

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

第三名

031622

愛因斯坦密碼

學校名稱： 南投縣立宏仁國民中學

作者：	指導老師：
國一 范聖倫	李學昌
國一 董乃樺	李季篤
國一 許壬華	
國一 柯智鈞	

關 鍵 詞：微型化學反應裝置、視訊定格法、布朗運動

摘要

在顯微鏡底下，我們設計不同的微型化學反應裝置，嘗試探討各項變因(溫度、濃度、聲波…等)對反應的影響。我們已成功地將實驗藥品用量減少到一滴(約 0.04ml)，以微觀的角度觀察化學反應的過程，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，且測得硫顆粒的直徑大小約 4.2 ~ 6.7 微米。由於想了解微小粒子分子間熱運動速率大小，於是利用簡單的運動學原理 $V = \Delta X/t = (X_2 - X_1)/(t_2 - t_1)$ 計算出硫粒子的移動速率，並探討布朗運動的相關問題。不同濃度及聲波所造成硫粒子的移動速率不同，在不同溫度的部份，我們發現：硫粒子移動速率大約和 $\sqrt{T}$ (絕對溫度) 成正比。不同溶劑所造成硫粒子的移動速率不同，酒精比例愈高，硫粒子的移動速率愈慢，氯化鈉比例愈高，硫粒子的移動速率愈快，我們也利用流動型實驗裝置插入銅線測量其聲波。並藉由銅線傳入液中，此比藉由空氣將聲波傳入液中的效能大約 3 倍左右。本實驗成功地將顯微鏡應用在微粒子分子熱運動領域上，並計算出布朗運動速率的大小約 8.9($\mu\text{m/s}$)至 220 ($\mu\text{m/s}$)之間，也經由實驗驗證了愛因斯坦所提出的布朗運動理論，本實驗可達到污染少、觀察實驗的時間短、用量少的目標。此實驗是邁向微觀運動世界，一種值得嘗試且創新的方法。

一、研究動機

做課本上的實驗後，總會留下許多廢液，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5)。參考他們的報告後，既然要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，並觀察到分子間熱運動的快慢。

因為在去年的實驗當中(參考6)，無法看到硫代硫酸鈉和鹽酸的起始反應，於是改良實驗方法繼續做更深的研究，使得硫代硫酸鈉和鹽酸一開始的瞬間反應，被我們拍下來，我們利用醫院常在用的塑膠點滴管，截取一段，並且在上面割一個小洞當作觀測視窗，讓反應可以在顯微鏡下看的更清楚，於是我們設計出流動型的實驗裝置，可做持續性化學反應的實驗及銅線傳聲的裝置，我們持續學長姐他們觀測分子熱運動，也探討其影響的變因，並嘗試將分子熱運動速率計算出來。

二、研究目的

1. 設計微型化學反應裝置，及探討濃度及溫度等各項變因對於化學反應的影響。
2. 觀察及探討聲波種類對於硫粒子的移動速率的影響。
3. 計算不同濃度、溶劑、聲波及溫度下硫粒子移動速率。
4. 探討硫粒子分子熱運動速率大小（布朗運動）的相關問題。

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	10	溫度計	1	鹽酸
2	高倍數複式顯微鏡	11	電腦攝影、拍照軟體	2	硫代硫酸鈉溶液
3	顯微鏡接環	12	CD 撥放機		
4	筆記型電腦	13	碼錶		
5	數位相機	14	投影片		
6	載玻片、蓋玻片	15	微型電解槽		
7	點滴針筒	16	三秒膠		
8	針筒、注射針	17	試管		
9	微型化學反應槽	18	塑膠管		

表一

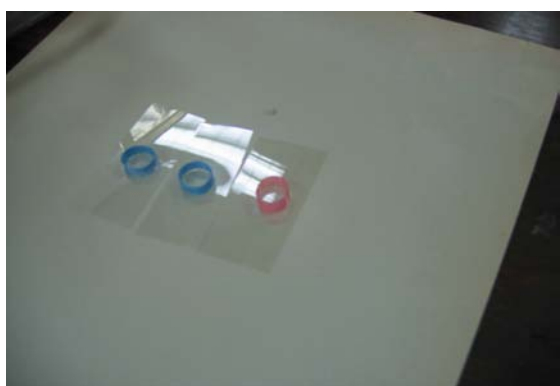
四、研究過程或方法

【實驗一、設計微型化學反應裝置及探討濃度及溫度等各項變因】

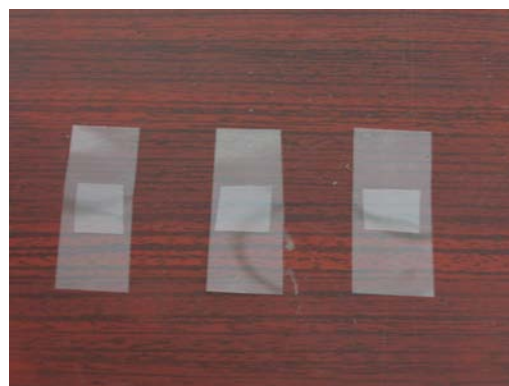
步驟一、設計微型化學反應裝置(凹槽型)及(平面型)。(參考 6)

實驗器材：

1. 以吸管、投影片及三秒膠，成果如相片。
2. 以投影片剪適當的大小，分別當載玻片及蓋玻片，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. 凹槽型化學反應裝置，可應用於電解及遮蔽時間實驗。
2. 投影片柔軟不易破碎，可克服物鏡會壓破蓋玻片的問題，不會刮傷物鏡，以此作為微型化學反應裝置(平面型)的載液面及蓋液面，適用於沉澱實驗。

步驟二、設計微型化學反應裝置(流動型)

1. 實驗器材：點滴筒、保鮮膜、30cm 的塑膠管，用保鮮膜當蓋玻片觀察。



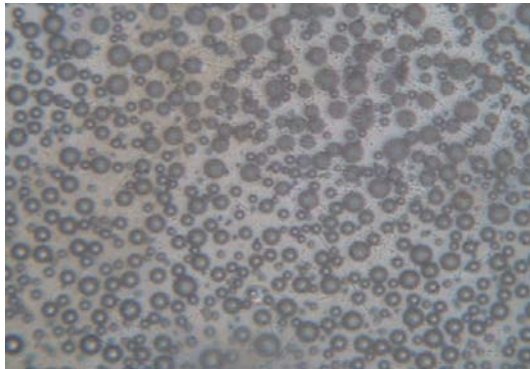
相片三(流動型化學反應裝置)



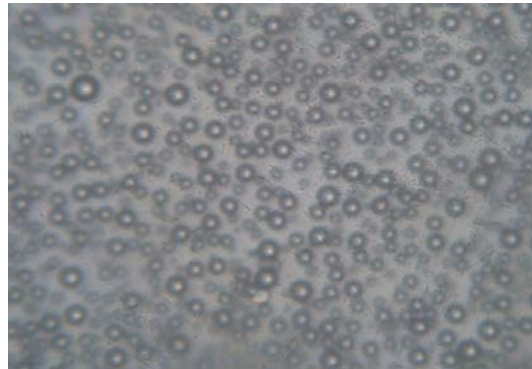
相片四(流動型化學反應裝置)

【結果與討論】

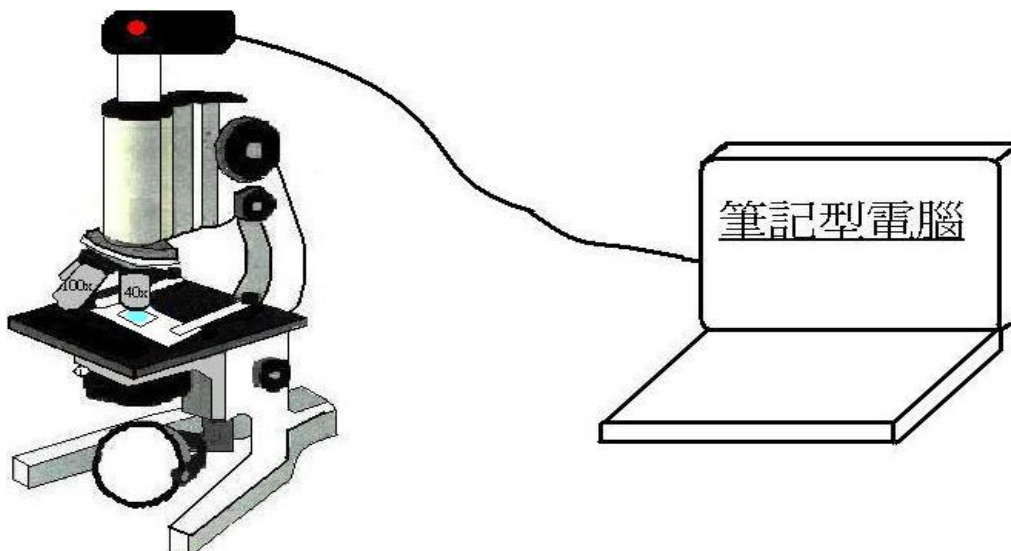
1. 爲了克服藥品會侵蝕鏡頭的問題，我們在微觀化學反應裝置(流動型)中，拿掉了蓋玻片換成保鮮膜。
2. 保鮮膜有方便使用，可以取代容易破碎的蓋玻片，以此作爲(流動型)的蓋液面，以硫代硫酸鈉及鹽酸反應，結果如相片，實驗裝置如圖一。



