

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

佳作

030206

「氮」然處之

學校名稱：高雄市立七賢國民中學

作者： 國二 劉武尚 國二 林宣廷	指導老師： 陳佳琪
-------------------------	--------------

關鍵詞：二氧化氮、自製儀器

摘要

本研究主要探討「霾害」中的 NO_2 氣體的各種特性，藉由自行組裝的簡易裝置進行含量的檢測，提早預警，減少傷害。實驗中 NO_2 可利用 Cu 片及 HNO_3 製備，且 NO_2 溶於水後再次形成 HNO_3 及 NO ，接著利用簡易裝置探討 NO_2 的製備及其動力學參數的測定，再以化學冷光試劑魯米諾偵測 NO_2 氣體濃度。最後，以自製簡易偵測 NO_2 儀器，找出最佳偵測 NO_2 氣體濃度的最佳條件，並設計儀器方便攜帶檢測。

壹、研究動機

最近的天空霧茫茫地--高雄地區空氣污染拉警報，新聞報導提醒社會大眾注意，在外出時配戴口罩。這個現象引發我們的興趣，我們查詢有關「霾害」的資料後發現：在污染空氣中的二氧化氮，若人體長期吸入後對肺部具有強烈刺激性和腐蝕性，對健康造成不利的影響。二氧化氮是工業合成硝酸的中間產物，每年大約會有幾百萬噸被排放到大氣中，形成空氣的污染物。二氧化氮既會危害人體又會破壞環境的物質，而在自然與生活科技二下第 2 單元氧化還原當中學到相關反應知識，我們希望藉此多了解有關二氧化氮的化學反應，並進一步研究如何偵測空氣中二氧化氮的含量，於是展開以下的實驗…

貳、研究目的

- 一、觀察定溫下，不同濃度的硝酸與銅反應產生的氣體。
- 二、測量定溫下，不同濃度的硝酸與銅反應產生 NO_2 、 NO 量之比值。
- 三、測量不同溫度下，硝酸與銅反應產生 NO_2 、 NO 量之比值。
- 四、利用簡易的裝置，測量出的 NO_2 動力學參數。
- 五、利用魯米諾偵測 NO_2 在水中產生亞硝酸根的情形。
- 六、利用亞硫酸鈉與魯米諾偵測 NO_2 在水中產生亞硝酸根的情形。
- 七、自製儀器並有效偵測試樣中 NO_2 的含量。

參、研究設備與器材

一、實驗器材：

錐形瓶	量筒	滴管	燒杯	漏斗
試管	橡皮塞	橡皮管	針頭	塑膠針筒
容量瓶	三通閥	光敏電阻	三用電錶	電線

二、實驗藥品：

硝酸	銅片	硫酸亞鐵	氧氣鋼瓶	雙氧水
赤血鹽	魯米諾	亞硫酸鈉	亞硝酸鈉	氫氧化鈉

肆、研究過程

實驗一 探討不同濃度的硝酸與銅片反應所產生的氣體情形



實驗二 探討不同濃度的硝酸與銅片反應所產生 NO₂、NO 量之比值



實驗三 探討不同溫度下的硝酸與銅片反應所產生 NO₂、NO 量之比值



實驗四 利用簡易裝置求出該反應的偶合率、平衡常數及反應熱



實驗五 在 NO₂ 存在下，探討不同雙氧水及赤血鹽濃度對魯米諾發光的影響



實驗六 探討不同濃度、pH 值的魯米諾及亞硫酸鹽溶液對魯米諾發光的影響



實驗七 自製簡易儀器，探討偵測魯米諾在 NO₂ 及亞硫酸鹽存在下，比較其發光的影響，並偵測其電阻值



實驗八 探討自製儀器分別偵測不同地區 NO₂ 的濃度



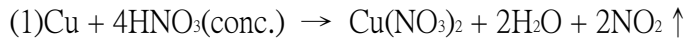
結論

伍、研究結果與討論

實驗一 探討不同濃度的硝酸與銅片反應所產生的氣體情形

(一)實驗步驟：

- 1.本實驗在抽風廚下進行實驗，分別配置溫度相同的 15 M、10 M、5 M、1 M、0.5 M、0.1 M 的硝酸放入試管中，並加入 0.5 克的銅片後，立即塞上軟木塞，並觀察其反應。
- 2.將 1M 的硝酸放入錐形瓶，並加入 1 克的銅片後，待反應達平衡後，再延著瓶壁加入硫酸亞鐵，並觀察硫酸亞鐵加入之後的反應。
- 3.其反應方程式如下：



(二)實驗結果：

表一 不同濃度的硝酸，與銅片在試管內反應產生氣體顏色。

硝酸濃度	15M	10M	5M	1M	0.5M	0.1M
氣體顏色	紅棕色	紅棕色	紅棕色	紅棕色	淡紅色	無色



圖 1 不同濃度的硝酸與銅片反應情形



圖 2 硝酸與硫酸亞鐵反應情形

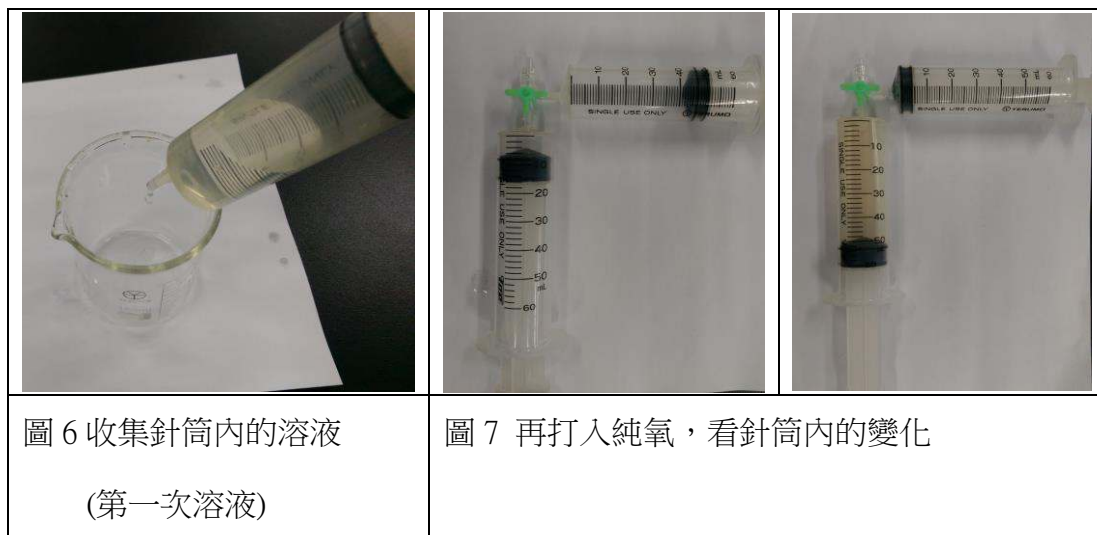
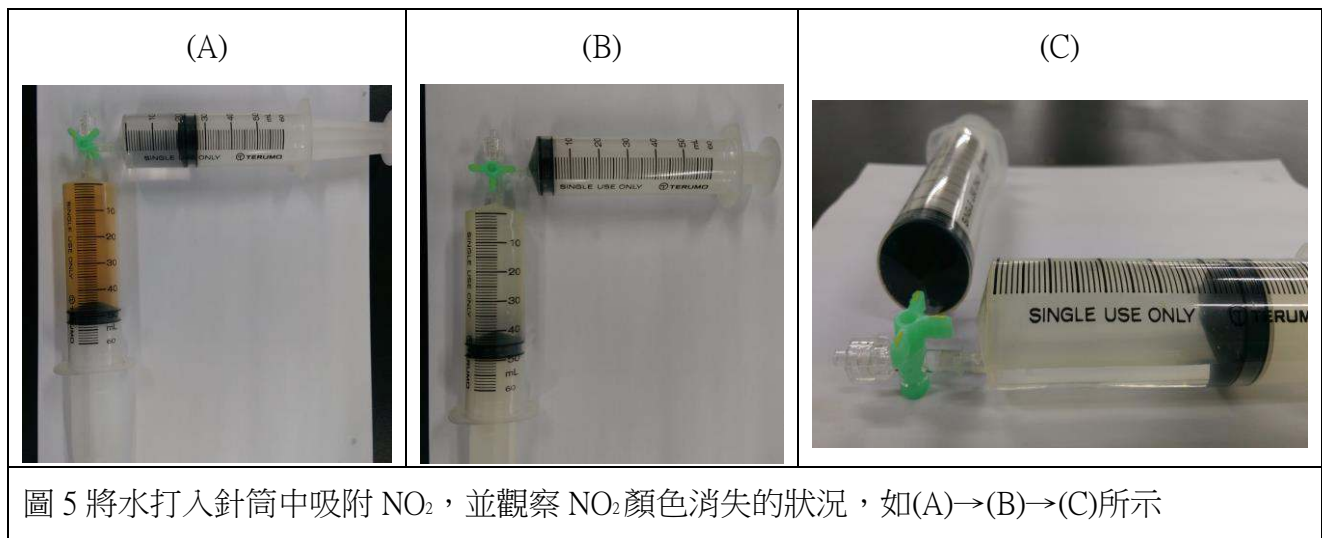
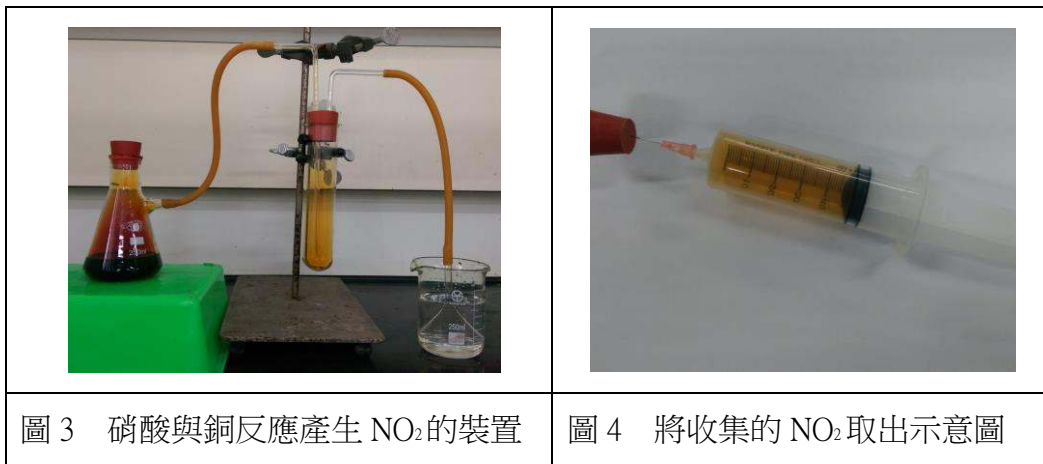
(三)實驗討論：

