

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

探究精神獎

030213

消失的十字架

學校名稱：高雄市立瑞豐國民中學

作者： 國二 蔡佳欣 國二 陳敬元	指導老師： 謝正剛 蔡尚真
-------------------------	---------------------

關鍵詞：奈米硫沉澱、化學反應速率、光敏電阻

摘要

關於硫代硫酸鈉與鹽酸的硫沉澱反應，我們收集及參考國內外許多的研究文獻後，文獻中提到奈米硫沉澱的產生，其原因是硫代硫酸根中的硫原子進行自身氧化還原反應所致，其中在動力學的研究中提及，在硫代硫酸鈉與鹽酸的反應中，硫代硫酸鈉濃度對反應速率的影響較為顯著，在反應級數上硫代硫酸鈉為一級反應，鹽酸為零級反應，我們因此假設，鹽酸的濃度對於反應速率的影響有限，因此我們想知道一般的條件下，硫代硫酸鈉與鹽酸在反應中所扮演的角色及對反應速率的影響的程度，此外溫度的變異與反應速率的變化也是我們有興趣的研究課題。

本研究利用 Microsoft Excel 與自行設計組裝 Arduino 偵測與計時器，進行硫代硫酸鈉和鹽酸反應速率的實驗，進一步由化學反應速率數據，計算反應物的反應級數與速率常數，探討各項變因對於反應速率的影響。

壹、研究動機

在國二下學期理化第 4 章「反應速率與平衡」的內容中，提及並討論了許多影響化學反應速率的因素。其中，課本引用了硫代硫酸鈉和鹽酸產生硫沉澱反應的實驗，我們發現：判斷實驗是否達到反應終點並停止計時方式，僅是利用在白紙上畫一個十字及碼表計時，觀察者僅憑藉肉眼觀察所產生的硫沉澱是否遮住十字，然後停止計時紀錄時間，在科學測量的觀念上，我們認為以感官所測得的結果不夠準確並且過於主觀，不同觀察者所測得之值相差明顯，造成實驗數據再現性及信賴信不足，如果想對實驗的結果做進一步的討論與計算，因為測量的誤差頗大而難以達成。

為此，我們團隊希望能找出更精確並能夠盡量排除人為觀察誤差的測量的方式，獲取更精確、再現性高的實驗數據來進行分析。近年來各項微控制器(MCU)蓬勃發展，取得容易且成本不高，我們發現近年來所流行 Arduino 套件是一個很好的解決方案，因其具有價廉、開放性高與社群支持的特點，除此之外有許多感測器都對 Arduino 提供支援，讓我們可以有種選擇，因此我們決定使用 Arduino 套件來開發一套協助實驗測量時間並感測沉澱量，並得知實驗是否完成的裝置，利用它來協助我們進行實驗並取得數據，進一步討論硫代硫酸鈉和鹽酸反應中，反應物溶液濃度、反應溫度對反應反應速率的影響。

貳、研究目的

- 1.利用硫代硫酸鈉和鹽酸反應與我們所設計的量測工具，討論及分析該反應中各項變因(反應物溶液濃度、反應溫度)，對反應反應速率的影響。
- 2.計算出該反應的反應級數、速率常數及導出速率定義式。

參、研究設備及器材

一、化學實驗儀器類:

1.	500 ml 量瓶	2.	燒杯	3.	錐形瓶
4.	吸量管	5.	安全吸球	6.	試管
7.	試管架	8.	溫度計	9.	電子天平
10.	括勺	11.	酒精燈	12.	陶瓷纖維網
13.	鐵架				

二、化學藥品類:

1.	硫代硫酸鈉	2.	6M 鹽酸	3.	蒸餾水
----	-------	----	-------	----	-----

三、感測器與軟體:

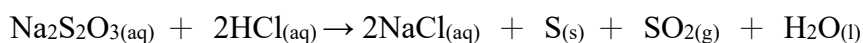
1.	Arduino mega 開發版	2.	光敏電阻感測模組 X 5
3.	麵包板	4.	LCD 螢幕
5.	按鈕開關 X 2	6.	杜邦線與跳線組
7.	筆記型電腦	8.	Arduino IDE 與 Excel 軟體

肆、研究過程與方法

(一)原理探討:

1.化學反應速率原理:

(1).硫代硫酸鈉和鹽酸的反應方程式：



其中硫代硫酸鈉在酸性環境下，硫代硫酸根本身所進行自身氧化反應，產生奈米級不透光的硫固體。

(2).關於影響反應速率的因素包含有：「物質的本性」、「濃度」、「接觸面積」、「溫度」及「催化劑」等等，以上所有的因素均可以碰撞學說模型加以解釋。

(3).碰撞學說模型:一個化學反應能否發生？決定於粒子間是否有機會發生碰撞，碰撞時是否為有效的碰撞，然而有效碰撞的條件在於碰撞粒子間彼此是否具有足夠的能量(撞得夠猛)及正確的位向(撞對地方)，本實驗實驗的反應物均為溶液態，彼此均勻混合，屬於一種勻相反應，以碰撞學說模型，若環境中反應物分子碰撞頻率愈高，反應速率就可能愈快。在本次實驗中，我們主要就「濃度」與「溫度」兩大因素做為探對象:

I.濃度因素:在固定的體積的系統中，若反應物的分子數目越多，濃度即越大，

我們發現反應速率和反應物濃度某次方成正比，亦即在勻相反應中，增大反應物的濃度，就能夠增加反應物分子彼此的碰撞頻率，進而增大有效碰撞頻率，而次方關係極為反應物的反應級數，級數無法由反應是直接看出來，必須由實際的實驗數據加以估算求得。

II.溫度因素:當分子所在環境溫度升高時，主因是分子的平均動能增加，分子的平均速率也因而增加，因此也導致了以下兩種狀況隨之發生:

- i.分子移動平均速率增加，引致分子彼此碰撞的或然率亦隨之提升。
- ii.分子的平均動能增加，使得反應物分子中超越低限能分子數增加，能量足夠分子數也因此增加。

綜合以上兩種效應，直接導致反應物分子間彼此發生有效碰撞的機率大大提升，故反應速率加快。

2.量測工具發想與應用原理:

(1.)實驗誤差的來源觀察:誠如在研究動機所提，在課本實驗中針對反應終點所使用之判斷方式，我們認為不夠客觀，誤差可能頗大，不同觀測者所觀測的數據的差異可能也會極為明顯，我們針對反應終點方式進行了觀察幾討論後，認為實驗的誤差可能來自於下面兩點:

- I.白紙上十字架是否被硫沉澱遮蔽的判斷:因為實驗中有各種不同的條件，沉澱的產生量亦有不同，在不同的觀測者的判斷上可能會有很大的歧異，在多組長時間的實驗時，對觀察者也造成很大的負擔，造成誤差。
- II.碼表的控制:在到達實驗終點時，按停碼表的時機常常不一致，造成計時上的誤差。

(2.)為了改善上述兩個問題，我們在量測工具上設定了兩個方針:

- I.具有碼錶功能並可顯示時間。
- II.能夠以相同的條件判斷反應的終點並自動停止計時。

(3.)就上述所需具備的功能，我們選擇使用Arduino mega板作為我們自製偵測器的基礎，主要原因如下:

- I.低成本且開源，不需要特別的軟體支出。
- II.有許多感測器支援，並備有許多已完成函式庫支援。
- III.程式寫作難度不至於太困難，網路上有很多社群可彼此交換心得，一般無經驗的新手也能透過社群支持而入門。

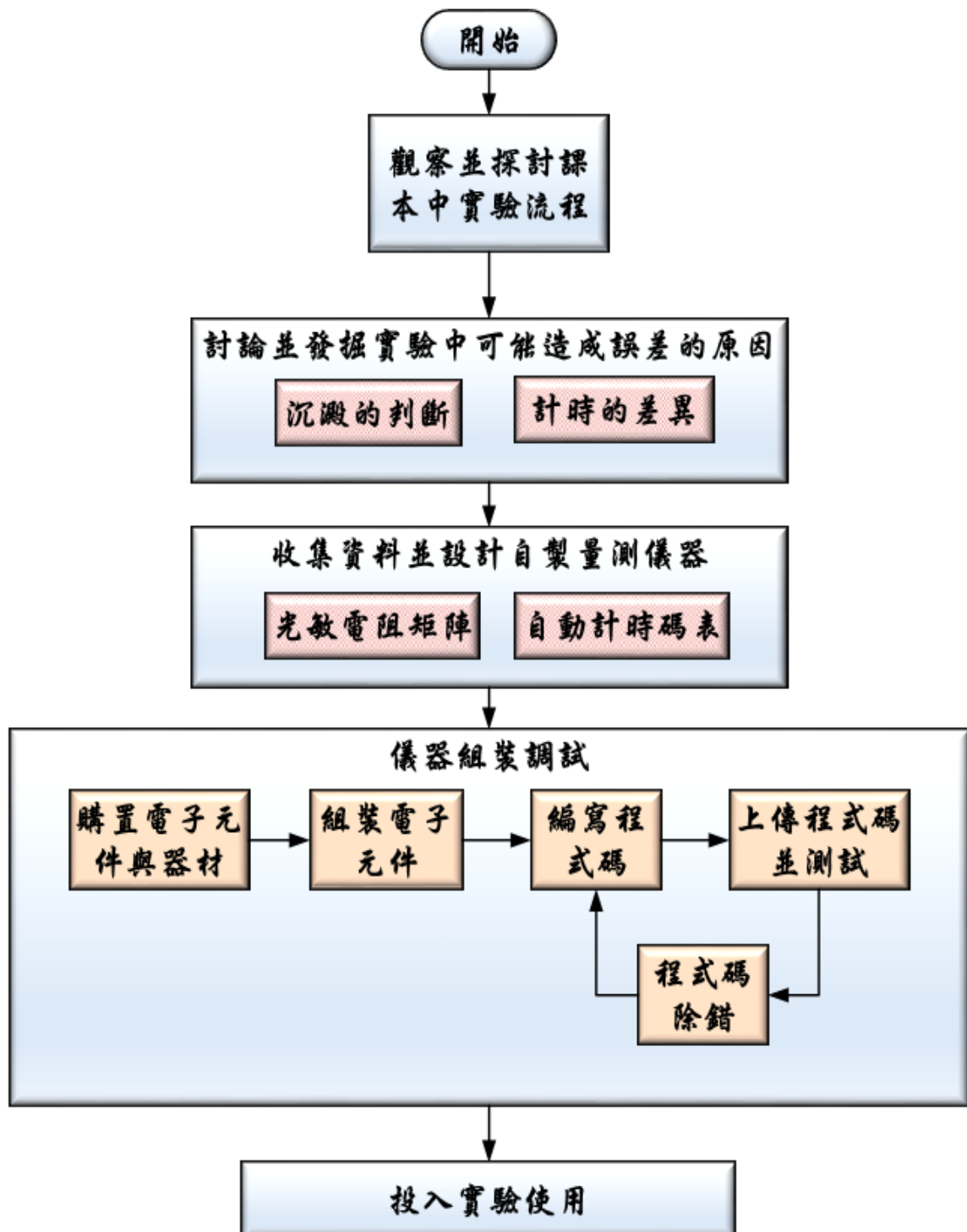
(4.)反應終點偵測器，我們選用CDS光敏電阻模組，因其在不同的光強度下所呈現的電阻阻值有相當大的變化，實驗中所產生的硫沉澱會遮蔽光線，我們可以利用光線強度變化所引致的光敏電阻阻值改變，設定閾值，讓Arduino停止計時，除此之外，為了避免僅由單一偵測器來判斷實驗終點而造成誤差，我們使用5個光敏電阻模組組成偵測矩陣，以平均感測值取代單一感測值，以減低誤差並提高精確度。因為偵測矩陣的組成所需的I/O數較多，再加上LCD模組、開關啟動等部分，我們選用接

