

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組化學科

040222

高雄市立高雄高級中學

指導老師姓名

陳有順

顏瑞宏

作者姓名

李韋德

張建偉

蔡承志

柯星宇

中華民國第 44 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：化 學 組

組 別：高 中 組

作品名稱：不鳴則矣，一觸驚人

—設計實用的反應裝置有效探討白金
催化雙氧水分解反應之化學動力學—

關 鍵 詞：白金、雙氧水、化學動力學

編 號：

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會作品摘要表

<p>作品名稱：不鳴則矣，一觸驚人 ~~設計實用的反應裝置有效探討白金催化雙氧水分解反應之化學動力學~~</p>
<p>一、研究動機：化學動力學為探討反應速率與反應物濃度之關係以及嘗試說明化學反應機構必要的數據，高中化學也列為必須學習的基礎化學知識，高中化學即以秒表反應實驗為探討化學動力學的數據。但如果能取材自日常用品中所進行之化學反應，經實驗也可以得到化學動力學的數據，將有助於提高學習的興趣及對化學動力學之瞭解。</p>
<p>二、研究目的：本研究的目的在於利用實驗室中簡單的器材，設計容易操作，對反應結果也容易觀察的裝置，希望在探討白金催化雙氧水分解反應之化學動力學時，能縮短實驗時間，並且能夠有效得到反應速率與反應物濃度關係之數據。</p>
<p>三、研究過程方式：</p> <p>第一部分：設計並探討儀器的功能：</p> <ul style="list-style-type: none">(一) 說明儀器的使用方法。(二) 探討儀器各部分的優點。 <p>第二部分：利用改變濃度推求濃度和反應速率之關係：</p> <ul style="list-style-type: none">(一) 利用儀器測得的反應時間推求反應速率。(二) 利用已知的反應速率和濃度推求反應級數。 <p>第三部分：利用改變溫度推求濃度和反應速率之關係：</p> <ul style="list-style-type: none">(一) 改變溫度推求濃度和反應速率之關係。(二) 藉由阿瑞尼士方程式配合實驗數據求得活化能。
<p>四、研究結果：</p> <ul style="list-style-type: none">(一) 雙氧水的濃度越高分解反應速率越快。(二) 雙氧水所在的溫度越高分解反應速率也變越快。(三) 經由速率定律式推求雙氧水分解反應級數為一級反應。(四) 由阿瑞尼士方程式求出雙氧水分解所需活化能為 40.36 KJ/mol。(五) 經過儀器的探討和使用，我們發現到這個儀器的功能並不只於使用在推求此催化反應，亦可推求其他固體和液體反應生成氣體之反應。
<p>五、參考資料：</p> <ul style="list-style-type: none">(1) 高級中學物質科學化學篇(下)，龍騰文化事業公司主編，民國 93 年 3 月出版(2) Tiffany A. Vetter ; D.Philip Colombo Jr. <i>J. Chem. Educ.</i> 2003, 80, 788-789(3) Bedenbaugh, J. H.; Bedenbaugh, A. O.; Heard, T. S <i>J. Chem. Educ.</i> 1988, 65, 455-456(4) Burness, <i>J. Chem. Educ.</i> 1996, 73, 851.

目 錄

壹、摘要	1
貳、研究動機	1
參、研究目的	1
肆、研究設備及器材	1
伍、研究過程及方法	2
陸、研究結果	9
柒：討論	14
捌：結論	14
玖、參考資料	15

壹、

摘要

雙氧水可被多種化學試劑及酵素催化分解得到氧氣，因為具有相當多樣化的反應，故其化學反應及化學動力學一直被廣泛探討研究。本研究是使用學校實驗室中簡單的器材，包括滴定管、薊頭漏斗、安全吸球等組裝實用的反應裝置，並於市面眼鏡行購買視康(CIBA)公司隱形眼鏡清洗組合系統，取其中分解雙氧水即洗淨液的白金作為實驗用催化劑，配置不同濃度雙氧水，分別於不同溫度條件下，經由設計之觀測產物液標，計量雙氧水分解得到一定體積氧氣所需時間，計算反應速率與雙氧水濃度關係得到結論，雙氧水以白金催化分解反應為一級反應，反應活化能為 40.36KJ/mole。本研究設計之反應裝置，可以在短時間內有效得到化學動力學的數據，計算出白金分解雙氧水之反應級數及反應活化能。

貳、

研究動機

化學動力學為探討反應速率與反應物濃度之關係以及嘗試說明化學反應機構必要的數據，高中化學也列為必須學習的基礎化學知識，高中化學即以秒表反應實驗¹為探討化學動力學的數據。但如果能取材自日常用品中所進行之化學反應，經實驗也可以得到化學動力學的數據，將有助於提高學習的興趣及對化學動力學之瞭解。

視康(CIBA)公司所推出的隱形眼鏡洗淨液，是利用雙氧水殺死隱形眼鏡鏡片中的細菌、黴菌及病毒，清洗同時放入白金催化雙氧水使其分解，如此可減少雙氧水殘留對眼睛造成傷害，並且以磷酸鹽中和至近中性，使對眼睛的傷害減到最低，其清洗過程為六小時，算是一個相當兼具環保意識的商品。

Tiffany A. Vetter²等人利用視康(CIBA)公司產品發表探討白金催化雙氧水分解之化學動力學，使用排水集氣法收集氧氣^{3,4}，反應時間為 3±1 小時，接著計算反應速率與雙氧水濃度之關係。本研究用相同反應，嘗試對實驗過程作修飾，希望可以用較少的反應時間有效取得化學動力學數據。

