

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 化學科

050208

四色振盪—當 B-R 振盪反應遇到指示劑

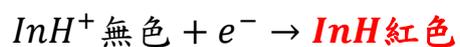
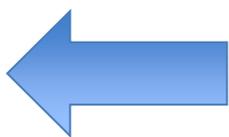
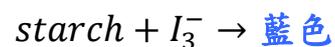
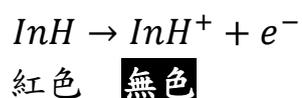
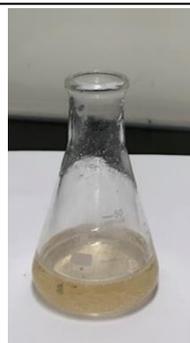
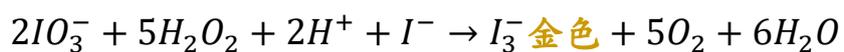
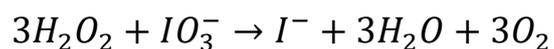
學校名稱：國立宜蘭高級中學

作者： 高二 吳室勳 高二 徐睿遠 高二 游昆澄	指導老師： 林揚閔 游春祥
---	-----------------------------

關鍵詞：振盪反應、酸鹼指示劑、氧化還原指示劑

摘要

BR 振盪反應中，在配製溶液時需加入硫酸，使溶液呈酸性，又振盪具有無、金、藍三種顏色的變化，我們想利用指示劑在其中多穿插一個顏色，在多次實驗後，我們成功的做到了四色振盪（無→金→藍→紅），也進一步以濃度、溫度為變因，並且利用 Arduino 的感光電阻，來客觀檢測顏色變化，檢測四色振盪反應在不同濃度、溫度下的週期與週期數變化。



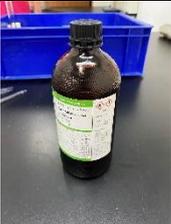
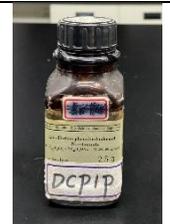
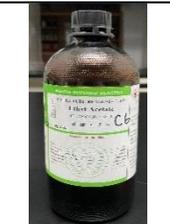
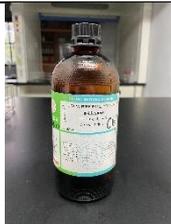
壹、研究動機

我們在科學雜誌上看到將 3 種溶液加在一起竟然會規律變色，在查詢過化學式之後，發現變色期間溶液中的氫離子濃度可能有變化(當 I_3^- 生成時會消耗 H^+ 、 I_3^- 消耗時會生成 H^+)，便想以酸鹼指示劑多穿插 1 個顏色於振盪反應中，在測量反應中的 pH 值後，決定使用甲基黃指示劑作為變色的反應藥品，在實驗過程中也將濃度、溫度對振盪反應的影響作為研究方向。

貳、研究目的

- 一、藉由加入酸鹼(氧化還原)指示劑，讓振盪反應多 1 種顏色，並持續週期性振盪。
- 二、改變各反應物的濃度，觀察其振盪反應的變化。
- 三、探討溫度是否影響振盪反應之週期數及反應速率。

參、研究設備及器材

				
35% H ₂ O ₂ (aq)	CH ₂ (COOH) ₂	MnSO ₄	可溶性澱粉	KIO ₃
				
2M H ₂ SO ₄	C ₂ H ₅ OH	5mL 吸量管	50mL 錐形瓶	恆溫水槽
				
甲基黃	甲基紫	DCPIP	DPPH	250mL 容量瓶
				
筆型 酸鹼度計	溫度計	電子秤	乙醚	樣品瓶
				
滴管	水質監測儀	乙酸乙酯	正己烷	Arduion 自製器材

肆、研究過程或方法

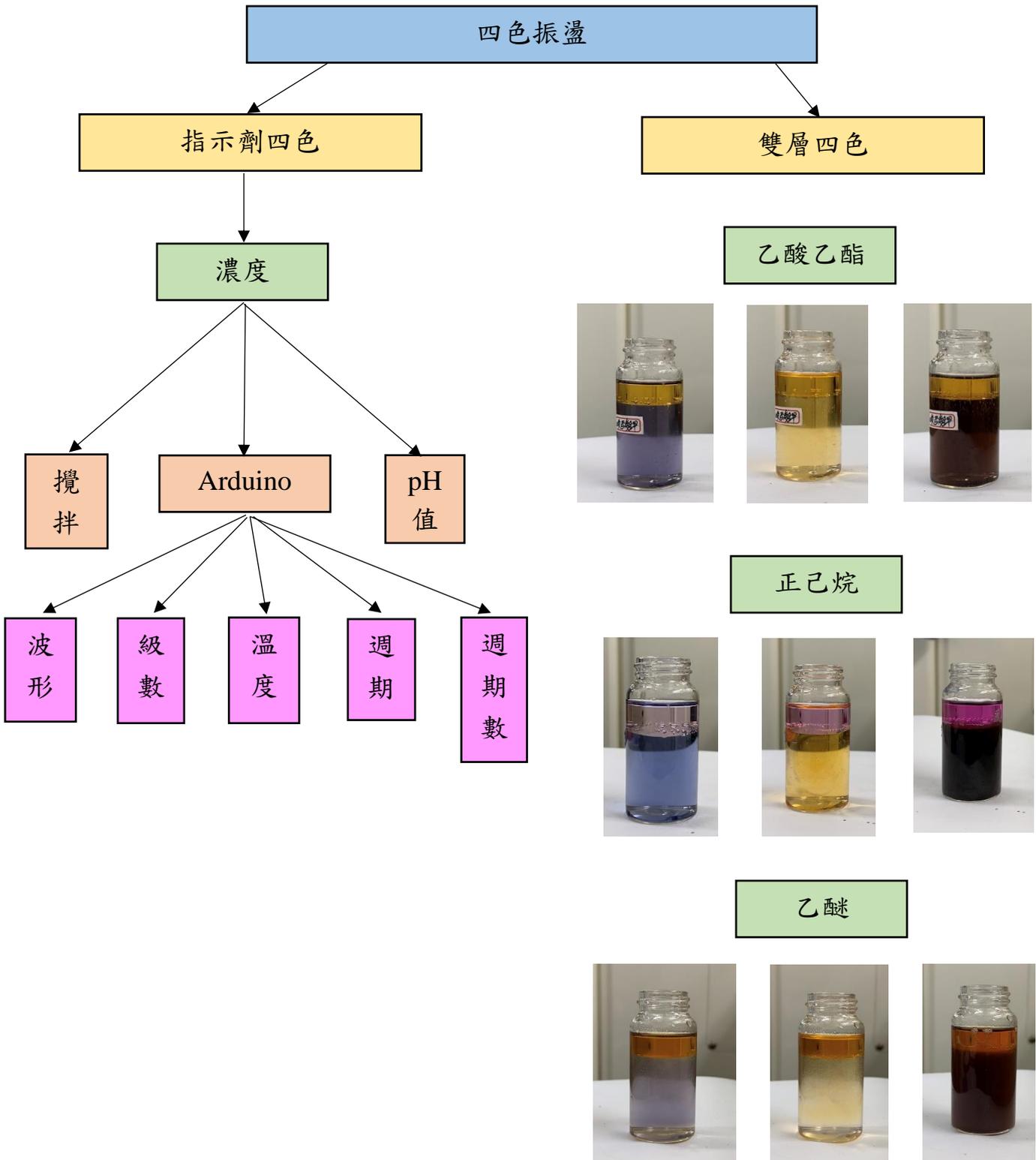
實驗步驟

- 一、配置 A 溶液：量取 80mL 35% 的 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ ，轉移入 250mL 容量瓶裡，用蒸餾水稀釋到刻度，並得 3.6M $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 。
- 二、配置 B 溶液：分別稱取 3.9g $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 和 0.76g MnSO_4 ，分別溶於適量水中。另稱取 0.075g 可溶性澱粉，溶於 50mL 左右沸水中。把三者轉移入 250mL 容量瓶裡，稀釋到刻度，得到含 0.15M $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 、0.02M MnSO_4 、和 0.03% 澱粉的混合溶液。
- 三、配置 C 溶液：秤取 10.75g KIO_3 溶於適量熱水中，再加入 20mL 2M H_2SO_4 酸化。轉移入 250mL 容量瓶裡，稀釋到刻度，得到 0.20M KIO_3 和 0.08M H_2SO_4 的混合溶液。
- 四、將 A、B、C 三組溶液以等體積混合在錐形瓶中，這混合溶液分別含 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 1.2M、 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 0.050M、 MnSO_4 0.0067M、 KIO_3 0.067M、0.027M H_2SO_4 、可溶性澱粉 0.01%。
- 五、混合後，在反應 2 個週期過後加入 0.0050M 甲基黃酒精溶液。



