

催化劑下的反應速率

國中組 第三名

縣 市：高雄市

校 名：國昌國中

作 者：陳美名

指導教師：謝宜和、楊家真



大家好，我是陳美名，從小就對自然科學有著極大的興趣。在國二升國三的那年暑假，我在老師的指導下，就開始研究 $K_2Cr_2O_7$ 、 MnO_2 的反應速率，經過不斷的改進，終於把這套儀器設計出來，並代表學校參加國際科展，經由教授推薦至全國科展，也獲得不錯的名次，並得到高雄市立女子高級中學認可入學。

關鍵詞：催化劑、反應速率、二鉻酸鉀

一、研究動機

我們想一個最普通的實驗，再加上巧思與儀器改進，以另一種更細微的角度，去捕捉化學反應過程中的真實面，那會給我們什麼樣的驚訝呢？一開始我們著手從網路中搜尋一份有關於 H_2O_2 的科展作品(34屆全國佳作)，其中給我們莫大的啓示。在著手之前，不斷地省思前人的數據，以及操作時可能面臨的種種問題，總是希望有一部較精準的儀器，可將此反應的每一刻過程，詳實的記錄下來。歷經操作儀器的改進，設計儀器的困窘，數據分析與理論的衝突，終於把這份作品呈現出來。

二、研究目的

(一)製作一個儀器來測定 H_2O_2 的反應速率；並說明其原理。

(二) $K_2Cr_2O_7$ 的濃度對 H_2O_2 分解反應速率的探討。

(三)在不同溫度下 $K_2Cr_2O_7$ 對 H_2O_2 分解反應速率的探討。

(四)在K₂Cr₂O₇催化下H₂O₂不同濃度的探討。

(五)MnO₂的濃度對H₂O₂分解反應速率的探討。

三、研究設備器材

(一) 實驗藥品：

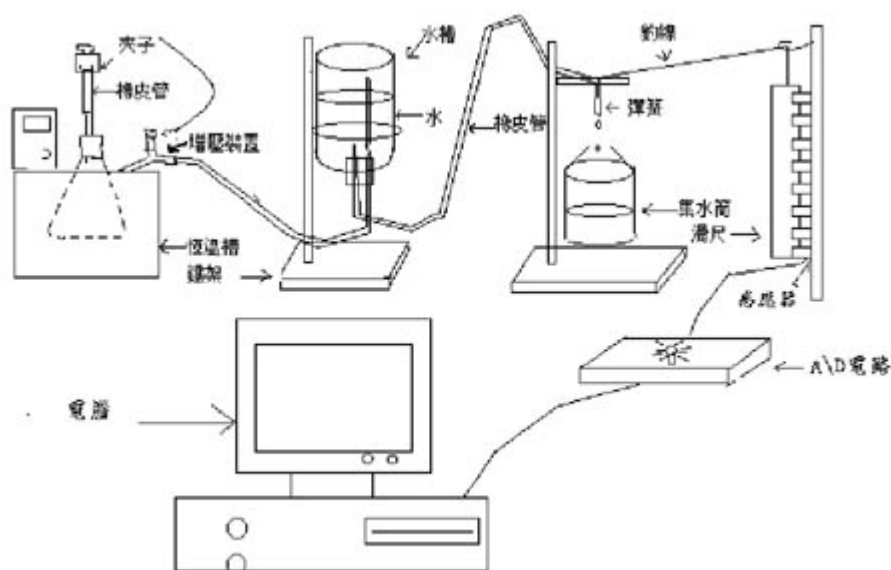
二鉻酸鉀(K₂Cr₂O₇)、二氧化錳(MnO₂)、雙氧水H₂O₂

(二) 實驗器材：

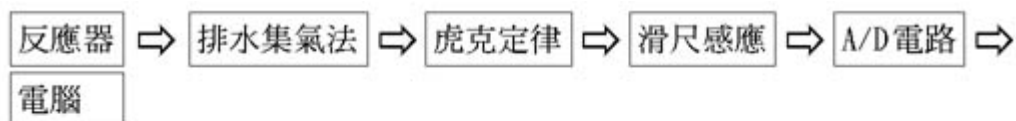
量筒、燒杯、刮勺、上皿天平、秤量紙、電腦、電路板、針筒、橡皮管、溫度計、攪拌器、磁石、軟木塞、玻璃管、絕熱盒、恒溫槽等。

四、研究過程

(一) 儀器裝置



簡述上圖原理:



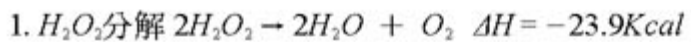
註：1. A/D 電路於(附錄一)

2. 感應器的介面電路(附錄二)

3. 使用"PC 多功能實驗卡或雙 8255 或 I/O 控制界面實驗卡"為 PC 介面

4. 程式語言採用 Quick Basic 4.5 中文版(附錄三 說明流程)

