

化學科

科別：化學科

組別：高中組

作品名稱：袋裏乾坤－亞弗加厥定律的應用

關鍵詞：雙氧水、克當量、分子量

編號：040214

學校名稱：

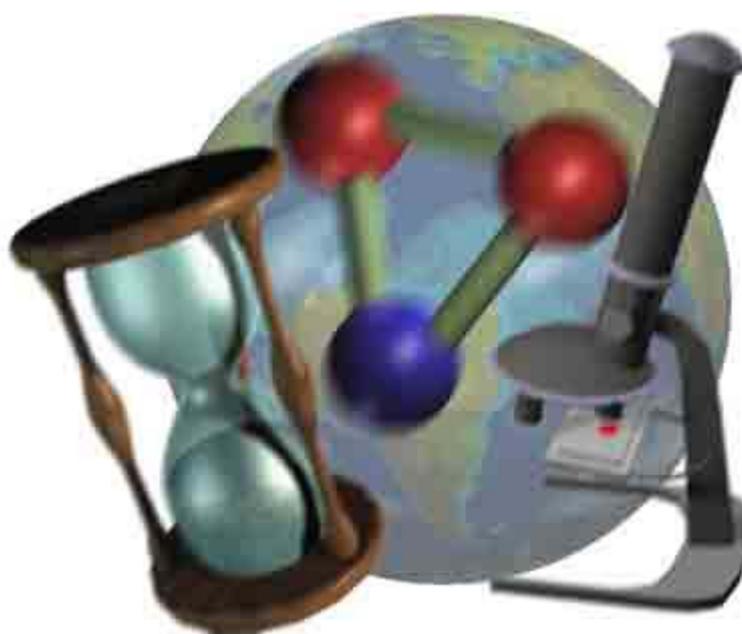
國立嘉義高級中學

作者姓名：

劉盈初、葉宏瑀、林庭宇

指導老師：

吳聰建



## 摘要

- 一、本實驗最大特點在於使同一個實驗模式，從事三個不同的研究，分別是雙氧水分解反應的研究；金屬克當量的測定；及分子量的測定。
- 二、在本研究使用三種不同催化劑,以 PbO 存在下的活化能最低,Fe<sup>3+</sup>存在下的活化能最高,實驗結果顯示雙氧水的分解,以非勻相催化劑的效果較佳。
- 三、經本研究發現,雙氧水把 Fe<sup>2+</sup>氧化成 Fe<sup>3+</sup>,再由 Fe<sup>3+</sup>催化未反應的雙氧水。此結果與教科書上所言不同,我們感到這是個有趣的發現。
- 四、本研究所改進的金屬克當量實驗，操作上更方便容易且能快速的得到實驗數據，而實驗誤差也都在 2%以下，故不失為一個準確的實驗方法。
- 五、本研究所應用的分子量測定實驗，不需精稱反應物的用量，方法非常方便。

## 壹、研究動機

在高二化學實驗中有一氣體分子量測定的實驗，其延伸實驗是一個利用亞佛加厥定律來測定分子量的實驗方法。此實驗令我們對於該實驗方法可探討的相關研究感到興趣。因此我們使用同一個實驗方法來探討催化劑和雙氧水分解反應的關係；氣體分子量測定;金屬克當量的測定等。

## 貳、研究目的

- 一、探討二氧化錳用量和反應速率的關係。
- 二、探討在酸性及鹼性下二氧化錳的催化效果。
- 三、探討在不同濃度的酸性及鹼性下二氧化錳的催化效果。
- 四、測定雙氧水分解在不同催化劑下的活化能以比較不同催化劑的催化效果。
- 五、實驗求證 Fe<sup>2+</sup>並非教科書上所說是 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 分解的催化劑。
- 六、利用新的實驗方法測定金屬克當量以取代已往操作麻煩的電解法。
- 七、氣體分子量的測定及討論。

## 參、研究設備與器材

### 實驗(一、二、三)

實驗器材：

電子天秤 塑膠袋 橡皮筋 小試管(10ml) 橡皮塞

實驗藥品：

雙氧水(35%)  $\text{MnO}_2$   $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})(18\text{M})$   $\text{NaOH}$

### 實驗(四)

實驗器材：

電子天秤 塑膠袋 橡皮筋 小試管(10ml) 橡皮塞

實驗藥品：

雙氧水(35%)  $\text{PbO}$   $\text{MnO}_2$   $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4$

### 實驗(五)

實驗器材：

滴定管 錐形瓶 500ml、250ml、100ml 燒杯 25 ml、50ml 量筒  
500ml、250ml 量瓶

實驗藥品：

$\text{H}_2\text{O}_2(35\%)$   $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$   $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4$   
 $\text{KMnO}_4$   $\text{H}_2\text{SO}_4(18\text{M})$

### 實驗(六)

實驗器材：

電子天秤 塑膠袋 橡皮筋 小試管(10ml) 橡皮塞

實驗藥品：

鐵粉 鋁粉 鋅粒 鎂帶  $\text{HCl}(12\text{M})$

### 實驗(七)

實驗器材：

電子天秤 塑膠袋 橡皮筋 小試管(10ml) 橡皮塞

實驗藥品：

$\text{H}_2\text{O}_2(35\%)$   $\text{MnO}_2$   $\text{NaHCO}_3$   $\text{HCl}(12\text{M})$   $\text{CaC}_2$   $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$   
 $\text{H}_2\text{SO}_4(18\text{M})$   $\text{NaNO}_2$