腳I/O數較多的 Arduino mega控制板以符合我們的需求。

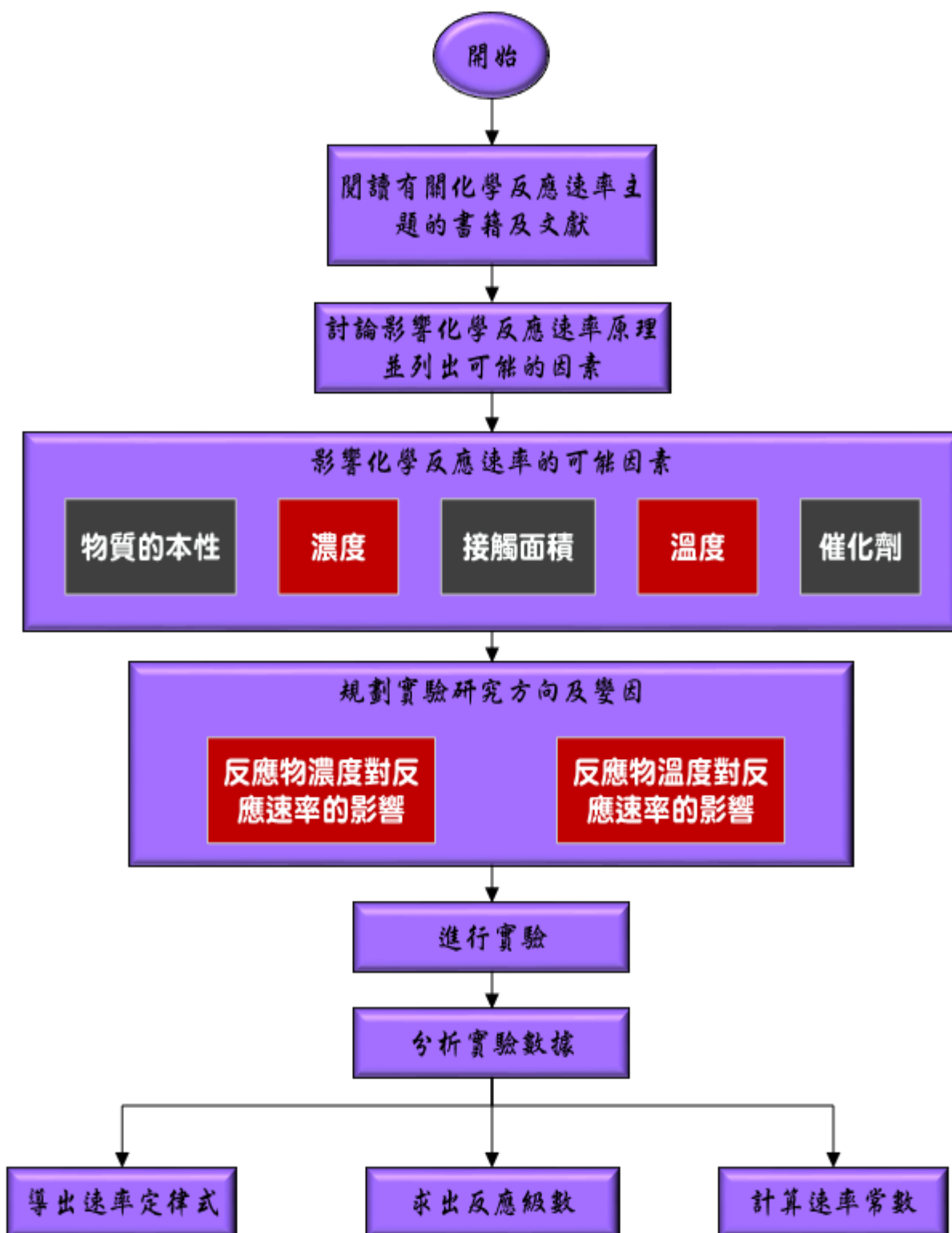
(二)、實驗流程與步驟:

實驗流程如下列流程圖所示:

實驗一:設計與組裝量測儀器



實驗二:化學反應速率實驗



伍、研究結果

第一部份 設計與組裝量測儀器:

裝置示意圖

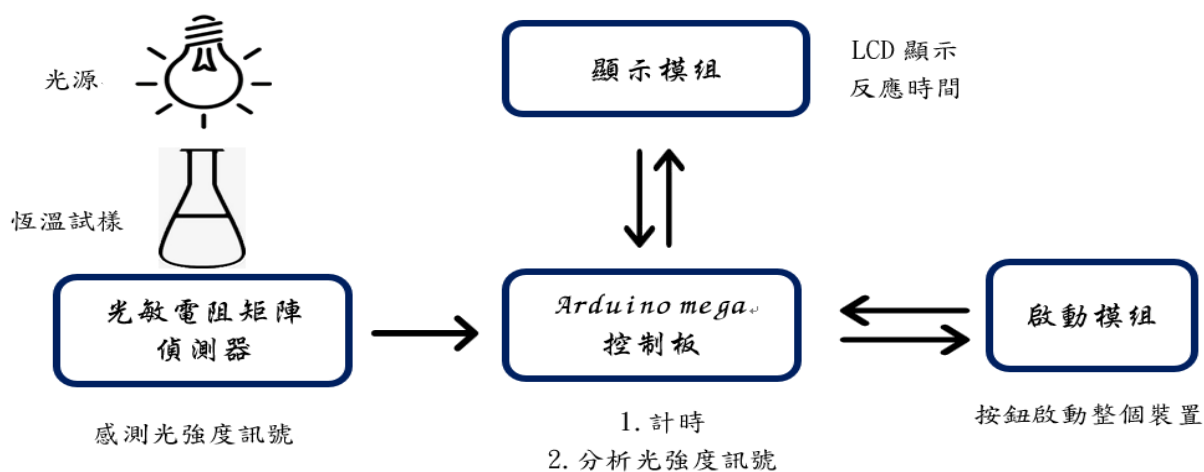


圖 5-1-1:裝置示意圖

(一)、感測元件模組的電路的設計與連接組裝:

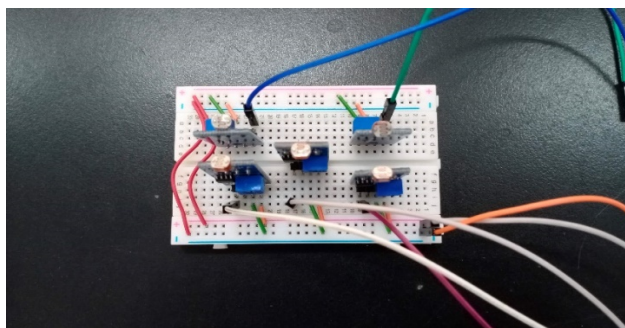


圖 5-1-2:以 5 個光敏電阻組成感測矩陣，提升精確度

(二)、計時模組的電路的設計與連接組裝:

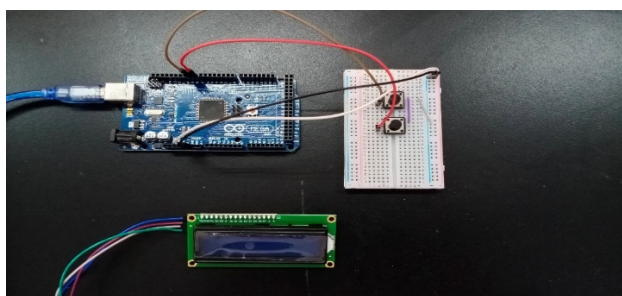


圖 5-1-3: 計時模組

(三)、計時與感測元件模組的組合與連接:

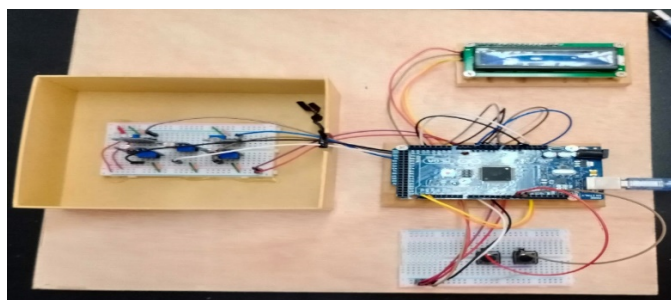


圖 5-1-4: 各模組的組合與連接

(四)於 Arduino IDE 上進程式撰寫:

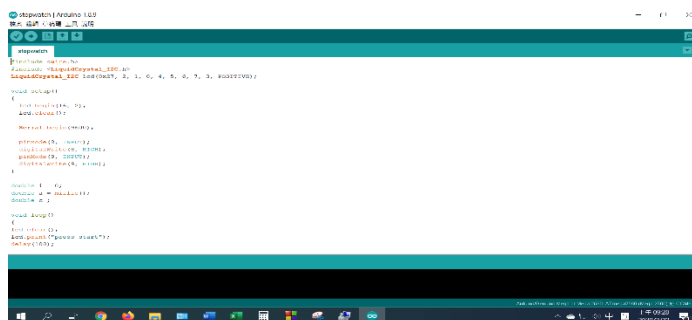


圖 5-1-5: 編寫程式碼

(五)程式驗證及上傳:

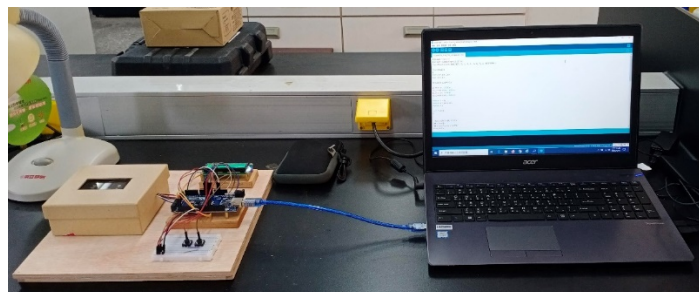


圖 5-1-6: 程式碼驗證上傳

(六)偵測與計時裝置完成與測試:

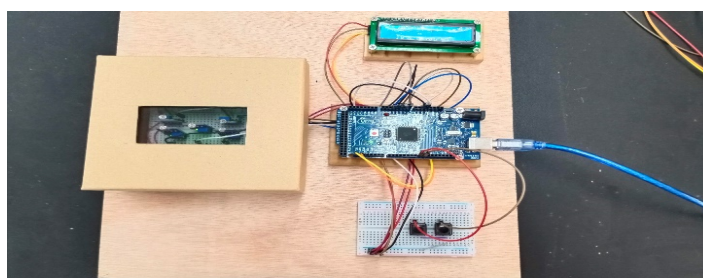


圖 5-1-7-1: 偵測與計時裝置全貌

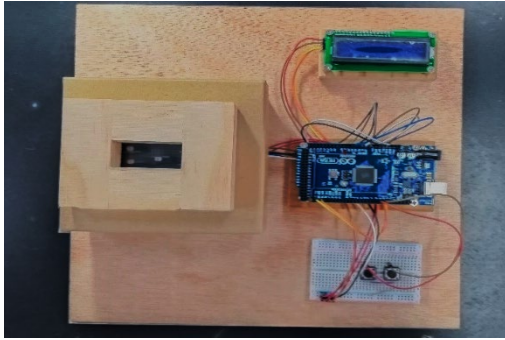


圖 5-1-7-3: 遮光罩製作 1

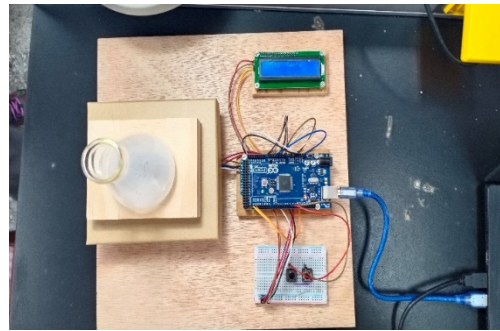


圖 5-1-7-4: 測試遮光罩避免測光影響

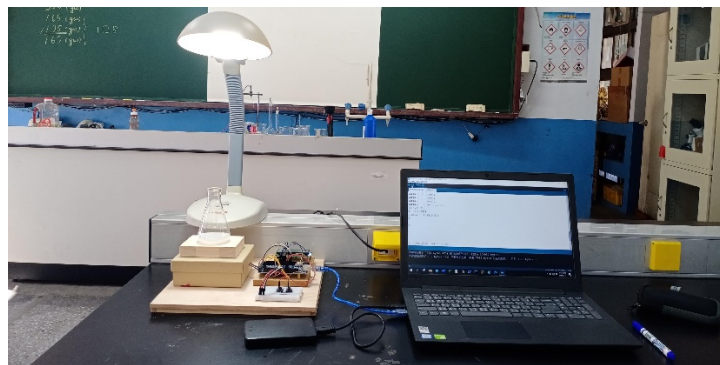


圖 5-1-7-5: 使用完成的裝置進行實驗

第二部份 化學反應速率實驗:

(一)、實驗配置:

配製反應物， $[\text{HCl}]=1.0\text{M}$ ， $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]=1.0\text{M}$

(1.)反應物濃度對反應速率:

1. 為了研究濃度與反應速率的變化，我們以固定濃度的溶液與蒸餾水混合以配製出各不同的濃度，實驗進行時再加以混合。
2. 為了研究硫代硫酸鈉與鹽酸在反應中對反應速率的影響，我們將實驗分成 A、B 兩組進行實驗，配置如下:

A 組:固定鹽酸濃度，觀察硫代硫酸鈉濃度與反應速率關係:

試管群 編號	溶液體積(ml)			混合液濃度(M)	
	1.0M HCl	1.0M Na ₂ S ₂ O ₃	H ₂ O	[HCl]	[Na ₂ S ₂ O ₃]
A1	10.0	2.0	8.0	0.5	0.1
A2	10.0	4.0	6.0	0.5	0.2
A3	10.0	6.0	4.0	0.5	0.3
A4	10.0	8.0	2.0	0.5	0.4
A5	10.0	10.0	0.0	0.5	0.5

表 5-1-1: A 組實驗配置表(固定[HCl]，不同[Na₂S₂O₃])

B 組:固定硫代硫酸鈉濃度，觀察鹽酸濃度與反應速率關係:

試管群 編號	溶液體積(ml)			混合液濃度(M)	
	1.0M HCl	1.0M Na ₂ S ₂ O ₃	H ₂ O	[HCl]	[Na ₂ S ₂ O ₃]
B1	2.0	10.0	8.0	0.1	0.5
B2	4.0	10.0	6.0	0.2	0.5
B3	6.0	10.0	4.0	0.3	0.5
B4	8.0	10.0	2.0	0.4	0.5
B5	10.0	10.0	0.0	0.5	0.5

表 5-1-2: B 組實驗配置表(固定[Na₂S₂O₃]，不同[HCl])

3. 為了提高實驗的精確度，A、B 兩組每一試管群各有 3 組分別以 AX₁、AX₂、AX₃ 與 BX₁、BX₂、BX₃ 標示，分別進行 3 次實驗取平均值。



圖 5-1-7-6: 藥品配製分組

(2.)反應物溫度對反應速率:

1. 為了精確控制每一組試管的溫度，將 A、B 兩組每一試管群分別以恆溫槽水浴加以恆溫處理。
2. 變溫溫度我們以 20、25、27 與 30°C 四個不同溫度進行實驗。