(二)原理、操作



雙氧水密度: $1.15 g/cm^3$ (常溫)

$$\text{反應速率} (Rate) = \frac{\text{反應物的消耗量}}{\text{時間}(time)} = \frac{\text{產物的生成量}}{\text{時間}}$$

$$Rate = \frac{O_2 \text{體積的生成}}{\text{時間}} = \frac{\text{排水量(排水集氣法)}}{\text{時間}}$$

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

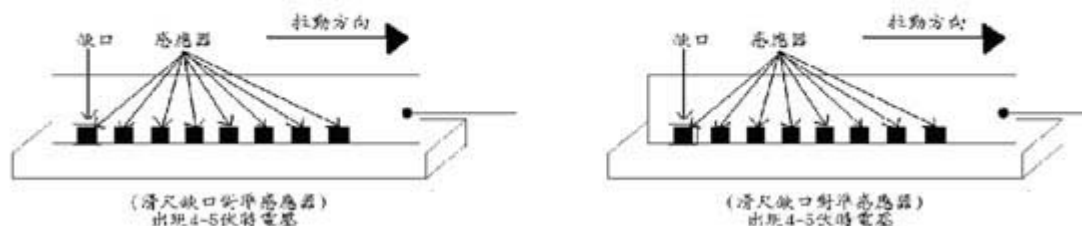
又滑尺等間隔測量時間 = 生成氧氣等體積的測量時間

故分子是相同，因此 Rate 可簡化成時間的倒數來表示。

$$Rate = \frac{1}{time} \dots\dots\dots \text{公式 1}$$

2. 當滑尺被拉動時，若滑尺的缺口對準感應器(光遮斷器 Photo Interrupters)，在介面電路中就會產生4~5伏特的電壓，此時由電腦測得大於4伏特電壓就將時間與電壓一併存檔。由開始反應至停止測量之間，即可獲得一連串的“電壓”與“時間”的資料。

滑尺被拉動 與 感應器關係的圖示



3. 作電壓與時間的關係圖，從圖中點的分布情形，就可以判斷滑尺的缺口是何時通過感應器的時間。此圖可讓我們消除雜訊，及判定數據是否有效。

4. 獲得精確的時間後，代入上述公式1並作出排水量對時間或Rate對time的關係圖。

5. 儀器操作步驟：

(1) 利用針筒(3mL)吸取所須的雙氧水體積。

(2) 將所記錄的實驗資料填入電腦中。

(3) 檢查及裝水入水桶中；排水管的水位是否在起始位置，若否，則以增壓裝置增壓使水位在起始位置。

(4) 調整細線及滑尺的起始位置。

(5) 打開攪拌器，或絕熱盒中，或恒溫槽中。(視情況需要)

(6) 將針筒刺入椎形瓶上橡皮管內注入 H_2O_2 ，並同時按下電腦的“開始”鍵。

(7) 按下任一鍵停止電腦記錄。

(8) 夾住排水管，打開橡皮塞測量溫度，測量排水量;並填入電腦中。

(9)分析資料列印圖形(電腦操作畫面，附錄四)。

6.試以實例說明4、5兩點：

(1)列印電壓與時間的原始資料。

姓名: 日期:1999-12-31 時間:05:57:43
初溫:45.0 末溫: 壓力:atm 間隔:0.2秒 檔名:12310013.DBF
催化劑:2克 H₂O:100mL H₂O₂?:35% H₂O₂Vol:2.5mL 排水量:mL
目的:濃度 備註:催化劑種類: K₂Cr₂O₇

A 感應器:

1)13.62[4.73]	2)13.84[4.72]	3)14.06[4.85]
4)14.28[4.91]	5)14.50[4.84]	

B 感應器:

1)17.57[4.88]	2)17.79[4.86]	3)18.01[4.85]
4)18.23[4.85]	5)18.45[4.81]	

C 感應器:

1)20.87[4.71]	2)21.09[4.77]	3)21.31[4.79]
4)21.53[4.91]	5)21.75[4.91]	6)22.02[4.73]
7)22.24[4.80]		

D 感應器:

1)24.88[4.91]	2)25.10[4.88]	3)25.32[4.75]
4)25.54[4.75]	5)25.76[4.81]	6)25.98[4.92]
7)26.20[4.92]	8)26.42[4.75]	

E 感應器:

1)28.83[4.82]	2)29.05[4.72]	3)29.27[4.73]
4)29.49[4.89]	5)29.71[4.80]	6)29.93[4.89]
7)30.15[4.83]	8)30.37[4.75]	9)30.59[4.78]

F 感應器:

1)33.67[4.69]	2)33.89[4.65]	3)34.11[4.85]
4)34.33[4.82]	5)34.55[4.96]	6)34.77[4.83]
7)34.99[4.67]	8)35.21[4.69]	

G 感應器:

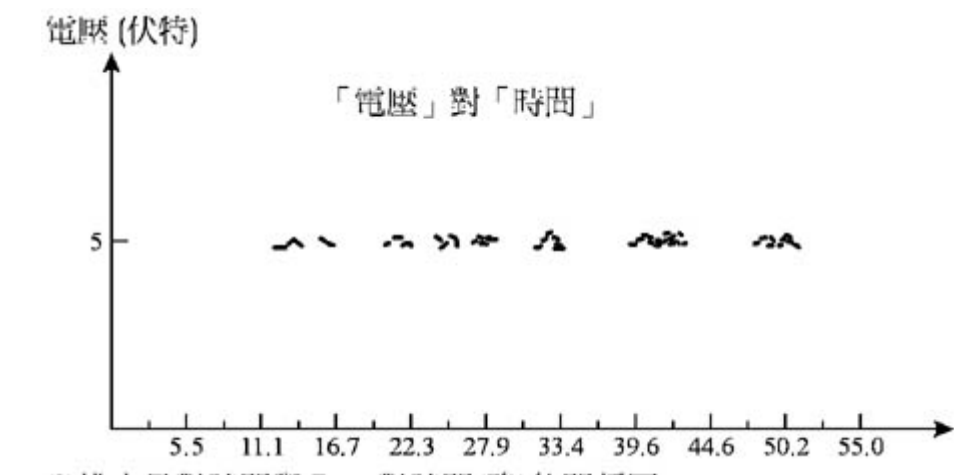
1)39.82[4.77]	2)40.04[4.80]	3)40.26[4.82]
4)40.48[4.94]	5)40.70[4.80]	6)40.92[4.69]
7)41.14[4.83]	8)41.36[4.79]	9)41.58[4.92]
10)41.80[4.91]	11)42.02[4.82]	12)42.24[4.70]
13)42.46[4.58]	14)42.68[4.84]	

H 感應器:

1)48.61[4.76]	2)48.83[4.91]	3)49.05[4.84]
4)49.27[4.83]	5)49.49[4.63]	6)49.71[4.75]
7)49.93[4.81]	8)50.15[5.00]	9)50.37[4.79]
10)50.59[4.73]	11)50.80[4.66]	12) 0.00[0.00]

(2)作電壓與時間(Volt - time)的關係圖。

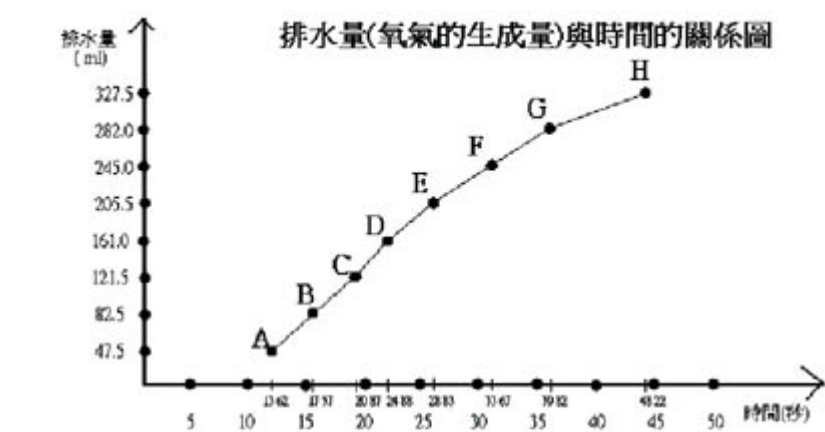
姓名: 日期:1999-12-31 時間:05:57:43 檔名:12310013.DBF
 初溫:45.0 末溫: 壓力:atm 間隔:0.2秒 攪拌:
 催化劑:2克 H₂O:100mL H₂O₂?:35% H₂O₂Vol:2.5mL 排水量:mL
 目的:濃度 備註:催化劑種類: K₂Cr₂O₇



(3)排水量對時間與Rate對時間(略)的關係圖
分別取用八點 "時間與電壓"的數據。

感應器順序	A	B	C	D	E	F	G	H
至感應器的平均排水量	47.5	82.5	121.5	161	205.5	245.0	282.0	327.5
到達感應器的時間	13.62	17.57	20.87	24.88	28.83	33.67	39.82	48.61
時間與平均反應速率		15.60	19.22	22.88	26.86	31.25	36.75	44.22
		8.863	11.967	9.851	11.268	8.161	6.016	5.176

註: 1.單位1 時間(秒) 2 排水量(mL) 3 反應速率(毫升/秒)
 2.此數據已校正過。



註：1.畫圓圈是為了易查看，而非估計值。

$$V_{CD} \text{ (CD 間的平均速率)} = \frac{161.0 - 121.5}{24.88 - 20.87}$$

$$\text{所對應的平均時間 } t_3 = \frac{24.88 + 20.87}{2}$$

共計可得七個平均速率 (V_{AB} V_{BC} V_{CD} V_{DE} V_{EF} V_{FG} V_{GH})