參、

研究目的

本研究的目的是在於利用實驗室中簡單的器材，設計容易操作，對反應結果也容易觀察的裝置，希望在探討白金催化雙氧水分解反應之化學動力學時，能縮短實驗時間，並且能夠有效得到反應速率與反應物濃度關係之數據。

肆、

研究設備及器材

一、藥品

H₂O₂ (35%)、白金 (CIBA)、紅墨水、凡士林油

二、器材

滴定管、橡皮管、透明細管、L 型玻璃彎管、薊頭漏斗、玻棒、溫度計、橡皮塞、安全吸球、有支管的試管、鐵架、滴定管夾、碼表、塑膠杯、小保麗龍球

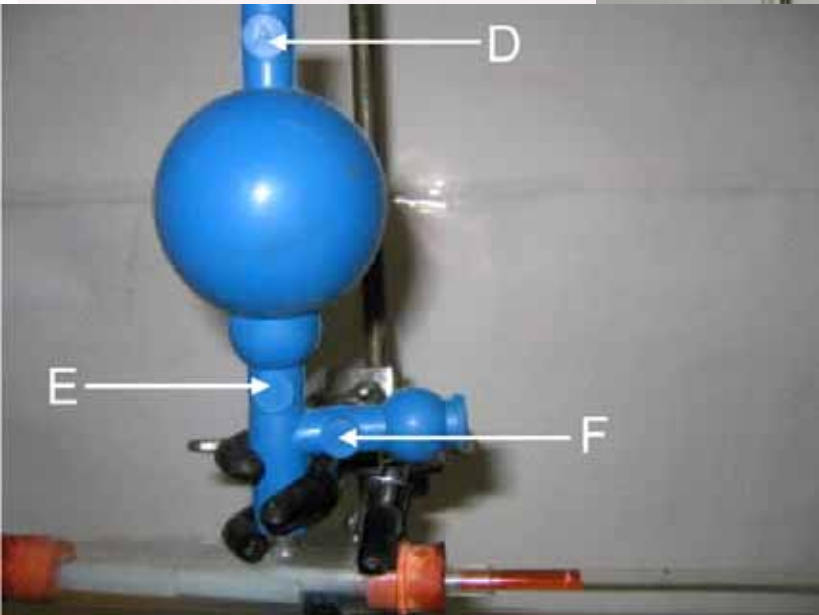
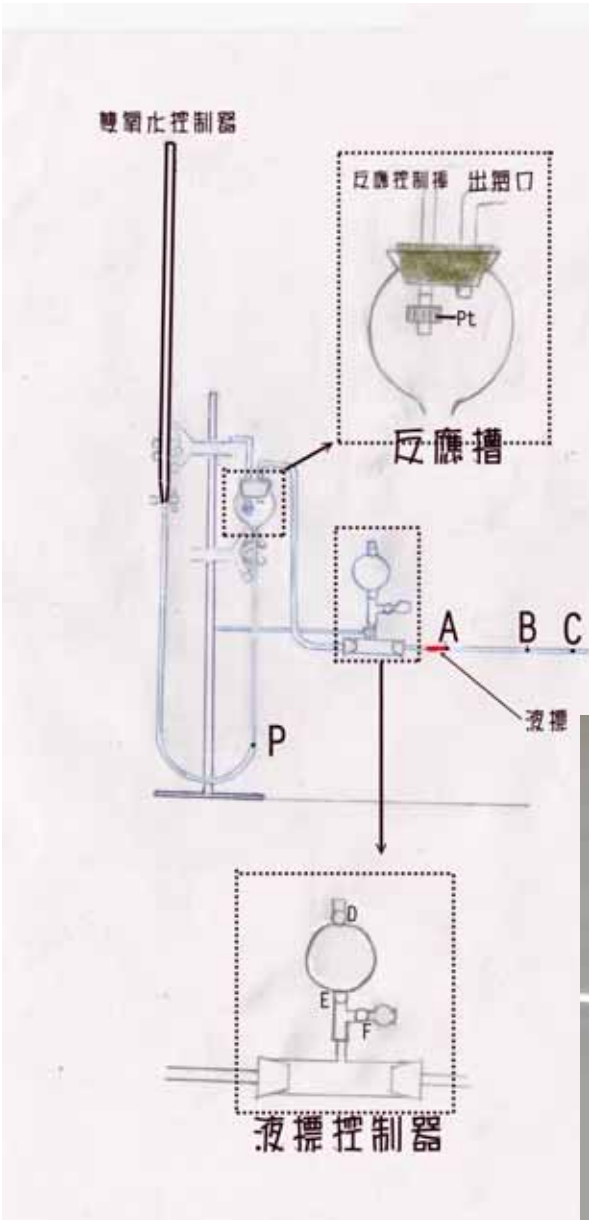
伍、