## 肆、研究原理

- 一、雙氧水分解的反應速率可由單位時間氧氣產生量表示,以前之相關研究都以排水集氣法來測量氧氣的產生量,在實驗操作上較為麻煩。

本研究利用雙氧水在密閉的塑膠袋中分解。由於氧氣產生時排開等體積空氣,而使裝置的視重減輕,所以可將裝置放在電子天秤上進行分解反應,便可輕易的觀察出單位時間的視重減少量,由於氧氣的產生速率與單位時間的視重減少量成正比,故可利用上述方法簡易測量出雙氧水分解速率,便可免除排水集氣的麻煩,下列照片(一)為雙氧水分解前,照片(二)為雙氧水分解後之情形。



照片(一)



照片(二)

- 二、文獻上查出雙氧水分解反應在沒有催化劑存在下的活化能為 75KJ/mole,在過去的研究上並沒有測量在不同催化劑存在下的活化能.本研究利用在相同濃度、相同催化劑用量在不同溫度下的反應速率正比於速率常數之原理，而求得雙氧水在不同催化劑下分解反應的活化能,其推導如下:

$$k = A \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}}$$

不同溫度下：

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{k_1}{k_2} = \frac{e^{\frac{-E_a}{RT_1}}}{e^{\frac{-E_a}{RT_2}}} \Rightarrow \ln \frac{r_1}{r_2} = \frac{-E_a}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

因此可利用不同溫度( $T_1$ ,  $T_2$ )下的反應速率( $r_1$ ,  $r_2$ )比，求得反應的活化能( $E_a$ )。

- 三、當金屬與酸在塑膠袋內反應產生氫氣時，將排開等體積的空氣而使塑膠袋膨脹，因而裝置視重減輕，其視重減輕量即所排開的空氣重。由於若 1 克當量數金屬完全反應將產生 1 公克即 1/2 莫耳氫氣，即排開 1/2 莫耳空氣而使其重減少 14.4 克(空氣分子量以 28.8 計)，因此存在下列關係式：

$$\frac{W}{E} = \frac{W_1}{14.4}$$

只要取  $W$  克金屬在袋內完全作用後，在測量其視重減少量  $W_1$ ，即可求得金屬克當量  $E$ 。

- 四、當反應物在塑膠袋內作用生成氣體時，仍然將使塑膠袋視重減輕，之後把塑膠袋內的氣體擠出，裝置因此減輕，其減輕的重量即為所擠出氣體的重量。若塑膠袋膨脹的視重減少量為  $W_1$ ，而氣體擠出後裝置減輕量為  $W_2$ ，依亞佛加厥定律：

$$\frac{W_1}{28.8} = \frac{W_2}{M}$$

此氣體分子量

$$M = \frac{28.8W_2}{W_1}。$$

下列照片(三)為塑膠袋膨脹的視重減少量  $W_1$ ,照片(四)為氣體擠出後裝置減輕量  $W_2$



照片(三)



照片(四)

## 伍、研究方法

### 實驗一：二氧化錳用量和反應速率的探討

#### 實驗步驟

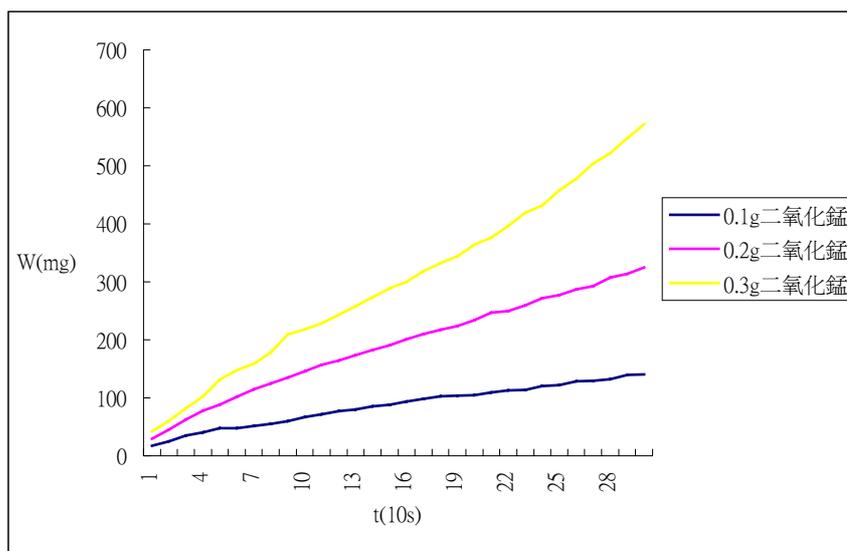
1. 取 2M 雙氧水 25ml 置入塑膠袋中
2. 秤取二氧化錳 0.1g 置入小試管中並用塞子塞緊,再置入塑膠袋中
3. 將塑膠袋中的空氣擠出,再用橡皮筋將袋口封緊
4. 把裝置好的塑膠袋放在電子天秤上,並歸零
5. 將試管塞拔開,每隔十秒鐘記錄減輕的重量,共記錄五分鐘
6. 用 0.2g 及 0.3g 的二氧化錳,重複上述實驗步驟
7. 整個實驗再重覆操作二次