相片五



相片六



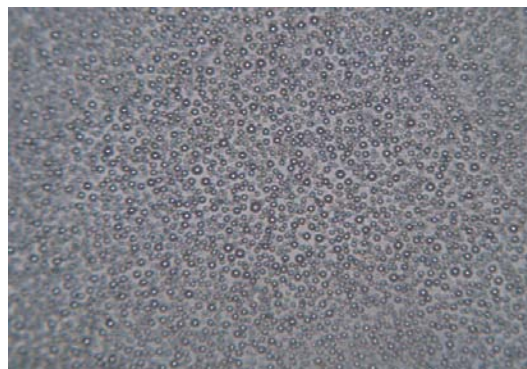
步驟三、觀察顯微鏡下硫代硫酸鈉與鹽酸反應產生硫沉澱
實驗方法：

1. 在載液面上滴二滴鹽酸。

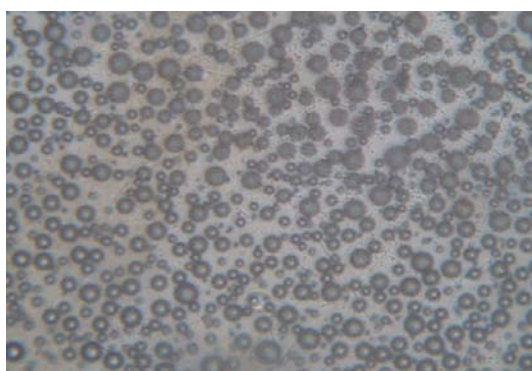
2. 將 10 倍物鏡調整到最好的焦距。
3. 再將硫代硫酸鈉溶液滴一滴在載液面上的鹽酸中，使其反應，觀察硫沉澱的情況。
4. 將物鏡(高倍解剖顯微鏡)換成 10、40 及 100 倍，結果如相片



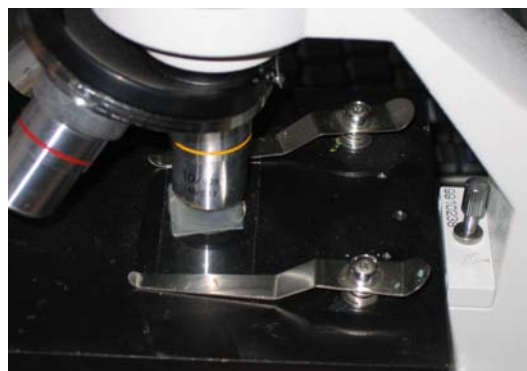
10X (相片七)



40X(相片八)



100X(相片九)



相片十

【結果與討論】

1. 硫代硫酸鈉與鹽酸的化學反應式(參考 1):



傳統型與改良後微型化學反應裝置實驗用量、產量比較

	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

表二

微型用量為傳統型的 0.0064 倍

2. 硫結晶在顯鏡下呈乳白色微小圓形顆粒，密集但不重疊，而且發生反應時，溶液中沉澱(粒子團)會流動，直到反應完成時才不會流動。
 3. 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。
- 步驟四、探討硫結晶的顆粒大小

實驗方法：

- 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

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)

表三

註：大頭針實際的直徑是 0.08 cm



大頭針的直徑(10X)相片十一 硫結晶(10X)相片十二 硫結晶(100X)相片十三

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

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

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

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

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

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

$$6.7 \times 10^{-6} / 10^{-10} = 6.7 \times 10^4 \text{ 個} ; 4.2 \times 10^{-6} / 10^{-10} = 4.2 \times 10^4 \text{ 個 (一個原子的直徑大約}$$

10^{-10} m ，因此所觀測到的每顆硫粒子團約含有 $4.2 \times 10^4 \sim 6.7 \times 10^4$ 個硫原子。)

【結果與討論】

- 1.由於 100 倍物鏡的鏡面，對於大頭針來說直徑太小，故我們利用 10 倍物鏡來測量大頭針的直徑，用 100 倍物鏡來測量硫粒子的直徑，相對照和計算。
 - 2.在實驗中，我們利用大頭針當比例尺來計算，得知硫顆粒的直徑大小約是 4.2 ~ 6.7 微米之間。
- 步驟五、探討不同濃度及溫度下硫代硫酸鈉與鹽酸的遮蔽反應。(參考 2)

實驗方法：

1. 將 0.2M 的鹽酸溶液滴入凹槽型載液面，再滴入 0.2M 的硫代硫酸鈉溶液，測量遮蔽時間。
2. 改變濃度(0.4M~1.0M)及溫度(20°C、30°C、40°C、50°C、60°C)，操作方法如上。
3. 遮住標記過程相片(動態反應過程如附件:視訊)。



0 秒(相片十四)



10 秒(相片十五)



20 秒(相片十六)



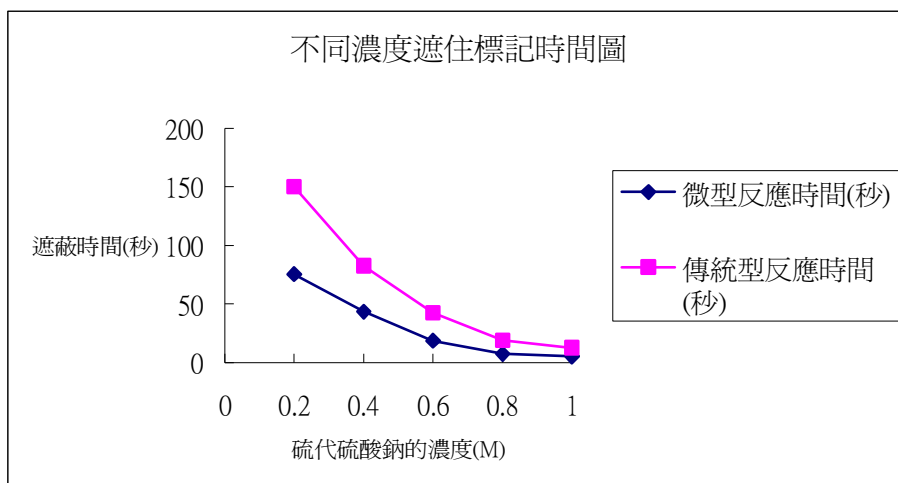
30 秒(相片十七)



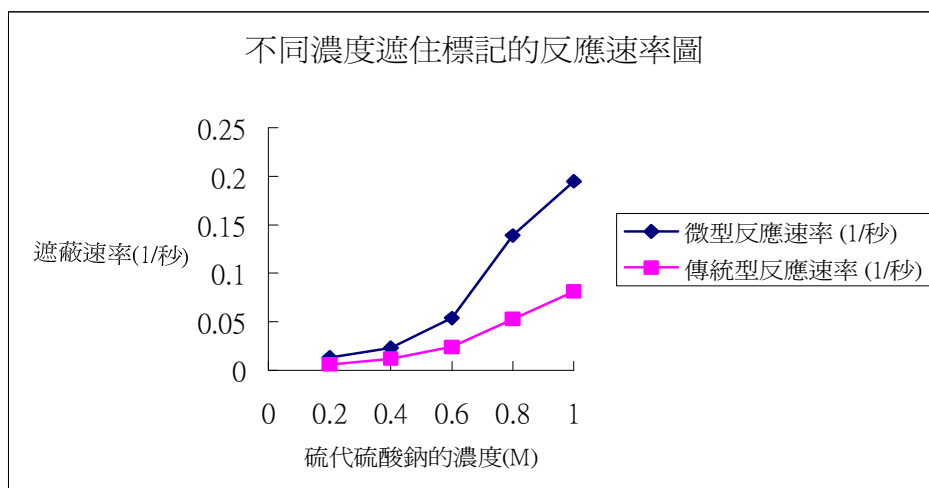
40 秒 (相片十八)



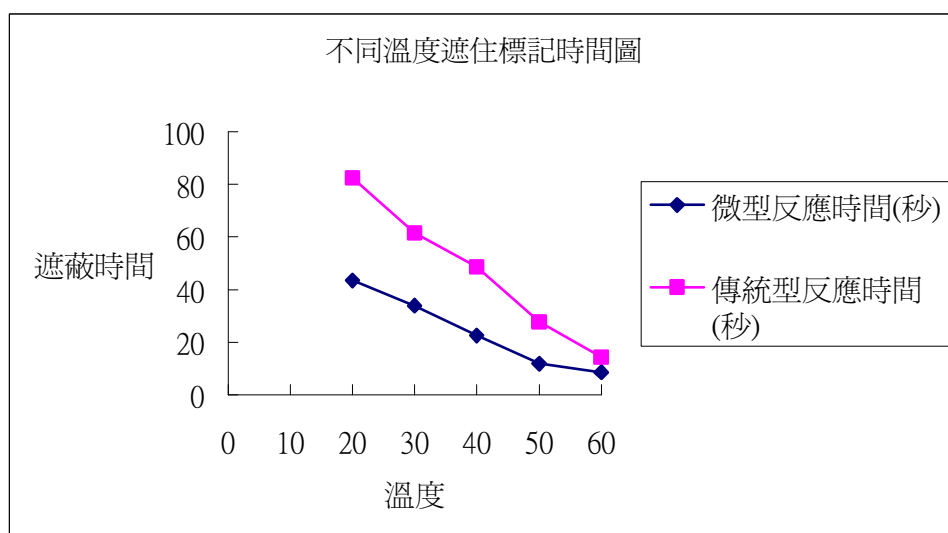
50 秒(相片十九)