- 1.由實驗結果得知，隨著硝酸濃度下降，可以發現產生氣體的顏色也越淡，如圖 1 所示。
- 2.當氣體中含有 NO 時，若加入硫酸亞鐵，此時硫酸亞鐵與 NO 形成 $\text{Fe}(\text{NO})\text{SO}_4$ ，由上圖 2 可得知，有紅色的 $\text{Fe}(\text{NO})\text{SO}_4$ 生成。其反應： $\text{NO} + \text{FeSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Fe}(\text{NO})(\text{H}_2\text{O})_5]\text{SO}_4$ 。
- 3.由上述可知，在硝酸與銅片的反應過程中，除產生紅棕色的 NO_2 外，也會有 NO 的產生。因此反應過程中，不只有單一的反應形成。這個現象引起我們的好奇，因此想進一步瞭解此反應過程中產生 NO_2 及 NO 的情形。

實驗二 探討不同濃度的硝酸與銅片反應所產生 NO_2 、NO 量之比值

(一)實驗步驟：

- 1.先利用同溫度下的濃硝酸與 2 克銅片產生 NO_2 後，並用針筒進行收集。
- 2.利用三通閥連接一個裝 20mL 蒸餾水的針筒，並將水慢慢打入原本收集 NO_2 的針筒內。
- 3.觀看 NO_2 整個顏色消失後，並將內部的水擠出並加以收集備用(第一次溶液)，針筒內氣體保留並接回三通閥。
- 4.準備針筒從氧氣鋼瓶抽出純氧 40mL，並將氧氣打入前一隻有保留氣體的針筒內，並觀看內部顏色的變化。
- 5.待平衡後，重覆上述步驟，並將水重覆打入針筒中吸附 NO_2 ，觀看 NO_2 顏色消失的狀況，再次收集針筒內的溶液於另一個燒杯(第二次溶液)。
- 6.分別配製 15M、10M、5M、1M 的硝酸溶液，按照上述所有步驟重覆進行，並一樣收集反應過程中吸收 NO_2 的溶液。
- 7.將上述所收集的溶液，利用 1M NaOH 進行滴定並測量溶液內所吸附 NO_2 的含量。



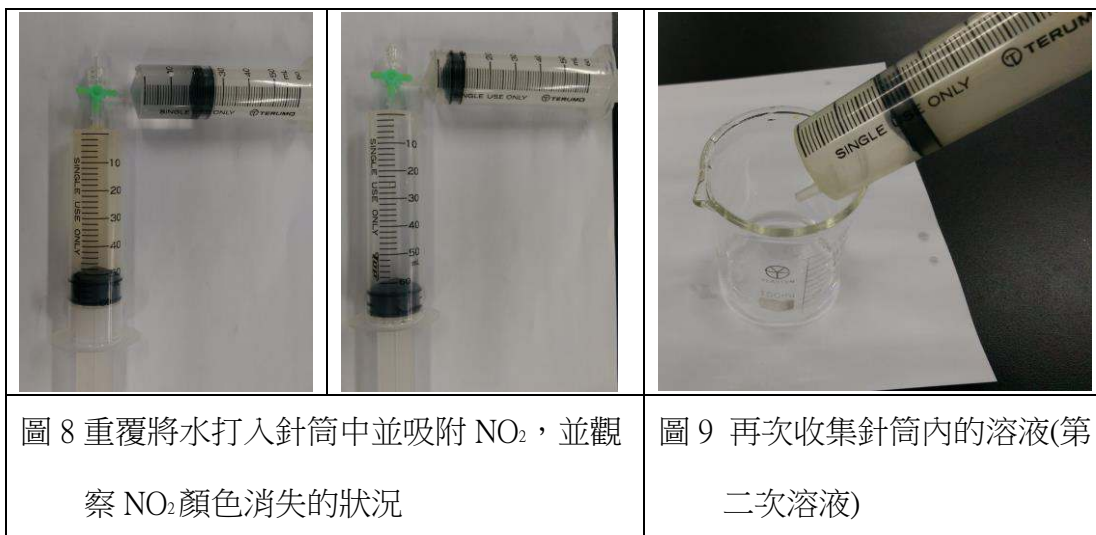


圖 8 重覆將水打入針筒中並吸附 NO₂，並觀察 NO₂ 顏色消失的狀況

圖 9 再次收集針筒內的溶液(第二次溶液)

(二)實驗結果：

表二 15°C 下，銅片分別與不同濃度硝酸反應生成之產物與 NaOH 反應的情形

硝酸濃度	第一次溶液 (NaOH 體積)	第二次溶液 (NaOH 體積)	NO ₂	NO
15M	21.5mL	12.4 mL	32.3mmol	7.8 mmol
10M	19.0 mL	12.9 mL	28.5 mmol	9.8 mmol
5M	5.1 mL	20.4 mL	7.6 mmol	28.1 mmol
1M	2.0 mL	20.2 mL	3.0 mmol	29.3 mmol