上圖為 arduino 的自製器材
使用時會關閉箱子遮光

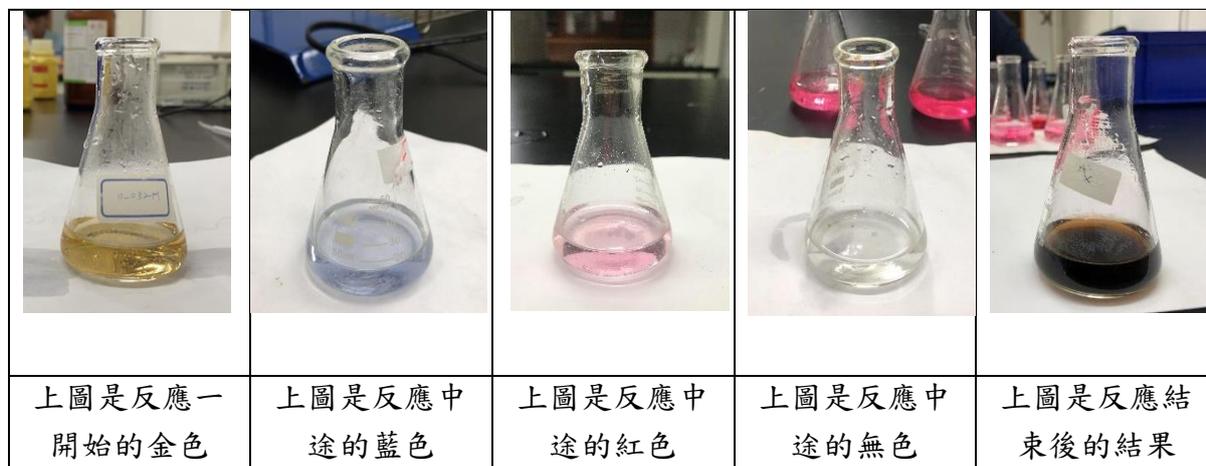
研究流程圖



伍、研究結果

一、加入甲基黃：

這個實驗最主要是要藉由 pH 值與指示劑，來測試能否讓振盪反應多 1 個顏色，由上表我們發現如果加入**甲基黃**，那麼反應中的確會多出 1 個顏色~**粉紅色**，但是週期數會有變少的趨勢。



A	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪 2 次 加 1 滴甲 基黃水溶 液	振盪 2 次 加 1 滴甲 基黃水溶 液	振盪 2 次 加 1 滴甲 基黃水溶 液	無	無	無
顏色	無→金→ 藍→ 紅 → 無	無→金→ 藍→ 紅 → 無	無→金→ 藍→ 紅 → 無	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)
pH	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.6	1.6~1.5	1.6~1.5
週期數	14	18	11	12	11	11

二、不同週期數時加入甲基黃：

我們想探討在不同的週期數加入甲基黃對總反應結果是否會造成影響，但由實驗可推論，在不同週期數加入甲基黃對整體反應沒有太大的影響。

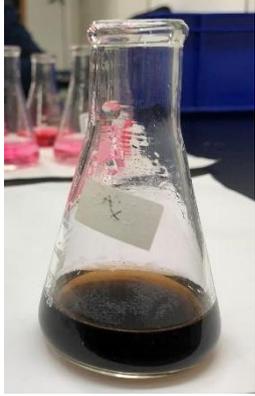
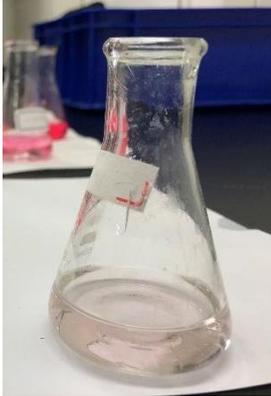
(註：第 0 週期時加入甲基黃，不會有四色振盪)

A	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪 0 次加 1 滴甲基 黃水溶 液	振盪 1 次加 1 滴甲基 黃水溶 液	振盪 2 次加 1 滴甲基 黃水溶 液	振盪 3 次加 1 滴甲基 黃水溶 液	振盪 4 次加 1 滴甲基 黃水溶 液	振盪 5 次加 1 滴甲基 黃水溶 液
顏色	無→金 →藍 →無	無→金 →藍→ 紅→無	無→金 →藍→ 紅→無	無→金 →藍→ 紅→無	無→金 →藍→ 紅→無	無→金 →藍→ 紅→無
pH	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.8~1.5	1.5~1.4
週期數	0	14	18	11	14	10

三、不同滴數的甲基黃：

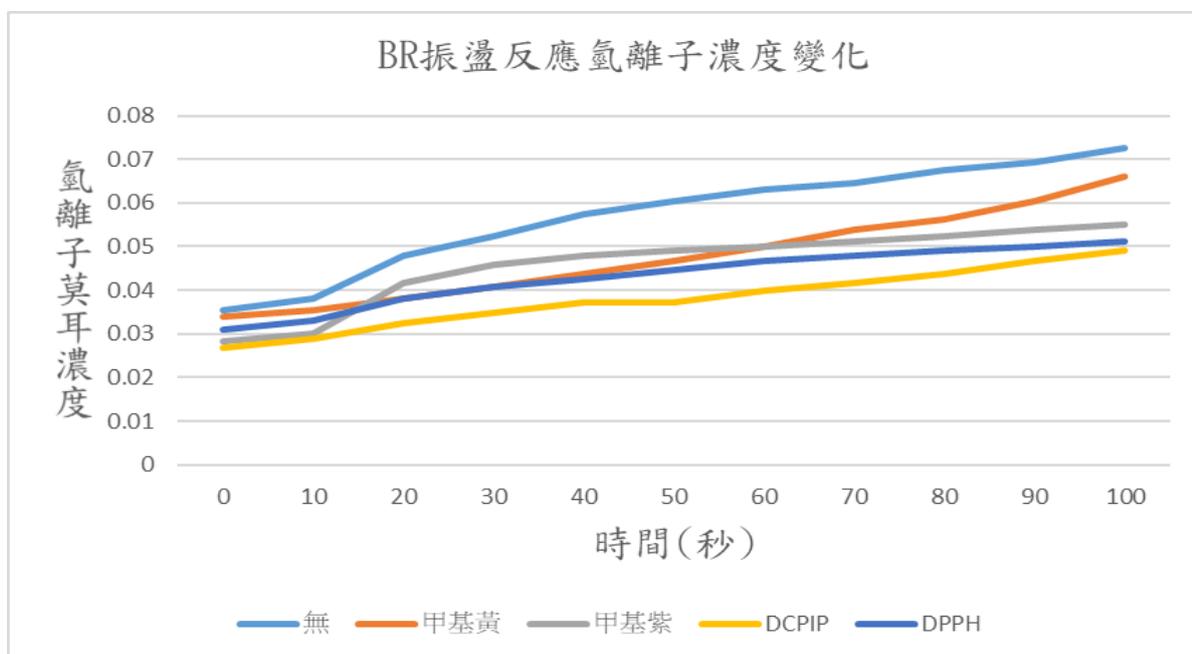
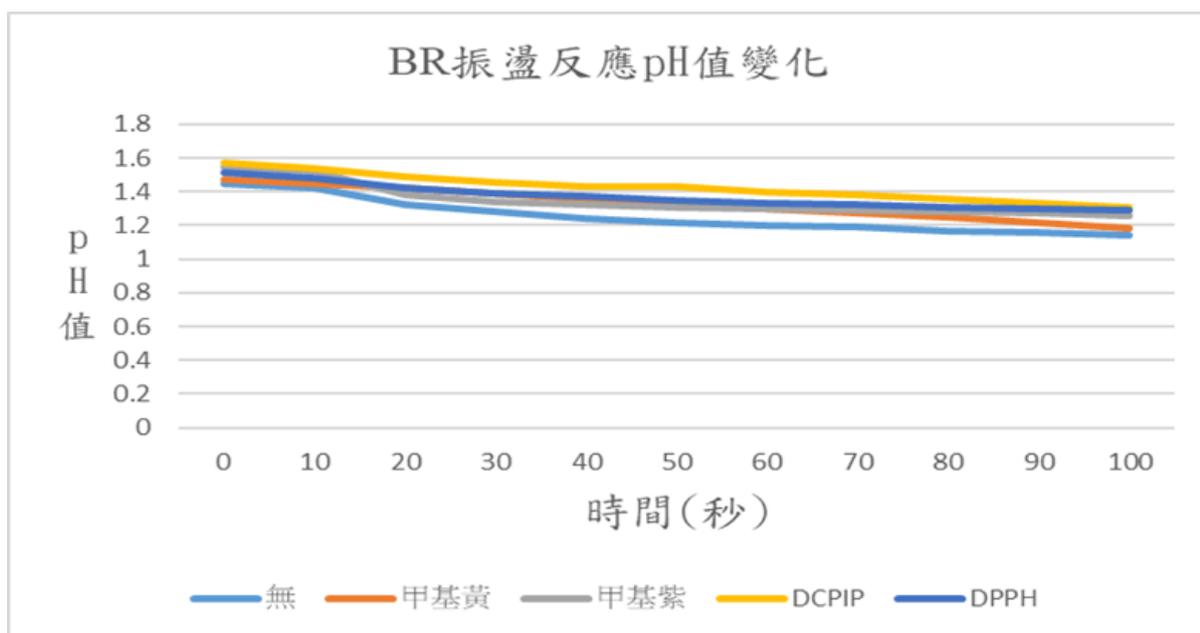
關於甲基黃酒精溶液的濃度和滴數了，我們最後實驗出最適合的濃度是 0.0005M 一滴，這樣的實驗結果將會讓變色最明顯且不至於停止振盪反應，而且週期數也夠多次，最方便觀察。