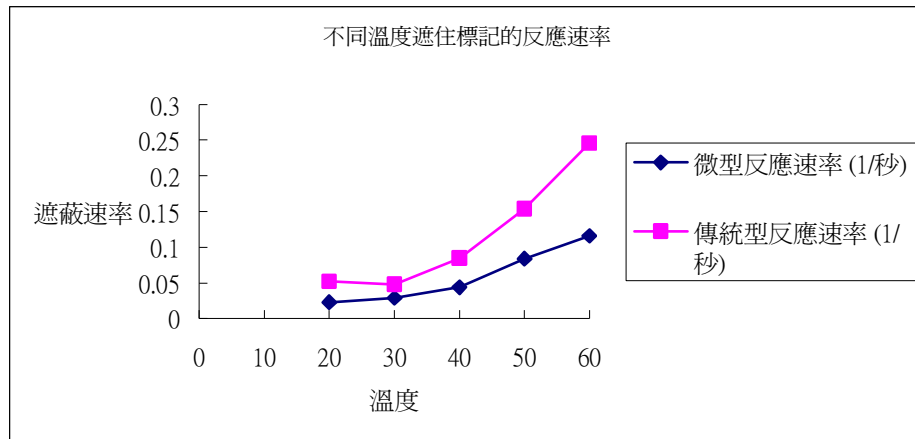
圖二



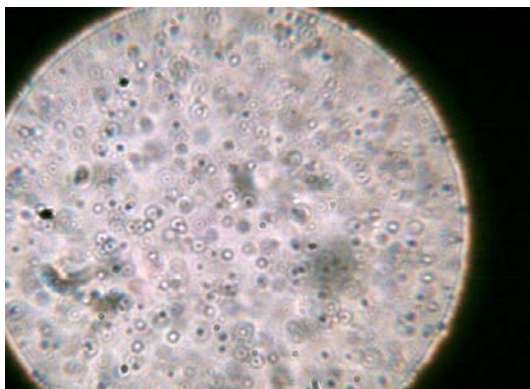
圖三



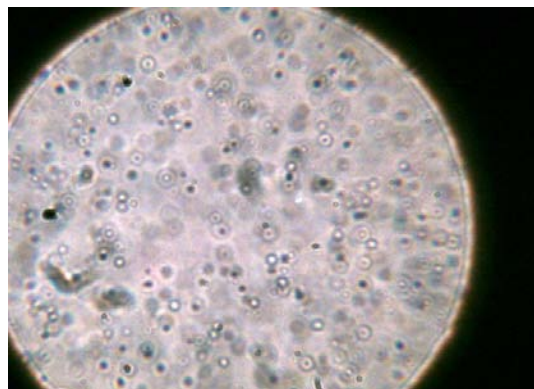
圖四



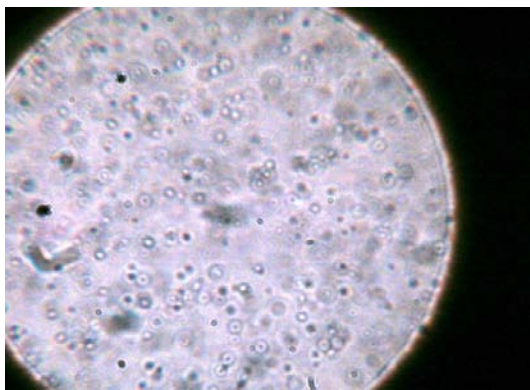
圖五



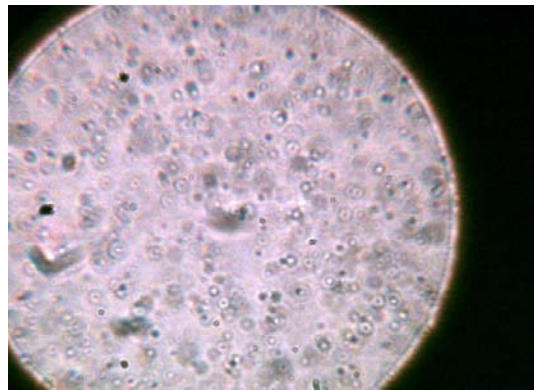
20°C的硫結晶(相片二十)



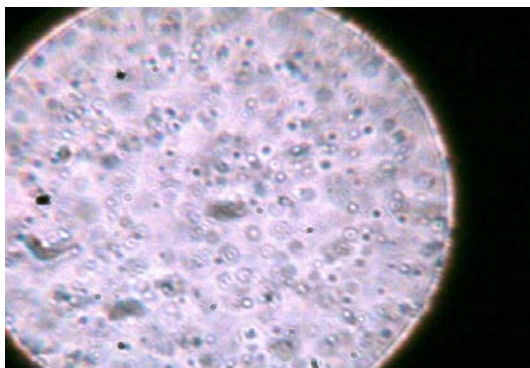
30°C的硫結晶(相片二十一)



40°C的硫結晶(相片二十二)



50°C的硫結晶(相片二十三)



60°C的硫結晶(相片二十四)



相片 (二十五)

【結果與討論】

1. 我們發現濃度越大遮蔽時間越短，遮蔽速率越快。
2. 由圖可以得知溫度越高，遮住標記時間越短，表示遮蔽速率越快。

【實驗二、探討布朗運動及影響微粒子移動速率的各項變因】

步驟一、探討布朗運動－（參考 7、8、9）如附件

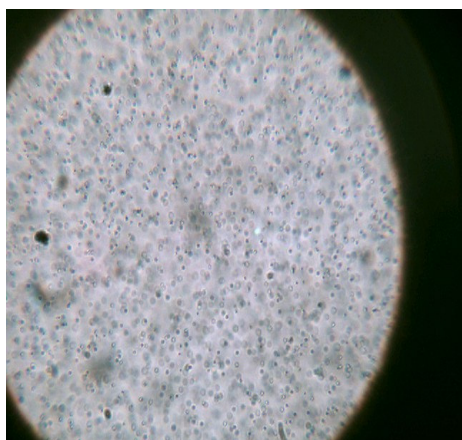
1. 造成布朗運動的原因，是因為懸浮微粒被水分子碰撞，且來自於各方向的撞擊力並不相等，所呈現出來的撞擊平均結果。
2. 理論方面的工作是由愛因斯坦完成的，而實驗方面則是由佩蘭的實驗證明。
3. 本實驗模擬佩蘭的照相術方法，我們直接從顯微鏡中利用視訊進行動態觀察，以比例尺換算出硫顆粒直徑大小約介於 4.2~6.7 微米之間，並測量硫粒子的移動速率。

4. 實驗方法及計算：

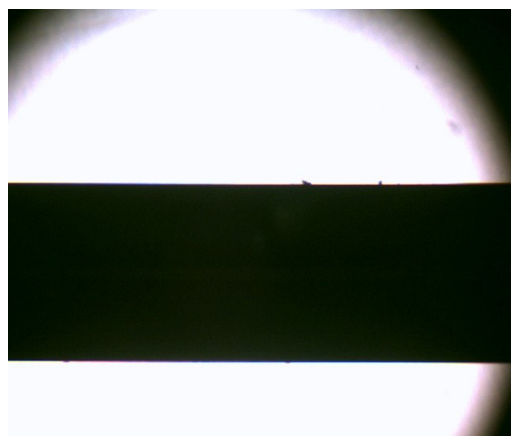
- (1) 實驗方法與前相同，利用已攝影好的視訊影片
- (2) 在影片上找好未移動前的兩個粒子，並以棉花棒標定著
- (3) 播放影片時，棉花棒隨著指定的粒子移動，每隔 1 秒暫停並紀錄一次位置連續 5 次相同方法即可算出粒子移動速率。

計算方法：每一格座標 $17.8\ \mu\text{m}$ 然後利用：

$$V = \Delta X / t = (X_2 - X_1) / (t_2 - t_1) \text{ 計算硫粒子的移動速率(參考 3)。}$$



硫粒子 (100 倍) 相片二十六



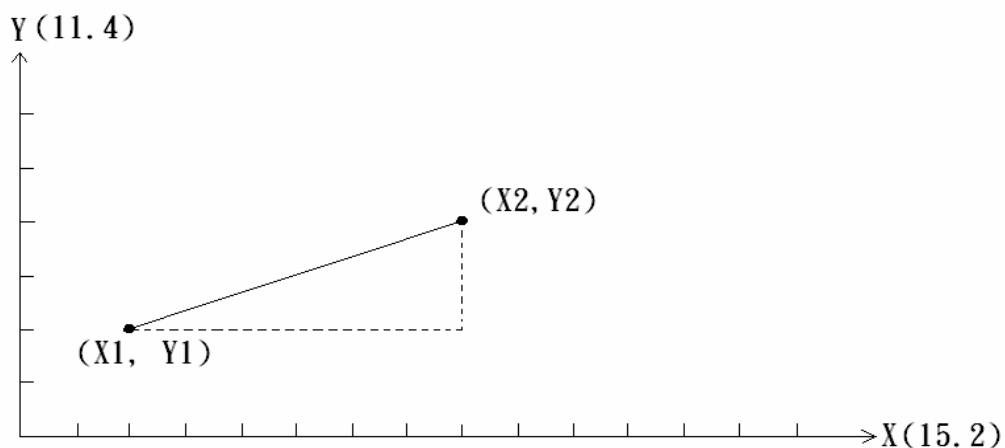
大頭針(10 倍) 相片二十七

Y 軸計算過程	10 倍: $0.08/4.5 = Y/11.4(\text{寬})$ $Y = 0.2027\text{cm}$ 100 倍: $0.2027/10 = 0.02027\text{cm}$ 每一格 $0.02027/11.4 \approx 0.00178$
X 軸計算過程	10 倍: $0.08/4.5 = X/15.2(\text{長})$ $X = 0.2702\text{cm}$ 100 倍: $0.2702/10 = 0.02702\text{cm}$ 每一格 $0.02702/15.2 \approx 0.00178$