研究過程及方法

一、設計儀器裝置

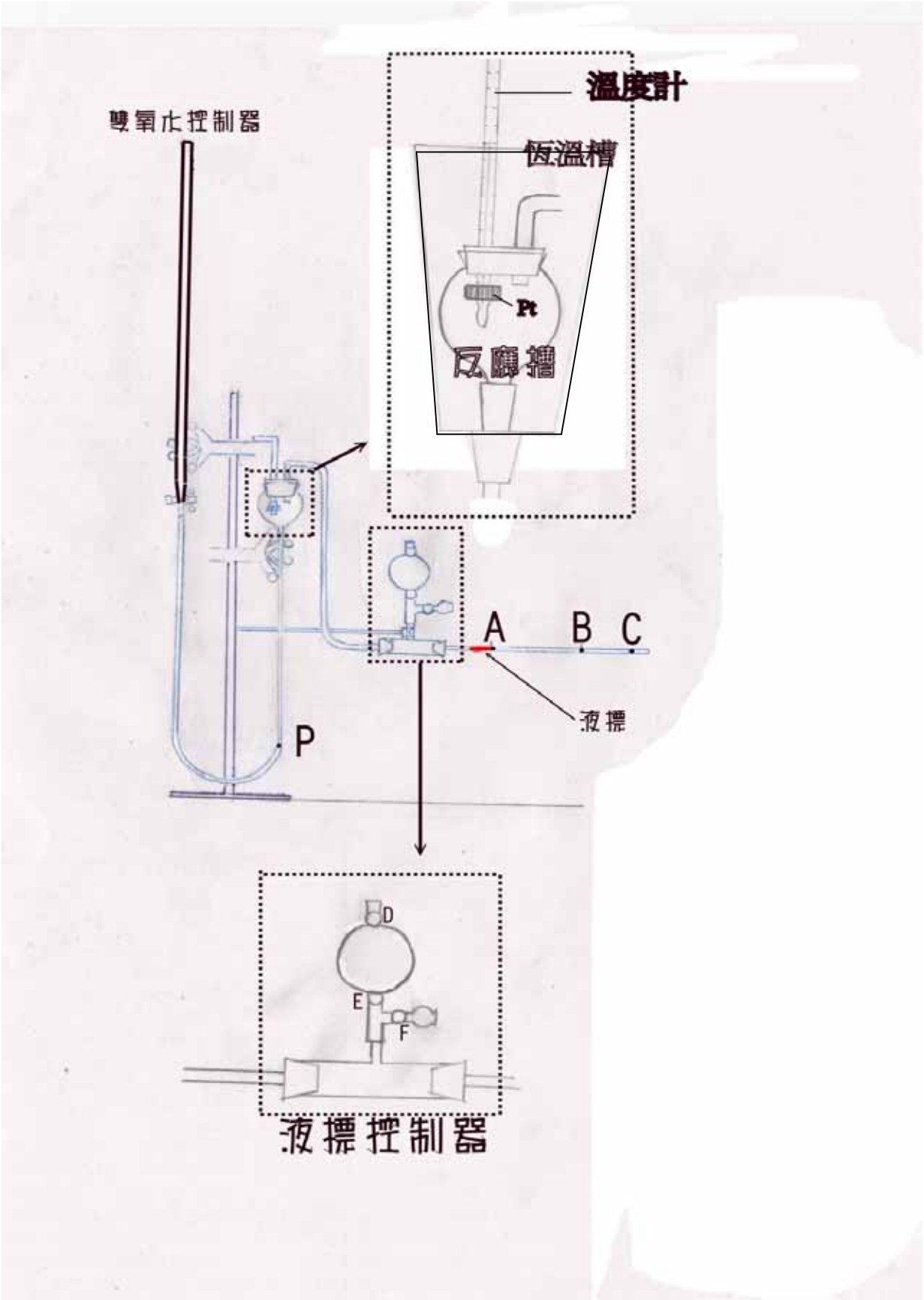
本研究主要是設計一個裝置，能於定溫、定壓下，計量產生一定體積氧氣時所需時間，作為計算反應速率的依據。這個裝置主要由（一）滴定管控制反應物雙氧水的量（二）薊頭漏斗為反應槽（三）產物觀測液標（四）液標控制器等四個部份所構成，其中反應槽為本儀器的核心，由一個薊頭漏斗裝上雙孔軟木塞，軟木塞上其中一孔插入反應控制棒即裝有視康白金環的溫度計組成，另一孔插入 L 型玻璃出氣管，薊頭漏斗管口以橡皮管連接滴定管，而液標控制器一端接上 L 型出氣管口，另一端接上產物觀測液標的透明細管，液標細管用立可白標上 A、B、C 點標線，儀器裝置如圖一。當測定不同溫之反應時，首先將雙氧水加熱，放入反應槽後，以溫度計測量雙氧水溫度，為反應之實際溫度，反應槽置於塑膠杯內，同時放置小保麗龍球於塑膠杯與反應槽間，以隔絕空氣對流，達到恆溫效果，恆溫裝置如圖二、圖三。

