

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

高中-化學科

科 別：化 學 科

組 別：高 中 組

作品名稱：以自製的反應儀器研究鹽類對雙氧水分解反應的影響

關 鍵 詞：光遮斷器、雙氧水、反應速率

編 號：040206

學校名稱：

高雄市立高雄女子高級中學

作者姓名：

呂凱筠、林侑瑩

指導老師：

蕭米珍、謝宜和



以自製的反應儀器研究鹽類對雙氧水分解反應的影響

一、摘要

本研究是以自製的反應儀器全程監控雙氧水加入不同的三價鐵鹽中，伴隨著氧化還原及催化分解產生氧氣的全部過程，其設計流程如下：

反應器 排水集器法 虎克定律 滑尺感測 A / D 電路 電腦

將雙氧水分解出的氧氣，利用集水桶收集，集水桶的重量向下拉動滑尺，使其感應部分通過光遮斷器，藉由 A/D 電路，電腦收集電壓與時間的數據，再配合校準線的資料繪出反應速率與時間的關係圖。

研究結果顯示三價鐵鹽中， $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 和 FeCl_3 的反應情況較類似，氧氣的產生很快達最高速率，其最大反應速率值約在 0.4ml/s-0.6ml/s 上下，但反應也很快完成。 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 的反應情況較溫和平緩，慢慢提升其反應速率，且其最大反應速率也較小，約在 0.1ml/s-0.2ml/s 上下。藉此研究結果，若要利用雙氧水的氧化力應用於工業的污水處理上， $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 和 FeCl_3 較適於速效性(如旺季，訂單大量，產生廢水量較大之行業)； $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 較適於長效性(如淡季時，不景氣，產生廢水量較少較緩之行業)。

若鐵生成穩定錯離子後，其反應速率皆較慢，實驗結果其最大反應速率值約在 0.01ml/s-0.02ml/s 上下，速率比非錯鹽的鐵鹽慢了十倍多。其中 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ ，圖形與 FeCl_3 類似，其餘其反應速率較近於定值，可將此結果應用於日常生活中需較固定氧氣產生，而其速率不必很大處(如水族箱之氧氣供應，燃料電池之氧氣供應)。

二、研究動機

國中曾在理化課程中提及雙氧水的分解並做此實驗，在當時留下深刻的印象。上了高中後，又在課本中看到一個與此有關的插圖 在加了二氧化錳的雙氧水，其使線香復燃的速率比未加二氧化錳的雙氧水的線香快，又由所查的資料中知在工業廢水上芬頓試劑(Fenton)應用頗多，不禁引起我們對雙氧水分解反應的快慢產生研究的興趣，擬以加入不同的鹽類觀察其對雙氧水分解反應的影響。並想自己設計反應儀器測量來測其反應速率並全程監控其過程，比較其之間的差異。

與課程相關部分：1.物質科學化學篇(下) 第六章
2.基礎物理 第二章

三、研究目的

- (一)利用學校的舊電腦，配合感測設備，組裝成反應儀器來截取實驗數據。
- (二)雙氧水加入不同的鹽類中，觀察其產生氧氣的情形。
- (三)利用自製的反應儀器監控三價的鐵與不同的陰離子產生氧氣的過程。
- (四)雙氧水加入不同的錯鹽中，觀察其產生氧氣的情形。
- (五)利用自製的反應儀器監控錯離子對雙氧水分解反應的過程。

四、研究設備與器材

器材名稱	數量
錐形瓶	2 個
試管	3 組
燒杯	6 個
電子天秤	1 個
電腦	1 台
電路板	4 個
印表機	1 台
橡皮管	數公尺
光遮斷器	30 顆
沙拉油瓶	2 個
注射針筒	3 隻
角鋼	數隻
水槽	2 個
磁攪拌器	1 台
鐵架	2 個
容量瓶	18 瓶
排線	3 條

藥品名稱	數量
H ₂ O ₂	1 瓶
FeCl ₃	1 瓶
Fe ₂ (SO ₄) ₃	1 瓶
Fe(NO ₃) ₃	1 瓶
K ₃ Fe(CN) ₆	1 瓶
K ₄ Fe(CN) ₆	1 瓶
KSCN	1 瓶
NH ₄ Cl	1 瓶
NaCl	1 瓶
KCl	1 瓶
MgCl ₂	1 瓶
CaCl ₂	1 瓶
BaCl ₂	1 瓶
MnCl ₂	1 瓶
CoCl ₂	1 瓶
H ₂ C ₂ O ₄	1 瓶
EDTA	1 瓶

五、研究過程或方法

流程：

反應器

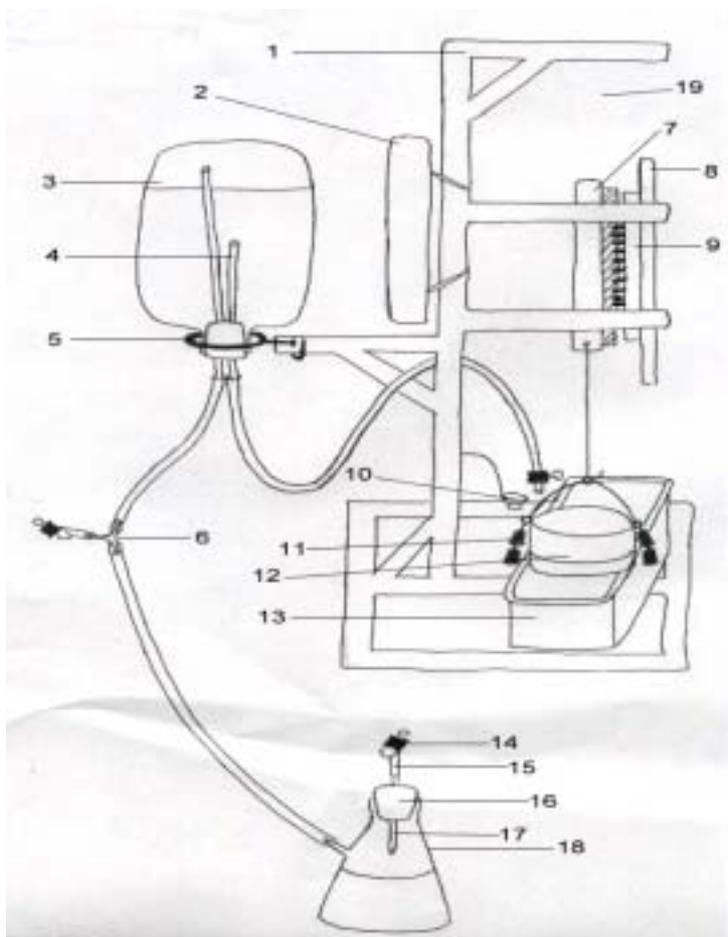
排水集器法

虎克定律

滑尺感測

A / D 電路

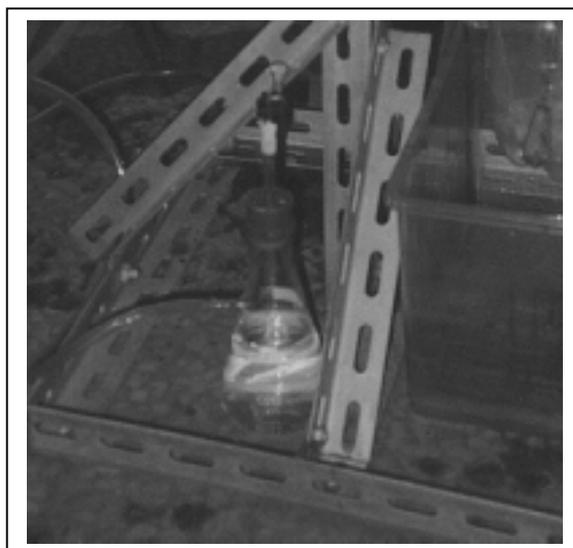
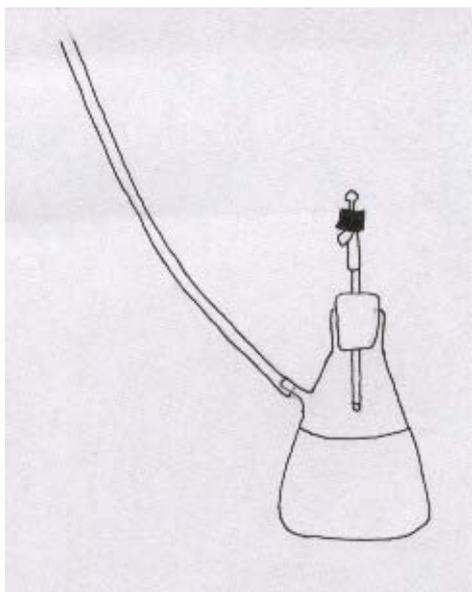
電腦



