% H ₂ SO ₄ pH=-1					酚酞1% H ₂ SO ₄ pH=0				酚酞1% H ₂ SO ₄ pH=1			
V(mL) 酚酞(滴)	2	1.5	1	0.5	2	1.5	1	0.5	2	1.5	1	0.5
5	白	白	白	白	白	白	白	白	白	白	白	白
10	白	白	白	透明	白	白	白	透明	白	白	白	透明
15	白	白	透明	透明	白	白	透明	透明	白	白	透明	透明
20	白	白	透明	透明	白	透明	透明	透明	白	透明	透明	透明
25	白	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明
30	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明

酚酞1% HCl pH=2					酚酞1% H ₂ SO ₄ pH=2				酚酞0.5% H ₂ SO ₄ pH=0			
V(mL) 酚酞(滴)	2	1.5	1	0.5	2	1.5	1	0.5	2	1.5	1	0.5
5	白	白	白	白	白	白	白	白	白	白	白	透明
10	白	白	微白	透明	白	白	白	透明	白	透明	透明	透明
15	白	白	透明	透明	白	白	透明	透明	白	透明	透明	透明
20	白	微白	透明	透明	白	透明	透明	透明	白	透明	透明	透明
25	微白	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明
30	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明

(表二) 不同條件下，酚酞在酸性溶液中的會產生白色沉澱的範圍

酚酞1% HCl pH=-1					酚酞1% HCl pH=0				酚酞1% HCl pH=1			
V(mL) 酚酞(滴)	2	1.5	1	0.5	2	1.5	1	0.5	2	1.5	1	0.5
變白	3	3	2	1	2	2	2	1	3	2	2	1
變回透明	19	15	10	5	23	22	13	11	23	20	14	9
變白範圍	3~18	3~14	2~9	1~4	2~22	2~21	2~12	1~10	3~22	2~19	2~13	1~8

酚酞1% H ₂ SO ₄ pH=-1					酚酞1% H ₂ SO ₄ pH=0				酚酞1% H ₂ SO ₄ pH=1			
V(mL) 酚酞(滴)	2	1.5	1	0.5	2	1.5	1	0.5	2	1.5	1	0.5
變白	1	1	1	1	2	2	2	1	3	2	2	1
變回透明	18	14	10	7	22	18	13	6	23	19	14	6
變白範圍	1~17	1~13	1~9	1~6	2~21	2~17	2~12	1~5	2~22	3~18	2~13	1~5



圖(三) 不同酸/不同濃度酚酞 的比例會造成白色沉澱的範圍示意圖

我們一開始在網路上搜尋配製酚酞溶液，查詢到建議配製1%的酚酞指示劑，均是建議以100%酒精配製，但因為觀察到滴到酸性溶液中變白，所以也試想可否用部分水來配製。在實驗三中，調整酒精與水的比例來配製1%的酚酞溶液，結果整理於下(表三)。

(表三)不同酒精、水比例配製1%的酚酞溶液溶解情形

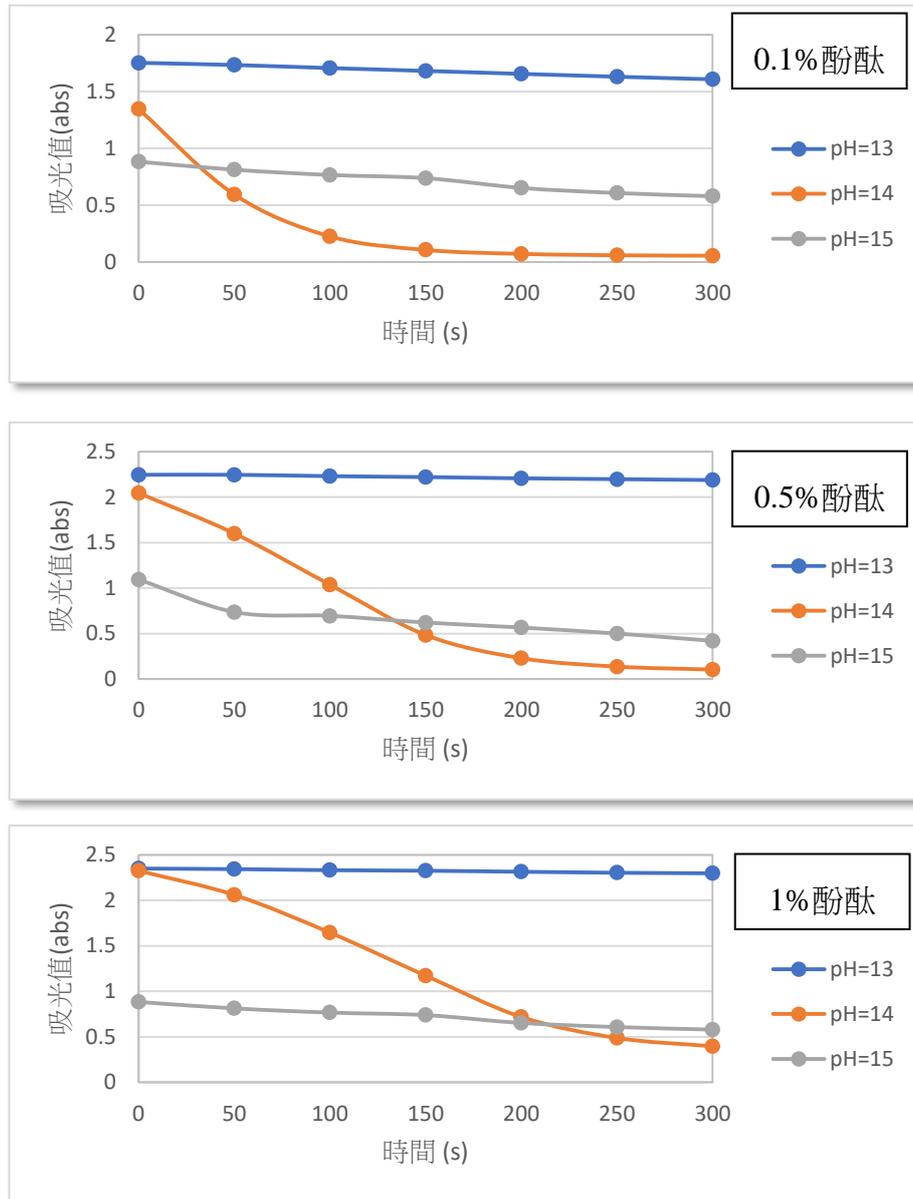
質量(g)	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
酚酞	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
酒精	4.2	4.5	4.6	4.7	4.8
水	5.7	5.4	5.3	5.2	5.1
結果說明	無法全溶	無法全溶	全溶	全溶	全溶
酒精/水	0.46	0.83	0.87	0.90	0.94