儀器裝置



圖一

恆溫裝置



圖二

恆溫裝置

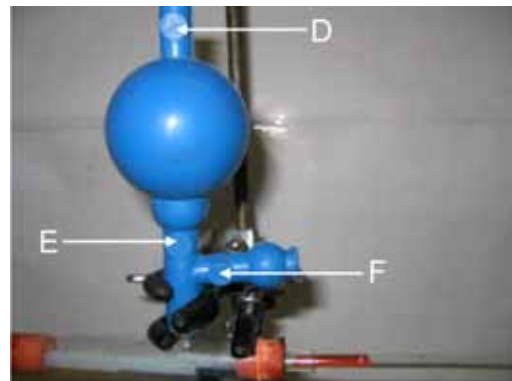


圖三

二、實驗暨儀器操作步驟

將配好濃度之 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 70ml加入滴定管，打開滴定管活栓使 H_2O_2 經橡皮管流入薊頭漏斗，關閉滴定管活栓，每次皆利用滴定管加入 70ml的 H_2O_2 ，利用氧氣產生的體積(使用液標測量)，和反應時間求氧氣生成速率(相當於雙氧水分解速率)，接著以液標控制器吸取紅墨水到細管至C點，再用吸球調到A點。為固定液標於A點，打開吸球的通氣口，同時按著液標細管末端口，將反應控制棒的上白金壓入液面下，接著關閉吸球的通氣口，同時放開液標細管末端口，反應開始並且計時。待到紅墨水移由A至B點，即停止計時，之後計算反應速率。最後，排出用畢的 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 。進行此步驟時，須先打開吸球通氣口，然後按住細管口，以避免紅墨水被吸入反應槽內，之後再拔除橡皮管和反應槽的接點P。排出清洗後即可再繼續進行不同濃度雙氧水反應。每次使用白金前，先將白金浸入要測定反應之 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 濃度中 30分鐘。

液標控制器使用方法：先壓住 D 排出空氣，放開 D 將細管口放入紅墨水中再按下 E 吸取墨水(吸到 C 點)，放開 E 將細管離開液面後，按 E 將紅墨水吸到 A 點，如圖四。



圖四

三、標定 $\text{KMnO}_4(\text{aq})$

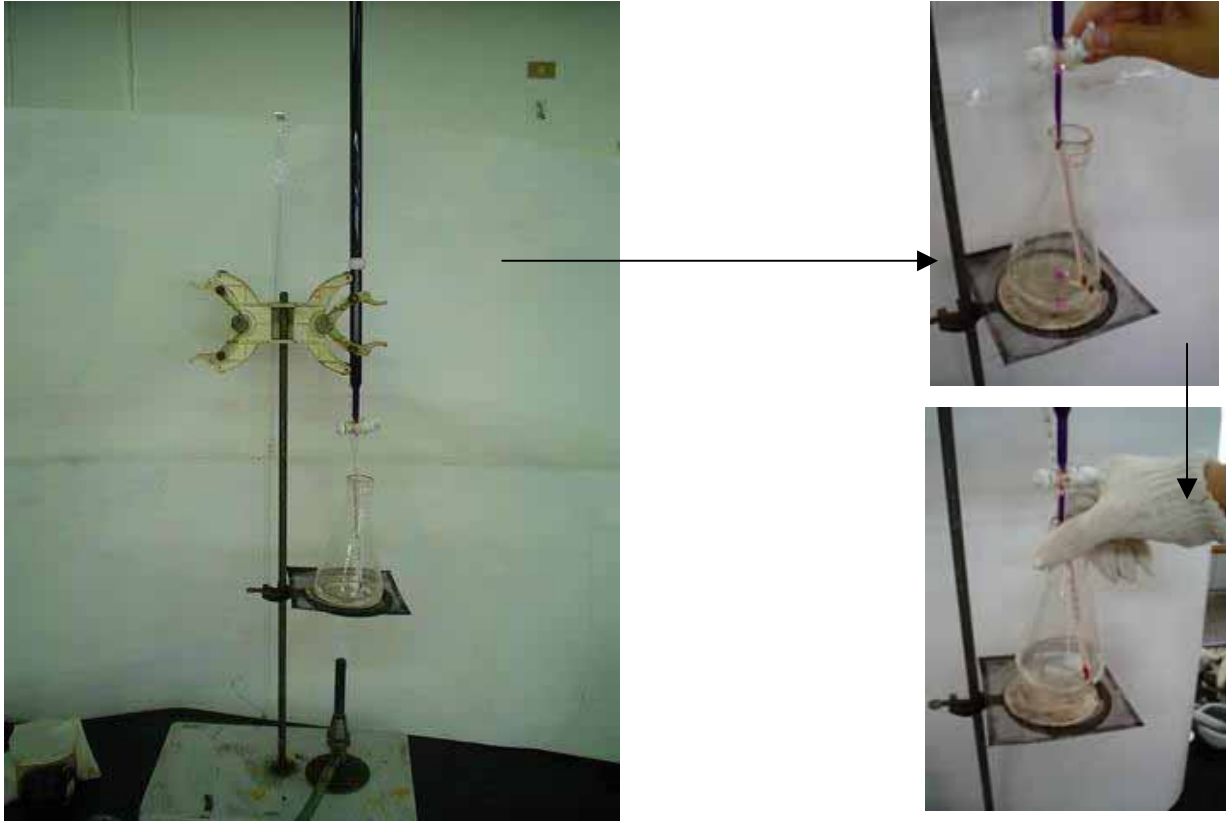
精確量取 1.675g 的 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ，加水至 250ml，此 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 為 0.05M，取此溶液 25ml 至錐形瓶中，加 2M H_2SO_4 10ml，隔水加熱至 60°C 左右，以 KMnO_4 滴定 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 至紫色不再消退為止，可得 KMnO_4 的濃度為 0.0526M，如圖五。



圖五

四、標定 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$

取上述已標定過的 $\text{KMnO}_4(\text{aq})$ 標定雙氧水，如圖六。再將標定後雙氧水調配成濃度 1.124M、0.983M、0.843M、0.562M、0.218M等實驗用雙氧水。

