

# 台灣二〇〇五年國際科學展覽會

科 別：化學

作品名稱：奈米微粒現形記~化學反應速率的探索

得獎獎項：大會獎佳作

學 校：臺中縣立豐東國民中學

作 者：何蕙如

評語與建議事項：

本實驗利用自行設計的器材，利用膠態的形成作為化學反應速率的探討，實驗結果相當豐富，可用於微量檢測。



### 作者介紹：

自動、乖巧、能幹、懂事是我常從長輩口中聽到對自己稱讚的話。然而以前對於身材嬌小到有點自卑的我，最近才終於解開長久的迷惑，原來天生 X 染色體受損應被自然流產的我，卻是帶著特殊的任務似的，翩然來到了這個世界！幸好，除了生長遲緩外，我的智力無損。所以，對於未來我會更努力的學習與成長，希望自己以後對社會可以有更多的貢獻與回饋。

# Micro Experimentation and the Exploration of Reaction Rate

## Abstract

In order to facilitate a paradigm shift from traditional high volume chemical experiments to an environmentally friendly microdose experiment; I had to innovate and overcome a lot of difficulties. After six generations of experiment design I successfully reduced the volume of the combined reactants to a single drop.

I utilized many recycled components to build my apparatus including a vintage computer, a simple CD disk, optical sensors and a transistor from a common computer mouse. By using a CCD monitor with an external camera feed, the single drop chemical reaction can be observed in real time and a recording of the event can be made.

I chose the focus of the experiment to be the reaction of sodium thiosulfate and hydrochloric acid to create a colloidal solution of sulfonium nanoparticles. By employing a custom-made transparency target to achieve a higher precision of measurement I have also conducted deeper research into the reaction order and the rate constants.

## 中文摘要

### 奈米微粒現形記~化學反應速率的探究

為了將傳統高劑量的化學實驗順利的推向顯微液滴的化學實驗上，今年我們更是創新突破了很多困難的關卡。

儀器設計由第一代減量研究到第六代的減量設計，目前已能成功的運用報廢的光碟片、報廢的電腦、報廢滑鼠內的感光二極體元件及電晶體來自製設計出兩反應物各一滴溶液做自動偵測反應的記錄。透過顯微鏡加裝的 CCD 電子螢幕目視觀看、拍成電子影片檔由電腦播放的目標。

因此，我選定了硫代硫酸鈉溶液和鹽酸溶液反應可產生硫奈米微粒的膠態溶液作為實驗的主軸及設計可較精確定量的投影片載液面，我們也企圖對其反應速率式的級數及反應速率常數做更深入的探討。

## 研究報告

### 壹、研究動機

選錄國家奈米科學發展專書內的一段話：『諾貝爾物理學獎得主 Richard Feynman 在 1959 年的 There is Plenty of Room at the Bottom. (窺探究竟，空間還多得很) 的演說：「若能在原子、分子的尺度上製造材料元件，將會有意想不到的新發現。而若想實現此構想，得靠新的微型化儀器設備以達到測量及操控這些小東西-“奈米結構”」。』

同樣的，今天若要改進傳統的化學實驗以進入顯微化學實驗的殿堂，也得靠新的微型化儀器組合才能克盡全功！

恰好我對於「化學反應速率實驗」深感興趣，愈覺得實驗大有玄機在、困難及挑戰性也很高，除了希望能做定量的測試外，也希望可提昇至反應速率式的級數及反應速率常數的推測，所以我鎖定可產生硫奈米微粒的硫代硫酸鈉及鹽酸的反應來進行探究！

## 貳、研究目的

1. 水溶液化學實驗的微型設計
2. 探討硫代硫酸鈉及鹽酸反應的化學計量關係及第一~第六代的減量實測效果
3. 改變鹽酸溶液濃度以觀測其與硫代硫酸鈉反應的化學反應速率式關係
4. 改變硫代硫酸鈉溶液濃度以觀測其與鹽酸反應的化學反應速率式關係
5. 改變硫代硫酸鈉溶液的溫度以觀測其與鹽酸化學反應速率的影響
6. 加入鹽類觀測其對硫代硫酸鈉及鹽酸反應速率的影響

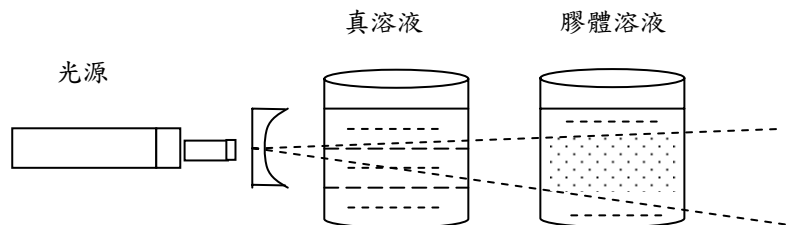
## 參、理論探究

(一)水溶液分類：依構成溶液粒子大小區分的溶液種類如下

1. 真溶液：凡溶質能全溶於溶劑(水)中，且形成澄清透明溶液者。例如有食鹽水、糖水、酒、硫酸銅水溶液、二鉻酸鉀水溶液…等。粒子大小約在  $10^{-10}$ m。
2. 膠態溶液：凡溶質只能部份溶於溶劑(水)中，且形成不透明溶液者。例如有牛奶、膠水、墨水、洗衣精…等。粒子直徑大小約在  $10^{-7}$ ~ $10^{-9}$ m(即 1~100nm)之間。
3. 懸浮液：粒子直徑超過  $10^{-6}$ m的物質，和液體混合生成不均勻的混合物，靜置一段時間，粒子則從溶劑中沈澱出來。此種液體中含有不均勻的粒子而容易分開來，稱為懸浮液。例如水和泥土混合即是。

(二)膠體溶液

1. 膠體溶液的粒子為分子或離子，其大小約在  $10^{-10}$ 公尺。比這個大的粒子，直徑有  $10^{-9}$ ~ $10^{-7}$ 公尺，是高分子或由於粒子的會合或離子吸附溶劑分子而構成的原子集團，也使得原子數目達  $10^3$ ~ $10^9$ 個，由這種粒子所構成的溶液即為膠體溶液，例如咖啡、牛奶、豆漿、蛋白、澱粉等。
2. 這些膠體溶液並不是真溶液，像膠質這麼大的粒子( $10^{-9}$ ~ $10^{-7}$ 公尺)，與其說它「溶於」溶劑(分子直徑  $10^{-10}$ 公尺)，不如說它「分散於」溶劑來得恰當。而存在於「分散媒」溶劑的膠體微粒就叫「分散質」，整體液體就叫「分散系」。分散系的種類又分為二：
  - (1)膠質溶液(膠溶或膠液)：具有流動性。例如牛奶、豆漿、墨水…。
  - (2)膠凝體(膠凍)：不具流動性，成凝固狀。例如果凍、奶油、沙拉醬…。
3. 膠體溶液是最早研究的奈米微粒系統，若能從簡單的膠體溶液中探討奈米微粒的形成，應是了解其性質的方法。
4. 膠體溶液的特性有三：廷得耳效應(Tyndall effect)、布朗運動(Brownian movement)、膠質粒子的帶電。
  - (1)廷得耳效應(Tyndall effect)：光線通過膠體溶液時，因為膠質粒子較大，足以散射光線的關係，顯出一條光亮的通路，而真溶液則沒有這種現象，如下圖所示



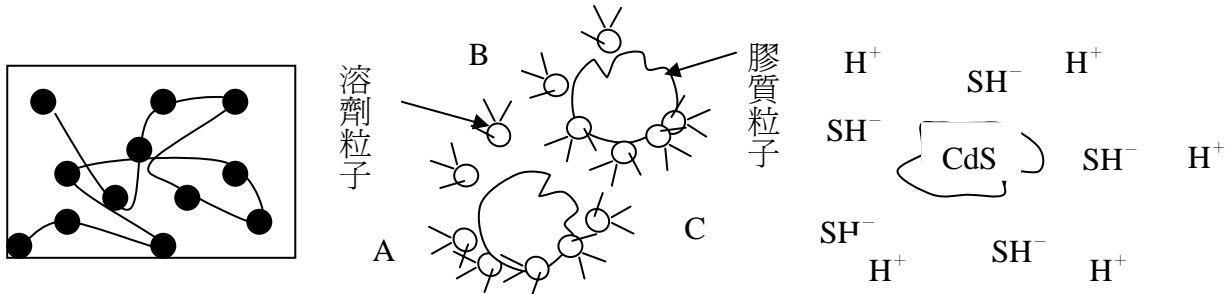
完全透明的真溶液

沒有一條光亮的通路

白色膠體溶液

可看到一條光亮的通路

(2) 布朗運動(Brownian movement)：當光線通過膠體溶液，以顯微鏡在垂直於光線的方向觀察時，可見膠質粒子成無數光點，並且不停地作急速運動，此謂之，如下圖一所示。又布朗運動的成因乃為同一時間，膠質粒子受許多溶劑粒子的碰撞而造成，如下圖二所示。當膠質粒子在 A 位置時，受到許多溶劑分子的碰撞，又碰撞在下邊的溶劑分子數較多，使得膠質粒子向上移動到 B 位置，在 B 位置時，又受到不平衡的碰撞，使得膠質粒子移動到 C 位置。



圖一

圖二

圖三

(3) 膠質粒子帶有電荷：是由於膠質粒子吸附溶液中已有的離子而來。如金屬的氫氧化物常帶正電荷，金屬的硫化物常帶負電荷，如圖三所示。硫化鎘CdS吸附溶液中的氫硫離子HS<sup>-</sup>而帶電，此時若在膠體溶液中加入少許電解質或插入兩電極並通電，則膠質粒子所帶的電荷立即被電性相反的離子或電荷中和而凝聚析出。豆漿中加石膏，則其中的蛋白質即凝成豆花，又豆漿中加非電解質的糖即成為甜豆漿(仍為膠體溶液)，若加入電解質如醋酸，則其中的膠質凝聚析出，例如鹼豆漿成為蛋花狀即為此原因。

### (三) 照度及光吸收衰減度

1. 光照射到物體上，在單位時間內，被照射體單位面積上所接受的光量大小稱為被照體的照度。單位為勒克斯 (lux)。
2. 光吸收衰減儀原理

光經過有色溶液會產生光度減弱的現象，減弱的光度多寡與有色物質濃度大小有關。

### (四) 了解影響化學反應速率的因素及原理

據查資料後可知影響化學反應速率的因素有以下五點：

1. 反應物質的本性—活性愈大的物質，化學反應的速率會愈大。所以，鎂與鹽酸反應產生的氣泡速率比鋁與鹽酸反應產生的氣泡速率快，這是因為鎂的活性大於鋁的原因。
2. 反應物的濃度—濃度愈大的物質，化學反應的速率會愈大。這是因為濃度高的粒子反應碰撞的機會增加，所以反應速率會較快的原因。
3. 反應物的溫度—在高溫時，粒子運動速率愈快，具較大的能量，故反應速率較快。依碰撞學說解釋，高溫時，單位時間內，反應物粒子碰撞次數及能量就會隨溫度而增加，使有效碰撞次數也增加，反應速率增快；反之，溫度時反應就減慢。
4. 反應物的接觸表面積—同體積的物質，顆粒愈小，則其總表面積愈大。若將一邊長為 a 之立方體分割為邊長為 a/n 之小立方體，則其總表面積變為原來之 n 倍。所以，反應物的顆粒愈細，其總面積愈大，則粒子間的碰撞次數愈多，故其反應速率愈快。
5. 催化劑—凡可促進或抑制化學反應的進行，且反應前後質量沒有改變的物質，稱為催化劑。其特性是僅能改變反應速率，但不能使不反應變成能反應，且加入催化劑不能改變反應物或生成物的量。在反應過程中，雖參與反應，但反應前後其成分本質皆不變。催化劑有選擇性，某一催化劑只適合於某一反應，而其他反應不一定可以用此催化劑催化。

## (五)反應級數

### 1. 積分作圖反應速率法 (rate method of integration pictogram)

(1) 化學反應速率是以單位時間內反應物的消耗量或產物的生成量來表示：

若反應式為  $aA + bB \rightarrow cC + dD$

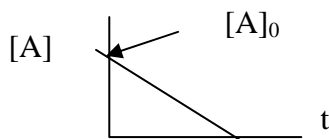
則其  $\text{rate} = -\Delta[A]/a\Delta t = -\Delta[B]/b\Delta t = \Delta[C]/c\Delta t = \Delta[D]/d\Delta t$

而其速率定律式 rate law 又可表示為  $\text{rate} = k[A]^m [B]^n$

式中  $m$  為反應物 A 的級數、 $n$  為反應物 B 的級數，總反應級數則為  $m+n$ ，值得注意的是反應級數可以為整數、分數、甚至是負數，此數值不是由化學方程式的係數來決定，而是由其反應的實際實驗數據所測得。

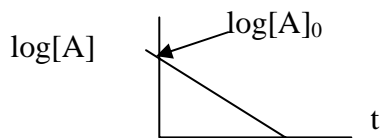
(2) 反應  $aA \rightarrow B + C$  若為零級反應，則  $\text{rate} = -\Delta[A]/\Delta t = k[A]^0 = k$ ， $k$  為速率常數在定溫下應為定值，以微積分的方式表示  $-dA/dt = k$   $-dA = kdt$   $\therefore \int -dA = k \int dt$  後，

$[A - A_0] = -k[t - t_0]$ ， $A_0$  為反應物 A 的初濃度，而  $A$  為反應物 A 的最後濃度；開始反應的時間  $t_0$  若為 0，而  $t$  為最終反應時間，則上述算式則為： $[A_0] - [A] = kt$  也就是說反應若為零級反應，其積分作圖法可如下圖表示，如果實驗數據結果畫出的曲線呈直線關係，則表示此反應為零級反應。



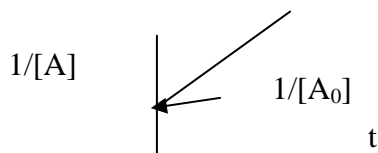
(3) 反應  $aA \rightarrow B + C$  若為一級反應，則  $\text{rate} = -\Delta[A]/\Delta t = k[A]^1 = k[A]$ ，以微積分的方式表示  $-dA/dt = kA$   $dA/A = -kdt$   $\therefore \int dA/A = -k \int dt$  後，同上代號的敘述，算式會變成：

$\ln A/A_0 = -kt$ ， $2.303 \log A/A_0 = -kt$ ， $\log A - \log A_0 = -kt/2.303$ ，即  $\log A - \log A_0 = -k't$ ，也就是說反應若為一級反應，其積分作圖法可如下圖表示，如果實驗數據結果畫出的曲線呈直線關係，則表示此反應為一級反應。



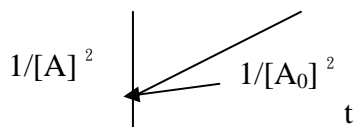
(4) 反應  $aA \rightarrow B + C$  若為二級反應，則  $\text{rate} = -\Delta[A]/\Delta t = k[A]^2$ ，以微積分的方式表示  $-dA/dt = kA^2$   $dA/A^2 = -kdt$   $\therefore \int dA/A^2 = -k \int dt$  後，同上代號的敘述，算式會變成：

$-(1/A - 1/A_0) = -kt$ ， $1/A_0 - 1/A = -kt$ ，即  $1/A - 1/A_0 = kt$ ，也就是說反應若為二級反應，其積分作圖法可如下圖表示，如果實驗數據結果畫出的曲線呈直線關係，則表示此反應為二級反應。



(5) 反應  $aA \rightarrow B + C$  若為三級反應，則  $\text{rate} = -\Delta[A]/\Delta t = k[A]^3$ ，以微積分的方式表示  $-dA/dt = kA^3$   $dA/A^3 = -kdt$   $\therefore \int dA/A^3 = -k \int dt$  後，同上代號的敘述，算式會變成：

$1/A_0^2 - 1/A^2 = -kt$ ， $1/A^2 - 1/A_0^2 = kt$ ，也就是說反應若為三級反應，其積分作圖法可如下圖表示，如果實驗數據結果畫出的曲線呈直線關係，則表示此反應為三級反應。



(6)上述反應速率式及積分關係式、作圖法推論比較整理如下

| 級數 | 速率表示法      | 濃度與時間關係                  | 直線圖             |
|----|------------|--------------------------|-----------------|
| 0  | $r=k$      | $[A_0]-[A]=kt$           | $[A]$ 對 $t$     |
| 1  | $r=k[A]$   | $\log[A_0]/[A]=kt/2.303$ | $\log[A]$ 對 $t$ |
| 2  | $r=k[A]^2$ | $1/[A]-1/[A_0]=kt$       | $1/[A]$ 對 $t$   |
| 3  | $r=k[A]^3$ | $1/A^2-1/A_0^2=kt$       | $1/A^2$ 對 $t$   |

## 2. 初期反應速率法(initial rate method)

- (1)反應初速率的測定，一般是在反應物一開始混合時，極短的一段時間內，去量測某一反應物或產物濃度的變化量，即可近似於反應的初速率。
  - (2)測定反應物，如 A 的濃度隨反應時間的變化，再以  $[A]$ 、 $\log [A]$ 、 $1/[A]$  對時間  $t$  作圖，何者呈直線關係，反應級數據此判定。
  - (3)如果反應速率是由二個或二個以上的反應物濃度函數來表示的話，為了將實驗變得單純，可將其他反應物濃度相對於待測反應物的起始濃度設得很大，也就是說其他反應物起始濃度即為過量，故反應過程中其他反應物的濃度變化就可忽略而視為定值，反應速率只隨待測反應物的濃度變化而變，因此可以再以上述的積分作圖法一一找出待測反應物的反應級數了。
3. 需注意的是，反應級數可為整數、分數或負數，非由化學平衡方程式的係數決定，必須由實驗測得！