對酚酞而言，均為1%的情形下，但酒精/水高於0.87的情形下，酚酞可以全溶。因此若要自配高濃度酚酞指示劑溶液，可以100%酒精溶液或者加入約占23%的水來配製。

第二部分：酚酞顏色

實驗四：比較酚酞在強鹼性溶液中的顏色變化

首先經由多個波長下看吸光值的變化，我們選擇以綠光(550nm)的吸光值做比較。不同濃度酚酞在不同鹼性溶液中的吸光值，整理於圖(四)。錄影截圖整理於圖(五)。



圖(四) 不同濃度酚酞+不同pH NaOH的吸光值

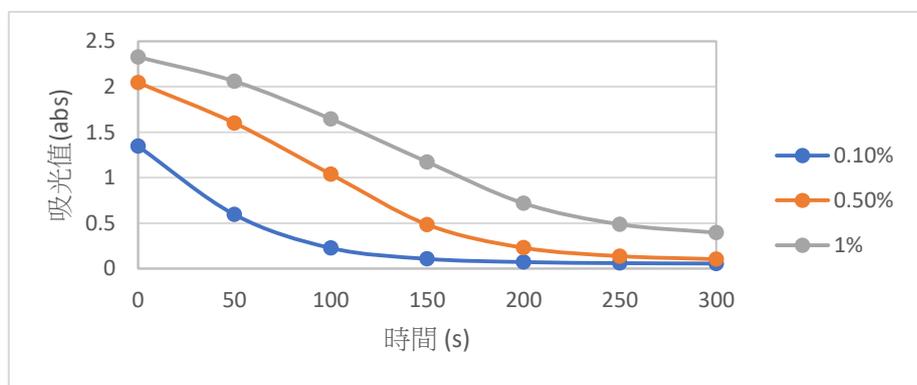
當濃度0.1%的酚酞滴入pH=13~15的NaOH中，顏色都會呈現紅色，但僅有pH=14紅色會隨時間變淡，且隨著滴入的酚酞濃度提升到0.5%、1%，變淡的時間會拉長；而pH=13之NaOH液，紅色幾乎都不會消退，pH=15則因鹼性濃度太濃，出現了白色混濁而干擾了吸光值的測定。



圖(五)

不同濃度酚酞與不同pH NaOH顏色變化

在pH=15之NaOH液中，加入不同濃度的酚酞，0.1%在第0秒時呈現淡粉紅。而0.5%與1%則呈現粉紅色。過了60秒0.5%酚酞出現白色混濁，而1%酚酞也有微微的白色混濁出現。由於僅有pH=14的紅色有明顯變化，擷取pH=14 NaOH的結果作比較，如圖(六)所示。



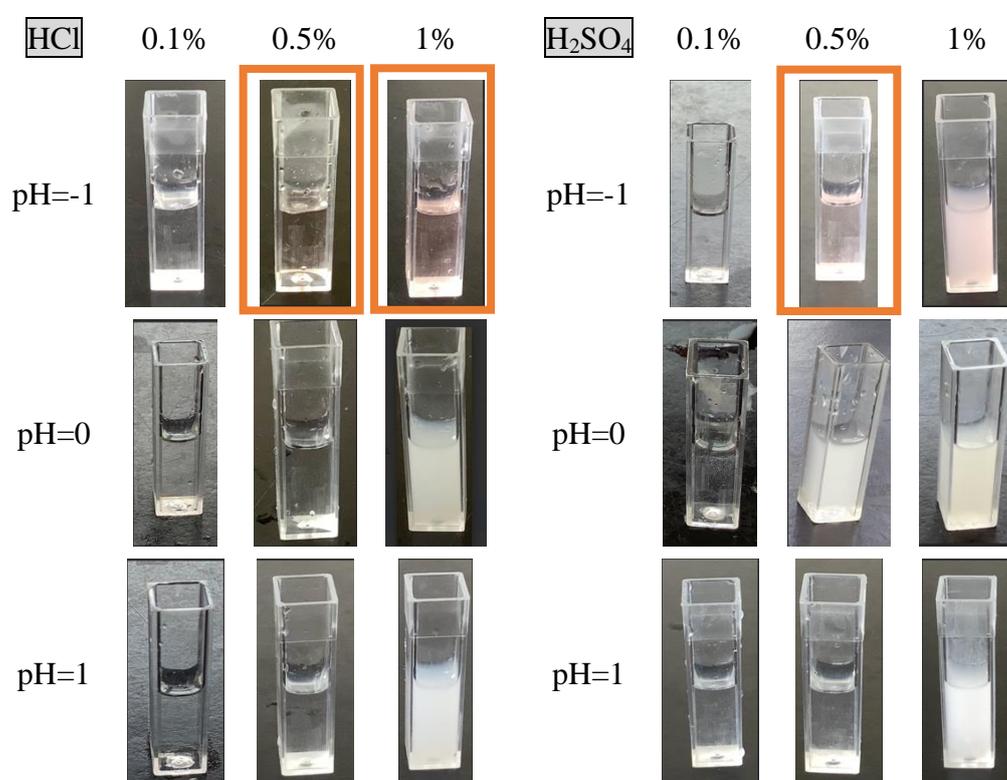
圖(六) 不同濃度酚酞+ pH=14 NaOH的吸光值

在pH=14之NaOH液中，加入不同濃度的酚酞，0.1%在第0秒時呈現粉紅。而0.5%與1%則呈現紅色。200秒內，0.1%酚酞下降的百分比最大，1%酚酞下降的百分比最少，且在300秒時，僅以0.1%酚酞吸光值最低，趨近於透明無色。而1%的酚酞明顯還有淡淡的粉紅色。

實驗五：比較酚酞在強酸性溶液中的顏色變化

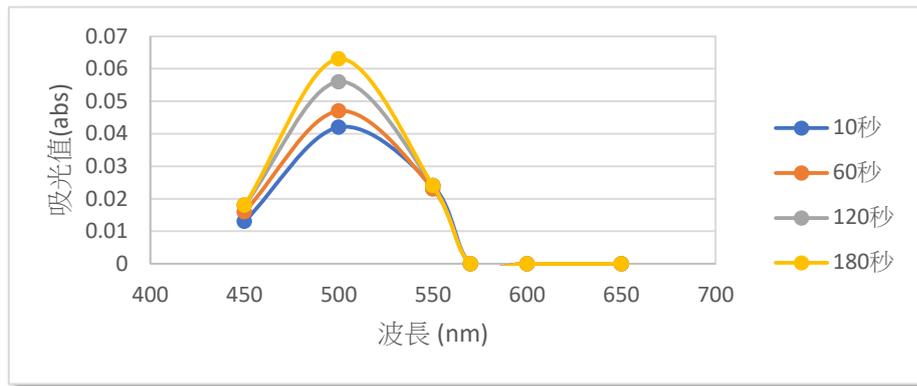
不同濃度酚酞與不同pH強酸反應，首先經由錄影觀察，結果整理於圖(七)。

在酚酞0.1%的情形下，不管是pH值或者HCl、H₂SO₄都是透明；隨著提高酚酞的濃度，pH=0或1的開始出現白色沉澱；1%酚酞，白色沉澱最明顯，這與實驗一、二的結果是相符合的。



圖(七) 不同濃度酚酞+不同pH強酸的顏色變化

在強酸中看到酚酞呈現淡橙色，僅在圖(七)中橘色框框起來的條件：0.5%酚酞、pH=-1的HCl或H₂SO₄，因此我們進行吸光值的測定。首先先進行多個波長下的光譜圖。