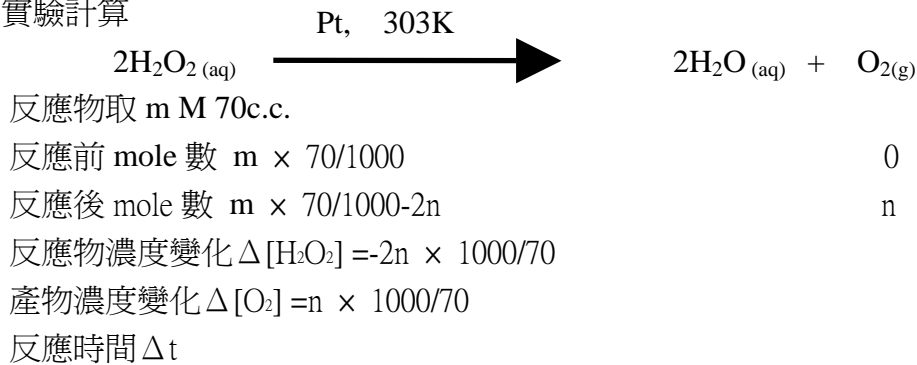


圖六

陸、

研究結果

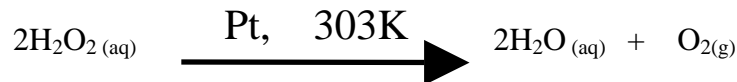
一、實驗計算



產物液標由 A 至 B 點的體積固定為 1.49mL，所以溫度 303K 時產物氧氣莫耳數

$$n_{\text{O}_2} = 1 \times 0.00149 / 0.0825 \times 303 = 5.961 \times 10^{-5}$$

(一)、計算溫度 303K 下之速率常數



根據反應速率定律

$$\text{Rate} = -1/2 \times \Delta[\text{H}_2\text{O}_2] / \Delta t = \Delta[\text{O}_2] / \Delta t = k[\text{H}_2\text{O}_2]^m$$

Rate 對 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ 作圖，若可得一線性圖形，表示 $\text{Rate} \propto [\text{H}_2\text{O}_2]$ ，則本反應對雙氧水為一級反應。若 Rate 對 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ 作圖為拋物線之曲線時，表示對雙氧水非一級反應。

故當 $m=1$ 時，Rate 對 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ 作圖可得一線性圖形，表示 $\text{Rate} \propto [\text{H}_2\text{O}_2]$

則 $\text{Rate} = k[\text{H}_2\text{O}_2]$ ，推得 $k = \text{Rate} / [\text{H}_2\text{O}_2]$ ，又於 303K 下分別測定 5 個不同濃度 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ 下之 k 值，分別為 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 、 k_5

$$\text{以標準偏差表示速率常數 } k, k = \bar{k} \pm \sqrt{\frac{\sum(d_i)^2}{5-1}}$$

(二)、計算活化能

根據阿瑞尼士方程式 ($k = A \times e^{-E_a/R \times T}$) 則 $\ln(k) = \ln(A) - E_a/R \cdot T$

$\ln(k)$ 對 $1/T$ 作圖可以求得斜率值為 $-E_a/R$ ，進一步計算求得活化能。

本研究以相同濃度雙氧水，於不同溫度 (T) 下計算反應速率常數 k 值，首先計量產生固定氧氣 1.49ml 之時間 Δt ，又 1.49ml 氧氣之莫耳數代入不同溫度時為

$$n_{\text{O}_2} = 1 \times 0.00149 / 0.0825 \cdot T$$

接著分別計算不同溫下之速率常數 k ， $k = -1/2 \times \Delta[\text{H}_2\text{O}_2] / \Delta t \cdot [\text{H}_2\text{O}_2]$

取 $\ln(k)$ 對 $1/T$ 作圖 求出 斜率則

$$E_a = -R \times \text{斜率}$$

二、實驗結果

(一) 求出反應級數及速率常數

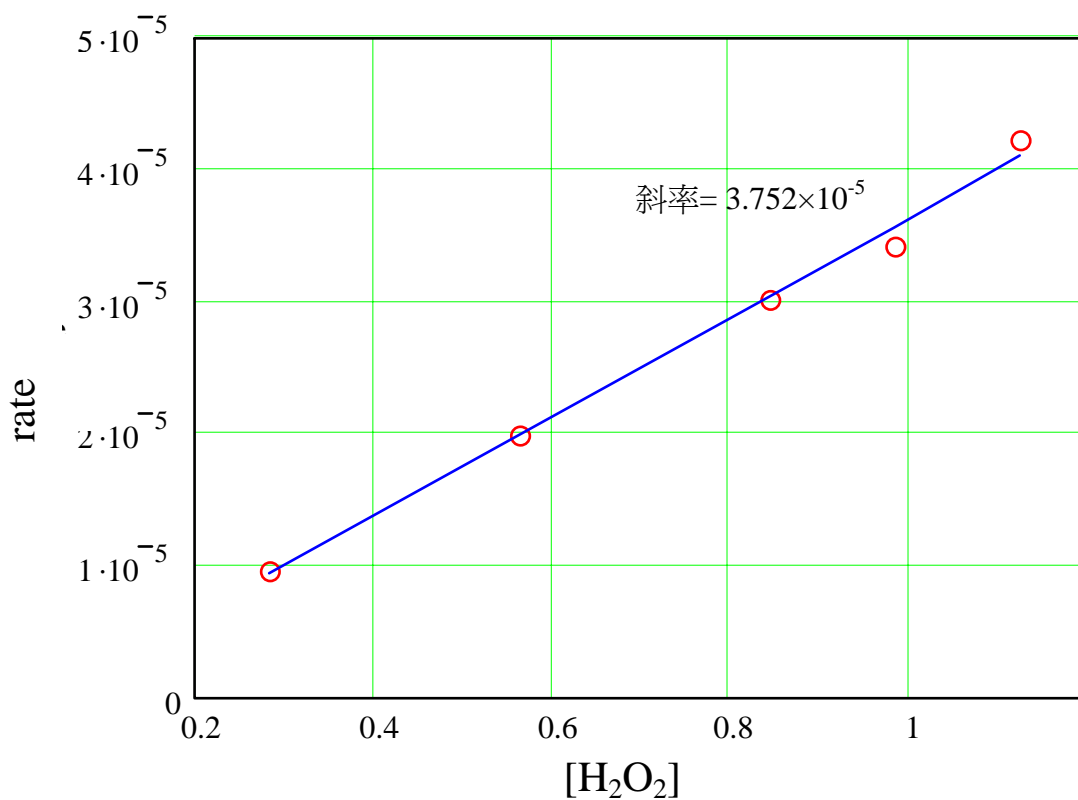
反應條件：定溫 303K，定壓 1atm 下，用白金催化分解不同濃度之雙氧水反應，當產生定量 1.49ml (5.961×10^{-5} mol) 氧氣時，計量反應時間 Δt ，結果如下表：

