

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 化學科

第二名

030201

「晶」益求精

-探討不同聲波、溫度、濃度、離子等對其影響

學校名稱：桃園縣立慈文國民中學

作者： 國一 熊若含 國一 蕭宇珊	指導老師： 林孟忻
-------------------------	--------------

關鍵詞：飽和溶解度、聲波、酸鹼鹽

摘要

本實驗以硫酸銅與明礬為研究對象，探討影響化學結晶的因素。主要是用外在聲音頻率來影響物質結晶。我們發現硫酸銅的結晶量在每隔 300Hz 之下，均會突然增加；但明礬卻是隨著聲音頻率的增加而做某種規則性的遞減。除此之外，音頻對於硫酸銅結晶的外在形狀也有著某種影響，大致上在 1000Hz 以下，較易呈現長圓柱形；在 1000Hz 以上，則較易呈現小針狀形。為確認音頻的確會影響化學物質的結晶，我們更利用駐波的共振與共鳴原理，對著長玻璃管柱施放一系列音頻，竟可得到一規則性的節狀結晶體，然而目前我們對於此複雜之物理駐波原理並未能了解，故無法做一整體性探究。最後，我們仍以改變溶液中的離子，如加入食鹽、酸離子、鹼離子等方法，來研究對於化學結晶是否有影響。

壹、研究動機

最近的新聞都在報導「毒奶粉事件」，中國製的三鹿牌奶粉被發現含有三聚氰胺，若食入體內量過多將造成腎結石。到底是什麼外在因素會影響石頭(結石)的形成？聲波頻率的不同、周圍溫度、濃度的不同，甚至於溶液本身所含離子的種類不同、酸鹼性的不同，都是否會影響結晶呢？過低的頻率是不是就不會有結晶的產生？過高的頻率是不是也是如此？又會不會因為自然形成或人工影響而形狀不同呢？還是會因為聲波源位置的不同或是酸鹼性的不同而有所相異呢？這些都是我們想要深入研究的，利用硫酸銅、硼砂、草酸鈣做結晶體，一一解開所有的疑問。

貳、研究目的

一、探討聲波對結晶的影響：

包括(一)不同頻率的聲波對結晶量的影響

(二)不同頻率的聲波對結晶體形狀有何不同

(三)不同聲波源位置對結晶的影響

(四)以駐波形式或製造共鳴對結晶形成是否有影響

二、探討不同溫度對結晶的影響

三、探討不同濃度對結晶的影響

四、探討溶液本身含有其他離子時對結晶的影響

五、探討不同酸鹼性溶液對結晶的影響

參、研究器材

- 一、電腦
- 二、使用軟體：(NCH Tone Generator 軟體)
- 三、保麗龍箱
- 四、隔音棉
- 五、擴大機喇叭、耳機、長玻璃管(直徑約 1cm；長約 30cm)
- 六、燒杯、試管、酒精燈組、刮杓、滴管、量筒
- 七、明礬、硼砂、硫酸銅、草酸鈣
- 八、銅漆包線、電子磅秤、電子溫度計



肆、研究過程與方法

一、探討聲波對結晶的影響：

(一)不同頻率的聲波對結晶量的影響

實驗步驟

1.硫酸銅飽和溶液結晶：化學式 CuSO_4 ，為白色粉末狀，是可溶性銅鹽，其結晶 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 為藍色固體。

(1)找出硫酸銅恰飽和的比例，並調製過飽和硫酸銅溶液。因已知硫酸銅水中溶解度在 0°C 時為 31.6 克/100g。因此，我們根據重複測試得知，在 100ml 的蒸餾水中加入硫酸銅 50 公克，再加熱至約 70°C 所得溶液，十分適合做為本項實驗的標準溶液。我們曾嘗試以硫酸銅 40 公克加入 100ml 的蒸餾水中，結果完全得不到任何結晶。

※ 利用加熱和攪拌使其溶解

(2)取一顆硫酸銅結晶，用銅漆包線將其綁住後秤其重量並記錄(如圖 [1])，置入試管並將其固定，使結晶核可以置放在試管中間。

※ 綁住硫酸銅的金屬線需使用銅線，不得使用活性比銅元素大的金屬，如鐵線、鉛線等，否則會發生氧化還原反應而使得實驗結果失真。

(3)將上述 1.的硫酸銅溶液倒入試管中(如圖 [2])。

※ 須等溶液冷卻，因為如果太熱加進試管的話，結晶會溶解。待原本過飽和的溶液回到常溫後，即可確定其是過飽和溶液。

(4)放進保麗龍箱(內部已貼吸音棉與墊子)中。(如圖 [3])