所以每一格座標長約為 $0.00178\text{cm} = 17.8\ \mu\text{m}$

圖六

視訊定格座標計算圖

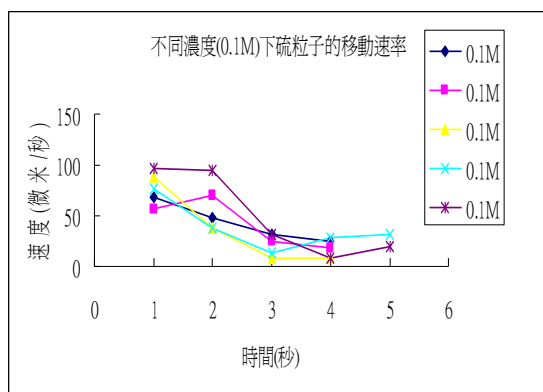


$$V1 = \Delta X/t = \sqrt{(x2-x1)^2 + (y2-y1)^2} / t$$

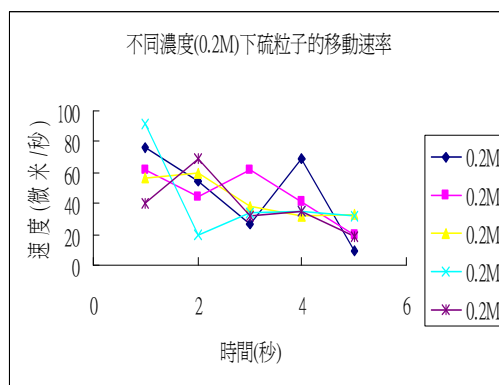
$$V = V1 \times 17.8 \quad (\text{微米/秒})$$

步驟二、探討不同濃度下，硫粒子的移動速率。

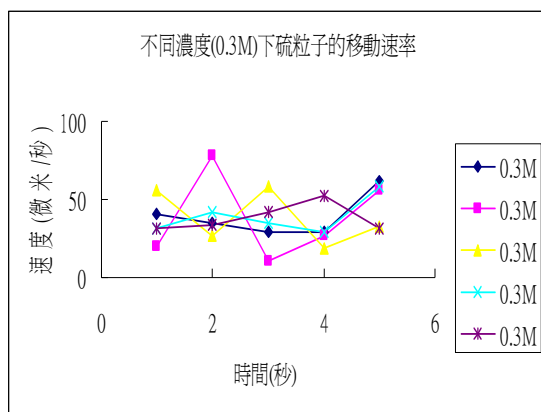
實驗操作方法與前面步驟相同，改變不同的濃度(0.1M~0.5M)，利用視訊定格法將每一濃度取 5 點移動 5 次，並用 Excel 統計及計算硫粒子的移動速率，視訊及計算過程如附件，結果如下圖



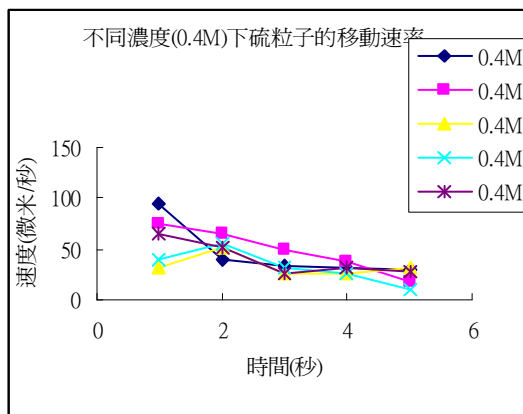
圖七



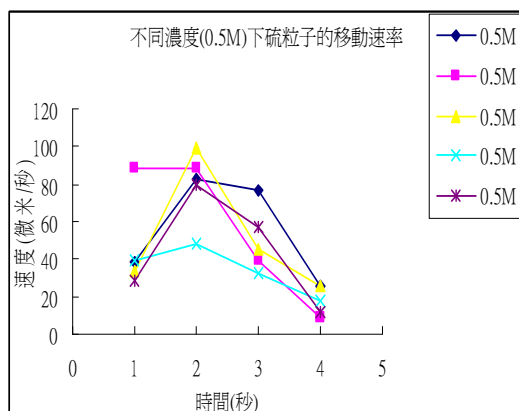
圖八



圖九



圖十



圖十一



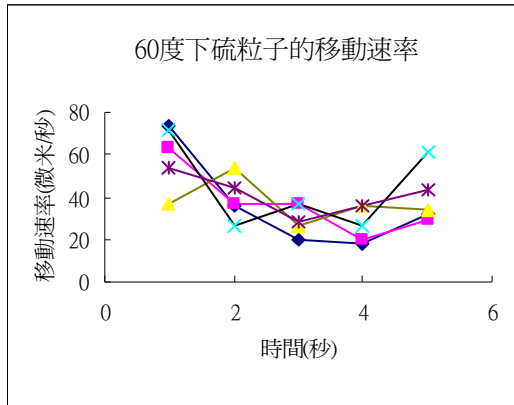
相片(二十八)

濃度(M)	0.1M	0.2M	0.3M	0.4M	0.5M
平均移動速率(微米/秒)	41.81	43.80	38.59	40.06	43.10

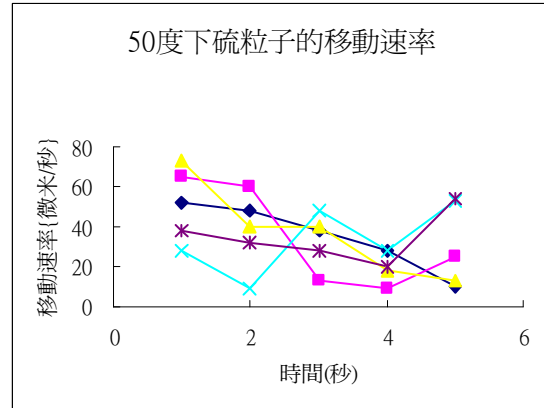
表四

【結果與討論】

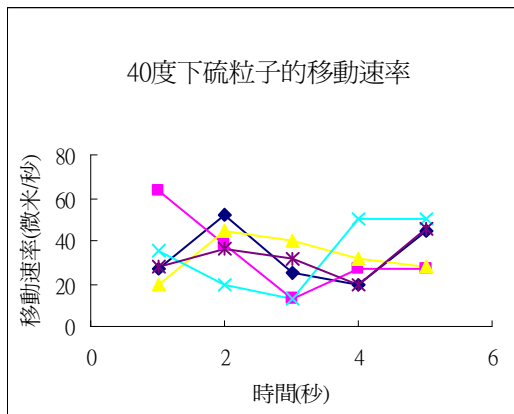
- 我們以濃度作為操縱變因，來看其對於硫粒子移動速率的變化。由實驗結果可發現，濃度越高，硫粒子移動的速率差不多；硫粒子移動速率與濃度大小無關，此與布朗運動快慢與粒子成分及密度與濃度無關的理論相符合。步驟三、探討不同溫度下，硫粒子的移動速率。
改變不同的溫度(20°C ~60°C)實驗操作方法與前相同，結果如下圖。



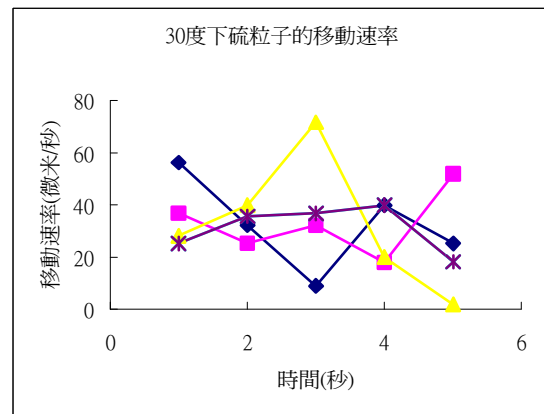
圖十二



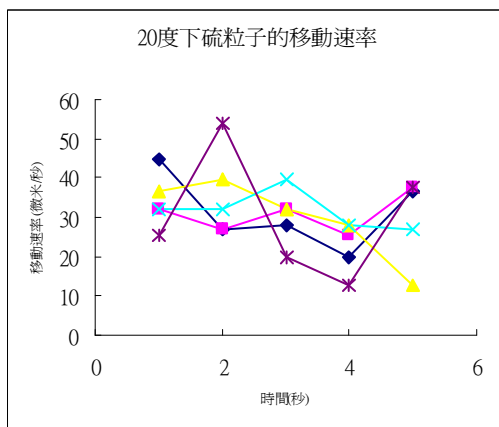
圖十三



圖十四



圖十五



圖十六



相片(二十九)

溫度(°C)	20	30	40	50	60
平均移動速率 (微米/秒)	30.90	32.20	33.14	34.67	37.19

表五

【結果與討論】

1. 我們以溫度作為操縱變因，來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，粒子的能量越多，硫粒子平均移動的速率越快；反之則越慢，大約與 $\sqrt{T}$ (絕對溫度)成正比，此與布朗位移液體絕對溫度開根號成正比的理論相符合。