濃度(M)	每收集定量氣體所需時間 Δt 單位：sec			
	第 1 次測試	第 2 次測試	第 3 次測試	平均值
1.124	20.72	19.78	19.84	20.11
0.983	25.06	25.02	24.63	24.90
0.843	28.59	28.38	27.67	28.21
0.562	43.38	42.97	42.09	42.81
0.281	89.72	88.53	86.71	88.32

$[\text{H}_2\text{O}_2]=c$ 與反應速率關係，如下表

C	rate
1.124	4.234×10^{-5}
0.983	3.287×10^{-5}
0.843	2.229×10^{-5}
0.562	1.744×10^{-5}
0.281	6.961×10^{-6}

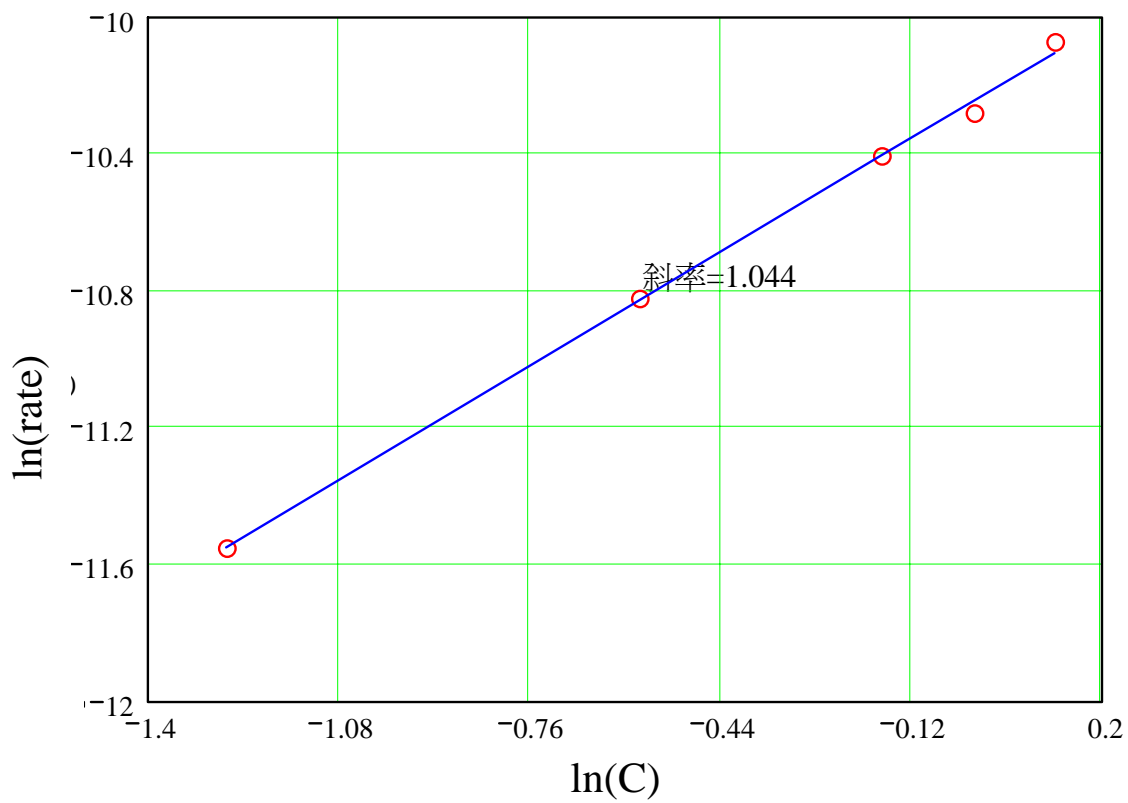
Rate 對 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ 作圖如下：



由此可知速率和濃度成正比，因此可以判斷此反應為一級反應。

爲了更進一步探討反應級數，根據反應速率的定義 $\text{Rate}=k[\text{H}_2\text{O}_2]^m$ ，以取自然對數求斜率的方式消去定溫時不變的速率常數 k (取 \ln 時 $\ln(\text{rate})=\ln(k)+m \times \ln([\text{H}_2\text{O}_2])$)，所以若以 $\ln([\text{H}_2\text{O}_2])$ 爲X座標、 $\ln(\text{rate})$ 爲Y座標，其圖形斜率爲級數 m 。

