

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

第二名

040206

We Are BZ-振盪反應的探究

學校名稱：高雄市立高雄女子高級中學

作者：	指導老師：
高二 鄭年芳	陳文靜
高二 張庭瑜	廖幸芝

關鍵詞：振盪偵測儀 振盪週期 振盪圖形

摘要

振盪反應顏色隨時間有週期變化，一般需借助昂貴紫外光/可見光分光儀，這不是一般高中能進行的研究。於是，研究者動手自製振盪偵測儀並以此偵測儀探測溴酸鉀、硫酸、硫酸亞錳、丙二酸及亞鐵靈等反應物產生的振盪反應。

本研究結果為：

1. 設計出自製振盪偵測儀以探究振盪反應
2. 求出本實驗速率定律式 $R=k[\text{KBrO}_3]^{1.10}[\text{H}^+]^{1.23}[\text{MA}]^{0.38}$ 及活化能 22.8 千焦。
3. 確認自製振盪儀可靠性——以紫外光/可見光分光儀進行相同振盪反應求其週期變化及反應速率級數所求得之確認。
4. 振盪反應在洋菜溶液裏呈現同心圓圖形。它沿模型形狀產生圖形、沿磁場方向產生圖形但不受器皿形狀影響。
5. 定性分析並確立出振盪各反應式。

壹、研究動機：

當我們在高二學習到「化學反應速率」單元時，課本(龍騰版)提到「搖搖樂」(藍瓶)實驗令我們對變色實驗產生興趣。於是，開始搜尋變色實驗相關資料，發現有振盪反應這回事，且其顏色會隨時間產生週期性交替變化，同時也可在空間上產生振盪圖形，這激起我們的好奇，想進一步探究振盪反應奧秘。

貳、研究目的：

- 一、為測量振盪反應變化週期而自製一套振盪偵測儀，突破紫外光/可見光分光儀(簡稱 UV/VIS 儀)的限制。
- 二、以自製振盪偵測儀求得振盪反應的反應速率定律式及活化能。
- 三、以 UV/VIS 儀進行相同振盪反應由其週期變化及反應速率級數來確認自製振盪偵測儀的可靠性。
- 四、以洋菜觀察振盪反應
 - (一) 探究靜置所產生的振盪圖形
 - (二) 探究振盪反應的反應式
 - (三) 探究各種干擾對振盪圖形的影響
- 五、以定性分析推測並確立振盪反應的反應式。

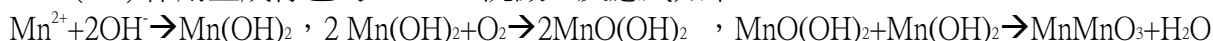
叁、文獻探討：

- 一、振盪反應首先由60年代蘇聯生化學家Belousov與Zhabotinsky所發現，因此將二人發現的振盪反應稱為BZ反應。其反應是用丙二酸、溴酸鈉與溴化鈉在酸中混合，以鈾(Ce)鹽及Ferroin(鐵錯化合物)為催化劑兼指示劑的反應，反應式如下：

$\text{BrO}_3^- + 5\text{Br}^- + 6\text{H}^+ \rightarrow 3\text{Br}_2 \text{ (橙黃色)} + 3\text{H}_2\text{O}$	
$\text{HOOCCH}_2\text{COOH} + \text{Br}_2 \text{ (紅棕色)} \rightarrow \text{HOOCCHBrCOOH} + \text{Br}^- \text{ (無色)} + \text{H}^+$	
$3\text{HOOCCH}_2\text{COOH} + 2\text{BrO}_3^- + 2\text{H}^+ \rightarrow 2\text{HOOCCHBrCOOH} + 3\text{CO}_2 \text{ (氣泡)} + 4\text{H}_2\text{O}$	
$\text{BrO}_3^- + 6\text{Fe(phen)}_3^{2+} \text{ (紅色)} + 6\text{H}^+ \rightarrow \text{Br}^- + 6\text{Fe(phen)}_3^{3+} \text{ (藍色)} + 3\text{H}_2\text{O}$	
$\text{HOOCCHBrCOOH} + 4\text{Fe(phen)}_3^{3+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Br}^- + 4\text{Fe(phen)}_3^{2+} + 5\text{H}^+ + 2\text{CO}_2 + \text{HCOOH}$ (BrMA) (藍色) (紅色)	

二、若以 Mn^{2+} 取代 Ce^{3+} ，在硫酸酸性以及微量 Mn^{2+} 的催化下，振盪反應就是丙二酸被溴酸根離子所氧化的反應。反應過程如同存在一個開關，反應時而停止，時而進行，是因為錳的氧化狀態改變而產生的振盪。

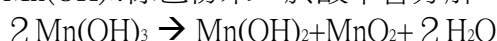
三、 Mn^{2+} 可與 NaOH 形成 $\text{Mn}(\text{OH})_2$ 。而 $\text{Mn}(\text{OH})_2$ 又被水中的 O_2 氧化成 $\text{MnO}(\text{OH})_2$ ，其再與剩餘的 $\text{MnO}(\text{OH})_2$ 作用生成棕色的 MnMnO_3 沉澱。反應式如下：



四、 Mn^{3+} ：

Mn_2O_3 ：黑色粉末，有時為淡棕色，可溶於冷鹽酸，不溶於水。由於 Mn^{3+} 是不穩定的離子，常起 $\text{Mn}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{MnO}_2 + 4\text{H}^+$ 歧化反應生成二價的離子及四價的二氧化錳。 $k \approx 10^9$ ，因此， Mn_2O_3 實際上可能是 Mn 的二、三、四價氧化物的化合物。

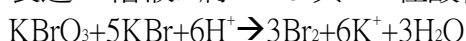
$\text{Mn}(\text{OH})_3$ ：棕色粉末，於酸中會分解，不溶於水，不穩定，易發生如下的反應



五、以 EDTA 檢驗 Mn^{3+} 之存在

EDTA 會與 Mn^{3+} 產生粉紅色的 $\text{Mn}^{3+}\text{-EDTA}$ ，和 Mn^{2+} 、 Mn^{4+} 皆不會反應。

六、製造 Br_2 溶液：將 KBrO_3 與 KBr 在酸性條件下，會產生 Br_2 。反應式如下



肆、研究試藥與器材

一、試藥：

藥品	溴酸鉀 (KBrO_3)	硫酸 (H_2SO_4)	丙二酸 (MA)	硫酸亞錳 (MnSO_4)	亞鐵靈試劑 (Ferroin)	氫氧化鈉	溴化鉀	EDTA
濃度	0.3M	6M	0.3M	0.03M	0.025M	0.25M	0.5M	0.1M
藥品	去離子水	洋菜粉	CCl_4					

二、器材：

器材	燒杯	容量瓶	安全吸球	注射針筒	注射針筒	試管	圓形培養皿	長方形塑膠名片盒	小花模型
數量	6 個	4 個	5 支	1 支(5mL)	2 支 (25mL)	數個	數個	1 個	1 個
器材	櫻花模型	加熱器	玻棒	溫度計	鐵架	數位相機 (Canon IXUS 55)	碼表	強力磁鐵	電磁加熱攪拌器
數量	1 個	1 個	3 支	1 支	1 組	1 台	1 個	2 個	1 個
器材	紫外/可見光分光光譜儀								
數量	1 台								

伍、研究過程、結果與討論

實驗一、設計自製儀器來偵測振盪反應

根據文獻探討，大部分振盪反應都是藉由紫外/可見光分光光譜儀(簡稱 UV/VIS 儀) 偵測得其實驗結果，可是，一台 UV/VIS 儀價值三、四十萬以上，一般高中學校不太可能購置它，所以，我們決定自行設計一台可偵測振盪反應的儀器。

步驟：

一、首先我們要先了解 UV/VIS 儀的基本結構

UV/VIS 儀是光學儀器，基本內容物有電源供應、光源、接收光源的偵測器、放置樣品的槽及樣品槽(CELL)及數值顯示器。

二、依據 UV/VIS 儀的基本結構來設計自製振盪偵測儀

(一)採購:由上述步驟的研究，我們開始到本校各實驗室看有哪些可利用並採購一些物品，所需物品大致如下:(見表一及圖一)

表一 自製振盪偵測儀所需物品

項目	電源供應器	光敏電阻	發光二極體(紅光 LED)	鱷魚夾	數位三用電表	保麗龍黑色噴漆
數量	2	2	2	4	1	1
項目	小型攪拌子	黑色膠帶	拋棄式樣品槽	美工刀	熱熔膠條及槍	三通塑膠管
數量	5	1	2	1	1	2
項目	8cm 玻璃管	三通活塞	加熱板(可攪拌)			
數量	2	3	1			



圖一 自製振盪偵測儀之所需器材



圖二 最初期的自製振盪偵測儀

(二)如何組裝自製振盪偵測儀呢?

- 1.將三通塑膠管切下二段，並設法黏於拋棄式樣品槽的透明二端，見圖二
- 2.設法將樣品槽不透明的一端燒出一個小洞並將三通活塞的一端與樣品槽的小洞相通，並以熱溶膠固定封好。
- 3.將二支玻璃管以本生燈燒彎折
- 4.同時將二支彎折玻璃管放入樣品槽的開口端並以熱熔膠固定封好
- 5.在二支彎折玻璃管上端各黏接一個三通活塞
- 6.等熱熔膠冷卻定型之後，再以黑色噴漆噴自製振盪偵測儀二次
- 7.等噴漆乾後，用黑色膠帶纏繞自製振盪偵測儀，同時在左右二個塑膠管中裝入光敏電阻與 LED 燈，見圖三之右二



圖三 自製振盪偵測儀的改良(由左而右)



圖四 大致確認的自製振盪偵測儀

(三)如何借助電腦來讀取數據?

1.初期研究的數據讀取方式:

- (1) 將 LED 接電源供應器，並供應 2V 的電壓
- (2) 將光敏電阻接數位三用電表
- (3) 將自製振盪偵測儀以鐵架架起，安裝完畢
- (4) 將預備產生振盪的各溶液混合於 100 毫升小燒杯中，用注射針筒吸取混合液並注入自製振盪偵測儀中，觀察記錄電阻值

2.讀取電阻值的過程中，心想，能否改變設計加入攪拌加快振盪反應呢?

- (1)將圖三中的右一偵測儀的兩側塑膠管(安裝光敏電阻與 LED 燈)往上提升約 1.5 公分，並在拋棄式樣品槽中裝入小攪拌，見圖四
- (2)將改良後的自製振盪偵測儀放置於可攪拌的加熱板上，記錄電阻值。

3. 連接電腦的研發過程:

- (1)在讀取電阻值的過程中，必須一直盯著三用電表讀取電阻數據，很辛苦，心想，是否可利用電腦來讀取數據?爲了方便讀取光敏電阻所呈現的數據，於是開始各方搜集資料，看看是否有將類比轉數位並且能夠連接到電腦上的工具?終於，找到可將類比轉數位的儀器與軟體:①可讀取光敏電阻變化的 PASCO 的電荷計 ②可連接到電腦的 PASCO POWERLINK ③配合儀器的 DATASTUDIO 軟體。

- (2)光敏電阻不再接數位三用電表了，而是接電源供應器，並提供光敏電阻 9V 的電壓值(仿三用電表的內建電壓值)

- (3)將 PASCO 的電荷計一端以並聯方式接光敏電阻(以讀取光敏電阻因光線變化而產生不同的電壓值)，另一端接 PASCO 的 POWERLINK

- (4)再將 PASCO 的 POWERLINK 另一端接到電腦的 USB 插孔中，見圖五

- (5)開啓 PASCO 的 DATASTUDIO 軟體，預備作振盪實驗並透過電腦讀取數據

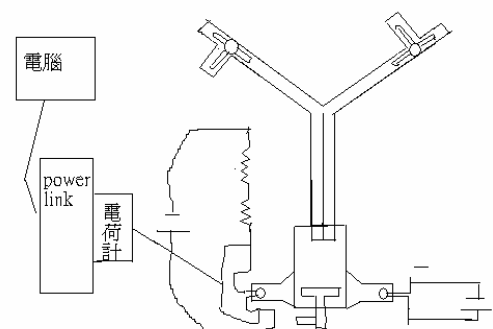
- (6)奇怪?怎麼數據值都固定不變?難道接錯了嗎?