## (六)反應速率常數

1. 反應  $A+B \rightarrow C$  若為零級反應，即  $\text{rate} = -\Delta[A]/\Delta t = k[A]^0 [B]^0 = k$ ，由上述可推知： $[A_0]-[A]=kt$ ，即濃度除以反應時間則為速率常數的大小，而其單位則為  $L^{-1}s^{-1}mol$ 。
2. 反應  $A+B \rightarrow C$  若為一級反應，即  $\text{rate} = -\Delta[A]/\Delta t = k[A]$  或  $=k[B]$ ，由上述可推知： $\log[A_0]/[A]=kt/2.303$ ，而  $\log[A_0]/[A]$  沒有單位，所以其除以每次的反應時間則為速率常數的大小，故單位則為  $s^{-1}$ 。
3. 反應  $A+B \rightarrow C$  若為二級反應，即  $\text{rate} = -\Delta[A]/\Delta t = k[A]^2$  或  $=k[B]^2$  或  $=k[A][B]$ ，由上述可推知： $1/[A]-1/[A_0]=kt$ ，即每次濃度的倒數再除以反應時間，則為速率常數的大小，故其單位則為  $s^{-1}mol^{-1}L$ 。
4. 反應  $A+B \rightarrow C$  若為三級反應，即  $\text{rate} = -\Delta[A]/\Delta t = k[A]^3$  或  $=k[B]^3$  或  $=k[A]^2[B]$  或  $=k[A][B]^2$ ，由上述可推知： $1/A^2-1/A_0^2=kt$ ，即每次濃度平方的倒數再除以反應時間，則為速率常數的大小，故其單位則為  $s^{-1}mol^{-2}L^2$ 。

## 肆、藥品及研究設備器材

### 一、藥品

硫代硫酸鈉、鹽酸、食鹽

### 二、器材

1. 一般普通器材：滴管、試管、隨堂測驗紙、燈泡座、金屬剪、鉗子、膠帶、熱熔槍、大凸透鏡、量筒、碼錶、黑色簽字筆、銅漆包線、砂紙、塊狀磁鐵、溫度計、雷射筆、LED 燈、光源聚光座、兩顆充電電池及電池座
2. 廢物利用的回收器材：回收支撐透鏡的金屬框、回收果凍杯、回收茶葉罐、報廢光碟片
3. 自製器材：自製含「+」字方格的投影片、自製含「箕空+」字方格的投影片、自製聚光反射光碟盤



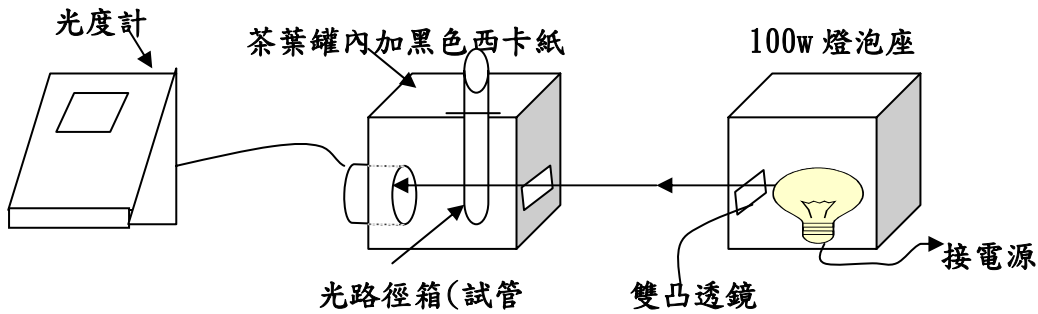
### 三、儀器

1. 普通儀器：光度計、顯微鏡台、CCD 電子螢幕、數位相機、數位攝影機、電腦
2. 廢物利用的回收儀器：報廢的 486 電腦、報廢滑鼠內的感光二極體
3. 自組及自製儀器：第一代減量光度衰减儀~自組設計第六代減量顯微儀