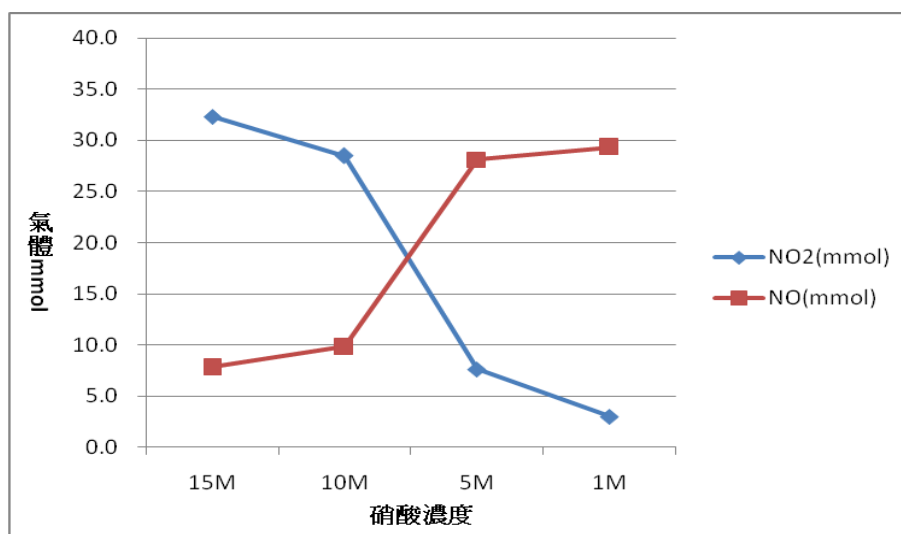


圖 10 15°C 下，不同濃度硝酸與銅片反應產生 NO₂、NO 產量關係圖

(三)實驗討論：

1. 根據資料顯示，NO₂與水反應後，可以產生 HNO₃跟 NO，方程式如右所示： $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$ ，而將 NO 通入 O₂後，可產生 NO₂，方程式如右所示： $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$ ，再次將所產生的二氧化氮加水後，再反應成 HNO₃及 NO。
2. 由上述資料可知，每個反應重覆加水或加純氧後靜置一段時間，確定至平衡後，再進行偵測。
3. 由方程式顯示： $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$ ，第一次 NaOH 所滴定的 mmole $\times(3/2)$ 即為的 NO₂含量(mmole)。而第一次反應的結果會產生 NO，再與 O₂反應再次形成 NO₂，溶於水後再次形成 HNO₃。
4. 第一次 NaOH 所滴定的 mmole $\times(1/2)$ 即為另外產生 NO 的量，再加上原本容器中 NO 的量，為第二次 NaOH 所滴定的 mmole $\times(3/2)$

因此：

- (1) 反應所產生的 NO₂=第一次 NaOH 所滴定的 mmole $\times(3/2)$
 - (2) 反應所產生的 NO=全部 NO - 第一次所產生的 NO
=第二次 NaOH 所滴定的 mmole $\times(3/2)$ - 第一次 NaOH 所滴定的 mmole $\times(1/2)$
5. 實驗結果得知，在濃硝酸中，除 NO₂紅棕色氣體外，仍有少數的 NO 產生，其比例約為 4：1。隨著硝酸的濃度越來越低，NO 產生的量也會隨著越來越高。由於硝酸的濃度變低，可發現 NO+NO₂的產量總和也隨之越來越少，而 NO 與 NO₂之比值也有增加的趨勢。

實驗三 探討不同溫度下的硝酸與銅片反應所產生 NO₂、NO 量之比值

(一)實驗步驟：

1. 按照實驗二的步驟，分別將硝酸的溫度加熱到 25℃、35℃，並重覆上述實驗，求出 NO 和 NO₂之比值。

(二)實驗結果：

表三 25°C 下，銅片分別與不同濃度硝酸反應產物，並用 NaOH 滴定情形

硝酸濃度	第一次溶液 (NaOH 體積)	第二次溶液 (NaOH 體積)	NO ₂	NO
15M	22.9mL	13.0 mL	34.3 mmol	8.0 mmol
10M	20.1 mL	13.3 mL	30.2 mmol	9.9 mmol
5M	5.7 mL	20.8 mL	8.5 mmol	28.3 mmol
1M	2.2 mL	20.6 mL	3.3 mmol	29.8 mmol

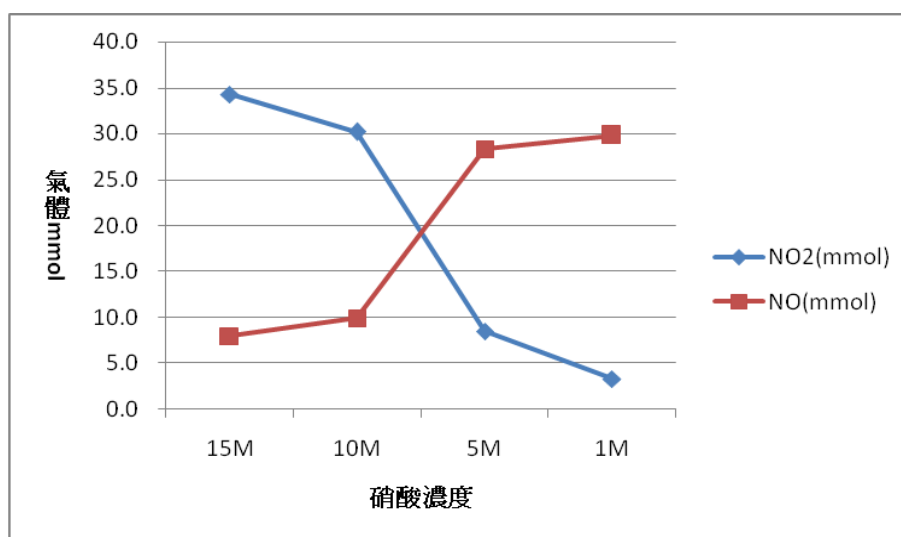


圖 11 25°C 下，不同濃度硝酸與銅片反應產生 NO₂、NO 產量關係圖

表四 35°C 下，銅片分別與不同濃度硝酸反應產物與 NaOH 反應的情形

硝酸濃度	第一次溶液 (NaOH 體積)	第二次溶液 (NaOH 體積)	NO ₂	NO
15M	24.1 mL	13.4 mL	36.1 mmol	8.1 mmol
10M	21.4 mL	13.9 mL	32.1 mmol	10.2 mmol
5M	5.9 mL	21.4 mL	8.9 mmol	29.2 mmol
1M	2.4 mL	21.9 mL	3.6 mmol	31.7 mmol

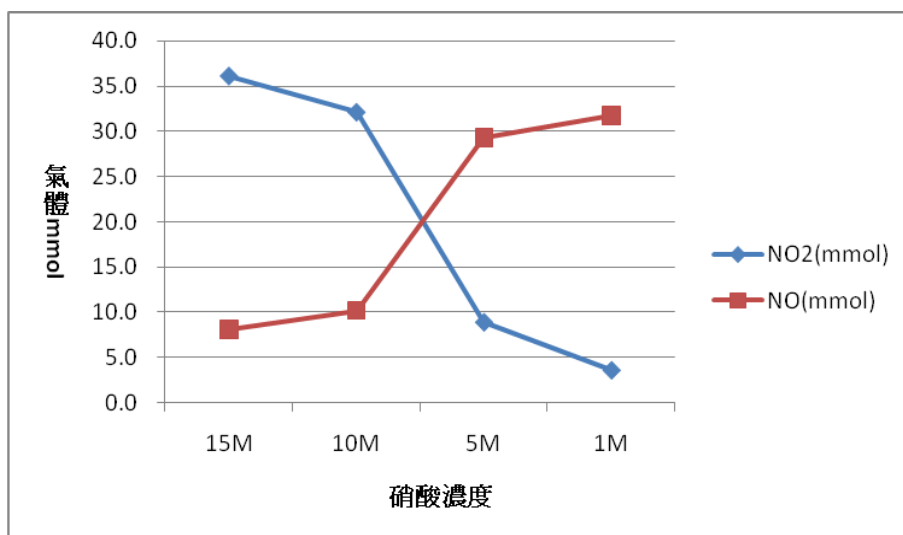


圖 12 35°C 下，不同濃度硝酸與銅片反應產生 NO₂、NO 產量關係圖

表五 在不同溫度下，銅片與不同濃度硝酸反應，其 NO₂/NO 的比值。

硝酸濃度 \ 溫度	溫度		
	35°C	25°C	15°C
15M	4.5	4.3	4.1
10M	3.1	3.1	2.9
5M	0.3	0.3	0.3
1M	0.1	0.1	0.1