A	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪 2 次加 0 滴甲基黃酒精溶液	振盪 2 次加 1 滴甲基黃酒精溶液	振盪 2 次加 2 滴甲基黃酒精溶液	振盪 2 次加 3 滴甲基黃酒精溶液
顏色	無→金→藍→無 (最終棕)	無→金→藍→紅→無 (最終棕)	無→金→藍→紅→無 (最終棕)	無→金→藍→(最終紅)
pH	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4
週期數	31	31	34	2

			
上圖是沒加指示劑造成的最終結果(深棕)	上圖是加適當甲基黃振盪中的顏色(淺粉紅)	上圖是加過量甲基黃振盪中的顏色(粉紅)	上圖是加過量甲基黃造成的最終結果(深粉紅)

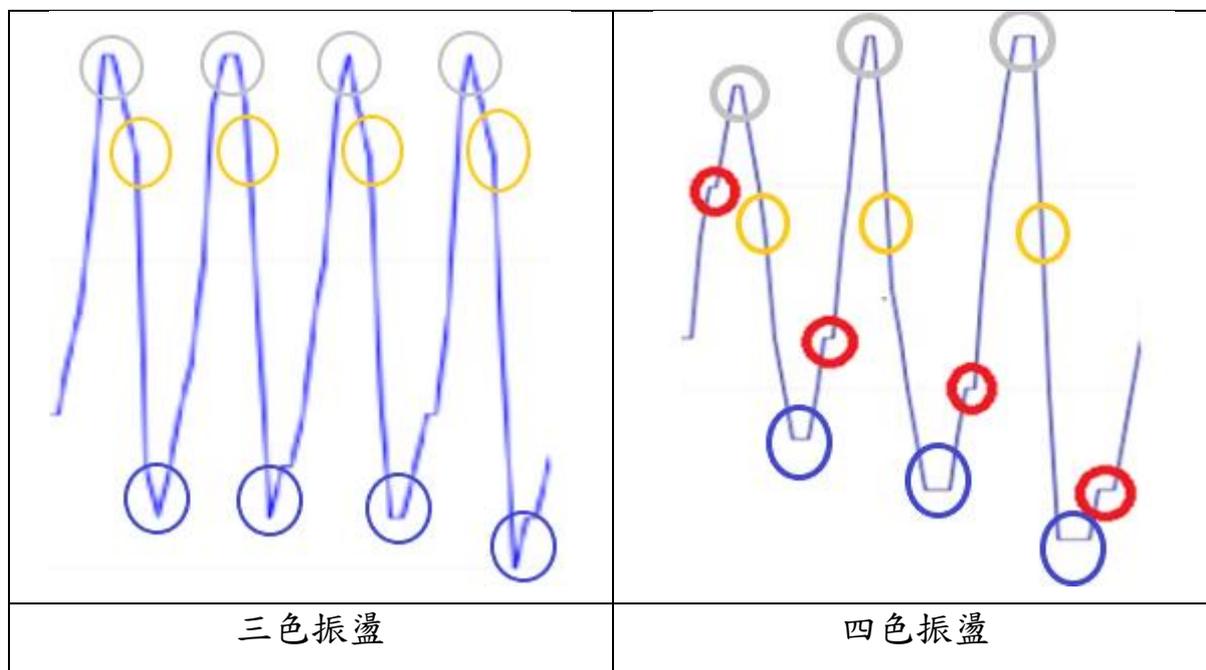
四、振盪反應時的 pH 值及氫離子濃度：

反應中的 pH 值也相當重要，我們一開始就是針對 pH 值來構想這個實驗，不管是否加甲基黃，實驗發現反應中的 pH 值大約都落在 1.4~1.1，氫離子濃度大約都落在 0.3~0.7 左右，且呈現變更酸性的趨勢，而根據總反應方程式，氫離子應該會被消耗，與實驗結果不合，依公式推測為雙氧水或碘化鉀氧化分解造成。



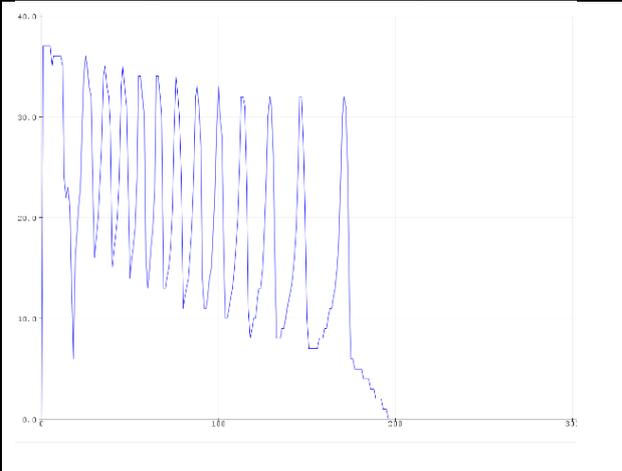
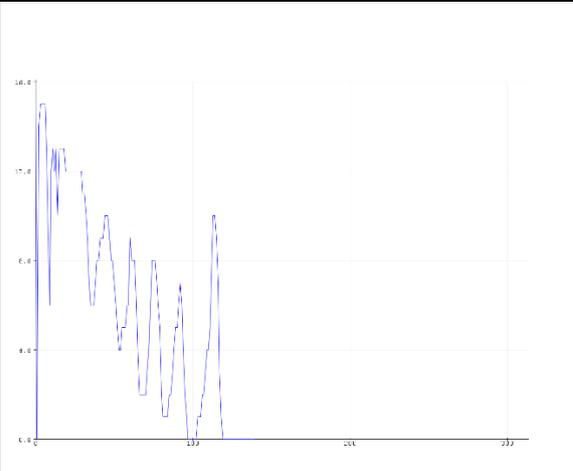
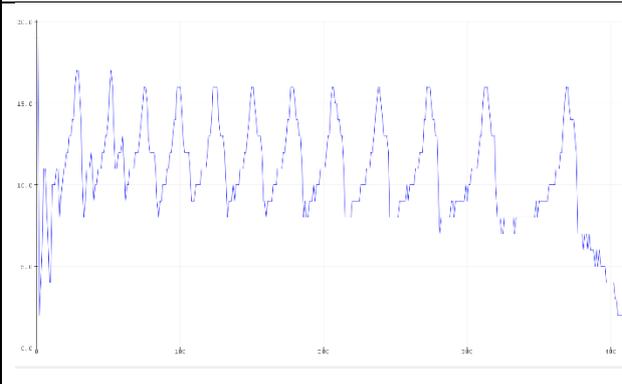
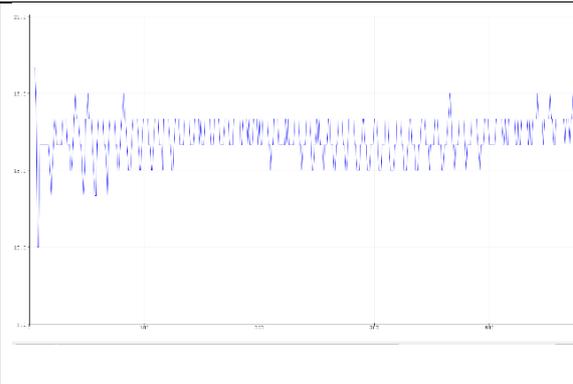
五、振盪反應時的 Arduino 波形分析：