圖(八) 0.5%酚酞在pH=-1 HCl之吸收光譜圖

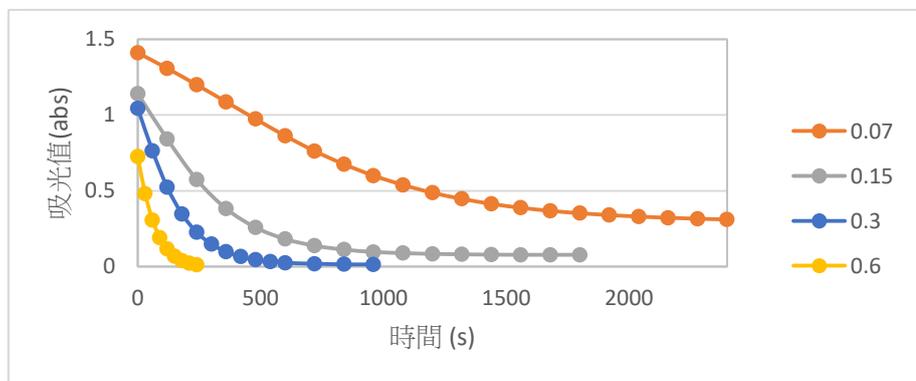
在藍光(500nm)才有較高的吸光值，且吸光值隨著時間變化有越來越大的趨勢，但仍不高(僅0.063)。很明顯的，酸中的顏色是比較偏橙色的。若想要看到顏色較深的橙色，要使用濃度較濃的酚酞，則必須利用實驗二所得的酚酞/酸溶液比例來調整，才可以避免產生白色沉澱的情形。

第三部分：酚酞褪色動力學

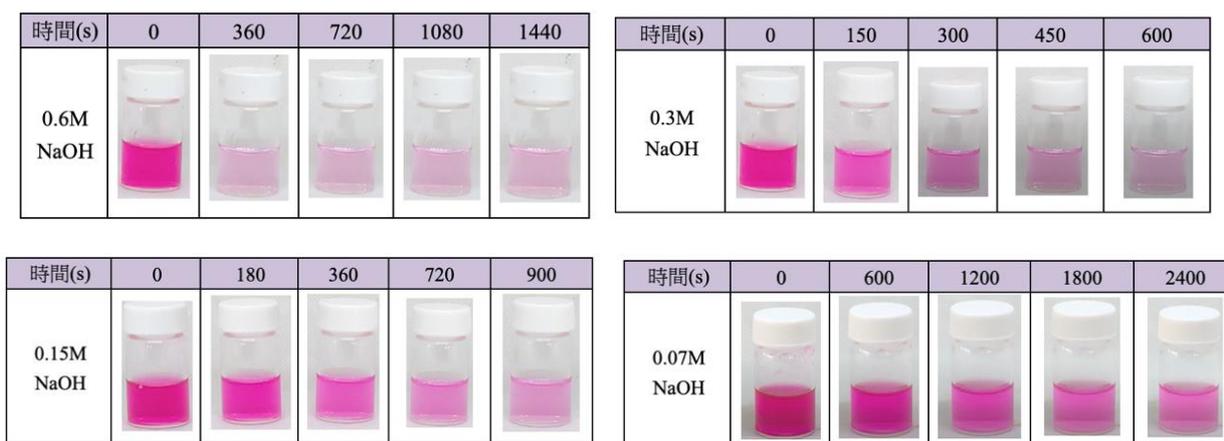
實驗六：比較不同濃度 NaOH 對酚酞褪色的影響

由第二部分的實驗結果得知，要觀察酚酞在NaOH中，紅色變成無色的反應速率，必須pH接近14左右，若pH=13，反應時間可能太長，pH=15太高可能也會有白色沉澱生成。因此我們選用0.07~0.6M NaOH(其pH在12.85~13.78)與0.01M酚酞(0.4%)來進行反應速率的探討。

不同濃度NaOH在與固定濃度的酚酞反應，其吸光值整理於圖(九)。錄影照片截圖整理於圖(十)。



圖(九) 不同濃度 NaOH+ 0.01M酚酞的吸光值

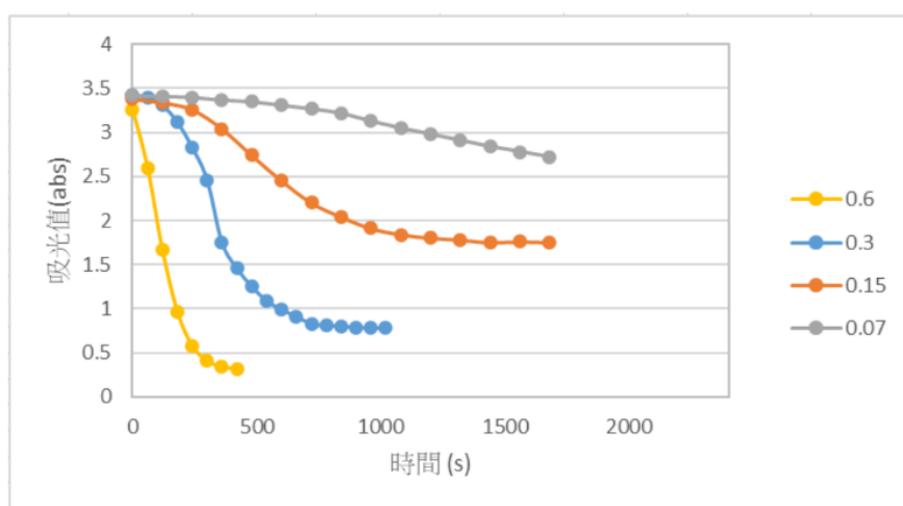


圖(十) 不同濃度 NaOH+ 0.01M酚酞的顏色變化

由圖(九)可以看到，NaOH在0.6M時，顏色褪色的最快最明顯；而0.3M，0.15M與0.07M的NaOH，在我們觀測的時間內，約1hr都無法完全變透明。

同樣的，由圖(十)可知，相同的酚酞下，顏色的變化會因為氫氧化鈉的濃度而改變，NaOH濃度越大，變成無色的速度會越快；NaOH濃度越小，則在反應初始第0秒時顏色越深。

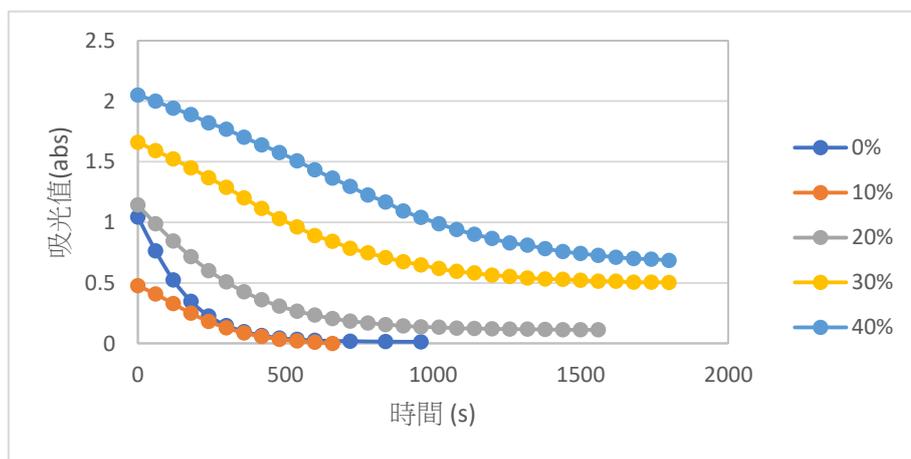
我們也以Arduino簡易光度計所測得的電壓值來作為同樣的光度偵測，經由處理，其吸光值整理於圖(十一)。其在四種濃度下的結果均與使用PASCO光度計所得的結果圖(九)相當，濃度較濃的NaOH溶液，其褪色的速率最快；所以若針對這個相關實驗，是可以以Arduino光度計來取代價格較為昂貴的光度計。



