

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：化學科

作 品 名 稱：討論顯微鏡下的化學反應

學校 / 作者：南投縣立宏仁國民中學 吳珮瑜
 南投縣立宏仁國民中學 張佳銘

英文摘要(Abstract)

Discusses under the microscope the chemical reaction

In order to compare the differences between the chemical reactions of macroscopic reactor and microscopic reactor, we have designed a device of chemical reaction and researched into the problems of their environmental protections and practical aspects. Under the microscope, we observed not only their precipitating crystal compound from the chemical reaction and electrolytic reaction but their types of crystal. We have successfully reduced the dose to one drop (about 0.04ml) and observed the process of their chemical reaction from the angle of microscopic reactor. During performing the experiment, we found the particles would keep flowing while the reaction was working. It was proved as "Brown motion" introduced by Einstein. The diameter of these particles were around 4.2~6.7 μm . We find that different sound waves and temperatures, the motion speeds are quite different. And the movement rate increases about two times as the sulfur particles increase 10°C each time. Within the measure of area of $4.392 \times 10^{-4} \text{cm}^2$, there are 250~300 sulfur particles. The experiment has successfully used a microscope in the field of chemistry. If we popularize the experiment, we can reach the goal of less pollution, fewer the dose and time-saving observation. It's an innovation to step to the world of chemical microscope world.

中文摘要

探討顯微鏡下的化學反應

摘要

由於想了解化學反應的微觀形態，我們設計微型化學反應裝置來比較巨觀(傳統型)與微觀(創新型)化學反應間的差異，並探討其實用及環保方面的問題。在顯微鏡底下，我們觀察化學反應的沉澱結晶及電解反應，嘗試以各項變因(溫度、濃度、聲波...等)來觀察其結晶的型態。我們已成功地將實驗藥品用量減少到一滴(約 0.04ml)，並以微觀的角度觀察化學反應的過程。在實驗中，發現反應進行時，粒子會不斷流動，經查證後為愛因斯坦所提出的布朗運動，並且測得硫顆粒的直徑大小約 4.2 ~ 6.7 微米。不同聲波所造成硫粒子的移動速率不同，而不同溫度的部份，我們發現→每增加十度硫粒子移動速率增加約兩倍。在面積 $4.392 \times 10^{-4} \text{cm}^2$ 範圍內大約有 250~300 顆硫沉澱的粒子。本實驗成功地將顯微鏡應用在化學領域上，若將此實驗推廣，可達到污染少、觀察實驗的時間短、用量少的目標。此實驗是邁向化學微觀世界，一種值得嘗試且創

新的方法。

一、研究動機

每次做完課本上的實驗後，總會留下許多廢液，不僅浪費藥品，更徒增了許多不必要的環保問題。我們試著去解決這個問題，所以在網路上查到全國科展化學科的作品。參考他們的報告後，我們想：既然將藥品用量減為最少、實驗縮為最小，那只有在顯微鏡下才得以觀察。故將化學反應應用在顯微鏡下，觀察其沉澱結晶的樣子，並觀察電解反應方面有什麼變化等……，或許可以達到藥品減量的目標，符合環保的要求。

二、研究目的

1. 設計並改良微型化學反應裝置。
2. 觀察硫酸銅與紫色高麗菜汁的微觀電解反應。
3. 探討藥品種類、濃度及溫度等各項變因對於微觀化學反應的影響。
4. 觀察聲波種類對於沉澱結晶的影響。
5. 探討分子間的布朗運動並計算聲波及溫度造成硫顆粒移動速率。
6. 比較傳統型化學反應和微觀型化學反應的差異。

三、研究設備及器材

No	器材	No	器材	No	藥品
1	高倍數解剖顯微鏡	12	溫度計、毫安培計	23	硫酸銅溶液
2	高倍數複式顯微鏡	13	直流電源供應器	24	紫色高麗菜汁
3	顯微鏡接環	14	CD撥放機	25	碳酸鈉溶液
4	筆記型電腦	15	碼錶	26	氯化鈣溶液
5	數位相機	16	投影片	27	鹽酸
6	載玻片、蓋玻片	17	鱈魚夾線	28	硫代硫酸鈉溶液
7	點滴針筒	18	0號夾鏈袋	29	碘化鉀溶液
8	針筒、注射針	19	膠帶	30	硝酸鉛溶液
9	微型化學反應槽	20	試管	31	電腦攝影、拍照軟體
10	微型電解槽	21	六段式電源器		
11	三秒膠	22	雙面膠		

四、研究過程或方法

【實驗一、設計並改良微型化學反應裝置】

想法：

為了達到在顯微鏡下觀察化學反應的目標，就必須設計一個微小(可放在顯微鏡下)、透光度佳的顯微裝置。於是我們首先選擇了四種載液面，並比較其優缺點，以較佳的載液面來設計一個微型的化學反應裝置，並在往後的實驗中加以改良。

步驟一、比較四種不同的載液面

1. 玻片、雙面膠、投影片、夾鏈袋四種載液面的比較如下表所示(表一)

載液面材質	玻片	雙面膠	投影片	0號夾鏈袋
-------	----	-----	-----	-------

直徑	6.0 cm	5.0 cm	5.0 cm	7.0cm
厚度	最高，1~2mm	適中，約1.0mm	適中，約0.5mm	適中，約0.5mm
表面張力角度	小於90°	高於90°	約等於90°	約等於90°
透光度	普通	不佳	佳	普通
溶液附著力	適中	太大	較小	較小
化學試劑反應度	不會反應	不會反應	不會反應	不會反應

【結果與討論】

1. 玻片：厚度較厚，透光度普通，且柔軟度不夠易碎但容易清洗，故傳統實驗均以此為載液面。

雙面膠：雙面膠為米黃色，故無法透光，並且對於溶液附著力太大，故淘汰。

投影片：厚度及透光度皆佳，不會碎故不怕顯微鏡頭被刮傷，唯一的缺點是溶液附著力較小，易流動，不過還是可作為載液面。

夾鏈袋：可透光且厚度適中，不會與化學試劑產生反應，不過仍可作為反應溶液的載液面，具有使溶液不流出的優點，但太軟而易使反應溶液流動。

最後決定以玻片、投影片及作為載液面。

步驟二、設計微型化學反應裝置(凹槽型)

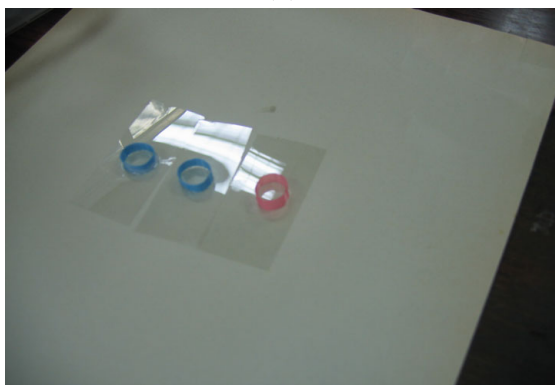
實驗器材：吸管(立可帶透明塑膠片或電腦接頭套)、三秒膠、美工刀、載玻片

1. 用美工刀將塑膠電腦接頭套底或立可帶透明塑膠片底割空。

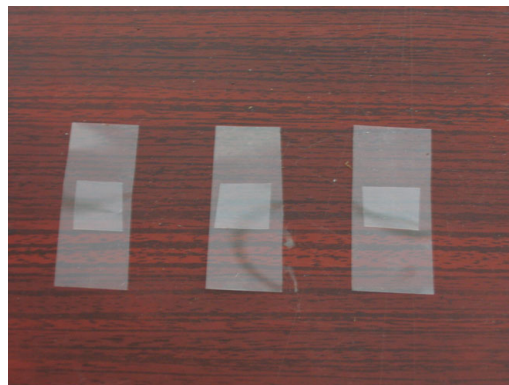
(吸管則剪約 1.0cm)

2. 以三秒膠塗其底側。

3. 將其底黏在載玻片上，成果如相片。



相片一(凹槽型化學反應裝置)



相片二(平面型化學反應裝置)

【結果與討論】

1. 在顯微鏡下的化學反應中，必須以高倍物鏡觀察，但若是以高倍物鏡觀察，必須相當接近玻片，甚至接觸到反應溶液，而導致鏡頭受藥品侵蝕。

2. 雖然凹槽型化學反應裝置不是非常適於沉澱反應，但可應用於電解及聲波實驗，因為在以顯微鏡觀察氣泡反應時，低倍物鏡可以不用接觸到反應溶液，以及可以得到清楚的反應結果。

3. 凹槽型化學反應裝置，可將化學反應侷限於一定的範圍內，使液體不至於流動。

步驟三、設計微型化學反應裝置(平面型)

1. 實驗器材：投影片、安全剪刀

2. 以安全剪刀在投影片上剪一個長寬約為 5.0、2.0cm 的矩形。

3. 再將投影片上剪一個長寬約為 1.5cm 的正方形。

【結果與討論】

1. 為了克服藥品會侵蝕鏡頭的問題，我們在微觀化學反應裝置(凹槽型)中，拿掉了凹槽，加裝了蓋液面，使鏡頭不至於直接接觸到反應藥品。

2. 投影片有柔軟不易破碎的特性，可克服物鏡會壓破蓋玻片的問題，再加上質地細緻，不會刮傷物鏡，所以我們以此作為微型化學反應裝置(平面型)的載液面及蓋液面。

3. 微型化學反應裝置(平面型) 適用於沉澱實驗。

【實驗二、探討微觀硫酸銅與紫色高麗菜汁的電解反應】

想法：

1. 我們只知道硫酸銅在電解下會產生氧氣，及反應後溶液顏色會變淡，但電解時氣泡不多、顏色變化緩慢，那如果將反應放置在顯微鏡下會如何呢？

2. 若以不同濃度的硫酸銅溶液在顯微鏡下電解，會有很明顯的氣泡及銅析出。

步驟一、不同電壓下的電解硫酸銅

實驗器材：1M硫酸銅溶液、投影片、吸管、毫安培計、顯微鏡、滴管、燒杯、筆記型電腦、顯微鏡接環

控制變因：濃度均為1M的硫酸銅溶液，固定體積，在同一天(同溫、同壓)下進行。

操縱變因：不同電壓(3V、4.5V、6V、9V)

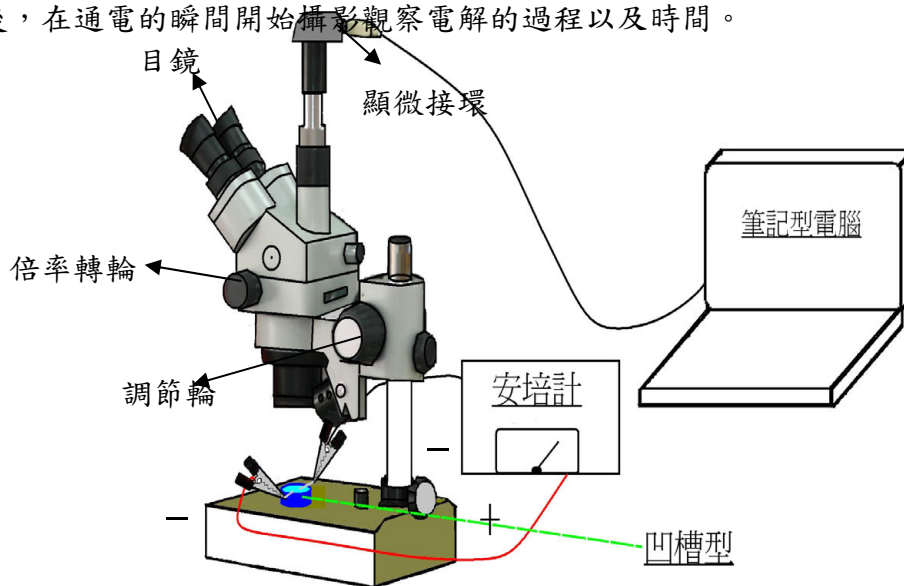
1. 準備一自製的凹槽投影片當作載玻片。

2. 將一滴1M的硫酸銅溶液滴入自製的微型化學反應裝置(凹槽型)中。

3. 將電線接至毫安培計的串聯設計後在兩端的鱷魚夾上夾上大頭釘，當作兩電極，固定在自製的載玻片上。

4. 以解剖顯微鏡調好焦距，再將目鏡拿起，接上顯微鏡接環連接至筆記型電腦後，在通電的瞬間開始攝影觀察電解的過程以及時間。

如圖一：



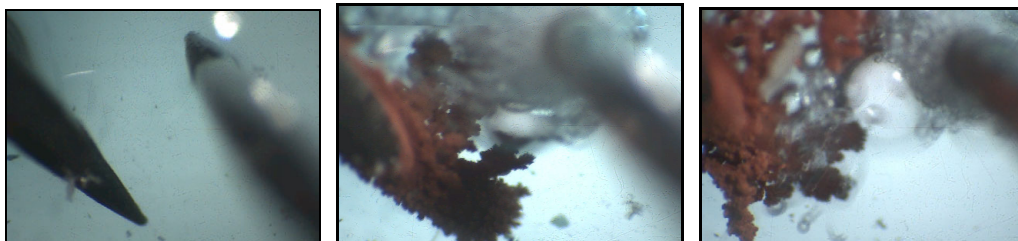
6. 依上述步驟後增加電壓。

7. 結果如下：(表二)

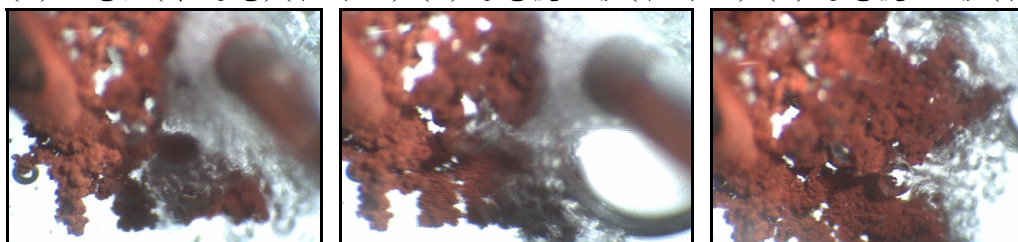
	3V	4.5V	6V	9V
硫酸銅藍色消	200秒	141秒	101秒	74秒