下二圖是取自三色振盪和四色振盪中的部分 Arduino 的波形，放大加以比對二者區別，由此二圖可以發現四色振盪明顯多了一個鋸齒狀(紅色圈的部分)，因此我們研判此鋸齒狀為紅色，但實際操作時因紅色較不明顯，所以較難觀察到，但利用 Arduino 可以明顯觀察到此處。



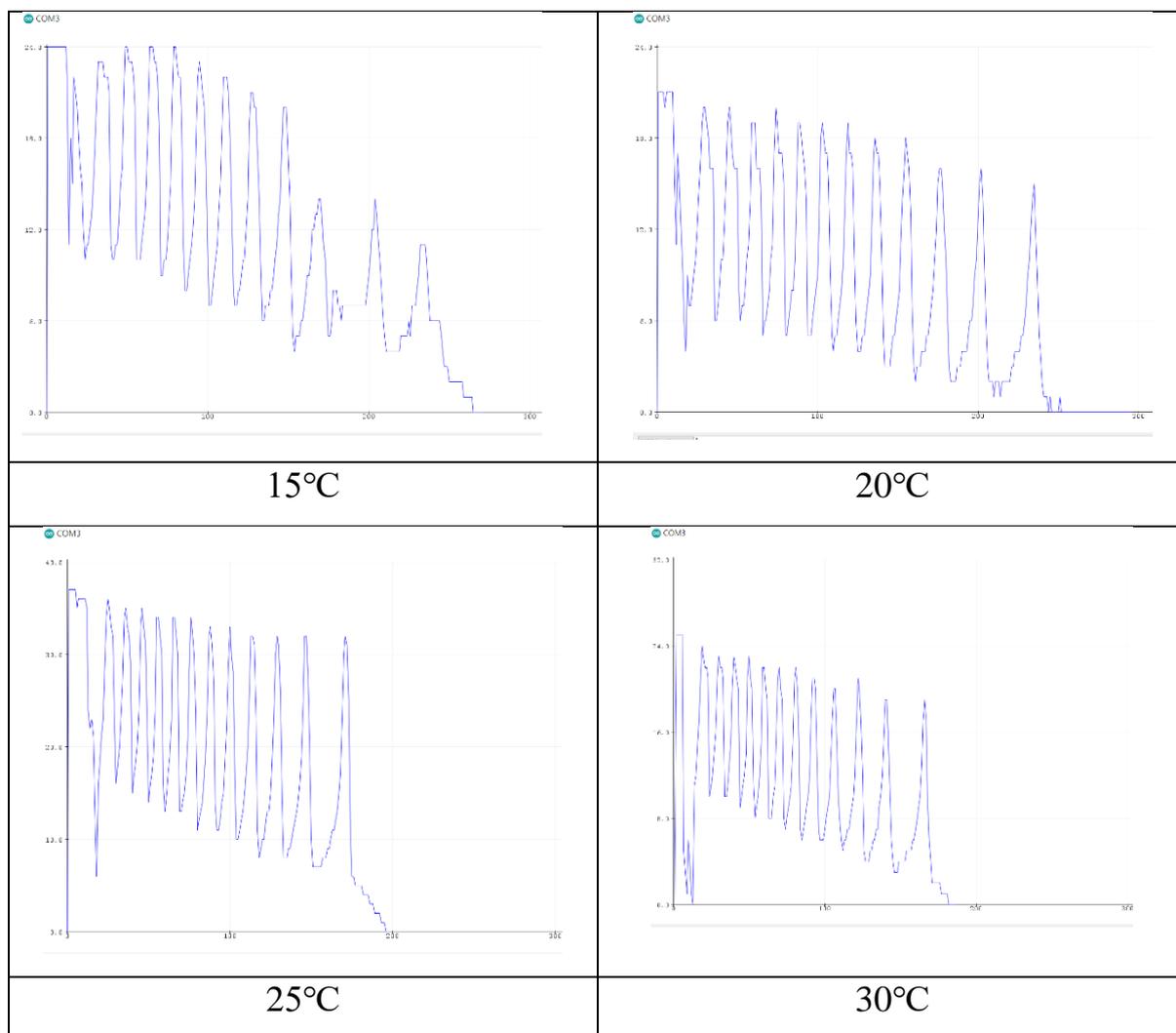
六、不同濃度的反應物：

改變不同濃度的 A、B、C 溶液時，對反應的結果有明顯影響：降低 A 的濃度時，反應的週期數會下降，反應速率也會下降；降低 B 的濃度時，反應的藍色會變淺，藍色變回無色的速率變慢；降低 C 的濃度時，反應的變色會更加不明顯。將來可以由濃度變化求四色振盪的級數。

A	5mL	2.5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	2.5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	2.5mL
H ₂ O	0mL	2.5mL	2.5mL	2.5mL
甲基黃	無	無	無	無
顏色	無→金→藍→ 無 (最終棕)	無→金→藍→ 無 (最終棕)	無→金→淺藍 →無 (最終棕)	無→金→藍→ 無 (最終棕)
週期數	12	7	12	47
				
正常		A 溶液濃度減半		
				
B 溶液濃度減半		C 溶液濃度減半		

七、不同溫度：

不同溫度時，各實驗的週期及顏色趨勢相近，溫度愈高，振盪反應的週期較快、週期數較多，總反應的時間也較短，而顏色無明顯差異，推測是因為溫度高使粒子振盪較劇烈，導致反應速率變快；且促使反應物消耗，使週期數會有變少的趨勢。



陸、討論

- 一、此實驗成功的在三色 BR 振盪反應中使用指示劑增加 1 個顏色，指示劑的挑選：剛開始將目標鎖定甲基橙、甲基黃及甲基紫，在量測 pH 值區間及多次實驗後，**當我們添加甲基黃時，溶液呈現四色振盪，多了 1 個紅色**，推測原因主要可能是指示劑遇到振盪反應中溶液中的氫離子濃度振盪，但在研究 H^+ 莫耳濃度時，並沒有發現氫離子濃度有振盪的狀況。
- 二、我們朝向**甲基黃**參與了**氧化還原振盪**的方向去思考，所以我們設計實驗求證，我們將 A、B、C 的各個成分，分別加入甲基黃酒精溶液，靜置一段時間，發現 H_2O_2 及 KIO_3 皆會將酸性的甲基黃氧化，使其由粉紅色變無色，若 $CH_2(COOH)_2$ 可將氧化態的甲基黃，由無色再變回粉紅色，則證明了我們的想法是正確的(我們還在努力實驗中)。
- 三、我們發現加入甲基黃會減少振盪反應的週期數，甚至終止振盪，且如果加入的是甲基黃水溶液，那麼難溶的甲基黃粉末會慢慢黏至錐形瓶壁上，導致只有錐形瓶壁有些微紅色出現，而下面繼續振盪反應的情況。如果使用適量的甲基黃酒精溶液，那麼變色就會較為均勻，且根據參考資料和實驗可以發現，酒精有助於讓反應週期數變多，於是我們使用甲基黃酒精溶液。
- 四、使用 5mL A 溶液、5mL B 溶液、5mL C 溶液所形成的反應，加入大約**0.0005M 的甲基黃酒精溶液 2 滴是極限**，當加入到第 3 滴時反應會被破壞，無法持續振盪。
- 五、甲基黃酒精溶液加入的時間點和反應並沒有非常明顯的關係，舉例來說，分別在第 2 週期與第 3 週期時加入甲基黃酒精溶液，二者產生的變化僅有變色時間的不同，變色頻率與週期數並無太明顯的改變。