- 1 角鋼
- 2 遮陽板
- 3 蓄水桶
- 4 塑膠管
- 5 鐵環
- 6 三叉管
- 7 滑尺
- 8 木板
- 9 麵包板
- 10 盛水器
- 11 鉛塊
- 12 集水桶
- 13 水槽
- 14 文件夾
- 15 橡皮管
- 16 橡皮塞
- 17 玻璃管
- 18 錐形瓶
- 19 彈簧



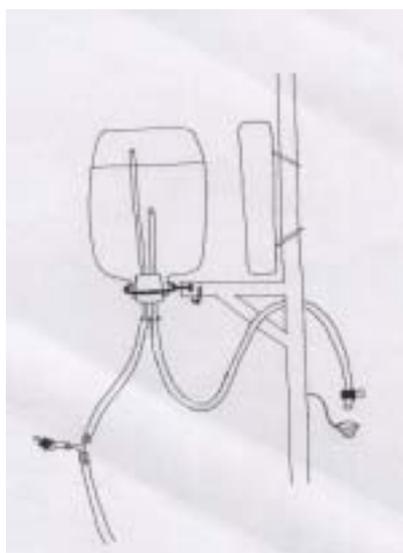
(一)反應器



說明：

- 1.將一玻璃管的一端套上橡皮管並用夾子夾緊，另一端則插入鑽孔後的橡皮塞，然後塞入裝有觸媒的錐形瓶，錐形瓶的側管則套入連接蓄水瓶的軟塑膠管(排氣管)，使整個錐形瓶形成一密閉空間。
- 2.錐形瓶在拔開軟塑膠管之前，必須先用夾子將軟塑膠管夾緊才不會漏水。
- 3.欲實驗時，將配製好 200ml 的觸媒倒入過濾瓶，套上橡皮塞及排氣管，然後用 2.5ml 之針筒吸取 1.6ml 35 % 的雙氧水，打入玻璃管上端的橡皮管，並同時按下電腦，便可開始反應。
- 4.反應後所產生的氣體會由排氣管通入蓄水瓶。

(二) 排水集氣法

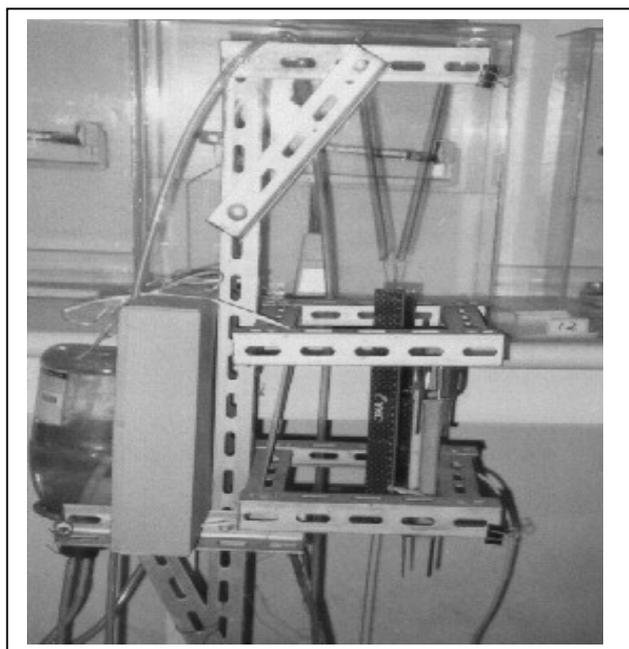
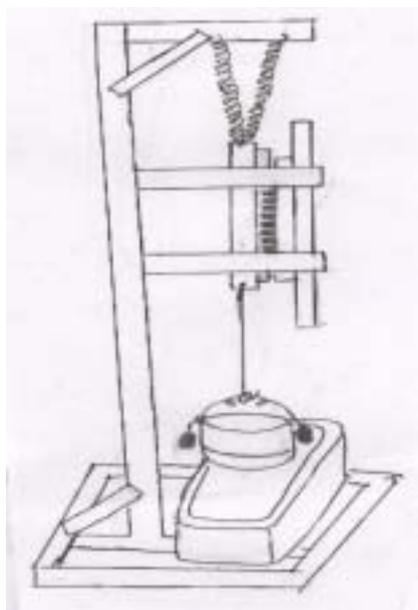


反應所產生的氧氣難溶於水，排入蓄水桶後又佔體積，所以會把水排至集水桶內。

說明：

- 1.取一容量約三公升的沙拉油桶，桶內裝水並在瓶口處塞入鑽了兩個洞的橡皮塞，倒置在鐵環上。橡皮塞上之二孔均插入硬塑膠管（一長一短），兩塑膠管各外接軟塑膠管（長的接排氣管，短的接排水管）。另外，排水管之另一端以夾子將開口夾小，減緩出水量形成最小單位「一滴」。
- 2.排水管管口的高度保持與其最低處等高，形成平躺的 S 型，以達壓力平衡。
- 3.調整三叉管使排水管充滿水，以確保一產生氧氣，水即刻排入集水桶內。
- 4.因為針筒吸取雙氧水時會抽到少許空氣，在將雙氧水連同空氣注入錐形瓶時，排水管會排出幾滴水，所以在反應實驗前，要先將盛水器的位置調在排水管口下。
- 5.反應產生之氧氣隨排氣管通入蓄水桶內 桶內壓力改變 水自排水管排出然後滴入集水桶。
- 6.由於下午時實驗室有陽光斜射會造成光遮斷器出現雜訊，因此在蓄水桶後方加裝遮陽板，並在電腦軟體上加裝「過濾雜訊功能」，來清除陽光斜射實驗室所造成影響。
- 7.鋼架上由鐵絲所製成的勾子用來掛集水桶，以防止集水桶長時間掛在彈簧下，造成彈性疲乏。

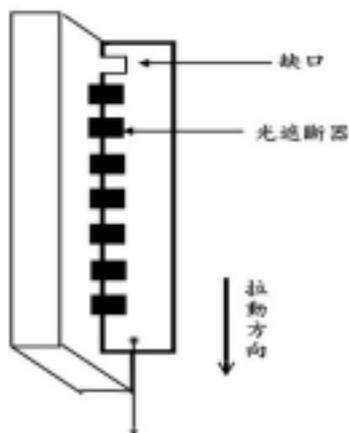
（三）虎克定律與滑尺感測



說明：

- 1.反應排出的水排至集水桶時，向下拉動滑尺，使其上的感應部分通過光遮斷器（Photo Interrupters）。
- 2.當感應器缺口通過光遮斷器時，在感測電路就會出現大於 4.5 伏特的電壓，同時電腦將大於 4.5 伏特的電壓與感測的時間一併存檔；反應結束後即可獲得一連串時間與電壓的資料。

3.滑尺缺口通過光遮斷器的圖示：



4.

$$\text{反應速率} = \frac{\text{O}_2 \text{ 體積生成量}}{\text{時間}} = \frac{\text{排水量}}{\text{時間}}$$

$$= k_1 \frac{\text{彈簧伸長量}}{\text{時間}} = k_2 \frac{\text{滑尺被拉動的距離}}{\text{時間}}$$

k_1 、 k_2 是比例常數

5.得到電壓與時間關係圖後，透過校準線的資料可繪出排水量與時間的關係圖，再代入上述公式即可作出反應速率與時間的關係圖。

(四)校準線的製作

.說明：由於每個光遮斷器間的距離不完全相等，所以必須先測量滑尺缺口通過每個光遮斷器時，集水桶須收集到的水量。此工作關係到實驗的準確性。

1.使用時機：

- (1) Rate 儀被搬移或遭碰撞。
- (2) Rate 儀放置太久沒操作。

2.步驟：

- (1) 集水桶、滑尺、感測器定位。
- (2) 開啟電腦，進入 Rate 儀的主畫面，點選“測試”。
- (3) 使用 50ml 滴定管（最小刻度 0.1ml）先裝水並記錄起初水量。
- (4) 控制滴定管轉閥，使水進入集水桶中拉長彈簧。
- (5) 當缺口快接近光遮斷器中央時，降慢滴定流速，使水成滴狀進入桶中。
- (6) 注意螢幕上的電壓，若連續出現 4.5 伏特以上之電壓即停止加水。
- (7) 用滴管吸取少量集水桶中的水，看螢幕中電壓是否低於 4.5 伏特，再將滴管中的水滴少許至集水桶中，看電壓是否高於 4.5 伏特。

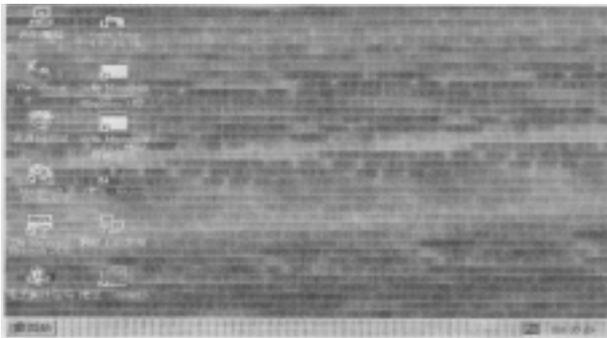
- (8) 獲得明確水量後，紀錄滴定管的水位。
- (9) 若無法獲得明確水量，可能是滑尺與感應器間有摩擦現象，將集水桶的水清除，排除摩擦狀況後再由步驟 3 開始。
- (10) 依序測量所有光遮斷器的排水量。
- (11) 將所有的排水量填入電腦中存檔。