失的時間(秒)				
通過溶液的安培計之電流(mA)	35	90	110	135

8. 如下相片(如附件:視訊一):



(1)兩電極(未通電)(相片三) (2)通電後5秒(相片四) (3)通電後10秒(相片五)



(4)通電後15秒(相片六) (5)電後20秒(相片七) (6)通電後25秒(相片八)



相片九

相片十

【結果與討論】

1. 比較於傳統的電解實驗如下:

- 傳統型:需使用碳棒、1M的硫酸銅400ml。
- 改良型:只需投影片(長:4cm寬:2cm)、1M的硫酸銅五滴。
註:一滴約1/25ml,五滴為0.2ml。

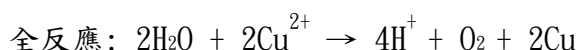
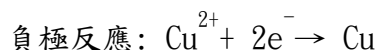
2. 改良後不僅能更精確的觀察,從原本的硫酸銅用量400ml改變至0.2ml,減少用量1/5000倍之差,符合環保、減量化、無污染的目標,且電解所需的時間變短了。

註:在製作電解槽時為了將吸管接於載玻片上,只要在製作過程中失敗,全新的載玻片就得換過,且不方便於攜帶(容易碰撞破裂),故我們決定使用投影片。

3. 由實驗結果得知電壓越大,電解速率越快。

4. 由觀察得知正極會產生氣泡(氧氣),負極會產生暗紅色的銅。

5. 正極反應: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$



步驟二、探討不同體積的電解硫酸銅反應

實驗器材：1M硫酸銅溶液、毫安培計、投影片、吸管、顯微鏡、滴管、燒杯、筆記型電腦、顯微鏡接環

控制變因：以莫耳濃度均為1M的硫酸銅溶液，電壓固定為6V，且在同一天進行。

操縱變因：不同的體積(一滴、二滴、三滴、四滴、五滴)

1. 準備一自製的凹槽投影片當作載玻片。
2. 先將一滴1M的硫酸銅溶液滴入自製的凹槽載液面上。
3. 將電線串連接至毫安培計並在兩端的鱈魚夾上，夾上大頭釘，當做兩電極，以手固定兩電極間的距離。
4. 以複式顯微鏡調好焦距，再將目鏡拿起，接上顯微鏡接環連接至筆記型電腦，予以觀察。
5. 準備好觀察的程序後，在通電的瞬間，開始攝影觀察電解的過程，並測量其時間。
6. 依上述步驟，改變滴入的數量，重複上述步驟2~5滴。
7. 結果如下：(表三)

	一滴	二滴	三滴	四滴	五滴
通過溶液的安培計之電流(mA)	150	152	155	158	165
硫酸銅藍色消失的時間(秒)	102 秒	148 秒	201 秒	241 秒	298 秒

【結果與討論】

1. 由實驗結果得知電解硫酸銅體積越大，電解速率越慢。
2. 由觀察得知正極會產生氣泡(氧氣)，負極會產生暗紅色的銅。

步驟三、探討不同濃度的電解硫酸銅反應

實驗器材：1M硫酸銅溶液、吸管、投影片、顯微鏡、滴管、燒杯、筆記型電腦、顯微鏡接環、毫安培計。

控制變因：一滴的硫酸銅溶液，電壓為6V，在同一天進行。

操縱變因：不同的莫耳濃度為(0.25M、0.5M、0.75M、1.0M)

1. 準備一自製的凹槽投影片當作載液面。
2. 先將一滴0.25M的硫酸銅溶液滴入自製的凹槽載液面中。
3. 將電線串連接至毫安培計後在兩端的鱈魚夾夾上大頭釘，當做兩電極，以手固定兩電極間的距離。
4. 以解剖顯微鏡調好焦距，再將目鏡拿起，接上顯微鏡接環連接至筆記型電腦，予以觀察。
5. 準備好觀察的程序後，在通電的瞬間開始攝影觀察電解的過程，並測量其時間。
6. 依上述步驟後，改變其濃度。進行電解實驗結果如下表：
(表四)

	0.25M	0.5M	0.75M	1M
硫酸銅藍色消失的時間(秒)	35秒	53秒	60秒	98秒
通過溶液的安培計之電流(mA)	20	45	65	100

【結果與討論】

1. 由實驗結果得知電解硫酸銅時，濃度越大，藍色消失時間越長。
2. 由觀察得知正極會產生氣泡(氧氣)，負極會產生暗紅色的銅。

步驟四、電解紫色高麗菜汁

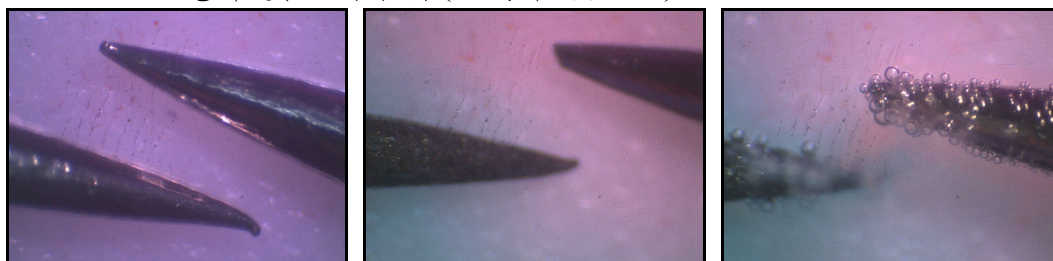
實驗器材：高麗菜汁、投影片、吸管、顯微鏡、滴管、燒杯、筆記型電腦、顯微鏡接環、毫安培計

控制變因：一滴的高麗菜汁，固定電壓為6V，在同一天進行。

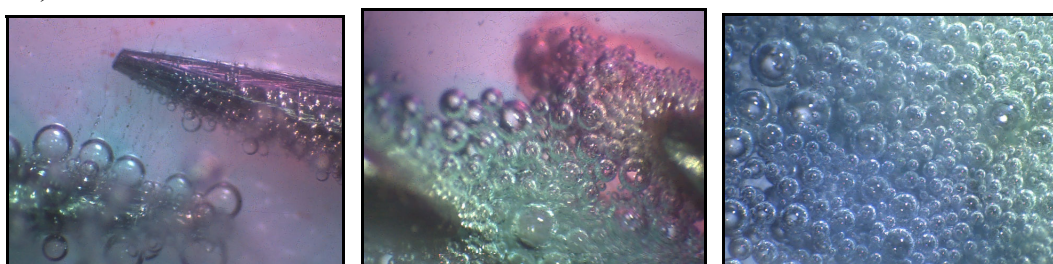
操縱變因：電解時間

1. 準備高麗菜汁(約400c. c)
2. 準備一自製的凹槽投影片當作載液面。
3. 先將高麗菜汁(一滴)滴入自製的載液面中。
4. 將電線接至毫安培計後在兩端的鱷魚夾上，夾上大頭釘，當做兩電極，固定兩電極間的距離。
5. 以複式顯微鏡調好焦距，再將目鏡拿起，接上顯微接環連接至筆記型電腦，予以觀察。
6. 準備好觀察的程序後，在通電的瞬間開始攝影觀察電解的過程。

電解過程如下相片(如附件:視訊二):



(1)兩電極(未通電)(相片十一)(2)通電後5秒(相片十二)(3)通電後10秒(相片十三)



(4)通電後15秒(相片十四) (5)通電後20秒(相片十五) (6)通電後25秒(相片十六)

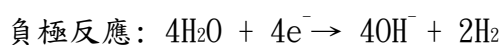
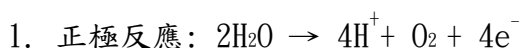


相片十七



相片十八

【結果與討論】



正極因產生 H^+ 局部變酸性PH值大約4.3時，使顏色變紅色，負極因產生 OH^- 局部變鹼性PH值大約7.4時，使顏色變藍綠色。

2. 通電 20 秒後產生太多氣泡，使得溶液的顏色混和在一起，不易分辨顏色變化。

步驟五、紫色高麗菜汁的變色與 pH 值的關係

實驗器材：pH 測量計、0.4M 氫氧化鈉水溶液、0.4M 鹽酸水溶液、塑膠滴管、燒杯、底片盒、紫色高麗菜汁、水

1. 取紫色高麗菜原汁 10 cc。
2. 在加入 6 cc 的蒸餾水，使其均勻混合(使其比例為 5:3)。
3. 以 pH 計測量出紫色高麗菜汁的 PH 值。
4. 再以滴管逐一(1、2、3……以此類推)滴入 0.4M 的鹽酸水溶液(或氫氧化鈉水溶液)。
5. 並同時測量滴入藥品時的 pH 值。
6. 結果如下表五

紫高麗菜汁顏色	深紅	紅	紫紅	紫	藍	藍綠	綠
pH 值	3.4 以下	3.4 ~ 4.3	4.3 ~ 5.6	5.7	7.4 ~ 8.6	8.6 ~ 9.0	9.0 以上

【結果與討論】

1. 高麗菜汁原來的 pH 值為 5.7。酸性部分：滴入鹽酸使溶液 pH 變為 4.3 ~ 5.6 時，溶液變成紫紅色，pH 變為 3.4 ~ 4.3 時變成紅色，pH 變為 3.4 以下時，變成深紅色。

2. 鹼性部分：滴入氫氧化鈉使溶液 pH 變為 7.4 ~ 8.6 時，紫高麗菜汁變成藍色，使溶液 pH 變為 8.6 ~ 9.0 時變成藍綠色，使溶液 pH 變為 9.0 以上時變成綠色。

【實驗三、探討微型化學反應的各項變因】

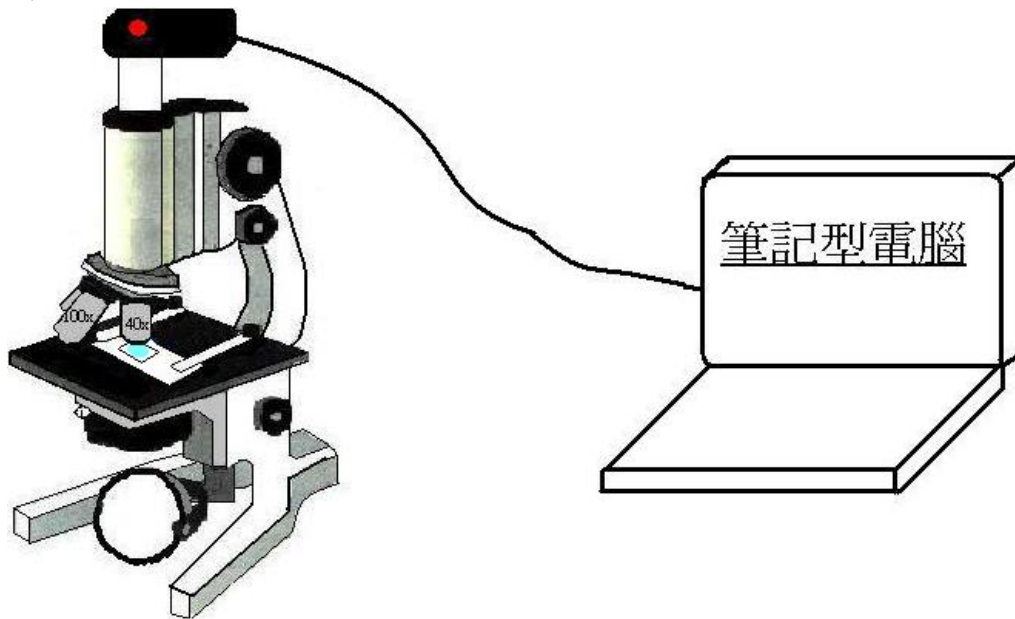
想法：由於課本只是以肉眼來觀察沉澱實驗，這種方法既不客觀亦不準確，所以我們突發奇想地將化學反應放在顯微鏡下研究，並觀察在顯微鏡下的沉澱結晶。

步驟一、觀察顯微鏡下碳酸鈉與氯化鈣的反應—碳酸鈣沉澱

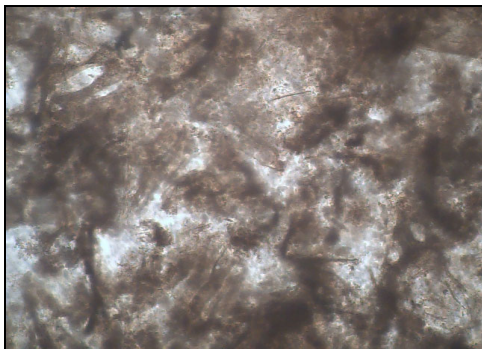
實驗器材：0.4M 碳酸鈉溶液、0.4M 氯化鈣溶液、高倍數的複式顯微鏡、投影片、二支(3c.c)針筒、兩支注射針、筆記型電腦

1. 用針筒吸起碳酸鈉溶液和氯化鈣溶液各 1c. c。
2. 將載液面放置在顯微鏡的載物台上。
3. 將碳酸鈉溶液滴一滴在載液面上。
4. 將 10 倍物鏡調整到最好的焦距(清楚看到碳酸鈉溶液)。
5. 再將氯化鈣溶液滴一滴在載液面上的碳酸鈣溶液中，使其反應。
觀察碳酸鈣沉澱的反應情形，並拍攝其沉澱。結果如照片：
6. 將物鏡換成 40 及 100 倍。