(三)實驗步驟

1.校準線的製作：

- (1)按下電腦選項中的測試鍵使之不斷地測試介面電路中感應器的電壓。
- (2)以有側管錐形瓶(250mL)裝水以側管傾倒水入集水桶中。
(模擬反應時排水的情形)
- (3)彈簧因水重而向下伸長，牽動滑尺移動，當滑尺的缺口經過每一個感應器時(可由電腦螢幕顯示電壓大於4伏特得知)，即刻停止倒水。
- (4)測量集水桶內的水量，並記錄之。

2.K₂Cr₂O₇的濃度對H₂O₂分解反應速率的探討。

- (1)取K₂Cr₂O₇分別為0.5g、1.0g、2.0g、4.0g加入100mL的水中溶解。
- (2)吸取2.5mL(35%)的H₂O₂，注入錐形瓶中使之反應。
- (3)測量 電壓與時間，並作圖;求得排水量與時間的資料。

3.在溫度分別60 ° C、45 ° C 下重覆第二項步驟。

4.在K₂Cr₂O₇催化下H₂O₂不同濃度的探討。

- (1)取K₂Cr₂O₇為0.5g、2.0g分別加入100mL、400mL的水中溶解。
- (2)吸取2.5mL(35%)的H₂O₂，注入錐形瓶中使之反應。
- (3)測量 電壓與時間，並作圖;求得排水量與時間 的資料。

5.MnO₂的濃度對H₂O₂分解反應速率的探討。

- (1)取MnO₂分別為0.1g、0.2g、1.0g、2.0g、4.0g加入100mL的水中溶解。
- (2)吸取2.5mL(35%)的H₂O₂，注入錐形瓶中使之反應。
- (3)測量 電壓與時間，並作圖;求得排水量與時間 的資料。

五.研究結果與討論

(一)校準線的製作

感應器順序次數	A	B	C	D	E	F	G	H
1	48.0	85.0	119.0	158.0	203.0	247.0	282.0	327.0
2	47.0	80.0	124.0	165.0	208.0	243.0	282.0	328.0
至感應器的 平均排水量	47.5	82.5	121.5	161	205.5	245.0	282.0	327.5
感應器間隔 的水量	47.5	35.0	39.5	39.5	44.5	39.5	37.0	45.5

討 論

1.理論上反應速率可以直接以時間的倒數來表示(單位:1/秒)，經實際的測量感應器間的排水量，仍有些差距，因此我們須將[公式1]，作修正，

以 $\frac{\text{排水量}}{\text{時間}}$ 來表示。(單位: $\frac{\text{毫升[水]}}{\text{秒}}$)

即 反應速率 (Rate) = $\frac{\text{排水量}}{\text{時間}}$ 公式 2

2.我們求得的只是一個近似值,但可用下列方法使測量更接近實際曲線：

(1)使用數學方法將曲線計算出。

(2)將八個感應器增加至十六個,讓等分區段變小,如此就會更接近實際曲線。

(3)將八個感應器在電路板上排列更緊密,然後只測上半部或只測下半部,就可使等分區段變小。

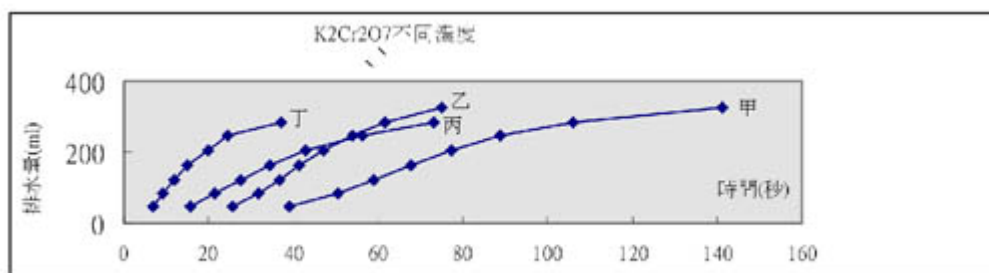
3.計算理論氧氣產量:

感應器順序 K ₂ Cr ₂ O ₇	A	B	C	D	E	F	G	H
甲：0.5g	38.94922	50.47852	58.76953	67.66992	77.22852	88.75977	105.8984	141.1602
乙：1.0g	25.71094	31.64063	36.57813	41.52734	47.12891	54.05078	61.62891	74.86791
丙：2.0g	15.87102	21.58008	27.57031	34.60059	42.9502	56.35059	73.27051	
丁：4.0g	6.869141	9.279279	12.0293	15.0498	19.87988	24.5	37.12988	