(五)電腦操作的整體步驟

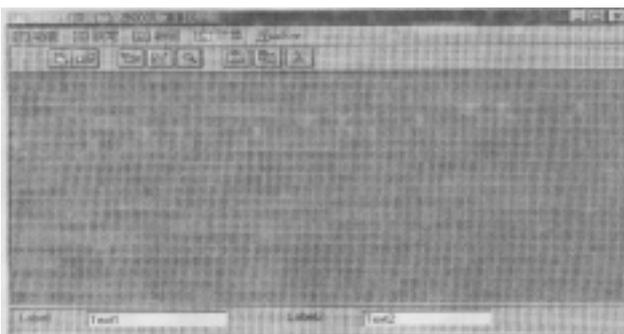
說明：

1. 打開電腦，按程序進入 Rate 儀的操作畫面，並填入適當值。
2. 檢查蓄水桶的水量是否充足，若不足則裝水並排除管中的積水。
3. 將待測的錐形瓶與塑膠管口接合，拿起夾子使輸送氣體的管子暢通。
4. 打開三叉管使少部份的空氣進入，並迅速關閉，觀察排水口的出確情形。若漏氣則依排除漏氣的方法處理，若無則移動盛水器接水，並將集水桶吊至定位。
5. 按下測試鍵，觀察電壓須小於 4 伏特約 10~15 秒，即可停止測試。
6. 用針筒吸取適量的雙氧水，打入錐形瓶中，按下開始鍵，再將盛水器移開。
7. 待反應結束後，停止電腦的計時工作，並依序將所需圖形印出。
8. 將集水桶取下，倒出桶內的水，將之放置定位。
9. 依正常方式關掉電腦。

(六)電腦操作實驗流程圖



步驟一
進入 windows 後點選 expm

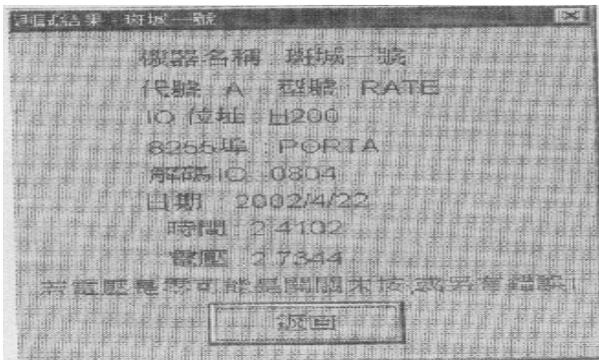


步驟二
在軟體主畫面中，點選攝影機圖示



步驟三

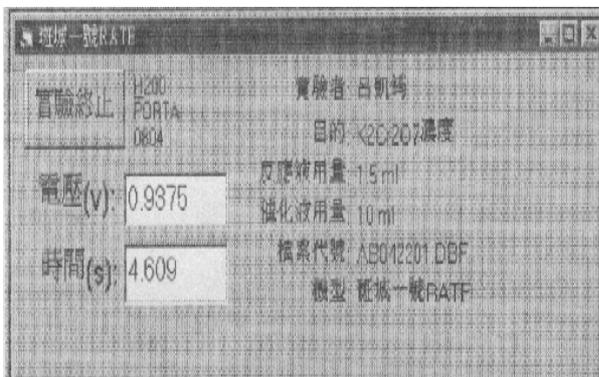
填入所有的實驗資料及目的



步驟四

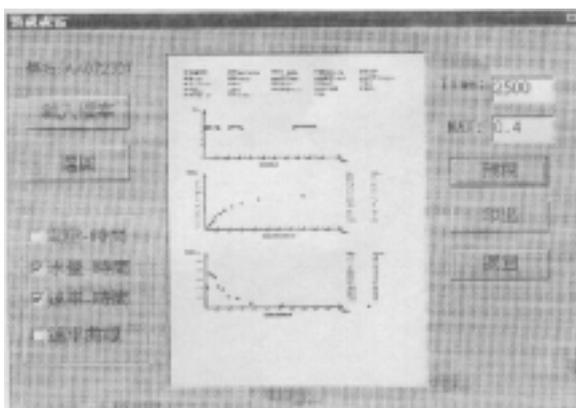
按下測試鈕，檢查電壓的顯示是否在 4.5 伏特以下，是則按

<返回>；否則檢查滑尺缺口是否定位。



步驟五

確定一切資料無誤後，打入雙氧水，按下<確定>開始反應



步驟六

實驗結束後按<實驗終止>，並在軟體主畫面中點選<繪圖>；自<載入檔案>中選擇檔案，按<預視>查看圖，確定無誤後按<列印>

(七)以實例說明圖形換算

1.列印出電壓與時間的原始資料。

2.資料整理過程

資料呈現方式：項目/時間〔電壓 ex: 12/227.833[4.9609

第一間隔：

1/210.914[4.8828	2/212.453[4.9219	3/214.039[4.8828
4/215.578[4.8828	5/217.117[4.9219	6/218.664[4.9219
7/220.188[4.9219	.....	31/257.102[4.7656

第二間隔

32/332.570[4.9219	33/334.109[4.8828	34/335.648[4.8828
35/337.180[4.9219	36/338.719[4.9609	37/340.258[4.8828
38/341.805[4.9609	.....	50/360.313[4.8828

第三間隔

51/426.492[4.8750	52/428.031[4.8828	53/429.570[4.9219
54/431.109[4.9531	55/432.648[4.9609	56/434.180[4.9219
57/435.719[4.9219	.....	76/465.000[4.6094

第四間隔

77/558.922[4.7266	78/560.461[4.8047	79/561.922[4.9219
80/563.531[4.9609	81/565.070[4.8828	82/566.609[4.9219
83/568.148[4.9219	.....	104/600.500[4.7578

第五間隔

105/706.719[4.8438	106/708.258[4.9219	107/709.805[4.8828
108/711.344[4.9453	109/712.883[4.9219	110/714.414[4.9609
111/716.008[4.9609	.....	140/760.664[4.8438

第六間隔

141/862.273[4.8828	142/863.813[4.9609	143/865.352[4.9141
144/866.891[4.9609	145/868.422[4.9219	146/869.961[4.9609
147/871.500[4.9609	.....	177/917.688[4.6094

第七間隔

178/1030.070[4.8047	179/1031.609[4.8047	180/1033.148[4.8828
181/1034.742[4.9219	182/1036.281[4.8828	183/1037.813[4.8828
184/1039.352[4.8828	.....	250/1248.734[4.8047

第八間隔

251/1367.313[4.6875	252/1368.852[4.9219	253/1370.391[4.9219
254/1371.930[4.9219	255/1373.461[4.9375	256/1375.000[4.9609
257/1376.539[4.8828	.....	297/1438.109[4.8047

第九間隔

298/1572.461[4.8047	299/1574.000[4.8047	300/1575.531[4.8828
301/1577.070[4.9219	302/1578.609[4.9219	303/1580.148[4.8828
304/1581.742[4.9609	.....	350/1652.539[4.8047

第十間隔

351/1811.219[4.6875	352/1812.758[4.8047	353/1814.305[4.9219
354/1815.828[4.9219	355/1817.367[4.8828	356/1818.914[4.8828
357/1820.453[4.9609	.....	418/1914.484[4.6719

第十一間隔

419/2117.703[4.8438	420/2119.242[4.8828	421/2120.781[4.8438
422/2122.320[4.8828	423/2123.859[4.8047	424/2125.391[4.9219
425/2126.930[4.9219	.....	509/2256.344[4.6484

第十二間隔

510/2545.852[4.7266	511/2547.391[4.7266	512/2548.922[4.8438
513/2550.461[4.8906	514/2552.000[4.8828	515/2553.539[4.9219
516/2555.078[4.9141	.....	664/2787.578[4.8047