步驟四、探討不同顆粒大小，硫粒子的移動速率。

以 20°C 0.4M 的硫代硫酸鈉，利用視訊定格法將大顆粒和小顆粒，實驗操作方法與前相同，視訊及計算過程如附件，結果如下表。

顆粒大小	大顆粒(6.7 微米)	小顆粒(4.2 微米)
平均移動速率 (微米/秒)	26.52	19.63

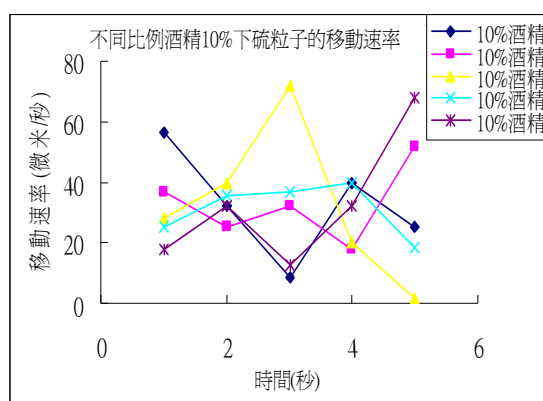
表六

【結果與討論】

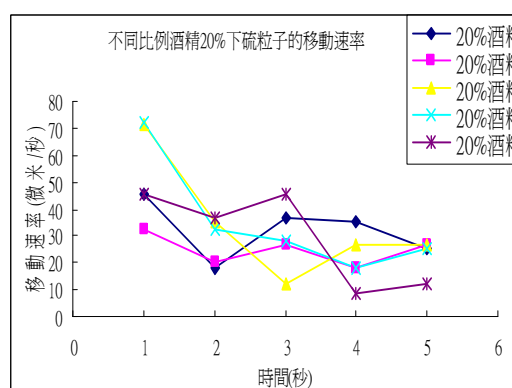
1. 實驗發現大顆粒的移動速率比小顆粒的移動速率快，此與布朗位移與懸浮微粒的半徑成正比的理論相符合。

步驟五、溶液中不同酒精，硫粒子的移動速率。

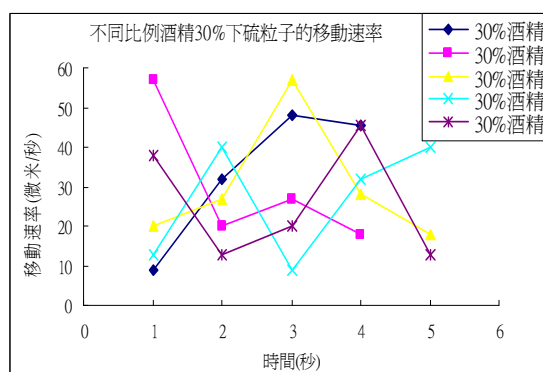
改變不同的比例酒精(10%~50%)，實驗操作方法與前相同，視訊及計算過程如附件，結果如下



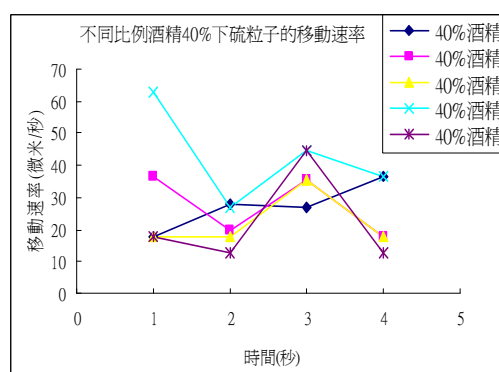
圖十七



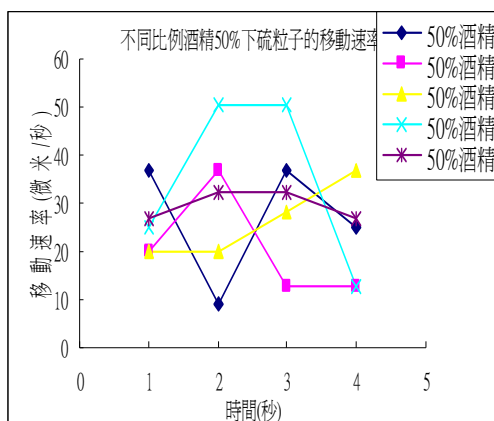
圖十八



圖十九



圖二十



圖二十一



相片(三十)

溶劑比例(%)	10%酒精	20%酒精	30%酒精	40%酒精	50%酒精
平均移動速率 (微米/每秒)	32.20	31.22	29.22	28.33	27.5

表七

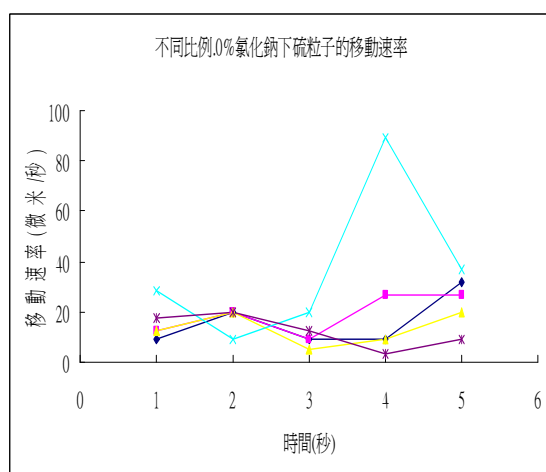
【結果與討論】

1. 我們以不同比例的酒精做為操縱變因，來看其對於硫粒子移動速率的變化。

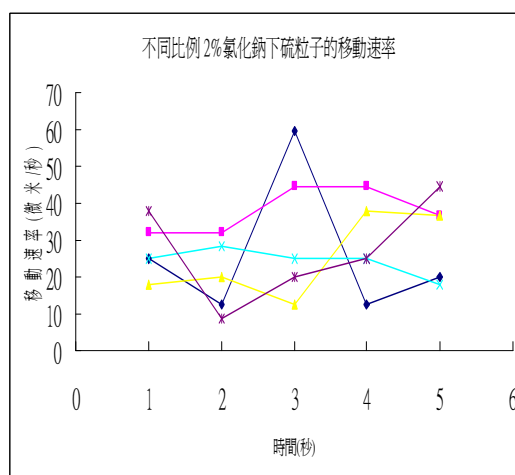
由實驗結果發現，酒精比例越高，溶液的黏滯係數越小，硫粒子移動速率越慢。

步驟六、探討溶液中不同氯化鈉比例下硫粒子的移動速率。

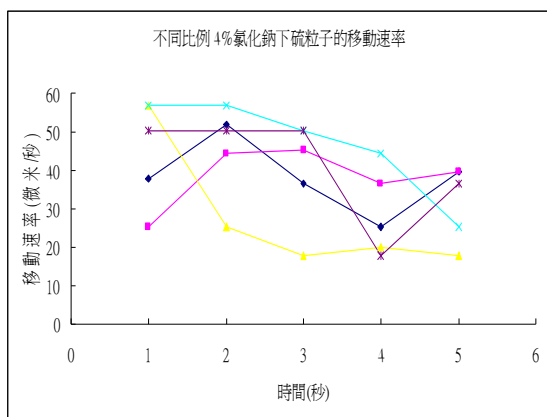
改變不同的氯化鈉比例(0%~10%)，實驗操作方法與前相同，視訊及計算過程如附件，結果如下圖。