## 實驗數據

註: 記錄數據 = 觀察數據 × 1000

< 表一 催化劑用量與反應速率(視重減少量:mg)的關係 >

W(mg) t(s)	0.1g MnO <sub>2</sub>				0.2g MnO <sub>2</sub>				0.3g MnO <sub>2</sub>			
	一	二	三	平均	一	二	三	平均	一	二	三	平均
10	18	17	18	17.6	29	29	29	29	41	43	42	42
20	26	24	25	25	44	45	46	45	58	62	60	60
30	35	35	34	34.6	60	63	64	62.3	83	82	83	82.5
40	40	40	40	40.3	77	79	78	78	102	104	104	103.3
50	51	45	47	47.6	85	90	91	88.6	132	131	131	131.3
60	49	46	48	47.6	98	103	105	102	144	153	148	148.3
70	54	45	55	51.3	115	113	117	115	158	161	159	159.3
80	56	54	56	55.3	121	126	128	125	175	180	178	177.6
90	64	59	57	60	135	136	136	135.6	194	223	209	208.6
100	72	61	68	67	144	148	148	146.6	209	228	218	218.3
110	74	69	74	72.3	155	150	157	157	222	233	228	227.6
120	81	73	77	77	162	166	164	164	241	246	243	243.3
130	80	79	82	80.3	171	176	173	173.3	260	255	258	258.6
140	83	89	85	85.6	180	186	184	183.3	272	275	274	273.6
150	89	88	88	88.3	186	197	190	191	285	294	288	289
160	94	93	95	94	196	207	202	201.6	300	300	300	300
170	98	98	98	98	203	202	212	210.6	322	315	318	318.3
180	102	101	104	103.3	213	222	218	217.6	332	330	334	332
190	106	101	105	104	221	229	224	224.6	343	346	343	344
200	109	99	108	105.3	227	248	232	234	366	363	365	364.6
210	115	103	109	109	237	258	248	247.6	374	379	376	376.3
220	114	110	115	113	246	253	251	250	390	412	396	396
230	118	108	117	114.3	256	264	260	260	414	425	420	419.6
240	125	117	118	120	267	279	272	272.6	419	441	433	431
250	128	117	122	122.3	273	282	277	277.3	443	471	460	458
260	130	127	128	128.6	283	291	288	287.3	464	493	479	478.6
270	132	127	130	129.6	292	295	293	293.3	492	515	505	504
280	135	131	132	132.6	299	313	309	307	509	536	522	522.3
290	140	139	139	139.3	309	320	315	317.6	538	559	549	548.6
300	143	137	140	140	320	331	324	325	569	574	572	572.3



< 圖一 催化劑用量與反應速率(視重減少量:mg)的關係 >

### 實驗一討論：

在不勻相的催化反應中,催化效果和催化劑的表面積有絕對的關係,本實驗是以催化劑的重量比和表面積成正比的假設下探討。理論上,0.1g 的二氧化錳和 0.2g,0.3g 的二氧化錳表面積比為 1:2:3,而反應速率比也應為 1:2:3,可是從實驗結果可以發現,反應速率比卻比理論值小,可見重量比和表面積不為正比,可能為二氧化錳的顆粒彼此相附;或氧氣吸附於二氧化錳表面,導致表面積略為減小。

## 實驗二：二氧化錳在酸性及鹼性下的催化效果

### 實驗步驟

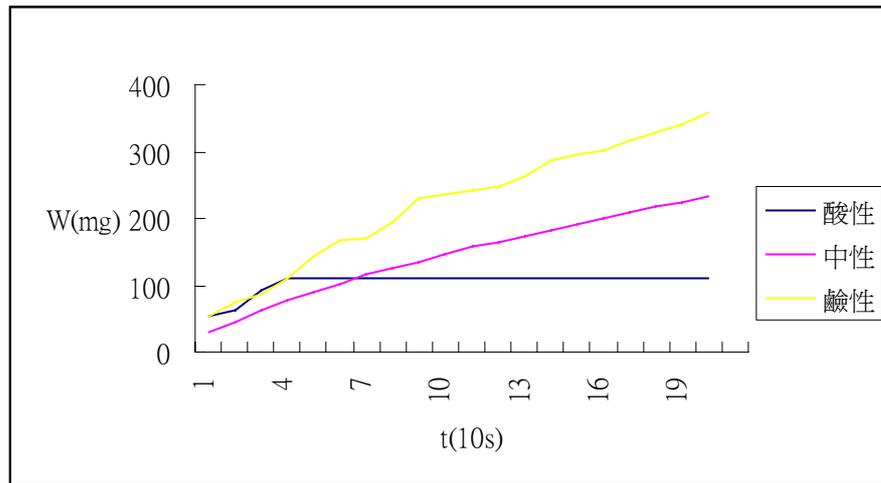
1. 在三個量筒(A.B.C.)分別加入雙氧水(10M)5ml,再於各個量筒內分別加入 3M  $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ , 0.5M  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  1ml,剩下的一個量筒內保持原狀,接著各別加蒸餾水至 25ml 再置入塑膠袋中。
2. 秤取二氧化錳 0.2g 置入小試管中並用塞子塞緊,再倒入塑膠袋中
3. 將塑膠袋中的空氣擠出,再用橡皮筋將袋口封緊
4. 把裝置好的塑膠袋放在電子天秤上,並歸零
5. 將試管塞拔開,每隔十秒鐘記錄減輕的重量,共記錄一分鐘
6. 整個實驗再重覆操作二次