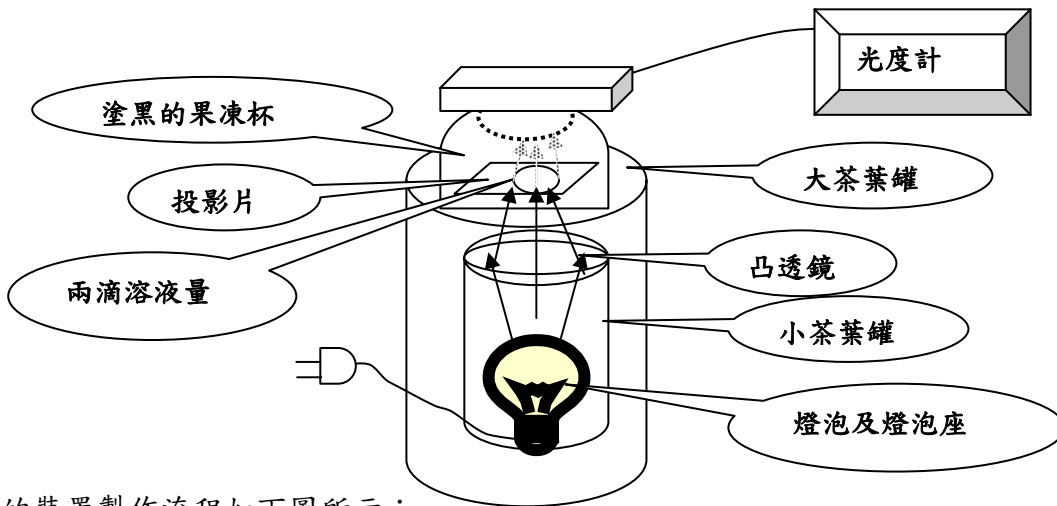
## 伍、實驗裝置設計及研究過程

### [研究一] 水溶液化學實驗的微型設計

#### 第一代減量光度衰减儀



#### 第二代減量光路徑柱



實際的裝置製作流程如下圖所示：



小茶葉罐頂釘打並剪出比凸透鏡略小的洞來



大、小茶葉罐底釘打剪出燈座線的孔及光柵透氣柱



將燈泡座的插頭穿過小茶葉罐底所自己釘打的洞



凸透鏡放置在小茶葉罐頂上



穿線大茶葉罐套在小茶葉罐上



並釘打出 2 滴溶液量的孔洞

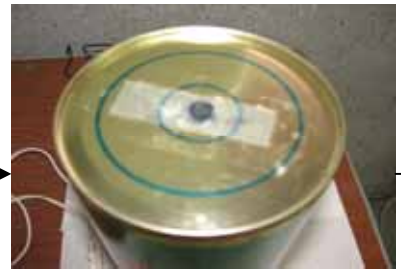




放置一張紙看看光區及亮度



光度計套上剪切好的塗黑果凍杯上



洞口為兩滴溶液量大小，大圓為倒蓋果凍杯的外圍線



已做好的光路徑組

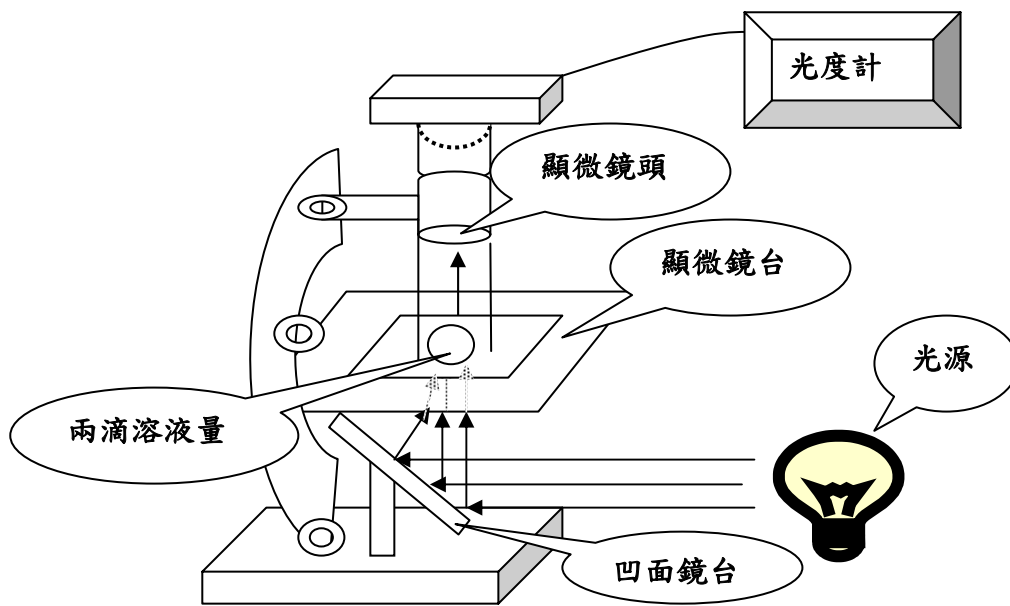


光度計準備倒蓋於承載二滴溶液的投影片上

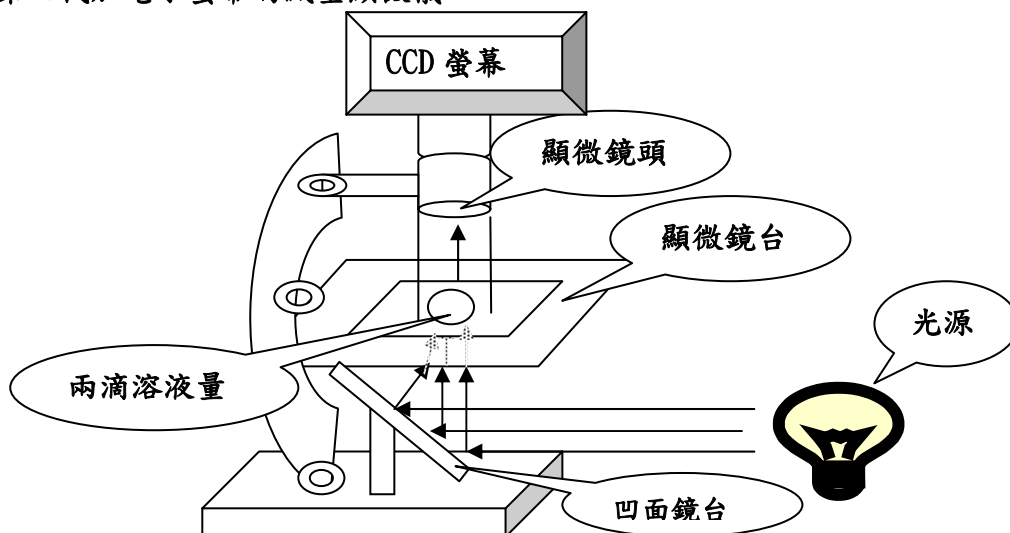


光度計蓋上對準外圍線後立即測量實驗的光衰減值

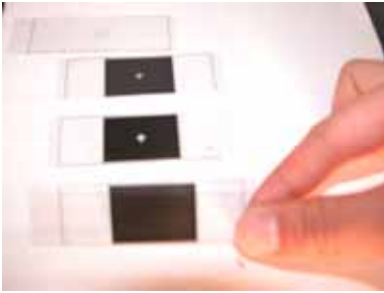
### 自組第三代減量顯微光度儀



### 自組設計第四代加電子螢幕的減量顯微儀



實際的實驗測試如下圖所示：



電腦繪製的十字及簍空十字投影片



最細的簍空



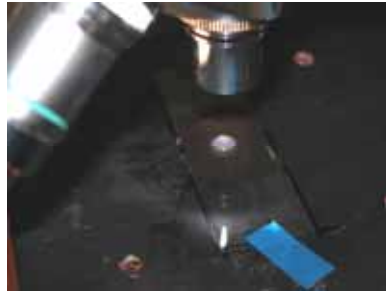
中度線條的簍空



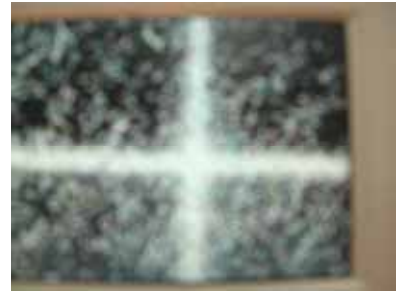
粗線條簍空投影片



螢幕上最細的「+」簍空投影片



液滴已開始變白反應快結束了



應已反應結束的，螢幕仍未全黑



共再經 10 分鐘的螢幕



換較濃的劑量使 S 產量更多些，螢幕看起來仍無法全黑



改為中線條簍空投影片仍無法讓螢幕看起來仍無法全黑



改為粗線條的投影片進行實驗仍無法合理的判讀而不準



改有顏色的硫代硫酸鈉溶液和碘液的有色反應



螢幕上的顏色較易觀看



顏色已逐漸淡化了

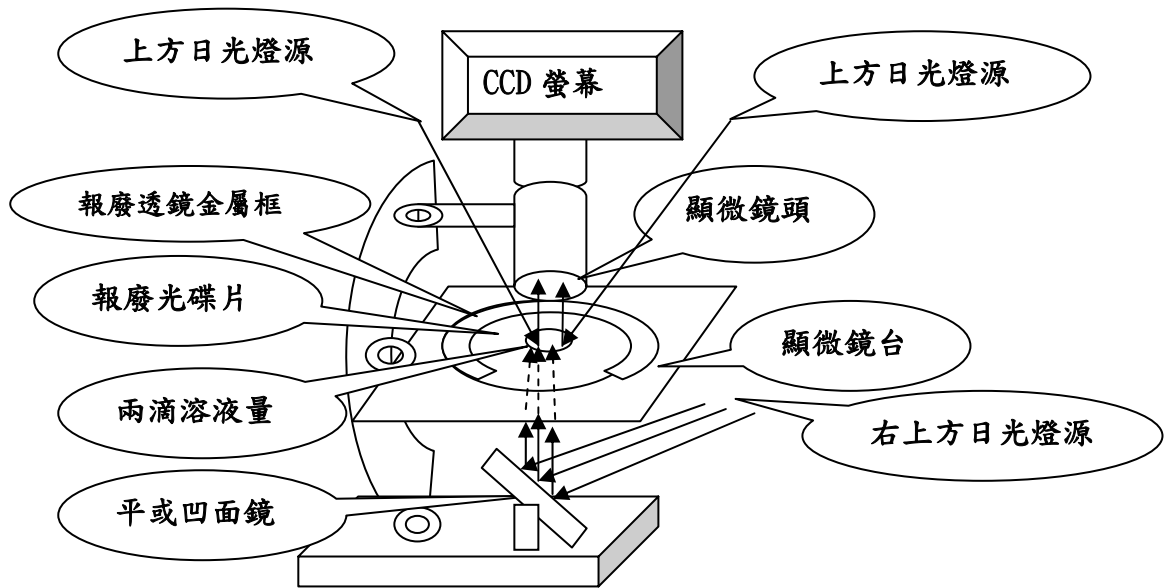


可以清楚的判讀顏色消失的反應時間



換成粗的簍空十字也很易判讀顏色消失的反應時間

自組設計第五代加電子螢幕及聚光反射光碟盤的減量顯微儀(可由上方、側方向下反射或下方向上折射)，而可看清不透明物的外觀及顏色



實際的實驗測試如下圖所示：



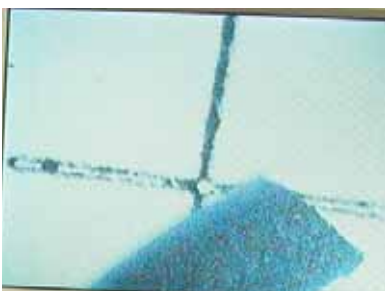
白色報廢的光碟片及金屬框



顯微鏡頭下不透明的藍色膠帶



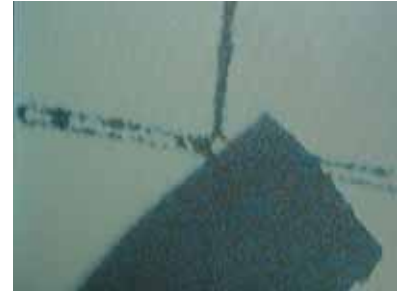
由前、上方日光燈向下投射



可清楚的看到藍色不透明膠帶



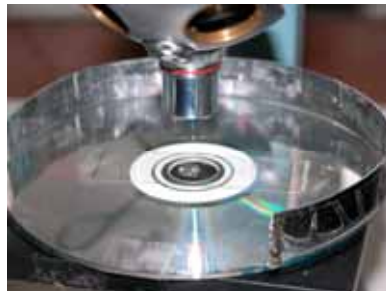
以另一光碟遮去上方光源



藍色不透明膠帶呈現黑色



試試黑色的最細十字效果



顯微鏡頭下的兩滴反應物



黑色十字線條開始被S蓋住而模糊





黑色十字線條已不見了



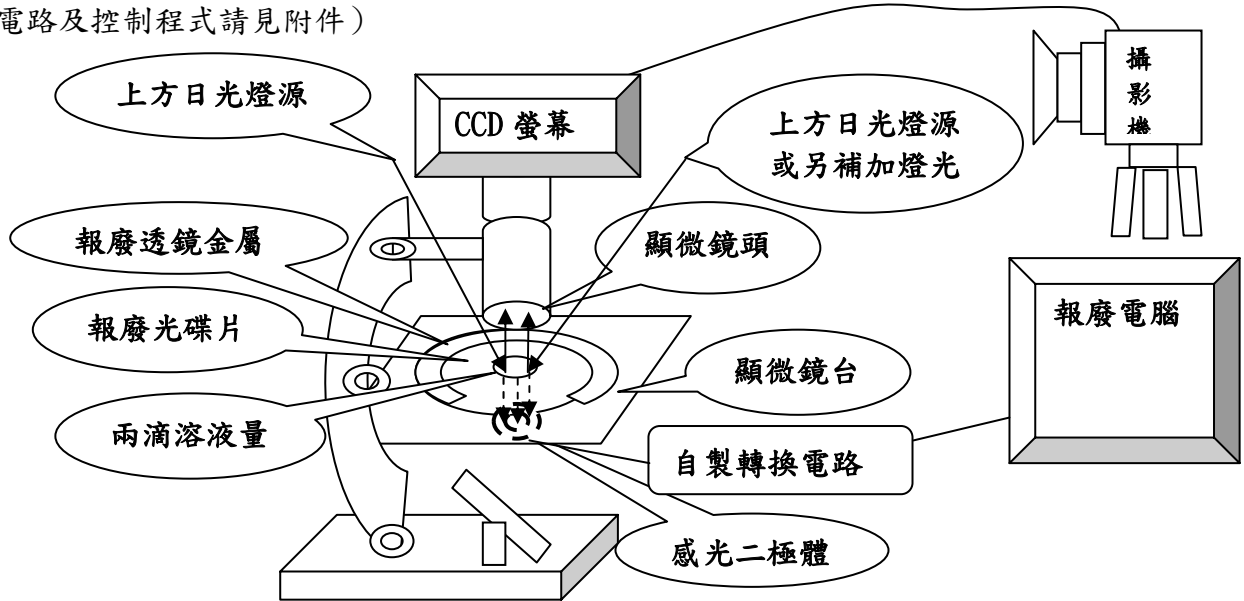
按下碼錶停止，反應結束了



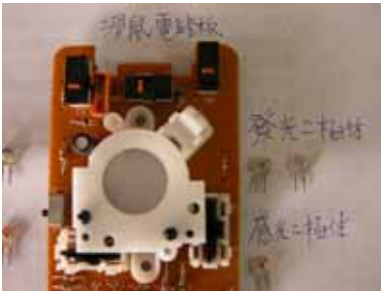
顯微鏡頭下產生白色膠態產物

自組設計出第六代加電子螢幕、聚光反射光碟盤及自製轉換電路的減量顯微儀

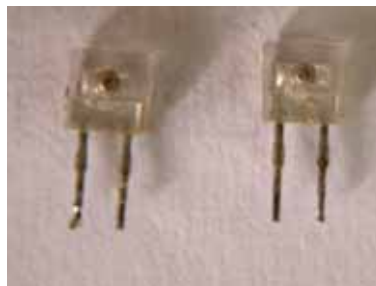
(電路及控制程式請見附件)



實際的實驗測試如下圖所示：



拆開電腦滑鼠的情形



這是滑鼠上的發光二極體



這是滑鼠上的感光二極體



這是電腦上的控制程式



自製的轉換電路

|     |     |
|-----|-----|
| 132 | 127 |
| 235 | 127 |
| 221 | 127 |
| 242 | 127 |
| 191 | 127 |
| 177 | 127 |
| 243 | 127 |
| 242 | 127 |
| 226 | 127 |
| 243 | 127 |
| 238 | 127 |
| 241 | 127 |
| 241 | 127 |
| 214 | 127 |
| 242 | 127 |
| 235 | 127 |
| 237 | 127 |
| 144 | 127 |
| 36  | 127 |
| 32  | 127 |
| 35  | 127 |

試跑數據的情形(1)

|     |     |
|-----|-----|
| 242 | 127 |
| 238 | 127 |
| 237 | 127 |
| 144 | 127 |
| 36  | 127 |
| 32  | 127 |
| 36  | 127 |
| 33  | 127 |
| 159 | 127 |
| 42  | 127 |
| 68  | 127 |
| 68  | 127 |
| 234 | 127 |
| 242 | 127 |
| 212 | 127 |
| 243 | 127 |
| 237 | 127 |
| 243 | 127 |
| 248 | 127 |
| 248 | 127 |

試跑數據的情形(2)

## 【研究二】探討硫代硫酸鈉及鹽酸反應的化學計量關係及第一~第六代的減量實測效果

### (一)配製藥品濃度

1. 0.025M、0.050M、0.075M、0.100M 硫代硫酸鈉水溶液：以電動天平各精稱試藥級的硫代硫酸鈉 0.6205g、1.2409g、1.8614g、2.4818g，分別加少量的水溶解後，各倒入 100ml 量瓶中，加水稀釋至標線。

計算  $W_1=(M)MV=0.025 \times 248.18 \times 0.1=0.6205g$ ， $W_2=(M)MV=0.050 \times 248.18 \times 0.1=1.2409g$

$W_3=(M)MV=0.075 \times 248.18 \times 0.1=1.8614g$ ， $W_4=(M)MV=0.100 \times 248.18 \times 0.1=2.4818g$

2. 0.2M、0.4M、0.6M、0.8M、1.0M 鹽酸水溶液：取 15M 濃鹽酸 5ml 沿玻棒緩慢倒入裝有 50ml 去離子水的量筒中，再加水稀釋至 75ml 刻度線，輕輕攪拌即為 1M 的鹽酸溶液。再各取 1M 的鹽酸 1、2、3、4、5ml，分別加水至 10 ml 刻度線，即為 0.2M、0.4M、0.6M、0.8M、1.0M 鹽酸水溶液計算  $MV = M'V'$

$15 \times 0.005 = 1 \times 0.075$  試藥級濃鹽酸稀釋至 1M 的濃度、

$1 \times 0.001 = 0.1 \times 0.010$  1M 的鹽酸稀釋至 0.1M 的濃度、

$1 \times 0.002 = 0.2 \times 0.010$  1M 的鹽酸稀釋至 0.2M 的濃度、

$1 \times 0.003 = 0.3 \times 0.010$  1M 的鹽酸稀釋至 0.3M 的濃度、

$1 \times 0.004 = 0.4 \times 0.010$  1M 的鹽酸稀釋至 0.4M 的濃度、

$1 \times 0.005 = 0.5 \times 0.010$  1M 的鹽酸稀釋至 0.5M 的濃度、

### (二)反應計量估算式



莫耳數比 1 : 2 : 2 : 1 : 1 : 1

$(M_1) \times V_1$        $(M_2) \times V_2$       w/M

$0.1 \times 10 / 1000$        $0.2 \times 10 / 1000$       w/32

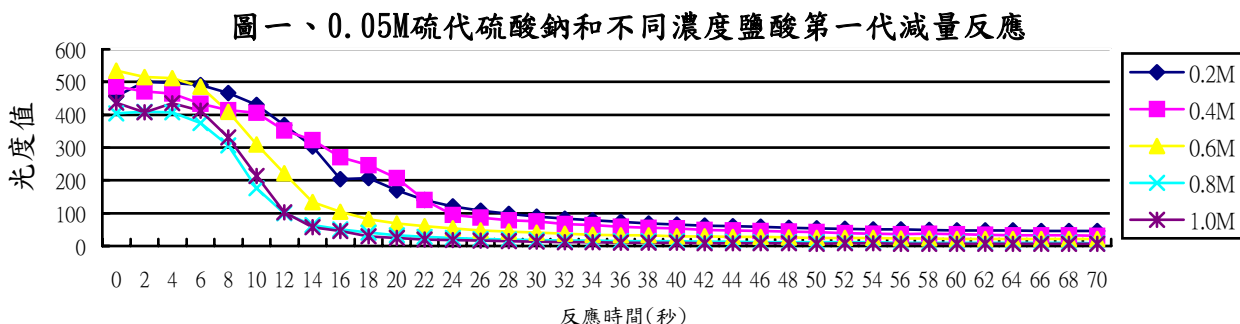
$\therefore w = 32 \times 0.1 \times 10 / 1000 = 0.032g = 0.1 \times 10 / 1000 \text{mol} = 6 \times 10^{20}$  個的 S 微粒析出

1. 硫代硫酸鈉為限量試劑：根據碰撞理論，若提高其中一反應物的濃度，則濃度高的粒子反應碰撞的機會增加，反應速率會較快。所以，若要觀測改變硫代硫酸鈉溶液濃度與鹽酸反應的化學反應速率式關係，我們可以讓硫代硫酸鈉為限量試劑(操縱變因)，而鹽酸為足量(控制變因)，這樣所加入硫代硫酸鈉的濃度增加後，設計蓋住”十”字的 S 產物沉澱量會較快析出，而可對照出其與化學反應速率是否有關係。

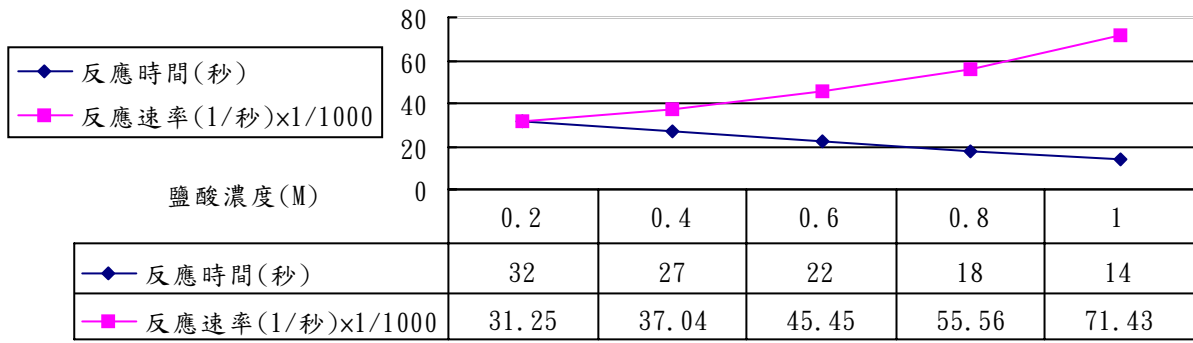
2. 鹽酸為限量試劑：若要觀測改變鹽酸濃度與硫代硫酸鈉溶液反應的化學反應速率式關係，我們可以讓鹽酸為限量試劑(操縱變因)，而硫代硫酸鈉為足量(控制變因)，這樣所加入鹽酸的濃度增加後，設計蓋住”十”字的 S 產物沉澱量會較快析出，而可對照出其與化學反應速率是否有關係。

### (三)第一代減量實測效果 (實驗步驟及實驗數據製表如附件一)

各試管所記錄的反應時間和光度值的關係如下圖，每一條曲線的轉折點即為反應完成的時間，此時的光度值應接近最低值。

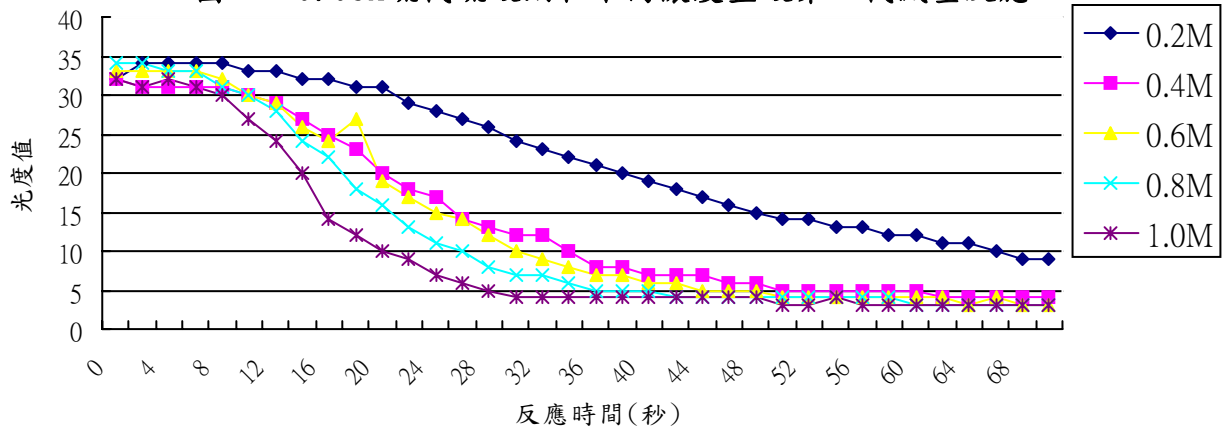


圖二、0.05M硫代硫酸鈉和不同濃度鹽酸的第一代減量反應

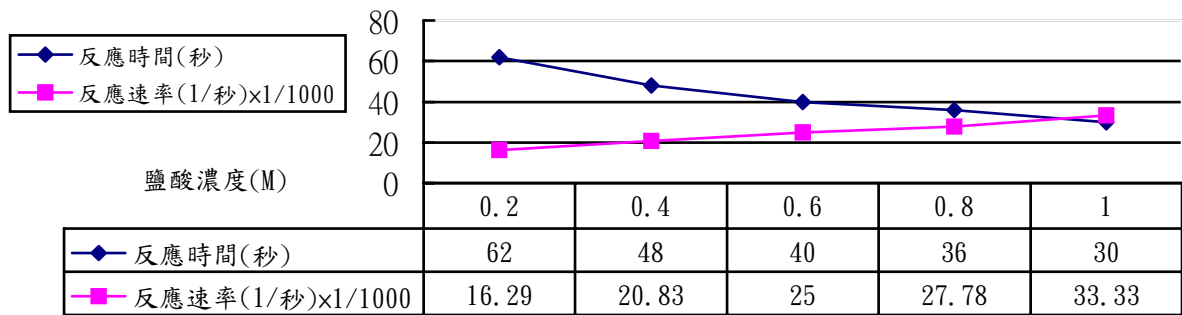


(四) 第二代減量實測效果 (實驗步驟及實驗數據製表如附件二)

圖三、0.05M硫代硫酸鈉和不同濃度鹽酸第二代減量反應

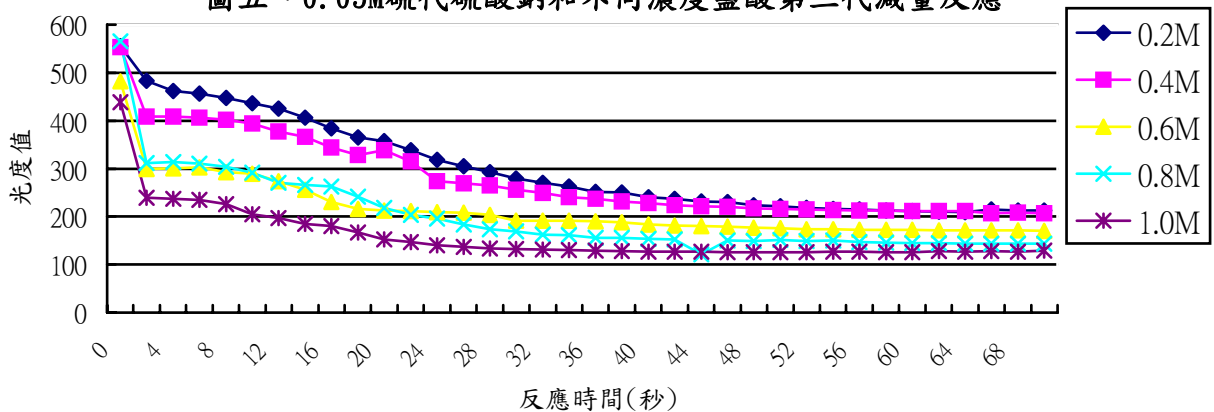


圖四、0.05M硫代硫酸鈉和不同濃度鹽酸的第二代減量反應

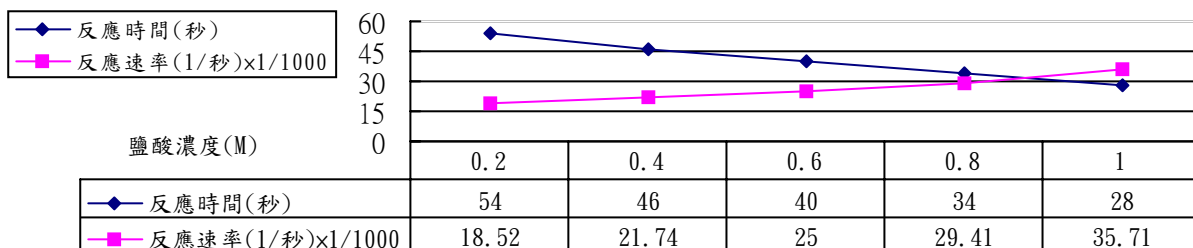


(五) 第三代減量實測效果 (實驗步驟及實驗數據製表如附件三)

圖五、0.05M硫代硫酸鈉和不同濃度鹽酸第三代減量反應



圖六、0.05M 硫代硫酸鈉和不同濃度鹽酸的第三代減量反應

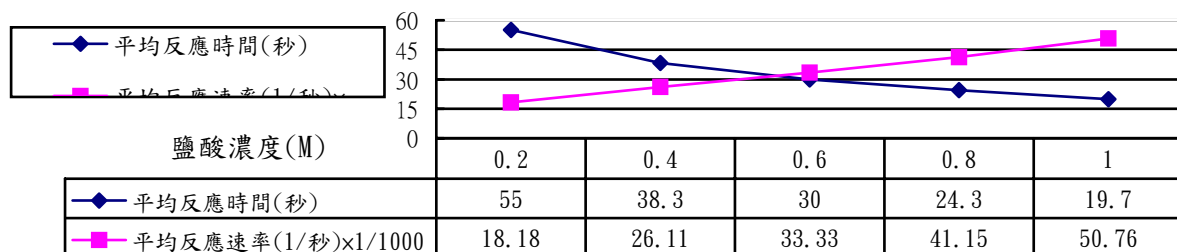


(六) 第四代減量實測效果 (實驗步驟如附件四) 無法記錄實驗數據及製表，因為

1. 若以硫代硫酸鈉溶液和鹽酸的反應而言，此第四代的設計應宣告失敗，因為無法判讀正確的反應時間，原因可能在於產生 S 奈米微粒使整個溶液呈膠態溶液，而當照光時，產生的廷得耳效應及布朗運動，使得光線有部分可穿透而始終無法與簾空旁的黑色相比擬，所以影響了判讀反應的時間。
2. 若以硫代硫酸鈉溶液和碘液的有色反應而言，此第四代的設計還算成功，因為視覺上對於顏色的變化仍易判讀，所以反應時間的偵測誤差還算合理。