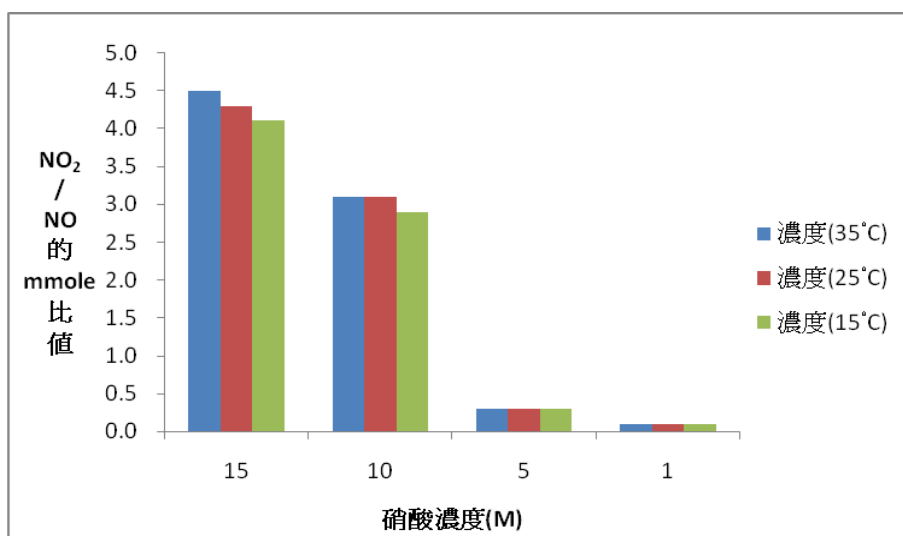


圖 13 在不同溫度下，銅片與不同濃度硝酸反應，其 NO₂/NO 比值的關係圖。

(三)實驗討論：

- 1.在不同溫度中反應的結果可得知：溫度越高，其 NO_2/NO 比值越大，而在相同濃度之下，高溫比較能增加有 NO_2/NO 的比值。
- 2.不論在那個溫度下，濃度在 5M 以下時，其產物主要以 NO 為主，為了有效得到 NO_2 的含量，我們之後實驗以 15M 的濃硝酸為製造 NO_2 的濃度。

實驗四 利用簡易裝置求出該反應的偶合率、平衡常數及反應熱

(一)實驗原理

- 1.先將裝置稱重為 W_1 ，再將裝置的針筒中拉出時，會排開一定體積的空氣而使裝置變輕，其重量為 W_2 ，並記錄其裡面體積 V_1 。在硝酸與銅片的反應其減輕的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，體積比等於莫耳數比，因此 $\frac{W_1}{28.8} : \frac{W_2}{M} = V_1 : V_2$ 。
- 2.本實驗在針筒內使銅片與 HNO_3 反應生成 NO、 NO_2 ，由於產生的 N_2O_4 部份分解成 NO_2 ，其方程式： $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 + \text{熱}$ ，當達平衡時，只要測得平衡時的平均分子量，扣除實驗三的 NO 重量，即可進一步推導出其偶合率 α 。其關係式：平均分子量 $= 46 / (1 - 1/2 \alpha)$ 。
- 3.根據解離度可進一步算出平衡常數 $K(p) = P_{\text{NO}_2}^2 / P_{\text{N}_2\text{O}_4} = 4 \alpha^2 / (1 - \alpha^2)$
- 4.依熱力學吉布士函數(Gibbs function)： $\Delta G = \Delta H - T \Delta S$ 可知：
$$\log \frac{K_2}{K_1} = \frac{\Delta H}{2.303R} \times \frac{T_2 - T_1}{T_2 \times T_1}$$
，或是由 $\log K$ 對 $1/T$ 作圖，斜率為 $\frac{\Delta H}{2.303R}$ ，即可求出反應熱 ΔH 。

(二)實驗步驟：

- 1.將空的針筒與裝置一起稱重，並將裝置的針筒拉出固定，並再次稱重，其減輕的重量為 W_1 ，其改變的體積為 V_1 。

- 2.在針筒中放入硝酸及銅片後，靜置 10 分鐘等待反應結束後，先進行稱重後，再裝內部氣體排出，並再次稱重，其減輕的重量為 W_2 、改變的體積為 V_2 。
- 3.記錄兩者的體積，並分別在 15°C 、 25°C 、 35°C 進行測定。

(三)實驗結果：

表六 在不同溫度下，其偵測裝置的重量與體積的情形

溫度($^\circ\text{C}$)	硝酸濃度	$W_1(\text{g})$	$V_1(\text{mL})$	$W_2(\text{g})$	$V_2(\text{mL})$	平均分子量
15	15M	0.061	50	0.120	43	66.07
25	15M	0.059	51.7	0.120	47	64.41
35	15M	0.057	53.5	0.125	54	62.44

表七 在不同溫度下， N_2O_4 與 NO_2 的偶合率與平衡常數的關係

溫度($^\circ\text{C}$)	硝酸濃度(M)	平均分子量	扣除實驗三NO之後的平均分子量	偶合率 α	$\text{N}_2\text{O}_4/\text{NO}_2$ 比值	平衡常數 K
15	15	66.07	80.1	0.85	2.83	0.090
25	15	64.41	77.9	0.82	2.28	0.135
35	15	62.44	75.6	0.78	1.77	0.198

表八 在不同溫度下， $1/T$ 與 $\log K$ 的關係

溫度($^\circ\text{C}$)	溫度(K)	K	$\log K$	$1/T(1/\text{K})$
15	288	0.09	-1.0458	0.0035
25	298	0.135	-0.8697	0.0034
35	308	0.198	-0.7033	0.0032

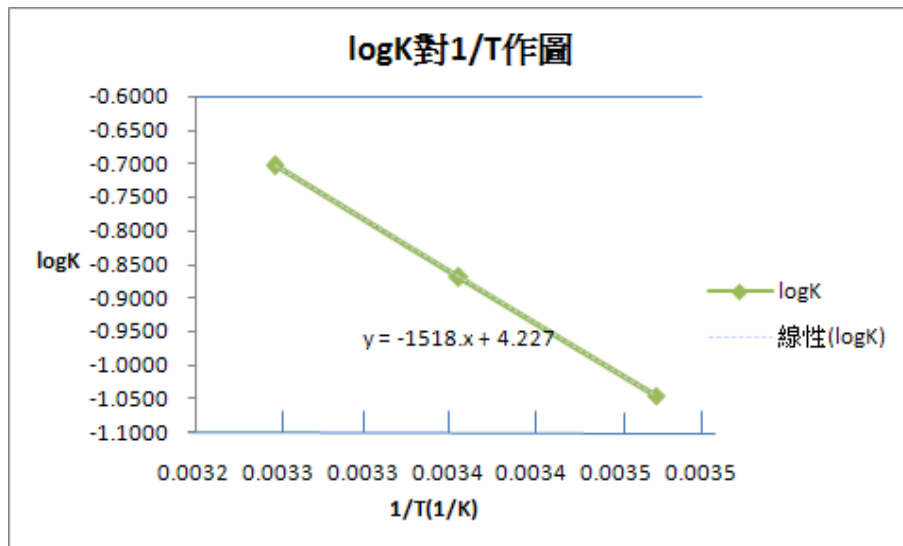


圖 14 在不同溫度下，logK 與 1/T 的關係

(三)實驗討論：

- 1.溫度越高，其平均分子量越小，由方程式 $\text{N}_2\text{O}_4 + \text{熱} \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ 可知，增加溫度時 N_2O_4 受熱會分解成 2NO_2 。
- 2.本實驗測 NO_2 的偶合率 α 約為 0.8。
- 3.依 logK 對 1/T 作圖，斜率為 -1518，即可求出反應熱 $\Delta H = -29.1 \text{ kJ/mole}$ ，而文獻值為 -57.2 kJ/mole ，表示本實驗能測出反應熱，而誤差的部分可能要再進一步探討。

實驗五 在 NO₂ 存在下，探討不同雙氧水及赤血鹽濃度對魯米諾的發光影響

相關知識：

魯米諾Luminol(C₈H₇N₃O₂)為冷光試劑。在鹼性水溶液中，魯米諾可被催化劑氧化成激發態分子，此分子隨後放光回到基態。最強的放射波長大約在425nm，放射光為藍色，並有氫及水等副產物產生。

目的：

- 一、探討在NO₂下，其魯米諾的發光情形
- 二、探討在NO₂下，不同雙氧水的濃度對魯米諾發光的影響
- 三、探討在NO₂下，不同K₃Fe(CN)₆的濃度對魯米諾發光的影響

(一)實驗步驟：

- 1.準備兩液體：A 液，配製 10⁻³M 之魯米諾溶液

2mL(魯米諾 0.1 克+2 克 NaOH 加水至 500mL)。B 液:(0.1M K₃Fe(CN)₆ 0.5mL +0.01H₂O₂ 0.5mL)備用。

- 2.以滴管吸取 B 液滴入 A 管，測量其反應發光的情形並紀錄之。
- 3.在 B 液中打入過量 NO₂ 氣體，並以滴管吸取 B 液滴入 A 管，測量其反應發光的情形。
- 4.改變不同雙氧水的濃度，配製成新的 B 液(0.01M K₃Fe(CN)₆ 0.5mL+各濃度 H₂O₂ 0.5mL)，打入過量 NO₂ 氣體，並吸取新的 B 液，加入 A 液中，測量其反應發光的情形。
- 5.改變不同 K₃Fe(CN)₆ 的濃度，配製成新的 B 液(各濃度 K₃Fe(CN)₆0.5mL+ 0.1MH₂O₂