使用新開H₂O₂的時,可測得排水量約350 - 365之間, 放置一些時間的H₂O₂時(三天,可測得排水量約340 - 355之間,其產率約在93%以上,(自行分解、反應後期速率太慢或、取用H₂O₂時的誤差),在此我們視為排水量約略等於氧氣的生成量。

(二)K₂Cr₂O₇的濃度對H₂O₂分解反應速率的探討

說明: 缺口到達感應器的時間資料

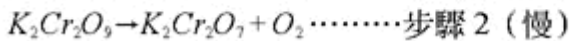
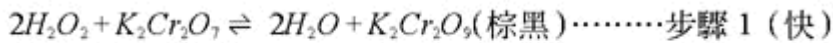


討 論

1.原K₂Cr₂O₇的水溶液中橙色,當H₂O₂加入瞬間溶液變為棕黑色且棕黑色物質向下沉,此時氧氣產生的量很少,經一段時間後,氧氣逐漸生成。反應後期,顏色又慢慢變回橙色(但比最初略黑)。

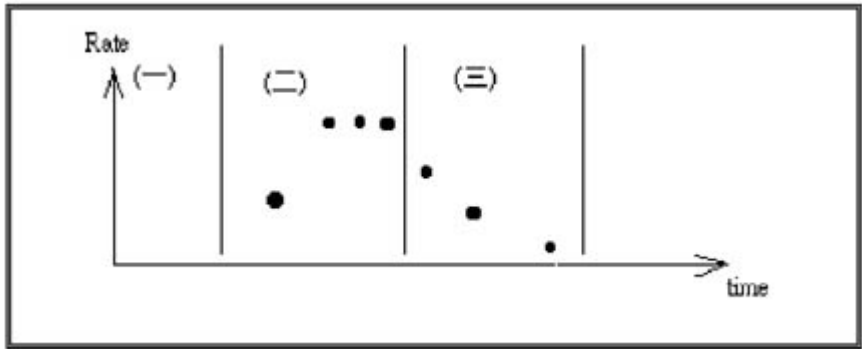
2.試以反應機構來說明

下列兩個步驟完成(參考：微型化學實驗之設計與製作)



實驗中當加入H2O2瞬間整個溶液變為黑,其後氧氣生成的速度很緩慢,其後逐漸氧氣生成,這與反應機構所述完全相同。反應機構的第二式為瓶頸反應。

3.從Rate - Time的圖中,我們將整個反應分成三階段：



- (1)第一階段K2Cr2O7孕育期:加入H2O2時,整個溶液中迅速生成大量棕黑色的K2Cr2O9，K2Cr2O9極不穩定,且少量分解成K2Cr2O7與O2。
- (2)第二階段---快速反應期:在此階段K2Cr2O9分解成K2Cr2O7與O2。因H2O2因莫耳數多於K2Cr2O7,與分解後的K2Cr2O7可再於H2O2時結合成K2Cr2O9形成循環式反應。在此階段放出熱量使Rate提高。又因H2O2濃度的減少可使Rate降低,在此階段可能有一個Rate高峰或兩個Rate高峰的出現。反應行為較為複雜,反應較快,最大反應速率值會再此階段出現。
- (3)第三階段---衰減期:溶液中的H2O2已耗盡, K2Cr2O9無法獲得適當的補充, K2Cr2O9(棕黑色)逐漸分解而減少，K2Cr2O7漸多,溶液顏色回復成橙色。

提出實驗方法可證明此說明:

若按上述，K2Cr2O9(棕黑色)逐在孕育期與快速反應期,其色度應是較深且相差不多(因反應機構的第一式會迅速平衡),在第三階段(衰減期)色度才會變亮。

4.VAB平均反應速率(初速率)與K2Cr2O7的克數作圖:

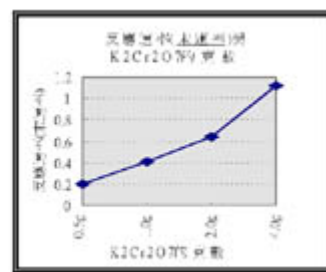
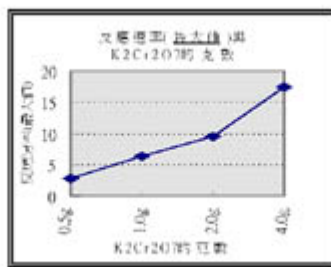
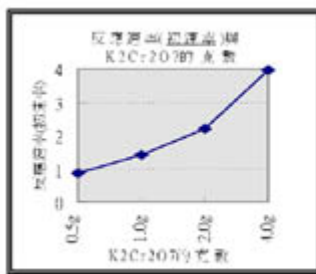
K2Cr2O7的克數	0.5g	1.0g	2.0g	4.0g
反應速率(mL /s)	0.860	1.397	2.197	3.959