我們將反應速率的自然對數($\ln R$)對雙氧水的濃度之自然對數($\ln C$)作圖(如下)發現圖形呈現線性關係，且其斜率爲 1.044



觀察圖形為一線性圖形，表示Rate \propto $[\text{H}_2\text{O}_2]$
則 $\text{Rate} = k[\text{H}_2\text{O}_2]$ ，得到白金分解雙氧水為一級反應。

計算反應速率常數，本反應所控制的O₂生成體積為 1.49ml利用理想氣體方程式 $p \cdot v = n \cdot R \cdot T$ ，算出O₂莫耳數為 5.961×10^{-5} mol(當時室溫 30°C)，所以H₂O₂分解的莫耳數為 1.192×10^{-4} mol，並藉由反應式 $2\text{H}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{Pt}} 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ 可知產生定量氣體(5.961×10^{-5} mol)，而求取速率時必須除以平衡係數，藉由莫耳數的變化可求出反應速率(Δ 濃度/時間)，所以H₂O₂反應速率為 $[(1.192 \times 10^{-4}/0.07)/2]/t$ ，其中 1.192×10^{-4} 為變化莫耳數、0.07 為溶液體積、2 為平衡係數、t為時間，化簡整理後，公式為： $\text{Rate} = 8.514 \times 10^{-4}/t$ ，將各個濃度C測量的時間代入，可以得到下頁的表格，結果如下：

C	ln(C)	rate	ln(rate)	k	ln(k)
1.124	0.117	4.234×10^{-5}	-10.064	3.767×10^{-5}	-10.187
0.983	-0.017	3.287×10^{-5}	-10.317	3.478×10^{-5}	-10.266
0.843	-0.171	2.229×10^{-5}	-10.706	3.581×10^{-5}	-10.237
0.562	-0.576	1.744×10^{-5}	-10.951	3.539×10^{-5}	-10.249
0.281	-1.269	6.961×10^{-6}	-11.869	3.431×10^{-5}	-10.280

反應速率常數以標準偏差計算其精密度得反應速率常數

$$k = 3.559 \times 10^{-5} \pm 0.129 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$$

(二) 求反應活化能

反應條件：固定反應物[H₂O₂]=1.124M，定壓 1atm下產生定量 1.49ml氧氣，分別於溫度 283K、303K、323K、343K下，計量反應時間 Δt 然後計算反應速率常數，結果如下：

反應條件：固定反應物[H₂O₂]=1.124M，定壓 1atm下產生定量 1.49ml氧氣，分別於溫度 283K、303K、323K、343K下，計量反應時間 Δt 然後計算反應速率常數，結果如下：

溫度 (K)	每收集定量氣體所需時間 Δt 單位：sec				
	O ₂ 莫耳數	第 1 次測試	第 2 次測試	第 3 次測試	平均值
283	6.382×10^{-5}	130.34	123.12	139.12	130.86
303	5.961×10^{-5}	20.72	19.78	19.84	20.11
323	5.592×10^{-5}	12.53	12.44	11.83	12.26
343	5.265×10^{-5}	4.57	4.60	4.59	4.58
備註：使用 1.124M H ₂ O ₂					