圖(十一) 以Arduino光度計測定不同濃度 NaOH+ 0.01M酚酞的吸光值

實驗七：比較同濃度 NaOH 不同酒精含量對酚酞褪色的影響

變色反應主要仍是在水溶液中，因此我們試著加入不同酒精含量，10%、20%、30%與40%來改變溶液中水的比例，測其吸光值的變化，擷取30 min 內的數據，整理於圖(十二)，以及錄影照片截圖，整理於圖(十三)。



圖(十二) 不同酒精含量的吸光值

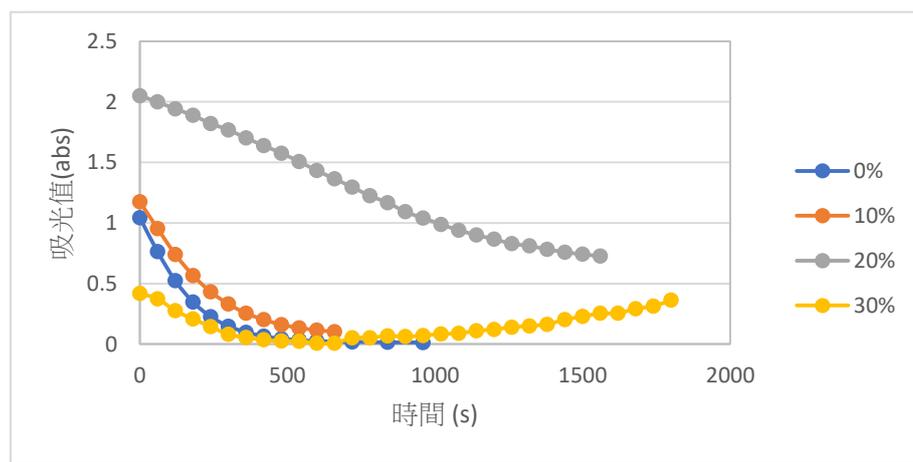
時間(s)	0	120	240	480	600
酒精含量 0%					
酒精含量 10%					
酒精含量 20%					
時間(s)	0	120	360	480	600
酒精含量 30%					
酒精含量 40%					

圖(十三) 不同酒精含量的顏色變化

NaOH 溶液中不含酒精時，粉紅色褪色的速率最快；酒精含量在10%左右，初始顏色較淡一些，隨著時間顏色有變淡，但當含量提高到20%，變成透明無色的時間似乎拉長了，反應速率變慢；酒精含量提高到30%，觀察到約2 hr，顏色依舊粉紅，無明顯褪色。我們知道，溶劑有時候是會出現在反應速率定律式裡，會影響此酚酞褪色的反應速率。

實驗八：比較同濃度NaOH添加不同有機溶劑對酚酞褪色的影響

我們也試著改變使用丙酮來做為不同有機溶劑的影響，其吸光值整理於圖(十四)。



圖(十四) 不同丙酮含量的吸光值

可以發現丙酮含量10%的顏色褪色情形，與沒有丙酮的NaOH溶液幾乎一致；但隨著丙酮濃度提高到20%，褪色反應速率變慢，約20 min時，吸光值仍有初始的0.33，顏色有變淡，但無法完全透明；丙酮含量30%時，初始吸光值就不大，前面0~10min，吸光值有降低，但後面吸光值有升高，並不是顏色變成較深的粉紅色，而是溶液因溶解度下降，酚酞析出所造成的。

陸、討論

一、有關酚酞溶解度部分

酚酞在強酸溶液中，分子結構會以苯酚(ArOH)、苯甲酸(ArCOOH)衍生物為主，如下圖所示，一來是酚酞溶解度下降，二來是酸化後的這類型物質，本身不溶於水，所以導致混濁度增加；但在強鹼溶液中，分子結構以 $\text{In}(\text{OH})^3$ 的鈉鹽為主，也就是酚酞鹼化後是溶於水，所以透明澄清，但是若酚酞比例提高了，還是會因為溶解度下降而有白色析出。

形式	H_3In^+	$In(OH)^{3-}$
結構	<p>苯酚 苯甲酸</p>	<p>離子 離子</p>

所以若酚酞是作為酸鹼指示劑來判斷酸鹼滴定結果，或者運用顏色來判斷酸鹼時，不宜加太多，且濃度0.1%就可以。

二、有關褪色動力學部分

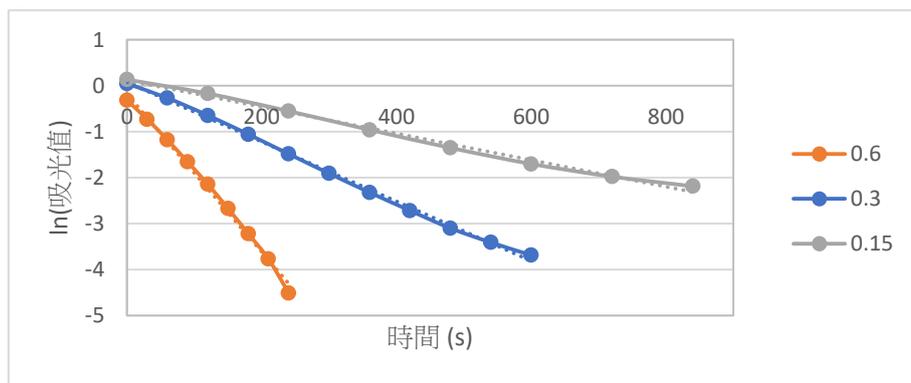
由文獻可知，酚酞在鹼性條件下(pH 8-10)，會由 H_2In 變成粉紅色的 In^{2-} ，pH更高時，可以由粉紅色的 In^{2-} 變成無色的 $In(OH)^{3-}$ ，可由紅色褪色成透明無色來探討反應速率。



$$\text{反應速率定律式： } R = -\frac{d[In^{2-}]}{dt} = k_1[In^{2-}]^m[OH^-]^n$$

在多量強鹼(OH)且只有少量 In^{2-} 的情形下，也就是 $[OH^-] \gg [In^{2-}]$ 下，我們可以將 $[OH^-]$ 視為常數，所以反應速率定律是可以改寫成： $R = k_{obs}[In^{2-}]^m$ ，其中 $k_{obs} = k_1[OH^-]^n$ 。

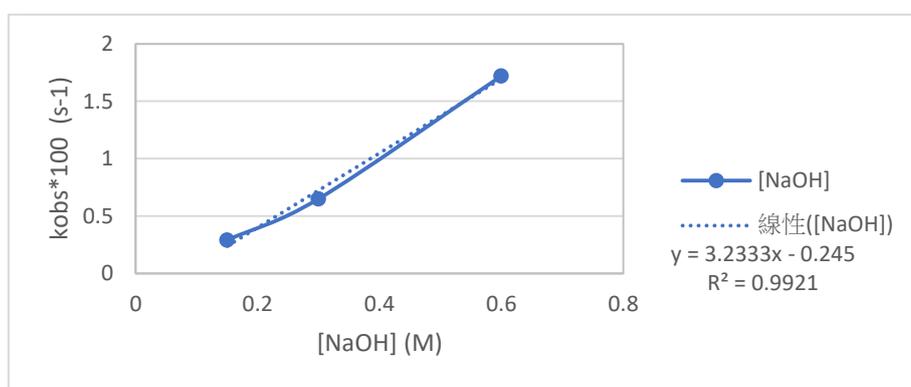
我們進一步將圖(九)中不同NaOH濃度與酚酞反應的吸光值取 $-\ln$ ，關係圖整理於圖(十五)，並找出他們的趨勢線，可以得到斜率值，整理於(表四)。此斜率值即為變色反應的表觀速率常數- k_{obs} ，對 In^{2-} 來說， $m=1$ ，可以視為擬一級反應。



