

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 化學科

佳作

040204

塑膠袋生氣了—氣體生成反應的研究

學校名稱：國立嘉義高級中學

作者： 高二 吳冠賢 高二 侯任興 高二 洪偉軒	指導老師： 吳聰建
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：分子量、溫度與平衡常數、反應熱

塑膠袋生氣了----氣體生成反應的研究

摘要

- 一、本實驗最大特點在於使用同一個實驗模式，從事五個不同的研究，分別是氣體分子量測定；二氧化氮的偶合反應；鐵與稀硝酸反應生成氣體的探討；鋅片及鋁片與鹽酸反應之反應速率及反應級數的測定；鋅片及鋁片與鹽酸反應之反應活化能的計算。
- 二、本研究的分子量測定實驗，亦可用以測定其他氣體的平均分子量，其方法非常方便且精準。
- 三、本研究可經由較方便且簡易的方法來測定出二氧化氮偶合反應的平衡常數與反應熱。
- 四、經本實驗研究發現到鐵與稀硝酸反應後生成一氧化氮而非氫氣。
- 五、在鋅片及鋁片與鹽酸的反應中，對鹽酸皆屬一級反應。
- 六、本研究所計算出之鋅片與鹽酸的反應活化能為 21.5kJ/mol，鋁片與鹽酸的反應活化能則為 89.9 kJ/mol。

壹、實驗動機

在上完高二下學期第六章的反應平衡相關課程之後，我們發現對於鐵片與稀硝酸的反應，有的參考書表示會產生出一氧化氮，有的卻說會生成氫氣，這樣的衝突引發了我們對探討此反應確切生成物的興趣。另外，對於在高中課本介紹勒沙特列原理時常見到的二氧化氮的偶合反應，我們也好奇不知是否有簡易的方法可以求得其平衡常數與反應熱。因此，我們在參閱一些相關的資料並與化學老師討論之後，我們決定以夾鍊袋作為實驗的主要器材，來測定氣體分子量，並證明鐵片與稀硝酸反應所產生的氣體和測定不同溫度下的平均分子量來計算出二氧化氮偶合成四氧化二氮的平衡常數與反應熱，並嘗試進行關於反應級數及活化能方面的化學動力學研究。

貳、實驗目的

- 1、利用幾個實驗來驗證以夾鍊袋為器材測定氣體分子量方法的可行性
- 2、求出在不同溫度下二氧化氮在偶合後的平均分子量
- 3、求出二氧化氮偶合反應的平衡常數
- 4、由求得的二氧化氮偶合反應的平衡常數計算出反應的 ΔH
- 5、以此簡易方法測定鐵片與稀硝酸反應後生成的氣體
- 6、以此簡易方法測定金屬片與鹽酸反應的反應級數
- 7、以此簡易方式測定金屬片與鹽酸反應的活化能

參、實驗設備及器材

實驗一：氣體分子量的測定

實驗設備：

電子天平 夾鍊袋 10ml 試管 15ml 試管 100ml 燒杯 試管塞 玻璃滴管
刮勺 玻璃棒

實驗藥品：

碳酸氫鈉 碳化鈣 亞硝酸鈉 硫酸亞鐵銨 12M 濃鹽酸 3M 硫酸

實驗二：二氧化氮偶合反應的研究

實驗設備：

電子天平 夾鍊袋 10ml 試管 15ml 試管 試管塞 玻璃滴管

實驗藥品：

銅片 硝酸

實驗三：鐵片與 1M 硝酸反應生成氣體的研究

實驗設備：

電子天平 夾鍊袋 10ml 試管 15ml 試管 試管塞 玻璃滴管

實驗藥品：

鐵片 硝酸

實驗四：金屬片與不同濃度鹽酸的反應速率研究

實驗設備：

電子天平 夾鍊袋 10ml 試管 試管塞 玻璃滴管

實驗藥品：

鋅片 鋁片 鹽酸

實驗五：金屬片在不同溫度下與鹽酸的反應速率研究

實驗設備：

電子天平 夾鍊袋 10ml 試管 試管塞 玻璃滴管

實驗藥品：

鋅片 鋁片 鹽酸

肆、實驗原理

- 1、當反應物在密閉夾鍊袋內作用產生氣體時，將排開等體積的空氣而使夾鍊袋膨脹，由於空氣浮力的關係，因而使裝置視重減輕，其減輕的重量即所排開之等體積空氣重，令其為 W_1 ；若把產生的氣體由夾鍊袋擠出，裝置所減輕之重量即產生的氣體重，令其為 W_2 ，依亞佛加厥定律，同溫壓同體積