結論：若雙氧水在溫度越高的環境下，催化反應的速率越快。

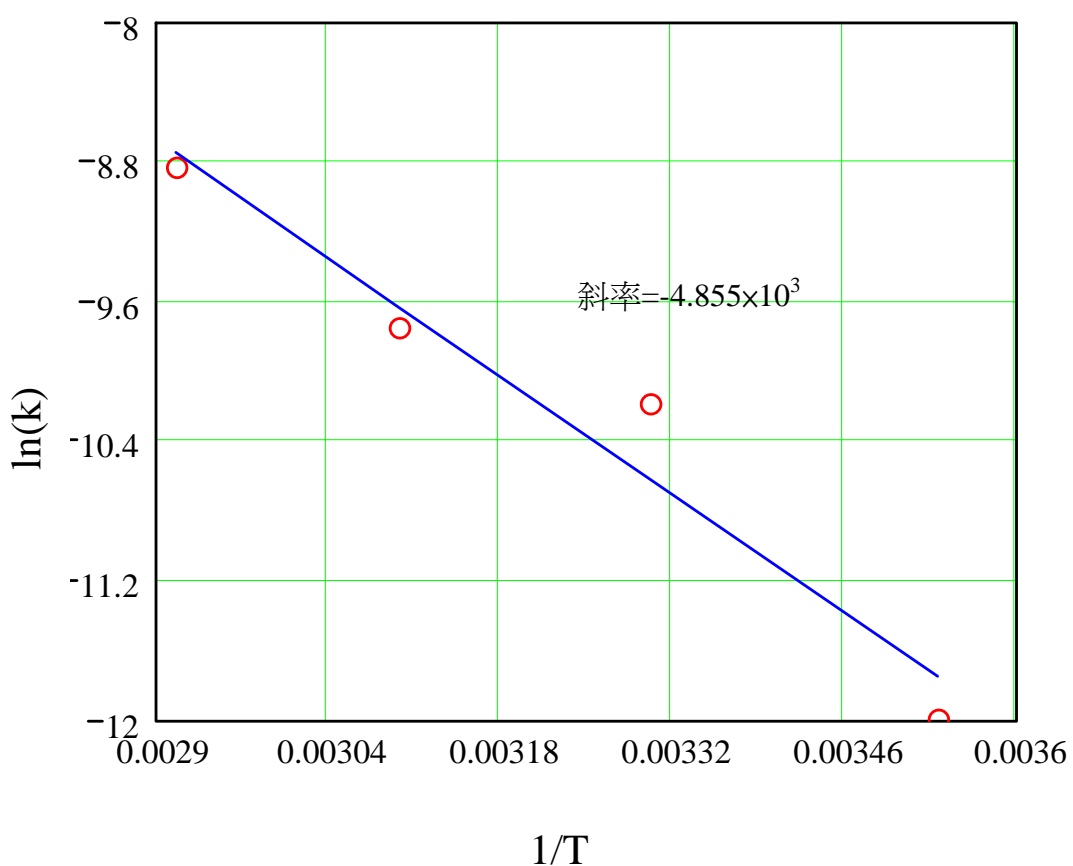
計算不同溫度下，H₂O₂分解的速率(R)及速率常數(k)關係，整理如下表。

T	1/T	Rate	k	ln(k)
283	3.534×10 ⁻³	6.967×10 ⁻⁶	6.198×10 ⁻⁶	-11.991
303	3.300×10 ⁻³	4.234×10 ⁻⁵	3.767×10 ⁻⁵	-10.187
323	3.096×10 ⁻³	6.515×10 ⁻⁵	5.796×10 ⁻⁵	-9.756
343	2.915×10 ⁻³	1.642×10 ⁻⁴	1.461×10 ⁻⁴	-8.831

接著分別計算不同溫下之 $k = -1/2 \times \Delta [H_2O_2] / \Delta t \cdot [H_2O_2]$

取 lnk 對 1/T 作圖 斜率=-Ea/R

作圖如下：



因為速率常數取自然對數對溫度倒數圖的斜率為 -4.855×10^3 ，而斜率= $-Ea/R$ 所以 $Ea = -\text{斜率} \times R = -4.855 \times 10^3 \times 8.314 = 4.036 \times 10^4 \text{ (J/mol)}$
 $= 40.36 \text{ (KJ/mol)}$

反應活化能： $Ea = 40.36 \text{ (KJ/mol)}$

柒、

討論

- 一、我們設計的裝置可以快速得到白金催化雙氧水分解的化學動力學數據，實驗結果為在溫度 303K 下，反應速率常數為 $k=3.559 \times 10^{-5} \pm 0.129 \times 10^{-5} \text{sec}^{-1}$ ，反應活化能為 40.36 (KJ/mol)。
- 二、本研究所得反應速率常數值，較之 Tiffany A. Vetter 報告上未列溫度之速率常數值 $6 \times 10^{-4} \pm 2 \times 10^{-4} \text{sec}^{-1}$ 有較高的精密度。而活化能 40.36 (KJ/mol) 與其報告值 42KJ/mole 相近。
- 三、歸納儀器本身有以下的一些優點：(一) 滴定管可以精確量取反應物的體積。(二) 液標控制器可以防止操作不當的時候，紅墨水逆流到反應槽。(三) 產物觀測液標可以精確測量反應生成氣體的體積。(四) 液標可以重複使用。(五) 不必把整套儀器拆裝即可排出反應過後的雙氧水。
- 四、本研究裝置，經過我們多次實驗，因為調配雙氧水濃度時產生誤差或其他可能誤差而有稍微不同的數據，但於分組實驗時，所得數據仍有良好的精密度，且其反應速率定律均能符合為雙氧水之一級反應，因此尚不影響計算反應速率之動力學結果，加上這個儀器不但經濟實惠，更兼具安全、環保及容易操作的好處，實在是一個值得推廣的實驗。
- 五、我們將利用這個裝置繼續探討酵母細胞對雙氧水的分解反應，間接瞭解酵母細胞中過氧化氫酵素的活性，以及經由測定反應速率與雙氧水濃度關係，可得到酵母細胞催化雙氧水分解反應之活化能，其結果尚待研究。

捌、

結論

本研究使用視康 (CIBA) 公司隱形眼鏡的洗淨液組合系統，每套市價 260 元，是一種廉價的材料。使用白金去除雙氧水毒性是化學反應直接應用在生活上的好例子，將它拿到實驗室中做為研究的材料，除了直接感受到生活與化學結合的樂趣外，本研究也可提供了一個有效的反應裝置，對學習化學動力學頗有助益。

一些原本不易進行的反應，經由催化劑的作用而得以順利進行，可知催化劑在化學反應上的重要性。本次研究指導老師正扮演催化劑的角色，讓四個原本不動如山的小子，在老師一句：「你們自己想一想，設計一個方法來測定白金催化雙氧水分解的反應速率」的催化下，於是我們開始動了起來，最後才有本次研究的結果。初學者總是跌跌撞撞，不過最重要的是能在學習過程中學到很多寶貴的經驗，老師指導我們自己動手完成一件事情，似乎也証明了催化劑的重要性

玖、

參考資料

- 一、高級中學物質科學化學篇(下)，龍騰文化事業公司主編，民國 93 年 3 月出版
- 二、Tiffany A. Vetter ; D. Philip Colombo Jr. *J. Chem. Educ.* **2003**, 80, 788-789
- 三、Bedengaugh, J. H.; Bedenbaugh, A. O.; Heard, T. S *J. Chem. Educ.* **1988**, 65, 455-456

四、Burness, *J. Chem. Educ.* **1996**, 73, 851.

評語

040222 高中組化學科

不鳴則矣 一觸驚人-設計實用的反應裝置有效探討白金催化
雙氧水分解反應之化學動力學

實驗過程尚有改進空間。