圖 5-1-7-8: 恆溫槽水浴

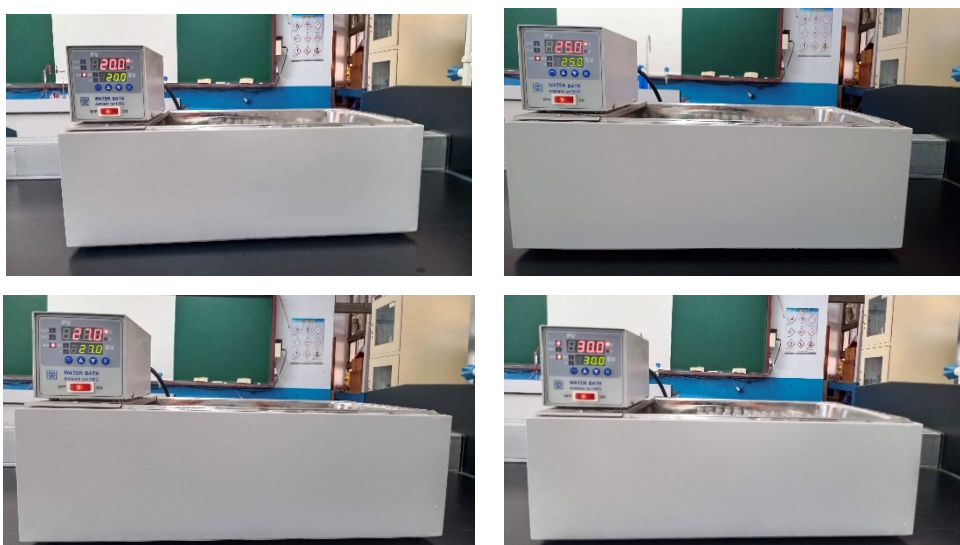


圖 5-1-7-9: 各組試管恆溫狀況

(二)、實驗結果:

A 組:固定鹽酸濃度，觀察硫代硫酸鈉濃度與反應速率關係:

(1.)20°C

組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間
A11	65.41	A21	34.61	A31	21.55	A41	16.02	A51	11.95
A12	68.55	A22	32.33	A32	21.33	A42	15.25	A52	13.03
A13	69.11	A23	35.5	A33	20.33	A43	16.25	A53	13.66
平均	67.69	平均	34.14	平均	21.07	平均	15.84	平均	12.88

表 5-2-1: A 組 20°C 反應時間

(2.)25°C

組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間
A11	35.95	A21	17.55	A31	11.8	A41	9.21	A51	7.45
A12	36.77	A22	16.91	A32	12.31	A42	9.31	A52	7.21
A13	36.87	A23	17.2	A33	11.74	A43	9.17	A53	7.9
平均	36.53	平均	17.22	平均	11.95	平均	9.23	平均	7.52

表 5-2-2: A 組 25°C 反應時間

(3.)27°C

組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間
A11	28.95	A21	14.83	A31	10.03	A41	8.21	A51	6.58
A12	29.67	A22	14.21	A32	10.42	A42	7.43	A52	6.13
A13	29.22	A23	15.09	A33	10.03	A43	7.61	A53	6.28
平均	29.28	平均	14.71	平均	10.16	平均	7.75	平均	6.33

表 5-2-3: A 組 27°C 反應時間

(4.)30°C

組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間
A11	26.33	A21	12.43	A31	8.41	A41	6.13	A51	4.99
A12	27.55	A22	13.01	A32	7.93	A42	6.77	A52	5.44
A13	27.57	A23	12.87	A33	8.71	A43	6.09	A53	4.96
平均	27.15	平均	12.77	平均	8.35	平均	6.33	平均	5.13

表 5-2-4: A 組 30°C 反應時間

B 組:固定硫代硫酸鈉濃度，觀察鹽酸濃度與反應速率關係:

(5.)20°C

組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間
B11	17.55	B21	15.67	B31	13.77	B41	12.88	B51	11.32
B12	18.42	B22	15.21	B32	13.21	B42	12.99	B52	12.01
B13	17.01	B23	15.35	B33	12.98	B43	12.41	B53	11.89
平均	17.66	平均	15.41	平均	13.32	平均	12.76	平均	11.74

表 5-2-5: B 組 20°C 反應時間

(6.)25°C

組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間
B11	14.44	B21	11.99	B31	11.98	B41	10.66	B51	10.88
B12	14.53	B22	12.45	B32	11.21	B42	10.12	B52	10.22
B13	14.02	B23	12.52	B33	10.83	B43	11.71	B53	10.85
平均	14.33	平均	12.32	平均	11.34	平均	10.83	平均	10.65

表 5-2-6: B 組 25°C 反應時間

(7.)27°C

組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間
B11	11.03	B21	10.77	B31	9.45	B41	9.77	B51	9.44
B12	11.98	B22	10.13	B32	10.12	B42	9.66	B52	9.12
B13	11.58	B23	10.78	B33	10.19	B43	9.82	B53	10.3
平均	11.53	平均	10.56	平均	9.92	平均	9.75	平均	9.62

表 5-2-7: B 組 27°C 反應時間

(8.)30°C

組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間
B11	11.03	B21	10.77	B31	9.45	B41	9.77	B51	9.44
B12	11.98	B22	10.13	B32	10.12	B42	9.66	B52	9.12
B13	11.58	B23	10.78	B33	10.19	B43	9.82	B53	10.3
平均	11.53	平均	10.56	平均	9.92	平均	9.75	平均	9.62

表 5-2-8: B 組 30°C 反應時間

陸、分析與討論

(一)、依據實驗所得到的數據，我們為以各組實驗的平均值作為結果，並以時間的倒數作為反應速率，我們可以得到下列的結果:

A 組:

溫度 °C	A1時間 (sec)	A2時間 (sec)	A3時間 (sec)	A4時間 (sec)	A5時間 (sec)	A1速率 (sec ⁻¹)	A2速率 (sec ⁻¹)	A3速率 (sec ⁻¹)	A4速率 (sec ⁻¹)	A5速率 (sec ⁻¹)
20	67.69	34.14	21.07	15.84	12.88	0.015	0.029	0.047	0.063	0.078
25	36.53	17.22	11.95	9.23	7.52	0.027	0.058	0.084	0.108	0.133
27	29.28	14.71	10.16	7.75	6.33	0.034	0.068	0.098	0.129	0.158
30	27.15	12.77	8.35	6.33	5.13	0.037	0.078	0.120	0.158	0.195

表 6-1-1: A 組實驗反應時間與反應速率

B 組:

溫度 °C	B1時間 (sec)	B2時間 (sec)	B3時間 (sec)	B4時間 (sec)	B5時間 (sec)	B1速率 (sec ⁻¹)	B2速率 (sec ⁻¹)	B3速率 (sec ⁻¹)	B4速率 (sec ⁻¹)	B5速率 (sec ⁻¹)
20	17.66	15.41	13.32	12.76	11.74	0.057	0.065	0.075	0.078	0.085
25	14.33	12.32	11.34	10.83	10.65	0.070	0.081	0.088	0.092	0.094
27	11.53	10.56	9.92	9.75	9.62	0.087	0.095	0.101	0.103	0.104
30	8.15	7.53	6.77	6.62	6.51	0.123	0.133	0.148	0.151	0.154

表 6-1-2: B 組實驗反應時間與反應速率

(二)、我們以反應物濃度對時間作圖我們可以得到:

(1.)依化學反應速率理論，我們參考零級反應與一級反應的情況:

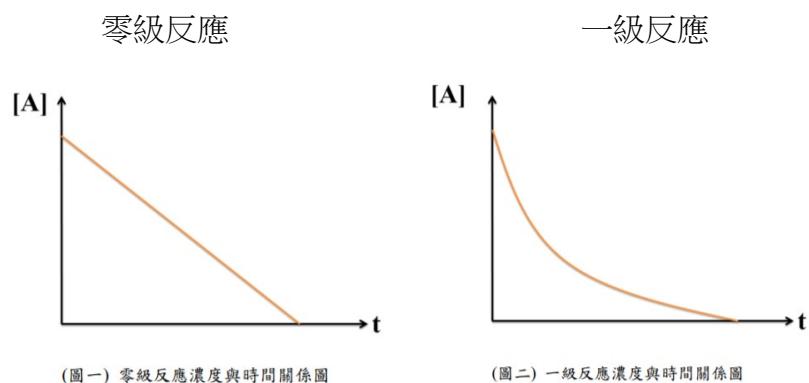


圖 6-1-1: 零級與一級反應反應物濃度對時間圖形

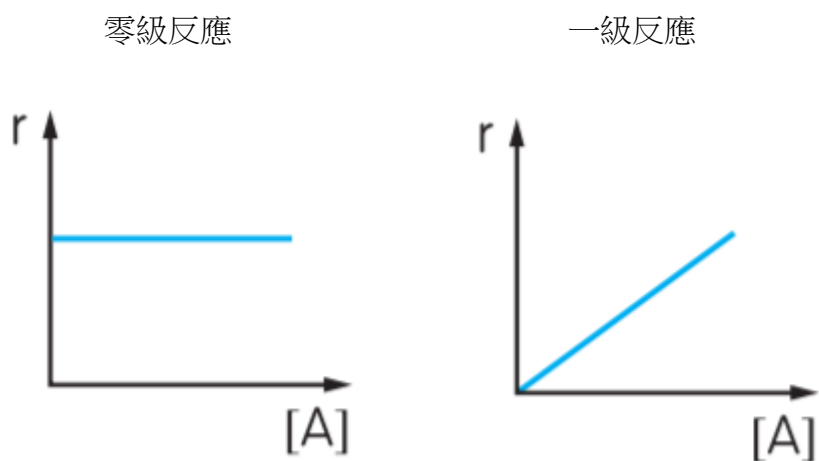


圖 6-1-2: 零級與一級反應反應速率對濃度對圖形

(2.)反應物濃度對時間關係圖:

A 組:

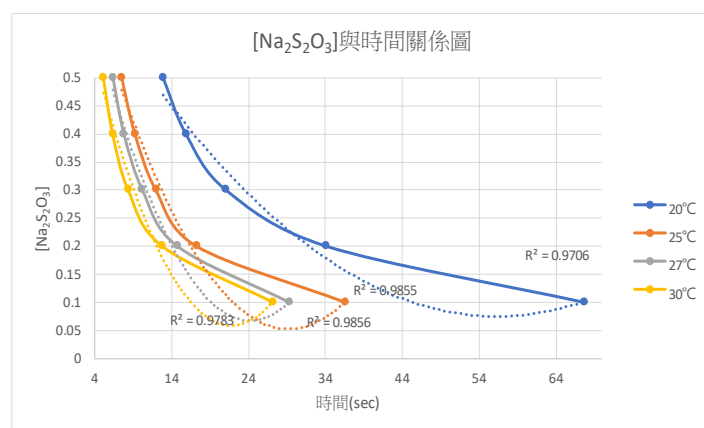


圖 6-2-1: 不同溫度下[Na₂S₂O₃]變化與反應時間關係圖

B 組:

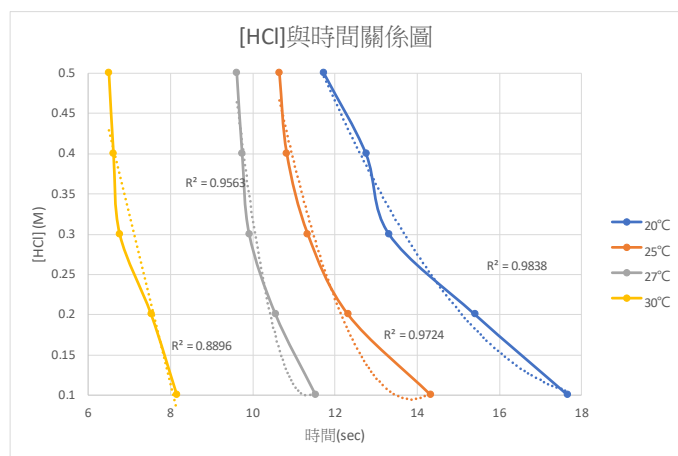


圖 6-2-2: 不同溫度下[HCl]變化與反應時間關係圖

我們利用 Excel 軟體，針對實驗圖形進行數據分析，我們分別以線性及二次曲線模型進行 curve fitting，並求取 R^2 值來檢視，其結果如下表：

I. A 組：

	20°C	25°C	27°C	30°C
線性 R^2 值	0.814	0.784	0.808	0.79
二次曲線 R^2 值	0.971	0.986	0.986	0.978

表 6-2-1: A 組實驗 R^2 數值比較表

II. B 組：

	20°C	25°C	27°C	30°C
線性 R^2 值	0.94	0.861	0.862	0.89
二次曲線 R^2 值	0.984	0.972	0.956	0.932

表 6-2-2: B 組實驗 R^2 數值比較表

經過數據分析後，我們發現在數據相關度上，線性模型上以 $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ 對時間作圖其 R^2 值僅介於 0.784~0.814 間， $[\text{HCl}]$ 對時間作圖其 R^2 值僅介於 0.861~0.940 間，可以發現在線性模型中此反應 $[\text{HCl}]$ 的改變對時間變化為線性模型的相關度較 $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ 為高， $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ 的改變對時間變化為線性相關的情形較低。

然而，當我們使用二次曲線模型分析時，無論是 $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ 對時間的變化或是 $[\text{HCl}]$ 對時間的變化，其相關度均大幅提高， $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ 對時間作圖其 R^2 值介於0.971~0.986間， $[\text{HCl}]$ 對時間作圖其 R^2 值介於0.932~0.984間，表示 $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ 對時間變化均較接近曲線模型，然而 $[\text{HCl}]$ 對時間的變化雖然 R^2 值亦有提高，但是在線性模型上亦有很高的相關度，綜合兩者 $[\text{HCl}]$ 呈線性情形對比 $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ 對時間的變化程度高。

綜合上述的分析結果，我們推論本實驗 $[\text{HCl}]$ 反應級數應介於0~1級之間，而 $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ 反應級數應介於1~2級之間。