的氣體，分子數相同，因此 $\frac{W_1}{28.8} = \frac{W_2}{M}$ 氣體分子量 $M = 28.8 \times \frac{W_2}{W_1}$ 。

- 2、依熱力學吉布士函數(Gibbs function)

$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$ 可進一步推導得

$$-RT_1 \ln K_1 = \Delta H - T_1 \Delta S \rightarrow \text{①}$$

$$-RT_2 \ln K_2 = \Delta H - T_2 \Delta S \rightarrow \text{②}$$

$$\text{由①②聯立可得 } \ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{\Delta H}{R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right) \rightarrow \text{③}$$

因此只要測定某反應在兩個不同溫度下的平衡常數，即可由③式求得該反應的反應熱。

本實驗在夾鍊袋內使銅片與濃 HNO_3 反應生成 NO_2 ，由於產生的 NO_2 會部份偶合成 N_2O_4 ，其方程式如下



當達平衡時，只要測得平衡時的平均分子量，即可進一步推導出其偶合率 α ，其關係式如下：

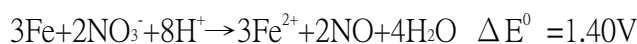
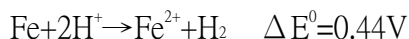
$$\bar{M} = \frac{M_{\text{NO}_2}}{1 - \frac{\alpha}{2}}$$

當測定出某溫度下的偶合率即可進一步求得偶合反應在 1atm 下的平衡常數

$$K_p = \frac{\frac{\alpha}{2} \times \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)}{1 - \alpha^2}$$

本實驗測定兩不同溫度下 NO₂ 的偶合平衡常數，再進一步由上式③計算其平衡常數。

3、鐵片與 1M 硝酸反應，有可能產生下列兩個自發反應



只要能測定出鐵片與 1M 硝酸反應出的氣體分子量，即可得知其實際反應出的氣體為 H₂ 或 NO 或其混合物亦或為其他氣體。

4、金屬片與鹽酸的反應速率可由單位時間內氫氣產生量表示，以前之相關研究都是以排水集氣法來測量氫氣的生成量，在實驗操作上較為麻煩。

本研究利用金屬片與鹽酸在密封的夾鍊袋中分解。由於氫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反應，便可輕易的觀察出單位時間內的視重減少量。由於氫氣的產生速率與單位時間內的視重減少量成正比，故可利用上述方法簡易測量出金屬片與鹽酸的反應速率，並可免除排水集氣的麻煩。

5、自化學反應速率方程式 $r = k [\text{A}]^m [\text{B}]^n \dots$ 中可得知，若是將濃度當作操縱變因來進行實驗，則可以將在不同濃度下所測得的反應速率帶入方程式中做計算，並求得該反應物的反應級數。故只要在其他條件相同的情況下，以不同的鹽酸濃度來操作實驗即可求得金屬片與鹽酸反應中鹽酸的反應級數。

6、化學反應速率隨溫度升高而加快。瑞典化學家阿瑞尼亞氏(Svante Arrhenius)提出下列方程式

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

由上式可知，溫度愈高，速率常數愈大，因此反應速率愈快。若反應溫度由 T₁ 加熱到 T₂ 則

$$\ln k_1 = -\frac{E_a}{RT_1} + \ln A \quad \text{-----①}$$

$$\ln k_2 = -\frac{E_a}{RT_2} + \ln A \quad \text{-----②}$$

因為，反應速率與速率常數成正比，由②-①得

$$\ln \frac{r_2}{r_1} = \ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad \text{-----③}$$

因此只要由不同溫度(T₁, T₂)下，測定其反應速率(r₁, r₂)便可由式③測定出該反應的活化能。

伍、實驗方法

實驗一：氣體分子量的測定

1、二氧化碳分子量的測定

- (1) 稱取約 10g 的碳酸氫鈉置入夾鍊袋中
- (2) 取 8ml 的濃鹽酸(12M)置入試管中並用塞子塞緊，在置入夾鍊袋中
- (3) 將夾鍊袋中的空氣擠出並密封後，將其放到電子天平上，紀錄其重量
- (4) 將試管塞拔開，當反應結束，袋內溫度恢復室溫後，秤其重量與最初重量的差記錄為 W_1
- (5) 打開夾鍊袋，排空氣體後秤其重量與最初重量的差記錄為 W_2