(七) 第五代減量實測效果 (實驗步驟及實驗數據製表如附件五)

圖七、0.05M 硫代硫酸鈉和不同濃度鹽酸的修正第四代減量反應



(八) 第六代減量實測效果 (實驗步驟及電腦上記錄的一滴 0.05M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液和一滴不同濃度 HCl 反應光感數字變化數據如附件六) 第一代、第二代~第五代的硫代硫酸鈉溶液與鹽酸溶液的反應劑量、反應時間及優缺點比較如下：

| 實驗方法    | $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液 (M) $\times V$                             | HCl 溶液 (M) $\times V$  | 反應時間  | 優缺點比較   |  |
|---------|---|--|-------|---|--|
| 目前傳統課本  | $0.1 \times 0.01 = 1 \times 10^{-3} \text{ mol}$                                | $0.2 \times 0.01 = 2.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$                             | 615 秒 | 玻璃器材易破、佔的空間大、用完還需大量清水沖洗，藥品用量多、反應時間長、廢液量多需集中處理、非常不環保。  |  |
| 第一代     | $0.05 \times 0.004 = 2.0 \times 10^{-4} \text{ mol}$ 為原傳統的 1/5                  | $0.2 \times 0.002 = 4.0 \times 10^{-4} \text{ mol}$ 為原傳統的 1/5                  | 32 秒  | 相當省時，用量也只需原來的 1/5，除了光度計、光源外，實驗裝置易做，唯無法直接讀出反應時間，需電腦繪圖求出。   |  |
| 第二代     | 均為 $0.05 \times 5 \times 10^{-6} = 2.5 \times 10^{-7} \text{ mol}$ 為原傳統的 1/4000 | 均為 $0.2 \times 5 \times 10^{-6} = 1.0 \times 10^{-6} \text{ mol}$ 為原傳統的 1/2000 | 62 秒  | 史上最低用量，反應也只需原傳統的 1/10 時間，投影片只要不刮傷、可重覆使用，用 1/10 張衛生紙擦掉反應後物質且只需用幾滴水清洗擦乾即可，太環保了。雖用點創意將現成的設備加以利用，但是光度值的 1~2 位數字變化，實在令人不太滿意。 |  |
| 第三代     |   |  | 54 秒  | 用量等優點同第二代。除光度計、光源外，所有的光路徑等全用回收的罐子、布丁盒等完成，已有些令人滿意了，但是看不到反應的變化，且同第一、二代一樣無法直接讀出反應時間，需電腦繪圖求出結果。                             |  |
| 第四代~第五代 |   |  | 55 秒  | 用量...等優點同第二代。特別設計的含最細「+」字方格投影片、報廢的光碟等聚光反射台，解決了可看到奈米硫微粒蓋住十字的結果，也可立即讀出反應時間約一分鐘內即可完成，還可攝影存成電腦檔隨時可再播放，結果令人滿意！               |  |
| 第六代     |   |  |       |   | 用量...等優點同第四代。再加以特別設計組裝自動記錄數據的結果，同時解決可看、可錄影、可自動記錄的結果。 |



### 【研究三】改變鹽酸溶液濃度以觀測其與硫代硫酸鈉反應的化學反應速率式關係

以下將HCl為反應可用完的限量試劑而Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>為過量試劑，並以第五代裝置做出的實驗結果

| HCl (M) | (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) (M) | Log(HCl) | 1/(HCl) | 反應時間 t (s) |    |    |    |    | 平均反應時間 (s) | Rate (1/s) | Rate (M/s) |
|---------|--|----------|---------|------------|----|----|----|----|------------|------------|------------|
| 0.2     | 1.0  | -0.69897 | 5.00    | 21         | 21 | 21 | 19 | 20 | 20.4       | 0.0490     | 0.0098     |
| 0.4     | 1.0  | -0.39794 | 2.50    | 14         | 14 | 13 | 13 | 13 | 13.4       | 0.0750     | 0.0300     |
| 0.8     | 1.0  | -0.09691 | 1.25    | 11         | 11 | 9  | 10 | 9  | 10.0       | 0.1000     | 0.0800     |
| 0.2     | 0.5  | -0.69897 | 5.00    | 36         | 37 | 38 | 33 | 35 | 35.6       | 0.0281     | 0.0056     |
| 0.4     | 0.5  | -0.39794 | 2.50    | 19         | 19 | 20 | 21 | 21 | 20.0       | 0.0500     | 0.0200     |

設反應速率式為  $rate = -\Delta[B] / \Delta t = k[Na_2S_2O_3]^m [HCl]^n$

1. 初期反應速率法(initial rate method)為改變[HCl]此種反應物的初濃度而[Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]足量濃度的反應條件維持固定不變，以求取此濃度變化對反應初速率的影響，其反應速率式比較如下：

$$r_2/r_1 = 0.030/0.0098 = 3.06 = 2^{1.61}$$

$$= k(1.0)^m (0.4)^n / k(1.0)^m (0.2)^n = 2^n \therefore n = 1.61$$

$$r_3/r_1 = 0.08/0.0098 = 8.16 = 4^{1.51}$$

$$= k(1.0)^m (0.8)^n / k(1.0)^m (0.2)^n = 4^n \therefore n = 1.51$$

$$r_3/r_2 = 0.08/0.03 = 2.67 = 2^{2.4}$$

$$= k(1.0)^m (0.8)^n / k(1.0)^m (0.4)^n = 2^n \therefore n = 1.42$$

$$r_5/r_4 = 0.02/0.0056 = 3.57 = 2^{1.84}$$

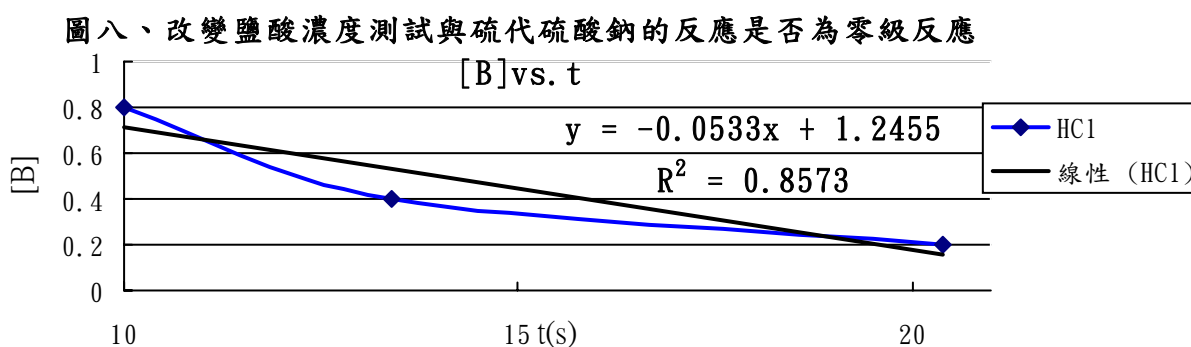
$$= k(0.5)^m (0.4)^n / k(0.5)^m (0.2)^n = 2^n \therefore n = 1.84$$

(與前面三組速率比差太多，我想 0.5M 的硫代硫酸鈉濃度似乎不夠過量，至少得 1M 的濃度才能視為常數值而不干擾鹽酸在反應級數中的判斷)

由上述的反應速率比較後得知，對此反應速率的影響約為 1.5 級反應。

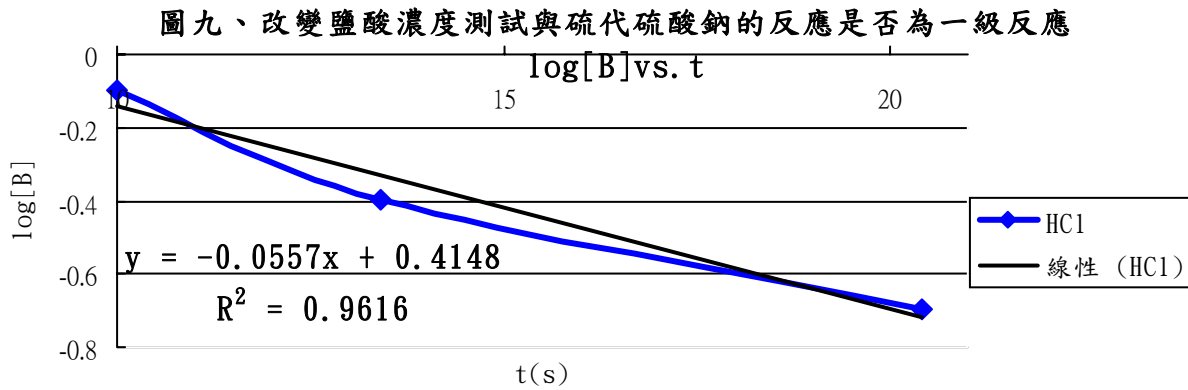
2. 但以積分作圖法分析上述的數據，其可能的反應級數如下：

(1) 以[B]對 t 作圖來判斷是否為零級反應？



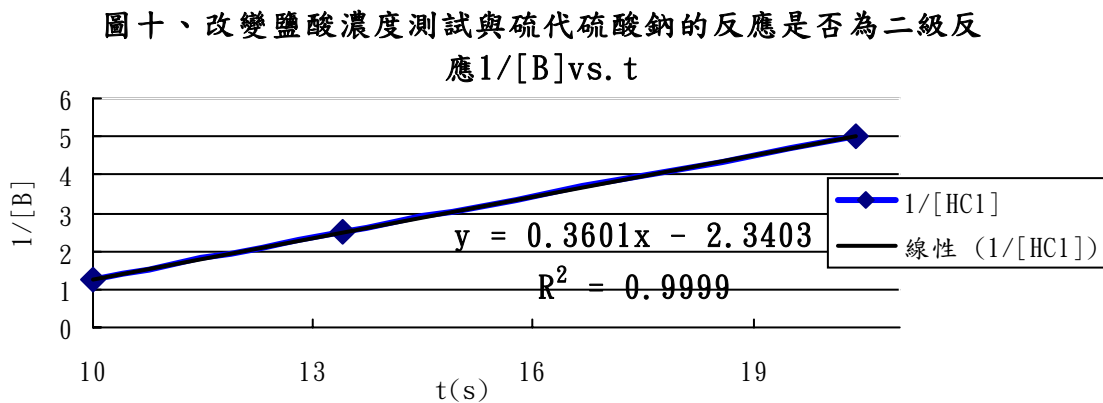
結果：不是。

(2) 以  $\log[B]$  對  $t$  作圖來判斷是否為一級反應？



結果：也不完全是，由  $R^2=0.9616$  來看是有一些接近。

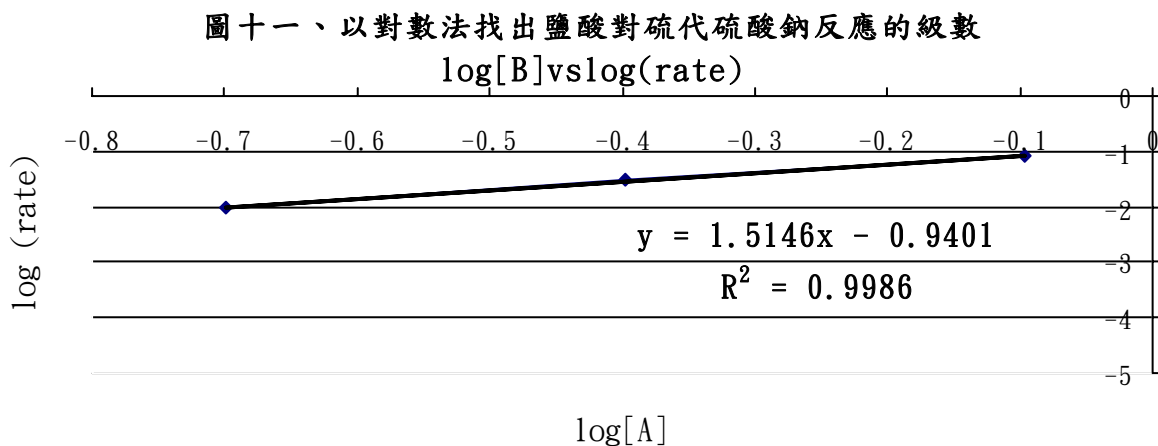
(3) 以  $1/[B]$  對  $t$  作圖來判斷是否為二級反應？



結果：完全呈線性關係，雖然是，但與初期反應速率法測定的 1.5 級有出入。

(4) 以取對數法找出斜率為反應級數的方法  $\text{Rate} = k[A]^m[B]^n = k' [B]^n$ ，因 A 的濃度為過量，可視為常數的一部份。  $\therefore \log(\text{rate}) = n \log(B) + \log(k')$

|           |          |          |          |
|-----------|----------|----------|----------|
| Log(HCl)  | -0.69897 | -0.39794 | -0.09691 |
| Log[rate] | -2.00877 | -1.52288 | -1.09691 |



結果：由線性迴歸作圖中電腦算出斜率為 1.5146，故 (HCl) 對此反應級數的影響應為 1.5 級反應。

## 【研究四】改變硫代硫酸鈉溶液濃度以觀測其與鹽酸反應的化學反應速率式關係

以下將 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 為反應可用完的限量試劑而 $\text{HCl}$ 為過量試劑，並以第五代裝置做出的實驗結果

| HCl<br>(M) | $(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$<br>(M) | Log<br>$(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ | $1/(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ | 反應時間 t (s) |     |     |     |     | 平均反應<br>時間 (s) | Rate<br>(1/s) | Rate<br>(M/s) |
|------------|--|--|---------------------------------------|------------|-----|-----|-----|-----|----------------|---------------|---------------|
|            |  |  |                                       | 350        | 320 | 374 | 371 | 325 |                |               |               |
| 1.0        | 0.025                                      | -1.602060                                  | 40                                    | 350        | 320 | 374 | 371 | 325 | 348.0          | 0.002874      | 0.0000718     |
| 1.0        | 0.05                                       | -1.301030                                  | 20                                    | 174        | 171 | 173 | 175 | 173 | 173.2          | 0.005656      | 0.0002886     |
| 1.0        | 0.10                                       | -1.000000                                  | 10                                    | 65         | 70  | 63  | 64  | 63  | 65.0           | 0.015920      | 0.0015384     |
| 1.0        | 0.20                                       | -0.698970                                  | 5                                     | 32         | 32  | 30  | 32  | 31  | 31.4           | 0.031850      | 0.0063694     |

設反應速率式為 $\text{rate} = -\Delta[\text{A}]/\Delta t = k[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]^m [\text{HCl}]^n$

1. 初期反應速率法(initial rate method)為改變 $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ 反應物的初濃度而其他 $[\text{HCl}]$ 足量濃度的反應條件維持固定不變，以求取此濃度變化對反應初速率的影響，其反應速率式比較如下：

$$\begin{aligned} r_2/r_1 &= 0.0002886/0.0000718 = 4.02 \div 4 = 2^2 \\ &= k(0.05)^m (1.0)^n / k(0.025)^m (1.0)^n = 2^m \therefore m = 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_3/r_1 &= 0.0015384/0.0000718 = 21.4 = 4^{2.2} \\ &= k(0.1)^m (1.0)^n / k(0.025)^m (1.0)^n = 4^m \therefore m = 2.2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_4/r_1 &= 0.0063694/0.0000718 = 88.7 = 8^{2.2} \\ &= k(0.2)^m (1.0)^n / k(0.025)^m (1.0)^n = 8^m \therefore m = 2.2 \end{aligned}$$

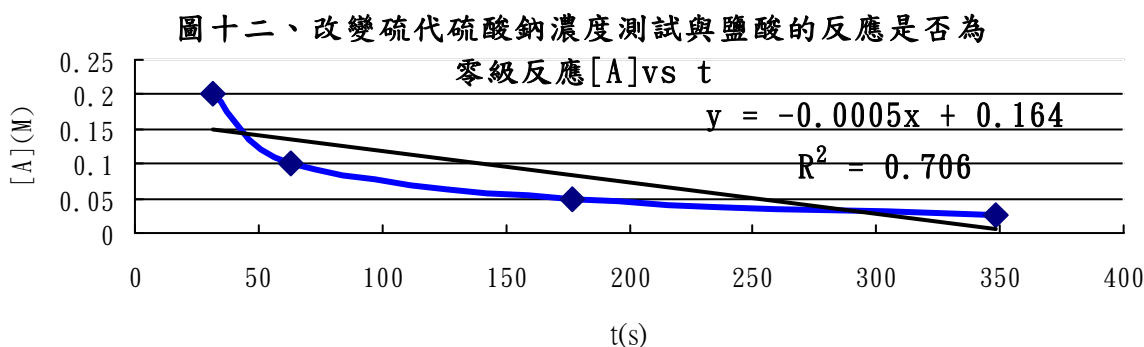
$$\begin{aligned} r_3/r_2 &= 0.0015384/0.0002886 = 5.3 = 2^{2.4} \\ &= k(0.05)^m (1.0)^n / k(0.025)^m (1.0)^n = 2^m \therefore m = 2.4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_4/r_3 &= 0.0063694/0.0015384 = 4.14 \div 4 = 2^2 \\ &= k(0.2)^m (1.0)^n / k(0.1)^m (1.0)^n = 2^m \therefore m = 2 \end{aligned}$$

