

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

第三名

031633

探討「化學鐘擺」週期變化之變因

學校名稱：臺北縣立錦和高級中學

作者： 國二 高薇雯 國二 劉淑慧	指導老師： 楊鵬耀 李志鴻
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞： 反應速率、化學振盪、碘鐘反應

摘要：

蒐集科展資料時，發現化學鐘擺很有趣，反應過程溶液顏色會有規律變化，引發我們想做做看，並瞭解其中各反應物的角色，同時也研究反應物加入順序、濃度及溫度變化等因素對反應週期的影響。

我們先以眼睛及碼錶，觀察並記錄顏色變化週期，發現不易測量精確的週期。後改用 LED 光源通過反應溶液後照射在光敏電阻，同時將光敏電阻串聯電池及數位安培計，藉著溶液顏色變化，透過光線的強弱來改變光敏電阻大小而影響通過安培計電流大小，來測量反應週期，結果也因人無法即時記錄而效果不佳。

最後，改用光敏電阻串聯另一電阻與電源接成一通路，以示波器測量光敏電阻所分得之分電壓大小隨溶液顏色變化而改變之情形，來測量反應週期，發現較能精確測量反應的週期。

壹、 實驗動機：

在尋找科展題目時，在網路上找到一個有趣的實驗「化學燈塔」(參考資料一)，在化學藥品反應時，用肉眼觀察就會有規律性的變化。我們改變反應物的濃度，來觀察反應速率變化的規律性。而這個部分正好與我們在國二下學期所學到的反應平衡的內容有關，而在蒐集相關文獻後，我們決定針對反應物的濃度與溫度，來探討是否會影響振盪週期的變化，並展開了一系列的實驗。

貳、 實驗目的：

原本化學鐘擺的相關實驗是利用肉眼結合計時器及攝影器材來判斷顏色變化的時間來決定週期，可是我們認為不夠穩定，所以我們利用光通過有顏色的溶液後，會使通過光線的量改變，使得通過光敏電阻上的電流或電壓大小也發生改變，以此來增加測量反應週期的準確性，以便探討反應速率。

參、 相關文獻實驗的驗證及實驗原理：

一、 驗證：

重複文獻上「碘鐘—化學鐘擺」實驗(參考資料二)：

配製下面的 ABC 三瓶溶液，並取等量同時加入：

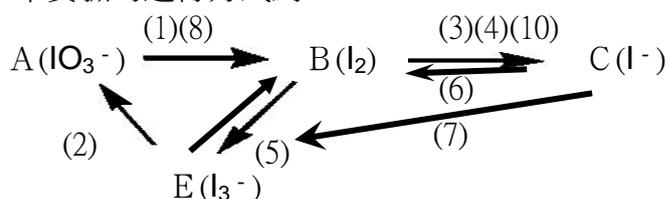
A · 102.5ml、30%的雙氧水溶液稀釋至 250ml

B · 10.7g KIO_3 加 10ml、2mol/L 的硫酸，稀釋至 250ml

C · 取 0.075g 澱粉溶於少量熱水並加 3.9g 丙二酸和 0.845g 硫酸錳稀釋至 250ml

目測的觀察結果，顏色呈「無色」、「黃褐色」、「藍色」的週期變化，如同文獻資料的呈現，並利用碼錶來記錄週期，此時週期約為 6 秒。

根據本實驗的主要反應物為 H_2O_2 、 KIO_3 、 H_2SO_4 中的 H^+ ，而 MnSO_4 的 Mn^{2+} 為催化劑， $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 為消耗 I_2 的量，而澱粉為 I_2 的指示劑！因此我們推想反應通式，在本實驗的進行方式為：



肆、 實驗設計

一、實驗器材及藥品：

實驗器材	廠牌型號	數量	實驗藥品	廠牌型號	純度	數量
示波器	HAMEGHM407	1	雙氧水	OSAKA 島久 試藥級 500mL	35%	3
LED 光源	白	3V	碘酸鉀	OSAKA 島久 試藥級	99%	1
	藍	3V				
	黃	3V				
光敏電阻	光電阻為 540Ω 暗電阻為 1.56MΩ	3	丙二酸	日本試藥工 業株式會社 試藥級	99%	1
電阻	7.43kΩ	2	硫酸	OSAKA 島久 試藥級	99%	1
數位式三用 電表	TES 2201 multimeter	1	硫酸錳(II)	OSAKA 島久 試藥級	99%	1
毫安計	EVER GREEN	1	澱粉	OSAKA 島久 試藥級	99%	1
定量瓶	100、250、500 毫升	數個	訊號傳輸線	RS232 連接 USB		1
線材	同軸電纜 附鱷魚夾	2				

二、實驗裝置及設計：

(一) 目測法：用眼睛直接觀察反應的顏色變化及以碼錶記錄週期變化。

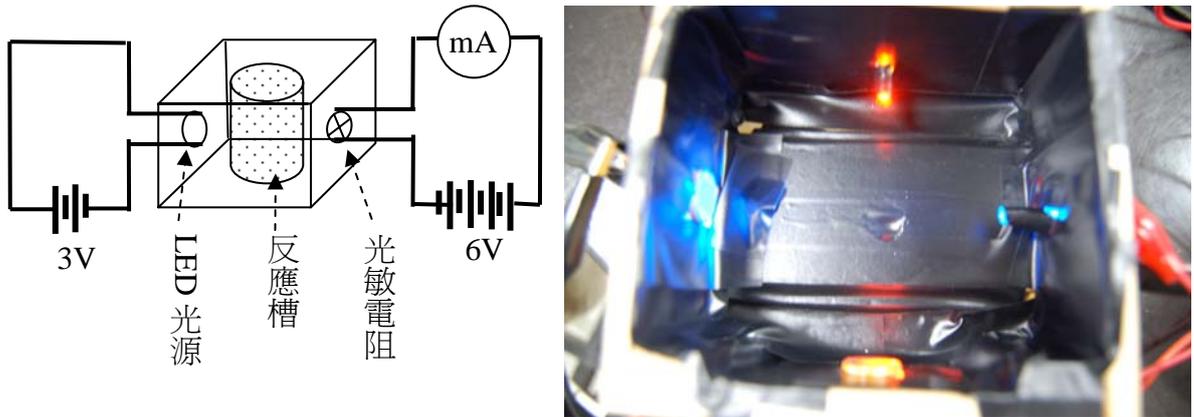
(二) 色光的選擇：

1. 本實驗的顏色變化為「無色」、「黃褐色」、「藍色」，因此考慮 LED 的光源顏色，以「白光」、「黃光」、「藍光」來測試。
2. 原本期待黃光、藍光通過反應槽後，使效果能明顯區分出「黃褐色」、「藍色」的出現時間，但只有藍光能符合期待，因此我們選擇亮度較強的白光 LED 燈來

取代黃光 LED 燈，以白光 LED 燈、藍光 LED 燈作為通過反應槽的光源，供電電壓固定為 3V。

(三) 設計實驗裝置 (1)：

1. 利用毫安計來觀察光敏電阻兩端電流的改變，指針偏轉太快，不易同時記錄電流及時間。
2. 改用數位式三用電表來測量通過光敏電阻的電流大小之變化，較易觀察電流值，但跳動的速率仍是不易觀察！
3. 如圖所示：

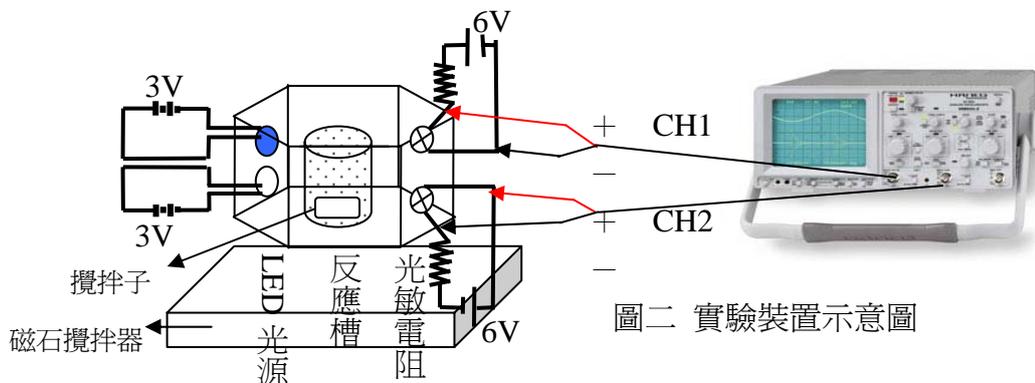


圖一 初步裝置示意圖及實際圖

4. 光通過量多(少)時，光敏電阻值變小(大)，則通過光敏電阻的電流變大(小)。

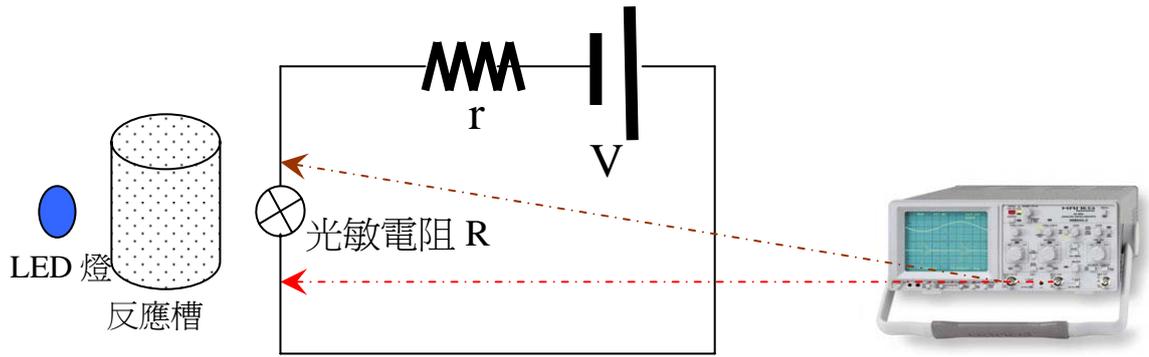
(四) 設計實驗裝置 (2)：利用示波器和電腦記錄來測量光敏電阻兩端的電壓大小之變化

1. 化學振盪的反應會使溶液的顏色呈現多色變化，若能利用透光程度的不同，就能觀察出顏色變化的週期！
2. 利用 LED 燈通過反應槽後，使受光照射之光敏電阻值產生變化，造成光敏電阻兩端電壓改變！
3. 利用廢棄共鳴箱，裁成正六角形，提供反應槽及 LED 燈、光敏電阻的反應暗室，以減少外來光源影響光敏電阻的穩定性！