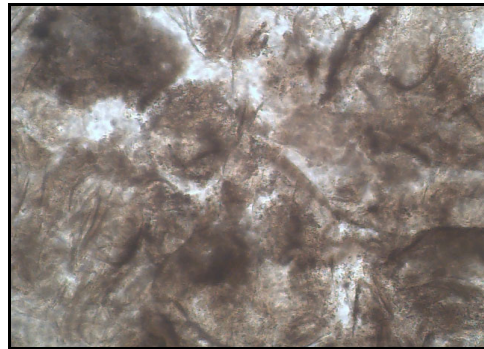
裝置圖二：



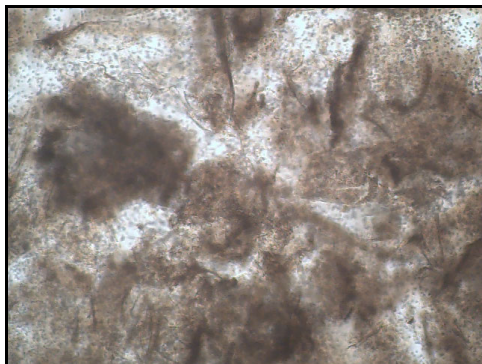
結果如相片：



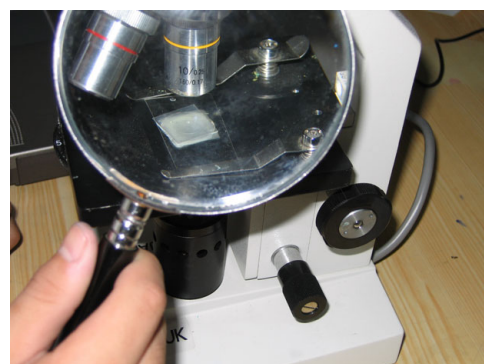
10X(相片十九)



40X(相片二十)



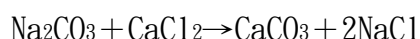
100X(相片二十一)



相片二十二

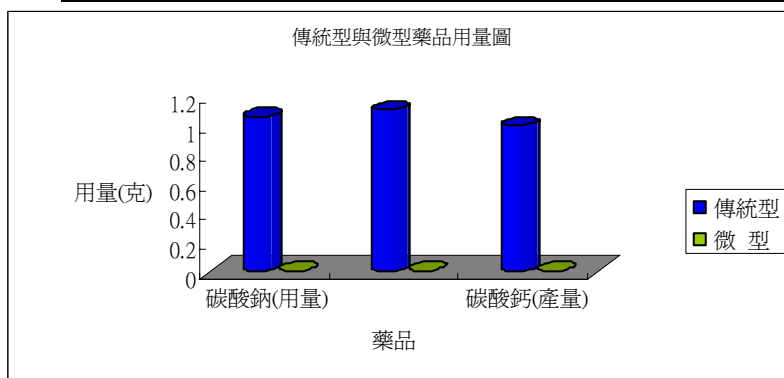
【結果與討論】

1. 碳酸鈉與氯化鈣的化學反應式：



傳統型與改良後微型化學反應裝置的實驗用量、產量比較(表六)

	碳酸鈉(用量)	氯化鈣(用量)	碳酸鈣(產量)
傳統型	1.04 克	1.1 克	1.0 克
微型	0.001696 克	0.00176 克	0.0016 克



圖三

2. 傳統型化學藥品用量與產量

(傳統型： $1 \times 10 / 1000 \times \text{分子量}$; 微型： $0.4 \times 0.04 / 1000 \times \text{分子量}$)

碳酸鈉(1M 10ml) $1 \times 10 / 1000 \times 106 = 1.06$

氯化鈣(1M 10ml) $1 \times 10 / 1000 \times 111 = 1.11$

碳酸鈣 $1 \times 10 / 1000 \times 100 = 1.00$

3. 微型化學藥品用量與產量

碳酸鈉(0.4M 0.04ml) $0.4 \times 0.04 / 1000 \times 106 = 0.001696$

氯化鈣(0.4M 0.04ml) $0.4 \times 0.04 / 1000 \times 111 = 0.001776$

碳酸鈣 $0.4 \times 0.04 / 1000 \times 100 = 0.0016$

微型用量為傳統型的 0.0016 倍

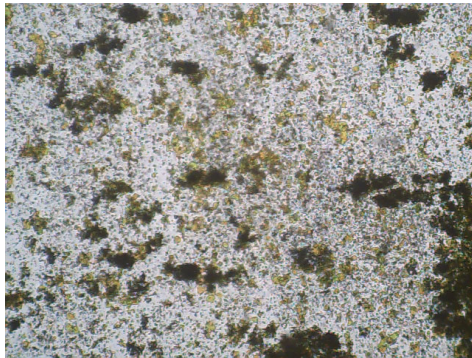
- 碳酸鈣沉澱結晶為圓形顆粒狀，顆粒微小，密集但不重疊，且粒子邊緣呈白色。
- 為了尋找最適合觀察的濃度，我們嘗試以 0.4M、0.6M、0.8M、1.0M、2.0M 等不同的濃度，來觀察反應沉澱的變化，結果發現 0.4M 的反應沉澱疏密程度較適當，透視度佳，反應時間不會太快，10 秒為較佳的觀察濃度，故選擇 0.4M 來當做此實驗的藥品濃度。
- 在 40 倍或 100 倍下所觀察的結晶有些許的差異，其差異是在 100 倍下所看到的結晶較大，但光線較暗。

步驟二、觀察顯微鏡下碘化鉀和硝酸鉛反應產生的碘化鉛沉澱

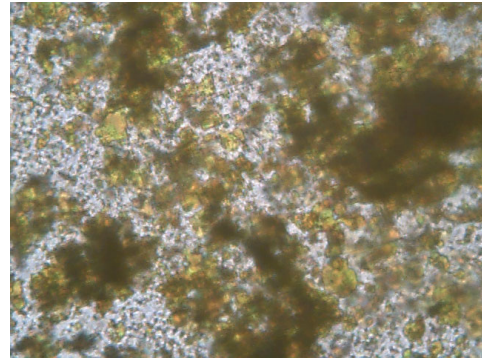
實驗器材：0.4M 的碘化鉀溶液、0.4M 的硝酸鉛溶液、高倍數的複式顯微鏡、投影片、兩支針筒(3c.c)、兩支注射針、筆記型電腦

- 用針筒吸起碘化鉀溶液和硝酸鉛溶液各 1c.c。
- 將載液面放上已接顯微接環的顯微鏡上。
- 將碘化鉀溶液滴二滴在載液面上。
- 將 10 倍物鏡調整到最好的焦距(可清楚看到碘化鉀溶液)。
- 滴硝酸鉛溶液使其反應。

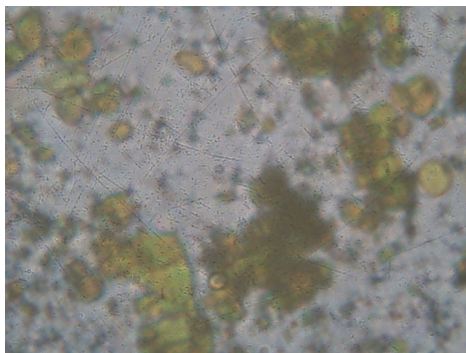
6. 並同時觀察碘化鉀沉澱的反應情形。
7. 將物鏡換成 40 及 100 倍，結果如照片。



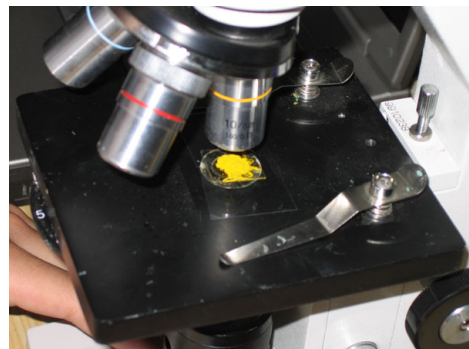
10X(相片二十三)



40X(相片二十四)



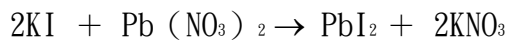
100X(相片二十五)



相片二十六

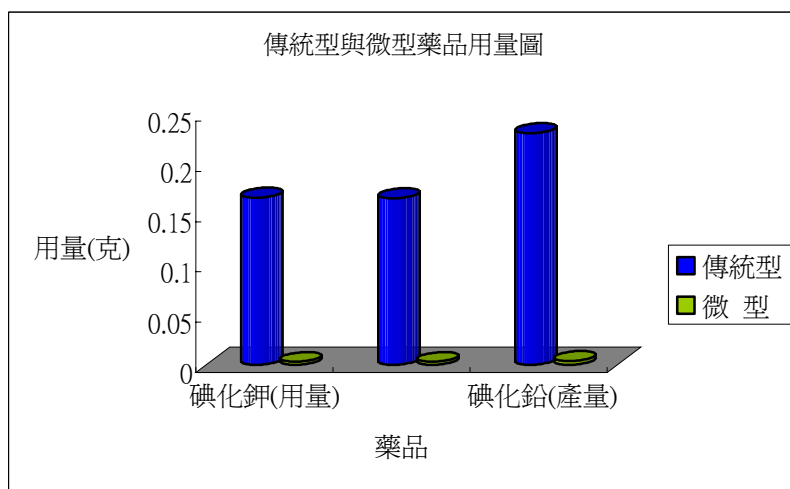
【結果與討論】

1. 碘化鉀與硝酸鉛的化學反應式：



傳統型與改良後微型化學反應裝置實驗用量、產量比較(表七)

	碘化鉀(用量)	硝酸鉛(用量)	碘化鉛(產量)
傳統型	0.166 克	0.1655 克	0.2305 克
微 型	0.002656 克	0.002648 克	0.003688 克



圖四

2. 傳統型化學藥品用量與產量

(傳統型： $0.1 \times 10 / 1000 \times \text{分子量}$ 微型： $0.4 \times 0.04 / 1000 \times \text{分子量}$)

碘化鉀(0.1M 10ml) $0.1 \times 10 / 1000 \times 166 = 0.166$

硝酸鉛(0.1M 5ml) $0.1 \times 5 / 1000 \times 331 = 0.1655$

碘化鉛 $0.1 \times 5 / 1000 \times 461 = 0.2305$

3. 微型化學藥品用量與產量

碘化鉀(0.4M 0.08ml) $0.4 \times 0.08 / 1000 \times 166 = 0.005312$

硝酸鉛(0.4M 0.04ml) $0.4 \times 0.04 / 1000 \times 331 = 0.005296$

碘化鉛 $0.4 \times 0.04 / 1000 \times 461 = 0.007376$

微型用量為傳統型的 0.032 倍

4. 我們比較顯微鏡下所看到的沉澱，發現 40 倍與 100 倍所看到的結晶相差不大，但 10 倍時其顆粒太小，不易觀察。

(1)10 倍：結晶細緻，呈金黃色，會反射出亮晶晶的光芒，形似金粉。

(2)40 倍：可看到剖面型的結晶，大多聚集且重疊。約 3-5 分鐘後，結晶會較分散，透光度較佳，為最好觀察碘化鉛晶體的時間。

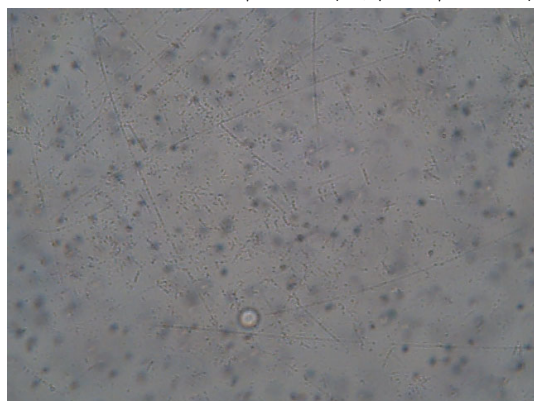
(3)100 倍：同 40 倍，雖然粒子較大，但光線較暗且較模糊。

5. 用量減少量，污染減少，較環保。

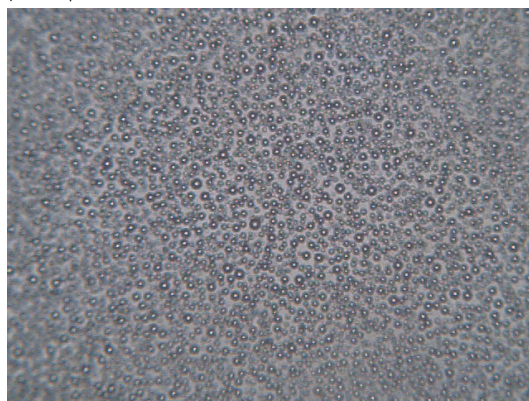
步驟三、觀察顯微鏡下硫代硫酸鈉與鹽酸反應產生硫沉澱

實驗器材：0.4M 的硫代硫酸鈉溶液、0.4M 的硫酸溶液、高倍數的複式顯微鏡、高倍解剖顯微鏡、載玻片、兩支針筒(3c.c)、投影片、筆記型電腦

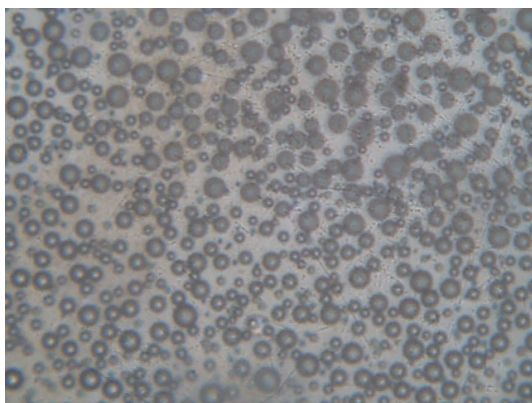
1. 在針筒內各吸入硫代硫酸鈉溶液及鹽酸各 1c.c。
2. 將載液面放上已接顯微接環的顯微鏡上。
3. 在載液面上滴二滴鹽酸。
4. 將 10 倍物鏡調整到最好的焦距(可清楚看到鹽酸的溶液)。
5. 再將硫代硫酸鈉溶液滴一滴在載液面上的鹽酸中，使其反應，觀察硫沉澱的情況。
6. 將物鏡(高倍解剖顯微鏡)換成 10、40 及 100 倍，結果如相片二十七、相片二十八、相片二十九。