圖14 魯米諾



圖15 魯米諾溶液

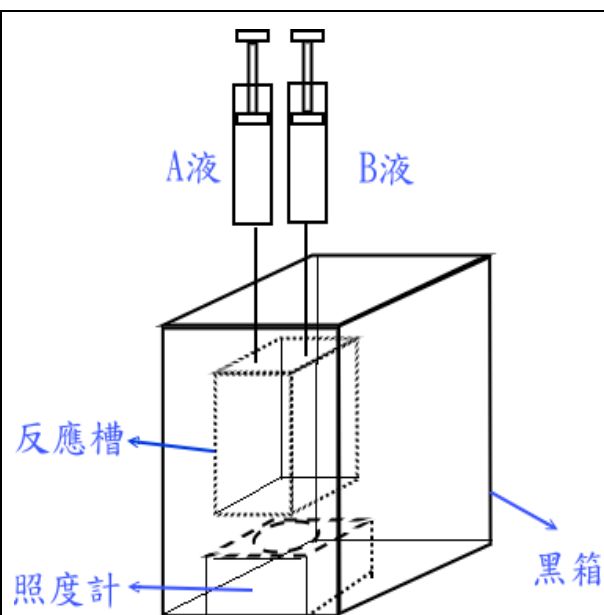


圖16 偵測照度的儀器示意圖

0.5mL)，打入過量 NO₂ 氣體，並吸取新的 B 液，加入 A 液中，測量其反應發光的情形。

(二)實驗結果：

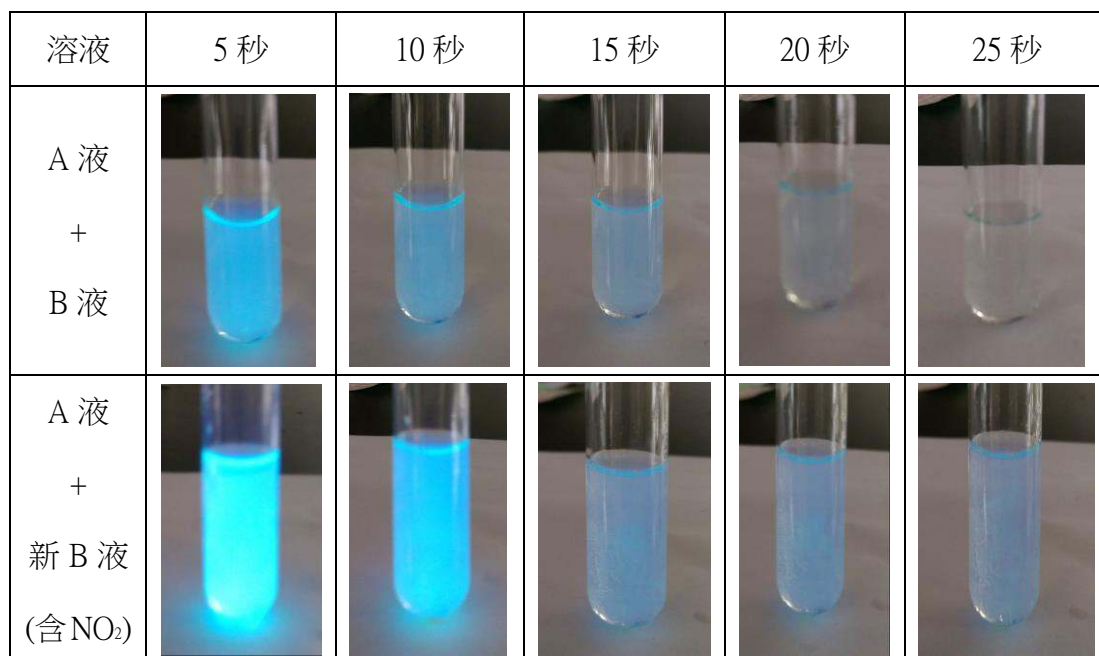


圖 17 有無 NO₂ 下，其魯米諾的發光情形

表六 在不同雙氧水的濃度下，魯米諾最大照度與總發光時間關係表

雙氧水濃度(M)	最大照度(lux)	時間(秒)
2	0.01	4.5
1	0.45	11.3
0.5	0.84	24.5
0.1	1.13	20.4
0.05	1.04	17.8
0.01	0.92	16.5

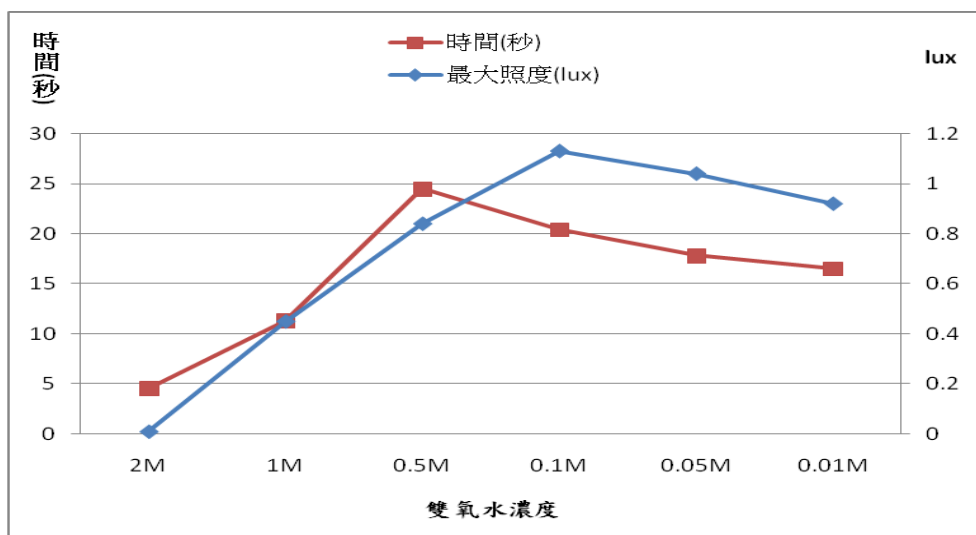


圖 18 在不同雙氧水的濃度下，魯米諾最大照度與總發光時間關係圖

表七 在不同 $K_3Fe(CN)_6$ 的濃度下，魯米諾最大照度與總發光時間關係表

$[K_3Fe(CN)_6]$ (M)	最大照度(lux)	時間(秒)
0.25	1.61	4.7
0.2	1.57	8.7
0.15	1.68	50.3
0.1	1.56	55.0
0.05	1.48	48.3
0.01	0.45	22.6

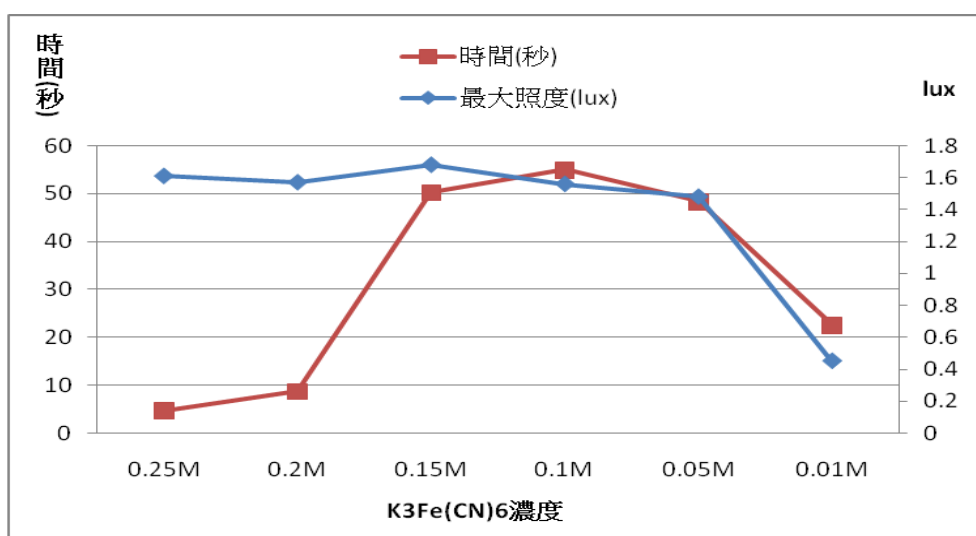


圖 19 在不同 $K_3Fe(CN)_6$ 的濃度下，魯米諾最大照度與總發光時間關係圖

(三)實驗討論：

- 1.在魯米諾打入過量 NO_2 氣體，由實驗發現，魯米諾在發光的亮度及總發光時間都有增長的現象，試想可以使用魯米諾來偵測 NO_2 氣體的含量。
- 2.在不同的 H_2O_2 濃度中，研究發現在 0.1M 的 H_2O_2 濃度時，魯米諾有較大的發光亮度，而在 0.5M 的 H_2O_2 濃度下其總發光時間最長。
- 3.在不同的 $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 濃度中，研究發現在 0.15M 的 $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 濃度時，魯米諾有較大的發光亮度，而在 0.1M 的 $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 濃度下其總發光時間最長。
- 4.因此，我們選用 0.1M H_2O_2 及 0.1M 的 $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 作為後面偵測的條件。