## 實驗數據

註：記錄數據 = 觀察數據 × 1000

< 表一 酸、鹼存在下對反應速率(視重減少量:mg)的關係 >

W(mg) t(s)	酸性(A)				中性(B)				鹼性(C)			
	一	二	三	平均	一	二	三	平均	一	二	三	平均
10	53	53	54	53.3	29	29	29	29	52	55	55	54
20	63	63	66	64	44	45	46	45	75	77	74	75.3
30	95	94	90	93	60	63	64	62.3	88	88	90	88.6
40	112	105	110	109	77	79	78	78	109	111	112	111.3
50	112	105	110	109	85	90	91	88.6	142	143	146	143.6
60	112	105	110	109	98	103	105	102	166	166	170	166.3
70	112	105	110	109	115	113	117	115	167	170	173	170
80	112	105	110	109	121	126	128	125	191	192	195	193
90	112	105	110	109	135	136	136	135.6	224	232	234	230
100	112	105	110	109	144	148	148	146.6	232	239	240	237
110	112	105	110	109	155	150	157	157	237	245	247	243
120	112	105	110	109	162	166	164	164	246	248	253	249
130	112	105	110	109	171	176	173	173.3	259	266	267	264
140	112	105	110	109	180	186	184	183.3	286	287	291	288
150	112	105	110	109	186	197	190	191	289	297	299	295
160	112	105	110	109	196	207	202	201.6	297	302	304	301
170	112	105	110	109	203	202	212	210.6	315	316	320	317
180	112	105	110	109	213	222	218	217.6	322	329	330	327
190	112	105	110	109	221	229	224	224.6	334	341	345	340
200	112	105	110	109	227	248	232	234	354	358	359	357



< 圖一：酸、鹼存在下對反應速率(視重減少量:mg)的關係 >

### 實驗二討論：

根據實驗結果發現,在酸性下以及鹼性下,二氧化錳的催化效果都會大幅上升,由於二氧化錳會溶在強酸中,導致酸性下只有在一開始時反應速率比較快,二氧化錳被酸溶解後幾乎沒有催化效果(請見反應曲線)而在鹼中卻沒有這個問題,使得催化效果和中性下相比差距很大。由於酸、鹼存在下,都可催化雙氧水的分解,因此下一個實驗繼續探討不同濃度之酸鹼對雙氧水分解反應的影響。

### 實驗三：二氧化錳在不同濃度的酸性及鹼性下的催化效果

#### 實驗步驟

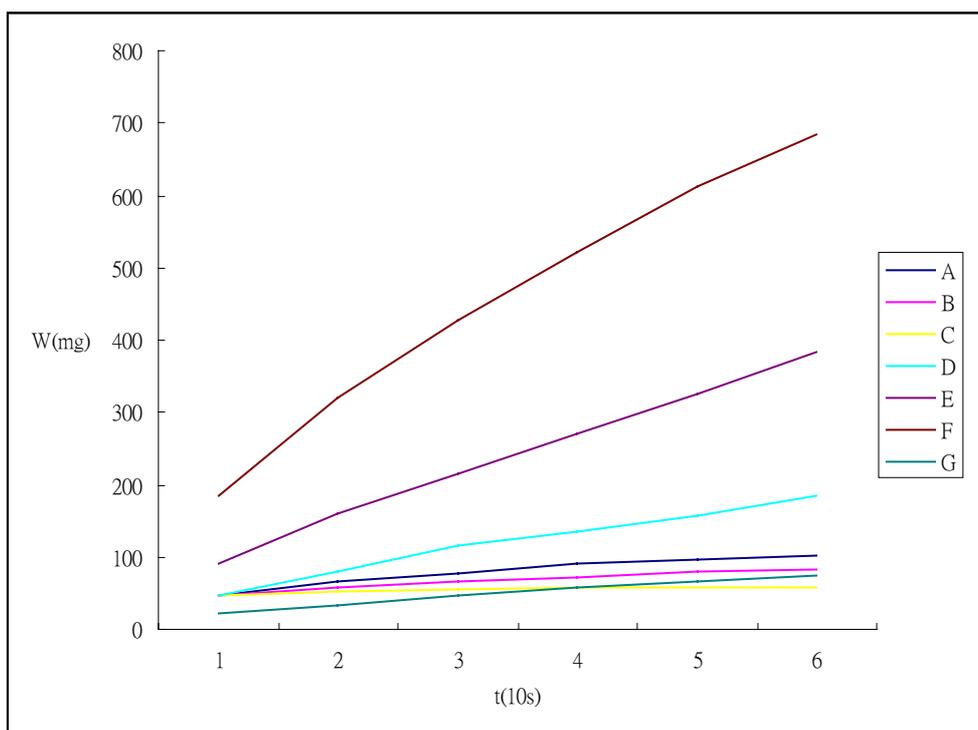
1. 在七個量筒(A.B.C.D.E.F.G)分別加入雙氧水(10M)5ml,再於各個量筒內分別加入 2M、1M、0.5M  $H_2SO_{4(aq)}$ , 2M、1M、0.5M  $NaOH_{(aq)}$  1ml,最後一個量筒內保持原狀,接著各別加蒸餾水至 25ml 再倒入塑膠袋中。
2. 秤取二氧化錳 0.15g 置入小試管中並用塞子塞緊,再置入塑膠袋中
3. 將塑膠袋中的空氣擠出,再用橡皮筋將袋口封緊
4. 把裝置好的塑膠袋放在電子天秤上,並歸零
5. 將試管塞拔開,每隔十秒鐘記錄減輕的重量,共記錄一分鐘
7. 整個實驗再重覆操作二次