圖二 實驗裝置示意圖

4. 光敏電阻端的電路示意圖



圖三 光敏電阻端的電路與示波器連接示意圖

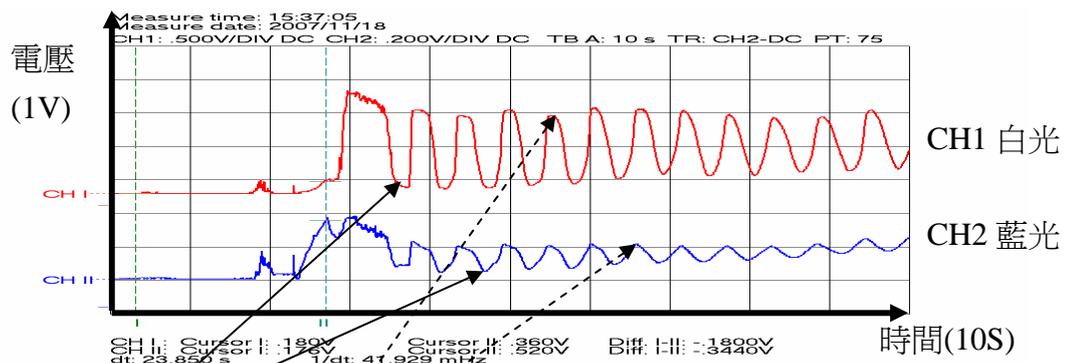
由歐姆定律： $V = I \times (r + R) \rightarrow I = \frac{V}{r + R}$ ，

故光敏電阻兩端的電壓 $V_R = \frac{V}{r + R} \times R = \frac{R}{r + R} \times V$ r 為串聯電阻 ($7.43k\Omega$)

當 LED 光線通過溶液，照在光敏電阻上的光強度改變，使得光敏電阻值 R 發生變化，光敏電阻兩端之電壓也隨之改變。

若不串聯電阻 r ，則光敏電阻兩端之電壓均為外接電源之電壓，而無法測出溶液對應之顏色變化。

5. 利用磁石攪拌器及控制轉速，轉速設定為 7。

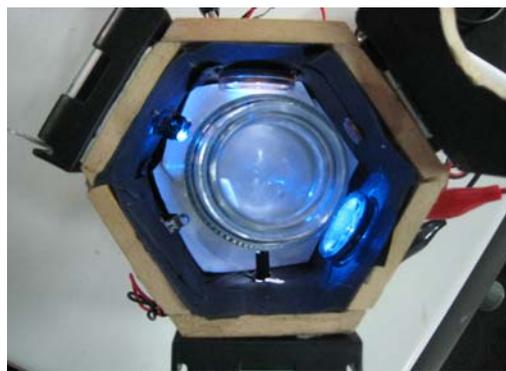


- 光線通過量多，光敏電阻變小，兩端分配到的電壓變小
- 光線通過量少，光敏電阻變大，兩端分配到的電壓變大

圖四示波器訊號與反應槽顏色變化判斷對照圖



裝置俯視圖



反應槽反應

圖五 反應槽實際操作俯視圖

6. 利用示波器來觀察光敏電阻兩端電壓的改變，
光敏電阻的光電阻為 540Ω ，暗電阻為 $1.56M\Omega$ ；搭配的另一顆固定電阻為 $7.43k\Omega$ 。

三、藥品調劑：

- 文獻資料與驗證實驗階段自配濃度：

表一 文獻資料與驗證實驗階段自配濃度一覽表

序號	各藥品的濃度	文獻資料		自配量		
		原始 M	混合瞬間 M			6 合 1
A	[H_2O_2]	$1.0129/0.25$ $=4.0516$	1.351	取 388.6 克(35%) H_2O_2 配成 500ml 體積莫耳濃度=8M ($d = 1.136 g/cm^3$)	8M	1.948
B1	[KIO_3]	$0.05/0.25$ $=0.2$	0.067	74.9 克配 1000ml($37.5g > 0.5L$) ($74.9/214$)/1=0.35M	0.35M	0.058
B2	[H^+]	$0.04/0.25$ $=0.16$	0.053	12.3 克配 1000ml ($12.3/98$)*2/1=0.25M	0.25M	0.0416
C1	[Mn^{2+}]	$0.005/0.25$ $=0.02$	0.0067	5.1 克配 1000ml($2.5g > 0.5L$) ($5.1/169$)/1=0.03M	0.03M	0.005
C2	[$CH_2(COOH)_2$]	$0.0375/0.25$ $=0.15$	0.050	26 克配 1000ml ($26/104$)/1=0.25M	0.25M	0.0416
C3	[澱粉]	$0.075 克/0.25$ $=0.3 克/1 升$	0.1 克/升	6 克配 1000ml ($6/1$)=6 克/1 升	6 克/L	0.13

- 自定溶液的配法：自定甲的部份與驗證實驗階段的自配部分儘可能的接近，自定乙、丙為往下稀釋的濃度。

表二 自定溶液的配法一覽表

序號	各藥品的 濃度	自定甲		自定乙		自定丙	
		原始 M	混合 M	原始 M	混合 M	原始 M	混合 M
A	【H ₂ O ₂ 】	8	取母液 10mL 1.33	5.6	取母液 7mL+3mL 0.93	6.8	取母液 8.5mL+1.5mL 1.13
B1	【KIO ₃ 】	0.35	取母液 10mL 0.058	0.25	取母液 7mL+3mL 0.046	0.28	取母液 8.5mL+1.5mL 0.056
B2	【H ⁺ 】	0.25	取母液 10mL 0.042	0.175	取母液 7mL+3mL 0.029	0.2125	取母液 8.5mL+1.5mL 0.0354
C1	【Mn ²⁺ 】	0.03	取母液 10mL 0.005	0.02	取母液 7mL+3mL 0.025	0.0225	取母液 8.5mL+1.5mL 0.0425
C2	【CH ₂ (COOH) ₂ 】	0.25	取母液 10mL 0.042	0.175	取母液 7mL+3mL 0.033	0.2125	取母液 8.5mL+1.5mL 0.0354
C3	【澱粉】	0.8	取母液 10mL 0.13	0.56	取母液 7mL+3mL 0.093	0.68	取母液 8.5mL+1.5mL 0.113

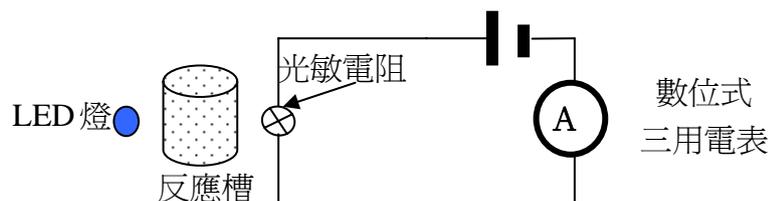
**註：6 杯混合後，M 為 1 / 6

伍、 實驗步驟：

一、確認反應物的角色：把 A.B.C 分成六杯，分別為 A→B1→B2→C1→C2→C3 各藥品在實驗中的地位

- (一) 藥品全加：所有藥品同時倒入，再以照相機錄影。
- (二) 不加 H₂O₂：除 H₂O₂ 外，所有藥品同時倒入，再以照相機攝影。
- (三) 不加 KIO₃：除 KIO₃ 外，所有藥品同時倒入，再以照相機攝影。
- (四) 不加 H⁺：除硫酸外，所有藥品同時倒入，再以照相機攝影。
- (五) 不加 CH₂(COOH)₂：除 CH₂(COOH)₂ 外，所有藥品同時倒入，再以照相機攝影。
- (六) 不加 Mn²⁺：除硫酸錳外，所有藥品同時倒入，再以照相機攝影。
- (七) 不加澱粉：除澱粉外，所有藥品同時倒入，再以照相機攝影。
- (八) 不加 Mn²⁺、不加 CH₂(COOH)₂：其餘藥品同時倒入，另加 10c.c.的水，以碼表計時，再以照相機攝影。
- (九) 不加澱粉、不加 CH₂(COOH)₂：其餘藥品同時倒入，另加 10 c.c.的水，以碼表計時，再以照相機攝影。
- (十) 不加澱粉、不加 Mn²⁺：其餘藥品同時倒入，另加 10 c.c.的水，以碼表計時，再以照相機攝影。

二、利用數位式三用電表來測量在光敏電阻的電流大小之變化



圖六 光通過反應槽與光敏電阻與安培計電路示意圖

三、A、B(含 B1、B2)、C(含 C1、C2、C3)倒入反應槽順序改變時，觀察記錄週期及顏色變化，了解反應物加入順序改變對震盪週期之影響：

- (一) AB 混合後，不間隔倒入 C。
- (二) AB 混合後，20 秒後倒入 C。
- (三) AB 混合後，10 秒後倒入 C。
- (四) AB 混合後，20 秒後倒入 C。
- (五) AC 混合後，不間隔到入 B。
- (六) AC 混合後，10 秒後倒入 B。
- (七) AC 混合後，20 秒後倒入 B。
- (八) BC 混合後，不間隔倒入 A。
- (九) BC 混合後，10 秒後倒入 A。
- (十) BC 混合後，20 秒後倒入 A。

四、改變催化劑 Mn^{2+} 加入參與反應的時間，觀察記錄週期及顏色變化，了解催化劑 Mn^{2+} 加入參與反應的時間對震盪週期之影響：

- (一) 在A、B、C混合後， Mn^{2+} 直接加入不間隔。
- (二) 在A、B、C混合(不含 Mn^{2+})後， Mn^{2+} 隔 30 秒後加入。
- (三) 在A、B、C混合(不含 Mn^{2+})後， Mn^{2+} 隔 60 秒後加入。
- (四) 在A、B、C混合(不含 Mn^{2+})後， Mn^{2+} 隔 120 秒後加入。

五、改變反應之溫度，並觀察記錄溫度、週期及顏色變化，了解溫度對震盪週期之影響：

- (一) 常溫：先以溫度計測量溶液溫度，再依序將藥品倒入反應槽。
- (二) 低溫：以溫度計及各試劑，以冷水浴約 20 分鐘後，依序將藥品倒入反應槽。
- (三) 較高溫：以溫度計及各試劑，以溫水浴約 20 分鐘後，依序將藥品倒入反應槽。