(3.)定溫下(20°C)反應物濃度對反應速率關係圖:

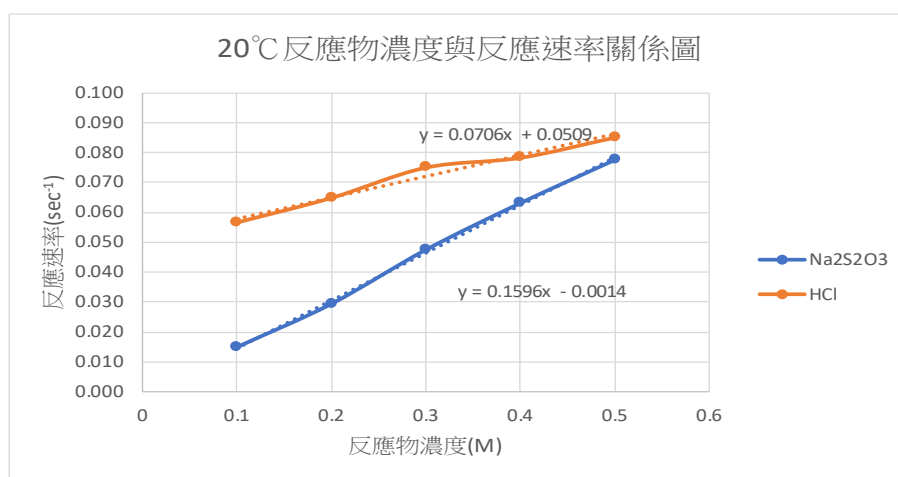


圖 6-3-1: 20°C 反應物濃度變化對反應速率關係圖

(4.)變溫反應物濃度對反應速率關係圖:

A 組:

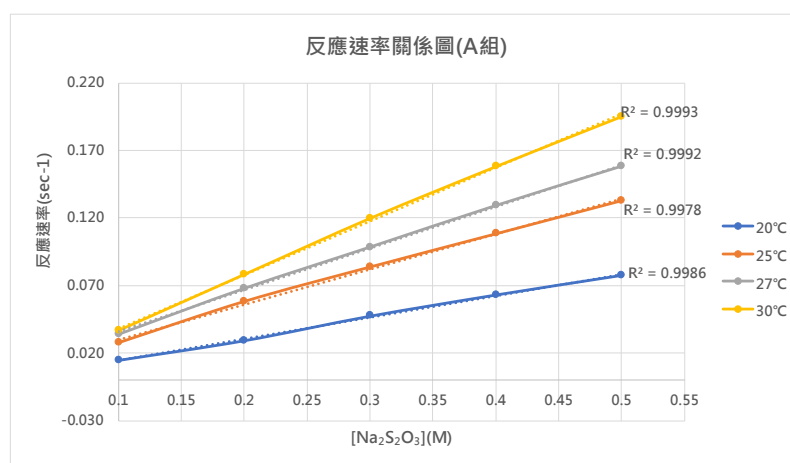


圖 6-4-1: A 組反應速率關係圖

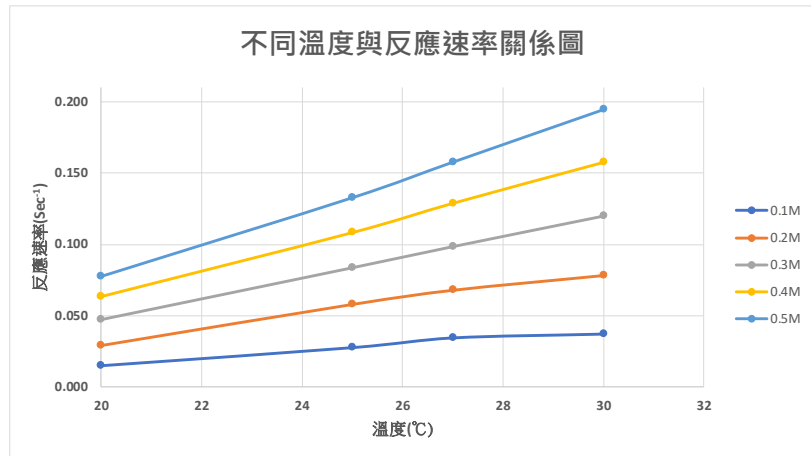


圖 6-4-2: A 組不同反應物溫度對反應速率關係圖

B 組:

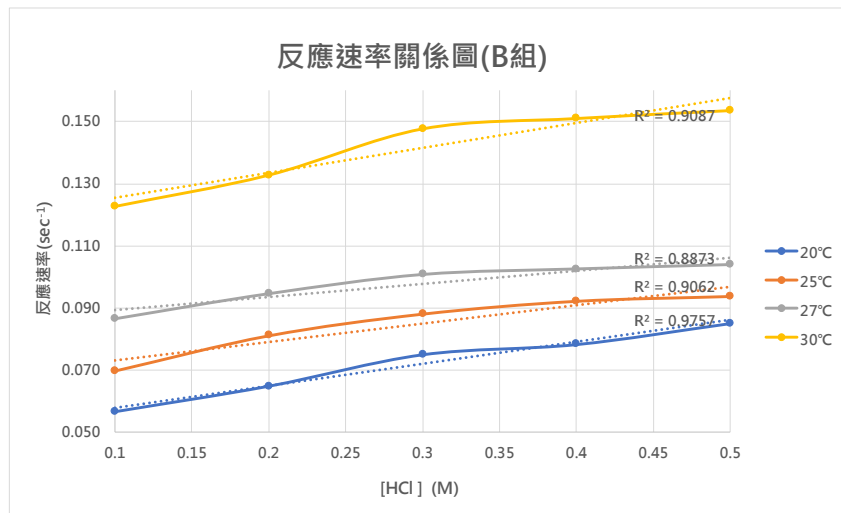


圖 6-4-3: B 組反應速率關係圖

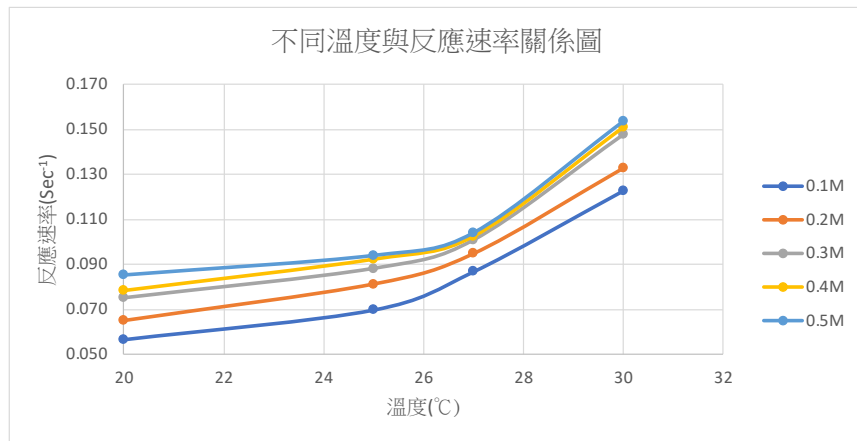


圖 6-4-4: B 組不同反應物溫度對反應速率關係圖

I.由圖 6-3-1 的斜率比較，我們可以發現:A 組($[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ 濃度改變 $[\text{HCl}]$ 為定值)，反應速率的變化率較 B 組($[\text{HCl}]$ 濃度改變 $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ 為定值)為大，意即在本反應中 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 濃度的改變對反應速率的影響較 HCl 更明顯。

II.由圖 6-4-1 與 6-4-2 可觀察到，A 組的數據以線性模型分析時，其 R^2 值均達 0.99 呈現高度線性， $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ 變化時其反應速率變化很明顯，由 0.1M 往上增加時，反應速率變化接近 5 倍，其反應速率對濃度斜直線圖形顯現 $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ 變化與反應速率非常接近一級反應，B 組的數據以線性模型分析時，其 R^2 值僅介於 0.88~0.97 之間，線性程度不如 A 組高，且 B 組圖形呈現較為水平線，斜率不大，表示當 $[\text{HCl}]$ 有變化時，反應速率的改變幅度不多，由 0.1M 往上增加時，反應速率變化僅增加 20%~30%，反應速率指變為原來的 1.3 倍左右，接近水平線的數據分布，說明了 $[\text{HCl}]$ 與反應速率關係較為接近零級反應。

III.由圖 6-4-2 與 6-4-4 可觀察到，無論是 A 組獲 B 組的實驗，在相同的反應物濃度下，溫度升高，其反應速率均呈增大的趨勢，結合圖 6-4-1 與 6-4-3 對各溫度的曲線來分析的結果一致。

(三)、速率定律式的推導:

(1.)我們令反應的速率定律式為:

$$r = k[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]^m [\text{HCl}]^n \dots\dots\dots(1)$$

當 $[\text{HCl}]$ 為定值 X， $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ 有改變時，將兩個不同的速率的定律式相比:

$$(r_1/r_2) = ([\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]_1/[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]_2)^m \dots\dots\dots(2)$$

兩邊取對數:

$$\log (r_1/r_2) = m * \log ([\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]_1/[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]_2) \dots\dots(3)$$

可求得 $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ 的級數 m:

$$m = \log (r_1/r_2) / \log ([\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]_1/[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]_2) \dots(4)$$

同理，我們一可以相同的方式求得 $[\text{HCl}]$ 的級數 n

(2.)計算結果:

I.A 組:

溫度 °C	Na ₂ S ₂ O ₃ 級數m1	Na ₂ S ₂ O ₃ 級數m2	Na ₂ S ₂ O ₃ 級數m3	Na ₂ S ₂ O ₃ 級數m4	Na ₂ S ₂ O ₃ 級數m5	平均
20	0.987	1.190	0.992	0.927	1.031	1.026
25	1.085	0.901	0.898	0.918	0.982	0.957
27	0.993	0.913	0.941	0.907	0.952	0.941
30	1.088	1.048	0.963	0.942	1.0353	1.015

表 6-3-1: A 組 Na₂S₂O₃ 反應級數

II.B 組:

溫度 °C	HCl 級數 m1	HCl 級數 m2	HCl 級數 m3	HCl 級數 m4	HCl 級數 m5	平均
20	0.197	0.359	0.149	0.373	0.254	0.266
25	0.218	0.204	0.160	0.075	0.184	0.168
27	0.127	0.154	0.060	0.060	0.113	0.103
30	0.114	0.262	0.078	0.075	0.140	0.134

表 6-3-2: A 組 HCl 反應級數

(3.) 計算與圖形分析的比較:

反應物	由圖形分析 推測級數	由計算所得級數
Na ₂ S ₂ O ₃	1~2 之間	0.941~1.026
HCl	0~1 之間	0.103~0.266

表 6-3-3 反應級數比較表

由兩者的比較，我們發現兩者是頗為吻合的。

(四)、速率常數的計算:

(1.) 速率定律式為:

$$r = k[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]^m [\text{HCl}]^n \dots\dots\dots(1)$$

$$k = r / ([\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]^m [\text{HCl}]^n) \dots\dots\dots(2)$$

我們參照表 6-3-1 與 6-3-2 將各溫度所求得 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 與 HCl 反應級數平均值帶入，求得 A 組數據的速率常數 k_a 與 B 組數據的速率常數 k_b 如表 6-4-1 所示：

溫度 (°C)	HCl 平均反應級數	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 平均反應級數	k_a	k_b
20	0.266	1.026	0.191	0.208
25	0.168	0.957	0.344	0.247
27	0.103	0.941	0.411	0.285
30	0.134	1.015	0.484	0.412

表 6-4-1 速率常數表

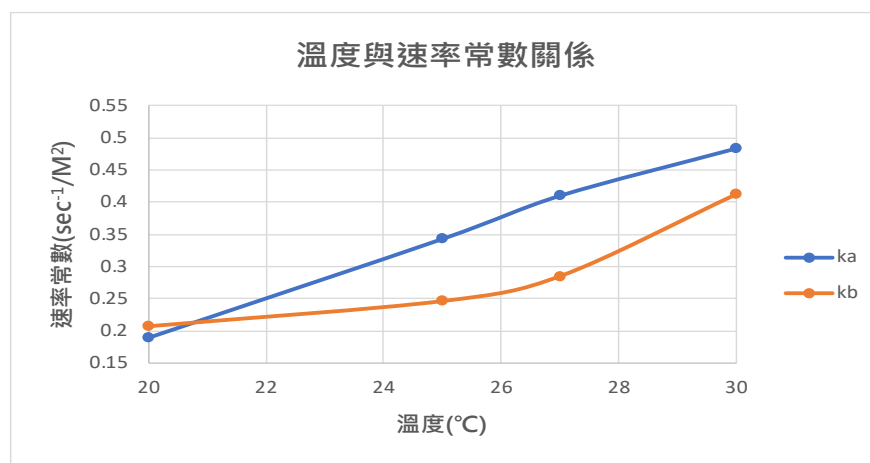


圖 6-4-1 溫度與速率常數圖

由表 6-4-1 與圖 6-4-1 我們均發現，隨著溫度升高 A 組與 B 組的反應速率常數大小均呈現隨溫度增加的趨勢，由速率定律式 $r=k[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]^m [\text{HCl}]^n$ 我們可知道：當反應速率常數 k 值增加時，反應速率 r 的大小亦與其成比例關係，所以溫度升高時 k 值的增加亦使得反應速率隨之增加，由實驗結果與碰撞學說中溫度上升引致反應速率增加是相符合的。

柒、結論

(一)、我們應用 Arduino mega 板、光敏電阻模組、麵包板及 LCD 模組所自製的反應終點偵測裝置，可以發揮良好的偵測功能，有效的應用於硫代硫酸鈉與鹽酸反應中，硫沉澱的偵測與協助計時功能，利用光敏電阻對於光強度的改變時阻值的變化進行感測，所有實驗組均可依相同的標準來測定，提升實驗的準確度及降低誤差。