反應速率(最大值)與K2Cr2O7的克數作圖

K2Cr2O7的克數	0.5g	1.0g	2.0g	4.0g
反應速率(mL /s)	2.7068	6.352	9.453	17.442

VGH平均反應速率(末速率)與K2Cr2O7的克數作圖

K2Cr2O7的克數	0.5g	1.0g	2.0g	4.0g
反應速率(mL /s)	1.2227	2.5255	3.980	6.902



K₂Cr₂O₇的使用量是2倍,則反應速率(初速率、最大初速率、末速率)則有(1.5-2.0)倍數關係。

5.當反應機構第一式瞬間平衡時,H₂O₂在一開始的濃度應該最大,根據碰撞學說此時應該有最大的反應速率,從實際的數據得知Rate的最大值大都在反應過程的一半時候(排水量約160~200mL之間),為何最大值會在此時才出現呢?在此我們提出假設,來說明此現象:

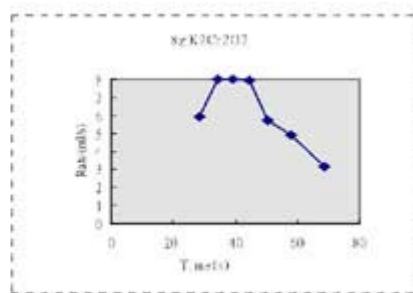
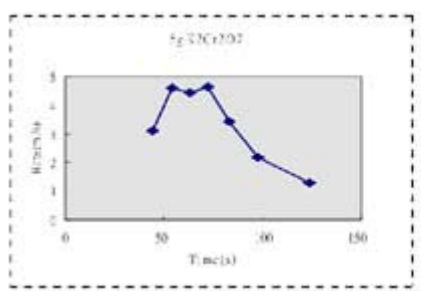
- (1)當第一步驟完成,雖有較大的碰撞機會,分子能量不足,仍是無效碰撞。
- (2)最初部份的分子反應,所放出的熱量,提供了所須的能量,有效碰撞次數增加,因而Rate逐漸提高。
- (3)反應過半之後,因濃度的減少,導致反應速率下降。

Time[Rate] K ₂ Cr ₂ O ₇	VAB	VBC	VCD	VDE	VEF	VFG	VGH
5.0g	44.55[3.125]	54.46[4.582]	63.22[4.438]	72.45[4.655]	82.99[3.425]	97.33[2.159]	123.53[1.290]
8.0g	28.68[5.902]	34.11[8.000]	39.05[7.981]	44.33[7.944]	50.59[5.707]	57.84[4.882]	68.90[3.127]

6.使用5g及8g K₂Cr₂O₇ (分別是0.017莫耳及0.0272莫耳)反應:

註: 5g在20.8 °C 8g在21.3 °C

5g K₂Cr₂O₇與 8g K₂Cr₂O₇ 與的Rate - Time的圖形:



使用5g與8g皆可與2.5 mL H₂O₂完全反應完畢,也就是第二階段應沒有循環式的過程,但從實驗得知第二階段依然存在。由此得知反應機構的第一式速率快但平衡常數不大。

計算H₂O₂與 K₂Cr₂O₇莫耳數:

分子量H₂O₂ =34.02 K₂Cr₂O₇=294.22

種類	H ₂ O ₂ =2.5ml	K ₂ Cr ₂ O ₇ =5克	K ₂ Cr ₂ O ₇ =8克
莫耳數	0.0298	0.01699	0.02719

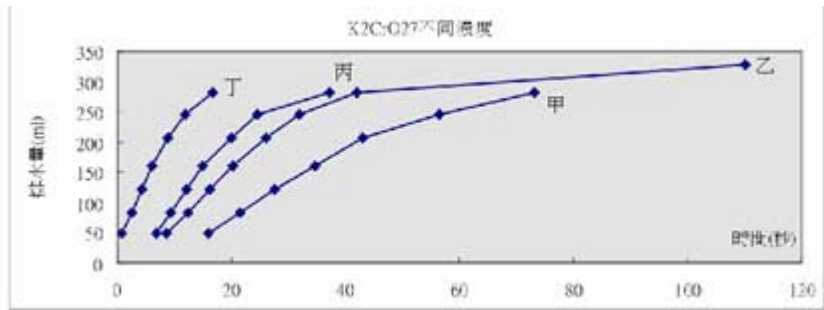
(三)在不同溫度下(60 °C、45 °C及常溫) K₂Cr₂O₇催化反應的探討:

在60 °C:

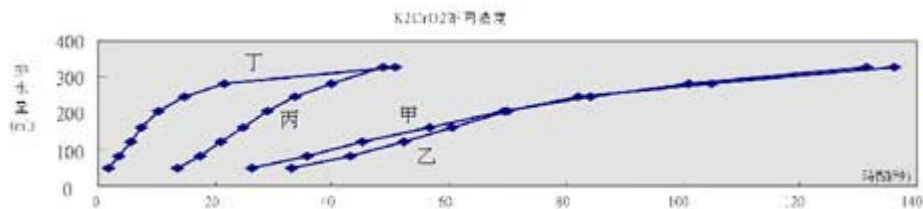
說明:缺口到達感應器的時間資料

感應器順序 K2Cr2O7	A	B	C	D	E	F	G	H
甲：0.5g	15.8701	21.5801	27.5703	34.6006	42.9502	56.3506	73.2705	
乙：1.0g	8.5098	12.3594	16.1992	20.1592	26.1992	31.9697	42.1299	110.2295
丙：2.0g	6.8690	9.2793	12.0293	15.0498	19.8799	24.5	37.1299	
丁：4.0g	0.8799	2.4200	4.2900	6.0996	8.8398	11.8096	16.5898	

感應器順序 K2Cr2O7	A	B	C	D	E	F	G	H
甲:0.5g	26.3711	35.7109	45.1992	56.6309	69.2695	84.0996	101.1211	131.3300
乙:1.0g	33.1699	43.0606	52.3398	60.4707	69.9200	82.2210	104.8496	136.0508
丙:2.0g	13.6211	17.5703	20.8711	24.8809	28.8301	33.6691	39.8203	48.6113
丁:4.0g	1.6504	3.4609	5.4902	7.3689	10.3301	14.8301	21.6992	50.6992



在45 °C
說明:缺口到達感應器的時間資料

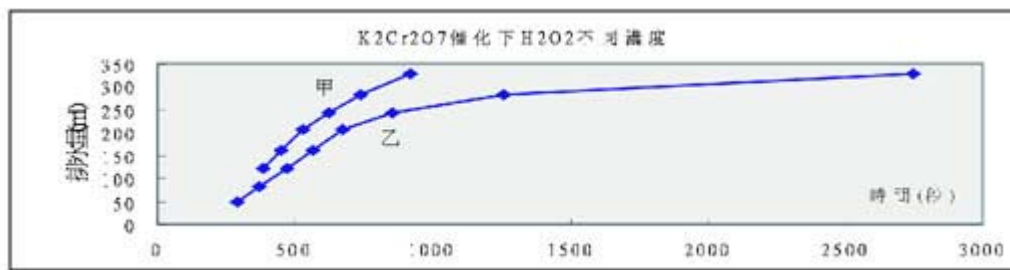


(四)在K2Cr2O7催化下H2O2不同濃度的探討。

說明:缺口到達感應器的時間資料

感應器順序 H2O2濃度	A	B	C	D	E	F	G	H
甲: 2.5%	257.4922	312.9102	380.6328	449.5625	527.5625	619.1719	734.4609	915.2227
乙: 0.625%	290.4492	367.2891	466.7109	560.4609	675.75	853.1602	1261.09	2748.09

註：1.K2Cr2O7的濃度(溶質重/溶劑的體積)0.5%
2.H2O2的濃度表示法(溶質體積/溶劑的體積)



討 論

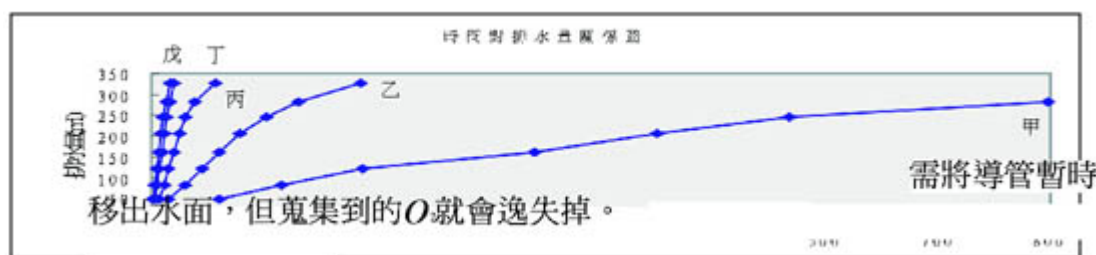
1.因受限於須採用2.5mlH₂O₂(35%)的限制，是用提高H₂O₂與的量來稀釋K₂Cr₂O₇，來達到不同的H₂O₂濃度，這與控制變因法一次只有改變一個變因，仍有出入。

2.當H₂O₂當濃度較稀，K₂Cr₂O₇濃度盡量提高時，反應時間較長且較慢，溫度上升不易，整個溶液可試為一恒溫，再者沒有循環式的反應；因此在這條件下有利於半衰期、反應速率積分式與活化能等之相關計算。若是相反地試以提高K₂Cr₂O₇濃度來達成此效果，會面臨到K₂Cr₂O₇飽和濃度的限制，不可能無限量提高。