六、反應速率及各反應濃度的關係，利用控制變因法，即操作某一物質濃度時，其他物質濃度為控制變因(如表三的濃度表示)：

- 一、 自定甲(編號 x-1)的濃度為基準，持續記錄電壓變化週期約 3 分鐘，重覆 3 次。
- 二、 改變 $[H_2O_2]$ 為自定乙(編號 x-2)的濃度，其他維持自定甲時濃度，持續記錄電壓變化週期後，再改變 $[H_2O_2]$ 為自定丙(編號 x-3)的濃度，其他維持自定甲時濃度，持續記錄電壓變化週期。
- 三、 倒入方法：
 - (1)C1、C2、C3 先倒入槽內。
 - (2)放入磁石攪拌器，並讓磁石攪拌器持續攪拌(轉速定為 7)
 - (3)將 B1、B2 加在一起後，將 B 液倒入已置有 C 液的反應槽。
 - (4)最後將 A 倒入槽內。

- 四、 承一，改變 $[KIO_3]$ 為自定乙的濃度，其他維持自定甲時濃度，記錄電壓變化後，再改變 $[KIO_3]$ 為自定丙的濃度，其他維持自定甲時濃度，記錄電壓變化。
- 五、 承一，改變 $[H^+]$ 為自定乙的濃度，其他維持自定甲時濃度，記錄電壓變化後，再改變 $[H^+]$ 為自定丙的濃度，其他維持自定甲時濃度，記錄電壓變化。
- 六、 承一，改變 $[Mn^{2+}]$ 為自定乙的濃度，其他維持自定甲時濃度，記錄電壓變化後，再改變 $[Mn^{2+}]$ 為自定丙的濃度，其他維持自定甲時濃度，記錄電壓變化。
- 七、 承一，改變 $[CH_2(COOH)_2]$ 為自定乙的濃度，其他維持自定甲時濃度，記錄電壓變化

表三 各組編號與反應濃度一覽表

各藥品 濃度 操作 變因	操作 $[H_2O_2]$			操作 $[KIO_3]$			操作 $[H^+]$		
	實驗編號	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2
$[H_2O_2]$	1.33	0.93	1.13	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
$[KIO_3]$	0.067	0.067	0.067	0.067	0.046	0.056	0.067	0.067	0.067
$[H^+]$	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.029	0.0354
$[Mn^{2+}]$	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
$[CH_2(COOH)_2]$	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042
【澱粉】	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13

各藥品 濃度 操作 變因	操作 $[Mn^{2+}]$			操作 $[CH_2(COOH)_2]$			操作 [澱粉]		
	實驗編號	4-1	4-2	4-3	5-1	5-2	5-3	6-1	6-2
$[H_2O_2]$	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
$[KIO_3]$	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067
$[H^+]$	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042
$[Mn^{2+}]$	0.005	0.025	0.0425	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
$[CH_2(COOH)_2]$	0.042	0.042	0.042	0.042	0.033	0.0354	0.042	0.042	0.042
【澱粉】	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.93	0.113

七、可產生化學震盪時，各反應物的最低濃度

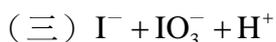
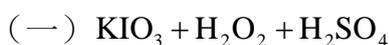
- (一) 固定 KIO_3 、 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 、 H^+ 、 Mn^{2+} 及澱粉的莫耳數，減少參與反應的 H_2O_2 的莫耳數，求出可發生反應時所需 H_2O_2 最低濃度。
- (二) 固定 H_2O_2 、 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 、 H^+ 、 Mn^{2+} 及澱粉的莫耳數，減少參與反應的 KIO_3 的莫耳數，求出可發生反應時所需 KIO_3 最低濃度。
- (三) 固定 H_2O_2 、 KIO_3 、 H^+ 、 Mn^{2+} 及澱粉的莫耳數，減少參與反應的 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 的莫耳數，求出可發生反應時所需 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 最低濃度。

八、攪拌對震盪反應之影響：比較是否攪拌溶液對此反應之影響。

九、光對化學震盪之影響

以 LED 燈射出之白光照射反應中的溶液，觀察反應受光線之影響。

十、文獻反應步驟的確認



陸、 實驗記錄：

一、確認反應物的角色：把 A.B.C 分成六杯，分別為 A、B1、B2、C1、C2、C3，所得各藥品在震盪反應的地位

- (一) 藥品全加：隨即顏色產生變化為「無色」→「黃褐色」→「藍色」→「無色」→...，呈現多次振盪反應。
- (二) 不加 H_2O_2 ：顏色維持「無色」，無振盪反應，因此 H_2O_2 的角色應為「反應物」。
- (三) 不加 KIO_3 ：顏色維持「無色」，無振盪反應，因此 KIO_3 的角色應為「反應物」。
- (四) 不加 H^+ ：顏色維持「無色」，無振盪反應，因此 H^+ 的角色應為「反應物」。
- (五) 不加 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ ：顏色變化為「無色」→「黃褐色」→「深藍色」→「藍紫色」即結束反應，沒有振盪反應，有紫色固體產生，應為 I_2 ，因此 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 的角色應為消耗 I_2 的「反應物」。
- (六) 不加 Mn^{2+} ：顏色不產生變化，且反應會有氣泡產生，並無呈現振盪反應。
- (七) 不加澱粉：隨即顏色產生變化為「無色」→「黃褐色」→「深褐色」→「無色」→...，呈現振盪反應，其中藍色並未出現，因此澱粉的角色為「指示劑」。
- (八) Mn^{2+} 及 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 均不加入，其餘藥品同時倒入：顏色不產生變化，且反應會有氣泡產生，並無呈現振盪反應。

(九) 不加澱粉、不加 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ ，其餘藥品同時倒入：顏色產生變化為「無色」→20秒後「黃褐色」→2分鐘後「茶褐色」→5分鐘後「深茶褐色」並維持，後加入澱粉後隨即呈現藍黑色。而茶褐色應為碘三離子(I_3^-)的顏色，因此澱粉的角色可確認為「指示劑」，而 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 的角色可確認為消耗 I_2 的「反應物」。



最初 20 秒

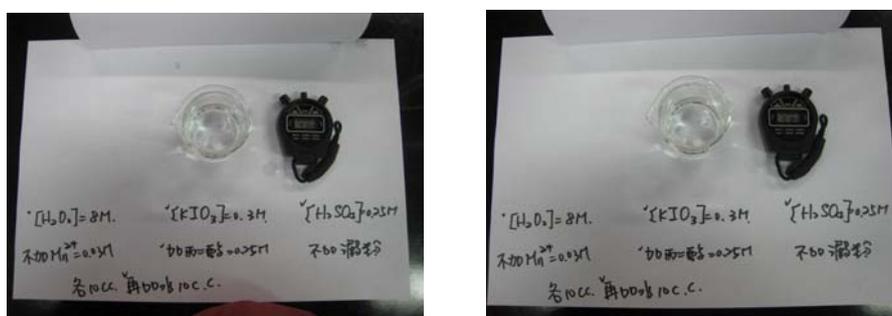
5 分後

最終 30 分

(左側試管為抽出物加入澱粉液)

圖七 不加 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 澱粉

(十) 不加澱粉、不加 Mn^{2+} ，其餘藥品同時倒入：不反應。

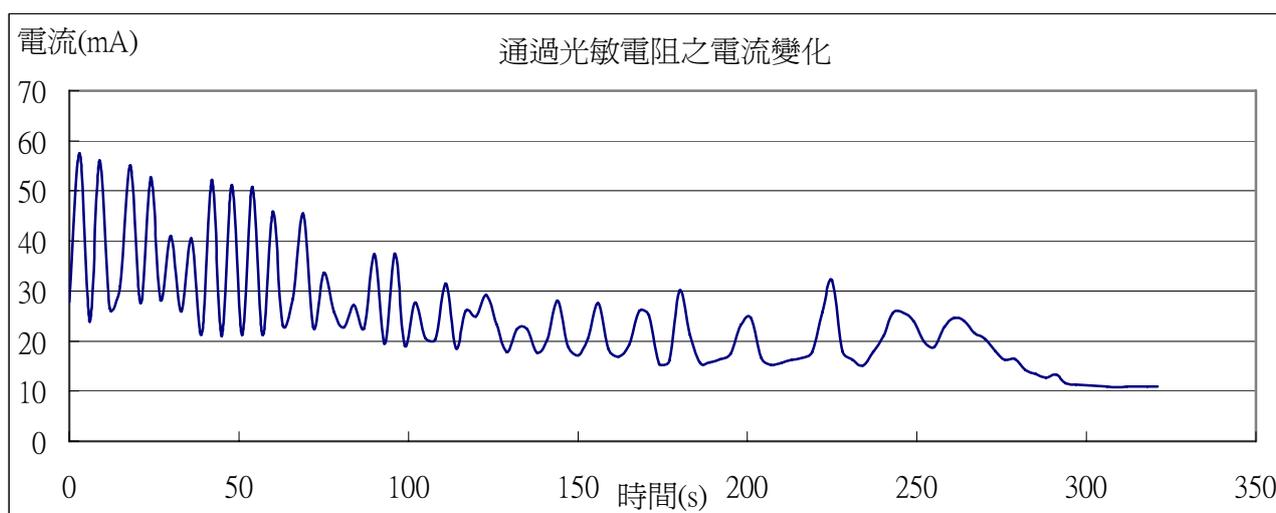


最初

最終

圖八 不加 Mn^{2+} 與澱粉

二、利用數位式三用電表來測量通過光敏電阻的電流大小之變化



圖九 通過光敏電阻的電流訊號圖

圖九為每隔三秒記錄一次數位式三用電表的電流值，可以觀察出有週期性的電流變化，第一週期為 6 秒，第二週期為 9 秒，第三週期為 6 秒，第四週期為 6 秒，在第一分鐘內，除了第二週期之外，大致上都為 6 秒！1 分鐘之後，電流值較低，是因為有顏色的生成物增加，溶液顏色變深，遮去較多光線，使光敏電阻的電阻增加，因此通過光敏電阻的電流也變小！

三、反應槽中 A、B(含 B1、B2)、C(含 C1、C2、C3)倒入順序改變

表四倒入順序的改變與週期的變化

日期：	2008/1/24	time base	10 秒	註：	B1+B2 先混合為 B、C1+C2 先混合為 C
內容：	加入順序的影響	五合一		註：	A=雙氧水原=8M、B=[IO ₃ ⁻]原=0.3M、B=硫酸=0.25M、C=Mn ²⁺ =0.03M、C[丙二酸]原=0.25M、澱=0.6g/L
水溫：	16.5	°C		註：	週期取「藍」光的 sensor 為主