(二)、相關文獻研究中提到，反應的反應速率對硫代硫酸鈉濃度為一級反應，對鹽酸濃度為零級反應，但是經過我們團隊實驗的結果如下：

- (1.)反應速率對硫代硫酸鈉濃度的反應級數，趨近一級反應(反應級數為0.941~1.026之間)。
- (2.)反應速率對鹽酸濃度的反應級數，較接近零級反應(反應級數為0.103~0.266之間)。

(三)、在不同溫度下，溫度的改變與反應速率的變化，當溫度升高時，無論是A組或B組的實驗，結果皆顯示，反應的時間縮短，反應速率增加(參考:表6-1-1，6-1-2)，我們同時計算各組的速率常數 k_a 與 k_b (參考:表6-4-1)，我們發現溫度升高時，速率常數亦隨之增加，兩個結果，均與化學文獻上所提到溫度增加可增加反應速率原理相符合。

捌、參考資料

- (一)、葉名倉、劉如熹、邱智宏等(民103)。普通高級中學 基礎化學[三]。台南市：南一書局。
- (二)、曾國輝(民 102)。化學 第二版 上冊。台北市: 藝軒圖書公司。
- (三)、楊明豐(民 108)。ARDUINO 最佳入門與應用。台北市: 碁峯圖書公司。
- (四)、葉亦心、葉亦修、林瑋晟。「硫晶歲月—自製偵測器探討硫代硫酸鈉與鹽酸之反應速率」中華民國第51屆中小學科學展覽會國中組。國立台灣科學教育館。
- (五)、沈冠宇、彭裕文、楊富雄、高維鴻。「自製濃度觀測工具及其在高中化學實驗的應用」中華民國第46屆中小學科學展覽會高中組。國立台灣科學教育館。
- (六)、何蕙如。「奈米微粒現形記~化學反應速率的探索」台灣二〇〇五年國際科學展覽會化學組。國立台灣科學教育館。
- (七)、Flinn Scientific—Teaching Chemistry (2017), Rate of Reaction of Sodium Thiosulfate and Hydrochloric Acid， Reference URL:
<https://www.flinnsci.com/api/library/Download/78da6c8204aa48a294bd9a51844543ad> (網路外文資料)
- (八)、Arduino community forum, Arduino official web site， Reference URL: <https://www.arduino.cc/>
(外文網頁論壇)

【評語】 030213

1. 利用 Arduino 感知器解決問題具創意。
2. 作品與國中、高中教材連結度高。
3. 溫度增加反應速度為已知但未見討論規律性或如何影響。

壹、摘要

關於硫代硫酸鈉與鹽酸的硫沉澱反應，我們收集及參考國內外許多的研究文獻後，文獻中提到奈米硫沉澱的產生，其原因是硫代硫酸根中的硫原子進行自身氧化還原反應所致，其中在動力學的研究中提及，在硫代硫酸鈉與鹽酸的反應中，硫代硫酸鈉濃度對反應速率的影響較為顯著，在反應級數上硫代硫酸鈉為一級反應，鹽酸為零級反應，我們因此假設，鹽酸的濃度對於反應速率的影響有限，因此我們想知道一般的條件下，硫代硫酸鈉與鹽酸在反應中所扮演的角色及對反應速率的影響的程度，此外溫度的變異與反應速率的變化也是我們有興趣的研究課題。

本研究利用Microsoft Excel與自行設計組裝Arduino偵測與計時器，進行硫代硫酸鈉和鹽酸反應速率的實驗，進一步由化學反應速率數據，計算反應物的反應級數與速率常數，探討各項變因對於反應速率的影響。

貳、研究目的

在國二下學期理化第4章「反應速率與平衡」的內容中，提及並討論了許多影響化學反應速率的因素。其中，課本引用了硫代硫酸鈉和鹽酸產生硫沉澱反應的實驗，我們發現：判斷實驗是否達到反應終點並停止計時方式，僅是利用在白紙上畫一個十字及碼表計時，觀察者僅憑藉肉眼觀察所產生的硫沉澱是否遮住十字，然後停止計時紀錄時間，在科學測量的觀念上，我們認為以感官所測得的結果不夠準確並且過於主觀，不同觀察者所測得之值相差明顯，造成實驗數據再現性及信賴度不足，如果想對實驗的結果做進一步的討論與計算，因為測量的誤差頗大而難以達成。

為此，我們團隊希望能找出更精確並能夠盡量排除人為觀察誤差的測量的方式，獲取更精確、再現性高的實驗數據來進行分析。近年來各項微控制器(MCU)蓬勃發展，取得容易且成本不高，我們發現近年來所流行Arduino套件是一個很好的解決方案，因其具有價廉、開放性高與社群支持的特點，除此之外有許多感測器都對Arduino提供支援，讓我們可以有許多選擇，因此我們決定使用Arduino套件來開發一套協助實驗測量時間並感測沉澱量，並得知實驗是否完成的裝置，利用它來協助我們進行實驗並取得數據，針對硫代硫酸鈉和鹽酸反應，對以下兩個課題進行研究與分析：

1. 利用我們所設計的量測工具進行實驗，討論及分析該反應中各項變因(反應物溶液濃度、反應溫度)，對反應反應速率的影響。
2. 計算出該反應的反應級數、速率常數及導出速率方程式。

參、研究設備及器材

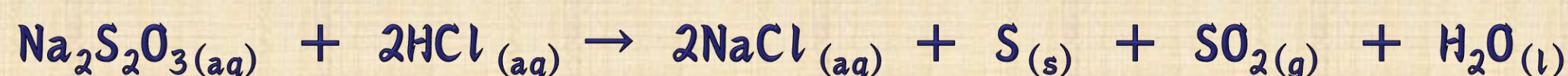
化學實驗儀器類	化學藥品類	感測器與軟體類
500 ml 量瓶、錐形瓶、試管、電子天平、陶瓷纖維網、吸量管、試管架、括勺、鐵架、吸量管、試管架	硫代硫酸鈉、蒸餾水、6M 鹽酸	Arduino mega開發版、麵包板、按鈕開關 X 2、光敏電阻感測模組X 5、LCD 螢幕、杜邦線與跳線組、筆記型電腦、Arduino IDE 與 Excel軟體

肆、研究過程或方法

(一) 原理探討：

1. 化學反應速率原理：

(1.) 硫代硫酸鈉和鹽酸的反應方程式：



其中硫代硫酸鈉在酸性環境下，硫代硫酸根本身所進行自身氧化反應，產生奈米級不透光的硫固體。

(2.) 關於影響反應速率的因素包含有：

「物質的本性」、「濃度」、「接觸面積」、「溫度」及「催化劑」等等，以上所有的因素均可以碰撞學說模型加以解釋。

在本次實驗中，我們主要就「濃度」與「溫度」兩大因素做為探討對象：

I. 濃度因素：在固定的體積的系統中，若反應物的分子數目越多，濃度即越大，我們發現反應速率和應物濃度某次方成正比，而次方關係即為反應物的反應級數，級數無法由反應是直接看出來，必須由實際的實驗數據加以估算求得。

II. 溫度因素：

當分子所在環境溫度升高時，主因是分子的平均動能增加，分子的平均速率也因子增加，導致以下兩種狀況：

i. 分子移動平均速率增加，引致分子彼此碰撞的或然率亦隨之提升。

ii. 分子的平均動能增加，使得反應物分子中超越低限能分子數增加，能量足夠分子數也因此增加。

綜合以上兩種效應，直接導致反應物分子間彼此發生有效碰撞的機率大大提升，故反應速率加快。

2. 量測工具發想與應用原理：

(1.) 實驗誤差的來源觀察：誠如在研究動機所提，在課本實驗中針對反應終點所使用之判斷方式，我們認為不夠客觀，誤差可能頗大，不同觀測者所觀測的數據的差異可能也會極為明顯，我們針對反應終點方式進行了觀察幾討論後，認為實驗的誤差可能來自於下面兩點：