實驗六 探討不同濃度、pH 值的魯米諾及亞硫酸鹽溶液對魯米諾的發光影響

目的：

- 一、探討在 NO_2 下，不同濃度的魯米諾濃度對其發光的影響
- 二、探討在 NO_2 下，不同的 pH 值下對魯米諾其發光的影響
- 三、探討在 NO_2 下，加入不同濃度的亞硫酸鹽對魯米諾發光的影響

(一)實驗步驟：

- 1.在 A 液(2 克 NaOH 加水至 500mL)中配製不同濃度之魯米諾溶液 2mL，在 B 液(0.1M $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0.5mL+0.1 M H_2O_2 0.5mL)中打入過量 NO_2 氣體後，以滴管吸取 B 液滴入 A 管，測量其反應發光的情形。
- 2.在 C 液(10^{-3} M 魯米諾)中配製不同濃度的 NaOH ，在 D 液(0.1M $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0.5mL+0.1 M H_2O_2 0.5mL)中打入過量 NO_2 氣體後，以滴管吸取 D 液滴入 C 管，測量其反應發光的情形。
- 3.在 E 液(10^{-3} M 魯米諾+0.1M NaOH)加不同濃度的亞硫酸鹽，在 F 液(0.1M $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0.5mL+0.1 M H_2O_2 0.5mL)中打入過量 NO_2 氣體後，以滴管吸取 F 液滴入 E 管，測量其反應發光的情形。

(二)實驗結果：

表八 在不同魯米諾的濃度下，魯米諾最大照度與總發光時間關係表

魯米諾濃度(M)	最大照度(lux)	時間(秒)
0.01	1.62	17.5
0.005	2.27	33.6
0.001	2.32	43.5
0.0005	1.57	55.3
0.0001	0.81	48.6

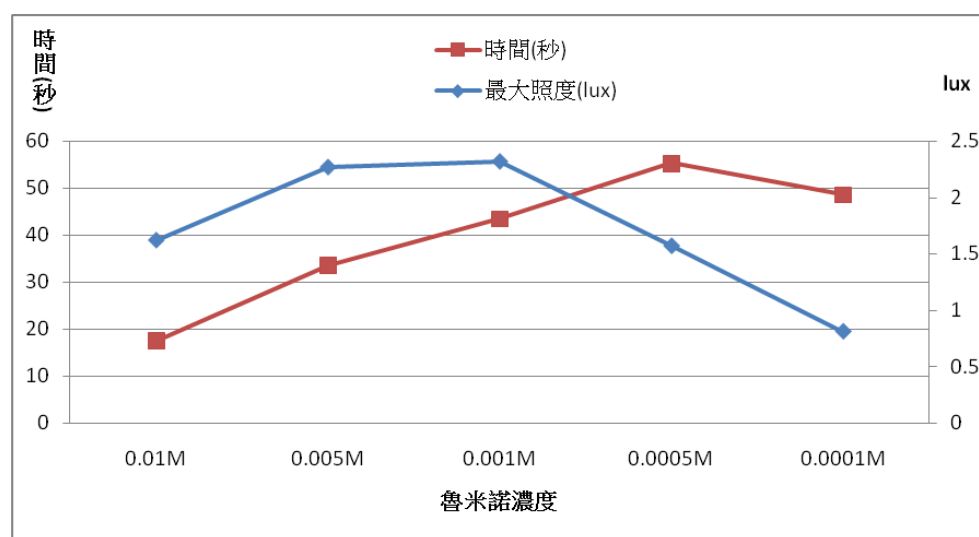


圖 20 在不同魯米諾的濃度下，魯米諾最大照度與總發光時間關係圖

表九 在不同 pH 值下，魯米諾最大照度與總發光時間關係表

pH 值	最大照度(lux)	時間(秒)
14	0.56	3.5
13	2.31	47.3
12	1.92	45.7
11	1.32	46.5
10	1.35	41.3

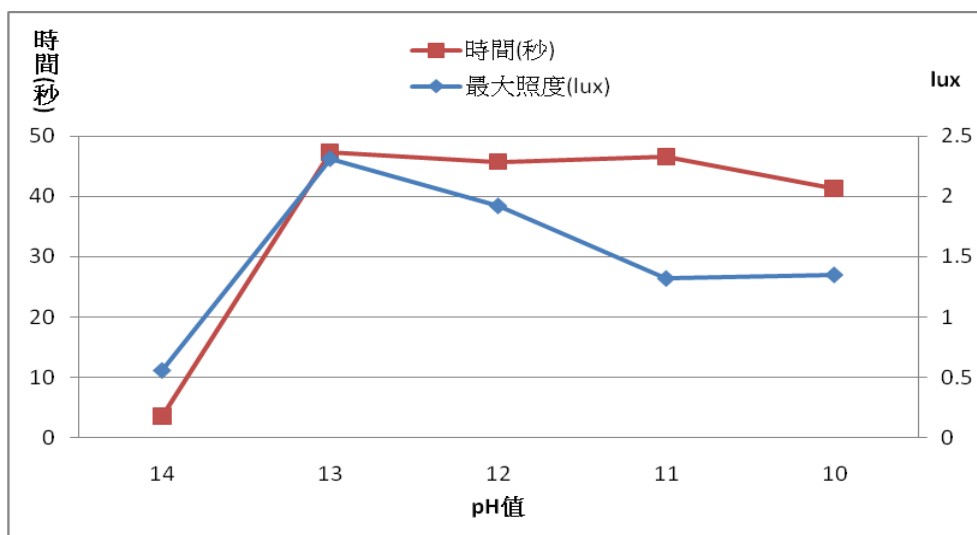


圖 21 在不同 pH 值下，魯米諾最大照度與總發光時間關係圖

表十 在不同亞硫酸鹽的濃度下，魯米諾最大照度與總發光時間關係表

亞硫酸鹽濃度(M)	最大照度(lux)	時間(秒)
0.2	0.54	2.3
0.08	1.71	47.2
0.04	2.45	67.5
0.02	2.47	63.5
0.01	2.36	33.2
0.005	2.31	20.3