圖(十五) 不同濃度NaOH的 $\ln(\text{吸光值})$ 隨時間的變化圖

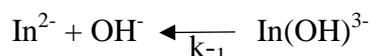
(表四) 圖(十五)之趨勢線結果				
No.	趨勢線公式	R ²	[NaOH] (M)	k _{obs} (s ⁻¹)
1	y = -0.0029x + 0.1147	0.9931	0.15	0.0029
2	y = -0.0065x + 0.0722	0.9977	0.3	0.0065
3	y = -0.0172x - 0.1819	0.9945	0.6	0.0172

我們進一步將不同的[NaOH]對k_{obs}作圖，如圖(十六)，可以得到一條斜直線，也就是說k_{obs}/[OH⁻]為定值，所以對OH⁻來說，n=1，其為一級反應，而總反應級數m+n=2。經由趨勢線可以得到斜率值k₁ = 0.032 M⁻¹s⁻¹。



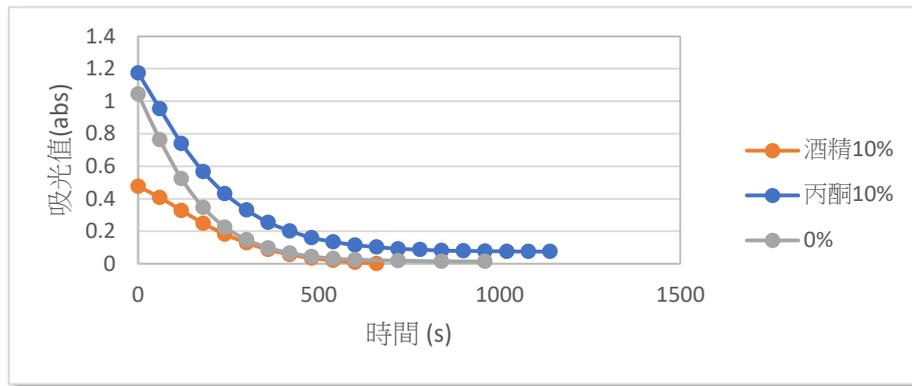
圖(十六) [NaOH]對k_{obs}作圖

酚酞與強鹼的反應， $\text{In}^{2-} + \text{OH}^- \xrightarrow{k_1} \text{In}(\text{OH})^{3-}$ ，此反應有可能存在著逆反應嗎？當 [OH⁻] 較低，如0.07M時，若觀察時間拉長，會趨於一平衡，則可能會有逆反應發生：



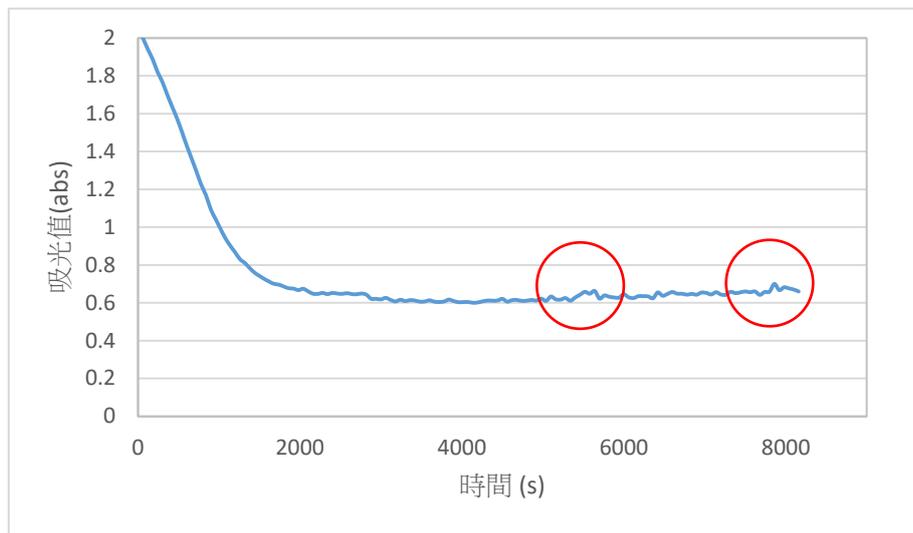
由於我們在0.07 M NaOH水溶液中觀測的時間不夠久，因此並沒有觀察到有無色再變回粉紅色的逆反應，或者[In²⁻]/[In(OH)³⁻]過低，我們猜想若是可以在溶液中添加其他溶劑，或許也有可能降低正反應的速率，提高逆反應的速率。

所以我們嘗試加入酒精或丙酮到NaOH水溶液中，10%酒精會干擾OH⁻與粉紅色之In²⁻反應，粉紅色褪色的速率變慢，丙酮則變化不大，如圖(十七)。



圖(十七) 不同有機溶劑種類的吸光值

而當酒精含量40%，約1.5 hr (5400s) 觀察到吸光值有小幅度增加，表示有逆反應發生；繼續拉長觀測時間，在2.2hr (7920s)左右再度有逆反應發生，如圖(十八)紅色圈圈所示。



圖(十八) 酒精含量40%的NaOH水溶液之吸光值

柒、結論

綜合以上三大部分的實驗，我們可以得到以下幾點結論：

- 一、若想用微量實驗進行酚酞在不同酸鹼下的顏色觀察，建議酚酞溶液濃度不用太濃，1%會造成白色沉澱干擾；自配成與一般市售酚酞溶液0.1%即可。
- 二、在不同酚酞的情況下，滴入酸中，濃度越高，變白色混濁範圍越大，濃度越低，變白色混濁範圍越小。在不同pH值的情況下，同為1%酚酞，在pH=0時，最容易變白色混濁。
- 三、在濃酸時，硫酸會比鹽酸更易變色，但是在pH=2時，鹽酸比硫酸更易變白色混濁。不

論是酸性水溶液還是鹼性水溶液，加入濃度越濃的酚酞顏色會越深，溶液也較容易有酚酞析出的情況發生。

四、酚酞濃度相同時，水溶液中的莫耳濃度越小，越容易達到平衡，很少會有短時間褪色的情形，濃度越大越有機會發生，也更容易會有白色酚酞析出的問題。

五、在0.1%、0.5%、1%三種不同的酚酞，再加入pH=15的NaOH中都會有酚酞析出的情況發生。pH=14的NaOH在滴入酚酞後再一段時間後皆會慢慢的褪色。而pH=13的NaOH在滴入酚酞後就幾乎達到平衡，較方便進行實驗。酸性溶液要觀察到橙色，pH值要小於-1，且酚酞濃度要大於0.5%，才可以觀察到。若想要用1%的酚酞溶液來觀察在酸中的顏色，則必須小心調整酸與酚酞的比例。

六、以0.01M的酚酞加入0.07~0.6M的NaOH，可以清楚看到酚酞顏色由紅褪色到無色，反應速率常數 $k_1 = 0.032 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ 。當加入酒精的含量由10%提高到20%，褪色速率會變慢，提高到40%，拉長觀測時間，會有逆反應發生；若是以丙酮替代酒精，反應速率變化不大。