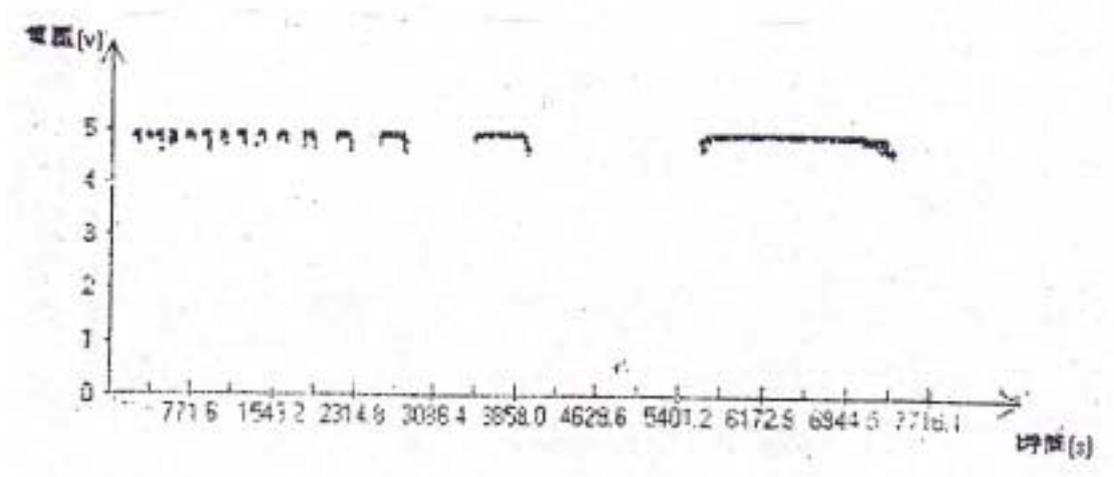
第十三間隔

665/3449.648[4.8438	666/3451.188[4.8438	667/3452.781[4.8438
668/3454.320[4.9219	669/3455.852[4.8828	670/3457.391[4.8828
671/3458.930[4.8828	.....	997/3982.422[4.6094

第十四間隔

998/5573.234[4.8047	999/5577.852[4.8047	1000/5579.383[4.7266
1001/5584.000[4.8047	.....	.....

3.製作電壓與時間的關係圖(電壓與時間關係圖也可說是滑尺缺口的運動軌跡)



4.排水量與時間的關係

(1)原始資料：

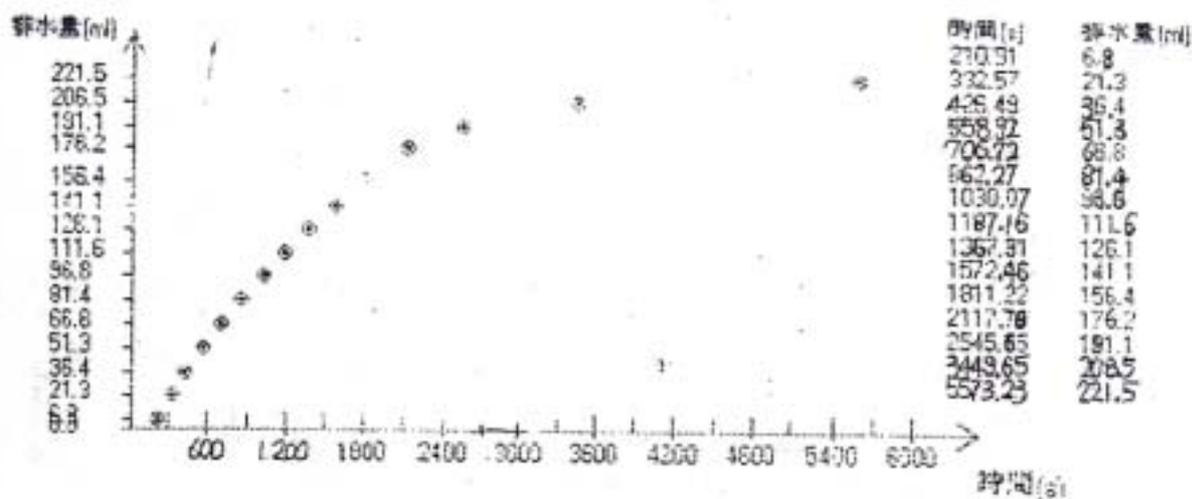
光遮斷器	1	2	3	4	5	6	7	8
各間隔的累積排水量	6.8	21.3	36.4	51.3	66.8	81.4	96.8	111.6
滑尺缺口到達時間	210.91	332.57	426.49	558.92	706.72	862.27	1030.07	1187.16

光遮斷器	9	10	11	12	13	14	15
各間隔的累積排水量	126.1	141.1	156.4	176.2	191.1	208.5	221.5
滑尺缺口到達時間	1367.31	1572.46	1811.22	2117.70	2545.05	3449.65	5573.23

(2) 各間隔間的排水量由校準線實驗得知

(3) 滑尺缺口到達時間由 Rate 儀測出

(4) 製作排水量與時間的關係圖



5.資料分析：

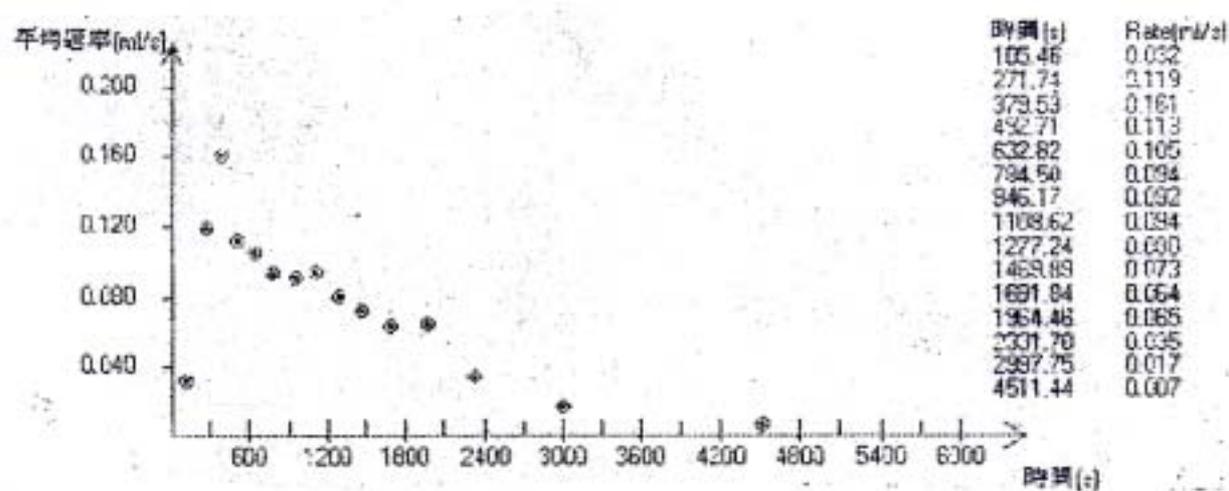
(1) 反應速率 = O_2 體積生成量 / 時間 = 排水量 / 時間

將排水量與時間的關係代入公式：

光遮斷器	2	3	4	5	6	7	8
排水量	14.5	15.1	14.9	15.5	14.6	15.4	14.8
時間(s)	121.66	93.92	132.43	147.8	155.55	167.8	157.09
平均時間	271.74	379.53	492.71	632.82	784.50	946.17	1108.62
平均反應速率	0.119	0.161	0.113	0.105	0.094	0.092	0.094

光遮斷器	9	10	11	12	13	14	15
排水量	14.5	15.0	15.3	19.8	14.9	17.4	13.0
時間(s)	180.15	205.15	238.76	306.48	427.35	904.8	2123.38
平均時間	1277.24	1469.89	1691.84	1964.46	2331.70	2997.75	4511.44
平均反應速率	0.000	0.073	0.064	0.065	0.035	0.017	0.007

(2)製作平均速率與時間的關係圖



六、研究結果

(一) 不同的陽離子對催化反應的影響

1. 實驗目的：比較不同陽離子與雙氧水反應的差異。

2. 實驗步驟：

- (1) 取十個試管，分別配置 NH_4Cl 、 NaCl 、 KCl 、 MgCl_2 、 CaCl_2 、 BaCl_2 、 MnCl_2 、 FeCl_3 、 CoCl_2 、 NiCl_2 各 0.25M。
- (2) 將 10 個試管用血清塞封住並置於試管架上。
- (3) 用 1ml 之針筒取雙氧水 0.2ml 穿透血清塞注入試管中。
- (5) 在注射入雙氧水的剎那，按下碼表，開始計時。

3. 實驗結果：

藥品	反應時間	冒泡情形		
		第一天	第二天	第三天
NH_4Cl	4'30	氣泡黏在管壁上持續四天之久,但很難看出冒泡情形.		
NaCl	30 分	氣泡黏在管壁上	只有少數幾顆在管壁上,無冒泡情形	

KCl	一天		微量氣泡上升	一顆顆緩慢上升
MgCl ₂	1'15	氣泡黏在管壁上	管壁上部 2/3 很多氣泡(大顆)	
CaCl ₂	2 小時	氣泡黏在管壁上	些許小氣泡以緩慢速度上升	
BaCl ₂	18'20	氣泡黏在管壁上	些許小氣泡以緩慢速度上升	
MnCl ₂	5'30	氣泡黏在管壁上	些許小氣泡以緩慢速度上升	
FeCl ₃	立刻	氣泡迅速由底部冒出	已反應結束	
CoCl ₂	一個半小時	氣泡黏在管壁上	些許小氣泡以緩慢速度上升	
NiCl ₂	20 分	氣泡黏在管壁上	些許小氣泡以緩慢速度上升	
H ₂ O		過了數天仍很難看見冒泡情形		