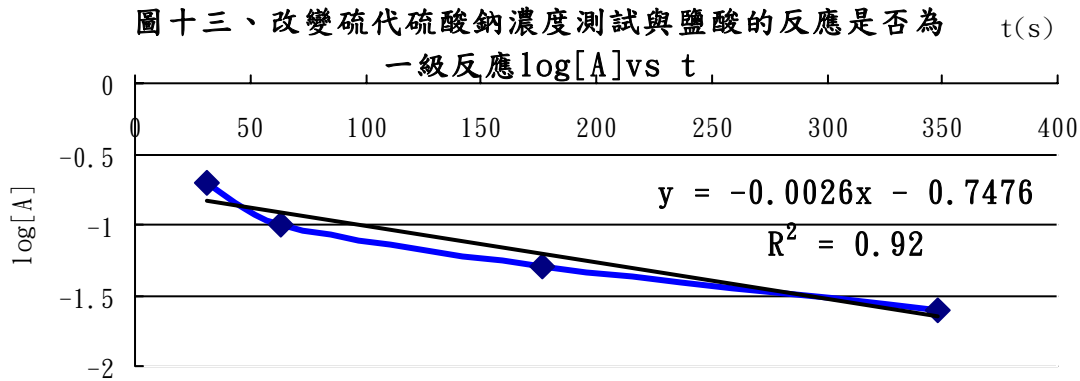
由上述的反應速率比較後得知，對此反應速率的影響約為2級反應。

2. 但以積分作圖法分析上述的數據，其可能的反應級數如下：

(1) 以 $[\text{A}]$ 對 $t$ 作圖來判斷是否為零級反應？ 結果：由下圖所示並不是。

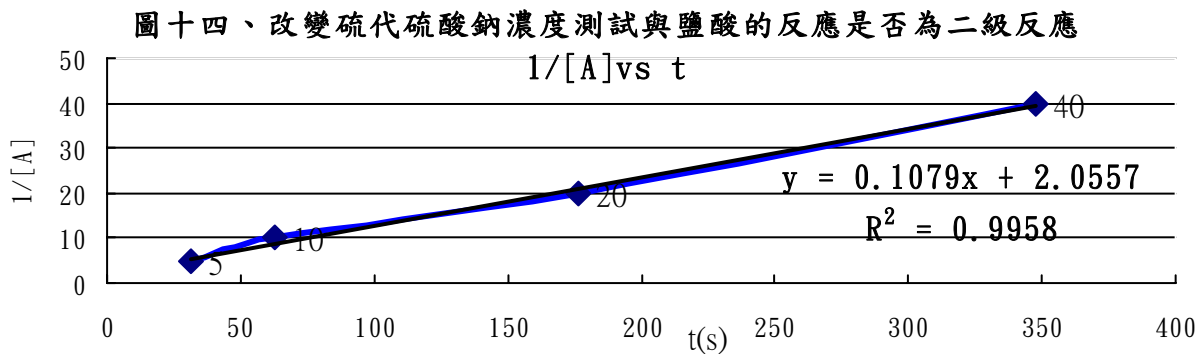


(2) 以  $\log[A]$  對  $t$  作圖來判斷是否為一級反應？



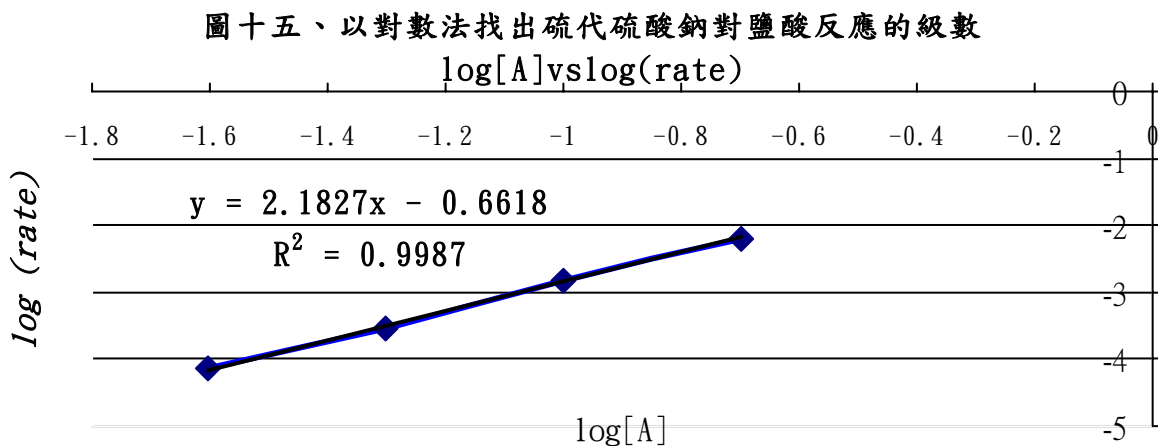
結果：由上圖所示也不是。

(3) 以  $1/[A]$  對  $t$  作圖來判斷是否為二級反應？



結果：完全呈線性關係，所以硫代硫酸鈉濃度變化對鹽酸反應級數為 2 級反應。

(4) 以取對數法找出斜率為反應級數的方法  $\text{Rate} = k[A]^m[B]^n = k'[A]^m$  因 B 的濃度為過量，可視為常數的一部份。∴  $\log(\text{rate}) = m\log(A) + \log(k')$



結果：由線性迴歸作圖中電腦算出斜率為 2.1827，故  $(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$  對此反應級數的影響是 2 級反應。

(5) 反應速率常數計算

由以上結果可知硫代硫酸鈉與鹽酸的反應速率式為

$$\text{rate} = -\Delta[A] / \Delta t = k[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]^2 [\text{HCl}]^{1.5}$$

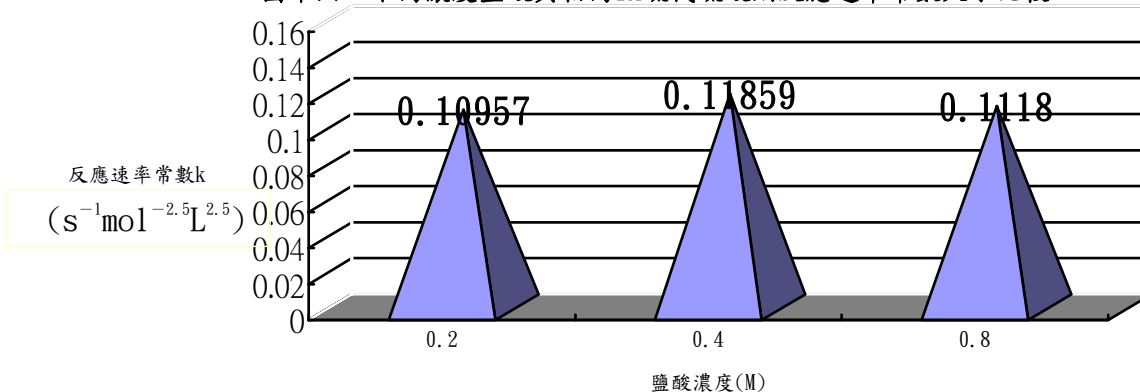
將此結果代入下表數據計算各組的反應速率常數值

反應  $A+B \rightarrow C+D+E$  若為三級反應，即  $\text{rate} = -\Delta[A] / \Delta t = k[A]^2 [B]$ ，由上述可推知： $1/[A]^2 - 1/[A_0]^2 = kt$ ，即每次濃度的倒數再除以反應時間，則為速率常數的大小，故其單位則為  $\text{s}^{-1} \text{mol}^{-2} \text{L}^2$ 。

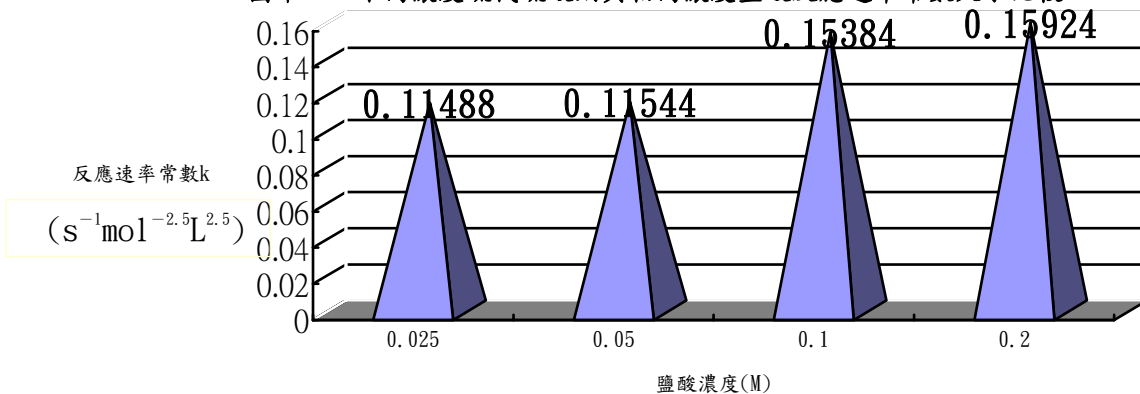
反應  $A+B \rightarrow C+D+E$  若為 3.5 級反應，即  $\text{rate} = -\Delta[A] / \Delta t = k[A]^2 [B]^{3/2}$ ，故可推知：反應速率常數的單位則為  $\text{s}^{-1} \text{mol}^{-2.5} \text{L}^{2.5}$ 。

| HCl (M) | (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) (M) | [Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ] <sup>2</sup> | (HCl) <sup>1.5</sup> | 平均反應時間 (s) | Rate (M/s) | 反應速率常數 k (s <sup>-1</sup> mol <sup>-2.5</sup> L <sup>2.5</sup> ) |
|---------|--|---|----------------------|------------|------------|--|
| 0.2     | 1.000  | 1.000000  | 0.08944              | 20.4       | 0.0098000  | 0.10957  |
| 0.4     | 1.000  | 1.000000  | 0.25298              | 13.4       | 0.0300000  | 0.11859  |
| 0.8     | 1.000  | 1.000000  | 0.71554              | 10.0       | 0.0800000  | 0.11180  |
| 1.0     | 0.025  | 0.000625  | 1.00000              | 348.0      | 0.0000718  | 0.11488  |
| 1.0     | 0.050  | 0.002500  | 1.00000              | 173.2      | 0.0002886  | 0.11544  |
| 1.0     | 0.100  | 0.010000  | 1.00000              | 65.0       | 0.0015384  | 0.15384  |
| 1.0     | 0.200  | 0.040000  | 1.00000              | 31.4       | 0.0063694  | 0.15924  |

圖十六、不同濃度鹽酸與相同1M硫代硫酸鈉反應速率常數大小比較



圖十七、不同濃度硫代硫酸鈉與相同濃度鹽酸反應速率常數大小比較



結果：提高硫代硫酸鈉的濃度居然會使反應速率有不小的改變，由此可觀察出硫代硫酸鈉對此反應的影響比鹽酸的大！

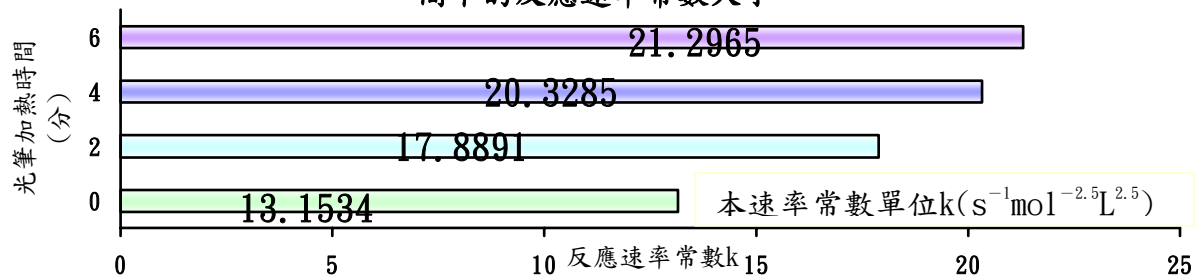
**【研究五】改變硫代硫酸鈉溶液的溫度以觀測其與鹽酸化學反應速率的影響**（實驗步驟及實驗數據記錄表如附件七）

由研究三及研四結果可推知硫代硫酸鈉與鹽酸的反應速率式為

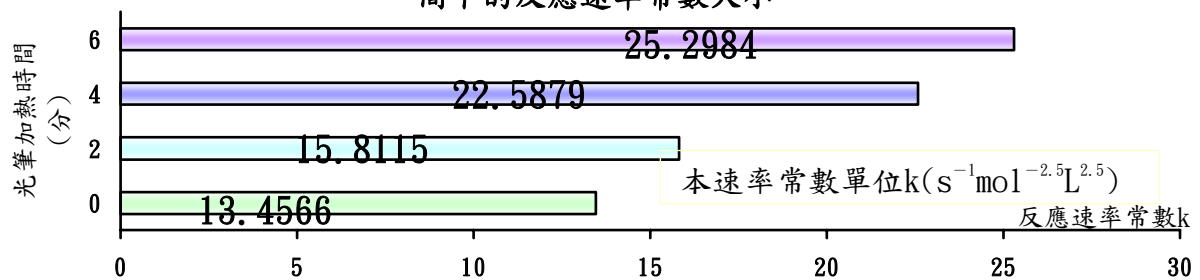
$$\text{rate} = -\Delta[A] / \Delta t = k[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]^2 [\text{HCl}]^{1.5}$$

由參考的文獻及資料顯示，改變反應溫度不會改變其反應級數而只會影響其反應速率大小，亦即溫度會反應速率常數k的大小，因此實驗結果比較如下圖示

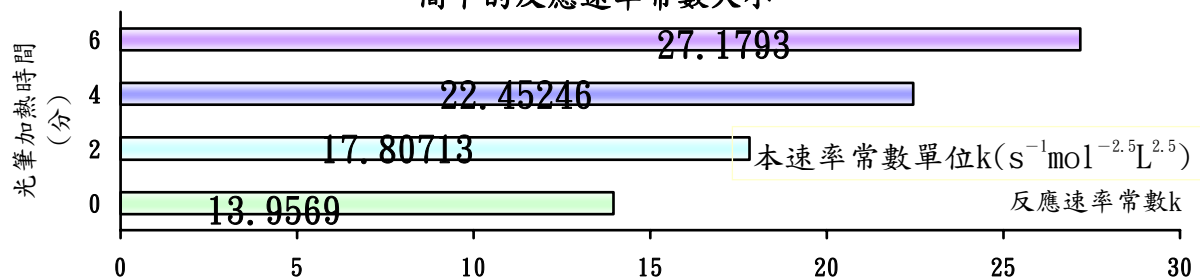
圖十八、0.2M鹽酸加0.05M硫代硫酸鈉各一滴在雷射光筆不同加熱時間下的反應速率常數大小



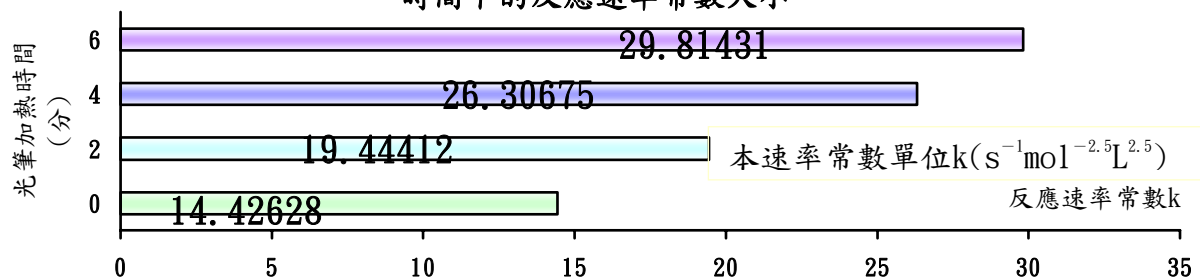
圖十九、0.4M鹽酸加0.05M硫代硫酸鈉各一滴在雷射光筆不同加熱時間下的反應速率常數大小



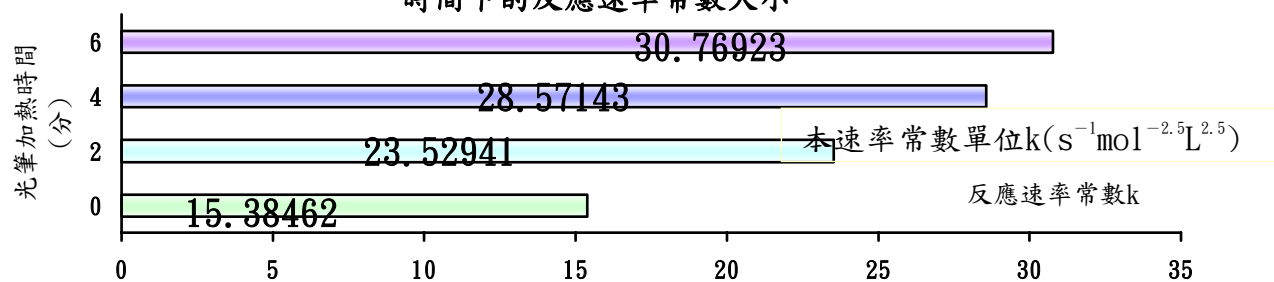
圖二十、0.6M鹽酸加0.05M硫代硫酸鈉各一滴在雷射光筆不同加熱時間下的反應速率常數大小