實驗	加入順序	T 靜	T1	T2	T3	T4	T5	平均	目測觀察結果 與示波器曲線結合
4-1	A+B(1) → C	1	18.15	15.20	14.95	13.25	13.50	15.01	先黃>藍>透明>黃>藍...，最低點透明、開始往上爬黃色、最高點藍色，最後藍色
4-2	A+B(10) → C	10.6	18.4	15.25	14.35	13.55	12.9	14.89	同上
4-3	A+B(20) → C	21.3	19.3	16.7	15.5	14.65	13.5	15.92	同上
4-4	A+C(1) → B	1	19.6	16.1	15.25	14.65	13.8	15.87	同上
4-5	A+C(10) → B	10.1	19	16.95	14.95	14.65	13.5	15.80	同上
4-6	A+C(20) → B	20.1	17.8	15.25	14.1	13.5	12.95	14.72	同上
4-7	B+C(1) → A	1	18.1	15.2	14.1	13.55	12.9	14.77	同上
4-8	B+C(10) → A	10.4	18.4	15.5	14.1	13.2	12.65	14.77	同上
4-9	B+C(20) → A	20.7	18.1	15.25	14.05	13.55	12.9	14.77	同上

由上表四可以發現先將 B 與 C 組溶液加入後，再加入 A 組的影響最小！因此，我們將採取這種方式來將溶液加入至反應槽！

四、催化劑 Mn^{2+} 所加入參與反應的時間是否會影響振盪週期的改變：

表五加入 Mn^{2+} 的時間間隔與週期的變化

日期：2008/1/28 time base 10 秒 註： B1+B2 先混合為 B、C1+C2 先混合為 C
 內容：加硫酸錳時間差的影響 五合一 註： A=雙氧水原=8M、B= $[IO_3^-]$ 原=0.3M、B=硫酸=0.25M、
 C= Mn^{2+} =0.03M、C[丙二酸]原=0.25M、澱=0.6g/L
 水溫：16 °C 註：週期取「藍」光的 sensor 為主

實驗	T 間隔	T1	T2	T3	T4	T5	平均	目測觀察結果
5-1	1	18.15	15.20	14.95	13.25	13.50	15.01	先黃>藍>透明>黃>藍...，最低點透明、開始往上爬黃色、最高點藍色，最後綠褐色
5-2	30 秒	18.1	16.65	15.25	15.2	14.95	16.06	同上
5-3	60 秒	17.8	16.95	16.7	16.65	15.8	16.78	同上
5-4	120 秒	17.5	17.25	17.25	16.4	16	16.90	同上

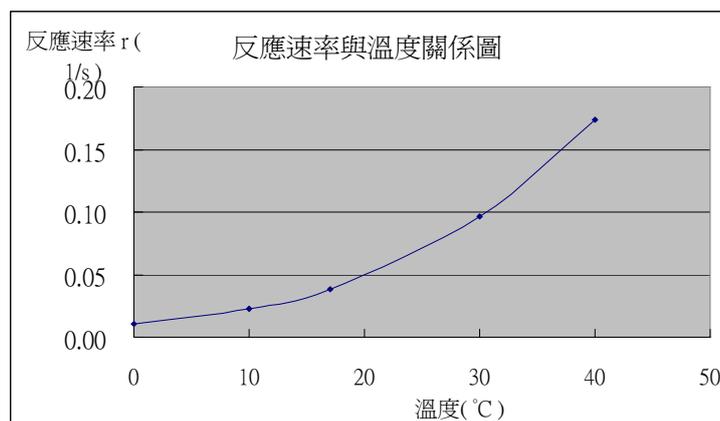
由上表五可知，硫酸錳加入的時間越延後，反應的週期愈長，也代表後期因反應物濃度的下降使 Mn^{2+} 加入時其催化的效果越有限！

五、反應溫度是否會影響振盪週期的改變：

表六 反應溫度是否會影響振盪週期的改變

實驗	水溫(°C)	目測觀察結果	T1(秒)	最後顏色	r 值 (取 1/T1)
6-1	0	無>黃>藍呈三色振盪，變化最慢	93.1	褐色	0.01
6-2	10	無>黃>藍呈三色振盪，變化較慢	44.2	褐色	0.02
6-3	17	無>黃>藍呈三色振盪，變化一般	26.15	褐色	0.04
6-4	30	無>黃>藍呈三色振盪，變化快	10.35	褐色	0.10
6-5	40	無>黃>藍呈三色振盪，變化極快	5.75	褐色	0.17
6-6	54	無>黃，呈雙色振盪，變化極快	-	-	-

由上表六可知，反應時溫度越低，振盪週期愈長；溫度愈高，振盪週期愈短。而溫度在 54°C 時，沒有藍色出現，應是碘的晶體受熱變成氣體散逸之故！



圖十 反應速率與溫度關係圖

由左圖可知
 溫度愈高，反應速率越大；
 溫度愈低，反應速率越小！

六、反應速率及各反應濃度的關係，利用控制變因法，即操作該物質濃度時，其他物質濃度為控制變因(如表三的濃度表示)：

表七 各小組濃度的改變與第一週期的關係

實驗	[H ₂ O ₂]	[IO ₃ ⁻]	[H ⁺]	[Mn ²⁺]	[丙]	澱	T1	最後顏色
7-1	1.3333	0.0583	0.0417	0.005	0.0417	0.1	24.4	有三色振盪，最後溶液茶褐色，藍黑色沉澱
7-2	0.9333	0.0583	0.0417	0.005	0.0417	0.1	29	有三色振盪，最後溶液淡藍色，藍色沉澱
7-3	1.1333	0.0583	0.0417	0.005	0.0417	0.1	26.45	有三色振盪，最後溶液深褐色，藍黑色沉澱
7-4	1.3333	0.0583	0.0417	0.005	0.0417	0.1	24.7	有三色振盪，最後溶液茶褐色，藍黑色沉澱
7-5	1.3333	0.0408	0.0417	0.005	0.0417	0.1	26.5	有三色振盪，最後溶液茶褐色，藍黑色沉澱
7-6	1.3333	0.0496	0.0417	0.005	0.0417	0.1	25.5	有三色振盪，最後溶液藍色，藍黑色沉澱
7-7	1.3333	0.0583	0.0417	0.005	0.0417	0.1	30.4	有三色振盪，最後溶液茶褐色，藍黑色沉澱(16°C)
7-8	1.333	0.0583	0.0292	0.005	0.0417	0.1	31.35	有三色振盪，最後溶液茶褐色，藍黑色沉澱(16°C)
7-9	1.333	0.0583	0.0354	0.005	0.0417	0.1	30.75	有三色振盪，最後溶液茶褐色，藍黑色沉澱(16°C)
7-10	1.3333	0.0583	0.0417	0.005	0.0417	0.1	26.15	有三色振盪，最後溶液茶褐色，藍黑色沉澱(16°C)
7-11	1.333	0.0583	0.042	0.0035	0.0417	0.1	26.15	有三色振盪，最後溶液茶褐色，些許藍色沉澱
7-12	1.333	0.0583	0.042	0.0043	0.0417	0.1	26.17	有三色振盪，最後溶液茶褐色，藍黑色沉澱
7-13	1.3333	0.0583	0.042	0.005	0.0417	0.1	33.05	有三色振盪，最後溶液茶褐色，藍黑色沉澱
7-14	1.333	0.0583	0.042	0.005	0.0292	0.1	37.9	有三色振盪，最後溶液茶褐色，藍黑色沉澱
7-15	1.333	0.0583	0.042	0.005	0.0354	0.1	35.15	有三色振盪，最後溶液茶褐色，藍黑色沉澱
7-16	1.3333	0.0583	0.042	0.005	0.0417	0.1	30.045	有三色振盪，最後溶液茶褐色，藍黑色沉澱
7-17	1.333	0.0583	0.042	0.005	0.0292	0.07	30.045	有三色振盪，最後溶液茶褐色，藍黑色沉澱
7-18	1.333	0.0583	0.042	0.005	0.0354	0.085	30.05	有三色振盪，最後溶液茶褐色，藍黑色沉澱

表八 反應速率比、濃度比、級數及各物反應濃度的關係

實驗	[H ₂ O ₂]	[IO ₃ ⁻]	[H ⁺]	[Mn ²⁺]	[丙二酸]	[澱粉]	r1(1/T1)	M 比	r 比	級數
8-1	1.333	0.058	0.042	0.005	0.042	0.100	0.041	-	-	-
8-2	0.933	0.058	0.042	0.005	0.042	0.100	0.0345	0.7000	0.8414	0.4842
8-3	1.133	0.058	0.042	0.005	0.042	0.100	0.0378	0.8500	0.9225	0.4964
8-4	1.333	0.058	0.042	0.005	0.042	0.100	0.0405	-	-	-
8-5	1.333	0.041	0.042	0.005	0.042	0.100	0.0377	0.7000	0.9321	0.1972
8-6	1.333	0.050	0.042	0.005	0.042	0.100	0.0392	0.8500	0.9686	0.1961
8-7	1.333	0.058	0.042	0.005	0.042	0.100	0.0329	-	-	-
8-8	1.333	0.058	0.029	0.005	0.042	0.100	0.0319	0.7000	0.9697	0.0863
8-9	1.333	0.058	0.035	0.005	0.042	0.100	0.0325	0.8500	0.9886	0.0704
8-10	1.333	0.058	0.042	0.005	0.042	0.100	0.0382	-	-	-
8-11	1.333	0.058	0.042	0.004	0.042	0.100	0.0382	0.7000	1.0000	0
8-12	1.333	0.058	0.042	0.004	0.042	0.100	0.0382	0.8500	0.9992	0.0047
8-13	1.333	0.058	0.042	0.005	0.042	0.100	0.0303	-	-	-
8-14	1.333	0.058	0.042	0.005	0.029	0.100	0.0264	0.7000	0.8720	0.3839
8-15	1.333	0.058	0.042	0.005	0.035	0.100	0.0284	0.8500	0.9403	0.3791
8-16	1.333	0.058	0.042	0.005	0.042	0.100	0.0333	-	-	-
8-17	1.333	0.058	0.042	0.005	0.029	0.070	0.0333	0.7000	1.0000	0
8-18	1.333	0.058	0.042	0.005	0.035	0.085	0.0333	0.8500	0.9998	0.001