捌、參考資料及其他

一、國中自然科學2下。第3章電解質與酸鹼反應，第4章反應速率與平衡。新北市：康軒文教。

二、陳偉民與祁明輝(2000)。創意教學-理化篇。台北市：幼獅。

三、維基百科，酚酞。<http://en.wikipedia.org/wiki/Phenolphthalein>。查詢日期：112年3月22日

四、酸鹼作畫—重現百年經典瑪麗蓮夢露 [LIS實驗室] <https://youtu.be/NfjGWpUg8WU>。

【評語】 030203

酚酞為實驗室常用的指示劑，一般人多只注意課本所說的顏色變化，作品從實驗發現酚酞沉澱與受 pH 導致的結構變化，並進一步發現其中褪色動力學，值得嘉許。實驗觀察細微，結果對相關研究領域有貢獻，值得鼓勵。作品符合研究論文的基本格式，提供圖目錄與目錄是專業的作法，可惜參考文獻較少僅 4 篇，共 26 頁(第 10 頁空白)。另，在論文的摘要中沒有說明研究的背景、動機與目的，直接提供實驗結果的數據，讀者會比較不容易理解研究的結果與目的原來是要探討酚酞作為指示劑不會生成白色干擾的條件。

對研究之其他建議如下：

1. 在濃酸時，硫酸會比鹽酸更易變色，但是在 pH=2 時，鹽酸比硫酸更易變白色混濁，是否有陰離子效應？
2. 應深入探討酒精與丙酮對反應速率的影響，為什麼酒精會導致速率降低，丙酮就不會。應設計實驗研究解釋酒精或丙酮影響褪色速率差異之原因。
3. 網上資料可參考，原分所的 data 是 $0.033 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 。

作品海報

不 耐 粉 青 紅 皂 白

動力一級棒

隨著1%酚酞的量增加，水的相對比例較低的情況下，酚酞在酸中可以顯現出透明而沒有白色沉澱干擾。整體會變白色的比例範圍示意圖，整理於圖(三)。

使用H₂SO₄溶液時，與1%酚酞的比例很容易造成白色沉澱，如在pH=-1，必須小於1.5或者大於20，才可能可以看到橙色而沒有白色沉澱干擾。

對酚酞而言，均為1%的情形下，但酒精/水高於0.87的情形下，酚酞可以全溶。因此若要自配高濃度酚酞指示劑溶液，可以100%酒精溶液或者加入約占23%的水來配製。

第二部分：酚酞顏色

實驗(四)：比較酚酞在強鹼性溶液中的顏色變化

首先經由多個波長下看吸光值的變化，我們選擇以綠光(550nm)的吸光值做比較。不同濃度酚酞在不同鹼性溶液中的吸光值，整理於圖(四)。錄影截圖整理於圖(五)。

當0.1%酚酞滴入pH=13~15的NaOH，顏色都會呈現紅色，但僅有pH=14紅色會隨時間變淡，且隨著滴入的酚酞濃度提升到0.5%、1%，變淡的時間會拉長；而pH=13之NaOH液，紅色幾乎都不會消退，pH=15則因鹼性濃度太濃，出現了白色混濁而干擾了測定。在pH=15之NaOH液中，加入不同濃度的酚酞，0.1%在第0秒時呈現淡粉紅。而0.5%與1%則呈現粉紅色。過了60秒0.5%酚酞出現白色混濁，而1%酚酞也有微微的白色混濁出現。由於僅有pH=14的紅色有明顯變化，擷取pH=14 NaOH的結果作比較，如圖(六)所示。在pH=14之NaOH液中，200秒內，0.1%酚酞下降的百分比最大，1%酚酞下降的百分比最少，在300秒時，0.1%酚酞吸光值最低，趨近於透明無色。1%酚酞還有淡淡的粉紅色。

實驗(五)：比較酚酞在強酸性溶液中的顏色變化

不同濃度酚酞與不同pH強酸反應，首先經由錄影觀察，結果整理於圖(七)。

在強酸中看到酚酞呈現淡橙色，變橘色的條件：0.5%酚酞、pH=-1的HCl或H₂SO₄，因此我們進行吸光值的測定。首先先進行多個波長下的光譜圖。

在藍光(500nm)才有較高的吸光值，且吸光值隨著時間變化有越來越大的趨勢，但仍不高(僅0.063)。很明顯的，酸中的顏色是比較偏橙色的。若想要看到顏色較深的橙色，要使用濃度較濃的酚酞，則必須利用實驗二所得的酚酞/酸溶液比例來調整，才可以避免產生白色沉澱的情形。

第三部分：酚酞褪色動力學

實驗(六)：比較不同濃度NaOH對酚酞褪色的影響

我們選用0.07~0.6M NaOH(其pH在12.85~13.78)與0.01M酚酞(0.4%)來進行反應速率的探討。不同濃度NaOH在與固定濃度的酚酞反應，其吸光值整理於圖(九)。錄影照片截圖整理於圖(十)。

由圖(九)可以看到，NaOH在0.6M時，顏色退的最快；而0.3M、0.15M與0.07M的NaOH，在我們觀測的時間內，約1hr都無法完全變透明。同樣的，由圖(十)可知，相同的酚酞下，顏色的變色會因為氫氧化鈉的濃度而改變，濃度越大變色的速度會越快，濃度越小在第0秒時顏色越深。

我們也以Arduino簡易光度計所測得的電壓值來作為同樣的光度偵測，經由處理，其吸光值整理於圖(十一)。其在四種濃度下的結果均與使用PASCO光度計所得的結果圖(九)相當，濃度較濃的NaOH溶液，其褪色的速率最快；所以若針對這個相關實驗，是可以以Arduino光度計來取代價格較為昂貴的光度計。

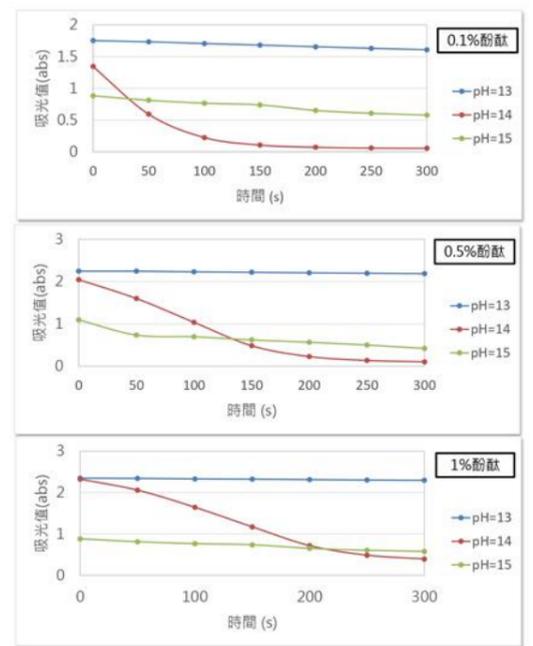
實驗(七)：比較同濃度NaOH不同酒精含量對酚酞褪色的影響

除了在水溶液中，我們試著加入不同酒精含量，測其吸光值的變化，整理於圖(十二)，錄影照片截圖整理於圖(十三)。NaOH溶液中不含酒精時，粉紅色褪色的速率最快；酒精含量在10%左右，初始顏色較淡一些，隨著時間顏色有變淡，但當含量提高到20%，變成透明無色的時間似乎拉長了，反應速率變慢；酒精含量提高到30%，觀察到約2hr，顏色依舊粉紅，無明顯褪色。我們知道，溶劑有時候是會出現在反應速率定律式裡，會影響此酚酞褪色的反應速率。