表一 二氧化碳分子量的測定數據

	實驗 1	實驗 2	實驗 3
W_1	2.48	2.51	2.67
W_2	3.73	3.80	2.99
M	43.32	43.60	43.15

二氧化碳分子量測量平均值=43.36 誤差=-1.46%

2、乙炔分子量的測定

- (1) 量取 30ml 的水置於夾鍊袋中
- (2) 稱取約 5g 的電石置入試管中並用塞子塞緊，再置入夾鍊袋中
- (3) 其餘步驟同 1 的步驟(3)、(4)、(5)

表二 乙炔分子量的測定數據

	實驗 1	實驗 2	實驗 3
W_1	1.67	1.65	1.58
W_2	1.49	1.52	1.46
M	25.70	26.53	26.61

乙炔分子量測量平均值=26.28 誤差=1.08%



圖一：電石與水產生乙炔
(搖晃使其反應均勻)



圖二：電石與水產生乙炔
(靜置待其反應完成及降溫)

3、一氧化氮分子量的測定

- (1)稱取約 4 公克的亞硝酸鈉置入夾鍊袋中
- (2)以 3M 硫酸配製 4.5M 硫酸亞鐵銨溶液，量取大約 10ml 倒入試管中，並用塞子塞緊，再置入夾鍊袋中
- (3)其餘步驟同 1 的步驟(3)、(4)、(5)

表三 一氧化氮分子量的測定數據

	實驗 1	實驗 2	實驗 3
W_1	1.34	1.29	0.90
W_2	1.37	1.37	0.96
M	29.44	30.59	30.72

一氧化氮分子量測量平均值=30.25 誤差=0.83%



圖三：以硫酸配置硫酸亞鐵銨溶液

4、氧氣分子量的測定

- (1)取 2M 雙氧水 25ml 置入夾鍊袋中
- (2)取一刮杓的二氧化錳置入試管中並用塞子塞緊並置入夾鍊袋中
- (3)其餘步驟同 1 的步驟(3)、(4)、(5)

表四 氧氣分子量的測定數據

	實驗 1	實驗 2	實驗 3
W_1	0.76	0.76	0.75
W_2	0.86	0.86	0.85
M	32.58	32.58	32.64

氧氣分子量測量平均值=32.60 誤差=1.88%

實驗二：二氧化氮偶合反應的研究

二氧化氮偶合成四氧化二氮後的平均分子量測定

- 1、秤取 4g 的銅片置入試管中並用塞子塞緊，再置入夾鍊袋中
- 2、取 80ml 濃硝酸置入夾鍊袋中
- 3、將夾鍊袋中的空氣擠出後密封，並將其放到電子天平上，記錄其重量
- 4、將試管塞拔開，當反應結束，袋內溫度恢復至室溫後，秤其重量與最初重量的差為 W_1
- 5、打開夾鍊袋，排空氣體後秤其重量與最初重量的差紀錄為 W_2

表五 14.7°C 下二氧化氮偶合反應平均分子量的測定數據

14.7°C	實驗 1	實驗 2	實驗 3
W_1	0.34	0.32	0.35
W_2	0.97	0.91	0.99
M	82.2	81.9	81.5

$$\bar{M}=81.9 \quad \alpha=87.7\% \quad K_p=14.8$$

表六 20.9°C 下二氧化氮偶合反應平均分子量的測定數據

20.9°C	實驗 1	實驗 2	實驗 3
W_1	0.46	0.47	0.46
W_2	1.27	1.29	1.26
M	79.5	79.0	78.9

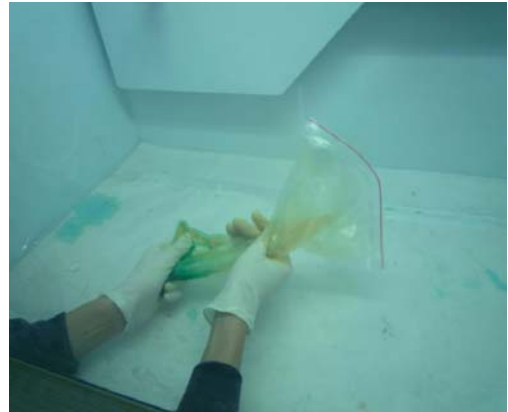
$$\bar{M}=79.1 \quad \alpha=83.7\% \quad K_p=9.16$$