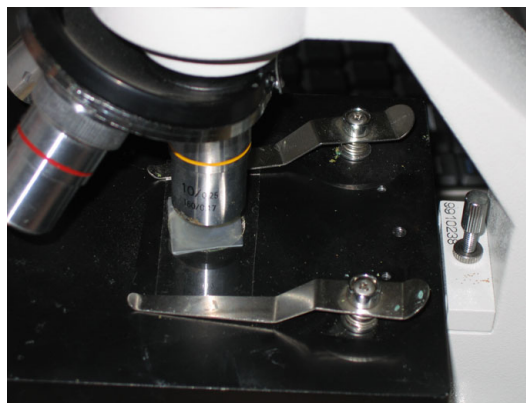
10X (相片二十七)



40X(相片二十八)



100X(相片二十九)



相片三十

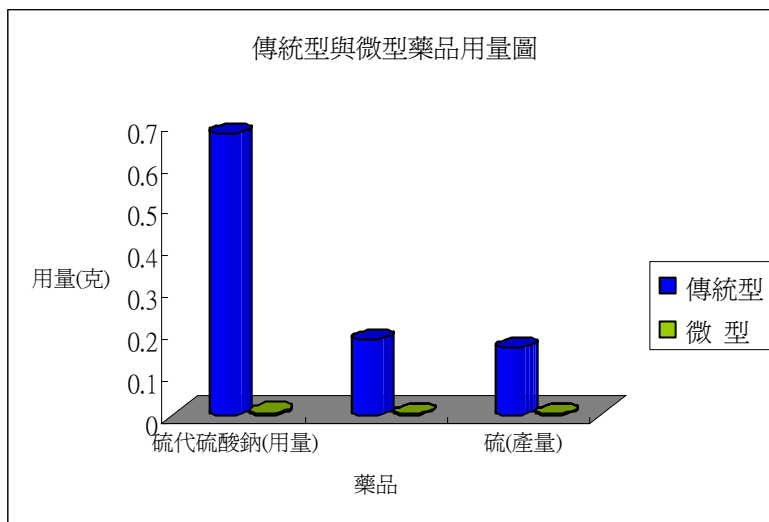
【結果與討論】

1. 硫代硫酸鈉與鹽酸的化學反應式：



傳統型與改良後微型化學反應裝置實驗用量、產量比較(表八)

	硫代硫酸鈉(用量)	鹽酸(用量)	硫(產量)
傳統型	0.675 克	0.18 克	0.16 克
微 型	0.00432 克	0.01152 克	0.000512 克



圖五

1. 傳統型化學藥品用量與產量

(傳統型: $0.1 \times 10 / 1000 \times \text{分子量}$ 微型: $0.4 \times 0.04 / 1000 \times \text{分子量}$)

硫代硫酸鈉(0.1M 25ml) $0.1 \times 25 / 1000 \times 270 = 0.675$

鹽酸(0.1M 50ml) $0.1 \times 50 / 1000 \times 36 = 0.18$

硫 $0.1 \times 25 / 1000 \times 32 = 0.08$

2. 微型化學藥品用量與產量

硫代硫酸鈉(0.4M 0.04ml) $0.4 \times 0.04 / 1000 \times 270 = 0.00432$

鹽酸(0.4M 0.08ml) $0.4 \times 0.08 / 1000 \times 36 = 0.01152$

硫 $0.4 \times 0.04 / 1000 \times 32 = 0.000512$

微型用量為傳統型的 0.0064 倍

3. 硫結晶在顯鏡下呈乳白色微小圓形顆粒，密集但不重疊，但硫結晶顏色較碳酸鈣深，而且發生反應時，溶液中沉澱(離子團)會流動，直到反應完成時才不會流動。

4. 在 40 或 100 倍下所看到的結晶較 10 倍大，型態並無多大的差別。

5. 0.4M 的硫代硫酸鈉與鹽酸反應，遮住標記的時間約為 43.5 秒。

步驟四、探討硫結晶的顆粒大小

實驗器材：0.4M 的硫代硫酸鈉溶液、0.4M 的鹽酸溶液、高倍數的複式顯微鏡、顯微接環、筆記型電腦、投影片、兩支針筒、兩支注射針

1. 將大頭針放在液面上，將 10 倍物鏡調整到最佳的焦距，拍下照片。

2. 滴入 0.4M 鹽酸及硫代硫酸鈉(2：1)，調整硫沉澱之最佳焦距，拍下

照片。

3. 固定二張照片的大小，對照算出硫沉澱的大小。

(1) 量出在照片上之硫沉澱(100X)直徑約 0.8cm。

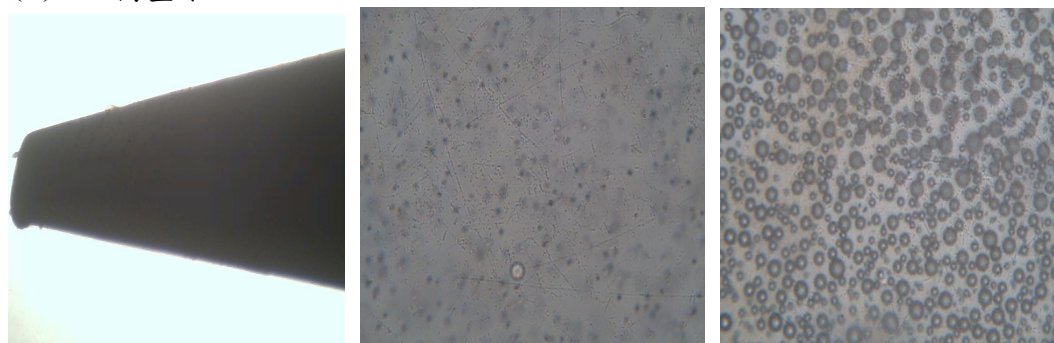
(2) 量出大頭針 (10X) 照片上直徑大小約 9.6cm。

(3) 利用以上之數據，依比例算出硫沉澱大小(結果如下表九)

直徑 \ 種類	硫沉澱		大頭針直徑
	大顆粒	小顆粒	
顯微鏡下的直徑	0.8 公分 (100X)	0.5 公分(100X)	9.6 公分(10X)
實際的直徑	6.7(微米)	4.2(微米)	0.08(公分)

註：大頭針實際的直徑是 0.08 cm

(1) 30 萬畫素



大頭針的直徑(10X)相片三十一 硫結晶(10X)相片三十二 硫結晶(100X)相片三十三

$$0.8 \text{ cm(硫)} \div 10 = 0.08(10X)$$

$$9.6 \text{ cm(大頭針)} \div 0.08 \text{ cm(硫)} = 120 \text{ 倍}$$

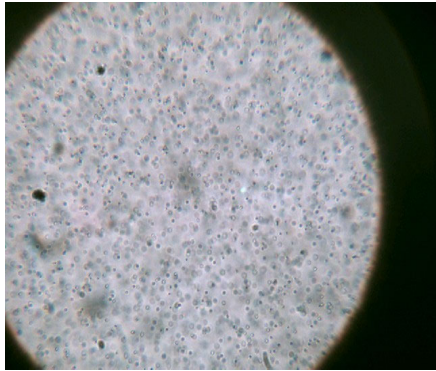
$$0.08 \text{ cm(大頭針)} \div 120(\text{寬}) = 0.00067 \text{ cm} = 6.7 \mu\text{m}$$

$$0.5 \text{ cm(硫)} \div 10 = 0.05 (10X)$$

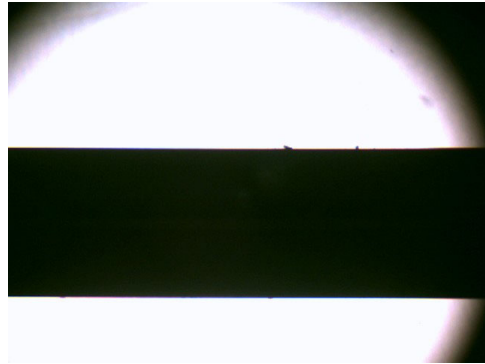
$$9.6 \text{ cm (大頭針)} \div 0.05 \text{ cm (硫)} = 192 \text{ 倍}$$

$$0.08 \text{ cm (大頭針)} \div 192(\text{長}) = 0.00042 \text{ cm} = 4.2 \mu\text{m}$$

(2) 100 萬畫素



硫粒子 (100 倍)



大头針(10 倍)

10 倍: $0.08/4.5 = X/11.4$ (寬) $X = 0.2027\text{cm}$

100 倍: $0.2027/10 = 0.02027\text{cm}$

每一格 $0.02027/11.4 \div 0.00178$

10 倍: $0.08/4.5 = X/15.2$ (長) $X = 0.2702\text{cm}$

100 倍: $0.2702/10 = 0.02702\text{cm}$

每一格 $0.02702/15.2 \div 0.00178$

所以每一格座標長約為 0.00178cm

【結果與討論】

1. 由於 100 倍物鏡的鏡面，對於大头針來說直徑太小，故我們利用 10 倍物鏡來測量大头針的直徑，用 100 倍物鏡來測量硫沉澱粒子的直徑大小，相對照和計算。
2. 在實驗中，我們利用大头針當比例尺來計算，得知硫顆粒的直徑大小約是 4.2 ~ 6.7 微米之間。

【實驗四、探討不同濃度下的微觀反應結晶】

想法 :1. 二年級曾做過許多化學反應的實驗，但至多只能以肉眼觀察到表面的顏色和速率的快慢，所以誤差可能頗大。

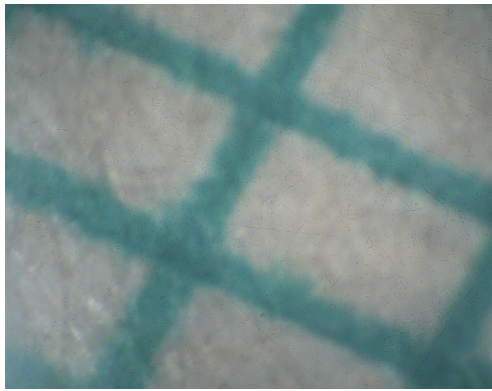
步驟一、探討不同濃度的硫代硫酸鈉與鹽酸反應，產生硫結晶沉澱速率的差異。

控制變因：相同溶液硫代硫酸鈉和鹽酸溶液用量比為 1:2，且在定溫，定壓下。

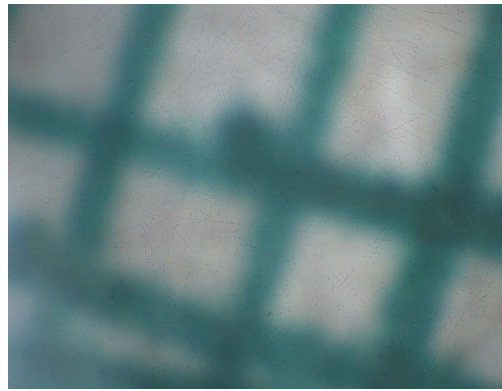
操縱變因：溶液之濃度分別為 0.2M、0.4M、0.6M、0.8M、1.0M 的硫代硫酸鈉和鹽酸溶液。

實驗器材：玻片、筆記型電腦 0.2M、0.4M、0.6M、0.8M、1.0M 的硫代硫酸鈉和鹽酸溶液、塑膠滴管、碼錶、3ml 針筒

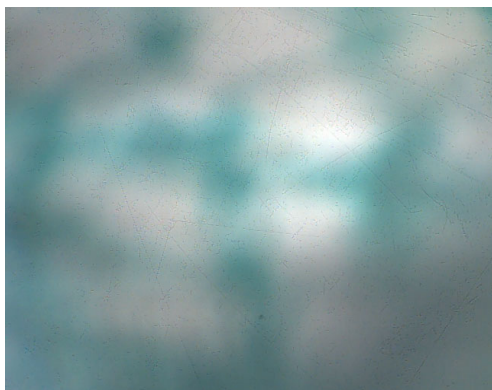
1. 將 0.2M 的鹽酸溶液滴入載液面中央，再滴入 0.2M 的硫代硫酸鈉溶液。
2. 在滴入的瞬間開始調整物鏡(100 倍)與生成物間的焦距。
3. 將目鏡換上顯微接環連接至電腦開始觀察。
4. 完成紀錄後逐漸增加濃度(0.4M~1.0M)，操作方法如上，結果如表六、表七。
5. 0.4M 的硫代硫酸鈉和鹽酸溶液反應產生硫沉澱。
6. 遮住標記過程相片(動態反應過程如附件:視訊三)。



0 秒(相片三十四)



10 秒(相片三十五)



20 秒(相片三十六)



30 秒(相片三十七)



40 秒 (相片三十八)



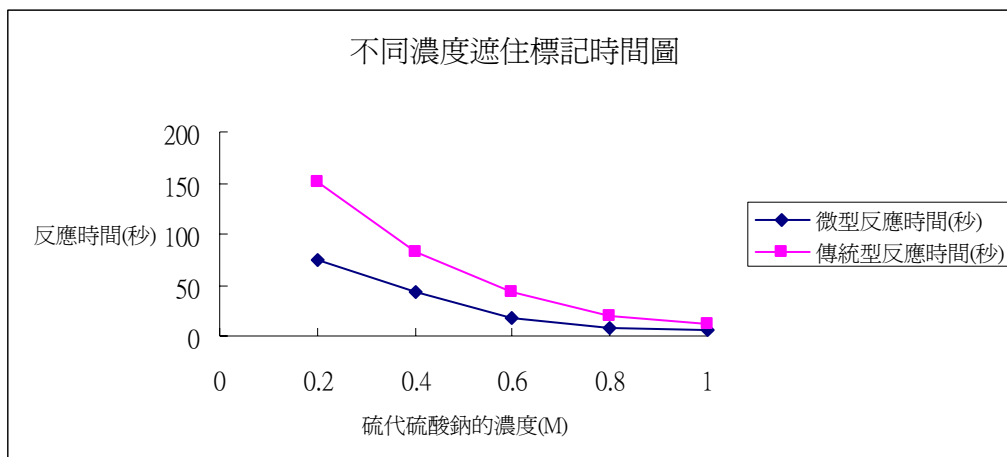
50 秒(相片三十九)