六、加入不同濃度的 A、B、C 溶液，反應的結果也有非常明顯的影響。

1. 降低 A 的濃度時，反應的週期數會下降，反應速率也會下降
2. 降低 B 的濃度時，反應的藍色會變淺，藍色變回無色的速率變慢
3. 降低 C 的濃度時，反應的變色會更加不明顯

將來可以由濃度變化求四色振盪的級數。

七、我們發現加入不溶於水的乙酸乙酯、正己烷和乙醚到反應中，藉由溶解反應中的碘分子，產生分層四色的結果，但這也是達成四色振盪的方式。(成果請見研究流程圖)

八、反應時的溫度的越高，反應的速率會越快，但是相反的，但週期數也會有減少，推測是因為溫度高使粒子振盪較劇烈，導致反應速率變快，且促進反應物消耗，使週期數會有變少的趨勢，我們還未確定其原因，希望未來能加以探討。

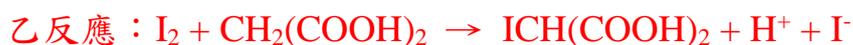
九、而是否攪拌對反應也是有相當明顯的影響，經過多次實驗我們發現，不論在哪種反應，只要經過攪拌，反應速率就會有明顯的上升，但週期數會變少，顏色變化也會變明顯。

十、

反應結束後加入的溶液	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
有無反應	無	無	無	無	無	無	無

我們很好奇，反應結束後，再加入 A 或 B 或 C，3 種反應物，振盪是否能夠重新啟動，結果發現上表所有狀況，均無法使振盪重啟，推測是因為 A、B、C 的反應物已消耗完，不再反應；甚至加入一組新的 A、B、C 三種反應溶液，也不會反應，我們懷疑是酸性太高造成的。

十一、根據參考文獻



一開始碘離子濃度低，碘分子濃度也低，甲、乙兩反應同時進行，分別生成碘離子及碘分子，但甲反應速率快，很快將乙反應生成的碘離子消耗殆盡，並且累積大量碘分子，缺乏碘離子會使甲反應突然停止，而乙反應則持續進行，持續消耗碘分子生成碘離子，直到碘離子濃度上升、碘分子濃度下降到一定程度後，甲反應又重新啟動，碘分子濃度又開始上升，碘離子濃度下降，如此周而復始，直到過氧化氫、碘酸根或丙二酸有一個完全耗盡為止。



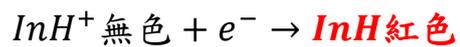
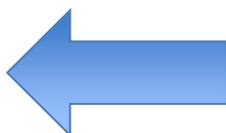
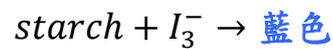
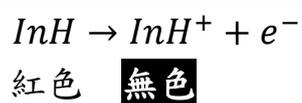
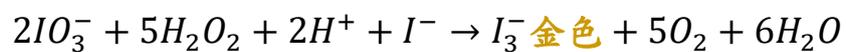
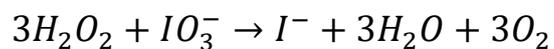
方程式理論上氫離子會有高低起伏的現象，但是我們的實驗結果，並沒有發現酸鹼值有高低起伏的狀況，而是持續有變酸的現象，推論可能是儀器沒有測到酸性振盪，只有測到持續變酸的現象，pH 值由 1.6 降到 1.1。

柒、結論

- 一、在 BR 振盪中，將 A、B、C 溶液混合後不攪拌，在第 1 週期加入 1 滴甲基黃酒精溶液，我們做出了 BR 四色振盪（無→金→藍→紅），且利用酒精能夠讓振盪反應週期數變多的這個特性，讓加入甲基黃會使週期數變少的問題獲得解決。
- 二、我們認為甲基黃參與了氧化還原振盪，由 H_2O_2 及 KIO_3 將酸性的甲基黃氧化，使其由粉紅色變無色；我們還在努力證明， $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 可將氧化態的甲基黃，由無色再變回粉紅色。
- 三、利用 Arduino 可讓我們更了解四色振盪，與反應時的濃度、溫度的關係。

四、藉由加入不溶於水的乙酸乙酯、正己烷和乙醚到反應中，溶解反應中的碘分子，也可產生分層四色的結果。

五、我們推測 BR 四色振盪的反應循環及方程式：



捌、未來展望

- 一、我們成功做到了預期的**四色振盪**，但甲基黃的 pH 值變色範圍落在 2.8~4.0，且粉紅色出現的時機相當短暫且顏色很淡，導致我們不容易觀察其變色的原因是否為**氧化還原振盪**，希望未來能找出原因並嘗試讓粉紅色出現的時間更長、更深。我們希望日後能更進一步找到甲基黃參與振盪的原因。
- 二、希望利用指示劑加上雙層可以找到更多振盪反應控制顏色的變因，讓振盪反應更加繽紛。
- 三、可利用 Arduino 的圖形，進一步求出四色振盪反應的級數。
- 四、運用甲基黃的會氧化還原作為變色主因，促成更多顏色的變化。
- 五、可檢測四色振盪中導電度的變化。
- 六、希望加入鹼性的 NaOH，使四色振盪重啟反應。

玖、參考資料及其他

- 一、碘鐘反應的維基百科

<https://zh.m.wikipedia.org/wiki/%E7%A2%98%E9%92%9F%E5%8F%8D%E5%BA%94>

- 二、第 18 屆旺宏科學獎 善 Bang 的化學鐘—B-R 震盪反應

https://www.mxeduc.org.tw/scienceaward/history/projectDoc/18th/doc/SA18-424_final.pdf

- 三、中華民國第四十七屆中小學科學展覽會 當我們倒在一起--BR 振盪反應的探討

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/47/senior/040207.pdf>

拾、附錄

一、實驗原始數據：

A	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL
甲基黃	無	無	無
顏色	無→金→藍→無 (最終棕)	無→金→藍→無 (最終棕)	無→金→藍→無 (最終棕)
溫度(°C)	20	30	40
週期數	16	9	8
反應速率	40°C > 30°C > 20°C		

A	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪 2 次加 2 滴甲 基黃酒精溶液	振盪 2 次加 2 滴甲 基黃酒精溶液	振盪 2 次加 2 滴甲 基黃酒精溶液
顏色	無→金→藍→粉紅 →無 (最終棕)	無→金→藍→粉紅 →無 (最終棕)	無→金→藍→粉紅 →無 (最終棕)
溫度(°C)	20	30	40
週期數	34	19	16
反應速率	40°C > 30°C > 20°C		

A	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪 2 次加甲基黃 水溶液 2 滴	振盪 2 次加甲基黃 水溶液 2 滴	振盪 2 次加甲基黃 水溶液 2 滴
顏色	無→金→藍→粉紅 →無 (最終棕)	無→金→藍→粉紅 →無 (最終棕)	無→金→藍→粉紅 →無 (最終棕)
溫度(°C)	20	30	40
週期數	9	7	5
反應速率	40°C > 30°C > 20°C		

A	10mL	10mL	10mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	無	無	無	無	無	無
顏色	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)
pH	1.6~1.4	1.8~1.6	1.7~1.6	1.6~1.4	1.6~1.5	1.7
週期數	8	7	9	13	12	11

A	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B	10mL	10mL	10mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	無	無	無	無	無	無
顏色	無→金→ 藍→無 棕(最終)	無→金→ 藍→無 棕(最終)	無→金→ 藍→無 棕(最終)	無→金→ 藍→無 棕(最終)	無→金→ 藍→無 棕(最終)	無→金→ 藍→無 棕(最終)
pH	1.7~1.5	1.8~1.6	1.7~1.6	1.6~1.4	1.6~1.5	1.6
週期數	7	8	8	11	11	12