圖四：秤取定量銅片與硝酸分別置入試管及夾鍊袋內



圖五：銅片與濃硝酸產生紅棕色二氧化氮(搖晃使其反應均勻)



圖六：銅片與濃硝酸產生紅棕色二氧化氮(靜置待其反應完成及降溫) 圖七：排空袋內生成之二氧化氮

實驗三：鐵片與 1M 硝酸反應生成氣體的研究

- 1、秤取 2 公克的鐵片置入夾鍊袋中
- 2、取 1M 硝酸 200ml 裝入試管中並以軟木塞塞緊，再置入夾鍊袋中
- 3、將夾鍊袋中的空氣擠出後密封，並將其放到電子天平上，紀錄其重量
- 4、將試管塞拔開，當反應結束，袋內溫度恢復室溫後，秤其重量與最初重量的差記錄為 W_1
- 5、打開夾鍊袋，排空氣體後秤其重量與最初重量的差記錄為 W_2

表七 一氧化氮分子量的測定數據(鐵片的反應)

	實驗 1	實驗 2	實驗 3
W_1	0.61	0.62	0.62
W_2	0.62	0.63	0.63
M	29.27	29.26	29.26

計算後得氣體平均分子量=29.26

實驗四：金屬片與鹽酸反應的反應級數研究

- 1、鋅片與不同濃度鹽酸的反應
 - (1)量取 8cm^2 的鋅片並將其剪成 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 的大小，將其置入試管中並以試管塞塞緊，再置入夾鍊袋中
 - (2)取 100ml 的鹽酸置入夾鍊袋中
 - (3)將夾鍊袋中的空氣擠出後密封，再將其放到電子天平上並歸零
 - (4)將試管塞拔開，待電子天平上之讀數顯示為 -2.00g 時紀錄其反應時間
 - (5)另取一份鋅片置入試管中以試管塞塞緊，置於另一夾鍊袋中
 - (6)另取 80ml 的鹽酸並加入蒸餾水至 100ml，並置入夾鍊袋中
 - (7)重覆步驟(3)、(4)得到五分之四鹽酸濃度的實驗結果

表八 不同濃度鹽酸與鋅片的反應時間

Zn 28.2°C	電子天平顯示克數	反應時間(s)	反應速率(g/s)
濃鹽酸	-2.00	10.65	0.188
稀釋 0.8 倍 濃鹽酸	-1.18	7.35	0.160

由上表可知鹽酸為一級反應

2、鋁片與不同濃度鹽酸的反應

- (1)量取 8cm²的鋁片並將其剪成 1cm*1cm 的大小，將其置入試管中並以試管塞塞緊，再置入夾鍊袋中
- (2)取 100ml 的濃鹽酸置入夾鍊袋中
- (3)將夾鍊袋中的空氣擠出後密封，再將其放到電子天平上並歸零
- (4)將試管塞拔開，待電子天平上之讀數顯示為-0.20g 時紀錄其反應時間
- (5)另取一份鋁片置入試管中以試管塞塞緊，置於另一夾鍊袋中
- (6)另取 50ml 的鹽酸並加入蒸餾水至 100ml，並置入夾鍊袋中
- (7)重覆步驟(3)、(4)得到二分之一鹽酸濃度的實驗結果

表九 不同濃度鹽酸與鋁片的反應時間

Al 28.1°C	電子天平顯示克數	反應時間	反應速率(g/min)
濃鹽酸	-0.20	4' 39" 06	0.046
稀釋 0.5 倍 濃鹽酸	-0.20	8' 21" 58	0.024

由上表可知鹽酸為一級反應

實驗五：金屬片與鹽酸反應活化能的測定

1、鋅片與鹽酸在不同溫度下的反應

- (1)量取 8cm²的鋅片並將其剪成 1cm*1cm 的大小，將其置入試管中並以試管塞塞緊，再置入夾鍊袋中
- (2)取 100ml 的濃鹽酸置入夾鍊袋中
- (3)將夾鍊袋中的空氣擠出後密封，再將其放到電子天平上並歸零
- (4)將試管塞拔開，待電子天平上之讀數顯示為-0.20g 時紀錄其反應時間
- (5)於低溫下重覆步驟(1)~(4)測得在低溫時的反應結果