(二) 以反應儀器監測不同離子的反應過程

1. 實驗步驟：

- (1) 取不同的鹽類配製成適當的濃度，取 200ml 放入錐形瓶中。
- (2) 依正常程序設定電腦程式。
- (3) 用針筒取 1.6ml 35% 的雙氧水打入錐形瓶中，開始反應。

2. 實驗結果：

類型	藥品	濃度	實驗數據
鹽類	FeCl ₃	0.15M	A1
	FeCl ₃	0.10M	A2
	Fe(NO ₃) ₃	0.15M	B1
	Fe(NO ₃) ₃	0.10M	B2
	Fe ₂ (SO ₄) ₃	0.25M	C1
	Fe ₂ (SO ₄) ₃	0.15M	C2
	Fe ₂ (SO ₄) ₃	0.10M	C3
	FeSO ₄	0.15M	D1
	FeSO ₄	0.10M	D2
錯合物	K ₃ Fe(CN) ₆	0.25M	E1
	K ₃ Fe(CN) ₆	0.20M	E2
	K ₃ Fe(CN) ₆	0.10M	E3
	K ₄ Fe(CN) ₆	0.25M	F1
	K ₄ Fe(CN) ₆	0.20M	F2

	$K_4Fe(CN)_6$	0.15M	F3
	$Fe^{3+} : C_2O_4^{2-}$	3 : 1	G1
	$Fe^{3+} : C_2O_4^{2-}$	2 : 1	G2
	$Fe^{3+} : C_2O_4^{2-}$	1 : 1	G3
	$Fe^{3+} : EDTA$	2 : 1	H1
	$Fe^{3+} : EDTA$	1 : 1	H2

(三)濃度對雙氧水分解反應的影響：

1.實驗步驟：

(1)分別取不同濃度的 $FeCl_3$ 、 $Fe_2(SO_4)_3$ 、 $Fe(NO_3)_3$ 各 10ml，分別置於試管內。

(2)用針筒取 0.2ml 35% 的雙氧水打入試管中，觀察反應。

2.實驗結果：

$FeCl_3$

濃度		0.25M	0.2M	0.15M	0.1M
沉澱	初視	無	無	無	無
	末視	少許銘黃色	少許銘黃色	無	無
反應完加入黃血鹽		深藍色沉澱	深藍色沉澱	深藍色沉澱	深藍色沉澱
反應完加入赤血鹽		紅棕色	紅棕色	紅棕色	黃褐色
反應完加入 KSCN		血紅色	血紅色	血紅色	血紅色
備註		打入雙氧水時，馬上冒泡，反應極快； $FeCl_3$ 液面有一圈泡沫。			

$Fe_2(SO_4)_3$

濃度		0.25M	0.2M	0.15M	0.1M
沉澱	初視	無	無	無	無
	末視	無	無	無	無
反應完加入黃血鹽		深藍色沉澱	深藍色沉澱	深藍色沉澱	深藍色沉澱
反應完加入赤血鹽		紅棕色	紅棕色	紅棕色	黃褐色
反應完加入 KSCN		血紅色	血紅色	血紅色	血紅色
備註		到了隔天瓶壁上仍有少許氣泡，但已觀察不到冒泡情形。			

$Fe(NO_3)_3$

濃度		0.25M	0.2M	0.15M	0.1M
沉澱	初視	無	無	無	無
	末視	無	無	無	無
反應完加入黃血鹽		深藍色沉澱	深藍色沉澱	深藍色沉澱	深藍色沉澱
反應完加入赤血鹽		紅棕色	紅棕色	紅棕色	黃褐色
反應完加入 KSCN		血紅色	血紅色	血紅色	血紅色
備註		剛反應時冒泡速度極快，但之後速度驟降。			

(四)鐵離子加上過量草酸根離子的檢驗：

1.實驗步驟：

- (1)取 1M 的 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 180ml 與 0.1M 的 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 20ml 混合。
- (2)分別自溶液中取澄清液、混濁液與沉澱置於試管中並檢驗之。

2.實驗結果：溶液變成鵝黃色，並產生沉澱。

3.檢驗混合液：

- (1) 澄清液以 表示；混濁液以 表示；沉澱以 表示

藥品	滴入 KSCN	滴入赤血鹽	滴入黃血鹽
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{Fe}^{3+}$	紅色	藍綠色	深藍色
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{Fe}^{3+}$	紅色		深藍色
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{Fe}^{3+}$			深藍色

- (2)取沉澱加酸後加入 KMnO_4 ， KMnO_4 褪色。

(五)鐵離子與草酸根離子以不同比例混合之比較

1.實驗步驟(改變濃度)：

- (1)配置 0.1M 的 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ，各取 5ml 裝到編號 1~8 的試管內分別再加入 0.1~0.8M 的 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 。
- (2)用 1ml 之針筒量取雙氧水 0.2ml 穿透血清塞注射入試管內。
- (3)在注射入雙氧水的剎那，按下碼表，開始計時。

(改變體積)：

- (1)配製 0.3M 的 FeCl_3 與 0.3M $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 。
- (2) FeCl_3 與 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 之體積以 3 : 1、2 : 1、1 : 1 之比例混和後，分別將藥品倒入錐形瓶中。
- (3)用針筒取 1.6mL 35% 的雙氧水打入錐形瓶中，開始反應。
- (4)依正常程序設定電腦程式。

2.實驗結果(改變濃度):

編號	Fe^{3+} 與 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 濃度比	開始冒泡時間	冒泡情形		
			第一天	第二天	第三天
1	1 : 1	立刻	一打入雙氧水，整個試管即充滿氣泡；9'15"血清塞彈開；約三個小時後管壁氣泡消失，剩小氣泡上升。		
2	1 : 2	立刻	初打入雙氧水時，冒泡很快，液面比試管 1 來		

			得穩,約 20 分鐘後血清塞爆開。		
3	1 : 3	立刻	冒泡速度不快,且氣泡很小;25秒時管壁有氣泡附著;12'50"明顯可見冒泡速度加快;47'42"血清塞爆開。	10:00(約反應13~14小時後)仍在冒泡,且速度比前一晚還快;13:30 剩下少許小氣泡在上升。	
4	1 : 4	立刻	冒泡速度不快,氣泡很小;管壁亦附著不少小氣泡。	9:05 (約反應 14 小時後)仍在冒泡,速度比前一晚快。	
5	1 : 5	立刻	初反應時冒的氣泡很小,約 2 分鐘後管壁有大量氣泡附著。	7:40 (約反應 19 小時後)仍在冒小氣泡,且速度平穩。	7:45 (約反應 43 小時後)還有氣泡上升,速度和前一天差不多。
6	1 : 6	立刻	41'43"管壁附著大量氣泡;49'50"可看見微小氣泡上升。	9:05 (約反應 19 小時後)仍在冒小氣泡,且速度平穩。	7:40 (約反應 42 小時後)還有氣泡上升速度和前一天差不多。
7	1 : 7		6'30"勉強看見微量小氣泡,11'28"幾乎看不見氣泡;26'38"管壁剩少量氣泡附著;29'37"無氣泡附著於管壁,微小氣泡上升速度略加快。	10:18(約反應 15 小時後)明顯氣泡以固定的速度緩慢上升。	7:40 (約反應 41 小時後)氣泡(少量)上升速度略快於前一天,且速度固定。
8	1 : 8		21'52"管壁有少量氣泡附著,很難用肉眼觀察到氣泡上升情形。	15:30(約反應 20 小時後)一柱氣泡上升很快(快於剛開始反應的試管 3) 16:10 氣泡上升速度減緩。	9:10 (約反應 38 小時後)氣泡以穩定速度緩慢上升。

(六)鐵離子與 EDTA 以不同比例混和之比較

1. 實驗步驟：

- (1) 配製 0.3M 的 FeCl_3 與 EDTA。
- (2) FeCl_3 與 EDTA 之體積以 2 : 1、1 : 1、1 : 2 之比例混和後，分別將藥品倒入錐形瓶中。
- (3) 依正常程序設定電腦程式。
- (4) 用針筒取 1.6mL 35% 的雙氧水打入錐形瓶中，開始反應。
- (5) 檢驗反應後的混和液。

2. 實驗結果：

FeCl ₃ +EDTA 比例	2 : 1	1 : 1	1 : 2
反應後加入赤血鹽	黑褐色	深藍色	深藍色沉澱
反應後加入黃血鹽	深藍色	深藍色沉澱	深藍色沉澱
反應後加入 KSCN	血紅色	血紅色	不變色