## 實驗數據

註：記錄數據 = 觀察數據 × 1000

< 表一 不同酸、鹼濃度存在下對反應速率(視重減少量:mg)的關係 >

W(mg) 組別		t(s)					
		10	20	30	40	50	60
(A)加 0.5MH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1ml	一	48	65	78	90	96	103
	二	50	68	81	94	100	106
	三	48	67	77	88	94	99
	平均	48.7	66.7	78.7	90.7	96.7	103.7
(B)加 1MH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1ml	一	46	57	67	73	80	84
	二	48	59	70	75	83	86
	三	45	55	64	71	78	83
	平均	47.7	55	67	73	80.3	84.3
(C)加 2MH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1ml	一	47	51	54	57	57	59
	二	48	53	53	58	60	62
	三	50	55	55	57	57	58
	平均	48.3	53	54	57.7	58	59.7
(D)加 0.5MNaOH 1ml	一	44	75	111	133	1153	181
	二	49	80	117	135	158	186
	三	49	81	118	137	158	186
	平均	47.3	78.7	115.3	135	156.3	184.3
(E)加 1MNaOH 1ml	一	92	159	212	270	323	384
	二	92	159	215	270	325	384
	三	96	162	218	273	328	387
	平均	93.3	160	215	271	325.3	385
(F)加 2MNaOH 1ml	一	188	322	430	523	614	685
	二	187	320	427	523	615	686
	三	181	320	425	522	613	686
	平均	185.3	321.7	327.3	522.7	614	685.7
(G)未加酸、鹼	一	27	37	48	60	68	78
	二	24	35	48	59	68	75
	三	20	32	47	56	67	72
	平均	23.7	34.7	47.7	58.3	67.7	75



< 圖一：不同酸、鹼濃度存在下對反應速率(視重減少量:mg)的關係 >

### 實驗三討論：

由上列實驗結果顯示,在酸性條件下,雙氧水分解速率增加,但與氫離子的濃度無明顯關係,而在鹼性條件下,分解速率增加,而且與氫氧根濃度成正比.所以在從事雙氧水分解之實驗可加入鹼來減少催化劑的使用量

## 實驗四：雙氧水分解在不同催化劑下的活化能

### 實驗步驟

1. 在兩塑膠袋中分別加入 42°C 14°C 之  $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$ (2M)60 ml，秤取 PbO 0.1g 置入小試管中並用塞子塞緊,再置入塑膠袋中
2. 在兩塑膠袋中分別加入 38°C 17°C 之  $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$ (2M)50 ml，秤取 0.1g  $\text{MnO}_2$  置入小試管中並用塞子塞緊,再置入塑膠袋中
3. 在兩塑膠袋中分別加入 30°C 20°C 之  $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}$ (0.05 M)20 ml，取 10ml  $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$ (10M)置入小試管中並用塞子塞緊,再置入塑膠袋中
4. 將塑膠袋中的空氣擠出,再用橡皮筋將袋口封緊
5. 把裝置好的塑膠袋放在電子天秤上,並歸零
6. 將試管塞拔開,記錄一分鐘時減輕的重量
7. 整個實驗再重覆操作二次

## 實驗數據

註：記錄數據 = 觀察數據 × 1000

< 表一 催化劑在不同溫度下之反應速率(視重減少量:mg)的關係 >

組 別 次 數	PbO (0.1g)		MnO <sub>2</sub> (0.1g)		Fe <sup>3+</sup> (0.05M)	
	42°C	14°C	38°C	17°C	30°C	20°C
一	157	43	156	30	55	22
二	155	40	147	38	55	24
三	151	42	153	32	52	21
平均	154.3	41.7	152	33.3	54	22.3

< 表二 由表一之數據求出的活化能 >

催化劑	PbO	MnO <sub>2</sub>	Fe <sup>3+</sup>
活化能(KJ/mol)	35.1	54.2	65.3

## 實驗四討論：

由所推導之數學式

$$\ln \frac{r_1}{r_2} = \frac{-Ea}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

以上列實驗結果代入,可求得雙氧水分解反應在PbO,MnO<sub>2</sub>,Fe<sup>3+</sup>之催化下的活化能分別為 35.1, 54.2, 65.3 KJ/mole,均比未加催化劑時的活化能 75.0KJ/mole 低,而催化效果以 PbO 最佳。

本實驗克服了不同催化劑顆粒大小不同而難以比較其催化效果之困難.由於接觸面積不影響活化能,所以可藉由求不同催化劑存在下的活化能大小,以比較不同催化劑存在下的催化效果。