表十 鋅片與鹽酸在不同溫度下的反應時間

Zn	電子天平顯示克數	反應時間(s)	反應速率(g/s)
28.2°C	-2.00	10.65	0.188
25.7°C	-1.31	7.47	0.175

由上表計算得反應活化能 21.5kJ/mol

2、鋁片與鹽酸在不同溫度下的反應

- (1)量取 8cm²的鋁片並將其剪成 1cm*1cm 的大小，將其置入試管中並以試管塞塞緊，再置入夾鍊袋中
- (2)取 100ml 的鹽酸置入夾鍊袋中
- (3)將夾鍊袋中的空氣擠出後密封，再將其放到電子天平上並歸零
- (4)將試管塞拔開，待電子天平上之讀數顯示為-0.20g 時紀錄其反應時間
- (5)於低溫下重覆步驟(1)~(4)測得在低溫時的反應結果

表十一 鋁片與鹽酸在不同溫度下的反應時間

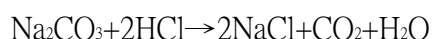
Al	電子天平顯示克數	反應時間	反應速率(g/min)
28.1°C	-0.20	4' 39" 06	0.046
22.1°C	-0.20	11' 42" 40	0.018

由上表計算得反應活化能 89.9kJ/mol

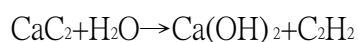
陸、實驗結果與討論

1、在實驗一氣體分子量的測定實驗中，各氣體生成的反應方程式如下:

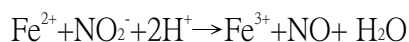
(1)CO₂ 的生成



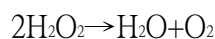
(2)C₂H₂ 的生成



(3)NO 的生成



(4)O₂ 的生成



2、在高中實驗課本中的氣體分子量的測定，都是利用排水集氣法，以測定氣體體積，並利用同溫同壓下和已知的氣體的密度比值，進一步測定待測氣體的分子量。

此方法有下列缺點:

- (1)排水集氣法操作不便，且容易在氣體導管的接頭處外洩出氣體而造成實驗誤差。
- (2)使用排水集氣法，不適用易溶於水的氣體分子量的測定。
- (3)實驗所需時間較長，且誤差較大。

而本實驗相對有以下優點:

- (1)操作簡單，只要電子天平讀出空氣浮力 w_1 ，與氣體質量 w_2 即可算出待測氣體的分子量。
- (2)藥品用量並不需精確取量，節省藥品秤取的時間。
- (3)不需排水集氣，所以可測定易溶於水中的氣體分子量。
- (4)實驗時間較短，且誤差都在 2% 以下。

- 3、在測量一氧化氮分子量時，我們發現當打開夾鍊袋釋出氣體時，馬上產生出紅棕色的氣體。足見一氧化氮在常溫下與氧氣作用成二氧化氮的反應速率極快。由於產生有毒的二氧化氮氣體，所以釋出氣體時，必須在通風櫥中操作。
- 4、由於實驗一氣體分子量測定的結果，證實此實驗方法相當準確。故令我們有信心從事實驗二與實驗三的研究。
- 5、在實驗二測定二氧化氮偶合平衡常數與反應熱的實驗中，由於在不同溫度下 ΔH 與 ΔS 會有不同，故兩個不同溫度不宜相差過大。
- 6、由於理論上無法取得純的二氧化氮氣體，因為大部份均形成偶合物，所以要在絕熱系統中以卡計測量二氧化氮偶合反應的反應熱並不可行。所以只能分別測量二氧化氮與四氧化二氮的莫耳生成熱，再以赫士定律推導偶合反應的反應熱。
- 7、本研究提供一個不需絕熱系統，測定二氧化氮偶合平衡常數的可行方法。並經由二個不同溫度下的平衡常數推導出該偶合反應的反應熱。
- 8、二氧化氮偶合反應的標準反應熱為 -57.2 kJ/mole 而本實驗實測值為 -54.5 kJ/mole ，有可能是實驗溫度並非 25°C ，也可能是實驗誤差造成兩者有些許差距。
- 9、在二氧化氮偶合反應實驗中，銅片與濃硝酸的計量關係，對實驗結果影響甚大。一開始我們取 1 克銅片和 10ml 濃硝酸反應，所得的平均分子量偏低許多。經我們進一步探討，雖然銅片為限量試劑，但濃硝酸的濃度在反應過程中下降太多，因而在反應後半段形成銅片與硝酸反應而產生一氧化氮，故導致實驗失敗。經此失敗後，我們改以銅片 4 克與濃硝酸 80ml，如此當銅片用完時，硝酸濃度大約還有 13M，所以可避免一氧化氮的生成而造成誤差。由實驗結果得知，銅片與濃硝酸的計量關係，對實驗結果有重大影響。
- 10、二氧化氮的偶合反應實驗，可能因為產生水蒸氣，而造成平均分子量呈現負偏差。
- 11、實驗三中，我們發現鐵片與 1M 硝酸作用，產生的氣體分子量為 29.26，由此結果可知鐵片與 1M 硝酸反應，所產生的氣體為一氧化氮而非氫