- (7)原來光敏電阻少串聯了高電阻器，於是將光敏電阻串聯了 16K Ω 的電阻，數據就像振盪般呈現規律!

結果：見圖五、圖六!



圖五 振盪偵測儀實際實驗裝置圖



圖六 自製振盪偵測儀連接電腦簡示圖

實驗二、以自製振盪偵測儀研究振盪反應速率定律式及活化能

本研究所使用的樣品槽體積只有 2.50 ml，但爲了避免取太少量體積造成過大的實驗誤差，所以，每次實驗總體積都維持 7.00 ml 並非 2.50 ml。

不論各反應物體積如何改變，一定讓每次實驗總體積都維持 7.00 ml，所以**改變反應物體積就是改變其濃度**。混合成 7.00 ml 後就取用一部分做自製振盪偵測儀實驗而另一部分做 UV/VIS 儀實驗。

步驟：(一)先改變各反應物之濃度(單位:ml)——以控制變因的方式進行以下研究

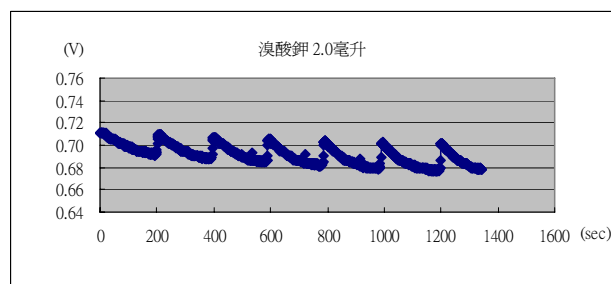
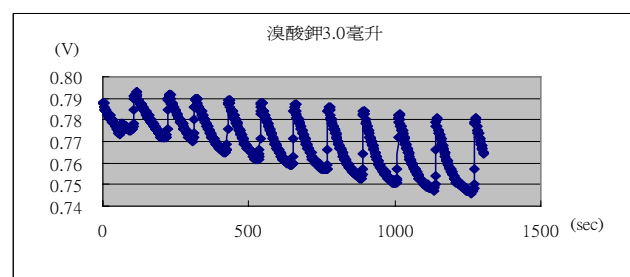
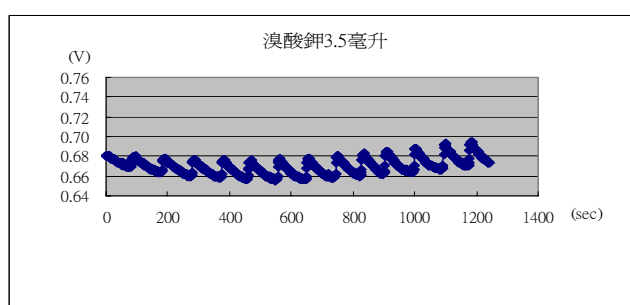
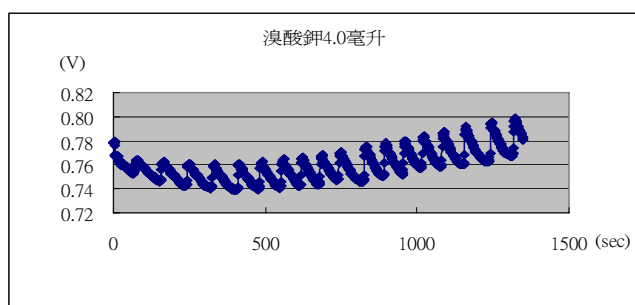
表二 改變 KBrO ₃ (ml)						
	H ₂ O	KBrO ₃	H ⁺	MA	Mn ²⁺	Fe ²⁺ (滴)
#1	0.00	4.00	1.00	1.00	1.00	2.00
#2	0.50	3.50	1.00	1.00	1.00	2.00
#3	1.00	3.00	1.00	1.00	1.00	2.00
#4	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00
#5	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00
#6	3.50	0.50	1.00	1.00	1.00	2.00
#7	4.00	0.00	1.00	1.00	1.00	2.00

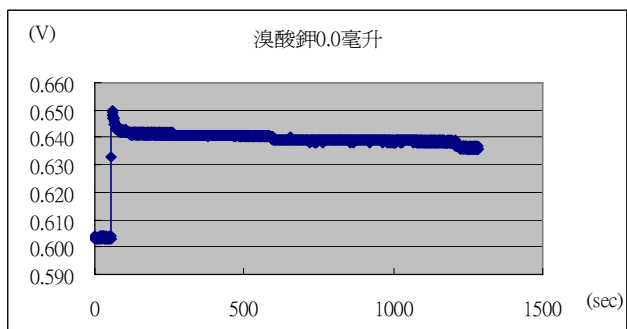
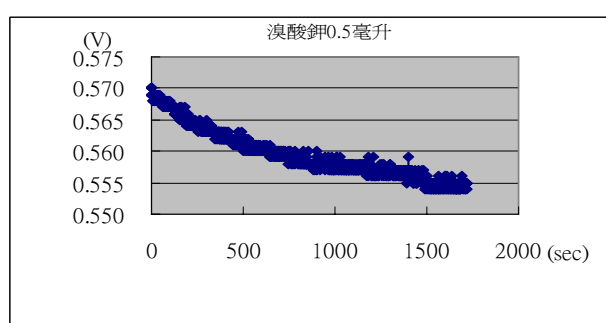
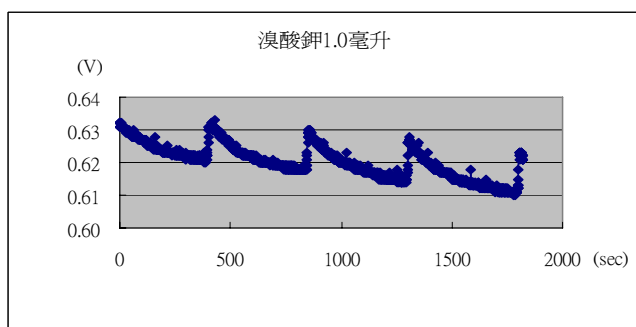
表三 改變 H ₂ SO ₄ (ml)						
	H ₂ O	KBrO ₃	H ⁺	MA	Mn ²⁺	Fe ²⁺ (滴)
#1	3.00	2.00	0.00	1.00	1.00	2.00
#2	2.50	2.00	0.50	1.00	1.00	2.00
#3	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00
#4	1.50	2.00	1.50	1.00	1.00	2.00
#5	1.00	2.00	2.00	1.00	1.00	2.00

表四 改變 MnSO ₄ (ml)						
	H ₂ O	KBrO ₃	H ⁺	MA	Mn ²⁺	Fe ²⁺ (滴)
#1	2.80	2.00	1.00	1.00	0.20	3.00
#2	2.70	2.00	1.00	1.00	0.30	3.00
#3	2.50	2.00	1.00	1.00	0.50	3.00
#4	2.25	2.00	1.00	1.00	0.75	3.00
#5	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	3.00
#6	1.50	2.00	1.00	1.00	1.50	3.00
#7	1.00	2.00	1.00	1.00	2.00	3.00
#8	0.00	2.00	1.00	1.00	3.00	3.00

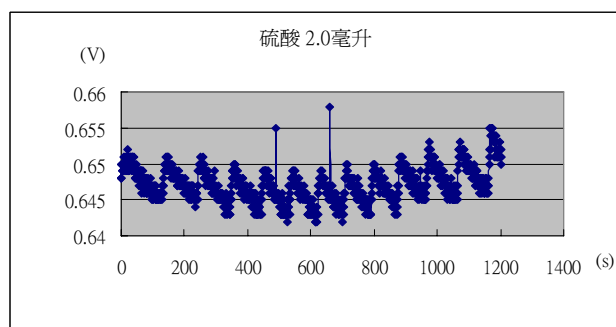
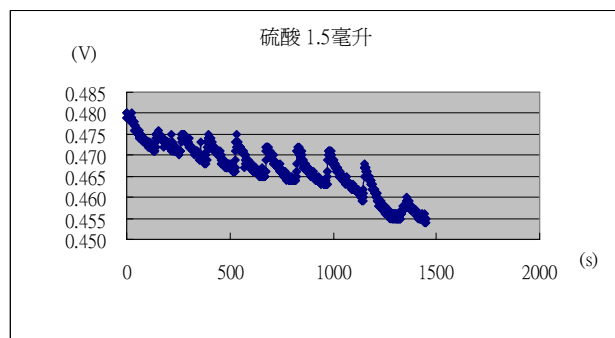
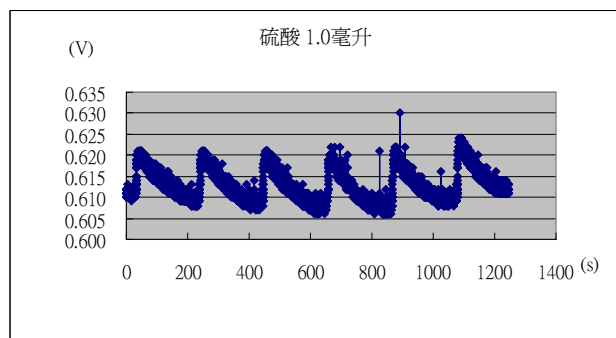
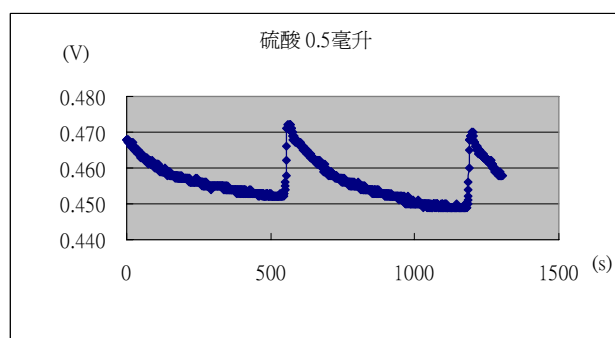
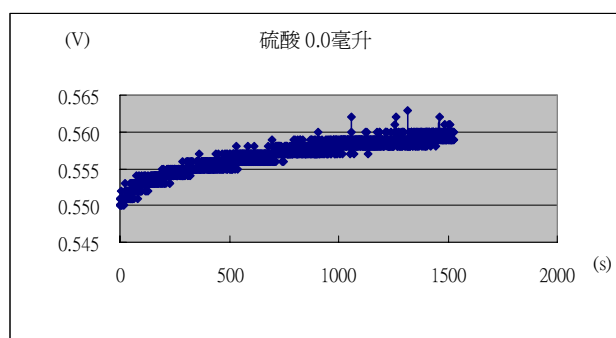
表五 改變 MA (ml)						
	H ₂ O	KBrO ₃	H ⁺	MA	Mn ²⁺	Fe ²⁺ (滴)
#1	3.00	2.00	1.00	0.00	1.00	2.00
#2	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00
#3	1.00	2.00	1.00	2.00	1.00	2.00
#4	0.50	2.00	1.00	2.50	1.00	2.00
#5	0.00	2.00	1.00	3.00	1.00	2.00

結果:1.改變 KBrO₃ 濃度時的電壓(V)對時間(sec)作圖結果如下:

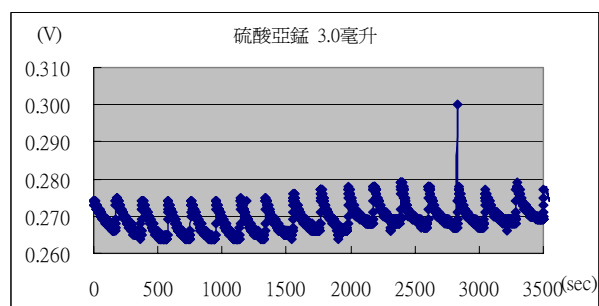
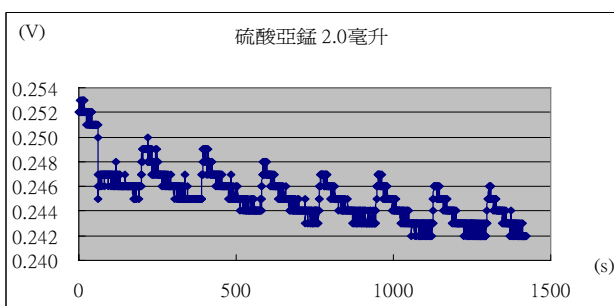
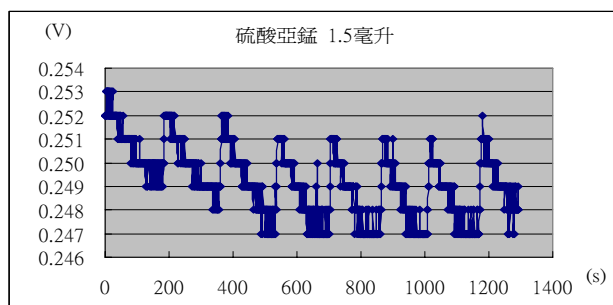
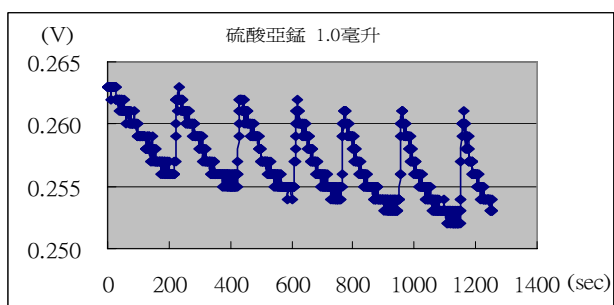
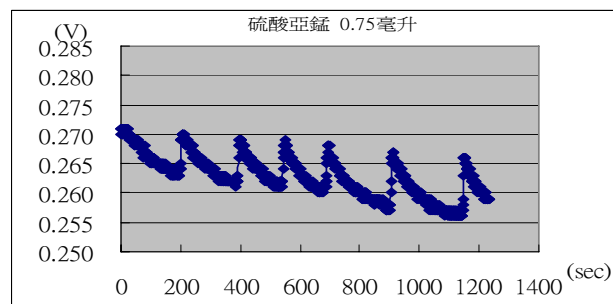
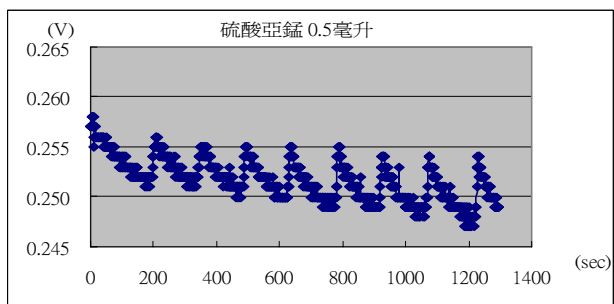
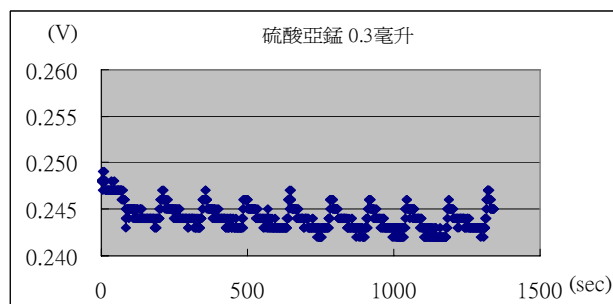
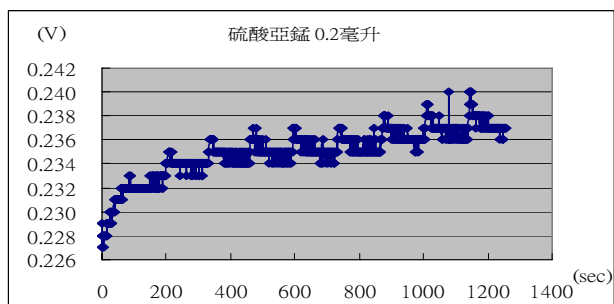




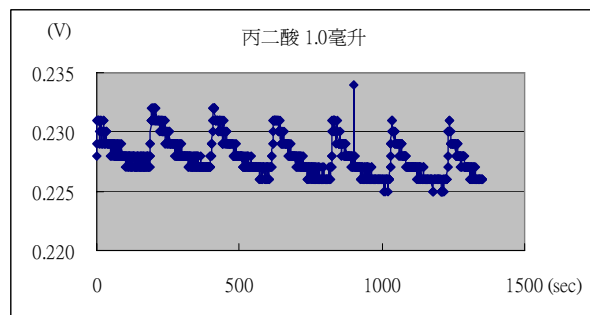
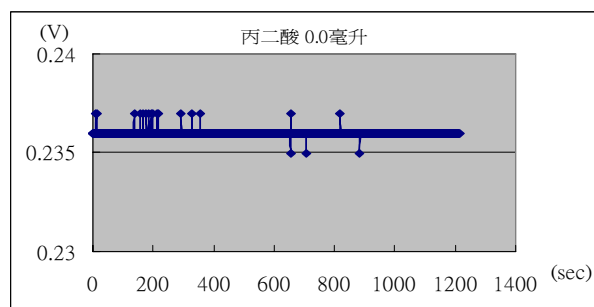
2.改變 H_2SO_4 濃度時電壓(V)對時間(sec)作圖的結果如下:

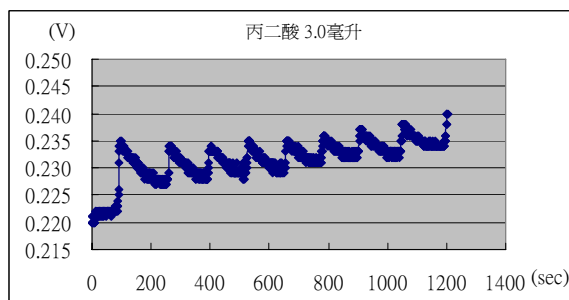
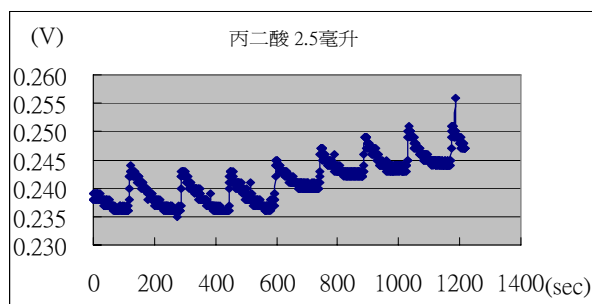
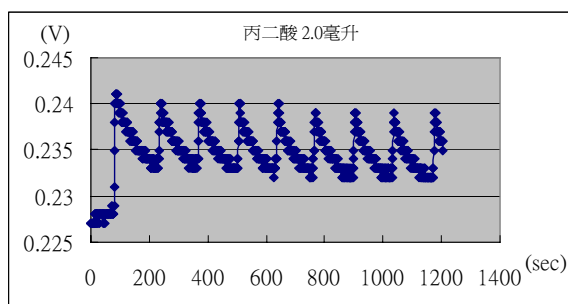


3.改變 MnSO_4 濃度時電壓(V)對時間(sec)作圖的結果如下:



4.改變 MA 濃度時電壓對時間(sec)作圖的結果如下:





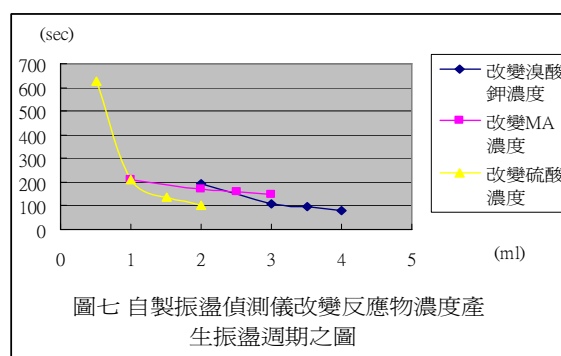
討論:

1. KBrO_3 濃度越小，振盪週期越大，振盪頻率越小，且 $[\text{KBrO}_3]=0.5 \text{ ml} \sim 0 \text{ ml}$ 時沒有振盪週期
2. H_2SO_4 濃度越小，其振盪週期越大，振盪頻率越小。
3. MnSO_4 濃度越大，振盪週期越小，振盪頻率越大，但 MnSO_4 的體積大於 0.75 ml 時，振盪頻率會趨於飽和。
4. MA 濃度越大，其振盪週期越小，振盪頻率越大。
5. 求以上改變反應物濃度時振盪反應中電壓對時間圖形的振盪週期：本實驗大部分反應物的振盪週期會隨反應物濃度衰減而變小,所以,大致是將第一個波峯到第五個波峯的時段除以 4 所得的數據當作該反應物濃度之振盪週期(平均值)
6. 以下乃利用上面 KBrO_3 、 H^+ 及 MA 結果之圖形求得各波峯時間及換數成振盪週期之結果：

反應物	振盪次數	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
KBrO_3 4.00 ml	波峯時間(sec)	78	164	246	329	405	
	振盪週期(sec)	86	82	83	76		82
KBrO_3 3.50 ml	波峯時間(sec)	89	184	281	376	461	
	振盪週期(sec)	95	97	95	85	93	96
KBrO_3 3.00 ml	波峯時間(sec)	117	230	322	433		
	振盪週期(sec)	113	92	111			105
KBrO_3 2.00 ml	波峯時間(sec)	212	403	597	793		
	振盪週期(sec)	191	194	196			194
H_2SO_4 2.00ml	波峯時間(sec)	137	247	357	453	541	
	振盪週期(sec)	110	110	96	88	101	101
H_2SO_4 1.50ml	波峯時間(sec)	147	272	393	535	681	
	振盪週期(sec)	125	121	142	146	134	136

H ₂ SO ₄	波峯時間(sec)	46	251	471	673	896	
1.00ml	振盪週期(sec)	205	220	202	223	213	209
H ₂ SO ₄	波峯時間(sec)	558	1186				
0.50ml	振盪週期(sec)	628					628
MA	波峯時間(sec)	94	259	396	530	658	
3.00ml	振盪週期(sec)	165	137	134	128	145	141
MA	波峯時間(sec)	118	288	449	597	744	
2.50ml	振盪週期(sec)	170	161	148	147	160	157
MA	波峯時間(sec)	194	356	531	709	888	
2.00ml	振盪週期(sec)	162	175	178	179	172	174
MA	波峯時間(sec)	191	407	617	826	1032	
1.00ml	振盪週期(sec)	216	210	209	206	210	210

1. MnSO₄的濃度(體積)越大，振盪週期越大，振盪頻率越小，且 MnSO₄的體積大於 0.75 ml 時，振盪頻率會趨於飽和，所以，不將 MnSO₄的濃度(體積)數據作波峯與振盪週期的呈現，且在各控制變因的研究中都以 MnSO₄ 1.00ml 為實驗條件
2. 綜合以上 KBrO₃、H₂SO₄ 與 MA 的濃度與振盪週期之結果得圖七的關係圖。
3. 由自製振盪偵測儀得到反應級數：根據速率定律式 $R=k[\text{KBrO}_3]^m[\text{H}^+]^n[\text{MA}]^r$ ，若固定其中二者，改變第三者，再由其級數公式 $m=\log(\text{振盪週期 } 1/\text{振盪週期 } 2)/\log(\text{濃度 } 2/\text{濃度 } 1)$ ，所以， $m=\log(81.75/95.67)/\log(3.50/4.00)$ 得 $m=1.18$ ，再由三個 m 值求得平均的 $m=1.10$
4. 同理可求得 $n=1.23$ 及 $r=0.38$
5. 若將討論 3~4 與圖七合併看時，發現丙二酸的級數最小而硫酸的級數最大，這正好符合圖七中丙二酸的斜率最少，硫酸的斜率最大的結果
6. 所以，我們由自製振盪偵測儀得到的本振盪反應速率定律式為 $R=k[\text{KBrO}_3]^{1.10}[\text{H}^+]^{1.23}[\text{MA}]^{0.38}$

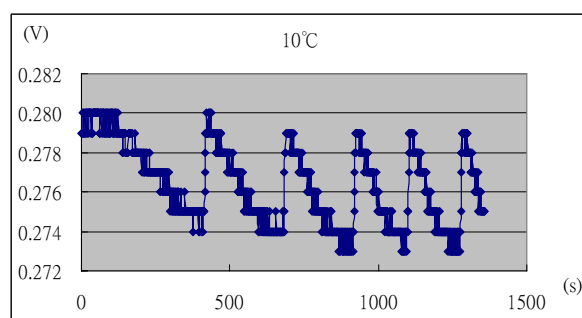
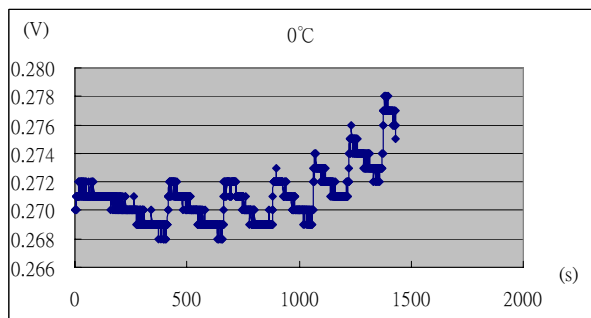