另外本實驗之裝置無法置於恆溫槽中,故操作的溫度不宜與室溫相差太大。但若有小型恆溫槽,應有較準確的實驗結果。

## 實驗五：求證 $\text{Fe}^{2+}$ 和 $\text{Fe}^{3+}$ 是否有催化 $\text{H}_2\text{O}_2$ 分解的效果

### 實驗步驟：

- 1、取 250ml 量瓶各配製 0.2M 之  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$  和  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4$  水溶液，並倒入 250ml 燒杯中
- 2、取 500ml 量瓶，配製 0.05M  $\text{KMnO}_4$  水溶液，倒入 500ml 燒杯中
- 3、將 0.2M  $\text{Fe}^{2+}$  和 0.2M  $\text{Fe}^{3+}$  各取 60ml 等量倒入六個標記好的 100ml 燒杯中， $\text{Fe}^{2+}$ (A.B.C) .  $\text{Fe}^{3+}$ (A.B.C) 六個，此時每個燒杯均 20ml 溶液
- 4、分別取 4ml  $\text{H}_2\text{O}_2$ (10M)，倒入六個燒杯中
- 5、等待六個燒杯中的分解反應均明顯停止後，取 A( $\text{Fe}^{2+}$ ) . A( $\text{Fe}^{3+}$ ) 各 5ml 倒入錐形瓶並加入少許蒸餾水，用  $\text{H}_2\text{SO}_4$  酸化，再用  $\text{KMnO}_4$  進行滴定觀察  $\text{KMnO}_4$  用量並記錄，重做二次
- 6、十分鐘後，分別取 B( $\text{Fe}^{2+}$ ) . B( $\text{Fe}^{3+}$ ) 燒杯中 5ml 進行滴定並記錄，重複二次
- 7、十分鐘後，分別取 C( $\text{Fe}^{2+}$ ) . C ( $\text{Fe}^{3+}$ ) 燒杯中 5ml 進行滴定並記錄，重複二次

### 實驗數據

<表一 A、B、C  $\text{Fe}^{2+}$  水溶液之  $\text{KMnO}_4$  溶液用量>

次 數 \ 組 別	A	B	C
一	0.1ml	0.1ml	0.1ml
二	0.1ml	0.1ml	0.1ml
三	0.1ml	0.1ml	0.1ml
平均	0.1ml	0.1ml	0.1ml

<表二 A、B、C  $\text{Fe}^{3+}$  水溶液之  $\text{KMnO}_4$  溶液用量>

次 數 \ 組 別	A	B	C
一	0.1ml	0.1ml	0.1ml
二	0.1ml	0.1ml	0.1ml
三	0.1ml	0.1ml	0.1ml
平均	0.1ml	0.1ml	0.1ml

## 實驗五討論

1. 由上列的實驗結果得知,無論  $\text{Fe}^{2+}$  或  $\text{Fe}^{3+}$  為催化劑時,雙氧水完全分解後的溶液,滴入一滴  $\text{KMnO}_4(\text{aq})$ ,紫色便不褪色,顯見殘留溶液不與  $\text{KMnO}_4$  作用
2. 此實驗結果令我們感到意外,因為若以  $\text{Fe}^{2+}$  為催化劑,全部的  $\text{Fe}^{2+}$  應仍存在於殘留液中,將消耗等克當量數的  $\text{KMnO}_4$ ,但實際上並非如此.由於以  $\text{Fe}^{2+}$  催化雙氧水分解後的殘留溶液呈黃褐色,和分解前呈綠色明顯不同.再加上殘留液並不與  $\text{KMnO}_4$  作用,故可推論以  $\text{Fe}^{2+}$  催化雙氧水分解時, $\text{Fe}^{2+}$  先被  $\text{H}_2\text{O}_2$  氧化為  $\text{Fe}^{3+}$ ,再由  $\text{Fe}^{3+}$  催化雙氧水分解.所以事實上  $\text{Fe}^{2+}$  並非催化劑,只有  $\text{Fe}^{3+}$  具有催化能力.此結果明顯與教科書上的內容明顯不同
3. 另外我們發現利用  $\text{Fe}^{2+}$  催化雙氧水分解時,氧氣產生量遠比利用  $\text{Fe}^{3+}$  催化時少,代表部分雙氧水把  $\text{Fe}^{2+}$  氧化成  $\text{Fe}^{3+}$ ,而本身產生水,故氧氣產生量減少.此結果更支持我們相信  $\text{Fe}^{2+}$  被氧化呈  $\text{Fe}^{3+}$  再催化雙氧水的分解.

## 實驗六：金屬克當量的測定

### 實驗步驟：

#### 一、鐵的克當量之測定

1. 量取  $\text{HCl}$  (12M) 置入塑膠袋中
2. 稱取 0.25g 的鐵粉置入小試管中並用塞子塞緊,再置入塑膠袋中
3. 將塑膠袋中的空氣擠出,再用橡皮筋將袋口封緊把裝置好的塑膠袋放在電子天秤上,並歸零
4. 將試管塞拔開,當反應結束,袋內溫度恢復室溫後,稱重得  $W_1$
5. 重覆步驟 1~4 兩次