氣。而且當我們打開夾鍊袋時，因氣體與空氣接觸而瞬間變為紅棕色，更可進一步獲得驗證。至於分子量呈現些微的負偏差，大概為水蒸氣的形成所造成。

- 12、由於鐵片與 1M 硝酸產生的氣體為一氧化氮，可證明鐵片與 1M 硝酸反應時，顯現其氧化性而非酸性。
- 13、以實驗四的實驗數據來作計算，發現在鋅片的實驗中，以濃鹽酸及稀釋 0.8 倍濃鹽酸反應的反應速率比值為 1.175，相當接近於其濃度的比值 1.2，因此我們推定在此反應中，鹽酸為一級反應。而我們推測造成些微誤差的原因應為鋅與鹽酸的反應較為劇烈，造成在判讀電子天平上數值與計時方面的一些差距，不過就其結果來看仍是相當準確。而在鋁片的實驗方面，計算出來其反應速率的比值為 1.917，與其鹽酸濃度的比值 2 近乎相等，因此我們也推定在與鋁片的反應中，鹽酸亦為一級反應。
- 14、以實驗五所求得的實驗結果代入阿瑞尼亞氏方程式作計算，求得鋅片與鹽酸之反應活化能為 21.5kJ/mol，而鋁片與鹽酸的反應活化能為 89.9kJ/mol。雖然由於活化能的數值並無理論值可供對照，我們於實驗期間內也沒有找到金屬片與鹽酸反應之活化能測定的相關文獻及研究報告。因此，本研究雖遵照著化學的原理來作設計及操作，不過關於其正確性仍需作進一步的驗證。然而就整體而言，本實驗提供了一個既方便操作又具有一再現性的實驗模組來求得氣體生成反應的活化能。
- 15、實驗結果顯示鋁金屬的還原力雖大於鋅金屬，但與鹽酸作用的反應速率卻遠小於鋅金屬。可見還原力大小與化學反應速率並非正相關。

柒、結論

- 1、本研究的氣體分子量測定的實驗方法，比以往的方法更有效率且實驗誤小於 2%。
- 2、本研究測定兩個不同溫度下的平衡常數，計算出二氧化氮與何反應的反熱大小為 54.5 kJ/mole。
- 3、本研究驗證，鐵片與 1M 硝酸反應後，所產生的氣體應為一氧化氮而非氫氣。
- 4、在鋅片及鋁片與鹽酸的反應中，對鹽酸皆屬一級反應。
- 5、本研究所計算出之鋅片與鹽酸的反應活化能為 21.5kJ/mol，鋁片與鹽酸的反應活化能則為 89.9 kJ/mol。
- 6、本研究提供一個簡易的實驗模組，以進行氣體生成反應的相關研究。

捌、參考資料

- 1、劉盈初、葉宏瑀、林庭宇，袋裏乾坤－亞弗加厥定律的應用，中華民國第四十三屆中小學科學展覽會高中組化學科參展作品
- 2、張哲正，化學(下)，龍騰文化 98 年版，第 9 章：非金屬元素的化學
- 3、張哲正，選修化學(上)，龍騰文化 98 年版，第 1 章：化學平衡
- 4、Journal of Chemical Education Vol.74 NO.2 February 1997

【評語】 040204

本作品以簡易的塑膠袋及天平來探討氣體生成的各種反應，題目有創意研究內容也相當豐富，未來建議對方法的適用範圍及限制有更明確的說明。