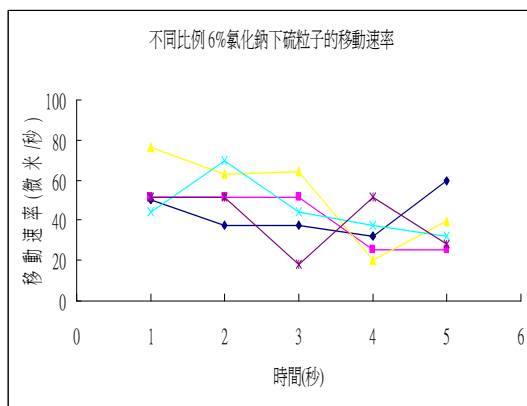
圖二十二



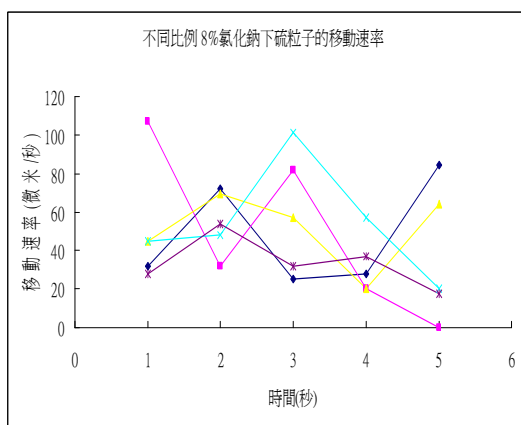
圖二十三



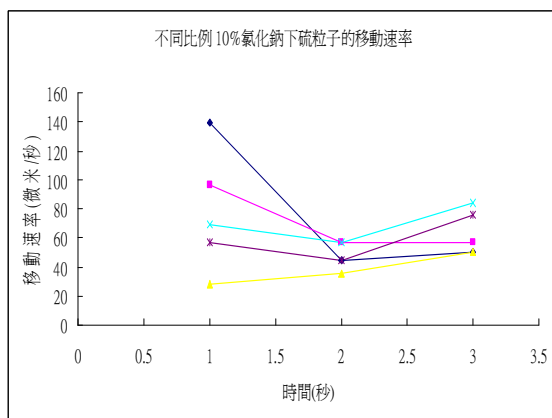
圖二十四



圖二十五



圖二十六



圖二十七

溶液 (氯化鈉%)	0	2	4	6	8	10
平均移動速率(微米/秒)	19.42	28.09	38.40	44.68	47.81	63.10

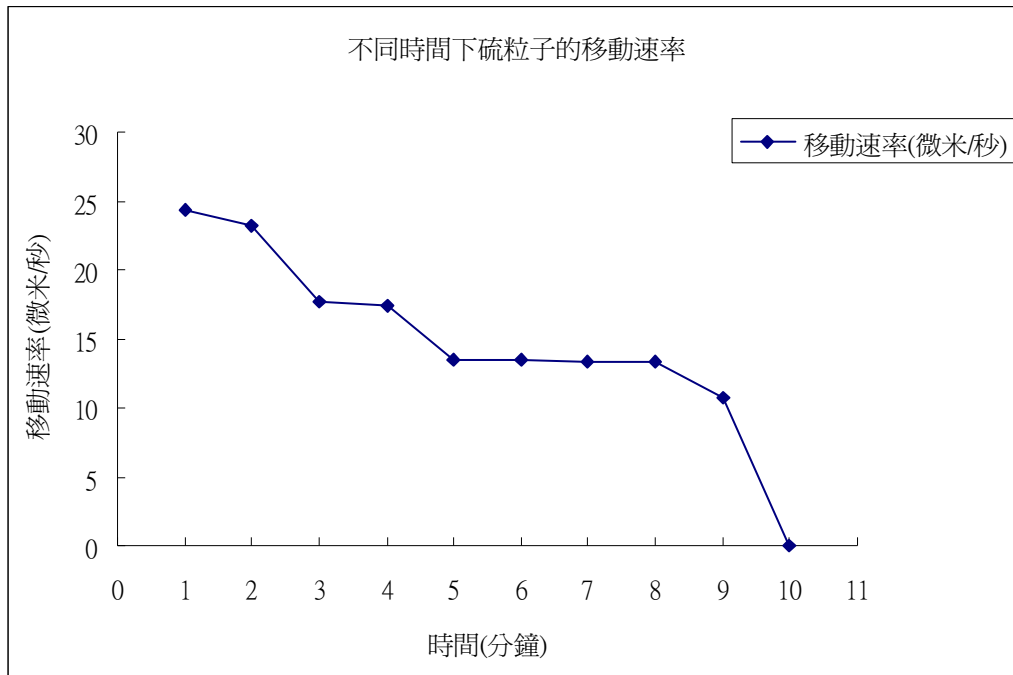
表八

【結果與討論】

1.我們以不同比例的氯化鈉做為操作變因，由實驗結果發現，氯化鈉比例越高，溶液黏滯係數越大，硫粒子的移動速率越快，此與布朗運動位移與液體黏滯係數成正比的理論相符合。

步驟七、不同時間硫粒子的移動速率。

改變不同的時間(1 分鐘~10 分鐘)，實驗操作方法與前相同，視訊及計算過程如附件，結果如下圖。



圖二十八

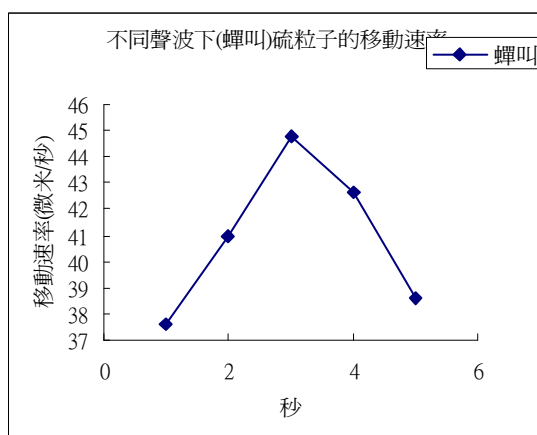
【結果與討論】

1. 實驗結果發現時間越長硫粒子的移動速率越慢，大約 10 分鐘左右硫粒子團會結合成鏈狀即停止不動，此與布朗運動的理論：粒子運動永不停止，結果不相同，此乃因為硫會慢慢結合成粒子團，當它直徑大於五十微米時，硫粒子團合力為零，即不再移動。

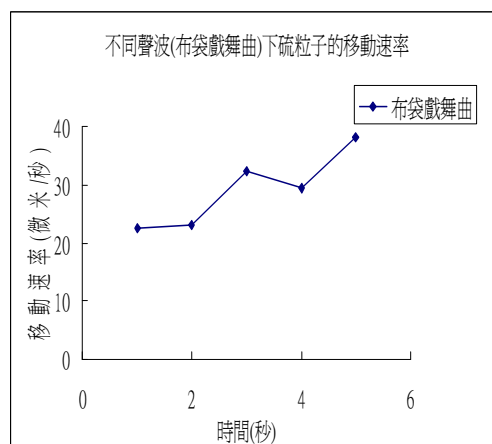
【實驗三、比較不同的聲波對沉澱結晶及移動速率的影響】

步驟一、不同聲波對沉澱結晶的比較(參考六)

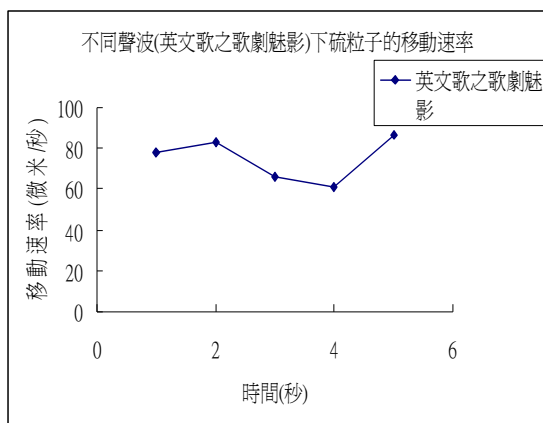
改變各種不同類型的音樂對結晶的變化實驗操作方法與前相同，視訊及計算過程如附件，結果如下圖：