圖二十一、0.8M鹽酸加0.05M硫代硫酸鈉各一滴在雷射光筆不同加熱時間下的反應速率常數大小



圖二十二、1.0M鹽酸加0.05M硫代硫酸鈉各一滴在雷射光筆不同加熱時間下的反應速率常數大小



結果：由作圖結果可知，用「雷射光筆加熱法」雖無法推出溫度影響反應速率的關係式，但若有微形感應溫度計來測出液滴的溫度、再加上克服熱平衡的問題，應有所作為才是。就以改變溫度是否會影響反應速率大小來看，本實驗設計已算成功的解決微形液滴的熱源問題。



**【研究六】加入鹽類觀測其對硫代硫酸鈉及鹽酸反應速率的影響**

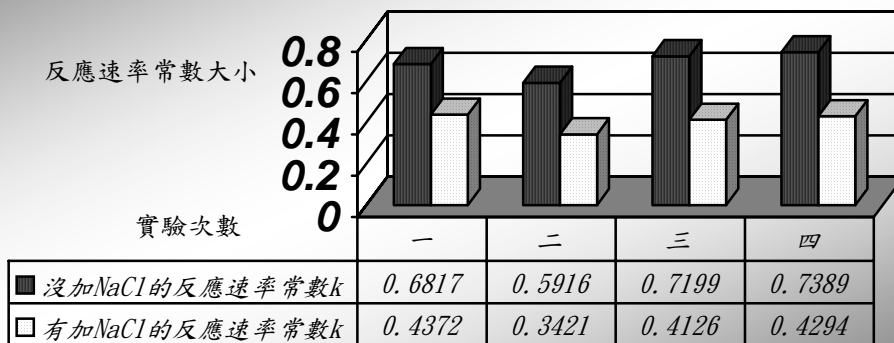
1. 由研究三及研四結果可推知硫代硫酸鈉與鹽酸的反應速率式為

$$\text{rate} = -\Delta[A] / \Delta t = k[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]^2 [\text{HCl}]^{1.5}$$

2. 從參考的文獻及資料顯示，改變反應溫度不會改變其反應級數而只會影響其反應速率大小，亦即溫度會影響反應速率常數k的大小，故實驗結果如下：

| 實驗對照次別 | NaCl (M) | HCl (M) | (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) (M) | [Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ] <sup>2</sup> | (HCl) <sup>1.5</sup> | 反應時間 t (s) |     |     | 平均反應時間 (s) | Rate (M/s) | 反應速率常數 k |
|--------|----------|---------|--|---|----------------------|------------|-----|-----|------------|------------|----------|
|        |          |         |  |   |                      |            |     |     |            |            |          |
| 第一次    | 0        | 0.2     | 0.1  | 0.01  | 0.08944              | 150        | 168 | 174 | 164.0      | 0.000610   | 0.6817   |
|        | 1.0      | 0.2     | 0.1  | 0.01  | 0.08944              | 264        | 286 | 217 | 255.7      | 0.000391   | 0.4372   |
| 第二次    | 0        | 0.2     | 0.1  | 0.01  | 0.08944              | 186        | 179 | 202 | 189.0      | 0.000529   | 0.5916   |
|        | 1.0      | 0.2     | 0.1  | 0.01  | 0.08944              | 357        | 310 | 314 | 327.0      | 0.000306   | 0.3421   |
| 第三次    | 0        | 0.2     | 0.1  | 0.01  | 0.08944              | 163        | 148 | 155 | 155.3      | 0.000644   | 0.7199   |
|        | 1.0      | 0.2     | 0.1  | 0.01  | 0.08944              | 283        | 245 | 286 | 271.3      | 0.000369   | 0.4126   |
| 第四次    | 0        | 0.2     | 0.1  | 0.01  | 0.08944              | 153        | 143 | 158 | 151.3      | 0.000661   | 0.7389   |
|        | 1.0      | 0.2     | 0.1  | 0.01  | 0.08944              | 264        | 230 | 287 | 260.3      | 0.000384   | 0.4294   |

圖二十三、加氯化鈉鹽類對硫代硫酸鈉和鹽酸反應速率的影響



**結果：**第二次實驗時已經深夜，由反應時間變得更長可以證明溫度的確影響反應速率實在很大，因此，我決定第二天下午，再進行第三、第四次的實驗。由每一次有無加氯化鈉鹽類的對照下，均已證明它可使硫代硫酸鈉與鹽酸的反應速率變慢！

## 六、心得討論與建議

1. 由研究一 水溶液化學實驗的微型設計 中已找出可以提供大家參考及可行的設計。
2. 由研究二 探討硫代硫酸鈉及鹽酸反應的化學計量關係及第一~第六代的減量實測效果 已經證實雖為液滴，提高觀察液滴的放大率、再輔以投影片的設計、謹慎控制實驗可能的變因，它的量不止可進行定性實驗，也足以做到定量的測定！
3. 由研究三 改變鹽酸溶液濃度以觀測其與硫代硫酸鈉反應的化學反應速率式關係 中，經初期反應速率法、積分作圖法、對數找線性方程式的斜率法，此三法都已證實鹽酸對此反應的影響是非整數的 1.5 級左右，但是得硫代硫酸鈉的濃度夠足量才不會產生較大的誤差！
4. 由研究四 改變硫代硫酸鈉溶液濃度以觀測其與鹽酸反應的化學反應速率式關係 中，經三種方法也已證實硫代硫酸鈉對此反應的影響比鹽酸的大，而且是 2 級左右。最後綜合兩種反應物對反應速率的級數，而大約可推出此實驗的反應速率式，並求出其反應速率大小。
5. 由研究五 改變硫代硫酸鈉溶液的溫度以觀測其與鹽酸化學反應速率的影響 中，經多次的對照，溫度愈高，的確由反應速率常數  $k$  值變得更大而可證實溫度使反應速率加快的影響相當明顯。
6. 由研究六 加入鹽類觀測其對硫代硫酸鈉及鹽酸反應速率的影響 中，除了可證明它可使此反應速率變慢外，氯化鈉恰好是此反應的生成物之一，它也是離子活性不小的強電解質！是否它干擾了硫代硫酸鈉與鹽酸的碰撞，使其產生不少的無效碰撞？還是它像催化劑一樣，扮演提高或降低反應活化能的角色？看樣子未來還有勒沙特列原理、離子活性、正負催化劑…等問題可以研究！液滴的微形實驗研究至此，還有未盡之處，那真是令人始料未及啊！

## 八、參考資料

1. 國中自然第四冊，第二章反應速率與平衡、第四章食品與材料科學，康軒文教事業
2. 高中化學課本，第一冊第二章化學計量、第二冊第六章反應速率與化學平衡，國立編譯館出版
3. 化學顯微實驗的新紀元，本校第四十三屆全國科展作品
4. 奈米微粒現形記~化學反應速率的探究，本校第四十四屆全國科展作品
5. 「科學人雜誌 2003 年 11 月特刊 1 號」
6. 奈米科學與技術導論，經濟部
7. 李志銘等，讓電腦幫我們做化學反應速率的實驗，  
<http://www.taivs.tp.edu.tw/about/research/q04.htm>
8. 碘鐘實驗-反應級數的測定，普化實驗，16 <http://www2.ee.ntu.edu.tw/~b86145/ch16.doc>
9. 碘鐘交響曲，第四屆高中生台大化學營八十九年七月七日，台大化學系普化教學組，  
<http://wwwchemedu.ch.ntu.edu.tw/Lab/iodine.htm>
10. 反應速率，[http://content.edu.tw/senior/chemistry/tp\\_se/new/11/2.htm](http://content.edu.tw/senior/chemistry/tp_se/new/11/2.htm)

謝謝評閱，敬請指教！

**【附件一】 硫代硫酸鈉溶液和鹽酸的第一代減量定量實驗**

準備器材：硫代硫酸鈉溶液、鹽酸、碼錶、量筒、試管、自製光度衰減儀、光源聚光座、光度計。

- 步驟：1. 以吸量管吸取 0.05M4ml  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液，再加入標準玻璃試管中，插入預定槽的洞內，打開光源及光度計，測量光度值。
2. 再以吸量管吸取 0.2M2ml HCl 溶液，由玻璃試管口的上方加入試管內，並立即以碼錶計時，以最快速的方式記錄每一段時間的光度值，並將結果記錄於下表中。
3. 如步驟 1、2，將第二試管加入 0.05M4ml  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液和 0.4M2ml HCl 後，記錄各反應時間下的光度值。
4. 如步驟 1、2，將第三試管加入 0.05M4ml  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液和 0.6M2ml HCl 後，記錄各反應時間下的光度值。
5. 如步驟 1、2，將第四試管加入 0.05M4ml  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液和 0.8M2ml HCl 後，記錄各反應時間下的光度值。
6. 如步驟 1、2，將第五試管加入 0.05M4ml  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液和 1.0M2ml HCl 後，記錄各反應時間下的光度值。

表一、自組設計的第一代光度衰減儀減量硫代硫酸鈉溶液和鹽酸的定量實驗數據如下表

| 第一試管      | 0.05M4ml $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液和 0.2M2ml HCl |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 反應時間(秒)   | 0  | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  |
| 光度值 (lux) | 457  | 500 | 497 | 491 | 467 | 431 | 369 | 303 | 203 | 207 | 169 | 141 |
| 反應時間(秒)   | 24   | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38  | 40  | 42  | 44  | 46  |
| 光度值 (lux) | 121  | 107 | 98  | 89  | 83  | 78  | 73  | 69  | 66  | 62  | 60  | 58  |
| 反應時間(秒)   | 48   | 50  | 52  | 54  | 56  | 58  | 60  | 62  | 64  | 66  | 68  | 70  |
| 光度值 (lux) | 56   | 54  | 52  | 51  | 50  | 49  | 48  | 48  | 47  | 46  | 45  | 45  |
| 反應時間(秒)   | 72   | 74  | 76  | 78  | 80  | 82  | 84  | 86  | 88  | 90  | 92  | 94  |
| 光度值 (lux) | 44   | 43  | 43  | 43  | 42  | 42  | 42  | 42  | 41  | 41  | 41  | 41  |
| 第二試管      | 0.05M4ml $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液和 0.4M2ml HCl |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 反應時間(秒)   | 0  | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  |
| 光度值 (lux) | 486  | 471 | 465 | 433 | 414 | 406 | 352 | 323 | 271 | 247 | 207 | 140 |
| 反應時間(秒)   | 24   | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38  | 40  | 42  | 44  | 46  |
| 光度值 (lux) | 94   | 86  | 78  | 75  | 67  | 64  | 58  | 55  | 53  | 49  | 47  | 45  |
| 反應時間(秒)   | 48   | 50  | 52  | 54  | 56  | 58  | 60  | 62  | 64  | 66  | 68  | 70  |
| 光度值 (lux) | 44   | 42  | 39  | 38  | 36  | 37  | 36  | 34  | 33  | 32  | 33  | 31  |
| 反應時間(秒)   | 72   | 74  | 76  | 78  | 80  | 82  | 84  | 86  | 88  | 90  | 92  | 94  |
| 光度值 (lux) | 30   | 29  | 28  | 28  | 27  | 26  | 25  | 24  | 23  | 23  | 22  | 22  |
| 第三試管      | 0.05M4ml $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液和 0.6M2ml HCl |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 反應時間(秒)   | 0  | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  |
| 光度值 (lux) | 534  | 515 | 512 | 486 | 410 | 309 | 221 | 134 | 105 | 82  | 68  | 61  |
| 反應時間(秒)   | 24   | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38  | 40  | 42  | 44  | 46  |
| 光度值 (lux) | 53   | 48  | 44  | 41  | 37  | 35  | 33  | 32  | 30  | 29  | 28  | 27  |
| 反應時間(秒)   | 48   | 50  | 52  | 54  | 56  | 58  | 60  | 62  | 64  | 66  | 68  | 70  |
| 光度值 (lux) | 26   | 25  | 24  | 24  | 23  | 23  | 22  | 22  | 22  | 21  | 21  | 21  |
| 反應時間(秒)   | 72   | 74  | 76  | 78  | 80  | 82  | 84  | 86  | 88  | 90  | 92  | 94  |
| 光度值 (lux) | 20   | 20  | 20  | 20  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  |
| 第四試管      | 0.05M4ml $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液和 0.8M2ml HCl |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 反應時間(秒)   | 0  | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  |

|           |  |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |
|-----------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|
| 光度值 (lux) | 405  | 409 | 407 | 375 | 306 | 176 | 100 | 64 | 50 | 40 | 33 | 28 |
| 反應時間(秒)   | 24   | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 |
| 光度值 (lux) | 24   | 22  | 20  | 18  | 17  | 16  | 15  | 14 | 14 | 13 | 13 | 12 |
| 反應時間(秒)   | 48   | 50  | 52  | 54  | 56  | 58  | 60  | 62 | 64 | 66 | 68 | 70 |
| 光度值 (lux) | 12   | 11  | 11  | 11  | 10  | 10  | 10  | 10 | 9  | 9  | 9  | 8  |
| 反應時間(秒)   | 72   | 74  | 76  | 78  | 80  | 82  | 84  | 86 | 88 | 90 | 92 | 94 |
| 光度值 (lux) | 8  | 8   | 8   | 8   | 8   | 8   | 8   | 8  | 8  | 8  | 7  | 7  |
| 第五試管      | 0.05M4ml $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液和 1.0M2ml HCl |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |
| 反應時間(秒)   | 0  | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| 光度值 (lux) | 437  | 408 | 436 | 412 | 331 | 213 | 102 | 57 | 46 | 30 | 24 | 20 |
| 反應時間(秒)   | 24   | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 |
| 光度值 (lux) | 18   | 16  | 14  | 13  | 12  | 11  | 10  | 9  | 9  | 8  | 8  | 8  |
| 反應時間(秒)   | 48   | 50  | 52  | 54  | 56  | 58  | 60  | 62 | 64 | 66 | 68 | 70 |
| 光度值 (lux) | 8  | 7   | 8   | 8   | 7   | 7   | 7   | 7  | 7  | 7  | 7  | 6  |
| 反應時間(秒)   | 72   | 74  | 76  | 78  | 80  | 82  | 84  | 86 | 88 | 90 | 92 | 94 |
| 光度值 (lux) | 6  | 6   | 6   | 6   | 6   | 6   | 6   | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  |

#### 結果與討論：

1. 實驗需兩人協力合作，才能完整的每 2 秒記錄出誤差較少的實驗，一個人從碼錶顯示讀出 2、4、6...，而另一人聽音看光度計數字並立即記錄，配合得好才能順利記錄完。
2. 本實驗是傳統實驗的縮小版，兩反應物的劑量均為原劑量的 1/5，減量並不多但反應時間卻只有原來傳統實驗的 1/10 而已，兩者的差別最大的是「傳統常溫，而第一代減量實驗設計有光照」、「傳統容器大，粒子運動的反應路徑長，能讓粒子來回碰撞的次數沒有試管來得容易、來得多」、「傳統以目視十字看不見為反應終止時間，而第一代減量實驗則以光度值沒有明顯變化為為反應終止時間，亦即以電腦畫出每一條曲線的轉折點即為反應完成的時間」。
3. 根據碰撞理論，反應物的一方「HCl 濃度愈高反應速率愈快」，而同樣的以硫代硫酸鈉為限量的試劑，所以試管到最後產生的膠態 S 的量均一樣，經將每管放到最後再去測量每一支試管的光度值均差異不大而大致相同可以得知。
4. 因第一代的試管實驗仍不夠減量，而由去年我們已找到液滴的最佳承載液面「投影片」。所以，在不用任何巨觀容器的情形下，從開始第二代的裝置設計到以後不管研究突破到第幾代，我們希望均以此投影片承載液滴進行反應。

### 【附件二】實驗三、硫代硫酸鈉溶液和鹽酸的第二代減量定量實驗

改進原因：因第一代減量定量實驗仍不夠減量，而且每支試管的厚薄不是很均勻，以致於每次實驗的起始數據均有不小的差異。若選同一支試管做為標準管，雖可避免不同試管所造成的差異，但每次洗滌乾淨再裝另一濃度溶液做實驗的操作時間較長，而且管外壁又得擦拭，造成紙張資源的浪費，所以，我們決定將承接溶液的試管改為投影片，且透過顯微鏡來偵測兩滴溶液反應的光衰減定量實驗，以作為我們的第二代裝置。

準備器材：硫代硫酸鈉溶液、鹽酸、碼錶、滴管、顯微鏡台、檯燈、自製光徑路徑柱、投影片、光度計。

步驟：1. 以Microsoft Word畫出  $0.5 \times 0.5 \text{cm}^2$  的方格，並列印在投影片上，剪出合適的長條狀後置於顯微鏡台上備用。

2. 將顯微鏡的接目鏡拆下，換接上光度計，再將自製光徑路徑柱裝置於接物鏡與顯微鏡台間。

3. 打開路徑柱的小門，在投影片上滴入一滴  $0.05\text{M Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液後，打開光源及光度計，測量光度值。後，

4. 再滴入一滴  $0.2\text{M HCl}$  溶液後，立即以碼錶計時，以最快速的方式記錄每一段時間的光度值，並將結果記錄於下表中。

5. 如步驟3、4，原滴入一滴  $0.2\text{M HCl}$  溶液改滴入  $0.4\text{M HCl}$  後，記錄各反應時間下的光度值。

6. 以此類推，改滴入一滴  $0.6\text{M}$ 、 $0.8\text{M}$ 、 $1.0\text{M HCl}$  後，記錄各反應時間下的光度值。