A	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C	10mL	10mL	10mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	無	無	無	無	無	無
顏色	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)
pH	1.7~1.4	1.9~1.6	1.6	1.6	1.6~1.5	1.6~1.5
週期數	8	8	7	12	11	11

A	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪 2 次 加 1 滴甲 基黃水溶 液	振盪 2 次 加 1 滴甲 基黃水溶 液	振盪 2 次 加 1 滴甲 基黃水溶 液	無	無	無
顏色	無→金→ 藍→紅→ 無	無→金→ 藍→紅→ 無	無→金→ 藍→紅→ 無	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)
pH	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.6	1.6~1.5	1.6~1.5
週期數	14	18	11	12	11	11

(註：第 0 週期時加入甲基黃，不會有四色振盪)

A	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪 0 次加 1 滴甲基 黃水溶 液	振盪 1 次加 1 滴甲基 黃水溶 液	振盪 2 次加 1 滴甲基 黃水溶 液	振盪 3 次加 1 滴甲基 黃水溶 液	振盪 4 次加 1 滴甲基 黃水溶 液	振盪 5 次加 1 滴甲基黃 水溶液
顏色	無→金 →藍 →無	無→金 →藍→ 紅→無	無→金 →藍→ 紅→無	無→金 →藍→ 紅→無	無→金 →藍→ 紅→無	無→金→藍 →紅→無
pH	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.8~1.5	1.5~1.4
週期數	0	14	18	11	14	10

A	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪 2 次加 0 滴 甲基黃酒精溶液	振盪 2 次加 1 滴 甲基黃酒精溶液	振盪 2 次加 2 滴 甲基黃酒精溶液	振盪 2 次加 3 滴 甲基黃酒精溶液
顏色	無→金→藍→無 (最終棕)	無→金→藍→紅→無 (最終棕)	無→金→藍→紅→無 (最終棕)	無→金→藍→(最終紅)
pH	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4
週期數	31	31	34	2

A	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
指示劑	無	甲基黃	甲基紫	DCPIP	DPPH
週期數	17	35	24	16	2
週期	4s	3s 但加入後溶液呈紅色並停止一段時間才繼續反應	3s 且中間有片刻反應暫停	3s	3s 但加入後顏色變化即停止
溫度	25	25	25	25	25
pH 值	1.42 → 1.14	1.45 → 1.16	1.52 → 1.22	1.54 → 1.17	1.48 → 1.22
顏色循環	金→藍→無→金	金→藍→紅→無→金	金→藍→綠(反應暫停)→無→金	金→藍(慢慢漸層)→無→金	金→藍→無→黃
有無攪拌子	無	無	無	無	無

A	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
指示劑	無	甲基黃	甲基紫	DCPIP	DPPH
週期數	13	27	19	12	2
週期	3s	2s 但加入後溶液呈紅色並停止一段時間才繼續反應	2s 且中間有片刻反應暫停	3s	2s 但加入後顏色變化即停止
溫度	25	25	25	25	25
pH 值	1.42 → 1.14	1.45 → 1.16	1.52 → 1.22	1.54 → 1.17	1.48 → 1.22
顏色循環	金→藍→無→金	金→藍→無→金	金→藍→綠(反應暫停)→無→金	金→藍(慢慢漸層)→無→金	金→藍→無→黃
有無攪拌子若有影響為和?	有 反應率變快,且週期數變少	有 反應速率變快,且週期數變少	有 反應速率變快,且週期數變少	有 反應速率變快,且週期數變少	有 反應速率變快,且週期數變少

【評語】 050208

三種溶液混合中的氫離子濃度的振盪變化讓溶液變色。本研究再加入酸鹼指示劑，增加一種顏色變化。然後改變各反應物的濃度，溫度探討是否影響振盪反應之週期數及反應速率。實驗設計有巧思，可加強以下 3 點

1. 為何加甲基黃要說清楚。
2. 多一個顏色有何好處？能知道更多資訊嗎？推論的機制可以設計實驗說明。
3. B - R 振盪反應及產生的顏色變化週期數在背景介紹要說明(過去科展有多件類似作品)。

作品簡報

四色振盪

—當B-R振盪反應遇到指示劑

前言

BR振盪反應中，在配製溶液時需加入硫酸，使溶液呈酸性，又振盪具有**無**、**金**、**藍**三種顏色的變化，我們想利用指示劑在其中多穿插一個顏色，在多次實驗後，我們成功的做到了**四色振盪**（**無**→**金**→**藍**→**紅**），也進一步以濃度、溫度為變因，並且利用Arduino的感光電阻，來客觀檢測顏色變化，檢測四色振盪反應在不同濃度、溫度下的週期與週期數變化。

參考資料一、碘鐘反應的維基百科

<https://zh.m.wikipedia.org/wiki/%E7%A2%98%E9%92%9F%E5%8F%8D%E5%BA%94>

方法

- 一、A溶液: $H_2O_{2(aq)}$ 3.6M
- 二、B溶液: $CH_2(COOH)_2$ 0.15M、 $MnSO_4$ 0.02M、可溶性澱粉0.03%
- 三、C溶液: KIO_3 0.20M、 H_2SO_4 0.08M
- 四、三組溶液以等體積混合在錐形瓶中，形成振盪反應
- 五、加入指示劑
- 六、利用Arduino測得溶液透光度趨勢
- 七、改變濃度、溫度等變因並加以觀察

參考資料三、中華民國第四十七屆中小學科學展覽會 當我們倒在一起--BR 振盪反應的探討

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/47/senior/040207.pdf>

下圖為Arduino的自製器材
使用時會關閉箱子遮光



結果和討論

一、加入甲基黃：

這個實驗最主要是要藉由pH值與指示劑，來測試能否讓振盪反應多1個顏色，由上表我們發現如果加入**甲基黃**，那麼反應中的確會多出1個顏色~**粉紅色**，但是週期數會有變少的趨勢。

A	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪2次加1滴 甲基黃酒精溶 液	振盪2次加1滴 甲基黃酒精溶 液	振盪2次加1滴 甲基黃酒精溶 液	無	無	無
顏色	無→金→藍→ 紅 →無	無→金→藍→ 紅 →無	無→金→藍→ 紅 →無	無→金→藍→ 無(最終棕)	無→金→藍→ 無(最終棕)	無→金→藍→ 無(最終棕)
pH	1.5 ~ 1.4	1.5 ~ 1.4	1.5 ~ 1.4	1.6	1.6 ~ 1.5	1.6 ~ 1.5
週期數	14	18	11	12	11	11

二、不同週期數時加入甲基黃：

我們想探討在不同的週期數加入甲基黃對總反應結果是否會造成影響，但由實驗可推論，在不同週期數加入甲基黃對整體反應沒有太大的影響。

(註：第0週期時加入甲基黃，不會有四色振盪)

A	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪0次加1滴 甲基黃水溶液	振盪1次加1滴 甲基黃水溶液	振盪2次加1滴 甲基黃水溶液	振盪3次加1滴 甲基黃水溶液	振盪4次加1滴 甲基黃水溶液	振盪5次加1滴 甲基黃水溶液
顏色	無→金→藍 →無	無→金→藍→ 紅→無	無→金→藍→ 紅→無	無→金→藍→ 紅→無	無→金→藍→ 紅→無	無→金→藍→ 紅→無
pH	1.5 ~ 1.4	1.5 ~ 1.4	1.5 ~ 1.4	1.5 ~ 1.4	1.8 ~ 1.5	1.5 ~ 1.4
週期數	0	14	18	11	14	10

三、不同滴數的甲基黃：

關於甲基黃酒精溶液的濃度和滴數了，我們最後實驗出最適合的濃度是0.0005M一滴，這樣的實驗結果將會讓變色最明顯且不至於停止振盪反應，而且週期數也夠多次，最方便觀察。