#### 二、鋁的克當量之測定

1. 量取置入塑膠袋中
2. 稱取 0.15g 的鋁粉置入小試管中並用塞子塞緊,再置入塑膠袋中
3. 其餘步驟同鐵的金屬當量測定之步驟 3~5

#### 三、鋅的克當量之測定

1. 量取置入塑膠袋中
2. 稱取 1~2g 的鋅粉置入小試管中並用塞子塞緊,再置入塑膠袋中並紀
3. 錄所使用量的重 W
4. 其餘步驟同鐵的金屬克當量測定之步驟 3~5

#### 四、 鎂的克當量之測定

1. 量取置入塑膠袋中
2. 稱取 0.4~0.6g 的鎂帶置入小試管中並用塞子塞緊,再置入塑膠袋中並紀錄所使用量的重 W
3. 其餘步驟同鐵的金屬克當量測定之步驟 3~5

### 實驗數據

<表一 鐵的克當量之測定結果>

實驗次數	1	2	3
W <sub>1</sub> (g)	0.130	0.128	0.124
E	27.70	28.13	29.03

E 平均值 = 28.29

誤差 = +1.28%

<表二 鋁的克當量之測定結果>

實驗次數	1	2	3
W <sub>1</sub> (g)	0.239	0.242	0.234
E	9.04	8.93	9.23

E 平均值 = 9.07

誤差 = +0.89%

<表三 鋅的克當量之測定結果>

實驗次數	1	2	3
W (g)	1.453	1.347	1.786
W <sub>1</sub> (g)	0.649	0.605	0.791
E	32.24	32.06	32.516

E 平均值 = 32.27                  誤差 = -1.30%

<表四 鎂的克當量之測定結果>

實驗次數	1	2	3
W (g)	0.405	0.521	0.479
W <sub>1</sub> (g)	0.487	0.635	0.569
E	11.98	11.81	12.12

E 平均值 = 11.97                  誤差 = -1.48%

## 實驗六討論

1. 雖然此實驗方法比起傳統的電解法來求金屬克當量不一定更為準確，但操作上卻更方便容易且能快速的得到實驗數據，而實驗誤差也多在 2% 以下，故不失為一個準確且方便的實驗方法。
2. 實驗時，塑膠袋裝置要確實綁緊，否則氫氣很容易逸出，而造成實驗結果的金屬克當量將呈現正偏差。
3. 實驗中所使用的金屬，需盡可能去除其表面的金屬氧化物，否則將成現正偏差。在這次實驗使用的鐵粉鋁粉來測定其克當量，因其顆粒太小無法去除表面上的氧化物，所以實驗結果呈現正偏差，而鋅粒和鎂帶則可先泡在稀酸中，去除表面上的氧化物，所以沒有這個問題。因此以後用此方法測定克當量時，應選擇金屬的片狀物、棒狀物或是較大的顆粒，如此方便置於稀酸中，去除其表面的氧化物，而不至於因體積除其表面的氧化物，而不至於因體積不多而取不出來。
4. 此次實驗所用的鋅粒和鎂帶皆處理掉表面之氧化物，因將不呈現正偏差且十分接近實際值，但呈現了負偏差，這可能因為本實驗方法有一無法避免的系統偏差，就是在反應中的氣體中帶有水蒸氣，而造成實驗的負偏差。另外這些化學反應為放熱反應，故反應後應等塑膠袋內的溫度降至室溫，否則將導致實驗的負偏差。
5. 在這個實驗中鋅粒和鎂帶因體積較大，雖方便泡在稀酸中除去表面的氧化物，但稱取重量時較難控制用量，所以在操作時不需固定用多少量，但須事先約略估算反應

所產生的氣體量，來確定取的用量不會產生太多氫氣而造成塑膠袋內氣體之氣壓大於大氣壓力。

## 實驗七：氣體分子量的測定

### 實驗步驟：

#### 一、氧氣分子量的測定

1. 取 2M 雙氧水 25ml 置入塑膠袋中
2. 取 1 刮勺的二氧化錳置入小試管中並用塞子塞緊,再置入塑膠袋中
3. 將塑膠袋中的空氣擠出,再用橡皮筋將袋口封緊把裝置好的塑膠袋放在電子天秤上,並歸零
4. 將試管塞拔開，當反應結束，袋內溫度恢復室溫後，稱重得  $W_1$
5. 打開塑膠袋並擠出產生的氣體，稱重得  $W_2$
6. 重覆步驟 1~5 兩次

#### 二、二氧化碳分子量的測定

1. 稱取約 10g 的  $\text{NaHCO}_3$  置入塑膠袋中
2. 取 8ml 的  $\text{HCl}(12\text{M})$  置入小試管中並用塞子塞緊,再置入塑膠袋中
3. 其餘步驟同氧氣分子量測定之步驟 3~6

#### 三、乙炔分子量的測定

1. 量取 30ml 的水置入塑膠袋中
2. 稱取約 5g 的  $\text{CaC}_2$  置入小試管中並用塞子塞緊,再置入塑膠袋中
3. 其餘步驟同氧氣分子量測定之步驟 3~6

#### 四、一氧化氮分子量的測定

1. 稱取約 4 公克的亞硝酸鈉置入塑膠袋中
2. 以 3M 硫酸配製 4.5M 硫酸亞鐵銨溶液，量取大約 10ml 倒入小試管中並用塞子塞緊,再置入塑膠袋中
3. 其餘步驟同氧氣分子量測定之步驟 3~6