傳統型(表十)

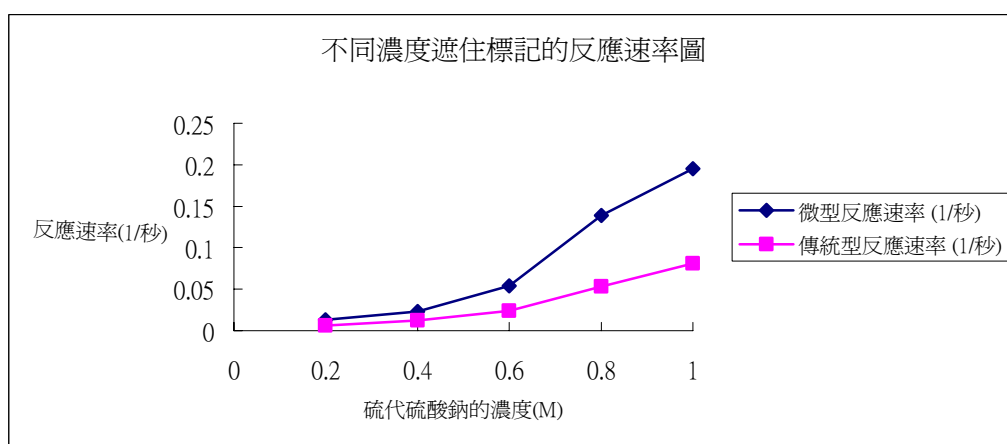
	0.2M	0.4M	0.6M	0.8M	1.0M
反應時間 (t)	150.05 秒	82.56 秒	42.38 秒	18.94 秒	12.46 秒
反應速率 (1/t)	0.007 秒	0.012 秒	0.024 秒	0.053 秒	0.080 秒

微型(表十一)

	0.2M	0.4M	0.6M	0.8M	1.0M
反應時間 (t)	75.47 秒	43.47 秒	18.54 秒	7.19 秒	5.13 秒
反應速率 (1/t)	0.013 秒	0.023 秒	0.054 秒	0.139 秒	0.195 秒

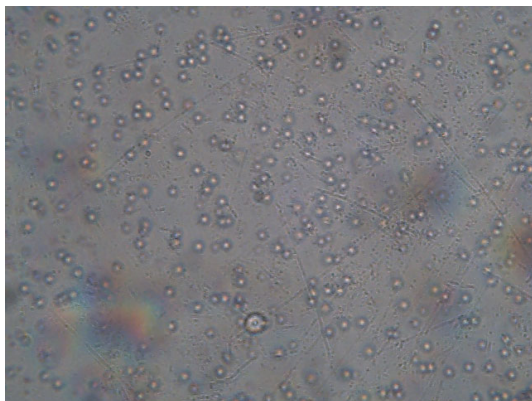


圖六

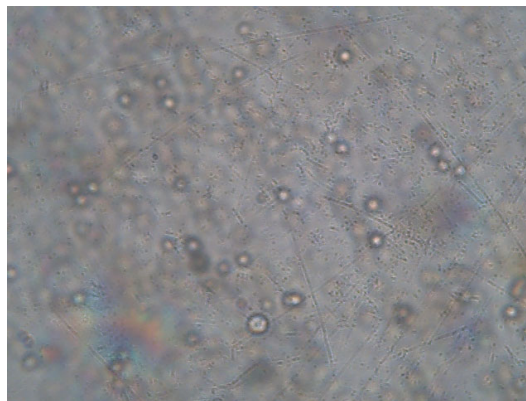


圖七

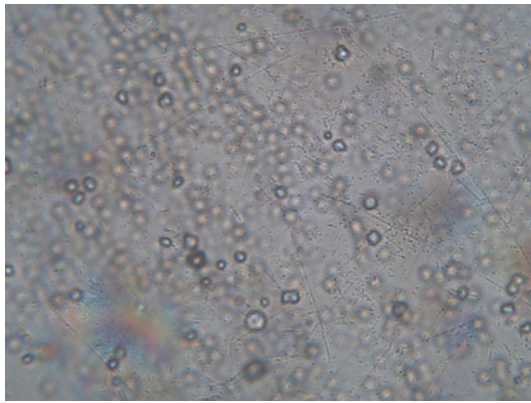
7. 如附件:視訊四



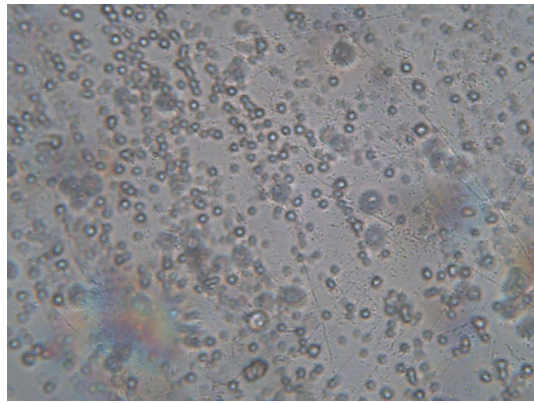
0.2M的硫結晶(相片四十)



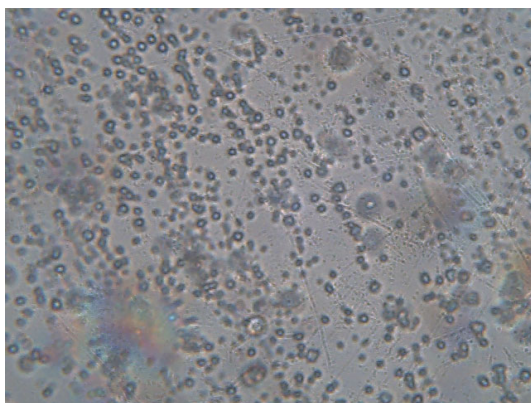
0.4M的硫結晶(相片四十一)



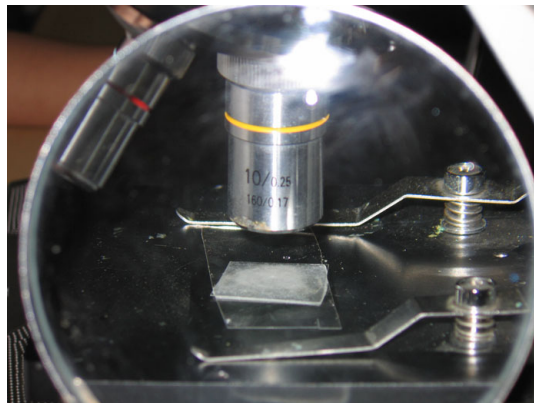
0.6M的硫結晶(相片四十二)



0.8M的硫結晶(相片四十三)



1.0M的硫結晶(相片四十四)



相片四十五

【結果與討論】

1. 我們發現濃度越大反應時間越短，速率越快。
2. 將目鏡換成顯微接環時，要觀察物體會因為剩下物鏡的倍數由原來的 1000 倍變為 100 倍，所以在電腦上所觀察的會比較小(較不易觀察)，但不同濃度間硫的結晶形狀差異不大。

【實驗五、探討不同溫度下的微觀反應結晶】

想法：

1. 根據課本上的碰撞學說可得知：
 - (1)反應物活性強。
 - (2)反應物顆粒小，接觸面積大。
 - (3)反應溶液濃度高，可增加粒子的碰撞機會。
 - (4)溶液溫度增高，使反應物超過最低活化能的粒子增加，使反應變快。
 - (5)含有正負催化劑。

以上五點皆可使反應速率增快。在實驗中，我們決定以溫度高低作為操縱變因，看看溫度改變後，反應速率、沉澱結晶的形狀有什麼不一樣。

步驟一、探討不同溫度下硫代硫酸鈉與鹽酸反應產生硫的速率及結晶形狀

控制變因：莫耳濃度均為 0.4M 的硫代硫酸鈉溶液及鹽酸。

操縱變因：不同溫度的反應實驗，來比較的時間、結晶形狀的差異

實驗器材：0.4M 的硫代硫酸鈉溶液、0.4M 的鹽酸、高倍複式顯微鏡、投影片、碼錶、筆記型電腦、顯微鏡接環

1. 在試管內置入 0.4M 的硫代硫酸鈉溶液及 0.4M 的鹽酸各 10 c.c，並將試管泡在熱水中。
2. 用溫度計測量溫度並將水溫分別調至 20°C、30°C、40°C、50°C、60°C

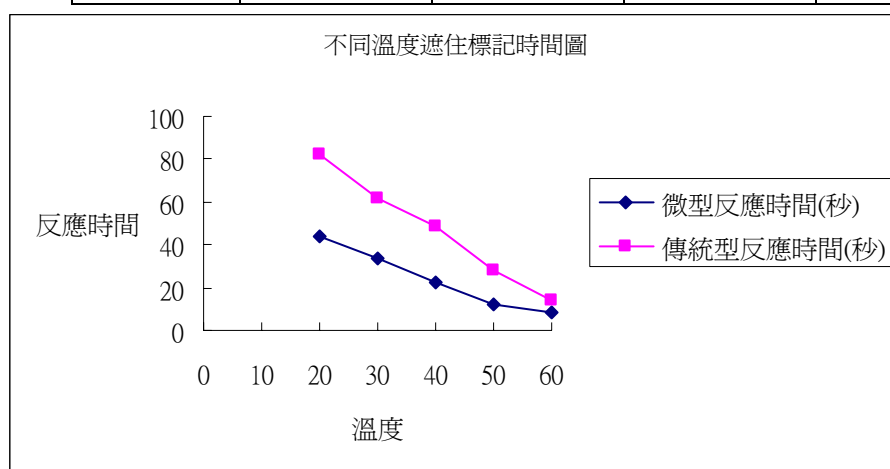
- 時，分別以針筒各吸 2 c. c 的反應溶液。
- 將 20°C、30°C、40°C、50°C、60°C 的鹽酸溶液滴 2 滴在載液面上。
 - 以顯微鏡找到最好觀察的焦距。
 - 再將硫代硫酸鈉溶液滴 1 滴在載液面上的鹽酸溶液中。
 - 蓋上蓋玻片，並觀察其沉澱過程與結晶。
 - 各溫度的沉澱遮住標記的時間結果如下表。
 - 各溫度的沉澱結晶遮住標記的結果如下照片(動態反應過程如附件:視訊五)。

傳統型(表十二)

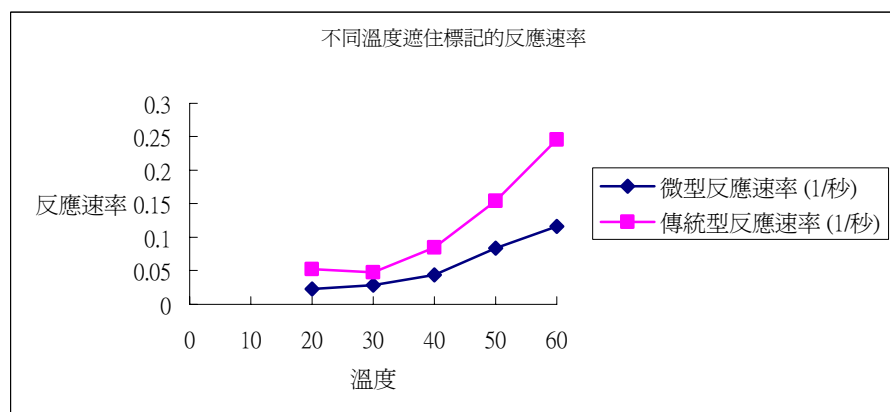
	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
反應時間 (t)	82.56 秒	61.52 秒	48.62 秒	27.64 秒	14.25 秒
反應速率 (1/t)	0.012 秒	0.016 秒	0.021 秒	0.036 秒	0.069 秒

微型(表十三)

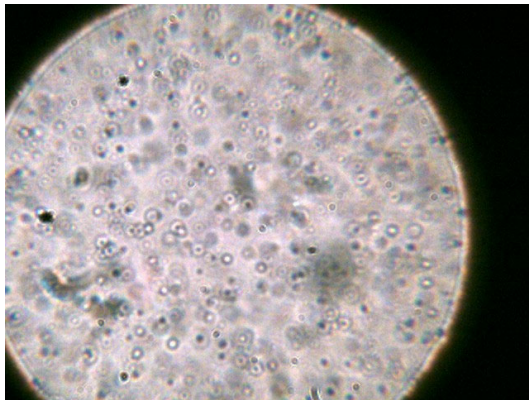
	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
反應時間 (t)	43.47 秒	33.88 秒	22.48 秒	11.78 秒	8.56 秒
反應速率 (1/t)	0.023 秒	0.030 秒	0.044 秒	0.085 秒	0.117 秒
結晶形狀	微小且圓形	微小且圓形	微小且圓形	微小且圓形	微小且圓形