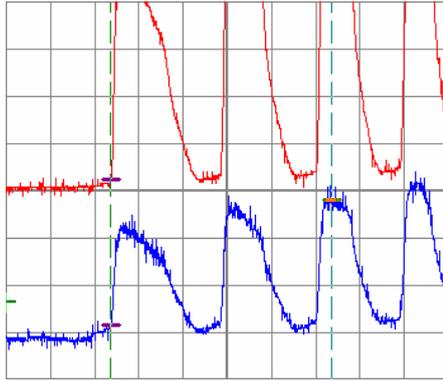
註 1：除[澱粉]的單位為 g/L,其餘濃度為 mole/L

註 2：取第一週期的倒數為初始反應速率。

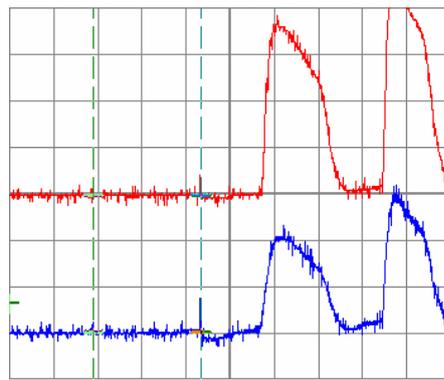
註 3：M 比為該組濃度與原濃度的比值，r 比為該組反應速率與原速率的比值。

註 4：級數為 (M 比)級數=(r 比)

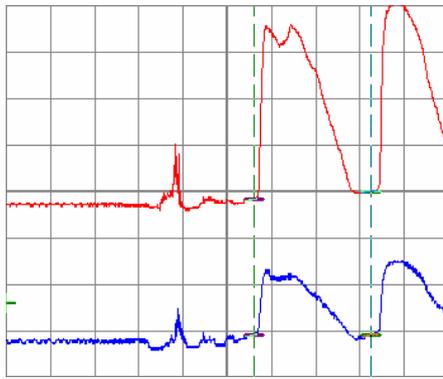
圖十一 實驗 8-1 之示波器訊號圖



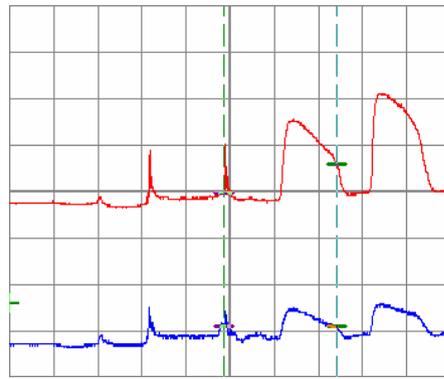
實驗 8-2 之示波器訊號圖



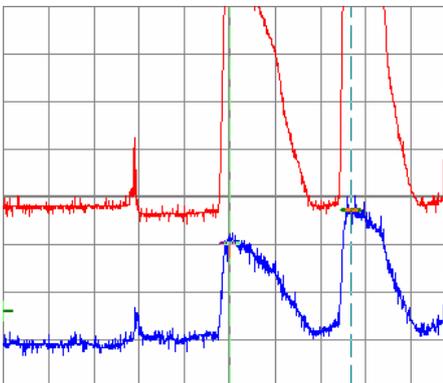
圖十二 實驗 8-4 之示波器訊號圖



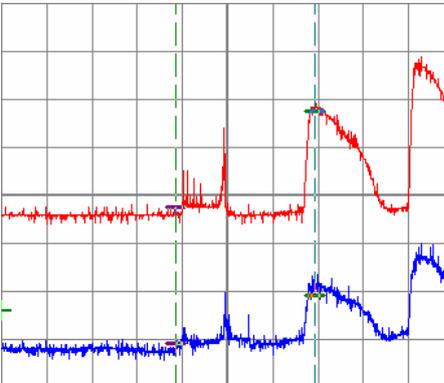
實驗 8-5 之示波器訊號圖



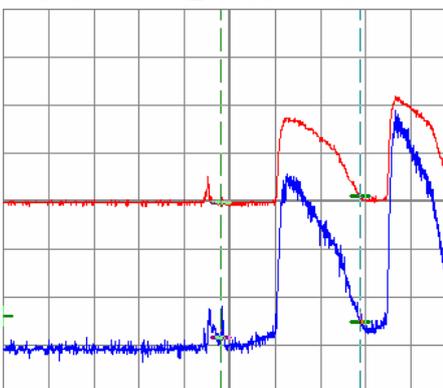
圖十三 實驗 8-7 之示波器訊號圖



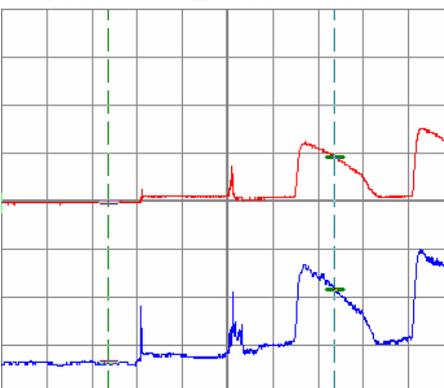
實驗 8-8 之示波器訊號圖



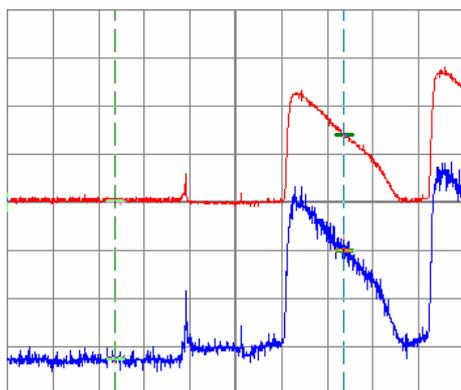
圖十四 實驗 8-10 之示波器訊號圖



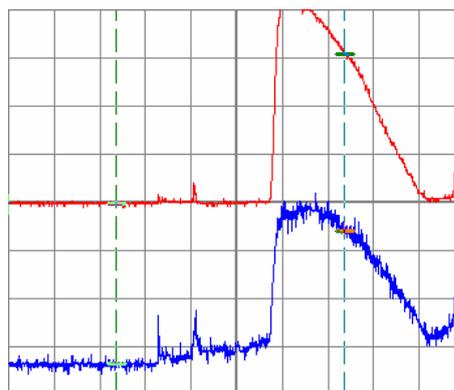
實驗 8-11 之示波器訊號圖



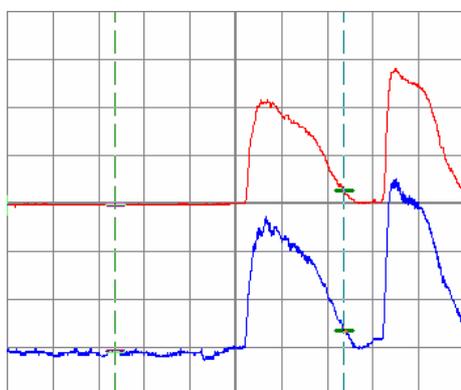
圖十五 實驗 8-13 之示波器訊號圖



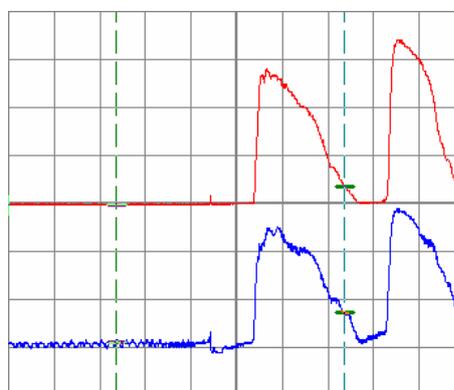
實驗 8-14 之示波器訊號圖



圖十六 實驗 8-16 之示波器訊號圖



實驗 8-17 之示波器訊號圖



七、反應級數的算法：

我們假設反應速率為 $r = k[\text{H}_2\text{O}_2]^x [\text{KIO}_3]^y [\text{H}^+]^z [\text{Mn}^{2+}]^w [\text{CH}_2(\text{COOH})_2]^v [\text{澱粉}]^v$ ，

以實驗 8-1 與 8-2 為例：我們以第一週期的倒數為初始反應速率，這時除了 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ 的濃度改變外，其餘的濃度保持不變，所以我們視為定值。因此可以得到兩個速率定律式：

由實驗 8-1 中，
$$\frac{1}{24.4} = k[1.33]^x (k_0)$$

【註：(k₀) = [KIO₃]^y [H⁺]^z [Mn²⁺]^w [CH₂(COOH)₂]^v [澱粉]^v 為定值】

由實驗 8-2 中，
$$\frac{1}{29} = k[0.93]^x (k_0)$$

將上式兩式相除，可以得到 $\frac{29}{24.4} = \left[\frac{1.33}{0.93}\right]^x$ ，即為 (r比) = (M比)^{級數}

(一) 以 EXCEL 的推算方法：

將 $\frac{29}{24.4} = \left[\frac{1.33}{0.93}\right]^x$ ，改寫為 $1.188 = (1.430)^x$ ，分別將 1.188 與 1.430 分別寫入 A1 及 B1 儲

存格，C1 格為可更改的級數，在D1 寫入公式「=B1^C1」，透過更改C1 將結果逼近 A1，最接近的值即為該反應物的級數，此即為 (M比)^{級數}=(r比)。

(二) 利用高中化學課本所提到「對數」的方法：

將 $\frac{29}{24.4} = \left[\frac{1.33}{0.93}\right]^x$ ，改寫為 $1.188 = (1.430)^x$ ，各取對數log(老師教的)，

$\log 1.188 = x \log 1.430$ ，再利用工程用計算機或是利用 EXCEL

寫出公式(=LOG(r 比)/LOG(M 比))，可得 $x=0.49$

同理在其他組實驗中，亦可以求出各反應物的級數。

因此我們取的反應速率式及級數為

$$r = k[\text{H}_2\text{O}_2]^{0.49}[\text{CH}_2(\text{COOH})_2]^{0.38}[\text{KIO}_3]^{0.2}[\text{H}^+]^{0.08}[\text{Mn}^{2+}]^0[\text{澱粉}]^0$$

其中 $[\text{Mn}^{2+}]^0$ 、 $[\text{澱粉}]^0$ 應屬 0 級反應，本反應的總級數為 $0.49+0.20+0.08+0.38=1.15$

因此速率定律式可改寫成

$$r = k[\text{H}_2\text{O}_2]^{0.49}[\text{CH}_2(\text{COOH})_2]^{0.38}[\text{KIO}_3]^{0.2}[\text{H}^+]^{0.08}$$