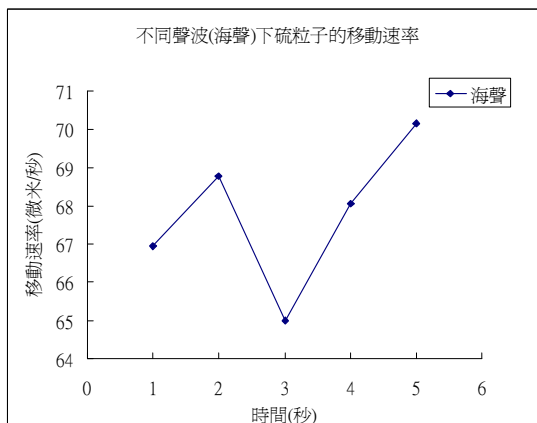
圖二十九



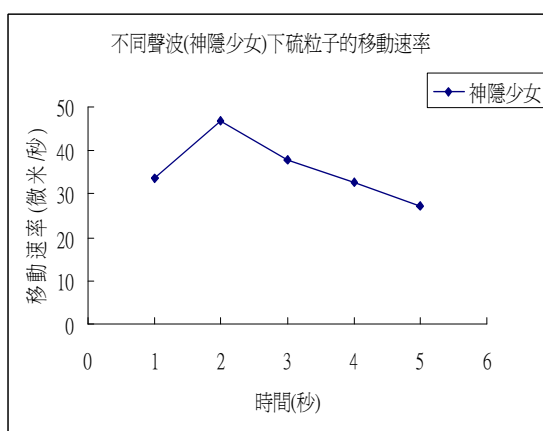
圖三十



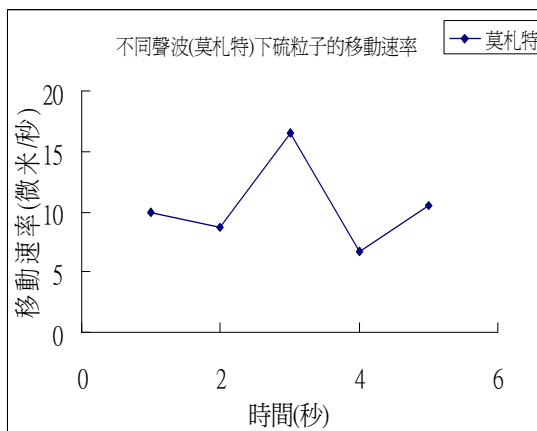
圖三十一



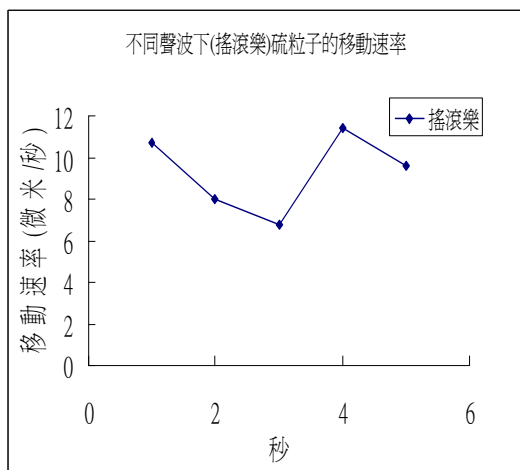
圖三十二



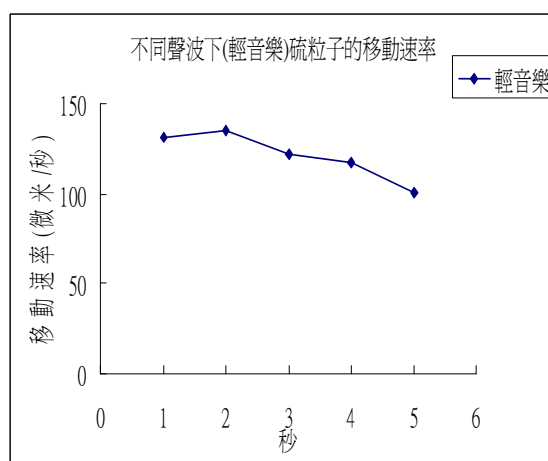
圖三十三



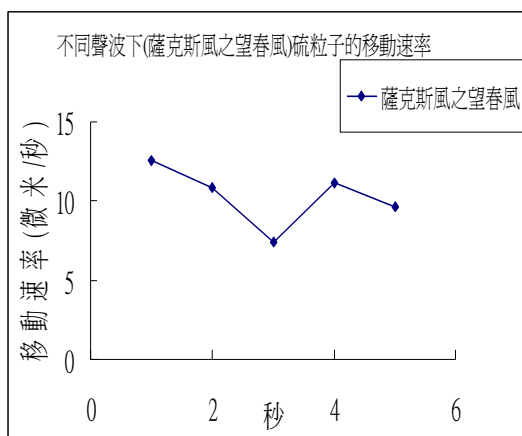
圖三十四



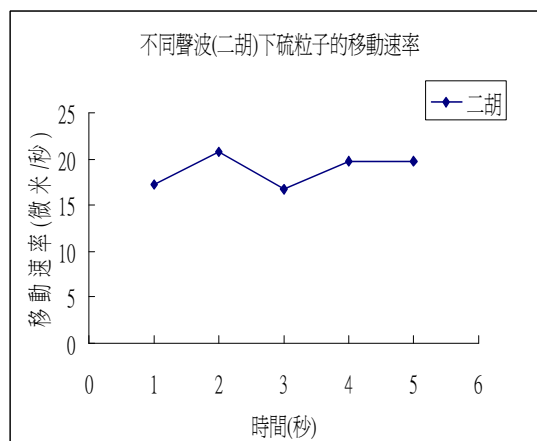
圖三十五



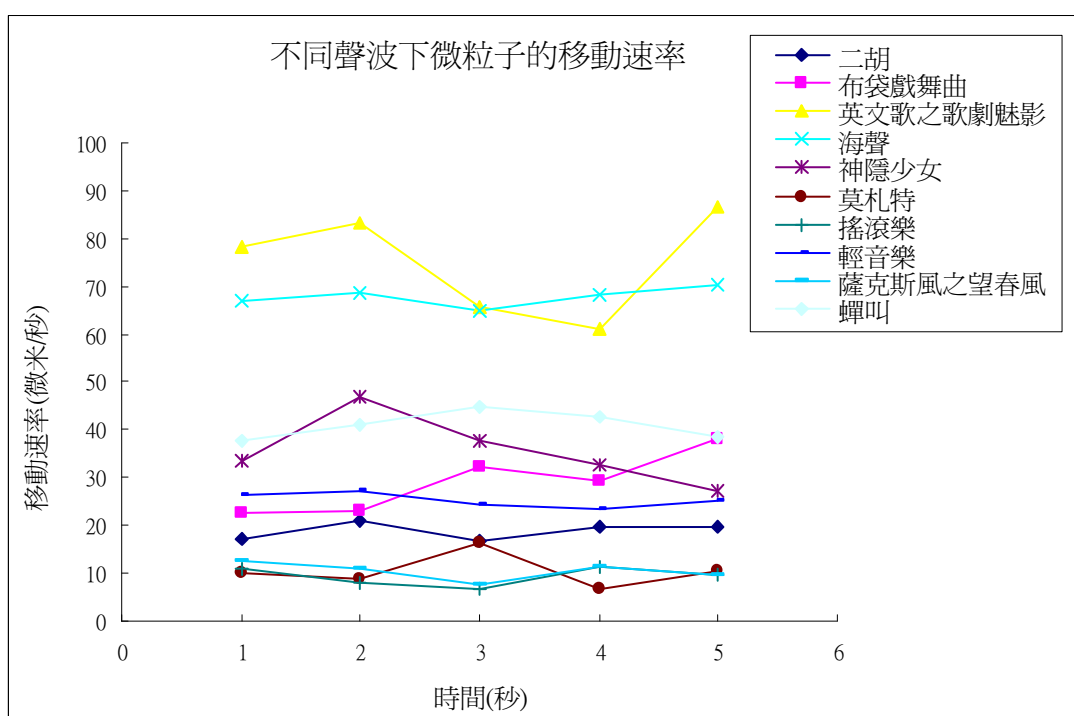
圖三十六



圖三十七



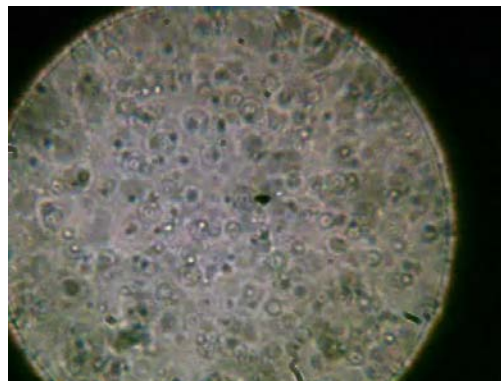
圖三十八



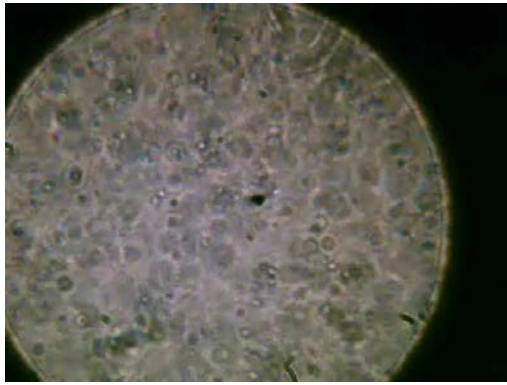
圖三十九



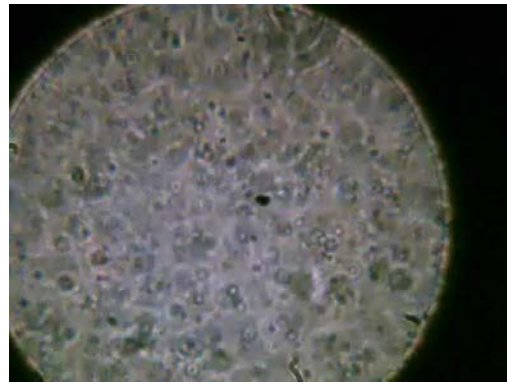
蟬鳴 (相片三十一)



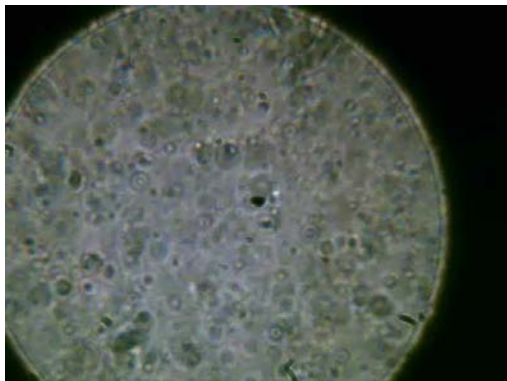
布袋戲曲(相片三十二)



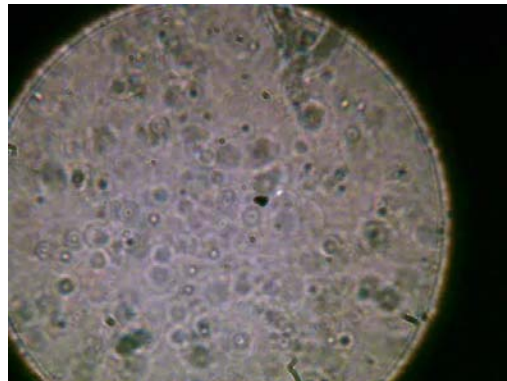
英文歌(相片三十三)



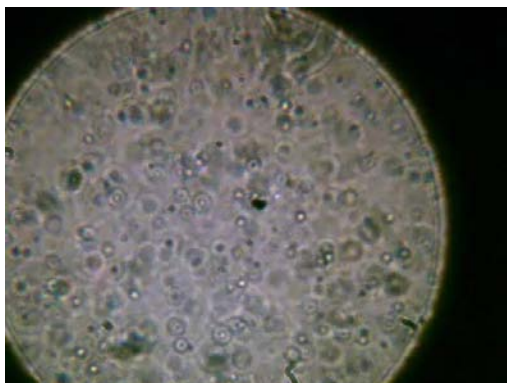
海聲(相片三十四)



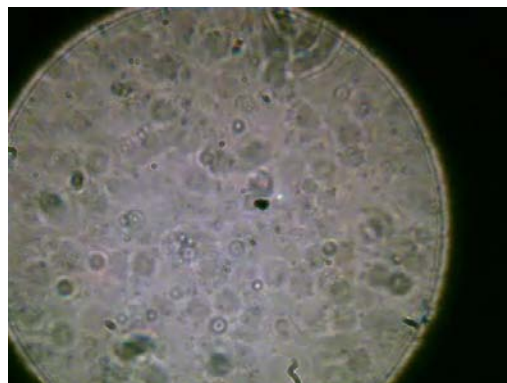
神隱少女(相片三十五)



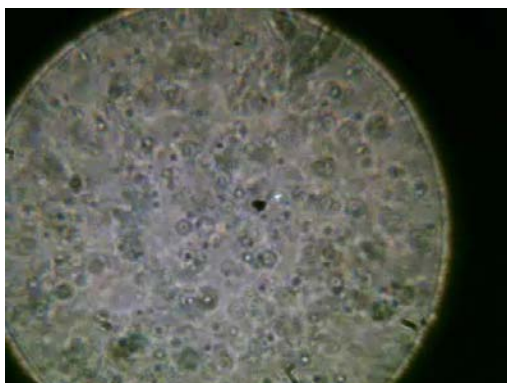
莫札特(費加洛婚禮)(相片三十六)



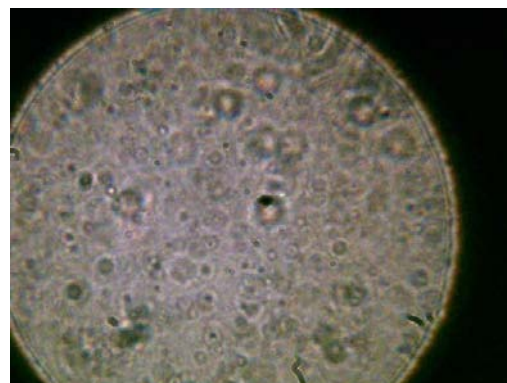
搖滾樂(相片三十七)