I. 白紙十字架是否被硫沉澱遮蔽的判斷：不同觀測者判斷上可能會有很大的歧異，在長時間的實驗時，對觀察者也造成很大的負擔，造成誤差。

II. 碼表的控制：在到達實驗終點時，按停碼表的時機常常不一致，造成計時上的誤差。

(2.) 為了改善上述兩個問題，我們在量測工具上設定了兩個方針：

I. 具有碼錶功能並可顯示時間。

II. 能夠以相同的條件判斷反應的終點並自動停止計時。

(3.) 就上述所需具備的功能，我們選擇使用Arduino mega板作為我們自製偵測器的基礎，主要原因如下：

I. 低成本且開源，不需要特別的軟體支出。

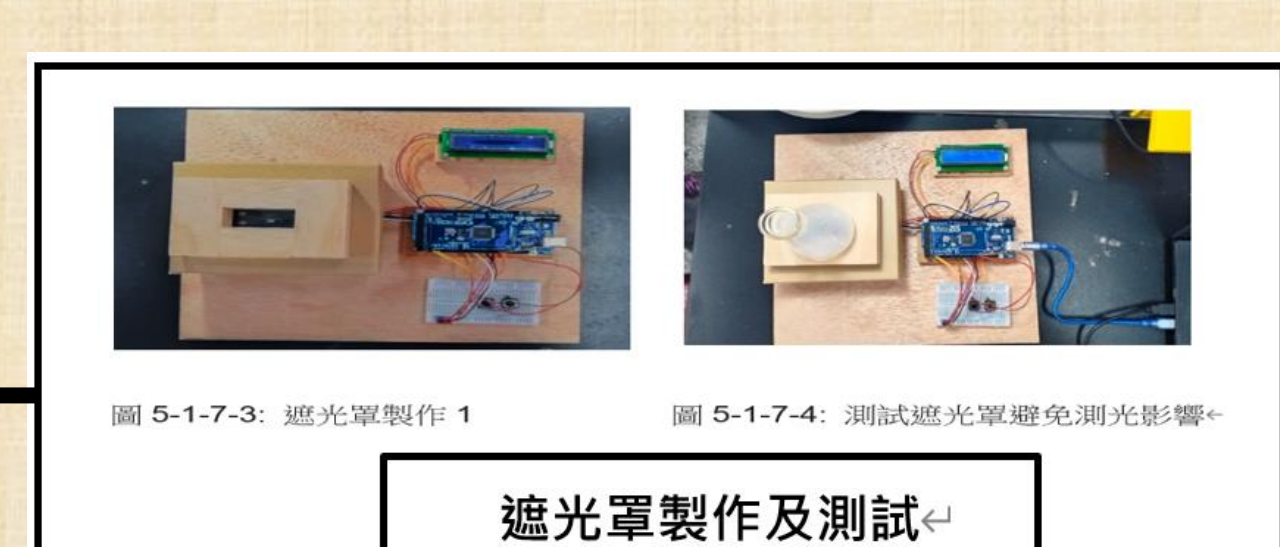
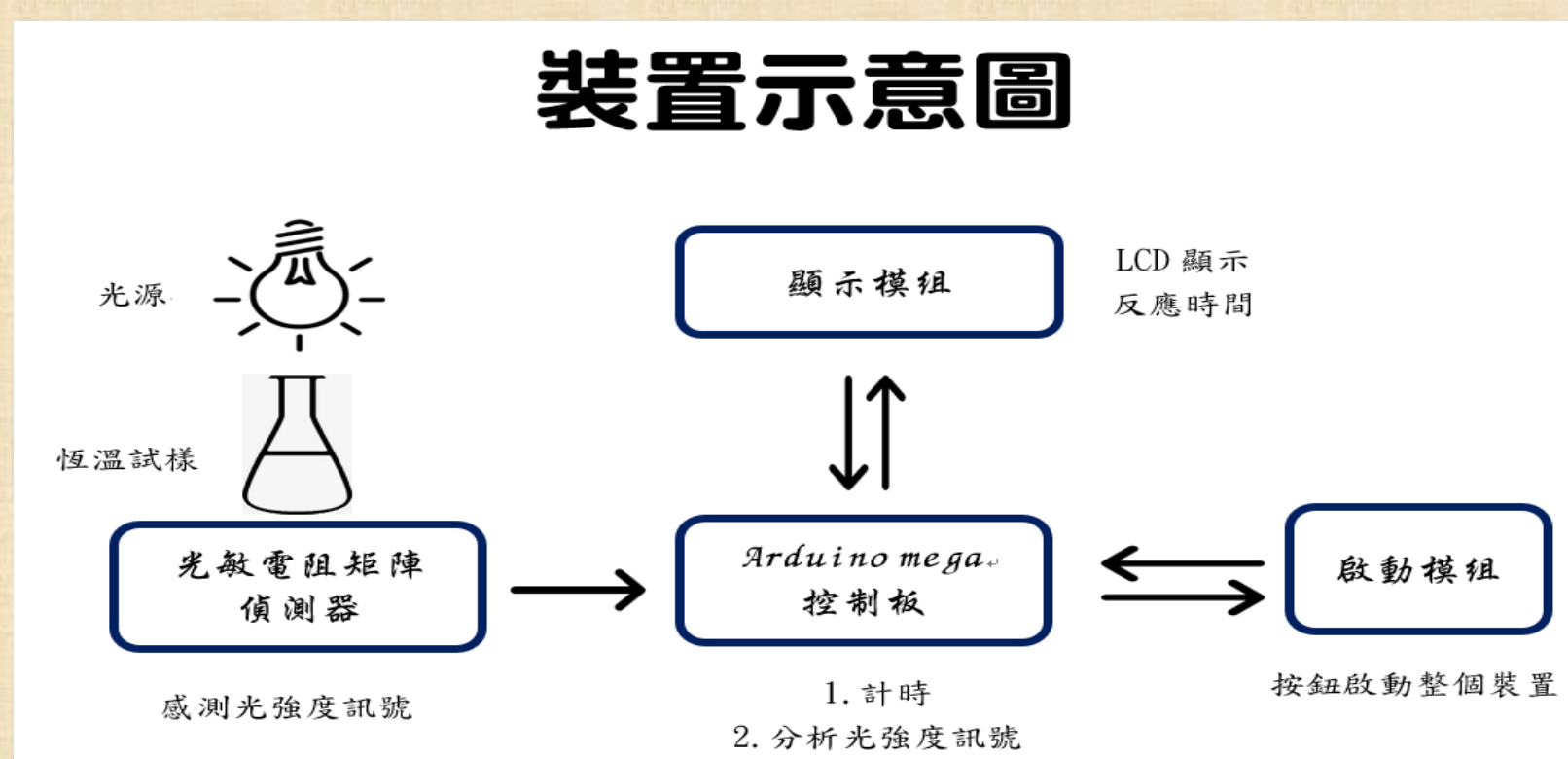
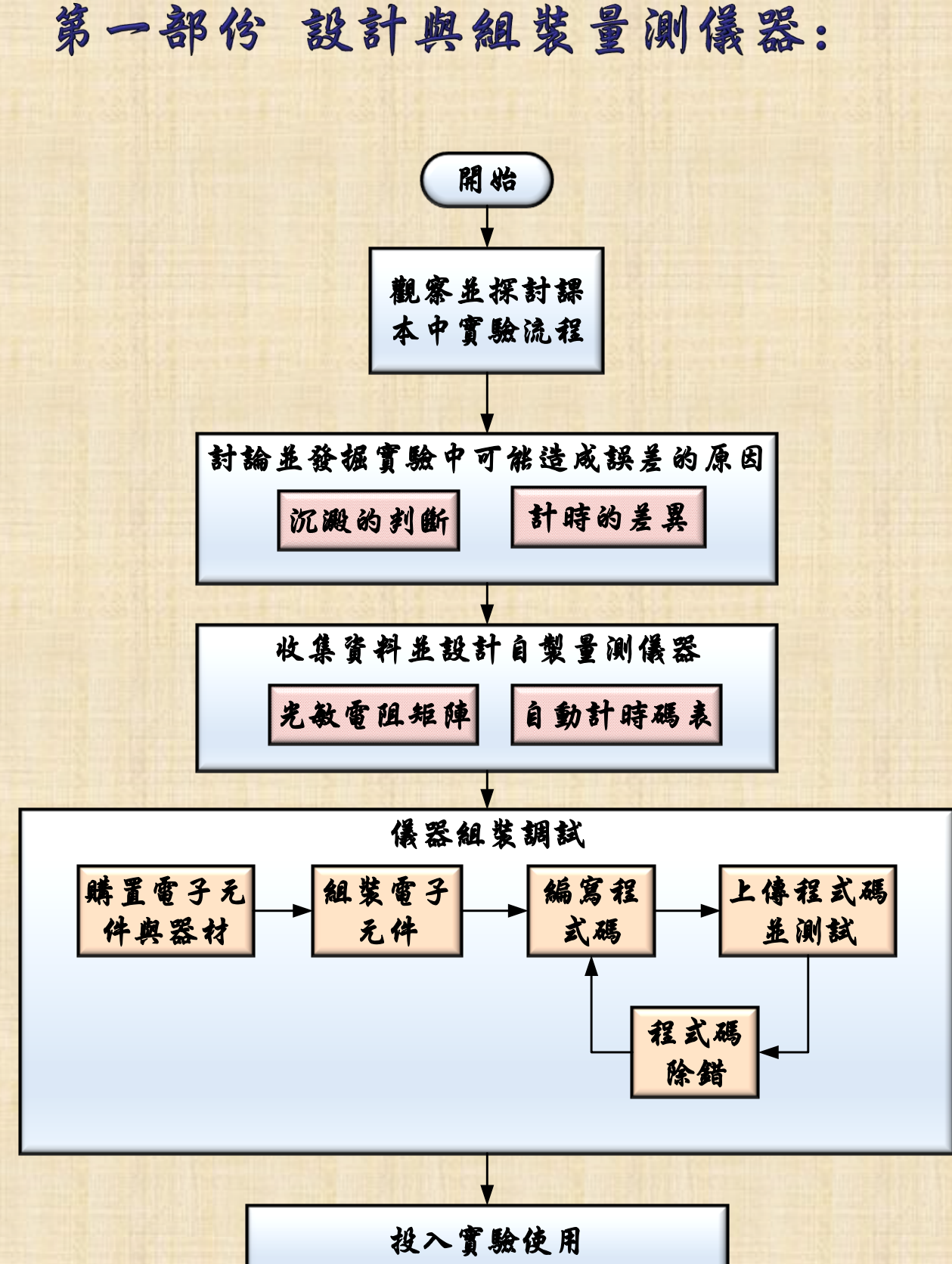
II. 有許多感測器支援，並備有許多已完成函式庫支援。

III. 程式寫作難度不至於太困難，網路上有很多社群可彼此交換心得，一般無經驗的新手也能透過社群支持而入門。

(4.) 反應終點偵測器，我們選用CDS光敏電阻模組，因其在不同的光強度下所呈現的電阻阻值有相當大的變化，實驗中所產生的硫沉澱會遮蔽光線，我們可以利用光線強度變化所引致的光敏電阻阻值改變，設定閾值，讓Arduino停止計時，除此之外，為了避免僅由單一偵測器來判斷實驗終點而造成誤差，我們使用5個光敏電阻模組組成偵測矩陣，以平均感測值取代單一感測值，以減低誤差並提高精確度，因為偵測矩陣的組成所需的I/O數較多，再加上LCD模組、開關啟動等部分，我們選用接腳I/O數較多的 Arduino mega控制板以符合我們的需求。

(二) 研究方法及實驗步驟：

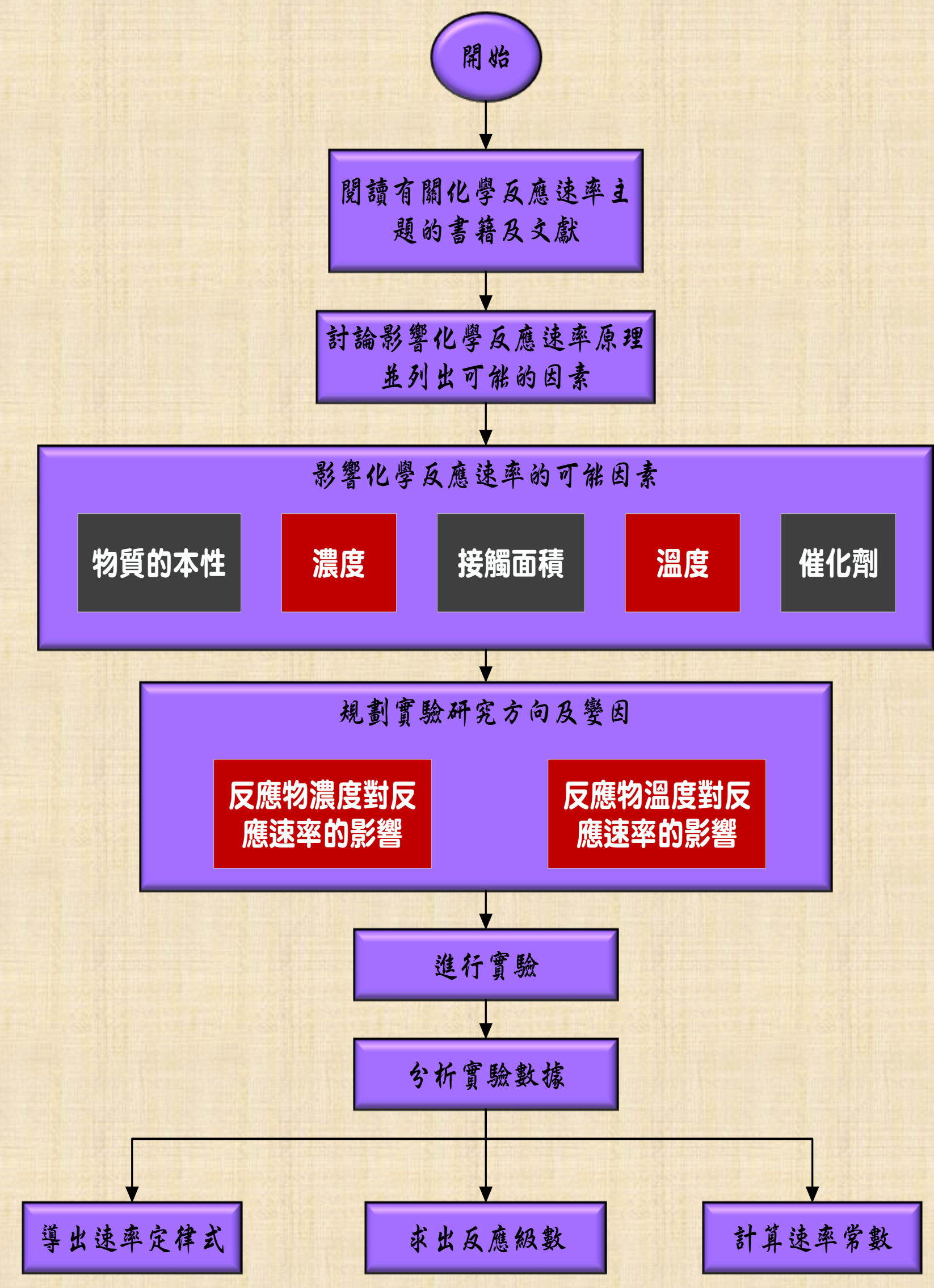
第一部份 設計與組裝量測儀器：



第二部份 實驗變因規劃與實驗設計:

(二) 實驗設計與配置

(一) 實驗規劃



配製反應物，[HCl]=1.0M, [Na₂S₂O₃]=1.0M

(1.) 反應物濃度對反應速率:

1. 為了研究濃度與反應速率的變化，我們以固定濃度的溶液與蒸餾水混合以配製出各不同的濃度，實驗進行時再加以混合。

11. 為了研究硫代硫酸鈉與鹽酸在反應中對反應速率的影響，我們將實驗分成A、B兩組進行實驗，配置如下:

A組: 固定鹽酸濃度，觀察硫代硫酸鈉濃度與反應速率關係

B組: 固定硫代硫酸鈉濃度，觀察鹽酸濃度與反應速率關係

試管群編號	溶液體積(ml)			混合液濃度(M)	
	1.0M HCl	1.0M Na ₂ S ₂ O ₃	H ₂ O	[HCl]	[Na ₂ S ₂ O ₃]
A1	10.0	2.0	8.0	0.5	0.1
A2	10.0	4.0	6.0	0.5	0.2
A3	10.0	6.0	4.0	0.5	0.3
A4	10.0	8.0	2.0	0.5	0.4
A5	10.0	10.0	0.0	0.5	0.5

試管群編號	溶液體積(ml)			混合液濃度(M)	
	1.0M HCl	1.0M Na ₂ S ₂ O ₃	H ₂ O	[HCl]	[Na ₂ S ₂ O ₃]
B1	2.0	10.0	8.0	0.1	0.5
B2	4.0	10.0	6.0	0.2	0.5
B3	6.0	10.0	4.0	0.3	0.5
B4	8.0	10.0	2.0	0.4	0.5
B5	10.0	10.0	0.0	0.5	0.5



圖 5-1-7-6: 藥品配製分組



圖 5-1-7-8: 恆溫槽水浴

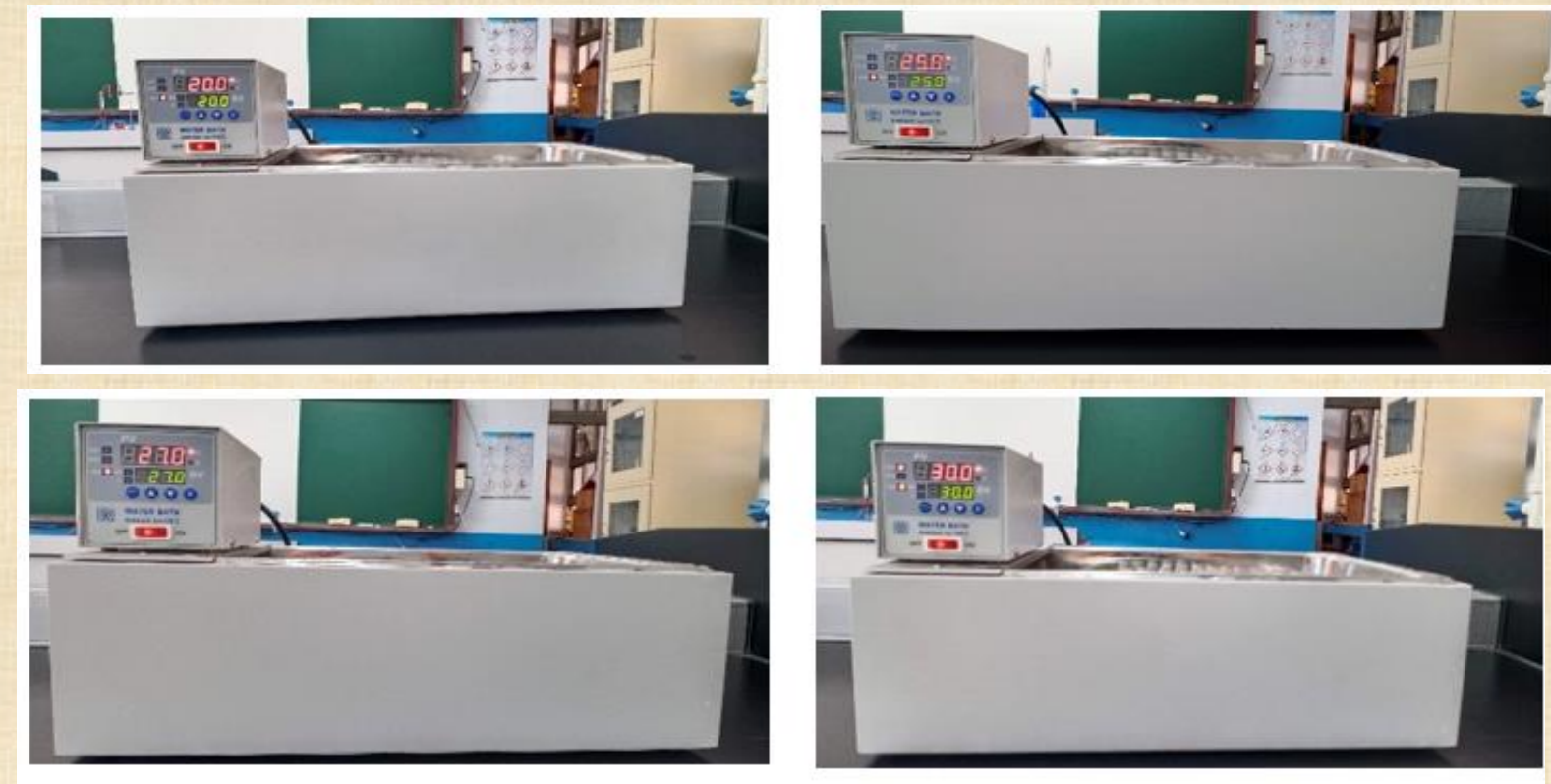
A、B兩組每一試管群各有3組分別以A1X、A2X、A3X與B1Y、B2Y、B3Y標示，分別進行3次實驗取平均值。