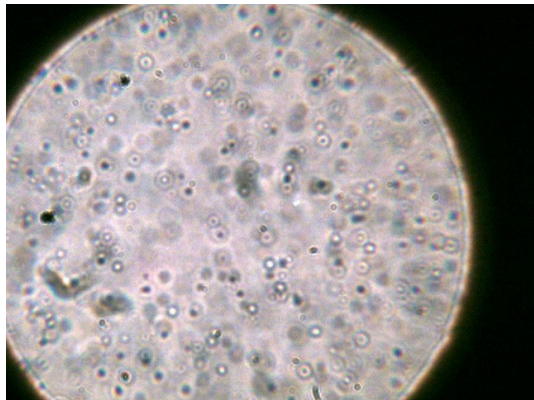
圖八



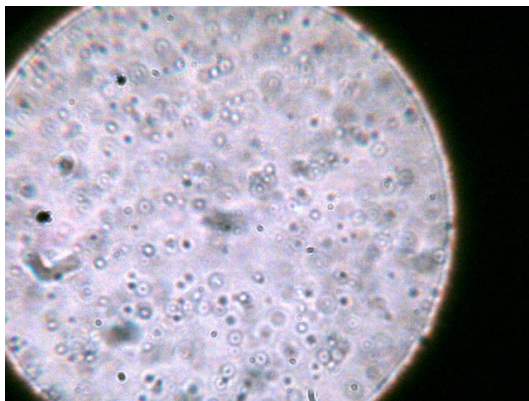
圖九



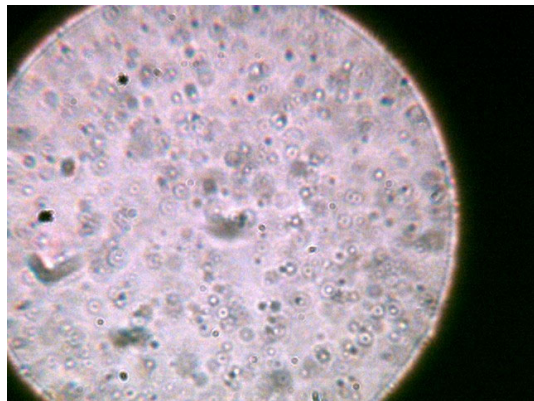
20°C的硫結晶(相片四十六)



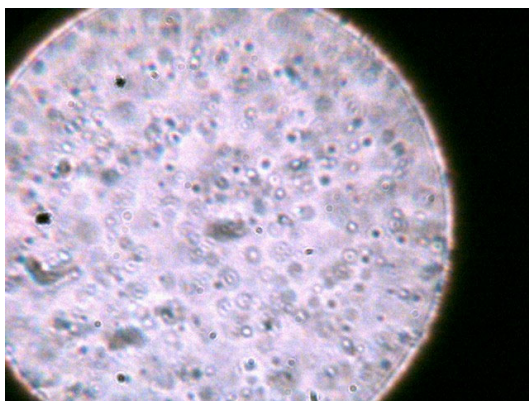
30°C的硫結晶(相片四十七)



40°C的硫結晶(相片四十八)



50°C的硫結晶(相片四十九)



60°C的硫結晶(相片五十)



相片五十一

【結果與討論】

1. 由上表可以得知溫度越高，反應時間越短，反應速率越快。
2. 在顯微鏡下所看到的結晶沉澱，約比外在肉眼所看的反應沉澱快，因此若要精確得到反應速率，應以顯微鏡下所觀測的時間為準。
3. 在上表中，可以發現溫度只會改變其反應速率，而結晶形狀並不會因為溫度高低而有所差別。但溫度越高，結晶粒子振動越快。

【實驗六、比較各種類型的聲波對沉澱結晶的影響】

想法：

1. 去年看到一本關於聲波出現了一個有趣的現象—影響水的結晶形態的書，於是我們靈機一動，想試著利用聲波改變化學沉澱的結晶形狀。
2. 既然想到利用聲波，那就必須找各種類型的CD！我們找了10種音樂，

分別是：蒙古女高音、海聲、輕音樂、布袋戲武曲、英文歌、搖滾樂、薩克斯風、莫札特、蟬叫、神隱少女等 10 種音樂來進行實驗。

3. 反應裝置是採用微型化學反應裝置(平面型)。

步驟一、不同聲波對沉澱結晶的比較

實驗器材：0.4M 硫代硫酸鈉溶液、0.4M 鹽酸溶液、微型化學反應裝置(平面型)、複式顯微鏡、CD 播放機、針筒、燒杯、筆記型電腦、CD(音樂)、顯微接環

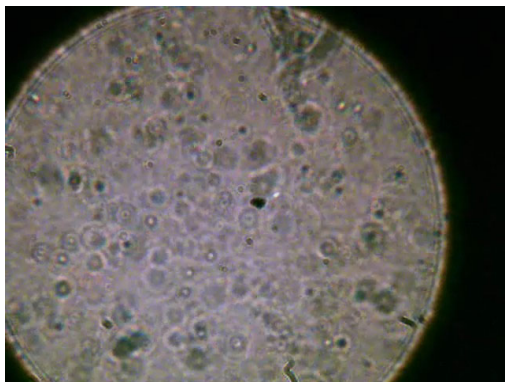
控制變因：0.4M 鹽酸溶液，0.4M 硫代硫酸鈉溶液，同一溫度，同一壓力下。

操縱變因：不同音樂的聲波下的沉澱結晶形狀。

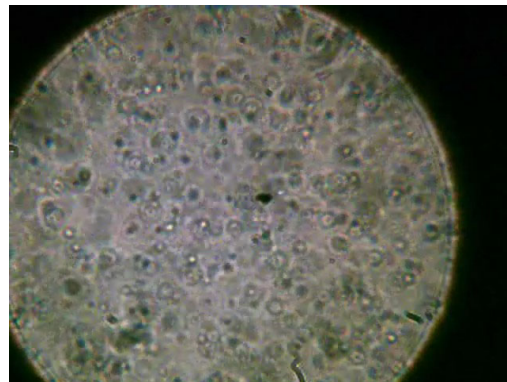
1. 先將(平面型)載玻片擺好。
2. 滴 2 滴鹽酸溶液至凹槽內。
3. 再滴入 1 滴硫代硫酸鈉溶液。
4. 同時開始播放音樂。
5. 開始觀察結晶變化並調好焦距。
6. 將顯微接環接至電腦上。
7. 繼續觀察並拍照、錄影。
8. 實驗結果如下表。
9. 沉澱結晶如下照片(動態反應過程如附件:視訊六)。

各種類型的音樂對結晶的變化(表十四)

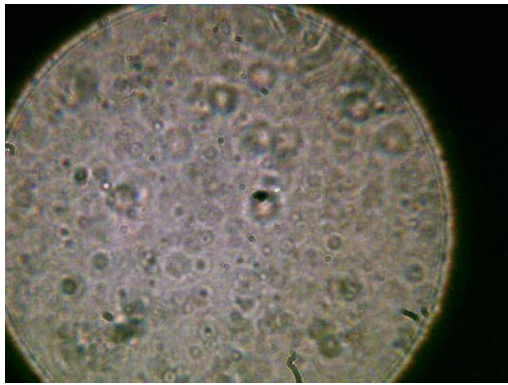
莫札特(費加洛婚禮)	粒子顆粒大，型態似不規則圖形
布袋戲武曲	顆粒較小，排列極分散
二胡	顆粒分布較稀疏，粒子移動緩慢
海聲	部分粒子較集中，但有些許分散
英文歌	粒子移動極快
搖滾樂	結晶粒子集中，部分有稍微連結
薩克斯風 望春風	結晶粒子極小
輕音樂	結晶粒子較集中
蟬叫	結晶粒子分散，振動劇烈
神隱少女	結晶粒子較均勻，振動較慢



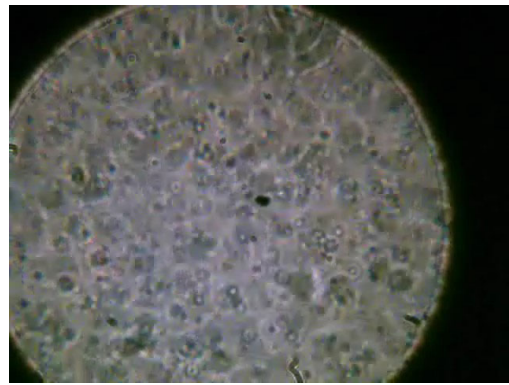
莫札特(費加洛婚禮)(相片五十二)



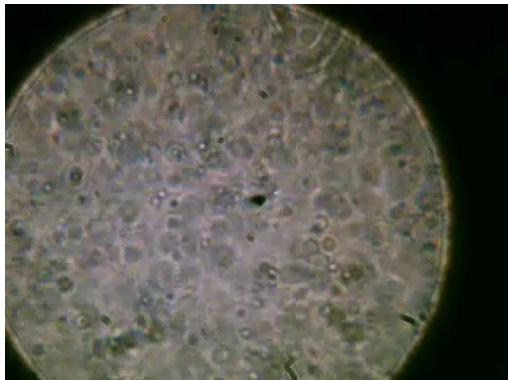
布袋戲武曲(相片五十三)



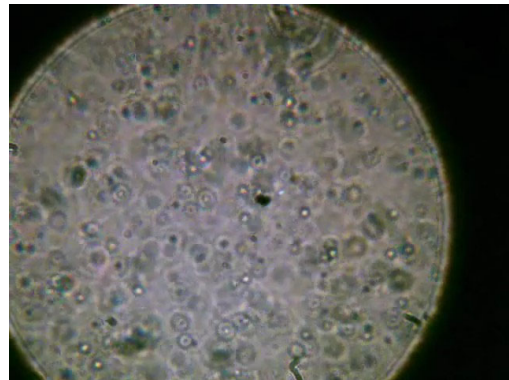
二胡(相片五十四)



海聲(相片五十五)



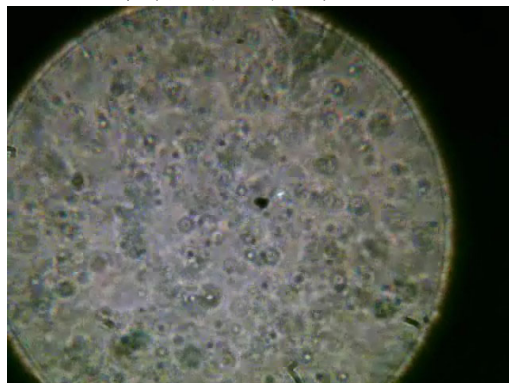
英文歌(相片五十六)



搖滾樂(相片五十七)



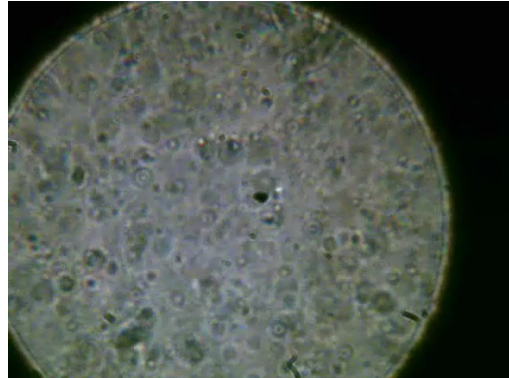
薩克斯風 望春風(相片五十八)



輕音樂(相片五十九)



蟬鳴(相片六十)



神隱少女(相片六十一)



相片六十二



相片六十三

【結果與討論】

1. 由以上的照片可以得知，不同音樂會使沉澱結晶形狀不同，因為莫札特的音樂有很多樂器協奏的聲波及音色，所以才會產生那麼多種形狀；輕音樂則是因為較溫和，所以形狀較圓滑。
2. 不同的音樂會產生不同的聲波，使得硫結晶體受到不同的振動，因而產生不同的排列方式，由視訊中可以看出流動的差別，但很難形容與計算，但我們嘗試著找尋計算的方法。

【實驗七、探討布朗運動】

想法：

1. 在做聲波實驗時，我們發現不同的音樂會使硫結晶受到不同的振動，經查資料後猜測此現象可能與布朗運動有關，更激起我們研究布朗運動的興趣。於是，在這個實驗中探討布朗運動。

2. 布朗運動：

布朗運動—分子間無規則的熱運動。

造成布朗運動的原因，是因為懸浮微粒被水分子碰撞，且來自於各方向的撞擊並不相等，所呈現出來的撞擊平均結果。

※理論方面的工作是由愛因斯坦完成的，而實驗方面則是由佩蘭的乳濁液沉積實驗。

(一)理論方面：

- (1) 分子運動的平均動能與採用絕對溫標的溫度成正比
- (2) 布朗位移與液體溫度的開根號成正比
- (3) 布朗位移與懸浮微粒的半徑成正比
- (4) 布朗位移與液體黏滯係數成正比
- (5) 布朗位移與亞佛加厥常數值($6.5 \times 10^{23} \sim 7.2 \times 10^{23}$)的開根號成反比
- (6) 粒子成分及密度對其運動沒影響
- (7) 粒子運動永不停止

愛因斯坦結合了熱力學和統計物理學對布朗運動進行研究：

1906年，愛因斯坦發表了“布朗運動理論”一文，討論了在平衡下液體中懸浮顆粒按高度分布的問題，得出下列關係：

$$dW = \text{const} \cdot \exp\left[\frac{N_A}{RT} V(\rho - \rho_0)gx\right] dx$$

其中 dW 是顆粒出現在 x 到 $x+dx$ 之間的機率， V 是粒子體積， ρ 是顆粒密度， ρ_0 為液體密度， g 是重力加速度。

(二) 實驗方面：

卡彭涅耳神父：「在液體中的懸浮顆粒如果表面較大(大於 50 微米)，液體分子對其碰撞所形成的壓力(壓強)，並不會使該顆粒產生位移效應，因為分子對顆粒各方向的作用力都是相同的，合力為零。但是如果顆粒的表面較小(0.5 微米以上)，小到我們所考慮的壓力(壓強)彼此不能平衡，就會使顆粒所受合力不為零，並使方向大小都不斷變化。」
佩蘭經過多次試驗，找到藤黃、乳香這兩種乳濁液，他特別注意到這兩種乳濁液的顆粒皆為球型，並在 1908 年佩蘭將愛因斯坦的高度分布公式改寫成乳濁液分布方程：

$$2.3lg \frac{n_0}{n} = \frac{1}{k} mgh \left(1 - \frac{1}{\rho} \right)$$

其中 n_0 和 n 是高度差 h 兩端處的濃度。加上利用公式 $V = \frac{4}{3} \pi a^3$ 建立體積 V 與半徑 a 之間的關係。

首先為了選擇半徑相同的微粒進行實驗，佩蘭採用"離心分類"方法。下一步要測出給定面積的顆粒數，佩蘭想到用照相術。他採取對同一層多次拍照的辦法，數出每張照片上的顆粒數，再加以平均。然而直徑比 0.5 微米小的顆粒往往在照片上也看不清楚。再來要如何確定顆粒的半徑呢？有三種方法：