## 實驗數據

<表一 氧氣分子量的測定數據>

實驗次數	1	2	3
$W_1$ (g)	0.770	0.805	0.807
$W_2$ (g)	0.870	0.940	0.900
M	32.54	33.63	32.13

**M 平均值 = 32.77**

**誤差 = +2.4%**

<表二 二氧化碳分子量的測定數據>

實驗次數	1	2	3
$W_1$ (g)	1.923	1.891	7.905
$W_2$ (g)	2.931	2.830	2.857
M	43.90	43.10	43.19

**M 平均值 = 43.40**

**誤差 = -1.36%**

<表三 乙炔分子量的測定數據>

實驗次數	1	2	3
$W_1$ (g)	0.803	0.820	0.831
$W_2$ (g)	0.707	0.724	0.740
M	25.36	25.43	25.65

**M 平均值 = 25.48**

**誤差 = -2.00%**

<表四 一氧化氮分子量的測定數據>

實驗次數	1	2	3
$W_1$ (g)	1.212	1.205	1.223
$W_2$ (g)	1.258	1.213	1.261
M	29.89	29.71	29.69

**M 平均值 = 29.76**

**誤差 = -0.8%**

## 討論

- 一、 本研究有些氣體之生成反應為完全反應，故需選擇限量試劑，以控制所得氣體的體積。下列括弧內之藥品，即為相對應之限量試劑：二氧化碳之生成(鹽酸)；一氧化氮之生成(硫酸亞鐵銨)；乙炔之生成(碳化鈣)。
- 二、 傳統實驗必須從高壓鋼瓶中取出氣體灌入塑膠袋中，操作時若氣體流量控制不當，除了受到驚嚇外，可能造成更嚴重的意外。本實驗可免除此一意外發生。
- 三、 本研究在量取藥品時，只要量取大約的量，不需精稱。除了操作簡便外，更可避免在量取藥品時所造成的稱量誤差。
- 四、 本研究有一不可避免的系統誤差，就是在反應出的氣體中帶有水蒸氣存在。傳統實驗誤差往往 10% 以上(包括人為誤差及二氧化碳溶於水所造成之誤差)，而本研究之實驗誤差都在 2% 以下，故不失為一個準確的實驗方法。

## 陸、結論

- 一、 本實驗最大特點在於使同一個實驗模式，從事三個不同的研究，分別是雙氧水分解反應的研究；金屬克當量的測定；及分子量的測定。
- 二、 本研究與先前相關研究的最大不同在於本研究由電子天秤讀數可輕易觀測到雙氧水分解時氧氣產生之速率，並可進行有關動力學的研究。
- 三、 本研究發現催化劑用量越多，雙氧水分解速率越快，但與催化劑用量不成正比關係，概因催化劑用量與反應時之接觸面積並非成正比關係之故。
- 四、 雙氧水在酸鹼存在下，催化效果更佳。
- 五、 在本研究使用三種不同催化劑，以 PbO 存在下的活化能最低， $\text{Fe}^{3+}$ 存在下的活化能最高，實驗結果顯示雙氧水的分解，以非勻相催化劑的效果較佳。
- 六、 在教科書上所言， $\text{Fe}^{2+}$ 能催化雙氧水的分解，經本研究發現，雙氧水把  $\text{Fe}^{2+}$  氧化成  $\text{Fe}^{3+}$ ，再由  $\text{Fe}^{3+}$  催化未反應的雙氧水。分解後的溶液則由綠色( $\text{Fe}^{2+}$ )變成為黃褐色，且不與  $\text{KMnO}_4$  作用。因此我們對此結果與教科書上所言不同，感到這是個有趣的發現。
- 七、 再測定金屬克當量時，應盡量排除可能的誤差因素。例如：溫度未回復室溫；氫氣散逸；金屬表面氧化物未去除等。
- 八、 在測定氣體分子量時，本實驗方法最方便之處在於不需精稱反應物的用量。而水蒸氣的存在是本實驗不可避免的誤差因素，若因水蒸氣的存在使分子量大於 18 之氣體呈現負偏差，而分子量小於 18 的氣體呈現正偏差。

## 柒、參考資料

- 一、 曾國輝，化學(上)，民國七十七年七月第七版，臺北市，藝軒圖書出版社
- 二、 楊寶旺、方泰山、魏明通、蕭次融，物質科學化學篇(上)，民國九十一年一月第二版，臺北，龍騰文化，第二章：氣體的性質
- 三、 楊寶旺、方泰山、魏明通、蕭次融，物質科學化學篇(上)，民國九十一年一月第二版，臺北，龍騰文化，實驗二：亞佛加厥數定律
- 四、 楊寶旺、方泰山、魏明通、蕭次融，物質科學化學篇(下)，民國九十一年一月第二版，臺北，龍騰文化，第六章：化學反應速率
- 五、 潘家寅 譯，大學化學，民國六十年二月初版，臺北，東華出版社，第九章：化學動力學
- 六、 Dickerson Gray Haight (楊寶旺、楊美惠、辛淑琴 譯)，CHEMICAL PRINCIPLES (化學原理)，民國六十二年初版，臺北，東華出版社，第十九章：化學反應速率及機構

## 評語

本研究所使用的實驗模式操作方便，惟水蒸氣誤差得校正，延伸教科書實驗部份非創意性。