表四、自組設計的第二代光度衰減儀減量硫代硫酸鈉溶液和鹽酸的定量實驗數據如下表

| 投影片 1     | 一滴 $0.05\text{M Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液和一滴 $0.2\text{M HCl}$ |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 反應時間(秒)   | 0  | 2  | 4  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| 光度值 (lux) | 32   | 34 | 34 | 34 | 34 | 33 | 33 | 32 | 32 | 31 | 31 | 29 |
| 反應時間(秒)   | 24   | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 |
| 光度值 (lux) | 28   | 27 | 26 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 |
| 反應時間(秒)   | 48   | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 | 60 | 62 | 64 | 66 | 68 | 70 |
| 光度值 (lux) | 15   | 14 | 14 | 13 | 13 | 12 | 12 | 11 | 11 | 10 | 9  | 9  |
| 反應時間(秒)   | 72   | 74 | 76 | 78 | 80 | 82 | 84 | 86 | 88 | 90 | 92 | 94 |
| 光度值 (lux) | 8  | 8  | 8  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 6  |
| 投影片 2     | 一滴 $0.05\text{M Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液和一滴 $0.4\text{M HCl}$ |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 反應時間(秒)   | 0  | 2  | 4  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| 光度值 (lux) | 32   | 31 | 31 | 31 | 31 | 30 | 29 | 27 | 25 | 23 | 20 | 18 |
| 反應時間(秒)   | 24   | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 |
| 光度值 (lux) | 17   | 14 | 13 | 12 | 12 | 10 | 8  | 8  | 7  | 7  | 7  | 6  |
| 反應時間(秒)   | 48   | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 | 60 | 62 | 64 | 66 | 68 | 70 |
| 光度值 (lux) | 6  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  |
| 反應時間(秒)   | 72   | 74 | 76 | 78 | 80 | 82 | 84 | 86 | 88 | 90 | 92 | 94 |
| 光度值 (lux) | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  |
| 投影片 3     | 一滴 $0.05\text{M Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液和一滴 $0.6\text{M HCl}$ |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 反應時間(秒)   | 0  | 2  | 4  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| 光度值 (lux) | 33   | 33 | 33 | 33 | 32 | 30 | 29 | 26 | 24 | 27 | 19 | 17 |
| 反應時間(秒)   | 24   | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 |
| 光度值 (lux) | 15   | 14 | 12 | 10 | 9  | 8  | 7  | 7  | 6  | 6  | 5  | 5  |

|           |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 反應時間(秒)   | 48  | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 | 60 | 62 | 64 | 66 | 68 | 70 |
| 光度值 (lux) | 5   | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 3  | 4  | 3  | 3  |
| 反應時間(秒)   | 72  | 74 | 76 | 78 | 80 | 82 | 84 | 86 | 88 | 90 | 92 | 94 |
| 光度值 (lux) | 3   | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| 投影片 4     | 一滴 0.05M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 溶液和一滴 0.8M HCl |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 反應時間(秒)   | 0   | 2  | 4  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| 光度值 (lux) | 34  | 34 | 33 | 33 | 31 | 30 | 28 | 24 | 22 | 18 | 16 | 13 |
| 反應時間(秒)   | 24  | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 |
| 光度值 (lux) | 11  | 10 | 8  | 7  | 7  | 6  | 5  | 5  | 5  | 4  | 4  | 4  |
| 反應時間(秒)   | 48  | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 | 60 | 62 | 64 | 66 | 68 | 70 |
| 光度值 (lux) | 4   | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| 反應時間(秒)   | 72  | 74 | 76 | 78 | 80 | 82 | 84 | 86 | 88 | 90 | 92 | 94 |
| 光度值 (lux) | 3   | 3  | 3  | 4  | 3  | 4  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| 投影片 5     | 一滴 0.05M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 溶液和一滴 1.0M HCl |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 反應時間(秒)   | 0   | 2  | 4  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| 光度值 (lux) | 32  | 31 | 32 | 31 | 30 | 27 | 24 | 20 | 14 | 12 | 10 | 9  |
| 反應時間(秒)   | 24  | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 |
| 光度值 (lux) | 7   | 6  | 5  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  |
| 反應時間(秒)   | 48  | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 | 60 | 62 | 64 | 66 | 68 | 70 |
| 光度值 (lux) | 4   | 3  | 3  | 4  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| 反應時間(秒)   | 72  | 74 | 76 | 78 | 80 | 82 | 84 | 86 | 88 | 90 | 92 | 94 |
| 光度值 (lux) | 4   | 4  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |

### 結果與討論：

1. 第二代減量定量實驗設計最大的優點就在於只要用一點巧思，例如「用投影片作液滴承載液面」再發掘學校好的實驗利器，兩者加以妥善利用即可快速將裝置組裝完成。不過，數據光度值均在 34~3 之間，雖有變化，但比起第一代裝置設計時間多出很多而言，數據差異實在太小是最大的缺點。
2. 第二代實驗出的數據，由電腦作出的光度衰減值下降斜率不如第一代而呈較平緩的斜率。探究其主要原因在於顯微鏡的接物鏡頭光圈太小，入光量太少所致，所以勢必得改掉顯微鏡現有的光路徑方式才行。所以我們決定不透過顯微鏡而自製光徑路徑柱來承接以投影片為載液面的光衰減定量實驗，以作為我們的第三代裝置。

### 【附件三】實驗四、硫代硫酸鈉溶液和鹽酸的第三代減量定量實驗

改進原因：1. 因第二代減量定量實驗數據光度值均在 34~3 之間，我們想應是自顯微鏡到光度計間的入光量太少所致，所以我們決定不透過顯微鏡而自製光徑路徑柱來承接以投影片為載液面的光衰減定量實驗。

2. 我們考慮到應以方便取得且成本低的普通燈泡及燈泡座作為光源、要能不怕熱的回收容器做為光路徑柱、要能以聚光的凸透鏡將燈泡的面光源集中到液滴、液滴到光度計間要路徑短又能吸收多餘光源…，經過尋覓及多方思考，我們的第三代裝置才終於完成。

準備器材：回收大小的茶葉罐、回收的果凍杯、黑色簽字筆、大鐵釘、鉗子、金屬剪、大凸透鏡、膠帶、隨堂測驗紙、硫代硫酸鈉溶液、鹽酸、碼錶、滴管、燈泡及燈泡座、投影片、光度計。

步驟：1. 將大凸透鏡置於小茶葉罐頂上，以簽字筆畫出比凸透鏡略小的圓，再以大鐵釘、鉗子及金屬剪，將小茶葉罐釘打並剪出合適的洞來。再將大凸透鏡固定在茶葉罐頂的洞上，以膠帶黏貼好。

2. 燈泡及燈泡座置於茶葉罐底，燈泡光照射透過凸透鏡後，約在大茶葉罐頂高度，以隨堂測驗紙遮光看出光會聚的區域大小後描繪下來。然後在大茶葉罐頂也描繪出一樣的光區大小。再以大鐵釘、鉗子及金屬剪將大茶葉罐頂釘打並剪出合適的洞來。

3. 在大小茶葉罐底以大鐵釘、鉗子及金屬剪釘打出燈座線的孔及光柵透氣柱後備用。

4. 將果凍杯內外以黑色簽字筆塗黑，杯底剪出可恰好放入光度計的洞出來。再將此杯置於大茶葉罐頂，以黑色簽字筆沿著杯的外圍畫出圓來。

5. 投影片剪出合適的長條狀後黏貼於大茶葉罐頂上，然後在投影片上滴入一滴 0.05M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液及一滴 0.2M HCl 溶液後，立即將含光度計的果凍杯蓋上並以碼錶計時，以最快速的方式記錄每一段時間的光度值，並將結果記錄於下表中。

6. 如步驟 5，原滴入 0.2M HCl 溶液改滴入 0.4M HCl 後，記錄各反應時間下的光度值。

7. 以此類推，改滴入一滴 0.6M、0.8M、1.0M HCl 後，記錄各反應時間下的光度值。

表六、自組設計的第三代光度衰減儀減量硫代硫酸鈉溶液和鹽酸的定量實驗數據如下表

| 投影片 1     | 一滴 0.05M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液和一滴 0.2M HCl |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 反應時間(秒)   | 0   | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  |
| 光度值 (lux) | 556   | 483 | 462 | 456 | 448 | 436 | 425 | 406 | 384 | 365 | 357 | 338 |
| 反應時間(秒)   | 24  | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38  | 40  | 42  | 44  | 46  |
| 光度值 (lux) | 318   | 305 | 293 | 279 | 270 | 263 | 252 | 250 | 241 | 237 | 232 | 230 |
| 反應時間(秒)   | 48  | 50  | 52  | 54  | 56  | 58  | 60  | 62  | 64  | 66  | 68  | 70  |
| 光度值 (lux) | 224   | 221 | 218 | 216 | 215 | 213 | 212 | 210 | 209 | 215 | 213 | 213 |
| 反應時間(秒)   | 72  | 74  | 76  | 78  | 80  | 82  | 84  | 86  | 88  | 90  | 92  | 94  |
| 光度值 (lux) | 212   | 211 | 211 | 211 | 211 | 211 | 210 | 210 | 209 | 209 | 208 | 206 |
| 投影片 2     | 一滴 0.05M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液和一滴 0.4M HCl |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 反應時間(秒)   | 0   | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  |
| 光度值 (lux) | 553   | 408 | 408 | 406 | 402 | 394 | 377 | 366 | 344 | 328 | 338 | 315 |
| 反應時間(秒)   | 24  | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38  | 40  | 42  | 44  | 46  |
| 光度值 (lux) | 274   | 269 | 265 | 256 | 249 | 241 | 237 | 232 | 228 | 224 | 222 | 220 |
| 反應時間(秒)   | 48  | 50  | 52  | 54  | 56  | 58  | 60  | 62  | 64  | 66  | 68  | 70  |
| 光度值 (lux) | 217   | 216 | 215 | 214 | 213 | 213 | 212 | 211 | 211 | 207 | 208 | 207 |
| 反應時間(秒)   | 72  | 74  | 76  | 78  | 80  | 82  | 84  | 86  | 88  | 90  | 92  | 94  |
| 光度值 (lux) | 209   | 209 | 209 | 209 | 209 | 208 | 208 | 209 | 208 | 208 | 206 | 206 |



| 投影片 3     | 一滴 0.05M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 溶液和一滴 0.6M HCl |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 反應時間(秒)   | 0   | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  |
| 光度值 (lux) | 482   | 300 | 301 | 303 | 293 | 289 | 274 | 256 | 230 | 216 | 213 | 211 |
| 反應時間(秒)   | 24  | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38  | 40  | 42  | 44  | 46  |
| 光度值 (lux) | 209   | 208 | 204 | 192 | 191 | 191 | 190 | 188 | 184 | 182 | 180 | 179 |
| 反應時間(秒)   | 48  | 50  | 52  | 54  | 56  | 58  | 60  | 62  | 64  | 66  | 68  | 70  |
| 光度值 (lux) | 177   | 176 | 174 | 174 | 173 | 173 | 172 | 171 | 171 | 171 | 171 | 170 |
| 反應時間(秒)   | 72  | 74  | 76  | 78  | 80  | 82  | 84  | 86  | 88  | 90  | 92  | 94  |
| 光度值 (lux) | 170   | 169 | 169 | 169 | 168 | 168 | 169 | 168 | 168 | 169 | 169 | 169 |
| 投影片 4     | 一滴 0.05M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 溶液和一滴 0.8M HCl |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 反應時間(秒)   | 0   | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  |
| 光度值 (lux) | 565   | 312 | 314 | 311 | 304 | 292 | 271 | 266 | 263 | 242 | 218 | 204 |
| 反應時間(秒)   | 24  | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38  | 40  | 42  | 44  | 46  |
| 光度值 (lux) | 196   | 184 | 174 | 169 | 163 | 161 | 156 | 156 | 154 | 152 | 121 | 150 |
| 反應時間(秒)   | 48  | 50  | 52  | 54  | 56  | 58  | 60  | 62  | 64  | 66  | 68  | 70  |
| 光度值 (lux) | 149   | 151 | 149 | 150 | 147 | 146 | 145 | 145 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| 反應時間(秒)   | 72  | 74  | 76  | 78  | 80  | 82  | 84  | 86  | 88  | 90  | 92  | 94  |
| 光度值 (lux) | 143   | 144 | 144 | 144 | 143 | 144 | 144 | 143 | 144 | 143 | 144 | 144 |
| 投影片 5     | 一滴 0.05M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 溶液和一滴 1.0M HCl |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 反應時間(秒)   | 0   | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  |
| 光度值 (lux) | 439   | 239 | 237 | 235 | 226 | 205 | 197 | 185 | 180 | 167 | 153 | 147 |
| 反應時間(秒)   | 24  | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38  | 40  | 42  | 44  | 46  |
| 光度值 (lux) | 140   | 137 | 134 | 132 | 131 | 130 | 129 | 128 | 127 | 127 | 127 | 126 |
| 反應時間(秒)   | 48  | 50  | 52  | 54  | 56  | 58  | 60  | 62  | 64  | 66  | 68  | 70  |
| 光度值 (lux) | 126   | 126 | 126 | 127 | 127 | 126 | 126 | 128 | 127 | 128 | 127 | 129 |
| 反應時間(秒)   | 72  | 74  | 76  | 78  | 80  | 82  | 84  | 86  | 88  | 90  | 92  | 94  |
| 光度值 (lux) | 130   | 130 | 130 | 130 | 129 | 129 | 128 | 128 | 128 | 128 | 131 | 130 |

### 結果與討論：

1. 第三代減量定量實驗設計最大的優點就在於同樣「用投影片作液滴承載液面」、「用回收鐵罐、塑膠容器、學校非常普遍的器具而不需昂貴的儀器設備」就可做成。
2. 我們發現第三代實驗用電腦畫出的光度衰減值下降斜率呈現二段不同的斜率，第一段下降的很快，我們想應是反應已出現膠態 S 微粒，所以無色透明澄清與膠態的差別會很明顯，但又不能以第一段的轉折點為主，因為第二段仍呈較平緩下降的斜率，表示第一段還沒完全反應完，所以，才會採用第二段斜線與平坦切線交會點為反應完成的時間，此時的光度值應接近最低值。
3. 這樣用電腦畫出才能得知反應時間的設計，雖可定量，但除了讀數據外，不能親眼看到整個反應由澄清到產生奈米微粒而溶液呈混沌的變化，實在仍有遺珠之憾！所以，我們決定要能以目視做最少人為誤差的觀察，做為第四代裝置設計的目標。

#### 【附件四】實驗五、可觀看硫代硫酸鈉溶液和鹽酸反應及錄影記錄的第四代減量定量實驗

改進原因：1. 因為第三代減量定量實驗只能看到光度計的讀數，真正反應進行的過程我們無法親眼看到，殊為可惜！所以，若能減量、省時又親眼看見反應進行的情形，這樣的反應會更有趣才是。

2. 我們決定將顯微鏡的接目鏡拆下，換接上CCD電子螢幕，又考慮到反應產生的S顆粒可能會不透光而無法判讀「+」字被遮蔽的反應時間，所以，我們想設計含**箕空**「+」的 $0.5 \times 0.5 \text{cm}^2$ 方格投影片來進行實驗。當**箕空**「+」被S顆粒填滿而呈現CCD電子螢幕全黑時，即為反應的時間。

準備器材：硫代硫酸鈉溶液、鹽酸、碼錶、滴管、顯微鏡台、檯燈、自製光徑路徑柱、自製含**箕空**十字的投影片、CCD電子螢幕、數位相機。後又加上碘酒溶液。

步驟：1. 以Microsoft Word畫出內含**箕空**「+」的 $0.5 \times 0.5 \text{cm}^2$ 方格，並列印在投影片上，剪出合適的長條狀後置於顯微鏡台上備用。

2. 將顯微鏡的接目鏡拆下，換接上CCD電子螢幕，再將自製光徑路徑柱裝置於接物鏡與顯微鏡台間。

3. 打開CCD電子螢幕，調整投影片上**箕空**「+」記號在螢幕的中央，再打開路徑柱的小門，對準投影片上「+」記號的中心點，滴入一滴 $0.05 \text{M Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液。

4. 再滴入一滴 $0.2 \text{M HCl}$ 溶液後，立即以碼錶計時，另一人則啟動數位攝影機開始錄影，注視CCD螢幕上「+」記號已被形成S奈米微粒遮蔽至看不見的時間，並將結果記錄於下表中。

5. 步驟如前，原滴入一滴 $0.2 \text{M HCl}$ 溶液改滴入 $0.4 \text{M}$ 、 $0.6 \text{M}$ 、 $0.8 \text{M}$ 或 $1.0 \text{M HCl}$ 後，記錄CCD螢幕上「+」記號已被形成S奈米微粒遮蔽至看不見的時間。

#### 結果與討論：

1. 若以硫代硫酸鈉溶液和鹽酸的反應而言，此第四代的設計應宣告失敗，因為無法判讀正確的反應時間，原因可能在於產生S奈米微粒使整個溶液呈膠態溶液，而當照光時，產生的廷得耳效應及布朗運動，使得光線有部分可穿透而始終無法與**箕空**旁的黑色相比擬，所以影響了判讀反應的時間。
2. 若以硫代硫酸鈉溶液和碘液的有色反應而言，此第四代的設計還算成功，因為視覺上對於顏色的變化仍易判讀，所以反應時間的偵測誤差還算合理。
3. 為使硫代硫酸鈉溶液和鹽酸反應能符合第四代的設計，既然**箕空**十字不適合，那反過來總行吧！問題在於黑色十字被硫微粒覆蓋，光由下方向上方照射，光無法穿過黑十字也無法完全穿過硫微粒而使十字更形黑黑且模糊。所以，決定再修正實驗如實驗六。