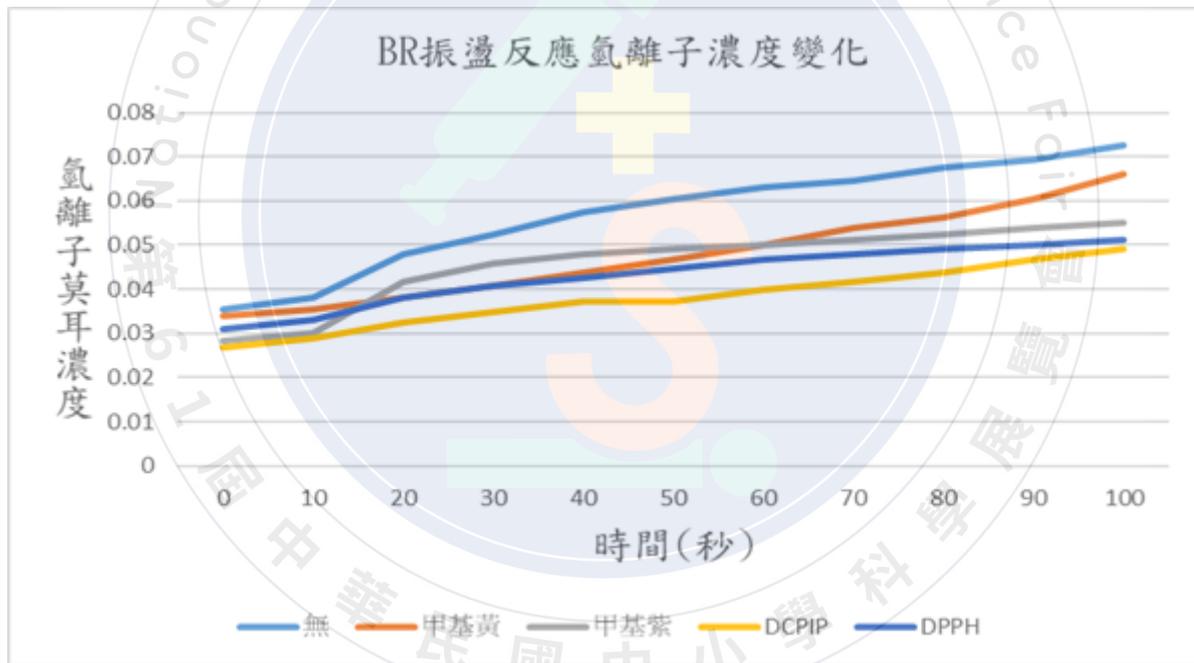
參考資料二、第18屆旺宏科學獎 善Bang 的化學鐘—B-R 震盪反應

https://www.mxeduc.org.tw/scienceaward/history/projectDoc/18th/doc/SA18-424_final.pdf

A	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪2次加0滴甲基黃酒精溶液	振盪2次加1滴甲基黃酒精溶液	振盪2次加2滴甲基黃酒精溶液	振盪2次加3滴甲基黃酒精溶液
顏色	無→金→藍→無 (最終棕)	無→金→藍→紅→ 無(最終棕)	無→金→藍→紅→ 無(最終棕)	無→金→藍→ (最終紅)
pH	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4
週期數	31	31	34	2

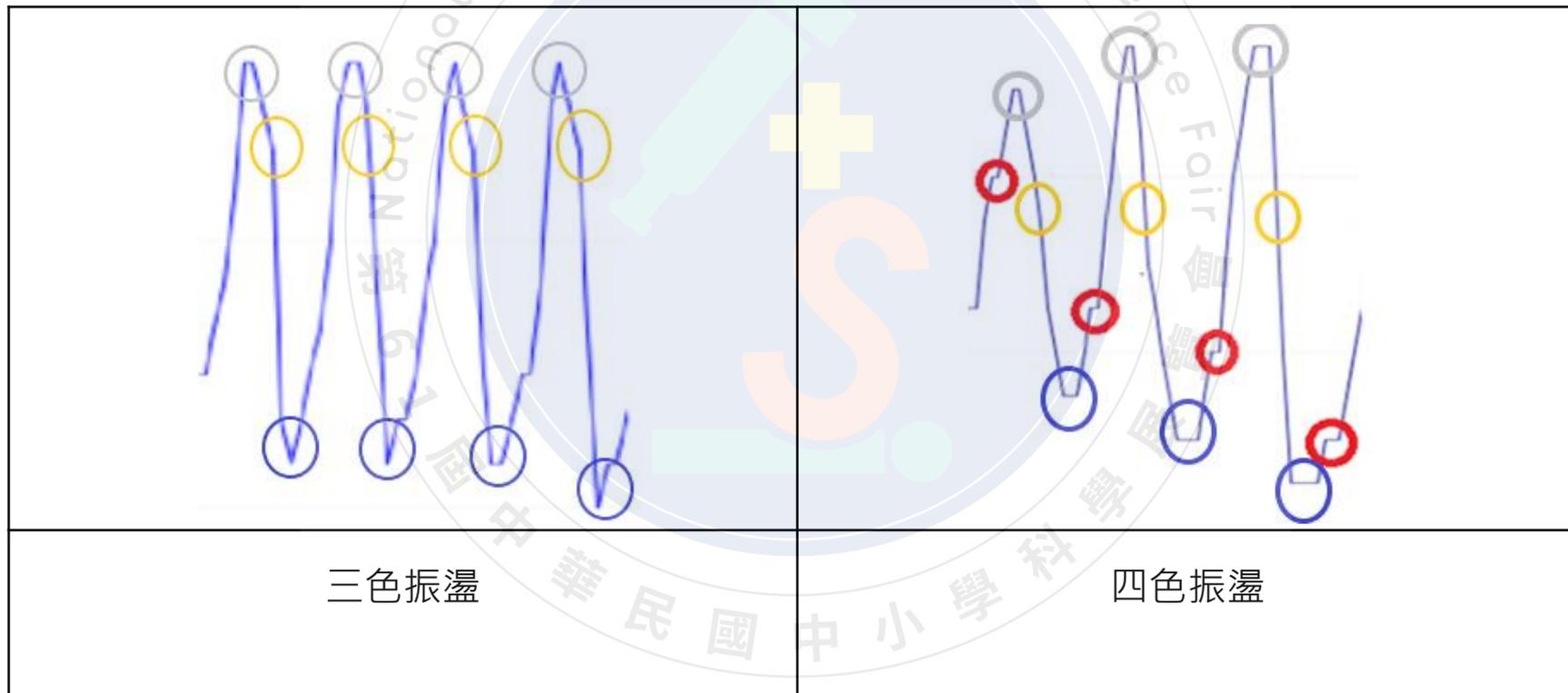
四、振盪反應時的pH值及氫離子濃度：

反應中的pH值也相當重要，我們一開始就是針對pH值來構想這個實驗，不管是否加甲基黃，實驗發現反應中的pH值大約都落在1.6~1.1，氫離子濃度大約都落在0.03~0.07左右，且呈現持續變更酸性的趨勢，而根據總反應方程式，氫離子應該會被消耗，與實驗結果不合，依公式推測為雙氧水或碘化鉀氧化分解造成。