八、反應級數驗證：

以上述實驗中所求的速率定律式

$r = k[\text{H}_2\text{O}_2]^{0.49}[\text{CH}_2(\text{COOH})_2]^{0.38}[\text{KIO}_3]^{0.2}[\text{H}^+]^{0.08}$ ，以為各小組的第 1 次的實驗條件代入

求出k值= $0.236 \text{ (sec}^{-1} \text{ M}^{-0.15})$

表九 本實驗之速率定律式與部分組別之計算週期與實驗週期值之比較

	$[\text{H}_2\text{O}_2]$	$[\text{KIO}_3]$	$[\text{H}^+]$	$[\text{Mn}^{2+}]$	$[\text{CH}_2(\text{COOH})_2]$	澱粉	1/t	k	計算值 T1	實驗值 T1	差異量	差異%
級數	0.49	0.20	0.08	0.00	0.38	0.00				—		
8-*1	1.333	0.058	0.042	0.005	0.042	0.100	0.036	0.236		—		
8-2	0.933	0.058	0.042	0.005	0.042	0.100	0.030	0.236	33.538	29.000	4.538	15.65%
8-5	1.333	0.041	0.042	0.005	0.042	0.100	0.033	0.236	30.203	26.500	3.703	13.98%
8-8	1.333	0.058	0.029	0.005	0.042	0.100	0.035	0.236	28.959	31.350	(2.391)	-7.63%
8-12	1.333	0.058	0.042	0.004	0.042	0.100	0.036	0.236	28.154	26.170	1.984	7.58%
8-15	1.333	0.058	0.042	0.005	0.035	0.100	0.033	0.236	29.943	35.150	(5.207)	-14.81%
8-18	1.333	0.058	0.042	0.005	0.035	0.085	0.033	0.236	29.946	30.050	(0.104)	-0.35%

註 1：以 8-*1 為各小組的第 1 次其第一週期的平均倒數為主要計算 k 值的數據，其餘以此 k 值為計算依據。

註 2：1/t 值除 0224-11 組為實驗數據外，其餘為求出值

據上表，我們將此數據定律式的 k 值求出為 0.236，以各小組的之一實驗的濃度為基準，第一週期的平均倒數為反應速率的平均進行驗證，分別求出其他各小組的 T1 值，雖然 T1 差異值較多，但若重覆多次，應可以求出一個更合理的級數值！

由各物質之反應級數，可看出 $[H_2O_2]$ 對反應之影響最大，其次為 $[CH_2(COOH)_2]$ 及 $[KIO_3]$ 。

九、產生化學震盪，各反應物的最低濃度

(一) 探討 H_2O_2 莫耳數對化學震盪之影響

控制變因：

$KIO_3 = 0.0035$ 莫耳、 $CH_2(COOH)_2 = 0.0025$ 莫耳、 $H^+ = 0.0025$ 莫耳、 $Mn^{2+} = 0.0023$ 莫耳，
配成 70mL 溶液

實驗 a	H_2O_2 (莫耳)	KIO_3 (莫耳)	$CH_2(COOH)_2$ (莫耳)	H^+ (莫耳)	Mn^{2+} (莫耳)	澱粉 (6g/L)	反應結果	週期數	振盪 總時間(s)
a-1	0.08	0.0035	0.0025	0.0025	0.0023	10 mL	有反應	47 次	340
a-2	0.04	0.0035	0.0025	0.0025	0.0023	10 mL	有反應	38 次	370
a-3	0.024	0.0035	0.0025	0.0025	0.0023	10 mL	有反應	26 次	440
a-4	0.008	0.0035	0.0025	0.0025	0.0023	10 mL	反應物混合後 120 秒才發生震盪反應	6 次	—
a-5	0.004	0.0035	0.0025	0.0025	0.0023	10 mL	無反應	—	—

- H_2O_2 莫耳數減少，震盪之週期數也減少。這是因為 H_2O_2 為反應物，當 H_2O_2 莫耳數減少，震盪的次數也減少。
- 當 H_2O_2 莫耳數等於 0.008 莫耳時，化學震盪現象約反應物混合後 2 分鐘才出現，且震盪週期數僅 6 次。
- 若以反應物 $KIO_3 = 0.0035$ 莫耳、 $CH_2(COOH)_2 = 0.0025$ 莫耳、 $H^+ = 0.0025$ 莫耳、

$Mn^{2+} = 0.0023$ 莫耳之條件下，加入 H_2O_2 莫耳數等於 0.004 莫耳時，則無震盪反應。故要

發生震盪反應 H_2O_2 莫耳數不得少於 0.008 莫耳，因此 H_2O_2 最低濃度為 0.114M。

- 當 H_2O_2 莫耳數較大時，反應速率較快，總反應的時間較短，但震盪次數卻較多。
- 由實驗 a-1、a-2、a-3 結果可發現 H_2O_2 莫耳數減少時，反應過程的中段由訊號顯示溶液顏色較深，代表所生成 I_2 速率比消耗的碘速率快。

經由反應機構推論：

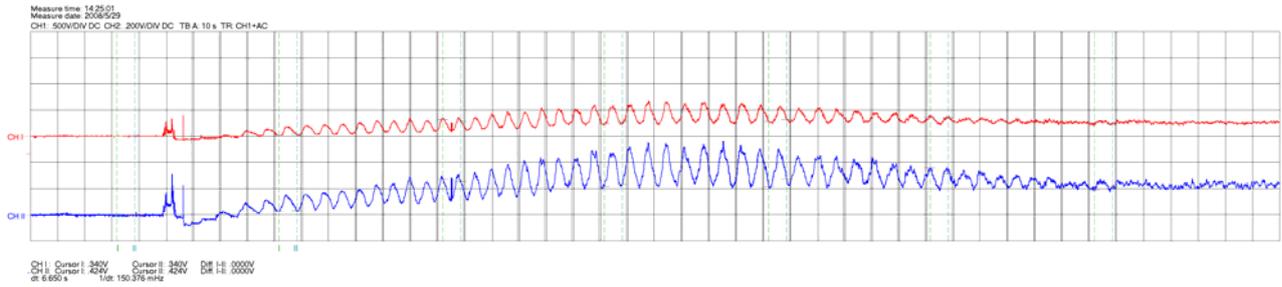
生成 I_2 的反應機構： $2KIO_3 + 5H_2O_2 + H_2SO_4 \rightarrow I_2 + K_2SO_4 + 6H_2O + 5O_2$ (1)

消耗 I_2 的反應機構： $I_2 + 5H_2O_2 + K_2SO_4 \rightarrow 2KIO_3 + 4H_2O + H_2SO_4$ ---- (2)

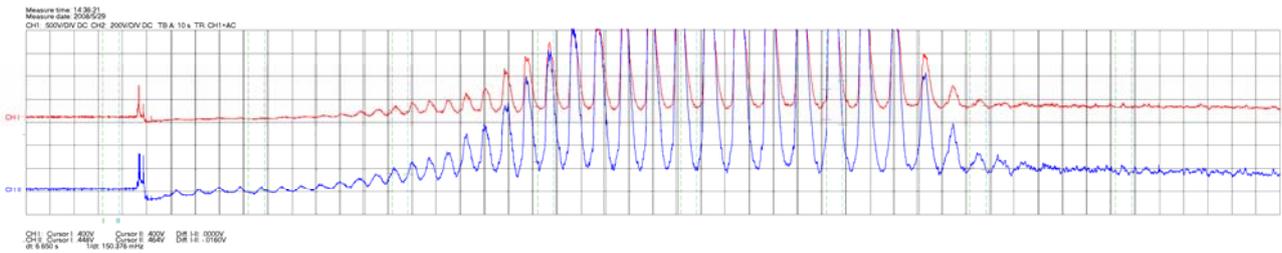
當 H_2O_2 莫耳數減少時，應是反應機構(2)比反應機構(1)之正反應速率減小更多所致。

- 由實驗所得速率定律式可知 H_2O_2 之級數最大，對反應有更大的影響，故當 $[H_2O_2]$ 減半時，所得之訊號圖形變動程度比其他反應物濃度減半還要大。

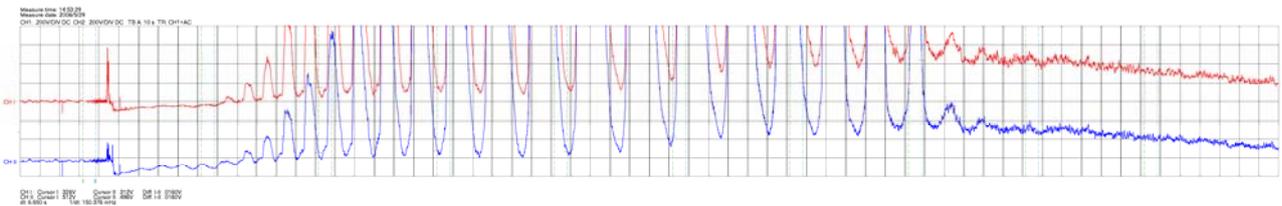
實驗 a-1 圖形



實驗 a-2 圖形



實驗 a-3 圖形



(二) 探討 KIO_3 莫耳數對化學震盪之影響

控制變因：

$\text{H}_2\text{O}_2 = 0.08$ 莫耳、 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2 = 0.0025$ 莫耳、 $\text{H}^+ = 0.0025$ 莫耳、 $\text{Mn}^{2+} = 0.0023$ 莫耳，配成 70mL 溶液

實驗 b	H_2O_2 (莫耳)	KIO_3 (莫耳)	$\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ (莫耳)	H^+ (莫耳)	Mn^{2+} (莫耳)	澱粉 (6g/L)	反應結果	週期數	振盪 總時間(s)
b-1	0.08	0.0035	0.0025	0.0025	0.0023	10 mL	有反應	46	310
b-2	0.08	0.00175	0.0025	0.0025	0.0023	10 mL	有反應	44	310
b-3	0.08	0.0014	0.0025	0.0025	0.0023	10 mL	有微弱反應 (儀器尚可測得)	42	—
b-4	0.08	0.00105	0.0025	0.0025	0.0023	10 mL	無反應	—	—