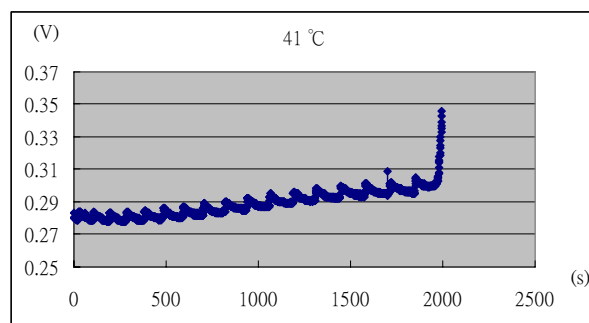
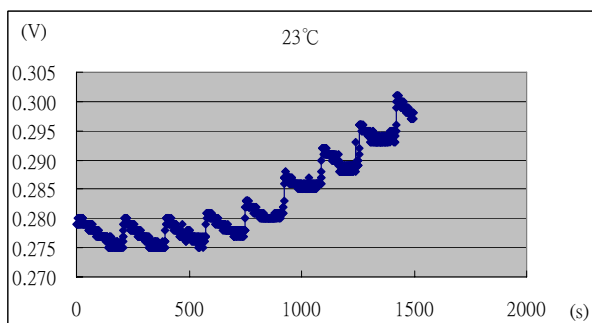
步驟：(二)改變溫度

表六 改變溫度						
	H ₂ O	KBrO ₃	H ⁺	MA	Mn ²⁺	Fe ²⁺
#1	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00

各反應物以左表體積進行 0℃、10℃、23℃、41℃ 等溫度改變的實驗

結果:





討論:

1. 當溫度越低時，其振盪週期越大，振盪頻率越小
2. 以下乃利用本實驗之不同溫度所求得各波峯時間及換數成振盪週期的結果：

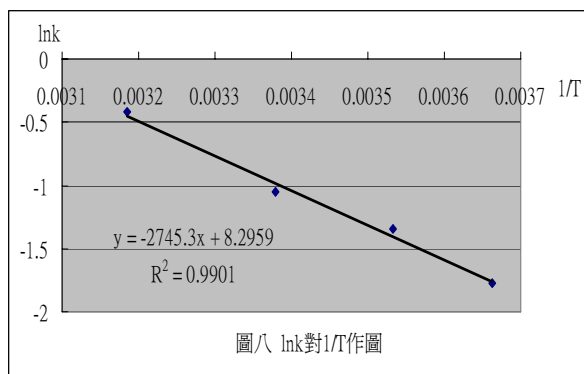
反應物	振盪次數	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
0°C	波峯時間(sec)	28	684	898	1076	1235	
	振盪週期(sec)	656	214	178	159		349
10°C	波峯時間(sec)	428	699	932	1111	1285	
	振盪週期(sec)	271	233	178.7	174		228
23°C	波峯時間(sec)	409	583	753	923	1091	
	振盪週期(sec)	174	170	170	168		171
41°C	波峯時間(sec)	27	113	199	288	388	
	振盪週期(sec)	86	86	89	100		90

3. 反應級數由上述(一)討論 3、4 得：m=1.10，n=1.23，r=0.38，故速率常數

$$k = \frac{1/t}{[\text{KBrO}_3]^{1.1} [\text{H}_2\text{SO}_4]^{1.23} [\text{MA}]^{0.38}}, \text{ 將週期與}$$

KBrO₃、H₂SO₄ 及 MA 的濃度代入此公式，可求得 k 值，其結果如表七所示

4. 以表七的 lnk 對 1/T 作圖：得斜率-2745.3，又斜率=-Ea/R，且 R=8.31，故求得 Ea=22.8 千焦耳
5. 所以，本振盪反應的活化能為 22.8 千焦耳

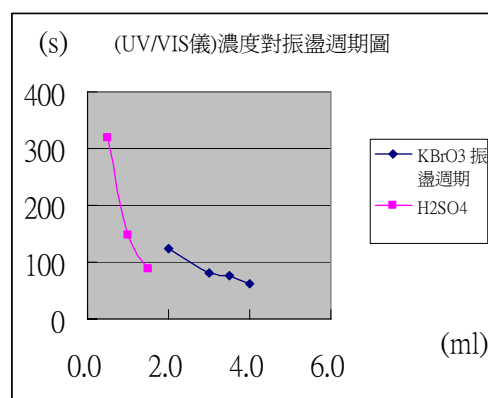
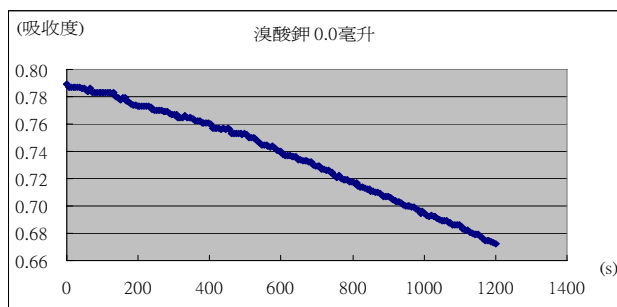
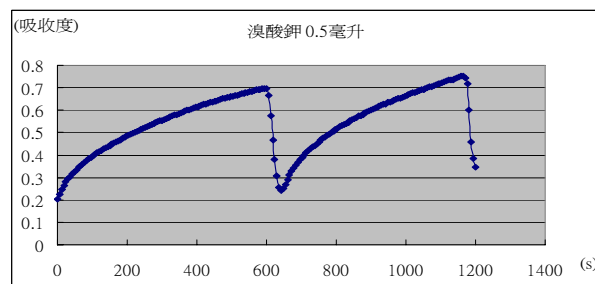
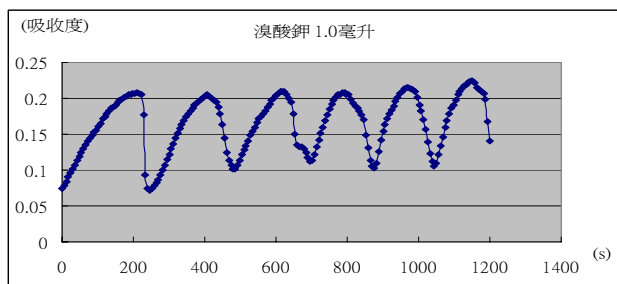
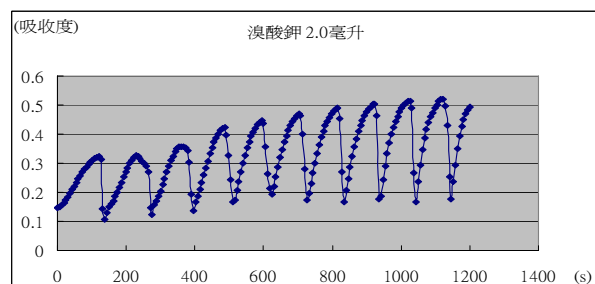
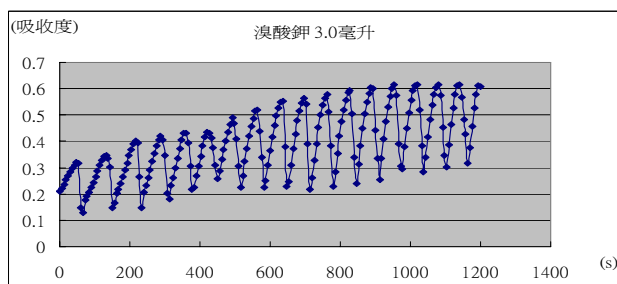
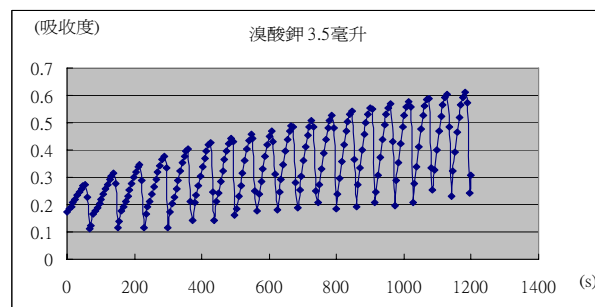
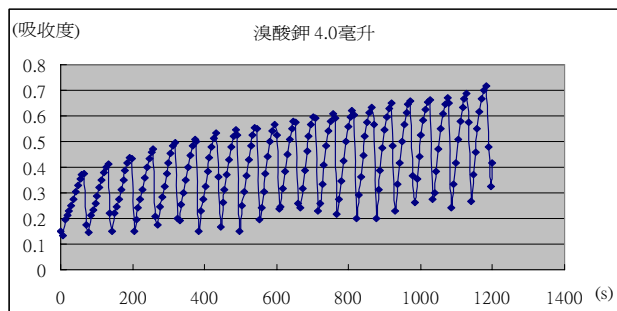


表七 不同溫度下所換數得的 k 值及 lnk				
溫度 T(K)	273(0°C)	283(10°C)	296(23°C)	314(41°C)
平均振盪週期 t(sec)	349	228	171	90
1/T(1/K)	0.0037	0.0035	0.0034	0.0032
k 值	0.17	0.26	0.35	0.66
lnk	-1.77	-1.35	-1.05	-0.42

實驗三、以 UV/VIS 儀來確認自製振盪偵測儀的可靠性

步驟：同實驗二中的步驟(一)

結果：因篇幅關係只呈現 KBrO_3 的 UV/VIS 儀吸收度對時間作圖的結果：



討論：

1. KBrO_3 體積越小，振盪週期越大振盪頻率越小。當 KBrO_3 體積等於 0.00 ml 並沒有振盪週期
2. 以下乃將 UV/VIS 儀所得數據再整理成濃度對振盪週期的表格如下表，再將它轉成圖形便是上面的(UV/VIS 儀)濃度對振盪週期圖：

KBrO_3	濃度(ml)	4.00	3.50	3.00	2.00
	平均振盪週期(s)	63	76	80	125
H_2SO_4	濃度(ml)	1.50	1.00	0.50	
	平均振盪週期(s)	87	148	319	

- 3.由 UV/VIS 儀得到反應級數：根據速率定律式 $R=k[\text{KBrO}_3]^m[\text{H}^+]^n[\text{MA}]^r$ ，若固定其中二者，改變第三者，再由其級數公式 $m=\log(\text{振盪週期 } 1/\text{振盪週期 } 2)/\log(\text{濃度 } 2/\text{濃度 } 1)$ ，所以，
 $m=\log(63/76)/\log(3.50/4.00)$ 得 $m=1.46$ ，再由三個 m 值求得平均的 $m=1.10$
- 4.同理可求得 UV/VIS 儀所測得的 $n=1.21$
- 5.若將討論 3 與(UV/VIS 儀)濃度對振盪週期圖合併看時,發現硫酸級數比溴酸鉀大,這正好符合 (UV/VIS 儀)濃度對振盪週期圖中，硫酸斜率較大而溴酸鉀斜率較小的結果
- 6.由實驗二自製振盪偵測儀得到的反應級數(m 及 n)與 UV/VIS 儀得到的反應級數(m 及 n)非常接近，可見得我們所研發製得的振盪偵測儀是可信賴的。

實驗四、利用洋菜探討振盪反應

根據文獻資料，當振盪反應靜置時，會有奇特但又規律的圖形產生，爲了探討產生振盪圖形的可能原因以及反應機制，所以試圖做靜置溶液的振盪圖形加以觀察並探討。

一、試圖找出清楚觀察到靜置振盪圖形的條件

步驟：

1.改變 KBrO_3 溶液之濃度

(1) 取 0.50ml 0.30M KBrO_3 溶液加入 4.50ml H_2O 成 A 溶液，取 2.00ml 6.0M H_2SO_4 當 B 溶液，取 2.00ml 0.30MMA 溶液加入 2.00ml 0.03M MnSO_4 溶液混合當 C 溶液。