一為利用斯托克司定律，在密度為 δ ，粘滯係數為 η 的液體中，半徑為 a 、密度為 Δ 的小球，以終端速度 v 下落時，它所受的重力應與阻力和浮力平衡，即

$$6\pi\eta a v = \frac{4}{3} \pi a^2 (\Delta - \delta) g$$

二為滴定統計體積已知的標準乳濁液中的顆粒數。所有的顆粒都附著在載玻片上((於顯微鏡載玻片上，用邊緣塗有石蠟的蓋玻片推勻(塗石蠟的目的是避免蓋玻片攜走顆粒))。佩蘭用照相機的顯畫器把載玻片表面放大後投影在平板上，即可用紙描下顆粒的位置，從而求出顆粒半徑。

三為通過顯微鏡直接測量。這種方法適用於較大的顆粒(直徑大於 0.5 微米)。在顯微鏡下直接觀察單個顆粒會因為繞射(衍射)效應看不真實，但排列整齊的一連串顆粒則便於測準。佩蘭根據這三種方法所測顆粒半徑確定亞佛加厥常數 M_A 值，其中半徑為 21.2×10^{-8} 米的一組數據，計算得結果為 $M_A = 7.05 \times 10^{23} / \text{mole}$ 。三種方法測出的數據比較一致，都在每莫耳 5.0×10^{23} 個至 8.0×10^{23} 個之間。

佩蘭改變微粒的大小(1:70000)，也改變了液體的性質(水、糖、尿素溶液、甘油)和黏度(1:125)，得到數值在 55×10^{22} 到 72×10^{22} 。這些數值的一致，使人們不可能懷疑平移布朗運動的分子運動理論正確性。

(三) 本實驗：本實驗模擬佩蘭的照相術方法

在本實驗三當中，我們以比例尺換算出硫顆粒大小約介於 4.2~6.7 微米之間。接著想進一步探討硫粒子的移動速率，於是開始著手以下的實驗。
 實驗器材：高倍複式顯微鏡(100 倍)、顯微接環、視訊拍攝、棉花棒、0.4M 硫代硫酸鈉水溶液、0.4M 鹽酸水溶液、凹槽型化學反應裝置

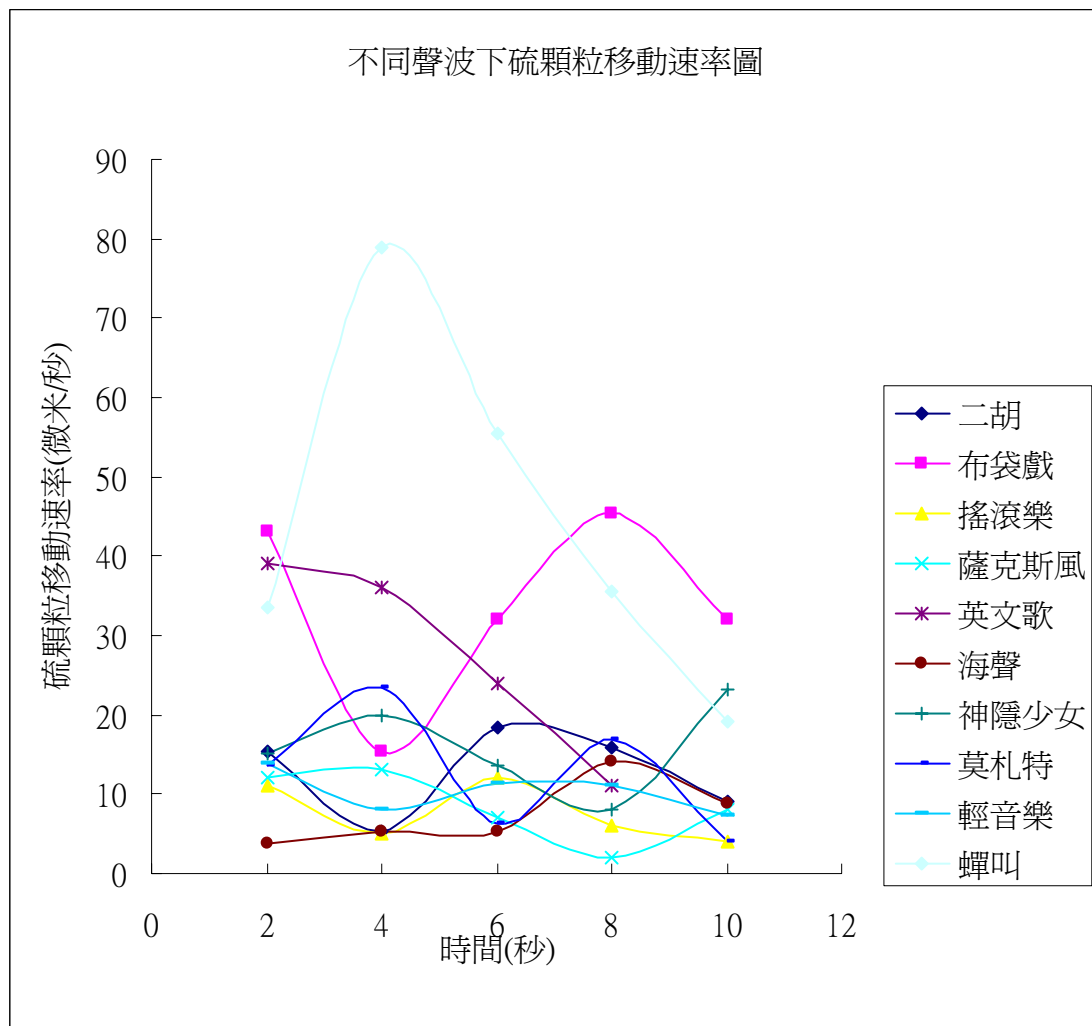
實驗方法：

1. 將凹槽型化學反應裝置置於顯微鏡底下
2. 先後將 1 滴 0.4M 硫代硫酸鈉水溶液與 2 滴 0.4M 鹽酸水溶液滴入
3. 接上顯微接環開始視訊攝影，同時播放音樂，直到反應完成(粒子不再流動)為止
4. 利用已攝影好的視訊影片播出
5. 在影片上找好未移動前的兩個粒子，並以棉花棒標定著
6. 播放影片時，棉花棒隨著指定的粒子移動，每隔 2 秒暫停並紀錄一次
7. 連續 5 次相同方法
8. 後即可算出粒子移動速率

圖片與計算過程：

(一)不同聲波下硫顆粒移動速率

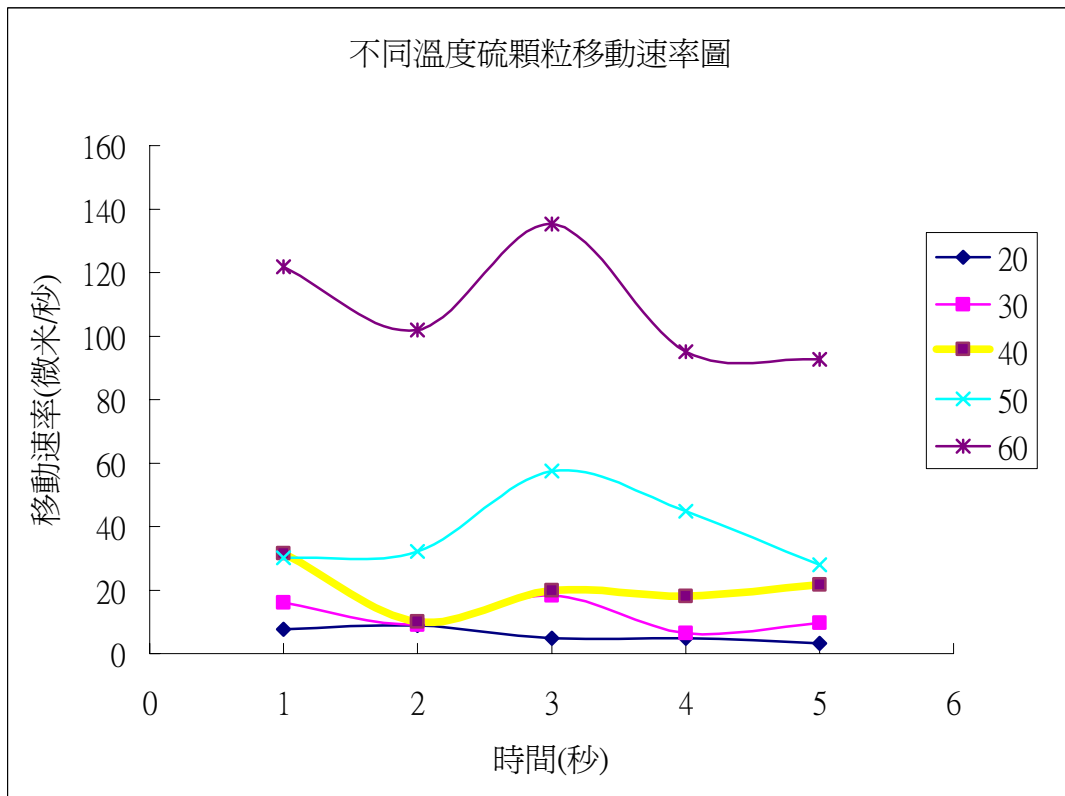
註:硫粒子移動速率($\mu\text{m}/\text{s}$)



音樂 時間	二胡	布袋戲	搖滾樂	薩克斯風	英文歌	海聲	神隱少女	莫札特	輕音樂	蟬叫
1 秒	15.3	43	11	12	39	3.9	15.2	13.6	13.9	33.5
2 秒	5.3	15.3	5	13	36	5.3	20	23.5	8	79
3 秒	18.5	32	12	7	24	5.3	13.5	6.4	11.4	55.5
4 秒	16	45.4	6	2	11	14.2	8	16.8	11.2	35.6
5 秒	9.1	32	4	8		8.9	23.1	4	7.3	19.2

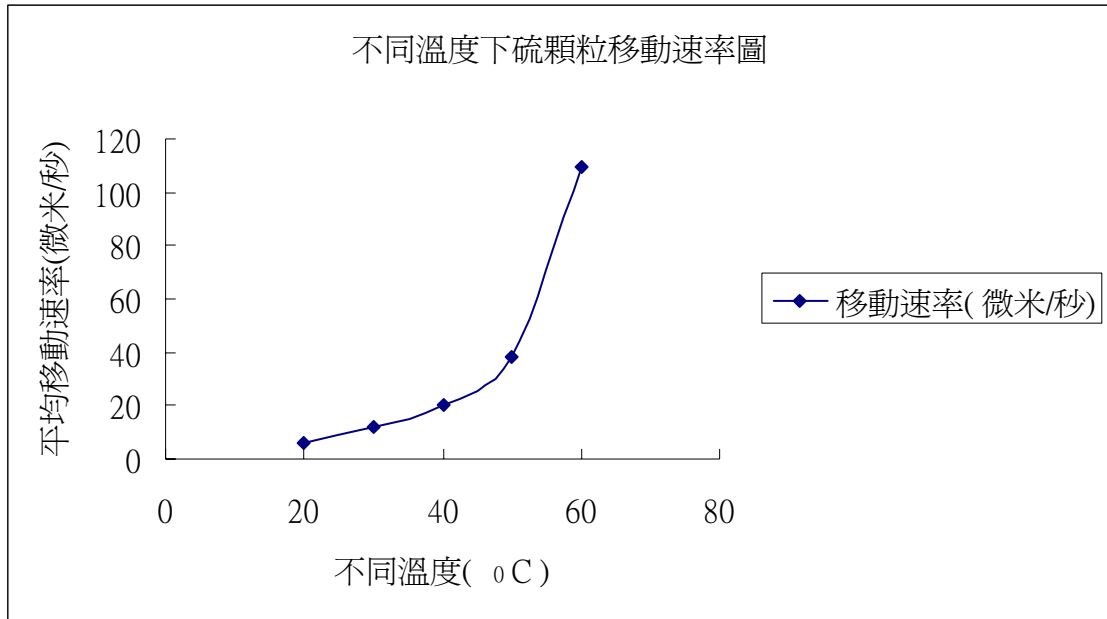
(二)不同溫度硫顆粒移動速率

(1)不同溫度硫顆粒移動速率(圖)(表)



溫度 時間(秒)	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
1	7.7	16.1	31.5	30.2	121.8
2	8.9	9.0	10.1	32.1	102
3	4.8	18.2	19.9	57.5	135.3
4	4.8	6.4	18.1	44.9	95.0
5	3.2	9.6	21.7	28.0	92.6

(2)不同溫度硫粒子移動平均速率(圖)(表)



溫度	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
速率	5.88	11.86	20.26	38.54	109.34

(三)

一百倍顯微鏡所看到的實際範圍約為 $4.392 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ 所觀察到的硫粒子數大約為 250~300 顆左右。

結果與討論：

1. 在實驗七的第一部分，我們靠視訊定格算出硫粒子移動的速率，並將此方法應用在兩個聲波實驗發現不同的音樂會造成硫顆粒不一樣的速率，且音調越高，粒子振動速率越快。
2. 第二部分我們以溫度作為操縱變因，來看看其對於硫粒子移動速率的變化。由實驗結果可發現，溫度越高，硫粒子移動的速率越快；反之則越慢。由此結果看出一趨勢→每增加十度硫粒子移動速率增加約兩倍。
3. 在這個實驗中，我們靠視訊定格來算出硫粒子的顆粒數。在 $1.797 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$ 面積內所觀察到的硫粒子數約為 200~500 顆左右。