### 【附件五】實驗六、可觀看硫代硫酸鈉溶液和鹽酸反應及錄影記錄的第五代減量定量實驗

改進原因：1. 若能將一般複式顯微鏡改成像解剖顯微鏡一樣可看到不透明物的顏色應該就行了。兩者的光源區別是「複式光由下方經平面鏡反射向上，而解剖光由上方向下投射物體再反射至接物鏡」所以，設計的重點就在於由上方向下補光的方式。

2. 我們考慮到接物鏡與液滴間距離很近，所以補光的光源似乎只能考慮用 LED 燈了，但此燈應裝置在那裡呢？找尋、思考後覺得似乎可用報廢光碟片…，結果我們剪下一塊不透明的藍色膠帶移至光碟盤(已加上支撐透鏡金屬框)上，發現不需含 LED 燈的上層光碟片也可看見不透明的藍色物體，實在令人興奮！

準備器材：報廢光碟片、回收支撐透鏡的金屬框、膠帶、熱熔槍、LED 燈、銅漆包線、砂紙、兩顆充電電池及電池座、硫代硫酸鈉溶液、鹽酸、碼錶、滴管、顯微鏡台、CCD 電子螢幕、數位相機。

步驟：1. 將原支撐透鏡的金屬框以膠帶固定在報廢光碟片上備用。

2. 將集中反射光的光碟路徑組裝置於接物鏡與顯微鏡台間，以 Microsoft Word 畫出內含「+」的  $0.5 \times 0.5 \text{cm}^2$  方格，並列印在投影片上，剪出合適的長條狀後置於光碟上。

3. 將顯微鏡的接目鏡拆下，換接上 CCD 電子螢幕，再打開 CCD 電子螢幕，調整投影片上「+」記號在螢幕的中央，再以膠帶固定投影片的两端。

4. 對準投影片上「+」記號的中心點，滴入一滴  $0.05 \text{M Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液及一滴  $0.2 \text{M HCl}$  溶液後，立即以碼錶計時。並注視 CCD 螢幕上「+」記號已被形成 S 奈米微粒遮蔽至看不見的時間，最後將結果記錄於下表中。

5. 步驟如前，原滴入一滴  $0.2 \text{M HCl}$  溶液改滴入  $0.4 \text{M}$ 、 $0.6 \text{M}$ 、 $0.8 \text{M}$  或  $1.0 \text{M HCl}$  後，記錄 CCD 螢幕上「+」記號已被形成 S 奈米微粒遮蔽至看不見的時間。

表八、第五代的  $0.05 \text{M Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  與不同濃度  $\text{HCl}$  各一滴的反應時間(秒)及反應速率(1/秒)

| 實驗次數 | HCl 濃度(M)             | 0.2   | 0.4   | 0.6   | 0.8   | 1.0   |
|------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 第一次  | 反應時間(秒)               | 55    | 38    | 29    | 24    | 20    |
| 第二次  | 反應時間(秒)               | 54    | 40    | 31    | 24    | 19    |
| 第三次  | 反應時間(秒)               | 56    | 37    | 30    | 25    | 20    |
| 平均   | 反應時間(秒)               | 55.0  | 38.3  | 30.0  | 24.3  | 19.7  |
|      | 反應速率(1/秒) ×<br>1/1000 | 18.18 | 26.11 | 33.33 | 41.15 | 50.76 |

#### 結果與討論：

1. 終於我們所思考的設計方法正確且成功了。在實驗室光源充足的情形下，用上述實際流程設計即可順利做最微量的化學反應觀察、節省時間且能做定量的測定。
2. 若實驗室光源不足，我們試過可用兩顆 LED 燈(需並聯接法，考慮原因是 LED 燈不需太大的電流卻需足夠的電壓才能驅動燈泡發亮)，也可做順利的觀察(如現場展示)。

### 【附件六】實驗七、第六代顯微自動偵測數據記錄的硫代硫酸鈉溶液和鹽酸定量實驗系統

- 改進原因：1. 若能將修正後的第五代再加裝連結電腦可自動記錄光度變化值的設計，那就可眼睛看反應、可讓錄影機直接錄影、又可同時自動記錄數據等多重功能了。
2. 為了要同時能看到反應的過程，又要能用電腦自動記錄，曾想到改裝光度計，將光度計的讀數接到電腦去記錄，然後將光度計裝在顯微鏡台下方，後來發現光度計已將大部分的功能整合在一個 IC 裡面，改裝工程浩大，於是我們決定自製一個光度計。
3. 我們從報廢滑鼠中拆出感光二極體，裝在顯微鏡的接物鏡下方對著反應區，然後用數字型電錶測量。原本預期隨著反應進行，液滴變成白色，感光二極體應該『看到』變亮了，可是實測結果變化不大，好另想辦法。
4. 換一個方向，把感光二極體裝在下方貼近投影片的地方。想法是光由上方射向液滴，液滴反射的光進入接物鏡向上給眼睛觀察；而光穿透液滴達下方的感光二極體，在反應未完成時，液滴是透明的，測得的光度值較大，一旦形成膠態，則光度應會明顯降低。實測結果，變化果然比裝在上方明顯。
5. 由於感光二極體的電流變化很小，需要經過放大，剛好滑鼠裡面有電晶體可用。測得的變化進行類比數位轉換，經由電腦的並列埠傳給電腦進行記錄。

準備器材：硫代硫酸鈉溶液、鹽酸、報廢的電腦、報廢光碟片、回收支撐透鏡的金屬框、自組轉換電路、碼錶、滴管、顯微鏡台、自製方格內有「+」記號的投影片、CCD 電子螢幕、數位相機、數位攝影機、電腦、繪聲繪影軟體。

- 步驟：1. 將原支撐透鏡的金屬框以膠帶固定在報廢光碟片上。
2. 將內含  $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$  「+」方格的投影片置於顯微鏡台上。將顯微鏡的接目鏡拆下，換接上 CCD 電子螢幕。
3. 顯微鏡台置物孔的下方貼上感光二極體，再連接自製轉換電路及電腦後備用。
4. 打開 CCD 電子螢幕，調整投影片上「+」記號在螢幕的中央，再由上方加強補光，對準投影片上「+」記號的中心點，滴入一滴  $0.05 \text{ M Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液及一滴  $0.2 \text{ M HCl}$  溶液後，按下電腦鍵盤記錄。另一人則注視 CCD 螢幕上「+」記號已被形成 S 奈米微粒遮蔽至看不見的時間，並將結果記錄於下表中。
5. 步驟如前，原滴入一滴  $0.2 \text{ M HCl}$  溶液改滴入  $0.4 \text{ M}$ 、 $0.6 \text{ M}$ 、 $0.8 \text{ M}$  或  $1.0 \text{ M HCl}$  後，其餘如步驟 4。

【附件六】、選錄電腦上記錄的一滴 0.05M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液和一滴不同濃度 HCl 反應光感數字變化  
其餘請看附件圖 0.2M HCl (圖上其中一條曲線的數據) 0.8M HCl

|               |               |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 15:17:27, 128 | 15:18:04, 164 | 15:18:40, 177 | 15:45:56, 112 | 15:46:33, 142 |
| 15:17:28, 133 | 15:18:05, 162 | 15:18:41, 181 | 15:45:57, 107 | 15:46:34, 140 |
| 15:17:29, 131 | 15:18:06, 161 | 15:18:42, 175 | 15:45:58, 107 | 15:46:34, 137 |
| 15:17:30, 136 | 15:18:07, 159 | 15:18:43, 180 | 15:45:59, 112 | 15:46:35, 140 |
| 15:17:31, 136 | 15:18:08, 163 | 15:18:44, 177 | 15:46:00, 110 | 15:46:36, 137 |
| 15:17:32, 138 | 15:18:09, 168 | 15:18:45, 175 | 15:46:01, 110 | 15:46:37, 139 |
| 15:17:33, 135 | 15:18:10, 163 | 15:18:46, 171 | 15:46:02, 109 | 15:46:38, 139 |
| 15:17:34, 138 | 15:18:10, 167 | 15:18:47, 171 | 15:46:03, 111 | 15:46:39, 137 |
| 15:17:35, 138 | 15:18:11, 167 | 15:18:48, 176 | 15:46:04, 117 | 15:46:40, 135 |
| 15:17:36, 136 | 15:18:12, 167 | 15:18:49, 176 | 15:46:05, 115 | 15:46:41, 140 |
| 15:17:37, 138 | 15:18:13, 169 | 15:18:50, 180 | 15:46:06, 113 | 15:46:42, 140 |
| 15:17:38, 137 | 15:18:14, 169 | 15:18:51, 184 | 15:46:07, 115 | 15:46:43, 139 |
| 15:17:39, 138 | 15:18:15, 170 | 15:18:52, 177 | 15:46:08, 117 | 15:46:44, 139 |
| 15:17:40, 139 | 15:18:16, 168 | 15:18:53, 179 | 15:46:09, 124 | 15:46:45, 142 |
| 15:17:41, 142 | 15:18:17, 167 | 15:18:54, 187 | 15:46:10, 122 | 15:46:46, 138 |
| 15:17:42, 142 | 15:18:18, 170 | 15:18:55, 194 | 15:46:11, 126 | 15:46:47, 136 |
| 15:17:43, 141 | 15:18:19, 171 | 15:18:56, 194 | 15:46:12, 127 | 15:46:48, 139 |
| 15:17:44, 146 | 15:18:20, 176 | 15:18:57, 200 | 15:46:13, 123 | 15:46:49, 139 |
| 15:17:45, 143 | 15:18:21, 176 | 15:18:58, 201 | 15:46:14, 131 | 15:46:50, 141 |
| 15:17:46, 147 | 15:18:22, 174 | 15:18:59, 201 | 15:46:15, 134 | 15:46:51, 144 |
| 15:17:47, 152 | 15:18:23, 178 | 15:19:00, 202 | 15:46:16, 134 | 15:46:52, 148 |
| 15:17:48, 152 | 15:18:24, 178 | 15:19:01, 202 | 15:46:17, 136 | 15:46:53, 145 |
| 15:17:49, 151 | 15:18:25, 176 | 15:19:02, 203 | 15:46:18, 138 | 15:46:54, 145 |
| 15:17:50, 152 | 15:18:26, 175 | 15:19:03, 201 | 15:46:19, 139 | 15:46:55, 145 |
| 15:17:51, 153 | 15:18:27, 176 | 15:19:04, 205 | 15:46:20, 138 | 15:46:56, 141 |
| 15:17:52, 156 | 15:18:28, 178 | 15:19:05, 206 | 15:46:21, 140 | 15:46:57, 142 |
| 15:17:53, 151 | 15:18:29, 177 | 15:19:06, 205 | 15:46:22, 135 | 15:46:58, 136 |
| 15:17:54, 157 | 15:18:30, 175 | 15:19:07, 201 | 15:46:23, 139 | 15:46:59, 138 |
| 15:17:55, 152 | 15:18:31, 171 | 15:19:08, 202 | 15:46:24, 140 | 15:47:00, 135 |
| 15:17:56, 158 | 15:18:32, 171 | 15:19:09, 203 | 15:46:25, 138 | 15:47:01, 136 |
| 15:17:57, 155 | 15:18:33, 171 | 15:19:10, 202 | 15:46:26, 139 | 15:47:02, 136 |
| 15:17:58, 157 | 15:18:34, 176 | 15:19:10, 204 | 15:46:27, 142 | 15:47:03, 136 |
| 15:17:59, 160 | 15:18:35, 176 |               | 15:46:28, 142 | 15:47:04, 136 |
| 15:18:00, 160 | 15:18:36, 171 |               | 15:46:29, 140 | 15:47:05, 136 |
| 15:18:01, 161 | 15:18:37, 173 |               | 15:46:30, 140 | 15:47:06, 137 |
| 15:18:02, 161 | 15:18:38, 175 |               | 15:46:31, 141 | 15:47:07, 136 |
| 15:18:03, 160 | 15:18:39, 175 |               | 15:46:32, 141 | 未完...         |

## [附件七]改變硫代硫酸鈉溶液的溫度觀測其與鹽酸化學反應速率的影響

想法：1. 原本想用不同距離或有可變電阻而固定距離的光源去照射顯微鏡的鏡面，如此就好比讓反應物在不同的溫度下進行反應了。只是要注意的是事後要記得在原液滴的位置放溫度測定儀，測定可變電阻所調的刻度以了解溫度的高低。這樣好像很麻煩，我們認為應有更好的方法才是。

2. 還好修正後的第四代微形減量設計還算成功。所以，我們可以直接將手靠在顯微鏡的轉盤上，以固定距離的雷射筆去照射硫代硫酸鈉液滴的表面，照射時間久就代表加熱溫度高；照射時間短就代表加熱溫度低，然後再滴入同濃度的鹽酸溶液，經過多次驗證的結果，數據的再現性讓人滿意，所以我們就決定以此「雷射光筆加熱法」做為觀測化學反應速率與溫度關係的設計。

準備器材：同實驗一、大燒杯、溫度計、熱水、冷水、同實驗六、雷射光筆

微形步驟 1. 裝置設計如第四代的設計，步驟如實驗六的 1~3 步驟。

2. 對準投影片上「+」記號的中心點，滴入一滴 0.05M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液，然後將手靠在顯微鏡的轉盤上，以固定距離的雷射筆去照射硫代硫酸鈉液滴的表面 2 分鐘後，滴入一滴 0.2M HCl 溶液，立即以碼錶計時。並注視 CCD 螢幕上「+」記號已被形成 S 奈米微粒遮蔽至看不見的時間，最後將結果記錄於下表十一中。

3. 步驟如前，雷射筆改為照射液滴 4、6、8 或 10 分鐘的加熱時間後，再滴入一滴 0.2M HCl 溶液，立即以碼錶計時。並注視 CCD 螢幕上「+」記號已被形成 S 奈米微粒遮蔽至看不見的時間，最後將結果記錄於下表中。

各一滴 0.05M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  與不同濃度 HCl 在不同雷射光筆加熱時間下的反應時間(秒)

| 雷射光筆加熱時間(分) | HCl (M) | ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) (M) | $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]^2$ | (HCl) <sup>1.5</sup> | 平均反應時間(s) | Rate (M/s) | 反應速率常數 $k(\text{s}^{-1}\text{mol}^{-2.5}\text{L}^{2.5})$ |
|-------------|---------|---|---------------------------------------|----------------------|-----------|------------|--|
| 0           | 0.2     | 0.05                                      | 0.0025                                | 0.08944              | 68        | 0.002941   | 13.1534  |
| 2           | 0.2     | 0.05                                      | 0.0025                                | 0.08944              | 50        | 0.004      | 17.8891  |
| 4           | 0.2     | 0.05                                      | 0.0025                                | 0.08944              | 44        | 0.004545   | 20.3285  |
| 6           | 0.2     | 0.05                                      | 0.0025                                | 0.08944              | 42        | 0.004762   | 21.2965  |
| 0           | 0.4     | 0.05                                      | 0.0025                                | 0.25298              | 47        | 0.008511   | 13.4566  |
| 2           | 0.4     | 0.05                                      | 0.0025                                | 0.25298              | 40        | 0.01       | 15.8115  |
| 4           | 0.4     | 0.05                                      | 0.0025                                | 0.25298              | 28        | 0.014286   | 22.5879  |
| 6           | 0.4     | 0.05                                      | 0.0025                                | 0.25298              | 25        | 0.016      | 25.2984  |
| 0           | 0.6     | 0.05                                      | 0.0025                                | 0.46475              | 37        | 0.01622    | 13.9569  |
| 2           | 0.6     | 0.05                                      | 0.0025                                | 0.46475              | 29        | 0.02069    | 17.80713   |
| 4           | 0.6     | 0.05                                      | 0.0025                                | 0.46475              | 23        | 0.026087   | 22.45246   |
| 6           | 0.6     | 0.05                                      | 0.0025                                | 0.46475              | 19        | 0.031579   | 27.1793  |
| 0           | 0.8     | 0.05                                      | 0.0025                                | 0.71554              | 31        | 0.025806   | 14.42628   |
| 2           | 0.8     | 0.05                                      | 0.0025                                | 0.71554              | 23        | 0.034783   | 19.44412   |
| 4           | 0.8     | 0.05                                      | 0.0025                                | 0.71554              | 17        | 0.047059   | 26.30675   |
| 6           | 0.8     | 0.05                                      | 0.0025                                | 0.71554              | 15        | 0.053333   | 29.81431   |
| 0           | 1.0     | 0.05                                      | 0.0025                                | 1                    | 26        | 0.038462   | 15.38462   |
| 2           | 1.0     | 0.05                                      | 0.0025                                | 1                    | 17        | 0.058824   | 23.52941   |
| 4           | 1.0     | 0.05                                      | 0.0025                                | 1                    | 14        | 0.071429   | 28.57143   |
| 6           | 1.0     | 0.05                                      | 0.0025                                | 1                    | 13        | 0.076923   | 30.76923   |

### 結果與討論：

由上表結果可知，本實驗用「雷射光筆加熱法」做為觀測化學反應速率與溫度關係的設計，代替傳統加熱系統所進行微形化學加熱的實驗設計已算成功解決熱源的問題。