(2)依序將 A、B、C 溶液倒入錐形瓶，再滴入 2 滴 Ferroin，靜置觀察圖形

(3)步驟同(1)~(2)但改變 KBrO_3 濃度(參表八)。

表八 改變 KBrO_3 溶液之濃度 (單位:ml)

A 溶液		B 溶液	C 溶液	
KBrO_3	H_2O	H_2SO_4	MA	MnSO_4
0.50	4.50	1.00	2.00	2.00
1.00	4.00	1.00	2.00	2.00
1.50	3.50	1.00	2.00	2.00
2.00	3.00	1.00	2.00	2.00

表九 改變 H_2SO_4 溶液之濃度(單位:ml)

A 溶液	B 溶液		C 溶液	
KBrO_3	H_2O	H_2SO_4	MA	MnSO_4
2.00	3.50	0.50	2.00	2.00
2.00	3.00	1.00	2.00	2.00
2.00	2.50	1.50	2.00	2.00
2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

2.改變 H_2SO_4 溶液之濃度

(1) 步驟同上述 1 中的(1)~(3)，但改變 H_2SO_4 濃度(參表九)。

結果：拿相機從上而下拍攝燒杯中靜置溶液之振盪圖形如圖九。

若稍微一搖動就圖形不見了。



圖九 溶液之振盪圖形

二、選擇用洋菜，探討振盪反應圖形

靜置溶液的振盪反應圖形流動性大，圖形容易受到干擾而消失，不利於探討，所以試圖用可延緩溶液流動性的洋菜凍，探討振盪反應圖形

(一)製作膠體態洋菜凍

根據文獻，用 100.00mlH₂O 對 1.00g 洋菜粉比例可以形成洋菜凍，所以我們以此比例進行實驗。

步驟：將 100.00mlH₂O 加熱至沸騰，放入 1.00g 洋菜粉，攪拌均勻，冷卻至室溫，倒入培養皿中，觀察其凝固現象。

結果：製作的膠體態洋菜溶液冷卻至室溫可以凝固。

(二)製作膠體態振盪反應的洋菜凍

步驟：1.改變 KBrO₃之濃度

表十 改變 KBrO₃之濃度

編號	A 溶液		B 溶液		C 溶液		D 溶液		Feroin(ml)
	洋菜粉(g)	H ₂ O(ml)	KBrO ₃ (g)	H ₂ O(ml)	H ₂ SO ₄ (ml)	H ₂ O(ml)	MA(溶於 1ml H ₂ O)(g)	MnSO ₄ (溶於 1ml H ₂ O)(g)	
#1	1.00	80.00	1.00	6.00	3.00	9.00	0.23	0.10	0.75
#2	1.00	80.00	2.00	6.00	3.00	9.00	0.23	0.10	0.75
#3	1.00	80.00	3.00	6.00	3.00	9.00	0.23	0.10	0.75

(1) 將 80.00mlH₂O 加熱至沸騰，加入 1.00g 洋菜粉，攪拌均勻，冷卻至 30°C，當溶液 A

(2) 取 2.00gKBrO₃溶於 6.00ml H₂O 當 B 溶液，取 3.00ml 6MH₂SO₄溶液加 9.00ml H₂O 當 C 溶液，取 0.23gMA(溶於 1.00ml 水)加入 0.10gMnSO₄(溶於 1.00ml)溶液混合當 D 溶液。

(3) 依序將 B、C、D 溶液倒地入溶液 A，再滴入 0.75ml Feroin，攪拌均勻，倒入培養皿中，靜置觀察圖形

(4) 步驟同(1)~(2)但改變 KBrO₃為 1.00、3.00g(參表十)。

2.改變 H₂SO₄溶液之濃度

(1) 步驟同上述 1 中的(1)~(3)，但改變 H₂SO₄濃度(參表十一)。

表十一 改變 H₂SO₄之濃度

編號	A 溶液		B 溶液		C 溶液		D 溶液		Feroin(ml)
	洋菜粉(g)	H ₂ O(ml)	KBrO ₃ (g)	H ₂ O(ml)	H ₂ SO ₄ (ml)	H ₂ O(ml)	MA(溶於 1ml H ₂ O)(g)	MnSO ₄ (溶於 1ml H ₂ O)(g)	
#1	1.00	80.00	2.00	6.00	3.00	9.00	0.23	0.10	0.75
#2	1.00	80.00	2.00	6.00	6.00	6.00	0.23	0.10	0.75
#3	1.00	80.00	2.00	6.00	9.00	3.00	0.23	0.10	0.75

結果：1.

表十二 不同濃度 KBrO₃的振盪圖形

編號	#1	#2	#3
結果	非常不明顯，幾乎看不見振盪圖形	有較明顯的振盪圖形產生但十分緩慢	有明顯的振盪圖形產生

2.00g 以及 3.00gKBrO₃皆可清楚觀察到振盪圖形，為了減少藥品用量，所以我們選擇用 2.00gKBrO₃進行以下研究

2.

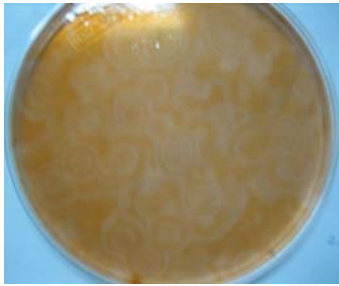
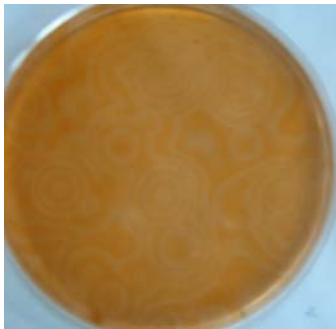


圖十 模仿水溶液條件的洋菜振盪反應情形

表十三 不同濃度 H_2SO_4 的振盪圖形

編號	#1	#2	#3
結果	振盪圖形出現緩慢	振盪圖形出現且可以清楚觀察圖形變化	振盪圖形出現，可以清楚觀察圖形變化，但因為酸性太強導致洋菜不能凝固，稍微一搖動就圖形不見。
同心圓半徑差(cm)	0.40	0.50	0.60

3. 圖十一、振盪圖形隨時間變化之流程

1  一剛開始時振盪反應所呈現的圖形，有許多圓形小點出現於洋菜上	2  圓形小點開始向外擴散
3  圓形小點開始向外逐漸擴散並開始形成一層一層的同心圓	4  混亂的多層同心圓再向外擴散，並產生融合圖形
5  融合一段時間後的同心圓圖形	6  融合成幾個大圓，且繼續擴散(右上角有一個螺旋式的波形成)

7  同心圓相遇時，會產生往某方向融合的現象	8  經過 4 小時後，洋菜上有許多氣泡
---	--

討論：

1. 酸濃度越高，振盪反應圖形出現的變化也越快；同心圓的半徑差也越來越小。
2. H_2SO_4 濃度越高其同心圓半徑差越小是反應速率變快所致，所以同一圓心所形成同心圓之間的距離變短。因此 H_2SO_4 可加速反應且是控制本速率定律式的反應物之一。
3. 當 H_2SO_4 濃度太高會導致洋菜無法凝固。
5. 振盪圖形擴散出許多同心圓，同一圓心的同心圓其半徑差約略相同
6. 「改變 H_2SO_4 溶液之濃度」中#2 條件最適合用來進行洋菜振盪圖形的研究
7. 反應初期產生許多圓形小點，呈混沌無規則狀態，漸漸地以圓點為中心開始向外擴散。(表三的 1~2)
8. 兩個往相反方向擴散的同心圓，會融合但不會出現類似水波動的干涉現象。
9. 當兩圓形出現融合時，有時會讓其中一圓漸漸形成螺旋式的波紋。
10. 最後洋菜顏色漸漸變淡、圖形消失、產生許多氣泡。再繼續觀察洋菜變深棕色(一天後)
11. 我們尚未做洋菜研究之前，都是進行水溶液的反應，所看到的變色幾乎都是整個溶液集體變藍色再集體變紅色，所以，讓我們認為，當我們將反應物倒入洋菜溶液時順便攪拌均勻，其反應是均勻地於圓形培養皿中進行(整個洋菜同時變藍再同時變紅)。沒想到振盪反應的圖形是從某些特定點先產生，然後再由此點慢慢向外擴展。後來經過思考，認為洋菜溶液會導致反應物間無法快速碰撞，分子間動能也無法快速傳遞。於是，當某些分子動能大到足以突破活化能時，反應便由此處開始進行，而其他分子無法快速到達反應處，於是「振盪反應的圖形是從某些特定點先產生」而非均勻產生。
12. 為什麼會有同心圓的產生呢?根據涂林理論(物質相互作用時同時含有反應與擴散，缺一不可。經反應趨進一個規律，然而擴散則要將物質均勻分佈，這兩個力量競爭的結果，妥協於一個特定圖案的平衡——一種動態的平衡。)當「振盪反應的圖形是從某些特定點先產生」因反應與擴散同時進行、競爭的結果，導致同心圓的形成。於是，就從某特定點逐漸向外形成越來越多的同心圓。

三、利用洋菜凍可緩慢振盪反應特性，探討振盪反應的反應式

步驟：1. 固態 KBrO_3 ：

- (1) 製作洋菜溶液：以表十四之#1 各反應物製洋菜溶液，但不能加入 KBrO_3 固體。
- (2) 將(1)溶液倒入已在特定點上放置固態 KBrO_3 的培養皿，靜置觀察圖形並記錄。

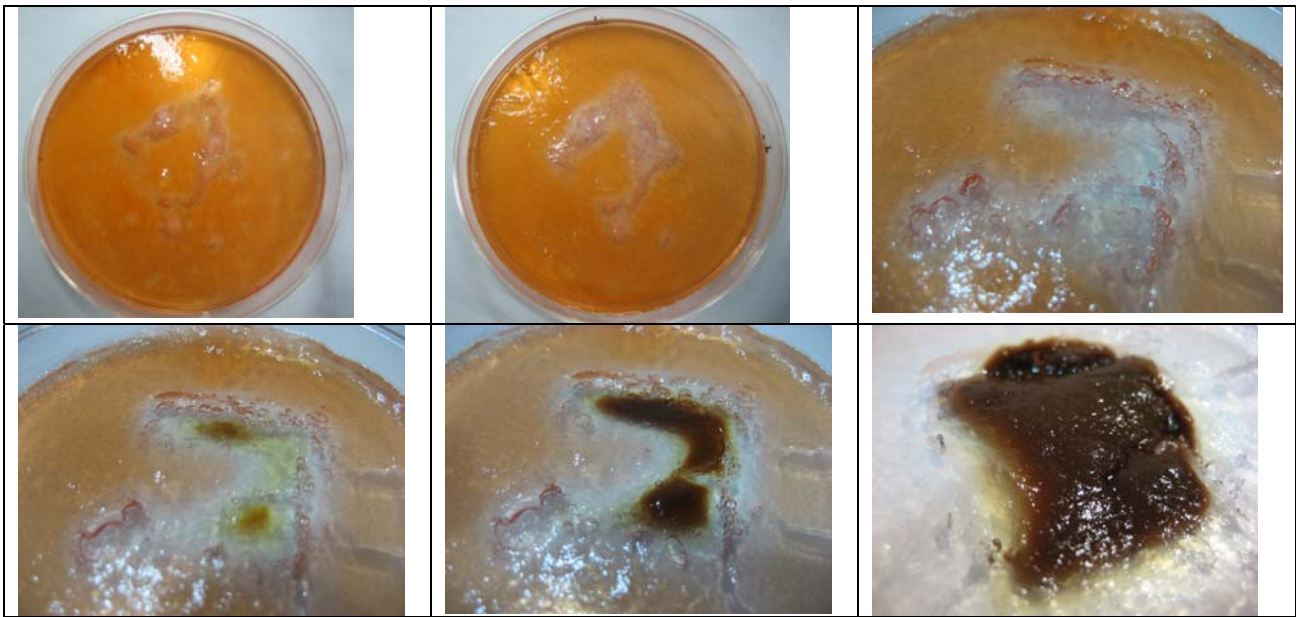
2. 固態 MnSO_4 ： 步驟同上述(1)~(2)，但改變固態反應物為 MnSO_4 (參表十四#2)。

表十四 固態反應物

編號	反應物	A 溶液		B 溶液		C 溶液		D 溶液				Ferrioin (ml)
		洋菜粉(g)	H ₂ O (ml)	KBrO ₃ (g)	H ₂ O (ml)	H ₂ SO ₄ (ml)	H ₂ O (ml)	MA (g)	H ₂ O (ml)	MnSO ₄ (g)	H ₂ O(ml)	
#1	KBrO ₃	1.00	80.00	2.00	0.00	6.00	12.00	0.20	1.00	0.10	1.00	0.75
#2	MnSO ₄	1.00	80.00	2.00	6.00	9.00	3.00	0.20	2.00	0.10	0.00	0.75

結果：1.