3.反應中攪拌，Rate沒有明顯增加

(五) MnO₂的多寡對 H₂O₂分解反應速率的探討。

說明:缺口到達感應器的時間資料



討 論

1.當 MnO₂的克數增加(催化劑的接觸面積增加)，反應速率有明顯的變大。

2. MnO₂的反應的狀態，分成兩種，(一)攪拌溶液使其均勻分散於溶液中；(二)讓MnO₂固體沉積在底部一層，測得反應速率是截然不同。可知MnO₂固體在溶液中分佈狀態也是一項重要的變因。

六、實驗討論

(一)整體實驗是個不斷演進的過程，在軟體上也多次修改(感謝指導老師的協助)。

(二)操作時一定要注意水管的水位是否在起始位置，水槽的水面一定要高於彈簧上端的水位。每次做實驗前釣線上需上一次潤滑油，以減少摩擦力。

(三)為了避免漏氣，錐形瓶上方的橡皮管，實驗五天需更換一次；整個傳送氣體和水的導管需採用硬質的軟管，可避免傳送時導管膨脹造成的誤差。

(四)實驗完畢需將集水筒取下 避免彈簧疲乏。

(五)每次實驗前須測試感應裝置是否受當時的室內光線的偏射而有雜訊出現。

(六)至於為什麼不使用薊頭漏斗，基於以下兩個因素：

1.使用久後，薊頭漏斗的管內會沾有 MnO₂，導致下次實驗時，一注入 H₂O₂，馬上就有 O₂往上噴，會造成危

險。

2.當 O₂ 往上排出時，會造成薊頭漏斗裡面的壓力差，而此時就須需將導管暫時移出水面，但蒐集到的 O₂ 就會逸失掉。

(七)當以 K₂Cr₂O₇為催化劑時，即使使用攪拌器，實驗結果也不會有明顯的改變，因此時是均相催化；但假使以MnO₂為催化劑，有無攪拌，對實驗則有明顯的影響。因此時是非均相催化。

七、結論

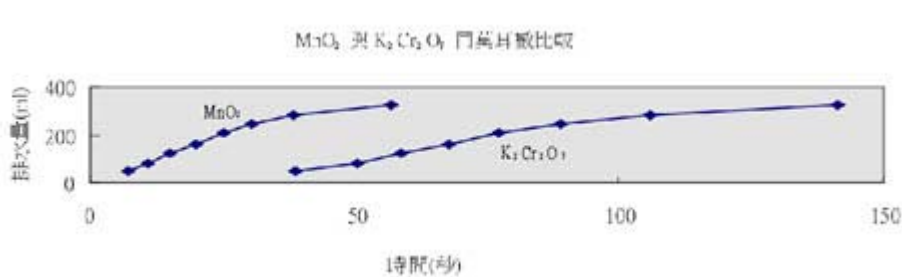
(一)從儀器中開始獲得數據時就十分興奮,可以更微觀的瞭解H₂O₂分解過程的速率大小，也可以推展到諸類產生氣體的反應,例:H₂、CO₂、C₂H₂;若是易溶於水也可改成"排油集氣法",且將所產生的氣體收集在水槽內,安全上也提高許多。

(二)可連續且完整的測量整個反應過程;反應裝置的獨立性與監測裝置的分離性,更容易控制反應中的各項變因。

(三)雖然使用與K₂Cr₂O₇都可以催化H₂O₂生成水及氧氣,其中的反應途徑不同與不同 中間產物的特性,所造成排水量 - 時間的圖形有截然不同。

(四)經儀器的改進,可以將全程的反應分段記錄速率,對於化學上許多定量的計算,提 供相當多的資料;分析數值瞬間完成,有固定的操作步驟容易學習,同時也建構一個良好的操作測量的工具。

(五)MnO₂有如兔子般的迅速催化,K₂Cr₂O₇有如烏龜般的緩和性催化。



註: 甲: MnO₂1g (水100mL 0.1177莫耳)、乙: K₂Cr₂O₇ (水100mL 0.01359莫耳)

八、參考資料

(一)台北市第三十一屆科展作品

(二)全國第三十四屆科展作品

(三)國民中學理化第一冊,國立編譯館出版,1999

(四)高中化學第一冊,國立編譯館出版,1998

(五)吳明哲、黃世陽,BASIC入門,松崗電腦圖書資料股份有限公司出版,1991

(六)方金祥,微型化學實驗之設計與製作,高雄復文圖書出版社出版,1998

(七)黃連進,PC多功能實驗卡實驗手冊,第三波文化事業股份有限公司出版,1992

(八)IBM自動控制實務設計 波前資訊技術部、陳元炘、施仁德合著

評語

本研究設計了一套儀器，據之測定過氧化氫分解的反應速率儀器裝置簡單精巧，測量數據時考慮周到且知道如何尋找資料參考。在科學方法上表現甚佳，但所探討的反應乃已知現像，且在化學原理上考慮不夠周詳故評給第三名。

回到目錄頁 [../Index.htm](http://Index.htm)