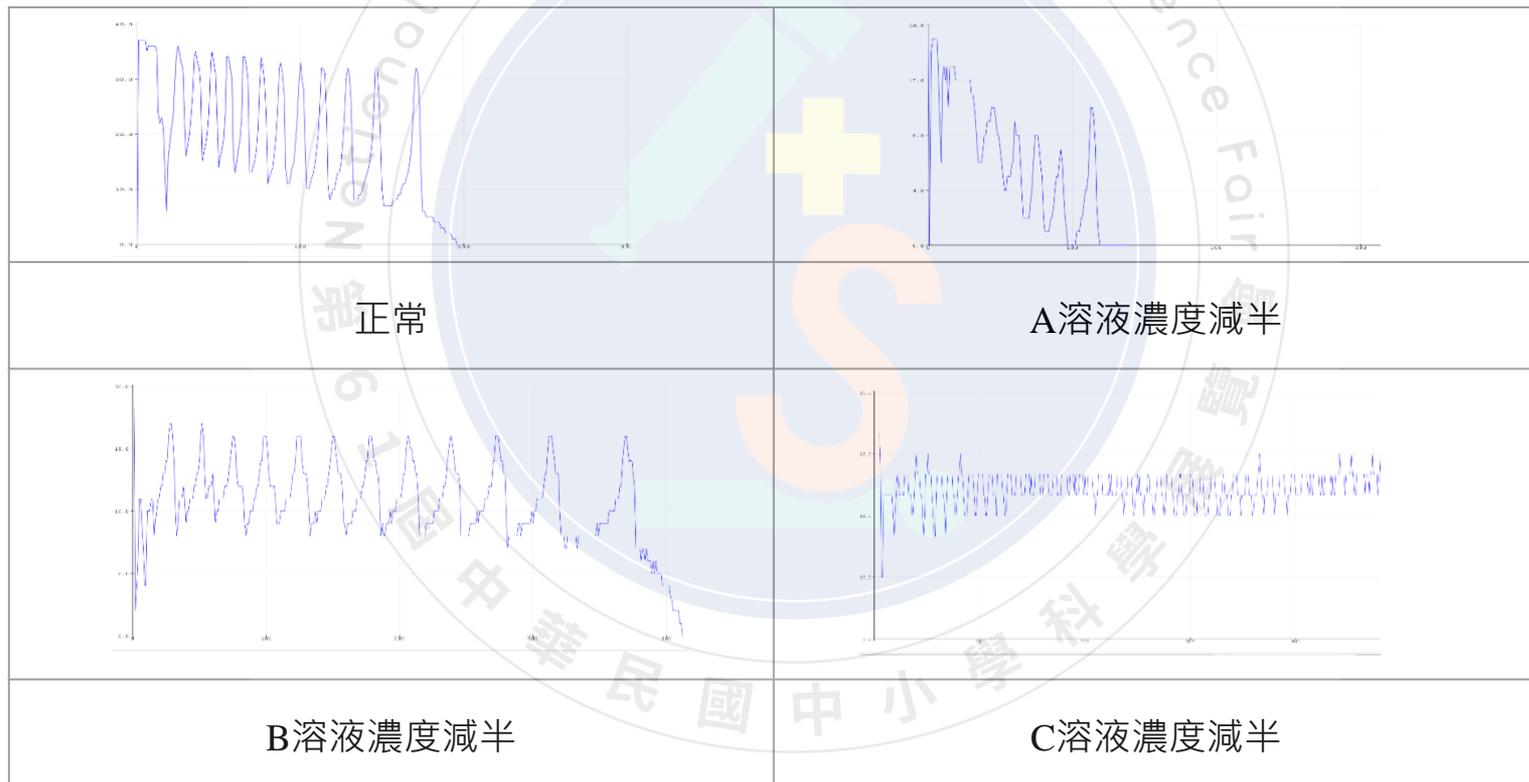
五、振盪反應時的Arduino波形分析：

下二圖是取自三色振盪和四色振盪中的部分Arduino的波形，放大加以比對二者區別，由此二圖可以發現四色振盪明顯多了一個鋸齒狀(紅色圈的部分)，因此我們研判此鋸齒狀為紅色，但實際操作時因紅色較不明顯，所以較難觀察到，但利用Arduino可以明顯觀察到此處。



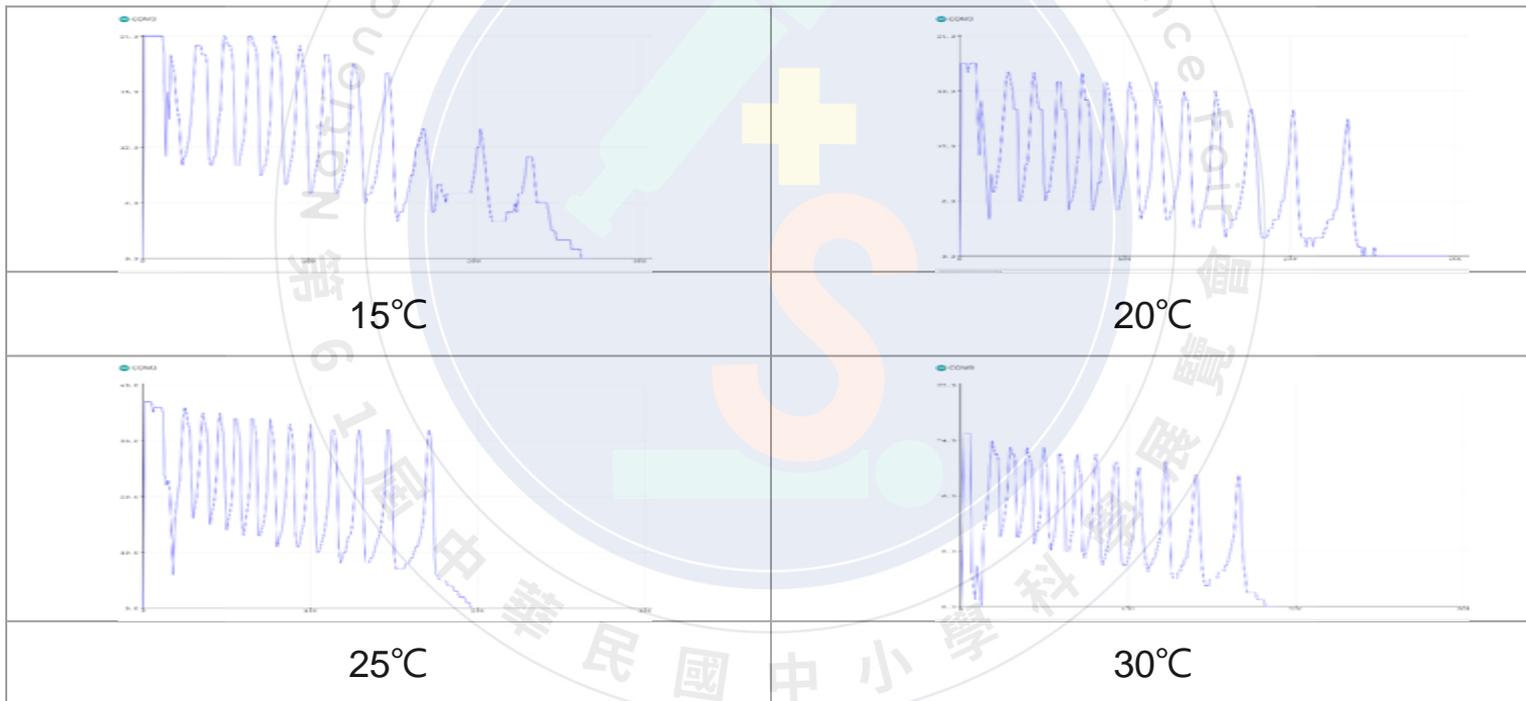
六、不同濃度的反應物：

改變不同濃度的A、B、C溶液時，對反應的結果有明顯影響：降低A的濃度時，反應的週期數會下降，反應速率也會下降；降低B的濃度時，反應的藍色會變淺，藍色變回無色的速率變慢；降低C的濃度時，反應的變色會更加不明顯。將來可以由濃度變化求四色振盪的級數。



七、不同溫度：

不同溫度時，各實驗的週期及顏色趨勢相近，溫度愈高，振盪反應的週期較快、週期數較多，總反應的時間也較短，而顏色無明顯差異，推測是因為溫度高使粒子振盪較劇烈，導致反應速率變快；且促使反應物消耗，使週期數會有變少的趨勢。



結論

一、在BR振盪中，將A、B、C溶液混合後不攪拌，在第2週期加入1滴甲基黃酒精溶液，我們做出了BR四色振盪（無→金→藍→紅），且利用酒精能夠讓振盪反應週期數變多的這個特性，讓加入甲基黃會使週期數變少的問題獲得解決。

二、我們認為甲基黃參與了氧化還原振盪，因為 H_2O_2 或 KIO_3 將酸性的甲基黃氧化，使其由粉紅色變無色；我們還在努力證明， $CH_2(COOH)_2$ 可將被氧化的甲基黃，由無色再還原回粉紅色。

三、利用Arduino可讓我們更了解四色振盪，與反應時的濃度、溫度的關係。

四、藉由加入不溶於水的乙酸乙酯、正己烷和乙醚到反應中，溶解反應中的碘分子，也可產生分層四色的結果。



五、我們推測BR四色振盪的反應循環及方程式