圖十二 振盪圖形隨時間變化之流程（固態 KBrO₃）



2.

反應物	固態 KBrO ₃	固態 MnSO ₄
結果	初期 KBrO ₃ 周圍先變成藍色，接著冒出小氣泡，慢慢的 KBrO ₃ 周圍又變成紅色，最後固態 KBrO ₃ 的地方變成棕褐色。見表五	沒有放置 MnSO ₄ 的地方，出現振盪圖形，最後放置固態 MnSO ₄ 的地方變棕褐色。

討論：

1. 固態 KBrO₃ 反應：初期 KBrO₃ 周圍先變成藍色，表示 KBrO₃ 先與 Mn²⁺ 反應呈 Mn³⁺，再與亞鐵靈試劑反應由紅變藍。接著冒出小氣泡，表示反應開始產生 CO₂，即 MA 被氧化產生 CO₂。接著反應又變成紅色，表示此時藍色 Fe(ph)₃³⁺ 幾乎被還原成紅色 Fe(ph)₃²⁺，最後放置固態 KBrO₃ 的點周圍變成棕褐色，表示此處 KBrO₃ 與 Mn²⁺ 反應變成大量 Mn³⁺，根據文獻知道 Mn³⁺ 不穩定，所以 Mn³⁺ 自身氧化還原成 MnO₂ 及 Mn²⁺，呈現棕褐色(MnO₂)。
2. 固態 MnSO₄ 反應：初期，MnSO₄ 處有振盪圖形而沒有 MnSO₄ 處也有振盪圖形，最後，變成幾個大的同心圓。可見，Mn²⁺ 扮演的氧化還原催化劑角色也可以由亞鐵靈試劑取代。最後放置固態 MnSO₄ 處周圍變成棕褐色，足以證明是 Mn²⁺ 與 KBrO₃ 反應變成 Mn³⁺，再由 Mn³⁺ 變成二氧化錳，呈現棕褐色。

四、探討各種干擾對振盪圖形的影響(利用洋菜以便觀察)

利用洋菜可以清楚觀察到振盪圖形，且可以減低圖形受外界干擾的影響(例如桌面震動，或移動)，緩慢振盪反應，方便我們探討振盪反應情形。

步驟：

1.探討盛裝洋菜溶液器皿之形狀對振盪圖形的影響

- (1) 製作洋菜溶液，各反應物濃度如表十五
- (2) 一部分倒入長方形另一部分倒入培養皿，靜置觀察圖形並記錄。

2.探討洋菜中加入干擾模型對振盪圖形的影響

- (1) 製作洋菜溶液，各反應物濃度如表十五
- (2) 倒入二個培養皿，分別放入小花模型、櫻花模型，靜置觀察圖形並記錄。

3.探討磁場對振盪圖形的影響

- (1) 製作洋菜溶液，各反應物濃度如表十五
- (2) 一部分倒入下方放置磁鐵的培養皿另一部分兩端放置磁鐵的培養皿，靜置觀察圖形並記錄。

表十五 配置的各反應物條件

A 溶液		B 溶液		C 溶液		D 溶液		Ferroin (ml)
洋菜粉 (g)	H ₂ O(ml)	KBrO ₃ (g)	H ₂ O(ml)	H ₂ SO ₄ (ml)	H ₂ O(ml)	MA(溶於 1ml H ₂ O)(g)	MnSO ₄ (溶於 1ml H ₂ O)(g)	
1.00	80.00	2.00	6.00	6.00	6.00	0.23	0.10	0.75

結果：

1. 圖十三 圓形器皿中振盪圖形隨時間變化之流程



初期先形成許多白色小點，再由小點開始向外擴成同心圓或是螺旋式紋路。

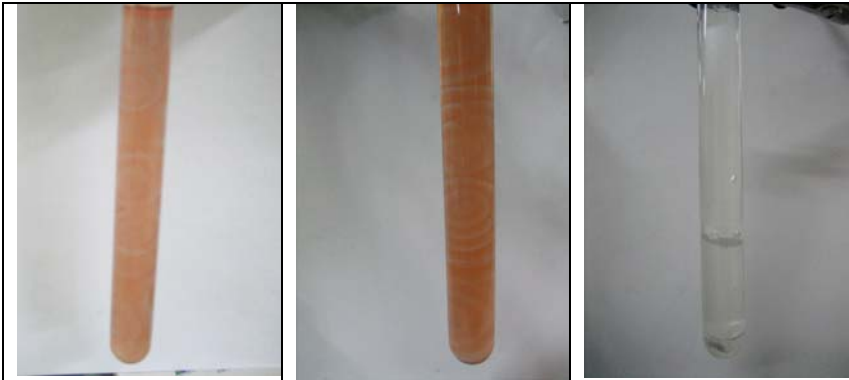
2. 圖十四 長方形器皿中振盪圖形隨時間變化之流程





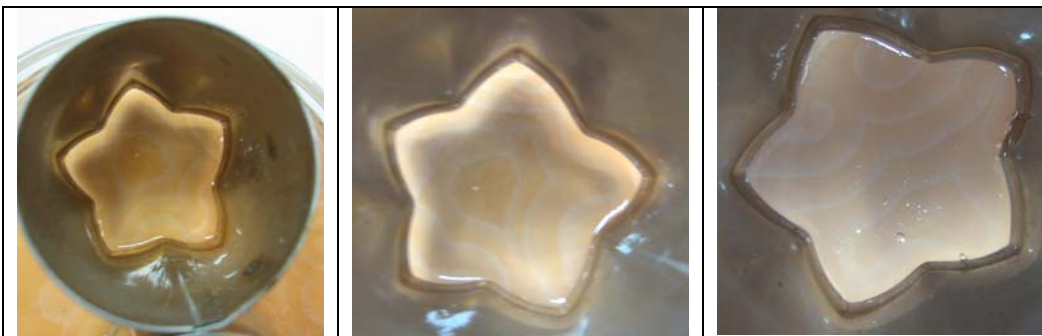
初期先形成許多白色小點，再由這些小點向外擴成同心圓或是螺旋式紋路。與圓形器皿沒什麼差異

3. 圖十五 試管內振盪圖形隨時間變化之流程(3-D)



試管之洋菜中先形成許多白色小點，再由這些小點向外擴成 3-D 的同心圓或是螺旋式紋路，實驗最後產生的氣泡洋菜溶液有了裂縫。

4. 圖十六 星星模型之振盪圖形隨時間變化流程



振動圖形會沿著星星模型的各邊開始形成，向內擴出一圈一圈的紋路，由於面積較小，圖形外擴容易相遇而融合一起，最後可以看到螺旋紋路產生

5. 圖十七 櫻花模型之振盪圖形隨時間變化流程



振動圖形會沿著櫻花模型的各邊開始形成，向內擴出一圈一圈的紋路，由於面積較小，

圖形外擴後容易相遇而融合在一起，最後可以看到明顯的螺旋紋路

圖十八 模型外之振盪圖形隨時間變化流程

6.



圖形不只在星星及櫻花模型內擴展，也會在模型外擴展

7.

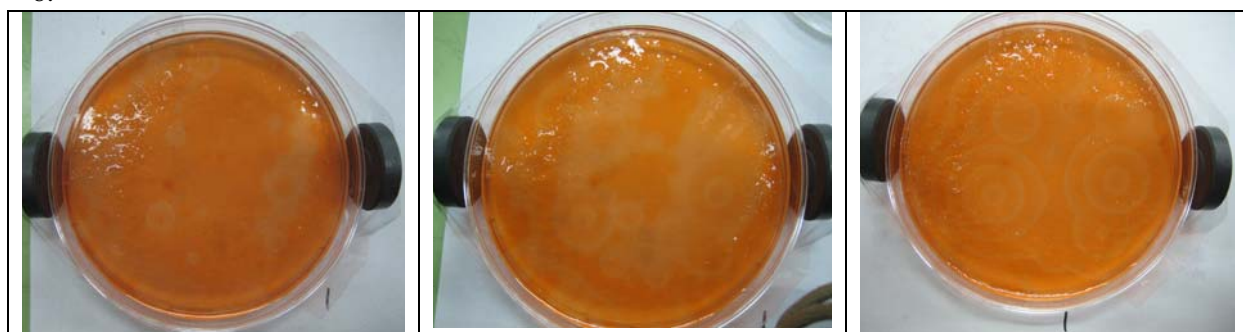
圖十九 磁鐵在兩邊時,振盪圖形隨時間變化之流程



磁鐵放於中間時振盪圖形初期呈渾沌隨機小圓點，經過一段時間後，同心圓在兩端形成，中間幾乎不見同心圓

8.

圖二十 磁鐵在兩邊時,振盪圖形隨時間變化之流程



磁鐵放於兩邊時振盪圖形初期呈渾沌隨機小圓點，經過一段時間後，很明顯地在兩端磁鐵附近形成較完整同心圓

討論：

- 1.不同器皿形狀(結果 1~2)：器皿形狀不會影響振盪圖形形成，振盪圖形都是類似同心圓或螺旋狀的隨時間向外一圈一圈擴散。
- 2.(結果 3)由試管的觀察，得知振盪圖形的同心圓或螺旋狀圖形，是隨時間向外一圈一圈做 3-D 的擴散。
- 3.不同模型的干擾(結果 4~5)：振盪反應會受模型干擾，因它由干擾處開始產生振盪反應，而導致振盪圖形沿著模型形狀開始產生。
- 4.外加磁場(結果 7~8)：振盪圖形初期都是呈不規則的，在變化過程中，漸漸受到磁場影響，振盪圖形有沿著磁場方向產生的趨勢。

實驗五、確認振盪反應的各步驟

根據文獻探討，得知溴酸鉀(KBrO_3)、硫酸(H_2SO_4)、丙二酸($\text{HOOCCH}_2\text{COOH}$)、亞鐵靈(Feroin, $\text{C}_{36}\text{H}_{24}\text{FeN}_6\text{O}_4\text{S}$)及硫酸亞錳(MnSO_4)等溶液混合將產生振盪反應，可是，如何確認振盪反應的各步驟呢？