【實驗八、傳統化學反應與微型化學反應的比較】

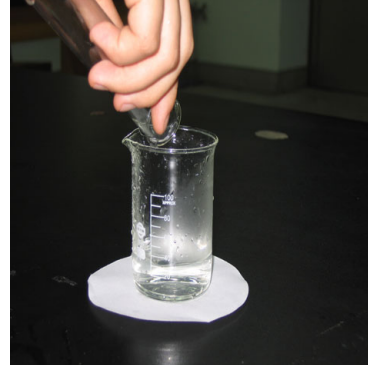
步驟一：比較沉澱的化學反應



相片六十四



相片六十五



相片六十六

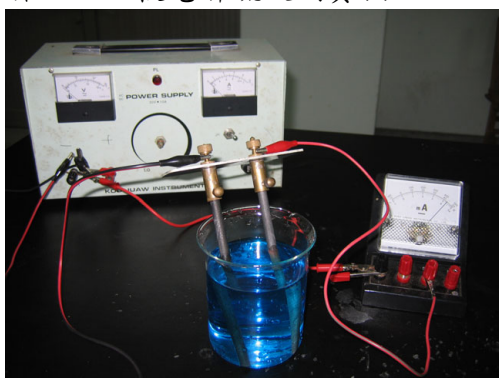
沉澱化學反應的比較(表十五)

	傳統型			微型		
反應方式	傳統教科書化學反應(碳酸鈣沉澱)	傳統教科書化學反應(碘化鉛沉澱)	傳統教科書化學反應(硫沉澱)	微型碳酸鈣沉澱反應	微型碘化鉛沉澱反應	微型硫沉澱反應
每組用量	30ml	15ml	75ml	0.08ml	0.12ml	0.12ml
變化時間	30 秒	6 秒	60 秒	5.21 秒	3.56 秒	5.13 秒
變化狀態	白色混濁	黃色混濁	乳黃色混濁	白色結晶	黃色結晶	乳黃色結晶
實驗後處理	倒入回收桶中	倒入回收桶中	倒入回收桶中	因為反應溶液只有數滴量，不會造成大量廢液	因為反應溶液只有數滴量，不會造成大量廢液	因為反應溶液只有數滴量，不會造成大量廢液

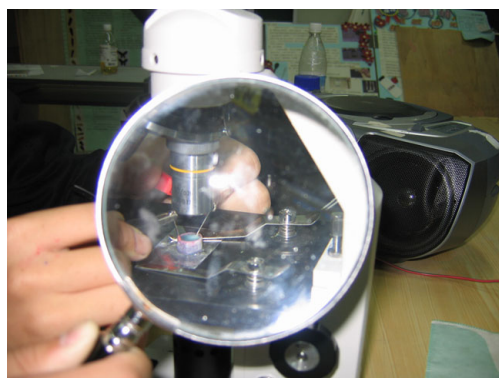
【結果與討論】

1. 比較傳統與微型的沉澱化學反應後，我們發現傳統的化學反應準備過程有點瑣碎，而且藥品用量多。相較之下，微型化學反應其過程非常簡單明瞭，用量也很少，不會造成大量廢液污染，環保又減量。
2. 以觀察實驗結果的方向來看，微型採用以顯微鏡觀察，跟傳統化學的觀察方法比較，發現微型的實驗方式較簡便，也能較客觀地得到實驗結果。

步驟二：比較電解硫酸銅實驗



相片六十七



相片六十八

電解硫酸銅的比較(表十六)

	傳統型		微型	
電解硫酸銅溶液方式	傳統教科書碳棒間距 2cm	傳統教科書碳棒間距 4cm	一滴微型電解實驗電極棒間距 0.5 cm	一滴微型電解實驗電極棒間距 1.0 cm
每組用量	1M 約 200ml	1M 約 200ml	1M 約 0.04ml	1M 約 0.04ml
電源電壓	6V	6V	6V	6V
電流(mA)	60mA	55mA	110mA	90mA
(+)極變化	看到少量氣泡生成	看到少量氣泡生成	看到大量氣泡生成	看到大量氣泡生成

(-)極變化	有金屬銅析出	有少量金屬銅析出	有金屬銅快速析出	有金屬銅快速析出
硫酸銅溶液藍色消失時間	20分鐘仍有藍色	40分鐘仍有藍色	不到3分鐘，藍色即消失	不到5分鐘，藍色即消失
廢液問題	剩下太多廢液，需做重金屬離子的沉澱處理	剩下太多廢液，需做重金屬離子的沉澱處理	全部都電解完，剩下水而已，因此沒有廢液問題	全部都電解完，剩下水而已，因此沒有廢液問題

【結果與討論】

1. 由上表可得知，傳統實驗方式不僅用量多，且反應時間過長，加上廢液問題，因此我們才會朝微型電解發展。
2. 微型電解硫酸銅的反應時間短、用量少，且方便觀察，實驗後污染少，處理容易。

步驟三：電解紫高麗菜汁

電解紫高麗菜汁的比較(表十七)

	傳統型	微型
電解紫高麗菜汁的反應方式	傳統電解紫高麗菜汁的反應方式電極距離 2cm	微型電解紫高麗菜汁的反應方式電極距離 0.5cm
每組用量	200ml	約0.2ml
電源電壓	6V	6V
電流(mA)	10mA	20mA
(+)極變化	變紅色且有少量氣泡(氧)	變紅色且有大量氣泡(氧)
(-)極變化	變綠色且有少量氣泡(氫)	變綠色且有大量氣泡(氫)
廢液問題	倒入回收桶中	因為反應溶液只有數滴量，所以不會造成大量廢液

【結果與討論】

1. 實驗後，我們發現傳統的廢液量多處理不易，非常麻煩；微型則是用量少，污染小，且實驗迅速，易於觀察，可拍攝起來供全班觀看，故可作為教材。
2. 微型電解高麗菜汁，反應用量減為傳統型用量的1/1000，用量少廢液也相對減少。

五、結論

1. 在第一個實驗中，我們比較玻片、雙面膠、投影片、夾鏈袋等四種載液面應用於實驗的可行性，以做為以下實驗的載液面。由於投影片易於取得，透光性不錯，最重要的是其柔軟度佳，可用於觀察非常細微的物體，所以本實驗以投影片作為載液面。

2. 設計微型化學反應裝置

凹槽型：適用於電解、聲波反應實驗。凹槽型化學反應裝置可將化學反應侷限於一定的範圍內，使反應溶液不至於快速、劇烈地流動，如此也可方便進行微型電解實驗。

平面型：投影片厚度適當，透光度佳，可清楚的看到化學反應的沉澱情形，又

有柔軟不易破的特性。但若是以高倍物鏡觀察，觀察化學反應結晶，必須相當接近，甚至接觸到反應溶液，所以在微型化學反應裝置(平面型)中我們加裝了蓋液片，來解決此問題(此裝置適用於沉澱實驗)。

3. 在實驗二時，我們探討了電解硫酸銅的各項變因，並嘗試用紫色高麗菜汁來觀察其微型電解反應。電解硫酸銅的部分：當電壓愈大時，則氣泡及金屬銅的生成速率皆變快。再者電解紫色高麗菜的部份：顯微鏡底下可清楚觀察到負極產生藍綠色的氣泡；正極產生紅色的氣泡，當電解20秒後，顯微鏡下的鏡頭幾乎被藍綠色氣泡佔滿。正極因產生 H^+ 局部變酸性PH值大約4.3，使溶液顏色變紅色，負極因產生 OH^- 局部變鹼性PH值大約7.4，使溶液顏色變藍綠色。總之，在顯微鏡下可精準的觀察到化學及電解反應，也可較準確且客觀的測量其反應時間。

4. 實驗三中探討了化學反應的沉澱的反應現象：

沉澱-碳酸鈣：結晶為圓形顆粒狀，顆粒微小，密集但不重疊，粒子邊緣呈白色。

碘化鉛：大多聚集且重疊。大約需3-5分鐘後，結晶較分散且透光度較佳，為最好觀察碘化鉛晶體的時間。

硫：結晶在顯鏡下呈白色微小圓形顆粒，密集但不重疊。硫結晶顏色較碳酸鈣深，而且發生反應時，溶液中沉澱(離子團)會流動，直到反應完成時才不會流動。此流動狀態經查資料後，為愛因斯坦所提的布朗運動(分子間的热運動)。

在多次實驗中，我們發現反應溶液以0.4M為最佳濃度。反應沉澱時間約為20-40秒，且沉澱粒子較不密集，硫顆粒的直徑大小約為4.2~6.7微米。

附註：當粒子團大到約50 μm 時，便不再流動。

5. 我們發現濃度越大反應速率就越快。將目鏡換成顯微接環視訊儀器時，要觀察的倍率會由原來的1000倍變為100倍，所以會和在顯微鏡上觀察的不太一樣。電腦螢幕上的顆粒會比較小。
6. 溫度對於硫代硫酸鈉反應沉澱結晶中，溫度越高，反應時間越短，反應越快。在顯微鏡下所時間較短，結晶沉澱約比外在肉眼所看的反應沉澱快很多，因此若要更客觀地得知反應時間，應以顯微鏡下所觀測的為準。我們也發現了一個有趣的現象，因為溫度越高，所以粒子能量越大，溶液中的粒子流動越快，此與愛因斯坦所提的布朗運動理論的結果相符合。
7. 由聲波的實驗中，發現不同的音樂會使硫的結晶形狀及排列方式不同，而且在硫結晶的過程中會隨著聲音的節奏運動，這是很有趣的現象，推測其可能原因是硫結晶產生時受到不同的聲波振動，粒子受到不同的能量影響，其沉澱產生不同的結晶形狀，原理與布朗運動相同。
8. 在實驗七中，我們依照實驗六-不同的音樂會造成粒子不同的振動，更進一步推求硫粒子的移動速率。我們分別以莫札特音等十種音樂探討不同的聲波對硫粒子移動速率的影響，利用了照片、視訊檔案、棉花棒以及多次計算後所得的結果分別為：莫札特音樂粒子移動速率為4.0~23.5($\mu m/s$)、布袋戲武曲粒子速率為15.3~45.4($\mu m/s$)、二胡音樂粒子移動速率為3.6~18.5($\mu m/s$)、海聲粒子速率為3.9~25.0($\mu m/s$)、英文歌粒子移動速率為9.63~39.0($\mu m/s$)、搖滾樂粒子速率為2.0~12.0($\mu m/s$)、薩克斯風粒子移動速率2.0~15.3($\mu m/s$)、輕音樂粒子速率為8.0~13.5($\mu m/s$)、蟬鳴粒子移動速率

為 19.2 ~ 90.7($\mu\text{m/s}$)、神隱少女粒子速率為 5.0 ~ 20.0($\mu\text{m/s}$)。由結果可得知音樂節奏越強，會使粒子移動速率增快。此方法也可應用在不同變因中的微觀化學實驗，其結果可以佐證布朗運動。一百倍顯微鏡所看到的實際範圍約為 $4.392 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ 所觀察到的硫粒子數大約為 250~300 顆左右。

9. 我們依照實驗七的算法，計算不同溫度中，硫粒子的移動速率。多次計算出來的結果為：20°C 的平均速率為 5.88($\mu\text{m/s}$)、30°C 的平均速率為 11.86($\mu\text{m/s}$)、40°C 的平均速率為 20.26($\mu\text{m/s}$)、50°C 的平均速率為 38.54($\mu\text{m/s}$)、60°C 的平均速率為 109.34($\mu\text{m/s}$)。由此結果看出趨勢→每增加十度硫粒子移動速率增加約兩倍。
10. 我們在實驗八中比較了傳統型及微型化學反應。由以上的結果討論可以看出微型的反應溶液用量較傳統型大為減少，微型反應的用量約減少為傳統型反應的 1/625~1/5000 倍，由於實驗器材並不昂貴(只需要購買顯微接環)，故可將此實驗推廣，既環保(不會造成大量廢液)，又可減少反應時間，也可節省實驗藥品的花費。另一面來說，在顯微鏡下觀察化學反應，可抓到反應最精準的時間點並可觀察結晶粒子的狀態、排列方式。本實驗成功地將顯微鏡應用在化學領域上，是邁向化學微觀世界，另一種創新嘗試的方法。

六、未來展望

在這次的實驗中，我們已算出硫粒子顆粒大小、數目，並以聲波及溫度為操縱變因算出硫粒子的移動速率，期望可以更深入探討其他的各項變因，如：不同黏滯係數液體、不同顆粒大小、亞佛加厥常數值……情況下的粒子運動速率。

另外，布朗運動同時也可以應用在天文行星生成方面。宇宙學家認為懸浮在氣體塵埃盤中的粒子會經由布朗運動的熱擾動而發生碰撞，微小塵埃顆粒之間會因重力而相互吸引，再由凡德瓦爾靜電力而沾黏在一起。而這個實驗需要在低重力狀態下才能進行驗證，到了 1999 年發射無人火箭到太空上進行實驗，在太空中釋放出二氧化矽塵粒，結果發現晶球組合只有少數分支的長鏈，完全沒有團塊狀結構。而本實驗與上述實驗不同處即是一化學實驗可完全看到其粒子生成情形，此方面有助於探討能否形成一公尺以上的微行星。希望能繼續探討布朗運動，來瞭解宇宙行星的生成。

七、參考資料及其他

1. 南一版國中自然第三冊第六章
2. 南一版國中自然第四冊第一章
3. 部編版國中理化第三冊第十三章
4. 第四十三屆全國科展國中組化學科第一名
5. 吳勝允(民 94)。舞動水上芭蕾-布朗運動-。科學研習月刊，44-1 期，P12~P15
6. 李育嘉(民 89)。漫談布朗運動。中央研究院數學所研究員
7. 1926 年諾貝爾物理學獎 -物質結構的不連續性

評語

利用顯微鏡做微量化學的實驗是一個有創意的構想，一方面減少藥品的使用量廢棄物減量又有新的現象可以觀察，使用此設備探討布朗運動的問題，還需更仔細的設計，觀察液態的現象與氣態的現象應有明確的分別，使用音樂來觀察也應該有更嚴謹的設計，先單純的使用單一音波，可能比較容易界定問題，成果不錯，可以在改進。