(2.) 反應物溫度對反應速率影響:

將A、B兩組每一試管群分別以水浴法加以恆溫處理後，於20、25、27與30°C四個不同溫度進行實驗。

試管編號	溶液體積(ml)			混合液濃度(M)	
	1.0M HCl	1.0M Na ₂ S ₂ O ₃	H ₂ O	[HCl]	[Na ₂ S ₂ O ₃]
A11	10.0	2.0	8.0	0.5	0.1
A12	10.0	2.0	8.0	0.5	0.1
A13	10.0	2.0	8.0	0.5	0.1
A21	10.0	4.0	6.0	0.5	0.2
A22	10.0	4.0	6.0	0.5	0.2
A23	10.0	4.0	6.0	0.5	0.2
A31	10.0	6.0	4.0	0.5	0.3
A32	10.0	6.0	4.0	0.5	0.3
A33	10.0	6.0	4.0	0.5	0.3
A41	10.0	8.0	2.0	0.5	0.4
A42	10.0	8.0	2.0	0.5	0.4
A43	10.0	8.0	2.0	0.5	0.4
A51	10.0	10.0	0.0	0.5	0.5
A52	10.0	10.0	0.0	0.5	0.5
A53	10.0	10.0	0.0	0.5	0.5

試管編號	溶液體積(ml)			混合液濃度(M)	
	1.0M HCl	1.0M Na ₂ S ₂ O ₃	H ₂ O	[HCl]	[Na ₂ S ₂ O ₃]
B11	2.0	10.0	8.0	0.1	0.5
B12	2.0	10.0	8.0	0.1	0.5
B13	2.0	10.0	8.0	0.1	0.5
B21	4.0	10.0	6.0	0.2	0.5
B22	4.0	10.0	6.0	0.2	0.5
B23	4.0	10.0	6.0	0.2	0.5
B31	6.0	10.0	4.0	0.3	0.5
B32	6.0	10.0	4.0	0.3	0.5
B33	6.0	10.0	4.0	0.3	0.5
B41	8.0	10.0	2.0	0.4	0.5
B42	8.0	10.0	2.0	0.4	0.5
B43	8.0	10.0	2.0	0.4	0.5
B51	10.0	10.0	0.0	0.5	0.5
B52	10.0	10.0	0.0	0.5	0.5
B53	10.0	10.0	0.0	0.5	0.5



變溫各組水浴恆溫情形

(三) 實驗結果:

(1.) A組: 固定鹽酸濃度，觀察硫代硫酸鈉濃度與反應速率關係:

20 °C

組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間
A11	65.41	A21	34.61	A31	21.55	A41	16.02	A51	11.95		
A12	68.55	A22	32.33	A32	21.33	A42	15.25	A52	13.03		
A13	69.11	A23	35.5	A33	20.33	A43	16.25	A53	13.66		
平均	67.69	平均	34.14	平均	21.07	平均	15.84	平均	12.88		

25 °C

組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間
A11	35.95	A21	17.55	A31	11.8	A41	9.21	A51	7.45		
A12	36.77	A22	16.91	A32	12.31	A42	9.31	A52	7.21		
A13	36.87	A23	17.2	A33	11.74	A43	9.17	A53	7.9		
平均	36.53	平均	17.22	平均	11.95	平均	9.23	平均	7.52		

27 °C

組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間
A11	28.95	A21	14.83	A31	10.03	A41	8.21	A51	6.58		
A12	29.67	A22	14.21	A32	10.42	A42	7.43	A52	6.13		
A13	29.22	A23	15.09	A33	10.43	A43	7.61	A53	6.28		
平均	29.28	平均	14.71	平均	10.16	平均	7.75	平均	6.33		

30 °C

組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間
A11	26.33	A21	12.43	A31	8.41	A41	6.13	A51	4.99		
A12	27.55	A22	13.01	A32	7.93	A42	6.77	A52	5.44		
A13	27.57	A23	12.87	A33	8.71	A43	6.09	A53	5.46		
平均	27.15	平均	12.77	平均	8.35	平均	6.33	平均	5.13		

(2.) B組: 固定硫代硫酸鈉濃度，觀察鹽酸濃度與反應速率關係:

20 °C

組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間
B11	17.55	B21	15.67	B31	13.77	B41	12.88	B51	11.32		
B12	18.42	B22	15.21	B32	13.21	B42	12.99	B52	12.01		
B13	17.01	B23	15.35	B33	12.98	B43	12.41	B53	11.89		
平均	17.66	平均	15.41	平均	13.32	平均	12.76	平均	11.74		

25 °C

組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間
B11	14.44	B21	11.99	B31	11.98	B41	10.66	B51	10.88		
B12	14.53	B22	12.45	B32	11.21	B42	10.12	B52	10.22		
B13	14.02	B23	12.52	B33	10.83	B43	11.71	B53	10.85		
平均	14.33	平均	12.32	平均	11.34	平均	10.83	平均	10.65		

27 °C

組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間
B11	11.03	B21	10.77	B31	9.45	B41	9.77	B51	9.44		
B12	11.98	B22	10.13	B32	10.12	B42	9.66	B52	9.12		
B13	11.58	B23	10.78	B33	10.19	B43	9.82	B53	10.3		
平均	11.53	平均	10.56	平均	9.92	平均	9.75	平均	9.62		

30 °C

組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間	組別	時間
B11	8.33	B21	7.66	B31	6.52	B41	6.44	B51	6.33		
B12	7.98	B22	7.12	B32	6.88	B42	6.77	B52	6.66		
B13	8.14	B23	7.81	B33	6.91	B43	6.65	B53	6.54		
平均	8.15	平均	7.53	平均	6.77	平均	6.62	平均	6.51		

(3.) 依據實驗所得到的數據，我們以各組實驗的平均值作為結果，以時間的倒數作為反應速率，我們可以得到下列的結果:

A 組:

溫度 - C	A1時間 (sec)	A2時間 (sec)	A3時間 (sec)	A4時間 (sec)	A5時間 (sec)	A1速率 (sec ⁻¹)	A2速率 (sec ⁻¹)	A3速率 (sec ⁻¹)	A4速率 (sec ⁻¹)	A5速率 (sec ⁻¹)
20	67.69	34.14	21.07	15.84	12.88	0.015	0.029	0.047	0.063	0.078
25	36.53	17.22	11.95	9.23	7.52	0.027	0.058	0.084	0.108	0.133
27	29.28	14.71	10.16	7.75	6.33	0.034	0.068	0.098	0.129	0.158
30	27.15	12.77	8.35	6.33	5.13	0.037	0.078	0.120	0.158	0.195

B 組:

溫度 - C	B1時間 (sec)	B2時間 (sec)	B3時間 (sec)	B4時間 (sec)	B5時間 (sec)	B1速率 (sec ⁻¹)	B2速率 (sec ⁻¹)	B3速率 (sec ⁻¹)	B4速率 (sec ⁻¹)	B5速率 (sec ⁻¹)
20	17.66	15.41	13.32	12.76	11.74	0.057	0.065	0.075	0.078	0.085
25	14.33	12.32	11.34	10.83	10.65	0.070	0.081	0.088	0.092	0.094
27	11.53	10.56	9.92	9.75	9.62	0.087	0.095	0.101	0.103	0.104
30	8.15	7.53	6.77	6.62	6.51	0.123	0.133	0.148	0.151	0.154

伍、研究結果與討論

(一) 實驗數據與反應樣態的分析:

(1.) 反應級數圖形比較與分析:

i. 依化學反應速率理論，我們參考零級反應與一級反應的情況:

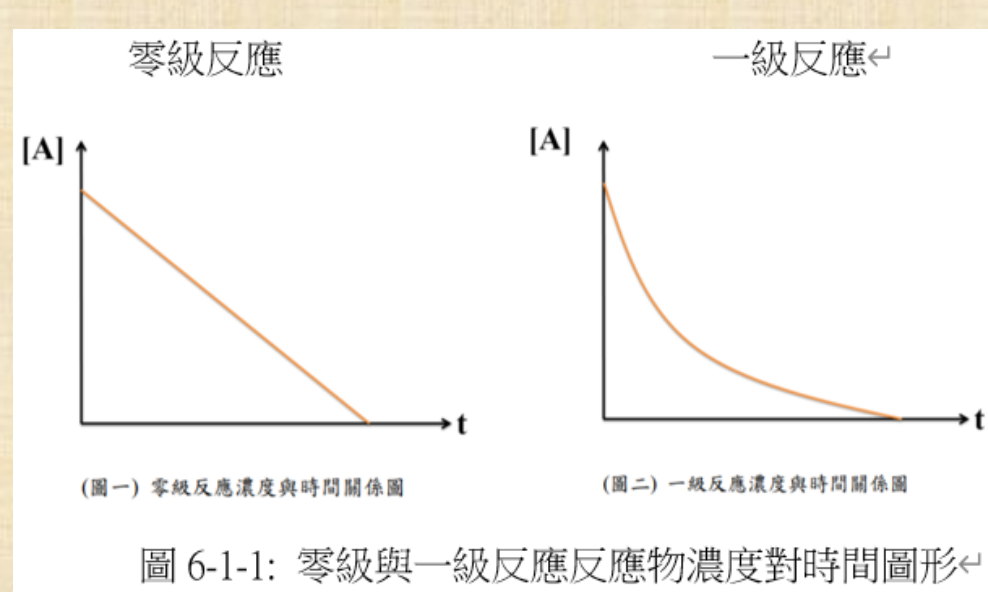


圖 6-1-1: 零級與一級反應反應物濃度對時間關係圖形

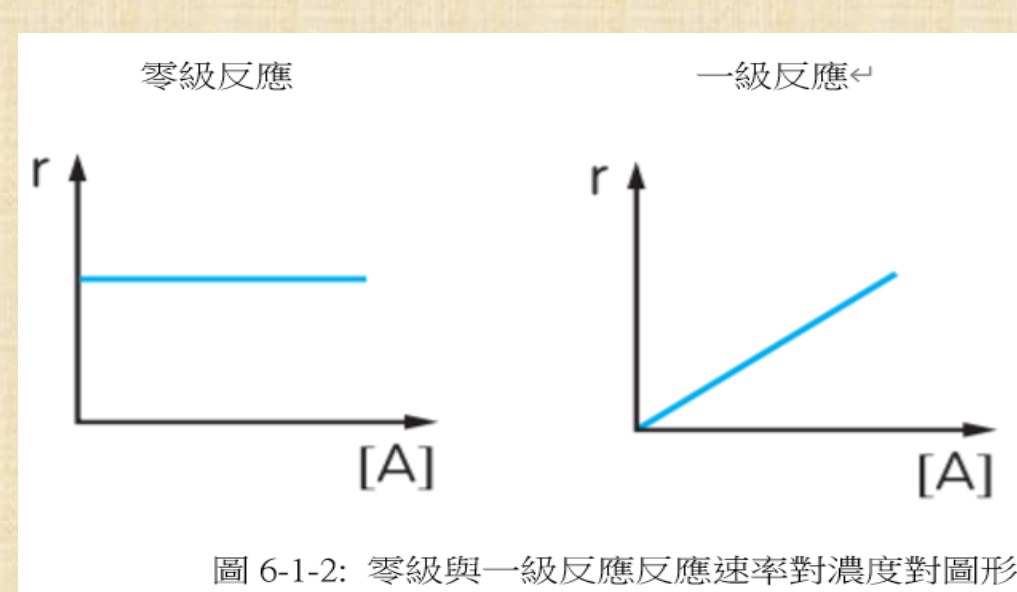
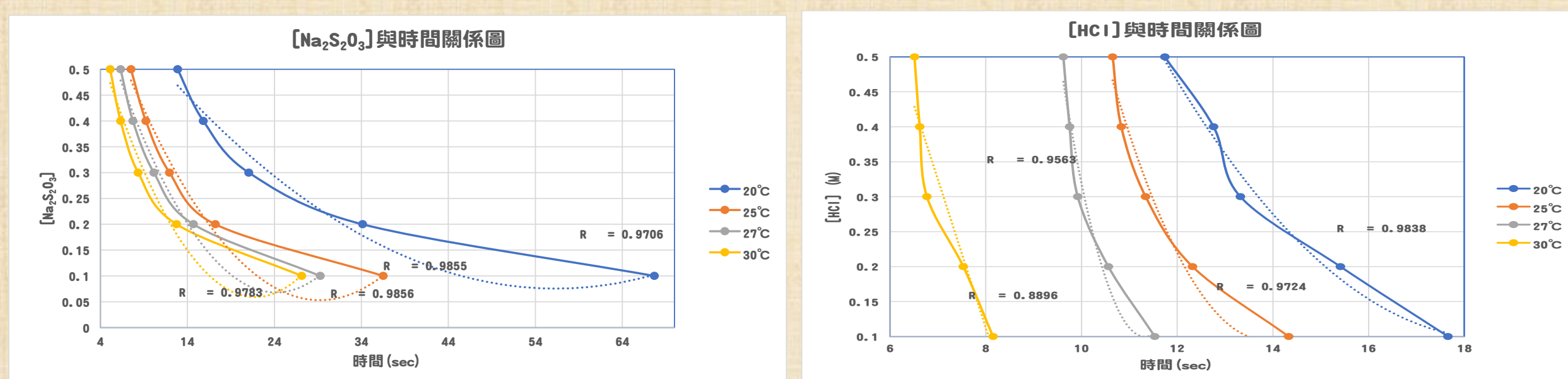