(一)探討 KBrO_3 與哪些反應物產生反應

步驟：

1. KBrO_3 與 H_2SO_4 是否反應？

(1) 取 1.00ml KBrO_3 加入 1.00ml H_2SO_4 ，觀察記錄

(2) 十分鐘後，再觀察記錄。

2. KBrO_3 與 Feroin 是否反應？

2-1. 取 1.00ml KBrO_3 加入 Feroin 3 滴，觀察記錄；十分鐘後，再觀察記錄

2-2 加入酸：取 1.00ml KBrO_3 加入 Feroin 3 滴並加入 0.50ml H_2SO_4 ，觀察記錄；十分鐘後，再觀察記錄

2-3. 在 2-2 步驟中若有反應，是 KBrO_3 與 Feroin 反應，還是 H_2SO_4 與 Feroin 反應呢？

(1) 取 1ml H_2SO_4 加入 3 滴 Feroin，觀察記錄

(2) 十分鐘後，觀察記錄

3. KBrO_3 與 Mn^{2+} 是否會產生反應？

3-1. 取 1.00ml KBrO_3 加入 1.00ml MnSO_4 ，觀察紀錄；十分鐘後，再觀察記錄。

3-2. 加入酸：取 1.00ml KBrO_3 加入 1.00ml MnSO_4 ，再加入 0.50ml H_2SO_4 ，觀察記錄；十分鐘後，再觀察記錄

3-3. 在 3-2 步驟中若有反應的話，是 KBrO_3 與 MnSO_4 反應，還是 H_2SO_4 與 MnSO_4 反應呢？

(1) 取 1.00ml H_2SO_4 加入 1.00ml MnSO_4 ，觀察記錄

(2) 十分鐘後，再觀察記錄。

3-4. 探討酸性條件下 KBrO_3 與 Mn^{2+} 反應後的產物

3-4-1. 檢驗酸性條件下 Mn^{2+} 與 KBrO_3 反應後是否產生 Br_2 ？

(1) 倒取 3-2 步驟(2)的溶液一半於試管 c，加入 0.50ml CCl_4 ，觀察記錄

(2) 取 1.00ml KBrO_3 加入 1.00ml KBr ，再加入 1.00ml CCl_4 ，與上述(1)做比較，觀察記錄

3-4-2. 檢驗酸性條件下 Mn^{2+} 與 KBrO_3 反應後，是否產生 Mn^{3+} ？

根據文獻探討，得知 KBrO_3 與 Mn^{2+} 在酸中反應會產生 Mn^{3+} ，且 Mn^{3+} 可以利用 EDTA 檢驗其存在。

3-4-2.1. EDTA 與 KBrO_3 是否反應：取 1.00ml KBrO_3 ，加入 1.00ml EDTA，觀察記錄；十分鐘後，再觀察記錄。

3-4-2.2. 加酸：取 1.00ml KBrO_3 ，加入 1.00ml EDTA、1.00ml H_2SO_4 ，觀察記錄；過十分鐘後，再觀察記錄

3-4-2.3. 酸性條件下 KBrO_3 與 Mn^{2+} 反應後，以 EDTA 檢驗其產物？

(1) 取 3-4-2.2 溶液，慢慢滴加 0.50ml MnSO_4 ，觀察記錄

(2) 十分鐘後，再觀察記錄。

3-4-2.4 在 3-4-2.3 步驟中若有反應的話，是 Mn^{3+} 與 EDTA 反應，還是 Mn^{2+} 與 EDTA 反應呢？

3-4-2.4(a) 確認 Mn^{3+} 與 EDTA 的反應

根據文獻， Mn^{2+} 在鹼性環境下會產生 Mn^{3+} ，所以我們利用此方法來製造 Mn^{3+} ，以便測試 Mn^{3+} 與 EDTA 是否反應。

根據文獻方法製造 Mn^{3+} ，並確認 Mn^{3+} 是否會與 EDTA 反應

(1) 取 1.00ml Mn^{2+} 加入 2.00ml NaOH ，搖晃即可，觀察記錄

(2) 取步驟(1)溶液 0.50ml，逐滴加入 EDTA，觀察記錄並與 3-4-2.3(2)做比較

3-4-2.4(b). Mn^{2+} 與 EDTA 是否反應：取 1.00ml MnSO_4 ，加入 1.00ml EDTA，觀察記錄；十分鐘後，再觀察記錄。

3-4-2.4(c)加酸：取 1.00ml MnSO_4 ，依序加入 1.00ml H_2SO_4 、1ml EDTA，觀察記錄；十分鐘後，再觀察記錄。

4. KBrO_3 與 MA 是否反應？

4-1. 取 1.00ml KBrO_3 加入 1.00ml MA，觀察記錄；十分鐘後，再觀察紀錄

4-2. 加酸：取 1.00ml KBrO_3 加入 1.00ml MA、0.50ml H_2SO_4 ，觀察記錄；十分鐘後，再觀察記錄

4-3. 在 4-2 步驟中若有反應，是 KBrO_3 與 MA 反應，還是 H_2SO_4 與 MA 反應呢？

(1) 取 1.00ml H_2SO_4 加入 1.00ml MA，觀察記錄；十分鐘後，再觀察記錄。

結果：

1. 步驟 1~2 結果： 表十六 KBrO_3 與 H_2SO_4 、Ferroin 試劑的反應結果

步驟	反應物	KBrO_3		Ferroin	
2-1	Ferroin(中性溶液)	混合後	紅(無反應)	混合後	
		經 10min 後	紅(無反應)	經 10min 後	
2-2	Ferroin/ H_2SO_4 (酸性條件)	混合後	紅→藍(有反應)	混合後	
		經 10min 後	紅→藍(有反應)	經 10min 後	
2-3	H_2SO_4	混合後	無色(無反應)	混合後	紅色(無反應)
		經 10min 後	無色(無反應)	經 10min 後	紅色(無反應)

2. 步驟 3-1~3-3 結果： 表十七 KBrO_3 與 Mn^{2+} 的反應結果

步驟	反應物	KBrO_3		Mn^{2+}	
3-1	Mn^{2+} (中性溶液)	混合後	無色(無反應)	混合後	
		經 10min 後	無色(無反應)	經 10min 後	
3-2	$\text{Mn}^{2+}/\text{H}_2\text{SO}_4$ (酸性條件)	混合後	無→淡紅棕色(有反應)	混合後	
		經 10min 後	無→棕褐色(有反應)	經 10min 後	
3-3	H_2SO_4	混合後	無色(無反應)	混合後	無色(無反應)
		經 10min 後	無色(無反應)	經 10min 後	無色(無反應)

3. 步驟 3-4-1 結果：(1) CCl_4 層呈黃色；(2) CCl_4 層呈黃色，故 Mn^{2+} 與 KBrO_3 在酸中會產生 Br_2

4. 步驟 3-4-2 結果： 表十八 以 EDTA 檢驗酸性條件下 Mn^{2+} 與 KBrO_3 反應

步驟	反應物		EDTA
3-4-2.1	KBrO_3 (中性溶液)	混合後	無色(無反應)
		經 10min 後	無色(無反應)
3-4-2.2	$\text{KBrO}_3 / \text{H}_2\text{SO}_4$ (酸性條件)	混合後	無色(無反應)
		經 10min 後	無色(無反應)
3-4-2.3	$\text{KBrO}_3 + \text{Mn}^{2+} / \text{H}_2\text{SO}_4$	混合後	無色→淡粉紅色(有反應)
		經 10min 後	淡粉紅色(有反應)
3-4-2.4(a)	$\text{Mn}^{2+} + \text{NaOH}$	混合前	皆無色
		混合後	棕褐色沉澱產生
3-4-2.4(a)	Mn^{3+} 溶液	混合前	棕褐色
		加 EDTA 後	棕褐色→粉紅色
3-4-2.4(b)	Mn^{2+} (中性溶液)	混合後	無色(無反應)

		經 10min 後	無色(無反應)
3-4-2.4(c)	$\text{Mn}^{2+} / \text{H}_2\text{SO}_4$ (酸性條件)	混合後	無色(無反應)
		經 10min 後	無色(無反應)

5.步驟 4 結果： 表十九 KBrO_3 與 MA 的反應之探討結果

步驟	反應物	KBrO_3		MA	
4-1	MA (中性溶液)	混合後	無色(無反應)	混合後	
		經 10min 後	無色(無反應)	經 10min 後	
4-2	MA / H_2SO_4 (酸性條件)	混合後	產生氣泡(有反應)	混合後	
		經 10min 後	產生氣泡(有反應)	經 10min 後	
4-3	H_2SO_4	混合後	無色(無反應)	混合後	無色(無反應)
		經 10min 後	無色(無反應)	經 10min 後	無色(無反應)

討論：

- 1.由表十六得知， KBrO_3 不會跟 H_2SO_4 反應； KBrO_3 與 Ferroin 在中性條件時不會反應，必須在酸中， KBrO_3 與 Ferroin 才會產生反應。
- 2.由表十七得知， KBrO_3 與 MnSO_4 在中性條件時不會反應，必須在酸中， KBrO_3 與 MnSO_4 才會產生反應， 溶液呈現淡紅棕色。
- 3.由表十八得知，(1)在沒有 Mn^{2+} 的條件下， 無論中性或酸性 KBrO_3 都不與 EDTA 反應
(2)在中性或酸中 Mn^{2+} 都不與 EDTA 反應
(3)在酸性條件下 Mn^{2+} 、 KBrO_3 及 EDTA 共存時有反應產生
(4) Mn^{3+} 與 EDTA 會產生反應，溶液會由棕褐色變成粉紅色
(5)在酸性條件下 Mn^{2+} 、 KBrO_3 及 EDTA 共存時，溶液呈現粉紅色，與 Mn^{3+} 與 EDTA 反應時，溶液相同顏色，推知酸性條件下 Mn^{2+} 、 KBrO_3 反應產生 Mn^{3+}
- 4.由表十九得知， KBrO_3 與 MA($\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_4$)在中性條件時不會反應，必須在酸中， KBrO_3 與 MA 才會產生反應且產生氣泡。
- 5.綜合表十六~表十九得知，(1) H_2SO_4 不與 Ferroin、 Mn^{2+} 及 MA 反應；(2) H_2SO_4 在 KBrO_3 與 Ferroin 混合液、 KBrO_3 與 MnSO_4 混合液、 KBrO_3 與 MA 混合液中都是扮演提供酸性條件
- 6.酸性條件下 KBrO_3 與 Mn^{2+} 會有淡紅棕色的產物出現，根據推理，此淡紅棕色產物應該是 Br_2 ，那麼， KBrO_3 是當氧化劑而 Mn^{2+} 當還原劑產生 Mn^{3+} 了。所以，根據研究與理論的推導得以下反應式：(1) KBrO_3 與 Mn^{2+} 在酸中反應應該為： $\text{BrO}_3^- + \text{Mn}^{2+} + \text{H}^+ \rightarrow \text{Br}^- + \text{Mn}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$
(2) KBrO_3 與 Ferroin 在酸中反應應該為： $\text{BrO}_3^- + \text{Fe}(\text{ph})_3^{2+}(\text{red}) + \text{H}^+ \rightarrow \text{Br}^- + \text{Fe}(\text{ph})_3^{3+}(\text{blue}) + \text{H}_2\text{O}$
(3) KBrO_3 與 MA($\text{HOOCCH}_2\text{COOH}$ ，簡稱 MA)在酸中反應應該為：
 $2\text{BrO}_3^- + 3 \text{HOOCCH}_2\text{COOH} + 2\text{H}^+ \rightarrow 2 \text{HOOCCHBrCOOH} + 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$

(二)探討 Ferroin 會與哪些反應物產生反應

步驟：1. Ferroin 是否與 KBrO_3 產生反應？(見步驟(一)-2)

2. Ferroin 是否與 MA 反應？

2-1.取 1.00ml MA 加入 3 滴 Ferroin，觀察記錄；十分鐘後，再觀察紀錄

2-2.加酸：取 1.00ml MA 加入 3 滴 Ferroin、0.50ml H_2SO_4 ，觀察記錄；十分鐘後，再觀察紀錄

3.Ferroin 是否與 Mn^{2+} 產生反應？

3-1. 將 1.00ml Mn^{2+} 加入 3 滴 Ferroin，觀察記錄；十分鐘後，再觀察紀錄

3-2.加酸：將 1.00ml Mn^{2+} 加入 3 滴 Ferroin、0.50ml H_2SO_4 ，觀察記錄；十分鐘後，再觀察記錄結果：

表二十 Ferroin 與 MA 的反應結果

步驟	反應物	Ferroin	
2-1	MA (中性溶液)	混合後	紅色(無反應)
		經 10min 後	紅色(無反應)
2-2	MA / H_2SO_4 (酸性條件)	混合後	紅色(無反應)
		經 10min 後	紅色(無反應)

表二十一 Ferroin 與 Mn^{2+} 的反應結果

步驟	反應物	Ferroin	
3-1	Mn^{2+} (中性溶液)	混合後	紅色(無反應)
		經 10min 後	紅色(無反應)
3-2	Mn^{2+} / H_2SO_4 (酸性條件)	混合後	紅色(無反應)
		經 10min 後	紅色(無反應)

討論：

1. Ferroin 與 MA 在中性與酸性條件時皆不會發生反應。
2. Ferroin 不與 Mn^{2+} 產生反應，即使為酸性條件下，亦不產生反應。

(三)探討 MA 會與哪些反應物產生反應

步驟：

1. MA 是否與 KBrO_3 產生反應？(同步驟(一)-4)
2. MA 與 Ferroin 是否會產生反應？(同步驟(二)-2)
3. MA 與 Mn^{2+} 是否會產生反應？
- 3-1. 取 1.00ml MA 加入 1.00ml MnSO_4 、3 滴 Ferroin，觀察記錄；十分鐘後，再觀察紀錄
- 3-2 加酸：取 1.00ml MA 加入 1.00ml MnSO_4 、3 滴 Ferroin、0.50ml H_2SO_4 ，觀察記錄；十分鐘後，再觀察記錄