七、討論

(一) 儀器部份

1. 有關滑尺感測部分經測試後發現只有一條彈簧會使滑尺旋轉。改用兩條彈簧並在其與滑尺接合處以釣魚用掛勾連接，可使滑尺穩定。
2. 集水桶兩側加裝鉛塊可增加其慣性，減少落下水滴對集水桶的振動幅度，如此電腦分析所得之數據較無雜訊，並確保兩條彈簧同時受力。實驗中亦發現加裝太多鉛塊會造成彈簧彈性疲乏。
3. 為了確保一產生氧氣，水就會排入集水桶內，故須調整至排水管內全部皆有水存在，其中須靠大氣壓力向上頂住管口的水珠面。
4. 電壓與時間的圖型中會有兩個鬚狀出現並非雜訊，而是滑尺缺口在進入與遠離光遮斷器時，逐步運動而有電壓漸增與漸減的緣故。
5. 由於在用針筒吸取雙氧水時會吸入少許空氣，在打入錐形瓶後會改變整個密閉系統內部的壓力，因此我們必須要加裝盛水器來收集因空氣柱排出的水。

(二) 有關校準線的校正：

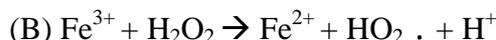
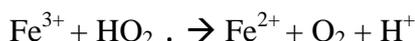
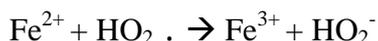
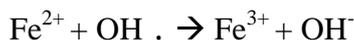
1. 滴定管可獲得比量筒所測更精準的水量。
2. 滴定管可由轉閥控制水量，操作更方便。
3. 測每個光遮斷器是連續測量而無倒水的程序，讀數可直接由滴定管讀取，程序簡化又快速。

(三) 實驗部份：

- 1 雙氧水在水溶液中為一弱酸 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) \rightarrow \text{H}^+(\text{aq}) + \text{HO}_2^-(\text{aq})$ 。會產生自身氧化還原而分解 $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ $\Delta H = -23.9\text{Kcal}$ ，在未催化之下其反應速率並不快，每年約 0.5% 的速度分解。但在 Fe^{2+} ， Fe^{3+} 等鹽類的存在下會產生較快的分解反應，其分解反應伴隨著氧化還原及催化分解：

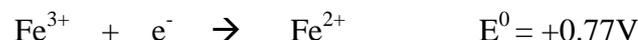
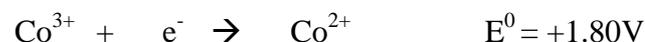
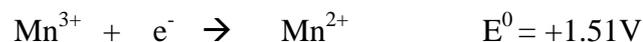
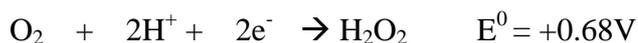
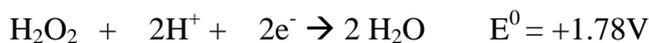
(1) 催化分解:

一物質可加速其反應，而本身並不出現於該反應之淨反應平衡方程式中，則稱該物質為催化劑，該物質作用為催化作用。但廣義而言，凡能引發一連鎖反應之物質在本質上亦可稱之為催化劑，雖然引發劑本身亦可能起化學變化，但少許引發劑之消耗即常可導致鉅量之連鎖反應。過氧化氫以亞鐵離子，鐵離子當引發劑，產生自由基引發氧氣之分解作用即屬於此類型。查資料知，有關亞鐵，鐵離子催化過氧化氫分解的反應機構如下:



由以上反應機構可知，自由基 ($\text{OH} \cdot$, $\text{HO}_2 \cdot$) 的生成，在系統中受到 H_2O_2 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 三者所影響，反應過程中亞鐵離子被氧化和再生的現象，因此構成了連鎖反應行為，致使影響了過氧化氫的分解速率。

(2) 本研究之相關氧化還原反應資料如下:



過氧化氫既可做氧化劑亦可做還原劑，若有任何反應對涉及一氧化態 O 及一還原態 R: $\text{R} = \text{O} + \text{ne}^-$ $-1.78\text{V} < E^0 < 0.68\text{V}$ 其電位在此範圍內，則有可能發生還原態 R 可還原過氧化氫，氧化態 O 可氧化過氧化氫，若此兩互補反應之速率相同，即可得此 $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ 淨反應，但是只憑電位值，不能斷言催化作用之必然性，可能尚有其他反應會影響其反應速率，因反應速率無法由電位值推知。

2. 實驗(一)之討論:

(1) 空白實驗與加入其他鹽類反應做比較，以時間觀念而言，這些鹽類可當催化劑，這些金屬陽離子與過氧化氫會發生類似的反應，這反應的通式為



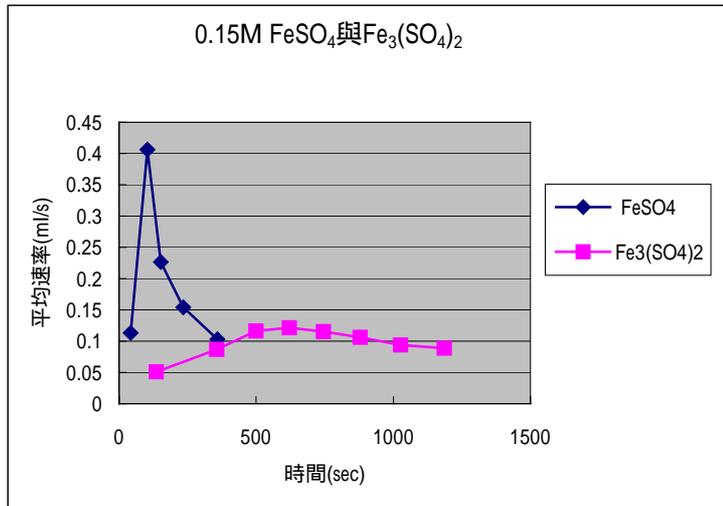
M 是金屬的一種氧化態，而 M 是這金屬高一級的氧化態，而過渡金屬的陽離子通常呈多種氧化態。所以其鹽類多可為催化劑，而催化的速率又與離子種類有關，不同離子其反應之速率不同。

(2) 查資料知 Cl^- 亦有催化作用，但各種鹽類的催化作用，要兩者一併考慮，實驗結果為： $\text{FeCl}_3 > \text{MgCl}_2 > \text{NH}_4\text{Cl} > \text{MnCl}_2 > \text{BaCl}_2 > \text{NiCl}_2 > \text{NaCl} > \text{CoCl}_2 > \text{CaCl}_2 > \text{KCl}$ 。由實驗驗證資料所述： Fe^{3+} 有較佳的催化效果，所以我們繼續以相同的陽離子 Fe^{3+} ，配合不同的陰離子來

測其反應速率。

3. 實驗(二)討論:

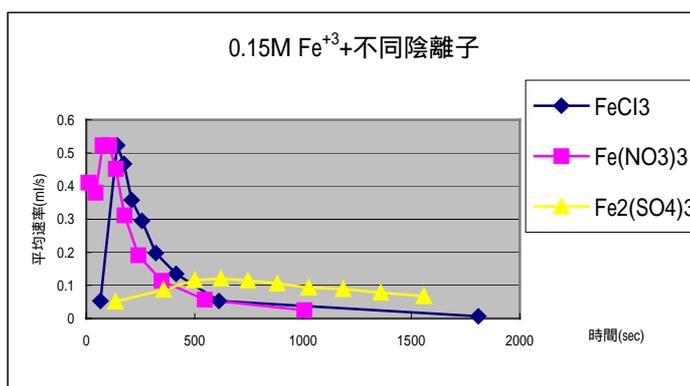
(1)

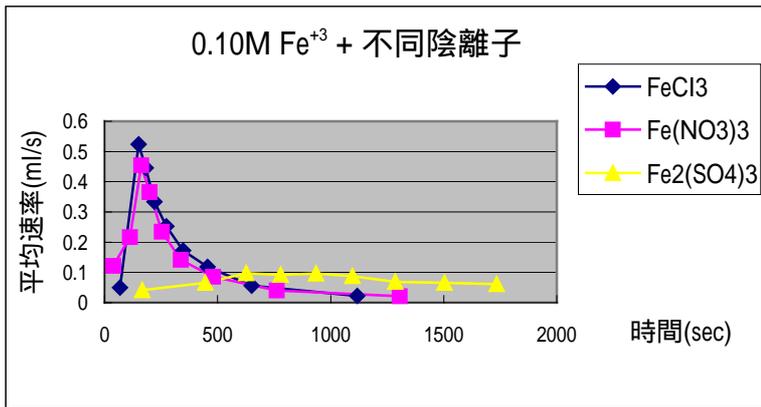


1 此圖為比較 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的反應速率，固定陰離子 SO_4^{2-} 。 Fe^{2+} 很快的引發雙氧水的分解，很快達其最大反應速率：0.406ml/s，不久其反應速率即降至零，反應速率圖似懸崖狀，劇升劇降；比較起來 Fe^{3+} 的反應速率較平緩，似山坡狀，慢慢爬升至最大反應速率：0.121ml/s，且其氧氣的分解亦拖的較久。