圖 6-1-2: 零級與一級反應反應速率對濃度關係圖形

零級與一級反應反應物濃度對時間關係圖形

零級與一級反應反應速率對濃度關係圖形

ii. 反應物濃度與時間關係圖:



利用Excel軟體，對實驗圖形進行數據分析，分別以線性及二次曲線模型進行curve fitting，並求取R²值檢視，其結果如下表:

A 組: *

	20°C	25°C	27°C	30°C
線性R ² 值	0.814	0.784	0.808	0.79
二次曲線R ² 值	0.971	0.986	0.986	0.978

表 6-2-1: A 組實驗 R² 數值比較表*

B 組: *

	20°C	25°C	27°C	30°C
線性R ² 值	0.94	0.861	0.862	0.89
二次曲線R ² 值	0.984	0.972	0.956	0.932

表 6-2-2: B 組實驗 R² 數值比較表*

[Na₂S₂O₃] 對時間 R²值分析

[HCl] 對時間 R²值分析

經過數據分析後，我們發現在數據相關度上，線性模型上以 [Na₂S₂O₃] 對時間作圖其 R² 值僅介於 0.784~0.814 間，[HCl] 對時間作圖其 R² 值僅介於 0.861~0.940 間，可以發現在線性模型中此反應 [HCl] 的改變對時間變化為線性模型的相關度較 [Na₂S₂O₃] 為高，[Na₂S₂O₃] 的改變對時間變化為線性相關的情形較低。

然而，當我們使用二次曲線模型分析時，無論是 [Na₂S₂O₃] 對時間的變化或是 [HCl] 對時間的變化，其相關度均大幅提高，[Na₂S₂O₃] 對時間作圖其 R² 值介於 0.971~0.986 間，[HCl] 對時間作圖其 R² 值介於 0.932~0.984 間，表示 [Na₂S₂O₃] 對時間變化均較接近曲線模型，然而 [HCl] 對時間的變化雖然 R² 值亦有提高，但是在線性模型上亦有很高的相關度，綜合兩者 [HCl] 呈線性情形對比 [Na₂S₂O₃] 對時間的變化程度高。

綜合上述的分析結果，我們推論本實驗 [HCl] 反應級數應介於 0~1 級之間，而 [Na₂S₂O₃] 反應級數應介於

(2.) 速率定律式的推導:

i. 推導方式如下:

步驟1:

令反應的速率定律式為:

$$r=k[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]^m [\text{HCl}]^n \dots\dots\dots(1)$$

步驟2:

當[HCl]為固定濃度X(M)時, [Na₂S₂O₃]有改變時, 將兩個不同的速率的定律式相比:

$$(r_1/r_2) = ([\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]_1/[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]_2)^m \dots\dots\dots(2)$$

步驟3:

將兩邊取對數:

$$\log(r_1/r_2) = m * \log([\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]_1/[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]_2) \dots\dots(3)$$

步驟4:

據此可求得[Na₂S₂O₃]的級數m:

$$m = \log(r_1/r_2) / \log([\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]_1/[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]_2) \dots\dots(4)$$

同理, 我們一可以相同的方式求得[HCl]的級數n

(3.) 速率常數的計算:

i. 計算方式如下:

步驟1:

速率定律式為:

$$r=k[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]^m [\text{HCl}]^n \dots\dots\dots(1)$$

步驟2:

我們參照表A與表B將各溫度所求得Na₂S₂O₃與HCl反應級數平均值帶入下式:

$$k = r / ([\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]^m [\text{HCl}]^n) \dots\dots\dots(2)$$

即可求得A組數據的速率常數k_a與B組數據的速率常數k_b

ii. 計算結果:

溫度(°C)	HCl 平均反應級數	Na ₂ S ₂ O ₃ 平均反應級數	k _a	k _b
20	0.266	1.026	0.191	0.208
25	0.168	0.957	0.344	0.247
27	0.103	0.941	0.411	0.285
30	0.134	1.015	0.484	0.412

表C: 各溫度反應級數

ii. 計算結果:

溫度 · C	Na ₂ S ₂ O ₃ 級數m1	Na ₂ S ₂ O ₃ 級數m2	Na ₂ S ₂ O ₃ 級數m3	Na ₂ S ₂ O ₃ 級數m4	Na ₂ S ₂ O ₃ 級數m5	平均
20	0.987	1.190	0.992	0.927	1.031	1.026
25	1.085	0.901	0.898	0.918	0.982	0.957
27	0.993	0.913	0.941	0.907	0.952	0.941
30	1.088	1.048	0.963	0.942	1.0353	1.015

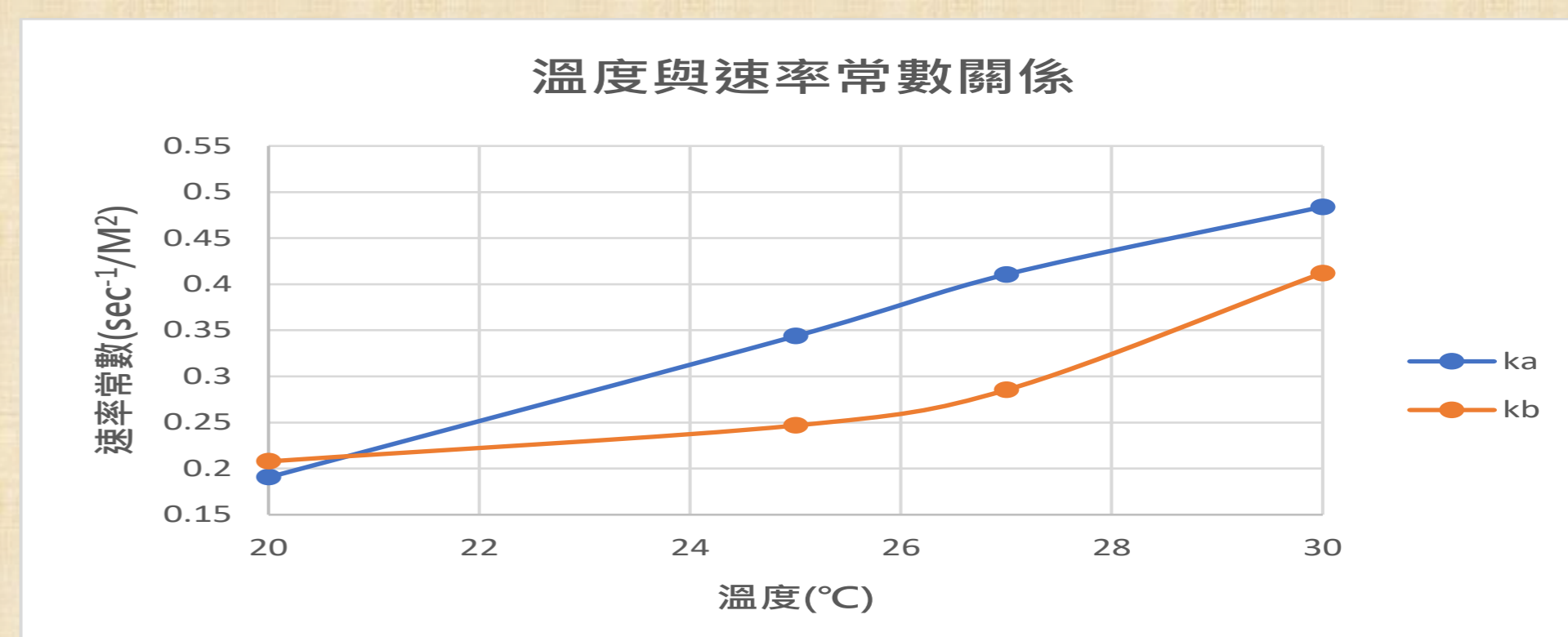
溫度 · C	HCl 級數 m1	HCl 級數 m2	HCl 級數 m3	HCl 級數 m4	HCl 級數 m5	平均
20	0.197	0.359	0.149	0.373	0.254	0.266
25	0.218	0.204	0.160	0.075	0.184	0.168
27	0.127	0.154	0.060	0.060	0.113	0.103
30	0.114	0.262	0.078	0.075	0.140	0.134

表A: A組不同溫度下[Na₂S₂O₃]之反應級數 表B: B組不同溫度下[HCl]之反應級數

iii. 計算結果與圖形分析的比較:

反應物	由圖形分析 推測級數	由計算所得級數
Na ₂ S ₂ O ₃	1~2級之間	0.941~1.026級
HCl	0~1級之間	0.103~0.266級

由兩者的比較, 我們發現兩者是頗為吻合的。



圖D: 溫度與平衡長處關係圖

1. 由表C與圖D們均發現, 隨著溫度升高A組與B組的反應速率常數大小均呈現隨溫度增加的趨勢, 由速率定律式 $r=k[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]^m [\text{HCl}]^n$, 反應級數m與n之值取決於化學反應機構, 與溫度改變的關聯性無關, 因此我們可知道: 當反應速率常數k值增加時, 反應速率r的大小亦與其成比例關係, 所以溫度升高時k值的增加亦使得反應速率隨之增加, 由實驗結果與碰撞學說中溫度上升引致反應速率增加是相符合的。

2. 由前面反應速率與濃度的關係圖, 我們亦可以觀察到當溫度上升, 反應速率曲線的變化斜率也增加了, 這也是一個很好的佐證。

陸、結論

(一)、我們應用Arduino mega 板、光敏電阻模組、麵包板及LCD模組所自製的反應終點偵測裝置, 可以發揮良好的偵測功能, 有效的應用於硫代硫酸鈉與鹽酸反應中, 硫沉澱的偵測與協助計時功能, 利用光敏電阻對於光強度的改變時阻值的變化進行感測, 所有實驗組均可依相同的標準來測定, 提升實驗的準確度及降低誤差。

(二)、相關文獻研究中提到, 反應的反應速率對硫代硫酸鈉濃度為一級反應, 對鹽酸濃度為零級反應, 但是經過我們團隊實驗的結果如下:

- (1.) 反應速率對硫代硫酸鈉濃度的反應級數, 趨近一級反應(反應級數為0.941~1.026之間)。
- (2.) 反應速率對鹽酸濃度的反應級數, 較接近零級反應(反應級數為0.103~0.266之間)。

(三)、在不同溫度下, 溫度的改變與反應速率的變化, 當溫度升高時, 無論是A組或B組的實驗, 結果皆顯示, 反應的時間縮短, 反應速率增加, 我們同時計算各組的速率常數k_a與k_b, 我們發現溫度升高時, 速率常數亦隨之增加, 此兩個結果, 均與化學文獻上所提到溫度增加可增加反應速率原理相符合。

柒、參考文獻

- (一)、葉名倉、劉如熹、邱智宏等(民103)。普通高級中學 基礎化學[三]。台南市: 南一書局。
- (二)、曾國輝(民102)。化學 第二版 上冊。台北市: 藝軒圖書公司。
- (三)、楊明豐(民108)。ARDUINO 最佳入門與應用。台北市: 碁峯圖書公司。
- (四)、葉亦心、葉亦修、林瑋晟。「硫晶歲月—自製偵測器探討硫代硫酸鈉與鹽酸之反應速率」中華民國第51屆中小學科學展覽會國中組。國立台灣科學教育館。
- (五)、沈冠宇、彭裕文、楊富雄、高維鴻。「自製濃度觀測工具及其在高中化學實驗的應用」中華民國第46屆中小學科學展覽會高中組。國立台灣科學教育館。
- (六)、何蕙如。「奈米微粒現形記~化學反應速率的探索」台灣二〇〇五年國際科學展覽會化學組。國立台灣科學教育館。
- (七)、Flinn Scientific—Teaching Chemistry (2017), Rate of Reaction of Sodium Thiosulfate and Hydrochloric Acid, Reference URL: <https://www.flinnsci.com/api/library/Download/78da6c8204aa48a294bd9a51844543ad> (網路外文資料)
- (八)、Arduino community forum, Arduino official web site, Reference URL: <https://www.arduino.cc/> (外文網頁論壇)