結果：

表二十二 MA 與 Mn^{2+} 的反應結果

步驟	反應物	MA /Ferroin	
3-1	Mn^{2+} (中性溶液)	混合後	紅色(無反應)
		經 10min 後	紅色(無反應)
3-2	Mn^{2+} / H_2SO_4 (酸性條件)	混合後	紅色(無反應)
		經 10min 後	紅色(無反應)

討論：

1. MA 與 Mn^{2+} 在中性條件與酸性條件下皆不會發生反應。

(四) Mn^{2+} 在本實驗中所扮演的角色是什麼？

步驟：

1. Mn^{2+} 是否與 KBrO_3 產生反應？(同步驟(一)-3)
2. Mn^{2+} 與 Ferroin 是否會產生反應？(同步驟(二)-3)

3. Mn^{2+} 與 MA 是否會產生反應？(同步驟(三)-3)

4. Mn^{3+} 是否與 Ferroin 產生反應？根據文獻， Mn^{2+} 在鹼性環境下會產生 Mn^{3+} 。所以利用此法製造 Mn^{3+} ，以便測試 Ferroin 與 Mn^{3+} 是否反應。

4-1. 根據文獻方法製造 Mn^{3+} ：取 1.00ml Mn^{2+} 加入 2.00ml NaOH，搖晃即可，觀察記錄

4-2. Mn^{3+} 與 Ferroin 是否反應：取 1.00ml Mn^{2+} 加入 2.00ml NaOH 並逐滴加入 5 滴 Ferroin，觀察記錄

結果：

表二十三 探討 Mn^{3+} 與 Ferroin 的反應結果

步驟	反應物	反應結果	
4-1	Mn^{2+} + NaOH	混合前	皆無色
		混合後	棕褐色沉澱產生
4-2	Mn^{3+} 溶液	混合前	棕褐色
		加 Ferroin 後	紅色 Ferroin 會消失

討論：

1. Mn^{2+} 但不與 Ferroin 也不與 MA 產生反應。但與 KBrO_3 會產生反應，反應後產生的 Mn^{3+} 會與 Ferroin 反應，其反應式如下： $\text{Mn}^{3+} + \text{Fe}(\text{ph})_3^{2+}(\text{red}) \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{Fe}(\text{ph})_3^{3+}(\text{blue})$

(五)酸性條件下 KBrO_3 與 Mn^{2+} 會產生 Br_2 ， Br_2 可與哪些反應物反應？

步驟：1 根據文獻方法製造 Br_2 ：取 1.00ml KBrO_3 加入 4.00ml KBr、2.00ml H_2SO_4 ，觀察記錄

2. Br_2 與 Ferroin 是否反應：取 1.00ml KBrO_3 加入 4.00ml KBr、2.00ml H_2SO_4 、3 滴 Ferroin，觀察記錄；十分鐘後，觀察記錄

3. Br_2 與 MnSO_4 是否反應：取 1.00ml KBrO_3 加入 4.00ml KBr、2.00ml H_2SO_4 、1.00ml Mn^{2+} ，觀察記錄；十分鐘後，觀察記錄

4. Br_2 與 MA 是否反應：取 1.00ml KBrO_3 加入 4.00ml KBr、2.00ml H_2SO_4 、1.00ml MA，觀察記錄；十分鐘後，觀察記錄

結果：

表二十四 Br_2 與各反應物的反應結果

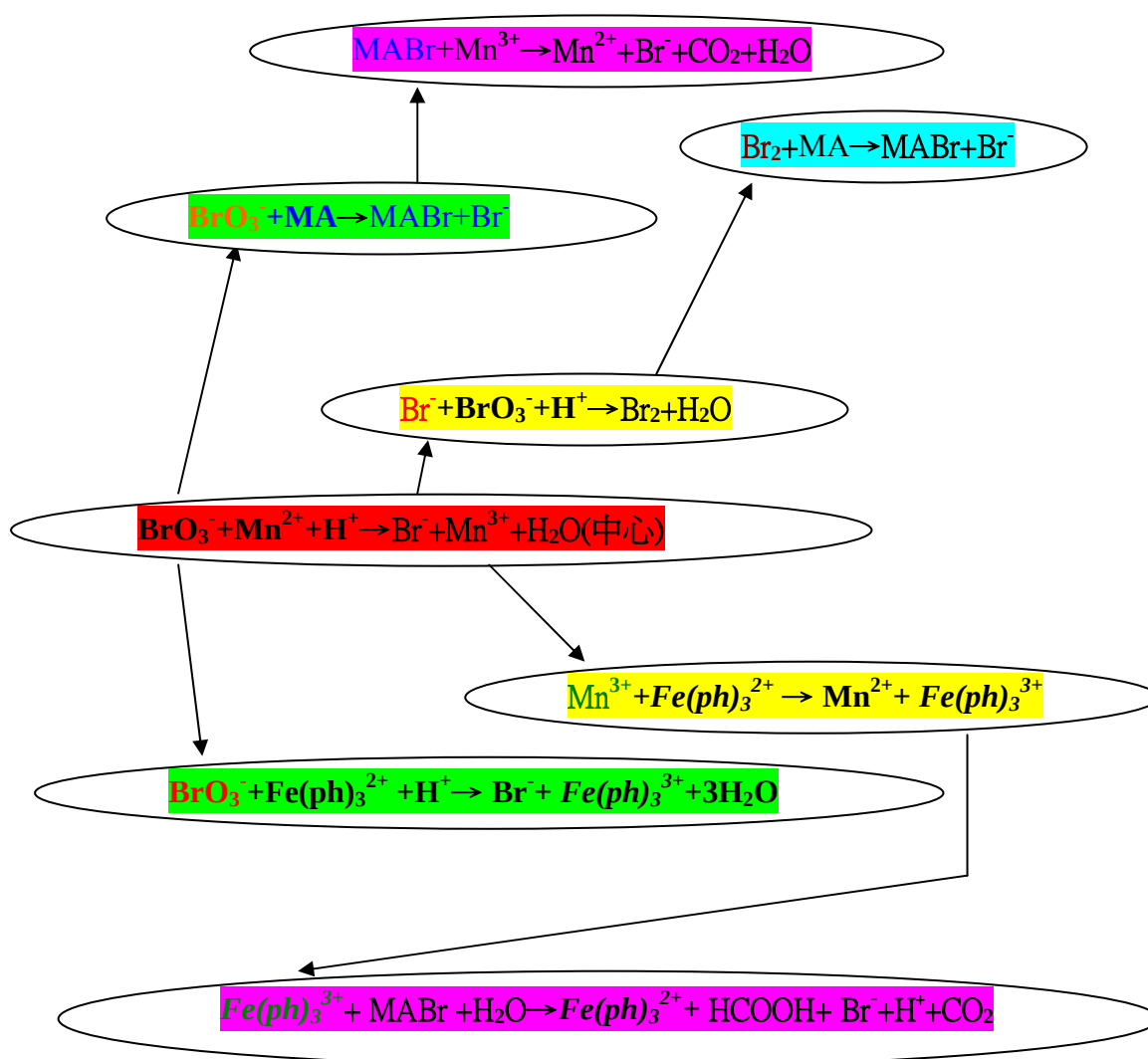
步驟	反應物	$\text{Br}_2/\text{H}_2\text{SO}_4$ (黃棕色)	
2	Ferroin	混合後	紅色(無反應)
		經 10min 後	紅色(無反應)
3	Mn^{2+}	混合後	黃色→無色(有反應)
		經 10min 後	無色(有反應)
4	MA	混合後	黃色→無色(有反應)
		經 10min 後	無色(有反應)

討論：

1. Br_2 與 Ferroin 不會發生反應。但 Br_2 與 Mn^{2+} 、MA 會發生反應，反應式為 $\text{Br}_2 + \text{Mn}^{2+} \rightarrow \text{Mn}^{3+} + \text{Br}^-$ 、 $\text{Br}_2 + \text{MA} \rightarrow \text{MABr} + \text{Br}^- + \text{H}^+$

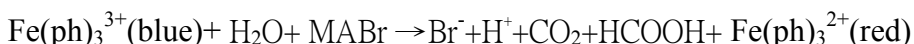
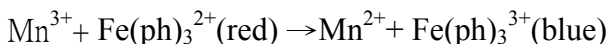
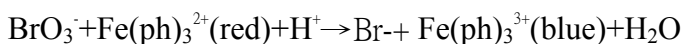
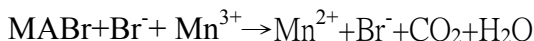
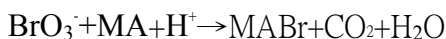
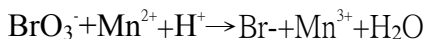
陸、結論

1. 以本研究所設計的振盪偵測儀探究振盪反應, 求出本實驗速率定律式 $R=k[\text{KBrO}_3]^{1.10}[\text{H}^+]^{1.23}[\text{MA}]^{0.38}$ 及活化能 22.8 千焦。
2. 本研究所製得的振盪偵測儀與 UV/VIS 儀相對照數據之後, 發現它是可靠的。
3. 以洋菜溶液探討振盪反應時可清楚看到振盪圖形, 也可藉洋菜溶液緩慢流動性探討振盪反應式。
4. 振盪反應在洋菜溶液裏呈現同心圓圖形。它沿著模型形狀產生圖形、沿著磁場方向產生圖形但不受器皿形狀影響。
5. 綜合第柒點討論, 再參考文獻得知以下結論:
(1) 本振盪反應連結圖如下:



圖二十一 振盪反應之連結圖

(2)若以一般表示法表示時，本振盪反應應該為以下方式進行：



柒、未來展望

1. 將來可進一步詳細研究磁場對振盪反應的影響
2. 本研究中尚未對 MABr 此中間產物的反應進行探討，或許未來可進一步研究
3. 本研究中所自製的振盪偵測儀最大特色在於可連結電腦連續讀取數據，所以，它相當於一部簡單自製的 UV/VIS 儀，未來只要分光光度計可進行研究的實驗都可利用自製振盪偵測儀進行研究!

捌、參考文獻：

- 一、楊寶旺(2005)，高中物質科學化學篇(下)。台北縣：龍騰文化。
- 二、鮑爾(2003)。周業仁、李千毅譯。現代化學(II)。台北市：天下遠見
- 三、國立彰化師範大學理學院化學系(2005)。誰搞的鬼---多色循環的振盪反應。2007 年 3 月 2 日取自 <http://pckchem.ncue.edu.tw/laboratory/chemdemo/84/8424029/是誰搞的鬼.htm>
- 四、左卷健男著；蕭衍繁、黃瑞金譯(2005)。愛上化學實驗課(下)。台北縣：世茂
- 五、龜山猶一著；戴瑞益、柯順隆譯(1995)。化學分析試藥配製法。台北市：正文
- 六、牟中原(1984)。從平衡系到非平衡系——熵、結構及非平衡系統之演化。科學月刊，174 期，p.474。
- 七、張培均、牟中原(1991)。化學混沌。科學月刊。258 期。p.258
- 八、廖思善(2005)：布朗運動與自發性圖案。物理雙月刊，27 卷 3 期，p.496-499
- 九、The Phenomenology of the Belousov-Zhabotinsky Reaction(2007)。2007 年 2 月 20 日取自 http://www.ux.uis.no/~ruoff/BZ_Phenomenology.html
- 十、林香君、宋碧琳、葉尚倫(1995)：振盪反應—顏色振盪。中華民國中小學科學展覽優勝作品專輯，35 屆，高中組。國立台灣科學教育館。p.33-43
- 十一、林奎佑(1998)：還原劑與 PH 值對 KMnO₄ 產物之相關研究。中華民國中小學科學展覽優勝作品專輯，38 屆，高中組。國立台灣科學教育館。p.45-57

【評語】 040206 We Are BZ-振盪反應的探究

B-Z 振盪反應的研究雖是動力學中化學振盪反應的老題材，但作者的研究完整，包括反應級數，活化能等之定量，以及表現一些有趣之反應結果，在教學與研究上頗有價值，唯該反應的機制複雜，反應級數可能隨反應物條件而改變，且活化能的量測仍須進一步檢測。