2 我們曾試過 FeCl_2 的實驗，但因為反應太快，造成電腦系統無法負荷因而當機，故採用固定陰離子 SO_4^{2-} 的比較。結果顯示 Fe^{2+} 比 Fe^{3+} 要快的多， Fe^{2+} 因為反應太快，一則易造成電腦當機，二則因振幅太大，讀出的電壓有問題且由於 Fe^{2+} 的應用在工業上已開發利用頗多，因此，我們接下來所做的實驗便從 Fe^{3+} 這個方向來探討。

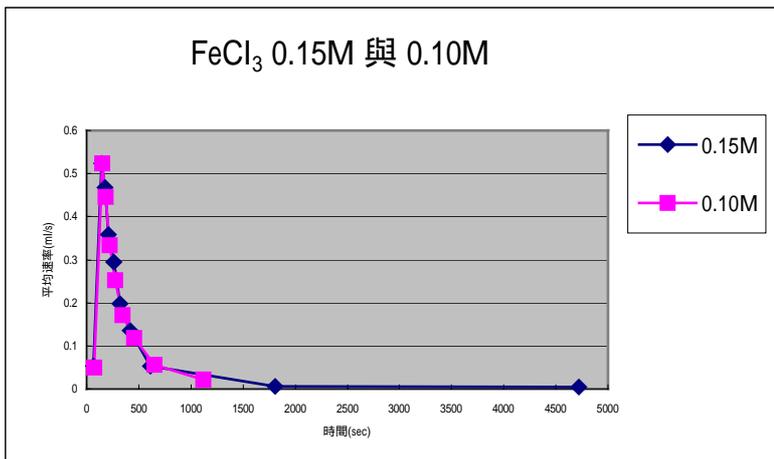
(2)





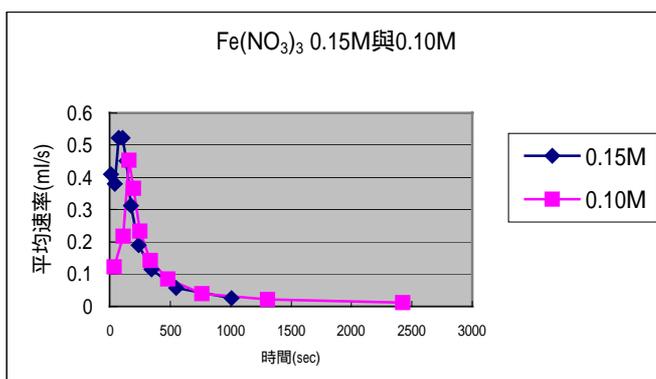
由圖可知 FeCl₃ 與 Fe(NO₃)₃ 皆屬於爆發型反應，驟升驟降，且其最高反應速率很相近，兩者皆可使雙氧水很快產生氧氣；而 Fe₂(SO₄)₃ 的反應速率較平緩，時間拖的比較久，可能陰離子種類會影響 Fe³⁺ 的催化能力。

(3)



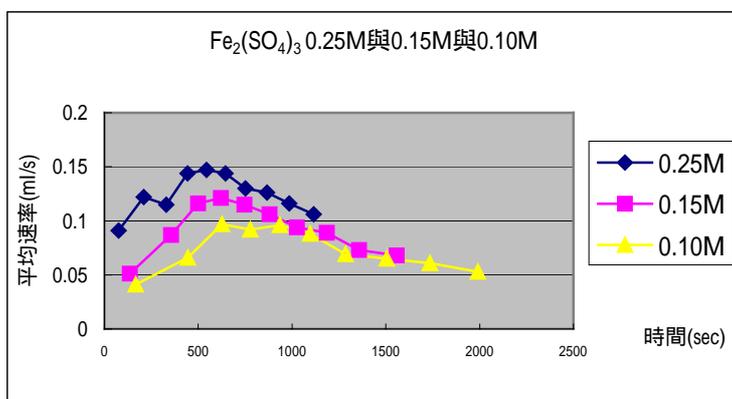
此圖為 FeCl₃ 0.15M 與 0.10M 的比較，兩個圖形的重疊度很高，開始的平均速率幾乎相等，拉高時也是，鐵離子與氯離子都有催化作用，使 FeCl₃ 具有雙重催化效果。此反應是屬於爆發性的，反應速率一下子就拉高，兩者的最大平均反應速率分別為：0.15M - 0.523ml/s、0.10M - 0.524ml/s。但也很快就反應完了，其反應到最後平均速率趨近於零。

(4)



由圖形上可看出其反應圖形很類似，皆是屬於爆發性的，反應速率一下子就拉高，二者初速頗快，且很快就達到最高反應速率；濃度高者達最高反應速率的時間較短，平均速率亦較大。

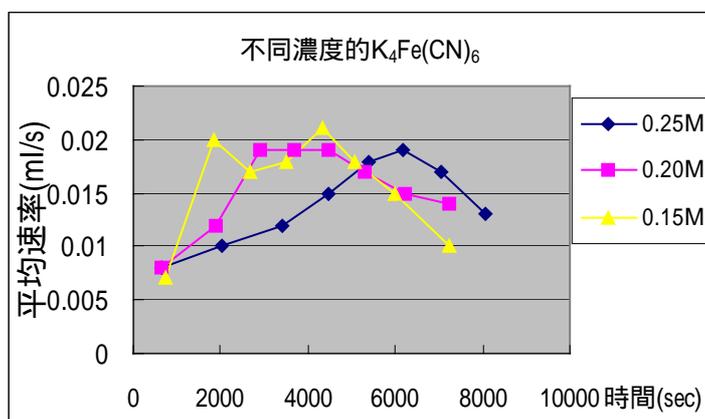
(5)



1 此圖為用 Fe₂(SO₄)₃ 配成不同的濃度來進行反應。實驗結果顯示出來，它們都有一個共通點：速率緩緩爬升至最高點，而在最高點時，會有一段停留階段，趨近於定值，取三點平均求得 0.25M：0.145ml/s、0.15M：0.117ml/s、0.10M：0.095ml/s，之後再緩緩下降，屬於較平緩的反應。

2 這三者的最大平均速率分別為：0.25M 0.147ml/s、0.15M 0.121ml/s、0.10M 0.097ml/s，濃度越大，反應速率越快。

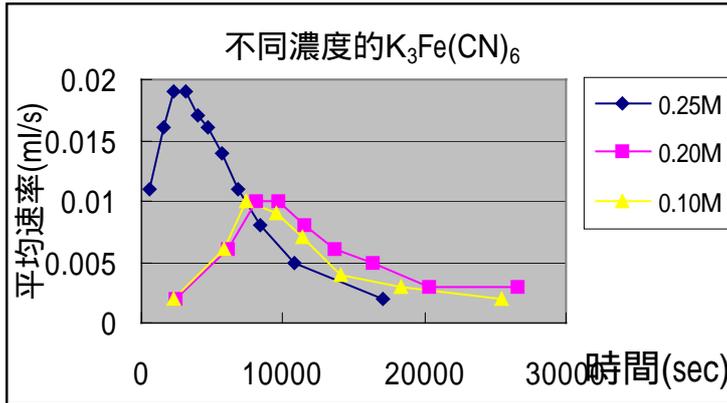
(6)



1 Fe(CN)₆⁴⁻的催化效果很差，因為當 Fe²⁺在和 CN⁻形成錯離子後，便很難與雙氧水作用，其反應速率圖形相類似，達最大反應速率時會滯留一段時間，但為同一物質，所以圖形曲線下降的變化相類似。三者的最大反應速率值很接近：0.25M—0.019ml/s，0.20M---0.019ml/s，0.15M-----0.018ml/s。

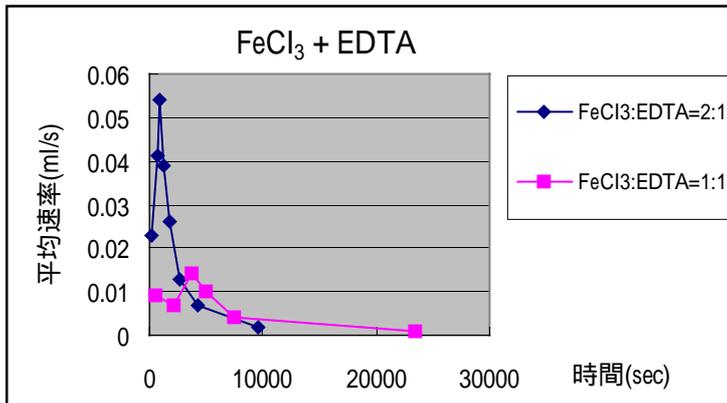
2 由圖可看出三者的最大反應速率值雖很接近，但到達時間不同，濃度愈小的愈快，其滯留時間也愈久，此結果完全不同於前面的鐵鹽，很有意思！

(7)