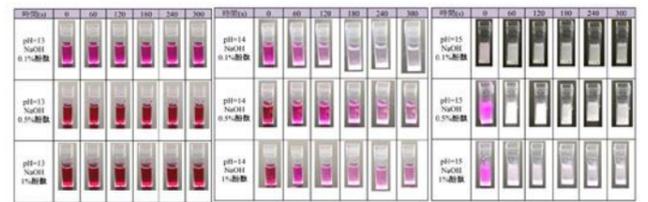
實驗(八)：比較同濃度NaOH添加不同有機溶劑對酚酞褪色的影響

我們也試著改變使用丙酮來做為不同有機溶劑的影響，其吸光值整理於圖(十四)。

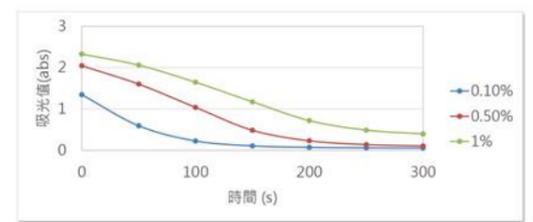
可以發現丙酮含量10%的顏色褪色情形，與沒有丙酮的NaOH溶液幾乎一致；但隨著丙酮濃度提高到20%，褪色反應速率變慢，約20min時，吸光值仍有初始的0.33，顏色有變淡，但無法完全透明；丙酮含量30%時，初始吸光值就不大，前面0~10min，吸光值有降低，但後面吸光值有升高，並不是顏色變成較深的粉紅色，而是溶液因溶解度下降，酚酞析出所造成的。



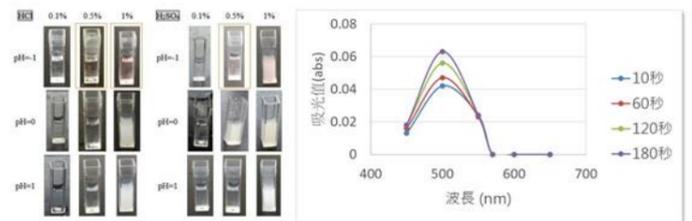
圖(四)不同濃度酚酞+不同pH NaOH的吸光值



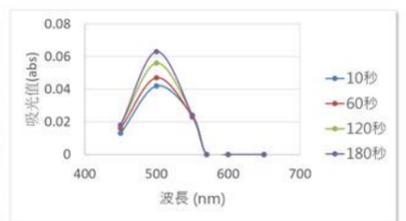
圖(五)不同濃度酚酞與不同pH NaOH顏色變化



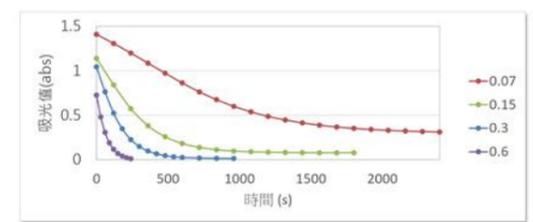
圖(六)不同濃度酚酞+ pH=14 NaOH的吸光值



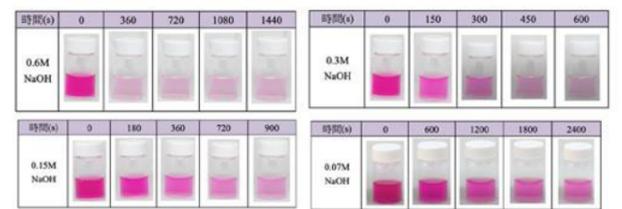
圖(七) 酚酞在不同pH 強酸的顏色變化



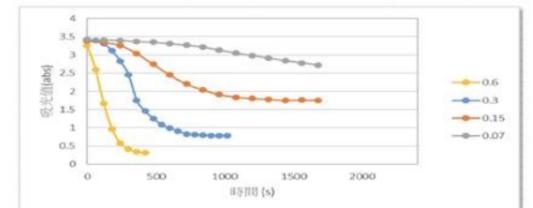
圖(八)0.5%酚酞在pH=-1 HCl之吸收光譜圖



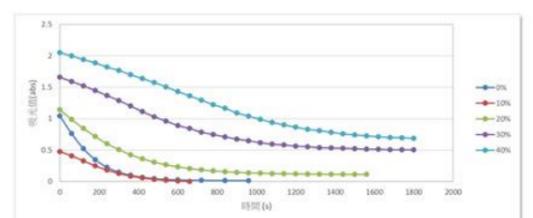
圖(九)不同濃度 NaOH+ 0.01M酚酞的吸光值



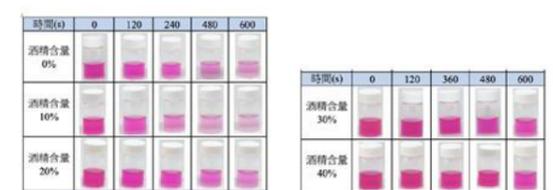
圖(十) 不同濃度 NaOH+ 0.01M酚酞的顏色變化



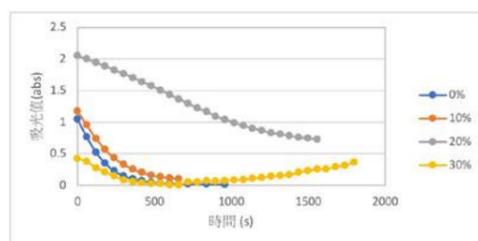
圖(十一) 以Arduino光度計測定NaOH的吸光值



圖(十二) 不同酒精含量的吸光值



圖(十三)不同酒精含量的顏色變化



圖(十四)不同丙酮含量的吸光值

伍、討論

一、酚酞溶解度部分

酚酞在強酸溶液中，分子結構會以苯酚(ArOH)、苯甲酸(ArCOOH)衍生物為主，如右圖所示，一來是酚酞溶解度下降，二來是酸化後的這類型物質，本身不溶於水，所以導致混濁度增加；但在強鹼溶液中，分子結構以 $\text{In}(\text{OH})^{3-}$ 的鈉鹽為主，也就是酚酞鹼化後是溶於水，所以透明澄清，但是若酚酞比例提高了，還是會因為溶解度下降而有白色析出。所以若酚酞是作為酸鹼指示劑來判斷酸鹼滴定結果，或者運用顏色來判斷酸鹼時，不宜加太多，且濃度0.1%就可以。

二、有關褪色動力學部分

由文獻可知，酚酞在鹼性條件下(pH 8-10)，會由 H_2In 變成粉紅色的 In^{2-} ，pH更高時，可以由粉紅色的 In^{2-} 變成無色的 $\text{In}(\text{OH})^{3-}$ ，可由紅色褪色成透明無色來探討反應速率。



$$\text{反應速率定律式: } R = -\frac{d[\text{In}^{2-}]}{dt} = k_1[\text{In}^{2-}]^m[\text{OH}^-]^n$$

在多量強鹼(OH^-)且只有少量 In^{2-} 的情形下，也就是 $[\text{OH}^-] \gg [\text{In}^{2-}]$ 下，我們可以將 $[\text{OH}^-]$ 視為常數，所以反應速率定律是可以改寫成：

$$R = k_{\text{obs}}[\text{In}^{2-}]^m, \text{ 其中 } k_{\text{obs}} = k_1[\text{OH}^-]^n.$$