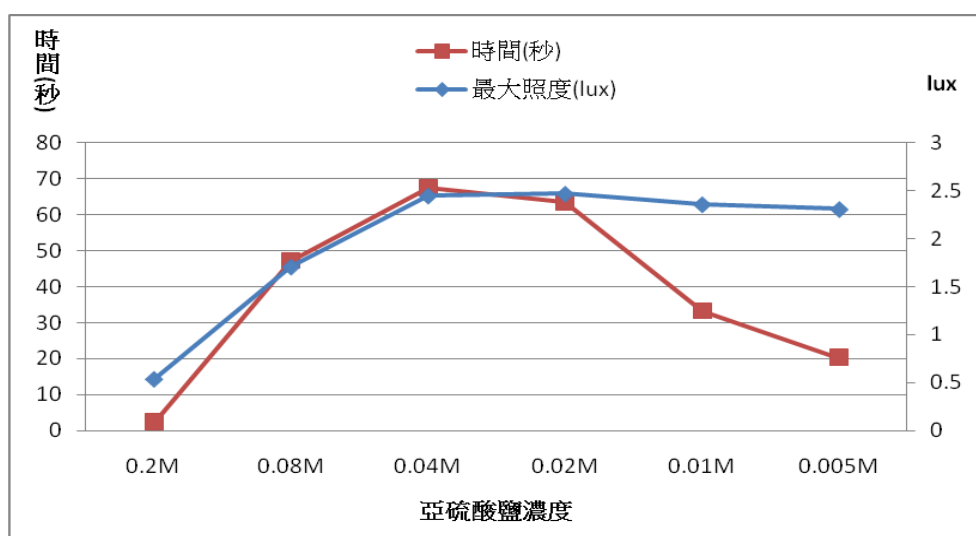


圖 22 在不同亞硫酸鹽的濃度下，魯米諾最大照度與總發光時間關係圖

(三)實驗討論：

- 1.在不同的魯米諾濃度中，研究發現在 0.001M 的 H_2O_2 濃度時，魯米諾有較大的發光亮度，而在 0.0005M 的魯米諾濃度下其總發光時間最長。
- 2.在不同的 pH 值下，研究發現在 pH 值=13 時，魯米諾有較大的發光亮度，而在 pH=11-13 間，其總發光時間較長。
- 3.在加入亞硫酸鈉時，在低濃度的亞硫酸鹽存在下， NO_2^- 可催化 $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 讓反應時間增長，但過高的亞硫酸鹽可能有其他的還原反應，造成發光的效果不好。
- 4.我們將反應後的溶液分別加入 Fe^{3+} 及 Fe^{2+} ，後果發現，只有加入 Fe^{3+} 時，溶液會產生藍色 $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ 沉澱，表示 $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 催化劑在反應過程中會產生 $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 黃血鹽(溶液呈現黃色)。另取溶液加入 KSCN 及 NaOH 後也無任何反應，表示無 Fe^{3+} 及 Fe^{2+} 的形成。因此，當 $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 使用完後，則魯米諾也無法再度發光。
- 5.若是在 H_2O_2 不足量下，過量的 $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 易將光敏靈氧化而消耗殆盡，造成發光效果不佳。所以 H_2O_2 、 $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 適量的比例會有最大的發光效果，而在 SO_3^{2-} 及 NO_2^- 存在下，發光效果較佳。

實驗七 自製簡易儀器，探討偵測魯米諾在 NO₂ 及亞硫酸鹽存在下，比較其發光的影響，並偵測其電阻值

(一) 實驗步驟：

1. 自製簡易儀器，利用光敏電阻、三用電錶、暗箱及反應槽，製作簡易的偵測儀器，如圖 23 所示。並測量下列步驟的反應過程中，其電阻值的變化。
2. 反應槽放入 A 液(10⁻³M 魯米諾+2 克 NaOH 加水至 500ml)2mL，以不同滴管分別吸取 B 液(0.1M K₃Fe(CN)₆ 0.5ml+0.1 M H₂O₂ 0.5mL)與 C 液(配製不同濃度的亞硝酸鈉 1mL)，同時滴入反應槽，測量其反應發光的情形，並繪製檢量線。

(二) 實驗結果：

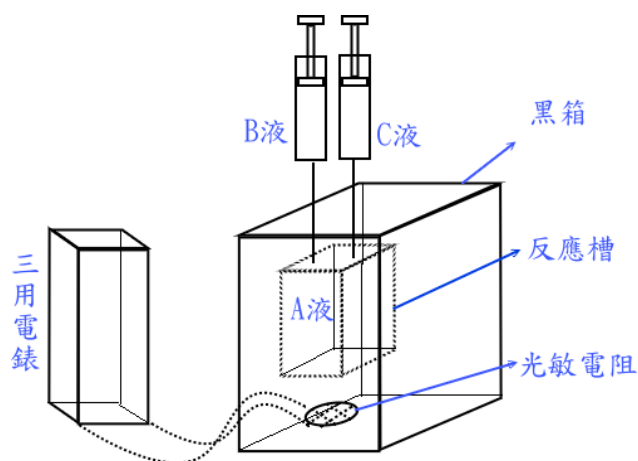


圖 23 自製簡易儀器示意圖

表十一 不同濃度的 NaNO₂ 下，對魯米諾發光及其電阻值差異

NaNO ₂ 濃度 (×10 ⁻² M)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
電阻值(kΩ)	0.851	0.851	0.834	0.935	1.123	1.543	2.68	4.73	6.52	7.53
NO ₂ 濃度(ppm)	24.4	24.4	25.1	22	18.8	15.6	12.5	9.4	6.3	3.1

NaNO ₂ 濃度 (×10 ⁻³ M)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
電阻值(kΩ)	7.53	22.2	37.6	48.8	63.4	72.6	81.4	88.9	91.4	95.2
NO ₂ 濃度(ppm)	3.14	2.82	2.51	2.2	1.88	1.56	1.25	0.94	0.63	0.31

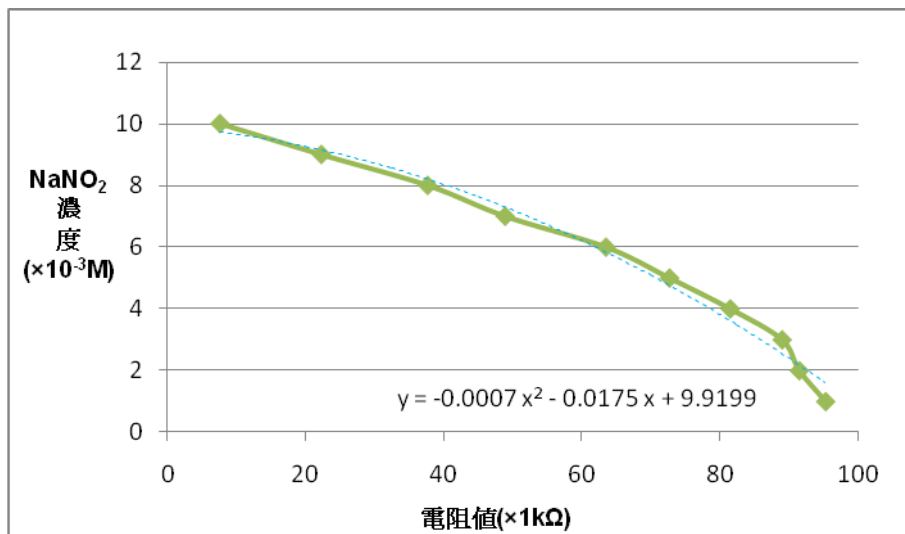
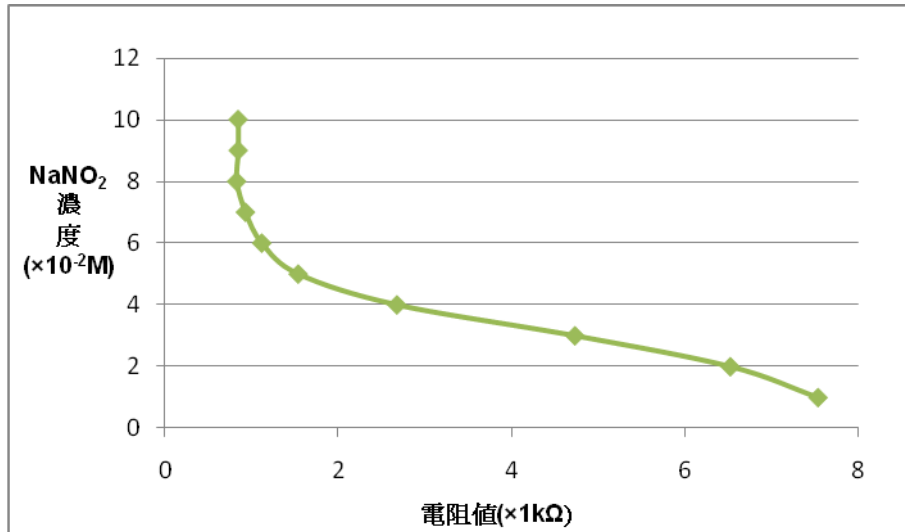


圖 24 不同濃度的 NaNO₂ 下，對魯米諾發光並偵測其電阻值差異

(三)實驗討論：

- 1.本實驗找出最佳偵測 NO₂⁻ (亞硝酸鹽)的魯米諾溶液，並配合簡易自製儀器進行偵測，結果發現其關係式為：

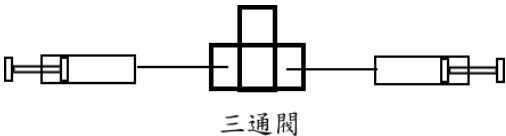
高濃度：利用內插法，可偵測[NO₂⁻]範圍：25.1ppm-3.1ppm

低濃度： $[\text{NO}_2^-] = -0.0007 \times [\text{電阻值}]^2 - 0.0175 \times [\text{電阻值}] + 9.9199$ ，可偵測 $[\text{NO}_2^-]$ 範圍：
3.14ppm-0.63ppm