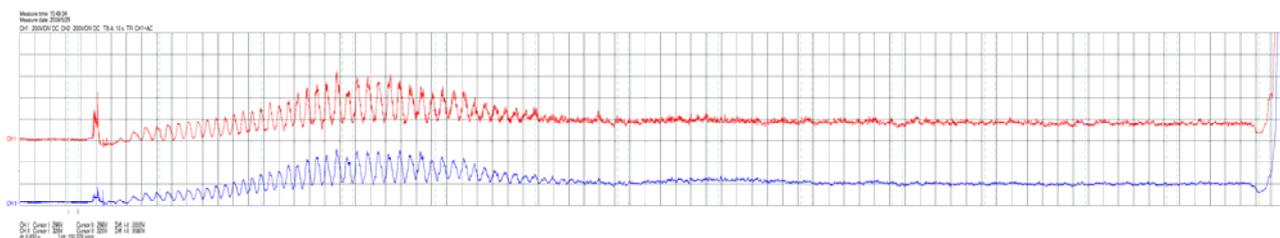
(1) KIO_3 莫耳數減半，發現震盪之週期數未減少很多，且由示波器訊號顯示所產生的 I_2 較少。

(2) 當 KIO_3 莫耳數等於 0.0014 莫耳時，肉眼看不出震盪反應，但儀器顯示有反應。

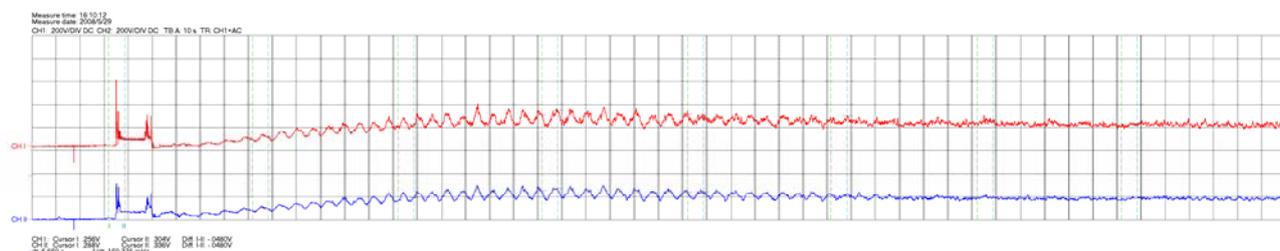
(3)若以反應物 $\text{H}_2\text{O}_2 = 0.08$ 莫耳、 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2 = 0.0025$ 莫耳、 $\text{H}^+ = 0.0025$ 莫耳、 $\text{Mn}^{2+} = 0.0023$ 莫耳之條件下，加入 KIO_3 莫耳數等於 0.00105 莫耳時，則無震盪反應。故要發生震盪反應 H_2O_2 最低濃度不得少於 0.029M。

(4)當 KIO_3 的量減少時，對震盪之總時間與震盪次數影響不大。

實驗 b-1 圖形



實驗 b-2 圖形



(三) 探討 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 莫耳數對化學震盪之影響

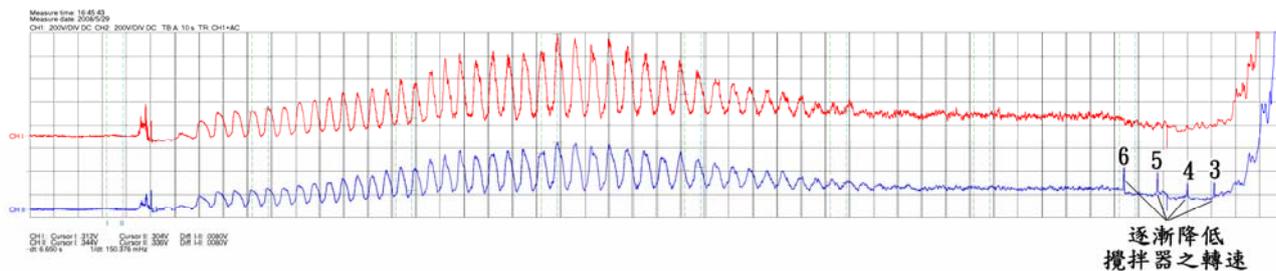
控制變因：

$\text{H}_2\text{O}_2 = 0.08$ 莫耳、 $\text{KIO}_3 = 0.0035$ 莫耳、 $\text{H}^+ = 0.0025$ 莫耳、 $\text{Mn}^{2+} = 0.0023$ 莫耳，配成 70mL

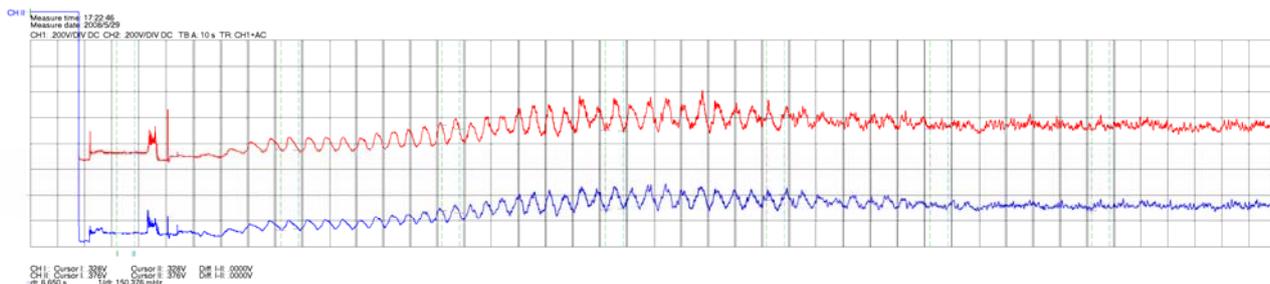
實驗 c	H_2O_2 (莫耳)	KIO_3 (莫耳)	$\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ (莫耳)	H^+ (莫耳)	Mn^{2+} (莫耳)	澱粉 (6g/L)	反應結果	週期數	振盪 總時間(s)
c-1	0.08	0.0035	0.0025	0.0025	0.0023	10 mL	有反應	47 次	310
c-2	0.08	0.0035	0.00225	0.0025	0.0023	10 mL	有反應	45 次	270
c-3	0.08	0.0035	0.002	0.0025	0.0023	10 mL	有反應	42 次	250
c-4	0.08	0.0035	0.00125	0.0025	0.0023	10 mL	有微弱反應 (儀器尚可測得)	—	—

- (1) $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 莫耳數減少，發現震盪之週期數未減少很多，且由示波器訊號顯示所產生的 I_2 較少。
- (2) 當 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 莫耳數等於 0.00125 莫耳時，肉眼看不出震盪反應，但儀器顯示有反應。故要發生震盪反應 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 濃度不得少於 0.018M。
- (3) 當 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 量減少時，總反應的時間較短，但震盪次數也較少。

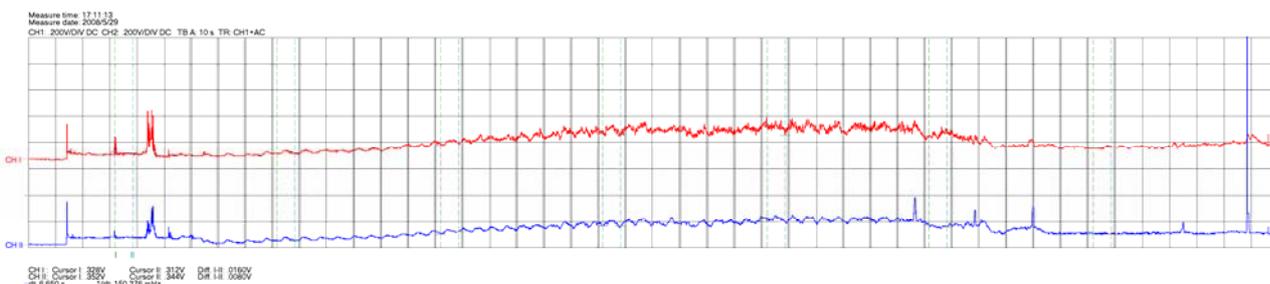
實驗 c-1 圖形



實驗 c-2 圖形



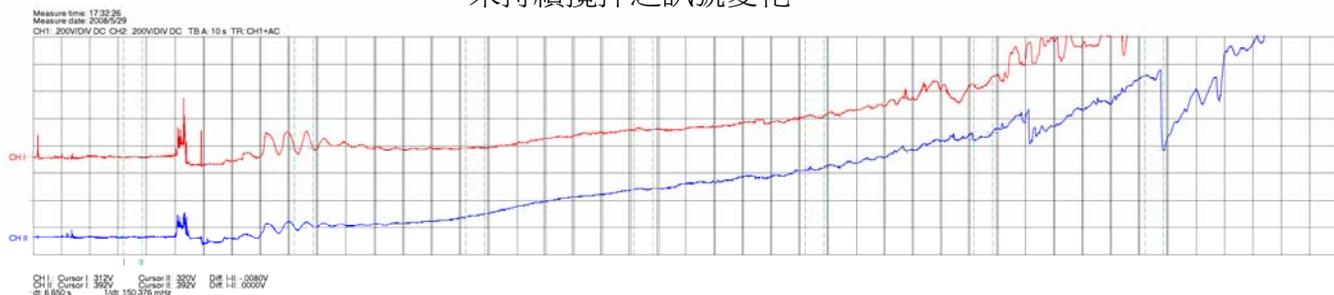
實驗 c-3 圖形



十、攪拌對反應之影響

- (1) 我們發現溶液顏色不再有週期性變化後的 2~3 分鐘，降低轉速可見溶液仍在反應產生氣泡且呈透明狀態，電壓會下降。隨即再將轉速逐漸降低，訊號如實驗 c-1 圖形之說明。結果在溶液中只有局部產生微量的 I_2 ，立刻調高轉速繼續攪拌，在轉速 3 以上時，均可使溶液中產生微量的碘消失，再恢復透明，這表示攪拌有利於將生成的 I_2 消耗掉。
推測：攪拌可能有利於 I_2 與 $CH_2(COOH)_2$ 作用的反應機構。
實驗證明：我們將反應後含有 I_2 的溶液，再加入 $CH_2(COOH)_2$ ，發現在有攪拌的情形下，碘消失得較快。
- (2) 若將溶液取出時間較久， I_2 生成較多，此時再放回攪拌，溶液便立刻變成深藍色而無法恢復到透明狀態。
推測：大量的 I_2 生成後，溶液中剩餘不多的 $CH_2(COOH)_2$ 和 I_2 作用的反應速率遠小於 I_2 的生成速率，使得溶液迅速變為深藍色。
- (3) 與實驗 a-1 同樣的條件實驗剛開始時先攪拌，等發生震盪反應後，即停止攪拌，所得之結果如下圖，只有 5、6 次明顯有規則的顏色變化。在光點附近，發現有 I_2 的生成物聚集，因此我們做了下一步的實驗。