輕音樂(相片三十八)



薩克斯風 望春風(相片三十九)



二胡(相片四十)

【結果與討論】

- 1.在實驗中，我們靠視訊定格算出硫粒子移動的速率，發現不同的音樂會造成硫

顆粒不一樣的速率，且音調節奏越快，粒子移動速率越快，計算過程如附件。

2 不同聲波硫粒子的平均移動速率如下表：

不同聲波	蟬叫	布袋戲曲	英文歌之 歌劇魅影	海聲
平均移動速率 (微米/秒)	40.95	29.10	74.95	67.78
不同聲波	神隱少女	莫札特	搖滾樂	輕音樂
平均移動速率 (微米/秒)	35.58	10.49	9.30	25.30
不同聲波	薩克斯風之 望春風	二胡		
平均移動速率 (微米/秒)	10.30	18.82		

表九

【實驗四、探討聲音三要素對硫粒子移動速率的影響】

步驟一：不同響度對硫粒子團移動速率的影響

實驗方法：

- 1.實驗操作方法與前面步驟相同。
- 2.利用流動型反應裝置，加入銅線以保鮮膜當蓋液面，以音響當聲源傳聲將音量大小標記分為大、中、小三種響度來實驗，不同響度的聲波藉由銅線傳入液體中，以顯微鏡連接顯微接環，將反應過程以視訊拍攝，計算結果如下表

響度	大聲（30 格）	中聲（20 格）	小聲（10 格）
平均移動速率 (微米/秒)	45.22	34.73	28.78

表十



相片四十一



相片四十二

【結果與討論】

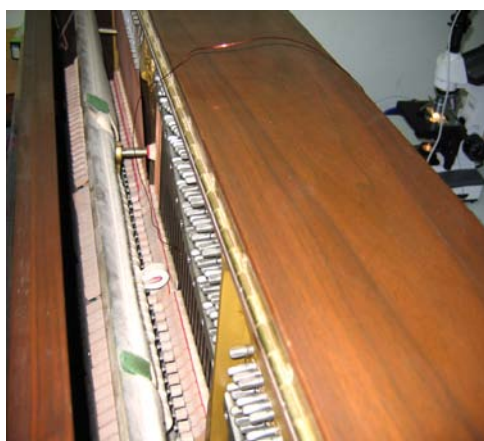
- 1.響度越大、聲能越大，硫粒子團的移動速率越快。
- 2.聲能要超過一定的響度以上，影響硫粒子團的移動速率才比較明顯(低限能因素)。
- 3.以銅線傳聲能的效率比直接由空氣中傳聲能的效率大 3 倍左右。

步驟二：不同音調對硫粒子團移動速率的影響

實驗與前相同，但聲音改以鋼琴當聲源，並將銅線連至鋼琴的木槌來直接傳聲，改變不同的音調，將反應過程以視訊拍攝，計算結果如下表

音調	Do(普)	Mi(普)	So(普)
平均移動速率 (微米/秒)	184.64	151.71	155.92
音調	Do(高)	Mi(高)	So(高)
平均移動速率 (微米/秒)	193.91	150.60	150.68

表十一



相片四十三



相片四十四

【結果與討論】

- 1.用鋼琴的聲音當聲源傳聲比用音響當聲源傳聲，硫粒子平均移動速率比較快 3 倍，但不同音調對硫粒子團的移動速率影響不規則。

步驟三：以鋼琴彈奏不同樂曲對硫粒子團移動速率的影響

實驗與前相同，彈奏不同的曲目，將反應過程以視訊拍攝，計算結果如下表

曲目	卡農	輕音樂~插曲
平均移動速率 (微米/秒)	47.17 ~ 220.35	63.76 ~ 88.95

表十二

【結果與討論】

- 1.在實驗中，我們發現不同的音樂會造成硫粒子不一樣的速率，且音調節奏越快，硫粒子移動速率越快，用鋼琴的聲音當聲源傳聲比用音響當聲源傳聲，硫粒子平均移動速率比較快 3 倍。

步驟四：以不同音色對硫粒子團移動速率的影響

實驗與前相同，但聲音以音響當聲源，並將銅線連至音響的音箱來直接傳聲，播放不同的樂器演奏相同的曲目，將反應過程以視訊拍攝，計算結果如下表

曲目(望春風)	薩克斯風	交響曲
平均移動速率 (微米/秒)	15.39 ~ 22.07	14.40 ~ 118.90

表十三

【結果與討論】

- 1.在實驗中，我們發現不同的樂器所演奏的聲音會造成硫粒子不一樣的速率，且音調節奏越快，硫粒子移動速率越快，用薩克斯風演奏望春風，硫粒子移動速率較慢，用交響曲演奏望春風硫粒子移動速率較快。

五、結論

- 1.我們設計微型化學反應裝置

凹槽型: 適用於電解、遮蔽反應實驗。凹槽型化學反應裝置可將化學反應侷限於一定的範圍內，使反應溶液不至於劇烈地流動，如此也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，若是以高倍物鏡觀察，觀察化學反應結晶，我們以投影片當作蓋液片，(此裝置適用於沉澱實驗)。

流動型: 塑膠管挖洞當觀測視窗，加上保鮮膜當蓋玻片，可做持續性化學反應的觀測，及以銅線來傳入聲波的裝置。

- 2.實驗一中探討了化學反應的沉澱的反應現象:

硫:結晶在顯鏡下呈白色微小圓形顆粒，密集但不重疊。且溶液中沉澱(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(分子間的熱運動)。(一百倍顯微鏡所看到的實際範圍約為

$4.392 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ 觀察到的硫粒子數大約為 250~300 顆左右。)在多次實驗中，我們發現反應溶液以 0.4M 為最佳濃度。反應遮蔽沉澱時間約為 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。每個硫顆粒大約含有 $42 \times 10^4 \sim 6.7$

$\times 10^4$ 個硫原子。本實驗硫粒子團會聚合形成鏈狀大約 10 分鐘左右不再移動。

3. 我們發現濃度越大反應速率就越快，遮蔽的時間就愈短。另外，硫粒子的移動速率與濃度大小無關。
4. 溫度對於硫代硫酸鈉反應沉澱結晶中，溫度越高，遮蔽時間越短，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。
5. 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。
6. 在實驗三中，我們發現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。我們探討十種不同的聲波對硫粒子移動速率的影響，由結果可得知音樂節奏越強，會使粒子移動速率增快。
7. 我們計算不同溫度中，硫粒子的移動速率。結果為：20°C 的平均速率為 30.90($\mu\text{m/s}$)、30°C 的平均速率為 32.20($\mu\text{m/s}$)、40°C 的平均速率為 33.14($\mu\text{m/s}$)、50°C 的平均速率為 34.67($\mu\text{m/s}$)、60°C 的平均速率為 37.19($\mu\text{m/s}$)。由此結果可看出移動速率→大約與 $\sqrt{T}$ (絕對溫度) 成正比，此與愛因斯坦所提的布朗運動理論的結果相符合。
8. 本實驗以流動型裝置，插入銅線來傳聲結果發現硫粒子移動速率，比由空氣中傳聲效率大 3 倍，響度越大，聲能越大，硫粒子團移動速率越快。不同頻率對硫粒子團移動速率的結果不明顯。也發現不同的樂器所演奏的聲音會造成硫粒子不一樣的速率，且音樂節奏越快，硫粒子移動速率越快。為了比較不同音色我們用薩克斯風演奏望春風，硫粒子移動速率較慢，用交響曲演奏望春風硫粒子移動速率較快。
9. 本實驗器材並不昂貴(只需要購買顯微接環)，即可將此實驗推廣，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、微觀移動速率。本實驗成功地將顯微鏡應用在化學反應領域上，是邁向微觀運動世界，另一種創新嘗試的方法。

10.本實驗運用化學反應及生物的顯微鏡視訊觀測分子間熱運動，並且成功地證明愛因斯坦所提的布朗運動理論中：

- (1) 布朗位移與液體絕對溫度的開根號成正比
- (2) 布朗位移與懸浮微粒的半徑成正比
- (3) 布朗位移與液體黏滯係數成正比
- (4) 粒子成分及密度與濃度無關
- (5) 粒子運動永不停止，但本實驗硫會慢慢結合成粒子團，當它直徑大於五十微米時，硫粒子團即不再移動。

六、未來展望

在這次的實驗中，我們已計算出硫粒子顆粒大小、數目，並以濃度、黏滯係數、聲波及溫度為操縱變因算出硫粒子的移動速率，並期望可以更深入探討其他的各項變因，如：不同能量、無重力狀況下的粒子運動速率，及微粒子沾黏在一起的機制...等。我們也希望能夠建立不同聲波的布朗運動資料庫，如此就可以用來檢測不同的聲波。

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.南一版國中自然第五冊第一章
- 4.部編版國中理化第三冊第十三章
- 5.第四十三屆全國科展國中組化學科第一名
- 6.第四十五屆全國科展國中組化學科佳作
- 7.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
- 8.李育嘉(民 89)。漫談布朗運動。中央研究院數學所研究員
- 9.1626 年諾貝爾物理學獎 -物質結構的不連續性

評語

031622 愛因斯坦密碼

本作品以微量反應，配合顯微鏡觀察，硫代硫酸鈉與鹽酸反應，產生硫粒子沉澱，由硫粒子運動推論為布朗運動現象，是一件不錯的作品。但顯微觀察作品近年來已有多項得獎作品，且觀察現象是否為布朗運動應進一步驗證。