2. 實驗結果得知，當 NO_2^- (亞硝酸鹽) 的濃度越高，魯米諾溶液的發光強度越強。因此，光敏電阻所偵測到的電阻值則是越低，呈一負相關。

實驗八 探討自製儀器分別偵測不同地區 NO_2 的濃度

(一) 實驗步驟：

1. 在安全的考量上，我們在抽風櫥進行實驗。
2. 分別從 15M 硝酸與銅反應製備 NO_2 中，抽取 NO_2 備用，分別取出兩隻針頭備用，一隻用 NaOH 滴定以求濃度，另一隻用三通閥調整濃度，並以 N_2 稀釋至適當濃度。

3. 先加入 A 液(10^{-3}M 魯米諾+2 克 NaOH 加水至 500ml) 2mL 於儀器中，並將稀釋後的針頭以不同的速度打入儀器中，再加入 B 液(0.1M $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0.5ml+0.1 M H_2O_2 0.5mL) 測量魯米諾發光的情形，並記錄之。
4. 利用打氣泵、空氣調節器及止逆閥，製作打氣裝置，並調整打氣體每秒打入 1mL。
5. 分別收集不同地區空氣並分別以打氣裝置打入自製儀器進行偵測，並測量 30 秒及 300 秒並進行偵測。

(二) 實驗結果：

1. 30mL 的 NO_2 需要 NaOH 滴定的體積為 25.2mL = 37.8mmole = 1.739 克，換算出每 mL 有 0.058 克，而配製 30ppm ($D=1.95\text{g/L}$)，在 30mL 下，其 NO_2 重量為 $0.9 \times 1.95 / 1000 \text{ g} = 1.76 \times 10^{-3} = 0.000176\text{g}$ ，所以先取 1mL 稀釋到 11mL 後，再取 1mL 稀釋到 30mL，得到 1ppm。
2. 分別以 1ppm 取出 4L、3L...，得到 4ppm、3ppm... 以此類推。

表十二 打入 NO₂ 體積(30mL)後，用自製儀器偵測其電阻值與濃度關係

NO ₂ 濃度	4ppm	3ppm	2ppm	1ppm	0.5ppm
電阻值(Ω)	7.230	18.20	57.1	85.1	93.1
用自製儀器偵測的 ppm	4.05 ppm	2.94 ppm	2.08 ppm	1.06 ppm	0.70ppm
誤差%	+1.25%	-1.93%	+4.22%	+5.54%	+39.6%

表十三 偵測不同地點打入 NO₂ 體積後，用自製儀器偵測其電阻值與濃度關係

用自製儀器偵測的地點		公園	馬路	遂道	機車排氣管 (稀釋 10 倍)
環保署資料(2015.2.7)		0.027 ppm	0.029 ppm	2.7 ppm	22.0 ppm
30 秒	電阻值(Ω)	95.1	94.9	28.7	64.5
	ppm	零檢出	零檢出	2.78 ppm	1.85 ppm

(三)實驗討論：

- 1.本實驗利用滴定法檢驗 NO₂ 氣體濃度，並比較在自製儀器在打入 NO₂ 氣體時，其偵測 NO₂ 氣體濃度的差異。結果發現，電阻值 88.9(Ω)以上，為本儀器的偵測極限，故在 NO₂ 在此氣體濃度時為零檢出，NO₂ 氣體濃度則在其在 0.94ppm 以下
- 2.當 NO₂ 氣體濃度 3ppm 以上時，電阻值變化較少，在 25.1 ppm 以上時，則其發光強度會減少，故不適合在 25.1ppm 以上偵測。
- 3.因此，本儀器採用兩種方式進行偵測，以每秒打 1mL，共打入 30 秒及 300 秒的時間，這樣可以降低偵測極限，以偵測微量 NO₂ 氣體濃度。而 NO₂ 氣體濃度產生的電阻值太高，則稀釋 10 倍，再進行檢測，可以精確偵測 NO₂ 氣體濃度。
- 4.我們找了市面上一些地區，進行偵測 NO₂ 氣體濃度的存在。結果發現，機車排氣管有較大的 NO₂ 氣體的濃度，主要是空氣中的氧氣及氮氣在引擎中易生成 NO 氣體，再與空氣中的氧氣結合形成 NO₂ 氣體。但由於濃度較高，所以我們減少氣體的打氣量，以利儀器的偵測。

5.通常一般地區，所偵到的 NO₂ 濃度應該都是屬於空氣的背景值，無較大的差異性，而隧道中的車輛多，空氣流通不易，而且 NO₂ 氣體也比空氣重，所以存在 NO₂ 氣體的含量較多。

陸、討論與結論

- 一、由實驗一及實驗二的結果可知，15M 濃硝酸除了與銅片反應產生 NO₂ 以外，仍會有 NO 產生。其中 NO 的含量隨著硝酸濃度降低，而逐漸增加的驅勢。
- 二、除了硝酸的濃度會影響產生 NO₂ 和 NO 之比值外，隨著反應的溫度越高，其 NO₂/NO 比值也越大。不論任何溫度下(15°C ~ 35°C)，濃度 5M 以下的硝酸與銅片反應，其產物主要以 NO 為主。濃度 10M 以上的硝酸與銅片反應，其產物主要以 NO₂ 為主。
- 三、為了有效偵測 NO₂，實驗五與實驗六利用化學冷光試劑魯米諾偵測 NO₂ 氣體濃度。並自製簡易偵測 NO₂ 儀器，找出最佳偵測 NO₂ 氣體濃度的最佳條件。
- 四、反應後的溶液 K₃Fe(CN)₆ 催化劑在反應過程中會產生 K₄Fe(CN)₆ 黃血鹽。當 K₃Fe(CN)₆ 使用完後，則魯米諾也無法再度發光。而若是在 H₂O₂ 不足量下，過量的 K₃Fe(CN)₆ 易將光敏靈氧化而消耗殆盡，造成發光效果不佳。因此，除了 H₂O₂、K₃Fe(CN)₆ 有適量的比例會有最大的發光效果外，在 SO₃²⁻ 及 NO₂ 存在下，也可避免過量的 K₃Fe(CN)₆ 將光敏靈消耗殆盡，造成發光效果不佳。
- 五、本實驗找出最佳偵測 NO₂⁻ (亞硝酸鹽)的魯米諾溶液，並配合簡易自製儀器進行偵測，結果發現其關係式為：
高濃度：利用內插法，可偵測[NO₂⁻]範圍：25.1ppm-3.1ppm 。
低濃度： $[NO_2^-] = -0.0007 \times [\text{電阻值}]^2 - 0.0175 \times [\text{電阻值}] + 9.9199$ 。
當 NO₂⁻ (亞硝酸鹽)的濃度越高，魯米諾溶液的發光強度越強。
- 六、本儀器採用兩種方式進行偵測，以每秒打 1mL，打入 30 秒，這樣可以降低偵測極限，以偵測微量 NO₂ 氣體濃度。而 NO₂ 氣體濃度產生的電阻值太高，則稀釋 10 倍，再進行檢測，可以精確偵測 NO₂ 氣體濃度。

柒、參考資料

- 一、國中自然與生活科技 2 下課本。第 2 章氧化還原、第 4 章反應速率。康軒文教事業。
- 二、曹松青著(2011)。生活中不可不知的物理化學常識。讀品文化。
- 三、杜逸虹著(2003)。物理化學。三民出版社。
- 四、Qingjiang Yu(1997).A simple determination of the NO_2 dimerization equilibrium constant.Journal of Chemical Education.Vol. 74. No.2.p233-234.
- 五、魯米諾。維基百科(Wikipedia)。取自：
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%B2%81%E7%B1%B3%E8%AF%BA>。
- 六、蔡穎(2014 年 12 月 17 日)。中國霾害南移，中南部空氣品質糟。自由時報電子報。取自：
<http://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1183323>。

【評語】 030206

以簡易裝置進行二氧化氮含量之檢測並探討簡單動力學。實驗結果能反應所提構思，若能在操作上進一步詳細說明更佳。整體而言，簡單實驗卻能具基礎與實用目的。