未持續攪拌之訊號變化



十一、光對化學震盪之影響

實驗中也觀察到白光 LED 源通過之溶液，在光通過之路徑上較快生成碘，此反應之某一步驟應受光之催化而加快了，尙未能確定是加快生成碘的反應速率還是加快碘與澱粉結合的反應速率。

由此推論此化學震盪之週期，光也是一個重要的變因。



白光由右方入射反應槽



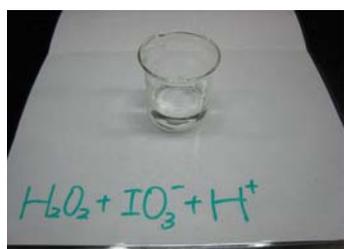
白光先照射的下方部分，已產生明顯的藍色後，將光束向上移動。



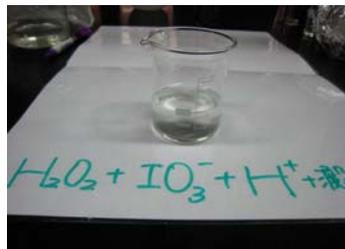
白光由上方入射反應槽

十二、文獻反應步驟的確認結果

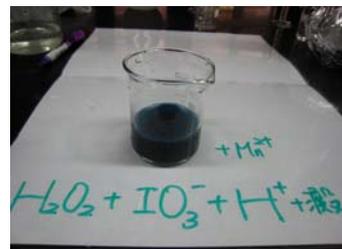
(一) $\text{KIO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$



以 KIO_3 、 H_2O_2 、 H_2SO_4 混合
無反應現象



以 KIO_3 、 H_2O_2 、 H_2SO_4 、再
加入澱粉混合時，無反應現象

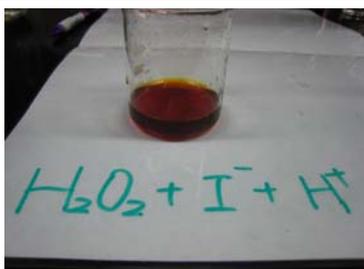


以 KIO_3 、 H_2O_2 、 H_2SO_4 、澱
粉再加入 Mn^{2+} 混合時，立刻
呈現藍色，表示有碘生成

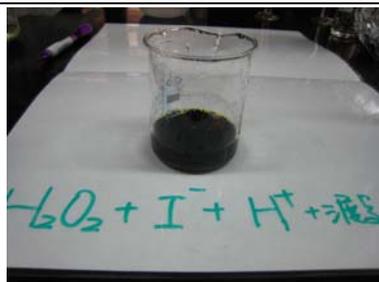
推論：

Mn^{2+} 離子有利於反應機構： $2\text{KIO}_3 + 5\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 6\text{H}_2\text{O} + 5\text{O}_2$ 之正反應進行。

(二) $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{I}^- + \text{H}^+$



H_2O_2 、 I^- 、 H^+ 三種反應物混合呈現黃褐色，與震盪反應觀察到之黃褐色相同，應是生成 I^3^- ，且反應速率極快



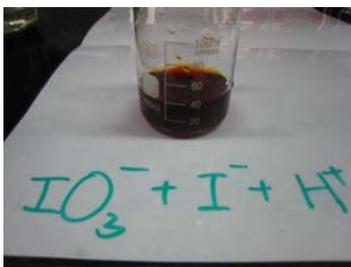
H_2O_2 、 I^- 、 H^+ 三種反應物反應後加入澱粉，呈現藍色，表示有碘生成

推論：

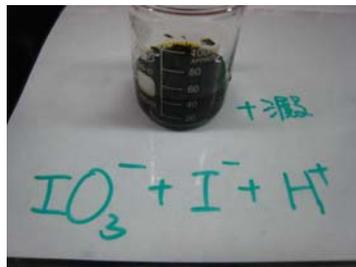
由加入澱粉呈藍色，表示反應產生 I_2 ，產生之 I_2 與溶液中 I^- 作用形成 I^3^- 而呈黃褐色。

故震盪反應應有以下的反應機構： $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{I}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

(三) $\text{IO}_3^- + \text{I}^- + \text{H}^+$



立刻產生黃褐色



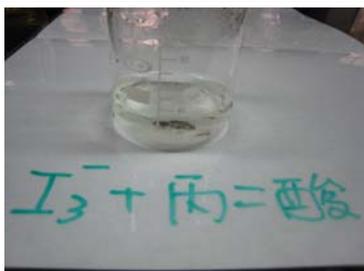
再加入澱粉，有藍色出現

推論：

由加入澱粉呈藍色，表示反應產生 I_2 ，產生之 I_2 與溶液中 I^- 作用形成 I^3^- 而呈黃褐色。

故化學震盪應有以下的反應機構： $5\text{I}^- + \text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ \rightarrow 3\text{I}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

(四) $\text{I}_2 + \text{CH}_2(\text{COOH})_2$



將 I_2 將入 $\text{KI}_{(\text{aq})}$ 產生黃褐色的 I^3^- 加入丙二



藍色碘顆粒攪拌後逐漸消失

酸，黃褐色消失，溶液中有藍色碘顆粒	
-------------------	--

推論：

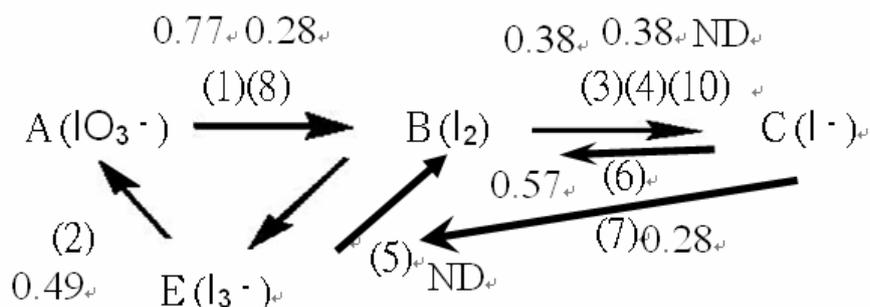
由 I^3^- 加入丙二酸 $CH_2(COOH)_2$ 之反應，推論可能有以下的反應機構



柒、 結論：

- 一、 反應時將 H_2O_2 在最後加入，較不易影響反應的週期變化，較佳。
- 二、 溫度愈高，反應速率越高！ $20\sim 40^\circ C$ 之間，約增加 $10^\circ C$ ，反應速率增加約一倍。
- 三、 Mn^{2+} 所加入參與反應的時間會影響反應之週期！
- 四、 速率定律式可改寫成 $r = k[H_2O_2]^{0.49}[CH_2(COOH)_2]^{0.38}[KIO_3]^{0.2}[H^+]^{0.08}$ ，根據級數來判斷，可知 $[H_2O_2]$ 對此化學震盪之影響最大，其次為 $[CH_2(COOH)_2]$ 、 $[KIO_3]$ 、 $[H^+]$ ，故機構(1)的主要反應物其級數和為 0.77，其反應速率應是本反應中最快的，而(6)、(2)式中可測出的反應物級數和分別為 0.57、0.49，(6)式比(2)式快；而(3)、(4)式中可測出的反應物級數和各為 0.38、而(7)式的級數和為 0.28。

由上述中我們推論如下：溶液一開始無色，當(1)(8)開始進行生成 I_2 ，而(3)(4)(10)起動產生 I^- ，而產生 I_3^- 的速率是較快的，因此開始產生 I_3^- （呈黃褐色）；而澱粉分子捕捉 I_2 的速率較慢，即藍色較黃褐色晚出現，開始累積 I_2 後藍色出現；當 IO_3^- 的量下降後，(1)(8)(7)式會變慢，(3)(4)(10)會持續進行， I_2 開始消耗，(2)亦會消耗 I_2 ，但亦會產生 IO_3^- ；而消耗 I_2 速率 > 產生 IO_3^- 速率時，此時會有瞬間無色的狀態出現，故有顏色振盪的現象重覆出現。



- 五、 反應機構的驗證，確認的有(1)~(7)式符合文獻的資料，(8)~(10)尚未能夠確認！
- 六、 攪拌溶液對化學震盪有相當之影響，反應過程應定速攪拌，會較易觀察到化學震盪之現象。
- 七、 無意中發現光線照射反應溶液，有類似催化之作用，可再進行研究，找出最易使反應進行光線之波長與作用機制，同時找出較不容易影響震盪反應進行的光源波長，來做為偵測反應進行之光源。

捌、 展望：

- 一、 我們希望能透過更精確的裝置，來準確觀察反應的週期。便能推算出一速率定律式的科學方法。
- 二、 本研究裝置可以推廣於測量兩類反應的反應速率：一是有沉澱的反應，或是有顏色改變的反應。

玖、 參考資料：

- 一、 ” 化學燈塔之時間振盪反應” ，<http://140.120.9.250/infochem/6.html> ， 96.09.收集。
- 二、 ” 奇妙的化學振盪反應” ，<http://www.sedu.org.cn/n594041/n666805/16351.html> ， 96.09.收集。
- 三、 陳亞拿等(2007)，當我們倒在一起~BR 振盪反應的探討，中華民國第 47 屆科展說明書，國立花蓮女中。
- 四、 ” 國際化學奧林匹亞問題解決方案” (2007)，第 39 屆國際化學奧林匹亞問題解決方案手冊，P170-171 ，<http://icho.chem.ntnu.edu.tw/2007icho/2007IChO39PreparatoryProblemsSolutionsBusiness.pdf> 。
- 五、 褚效中等(2003)，BR反應新型機模型，中國物理化學學報，2003,19(10), pp 957-961 ，天津大學理學院化學系，<http://www.whxb.pku.edu.cn> ， 96.09.收集。
- 六、 林敬堯等(2004)，振盪反應的探討與研究，2004 年國際科展說明書，台北市立建國中學。
- 七、 ” BZ 化學振盪反應” ，<http://202.194.4.88:8080/whshy/wlhx%202/bz0.htm> ， 96.09.收集。
- 八、 鍾安迪等(2004)，振盪反應的探討，中華民國第 44 屆科展說明書，台中市台中第一中學。
- 九、 ” 聯級測定B-Z化學振盪反應”
<http://hxzx.jlu.edu.cn/lab/2jiaoxue/xiangmu/chem/241.htm> ， 96.09.收集。
- 十、 ” 高中化學課本_二下” (2007)，台北翰林出版社。
- 十一、 ” 國中自然與生活科技課本二下” (2007)，台北翰林出版社。

【評語】 031633

設計光度測量方法，探討傳統化學鐘擺反應的反應速率，測量的週期精確，儀器設計精良，應可廣泛應用於反應速率。