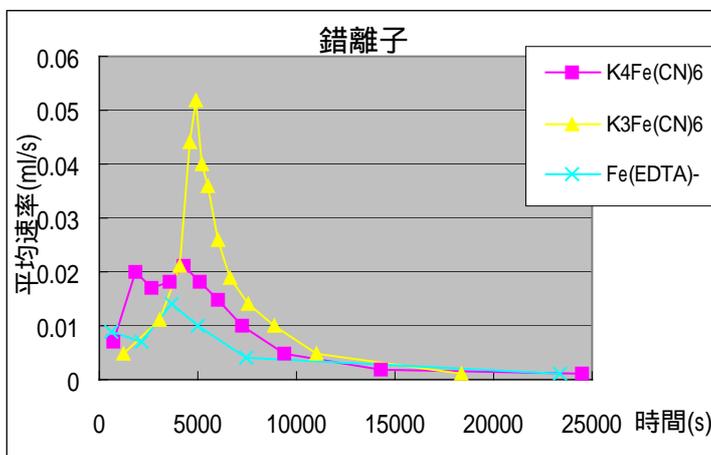
$Fe(CN)_6^{3-}$ 的催化效果不佳，因為當 Fe^{3+} 在和 CN^- 形成錯離子後，便很難與雙氧水作用，反應速率比鐵離子小很多，濃度大者碰撞頻率大，故其反應速率較大，但為同一物質，所以圖形曲線下降的變化相類似。

(8)



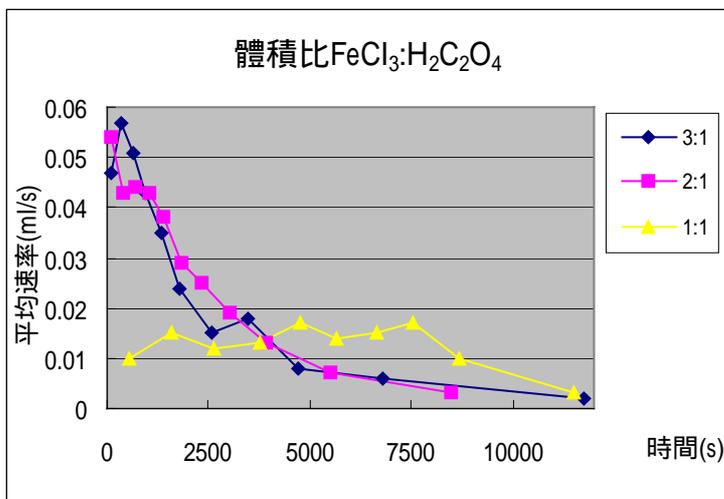
$Fe^{3+} + EDTA^{4-} \rightleftharpoons Fe(EDTA)^-$ ，當 Fe^{3+} 與 $C_2O_4^{2-}$ 以 2:1 混合時，會有多餘的 Fe^{3+} 殘留，所以其反應速率較快，蓋因此反應之催化作用幾乎是由 Fe^{3+} 引起，錯離子的影響不大。當 Fe^{3+} 與 $EDTA$ 以 1:1 混合時，恰形成錯離子，無多餘的鐵離子剩下，而錯離子安定性高，故其反應速率慢很多。

(9)



錯離子的反應速率比前面的鐵鹽慢很多，其中除了赤血鹽外，其圖形有一特色：較類似近於零級反應，速率常數因種類而異。

(10)



由反應式 $\text{Fe}^{3+} + 3\text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightarrow \text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{3-}$ 知，當 Fe^{3+} 與 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 以 1:3 混合時，恰形成錯離子，無多餘的鐵離子剩下，故其反應速率最慢，同時其反應速率也近於零級反應。而其餘比例， Fe^{3+} 殘留愈多時反應速率愈大(3:1)，因此時反應之催化作用幾乎是由 Fe^{3+} 引起，錯離子的影響不大。

4. 實驗(三)討論

(1) 實驗時觀察出 FeCl_3 與 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 較快產生氧氣；但氧氣也很快反應完而 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 的反應較平緩，氧氣時間拖的也比較久。

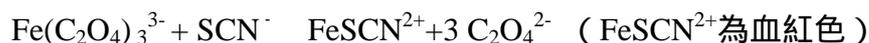
(2) Fe^{3+} + 不同陰離子反應後做檢驗，加入 KSCN 變成血紅色，因有下列反應進行： $\text{Fe}^{3+} + \text{SCN}^- \rightarrow \text{FeSCN}^{2+}$ (FeSCN^{2+} 為血紅色)

(3) 加入 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ 有深藍色沉澱，因有下列反應進行： $4\text{Fe}^{3+} + 3[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \rightarrow \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3(\text{s})$

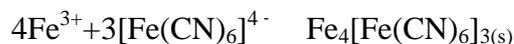
5. 實驗(四)討論

(1) 混合後溶液變色，有錯離子 $\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{3-}$ 的產生，其反應式為 $\text{Fe}^{3+} + 3\text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightarrow \text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{3-}$

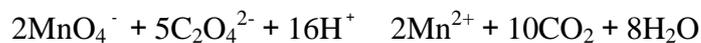
(2) 混合後加入 KSCN 變血紅色，因有下列反應進行



(3) 混合後加入 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ 有深藍色沉澱，因有下列反應進行



(4) 沉澱加酸後可使 KMnO_4 褪色，有下列反應進行：



6. 實驗(五)討論

- (1) 由實驗過程中可發現以不同比例混合 Fe^{3+} 和 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ，餘最多之 Fe^{3+} ，其反應速率最快，冒氣之速率最快。
- (2) 隨著 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 比例加重，反應速率趨緩和，同時可觀察出形成錯離子後，其氣泡之產生呈明顯的平穩速度，與以 Rate 儀監測之圖形結果呈零級反應十分吻合。

7. 實驗(六)討論

- (1) $\text{Fe}^{3+} + \text{EDTA} \rightarrow \text{Fe}(\text{EDTA})^-$ 溶液成淺黃
- (2) 反應後之混和液加入 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ 有深藍色沉澱，因有下列反應進行 $4\text{Fe}^{3+} + 3[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \rightarrow \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3(\text{s})$ ，過氧化氫之氧化力可切斷 Fe^{3+} 與 EDTA 的鍵結。
- (3) 反應後之混和液加入 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ 產生深藍色沉澱，可能是 Fe^{3+} 與 H_2O_2 反應生成 Fe^{2+} 而有下列反應 $4\text{Fe}^{2+} + [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} \rightarrow \text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2(\text{s})$

八、結論

1. 我們花費在購買儀器材料的費用不多，例如：螺絲一組 2 元、光遮斷器一顆 25 元，再利用學校過時的舊電腦，經過多方摸索 DIY，終於組裝完成了反應儀器，很有成就感，藉此 DIY 的儀器全程監控雙氧水加入不同的三價鐵鹽中，雙氧水分解的情形。
2. 催化劑的催化反應有以誘發自由基產生一連串的連鎖反應，反應的通式為
$$\text{M} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{M} + \text{HO} + \text{OH}^-$$
$$\text{M} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{M} + \text{HO}_2 + \text{H}^+$$
M 是金屬的一種氧化態，而 M 是這金屬高一級的氧化態，而過渡金屬的陽離子通常呈多種氧化態，所以其鹽類多可為催化劑，而催化的速率又與離子種類有關，不同離子其反應之速率不同。實驗驗證鐵鹽的效果最好，而亞鐵離子反應速率較鐵鹽快，但因太快會造成電腦當機，故不適用於本儀器來監測。
3. 研究結果顯示三價鐵鹽中， $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 和 FeCl_3 的催化效果最好，屬於爆發型，反應情況較類似，氧氣的產生很快達最高速率，其最大反應速率值約在 0.4ml/s-0.6ml/s 上下，但反應也很快完成。 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 的反應情況較溫和平緩，慢慢提升其反應速率，且其最大反應速率也較小，約在 0.1ml/s-0.2ml/s 上下。藉此研究結果，若要利用雙氧水的氧化力應用於工業的污水處理上， $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 和 FeCl_3 較適於速效性(如旺季，訂單大量，產生廢水量較大之行業)； $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 較適於長效性(如淡季時，不景氣，產生廢水量較少較緩之行業)。
3. 若鐵生成穩定錯離子後，其反應速率皆較慢，實驗結果其最大反應速率值約在 0.01ml/s-0.02ml/s 上下，速率比非錯鹽的鐵鹽慢了十倍多。其中 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ ， $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$ 與 $\text{Fe}(\text{EDTA})^-$ 反應情況較類似，反應速率較近於定值，可將此結果應用於日常生活中需較固定氧氣產生，而其速率不必很大處(如水族箱之氧氣供應，燃料電池之氧氣供應)。

九、參考資料

- 1.歷屆科展
- 2.方金祥，微型化學實驗之設計與製作，初版，高雄復文圖書出版社 p150-151 1998年10月
- 3.陳元炘 施德仁合著，IBM PC 自動控制實務設計，初版，波心資訊，P191-218 P315-P333，1991年4月
- 4..化學二、三冊，國立編譯館
- 5.張俊文譯，.自由基化學入門，復漢出版社
- 6.易定博 潘可傳合譯，.化學反應如何發生，臺灣中華書局