我們進一步將圖(九)中不同NaOH濃度與酚酞反應的吸光值取 $-\ln$ ，關係圖整理於圖(十五)，並找出他們的趨勢線，可以得到斜率值，整理於(表四)。此斜率值即為變色反應的表觀速率常數 $-k_{\text{obs}}$ ，對 In^{2-} 來說， $m=1$ ，可以視為擬一級反應。我們進一步將不同的 $[\text{NaOH}]$ 對 k_{obs} 作圖，如圖(十六)，可以得到一條斜直線，也就是說 $k_{\text{obs}}/[\text{OH}^-]$ 為定值，所以對 OH^- 來說， $n=1$ ，其為一級反應，而總反應級數 $m+n=2$ 。經由趨勢線可以得到斜率值 $k_1=0.032\text{M}^{-1}\text{s}^{-1}$ 。

酚酞與強鹼的反應， $\text{In}^{2-} + \text{OH}^- \xrightarrow{k_1} \text{In}(\text{OH})^{3-}$ ，此反應有可能存在著逆反應嗎？當 $[\text{OH}^-]$ 較低，如0.07M時，若觀察時間拉長，會趨於一平衡，則可能會有逆反應發生： $\text{In}^{2-} + \text{OH}^- \xrightleftharpoons[k_{-1}]{} \text{In}(\text{OH})^{3-}$

由於我們在0.07M NaOH水溶液中觀測的時間不夠久，因此並沒有觀察到有無色再變回粉紅色的逆反應，或者 $[\text{In}^{2-}]/[\text{In}(\text{OH})^{3-}]$ 過低，我們猜想若是可以在溶液中添加其他溶劑，或許也有可能降低正反應的速率，提高逆反應的速率。所以我們嘗試加入酒精或丙酮到NaOH水溶液中，10%酒精會干擾 OH^- 與粉紅色之 In^{2-} 反應，粉紅色褪色的速率變慢，加入丙酮則變化不大，如圖(十七)，而當酒精含量40%，約1.5hr (5400s) 觀察到吸光值有小幅增加，表示有逆反應發生；繼續拉長觀測時間，在2.2hr (7920s)左右再度有逆反應發生，如圖(十八)紅色圈圈所示。

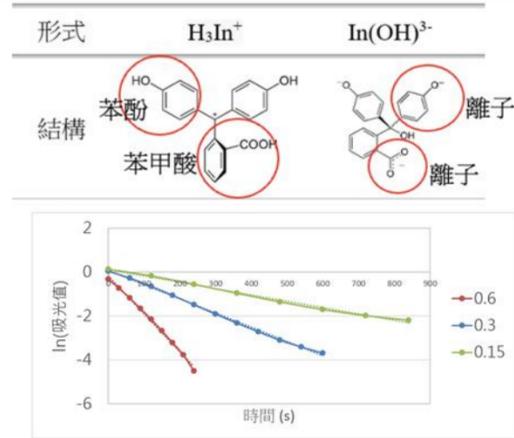
陸、結論

綜合以上三大部分的實驗，我們可以得到以下幾點結論：

- 一、若想用微量實驗進行酚酞在不同酸鹼下的顏色觀察，建議酚酞溶液濃度不用太濃，1%會造成白色沉澱干擾；自配成與一般市售酚酞溶液0.1%即可。
- 二、在不同酚酞的情況下，滴入酸中，濃度越高，變白色混濁範圍越大，濃度越低，變白色混濁範圍越小。在不同pH值的情況下，同為1%酚酞，在pH=0時，最容易變白色混濁。
- 三、在濃酸時，硫酸會比鹽酸更易變色，但是在pH=2時，鹽酸比硫酸更易變白色混濁。不論是酸性水溶液還是鹼性水溶液，加入濃度越濃的酚酞顏色會越深，溶液也較容易有酚酞析出的情況發生。
- 四、酚酞濃度相同時，水溶液中的莫耳濃度越小，越容易達到平衡，很少會有短時間褪色的情形。濃度越大越有機會發生，也更容易會有白色酚酞析出的問題。
- 五、在0.1%、0.5%、1%三種不同的酚酞，再加入pH=15的NaOH中都會有酚酞析出的情況發生。pH=14的NaOH在滴入酚酞後再一段時間後皆會慢慢的褪色。而pH=13的NaOH在滴入酚酞後就幾乎達到平衡，較方便進行實驗。酸性溶液要觀察到橙色，pH值要小於-1，且酚酞濃度要大於0.5%，才可以觀察到。若想要用1%的酚酞溶液來觀察在酸中的顏色，則必須小心調整酸與酚酞的比例。
- 六、以0.01M的酚酞加入0.07~0.6M的NaOH，可以清楚看到酚酞顏色由紅褪色到無色，反應速率常數 $k_1 = 0.032 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ 。當加入酒精的含量由10%提高到20%，褪色速率會變慢，提高到40%，拉長觀測時間，會有逆反應發生；若是以丙酮替代酒精，反應速率變化不大。

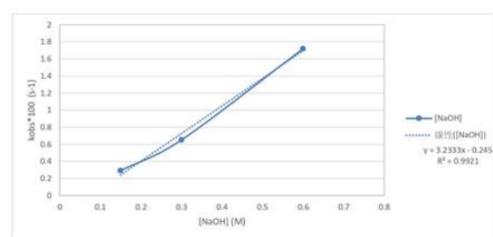
柒、參考資料

- 一、國中自然科學2下。第3章電解質與酸鹼反應，第4章反應速率與平衡。新北市：康軒文教。
- 二、陳偉民與祁明輝(2000)。創意教學-理化篇。台北市：幼獅。
- 三、維基百科，酚酞。<http://en.wikipedia.org/wiki/Phenolphthalein>。查詢日期：112年3月22日
- 四、酸鹼作畫 - 重現百年經典瑪麗蓮夢露 [LIS實驗室] <https://youtu.be/NfjGWpUg8WU>

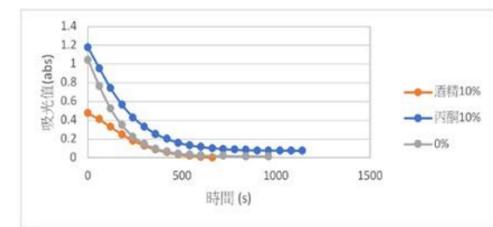


圖(十五) 不同濃度NaOH的 \ln (吸光值)隨時間的變化圖

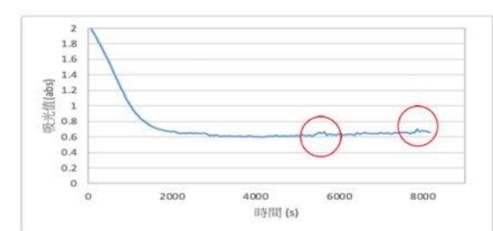
No.	趨勢線公式	R ²	[NaOH] (M)	k _{obs} (s ⁻¹)
1	y = -0.0029x + 0.1147	0.9931	0.15	0.0029
2	y = -0.0065x + 0.0722	0.9977	0.3	0.0065
3	y = -0.0172x - 0.1819	0.9945	0.6	0.0172



圖(十六) [NaOH]對k_{obs}作圖



圖(十七) 不同有機溶劑種類的吸光值



圖(十八) 酒精含量40%的NaOH水溶液之吸光值