▲圖 [1]

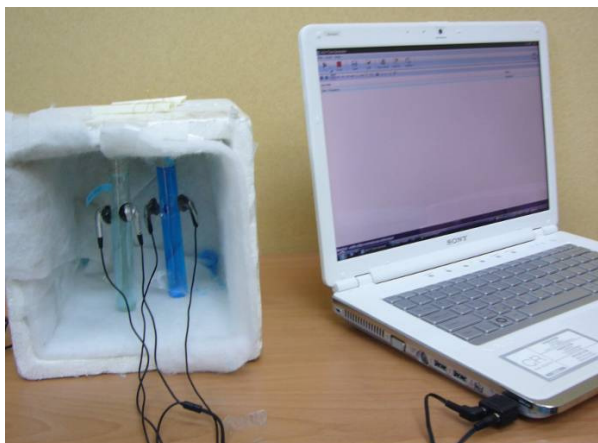


▲圖 [2]



▲圖 [3]

(5)為了避免干擾，以及讓實驗的誤差降低，我們利用耳機緊貼在試管兩側的方式打不同頻率的聲波。(如圖 [4])



▲圖 [4]

(6)固定打聲波時間(40 分鐘)後，拿出秤 重，記錄重量改變。

(7)分別以不同頻率的聲波，重複以上 實驗步驟，分別操作兩次，求得平均值，以降低誤差。

※所有相關實驗均以接近最大響度操作。

2.明礬飽和溶液結晶：鉀鋁礬又稱鉀礬、明礬，化學式為 $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$

(1)將飽和溶液更改成明礬溶液。

(2)已知明礬在水中溶解度在 50°C 時為 36.8 克/100g，但由於明礬在一般情形下都具有 12 個結晶水，為了找出明礬真正的飽和量，我們利用再結晶法找出明礬在不同溫度之下的飽和溶解量，如研究結果中的表(一)所示。

(3)由研究結果的表(一)－溫度與溶解度的關係，我們得到最恰當的比例是每 100ml(g)的水中加入 40 克的明礬，再加熱至 50°C 後冷卻所得到的過飽和溶液，是最適合做實驗的條件。

(4)又因明礬顆粒較細微且較易溶於水中(溶解速率較快)，因此，我們仍以硫酸銅晶體當作結晶核。其餘操作均與硫酸銅飽和溶液結晶的操作相同。(如圖 [5])



▲圖 [5] 以相同音頻同時撞擊硫酸銅與明礬

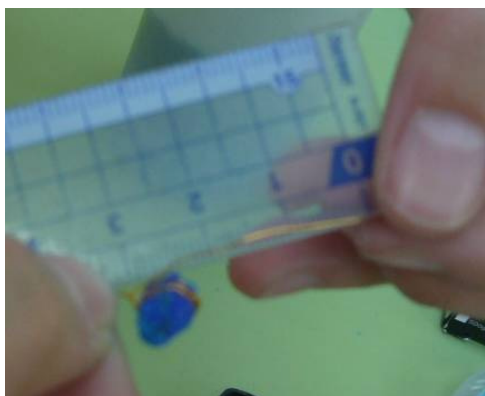
(二)不同頻率的聲波對結晶體形狀的影響(有何不同)

根據實驗步驟 1，對每一個結晶體拍照記錄後做分析。

(三)不同聲波源位置對結晶的影響

1.將三塊硫酸銅晶核稱好重量後，依順序上、中、下相隔 三公分綁在銅線上。

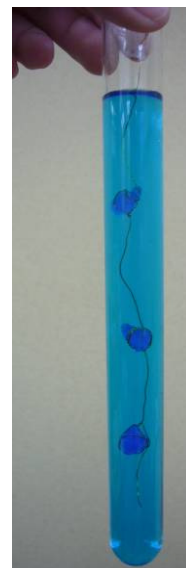
(如圖 [6]-a-b-c)



▲圖 [6]-a



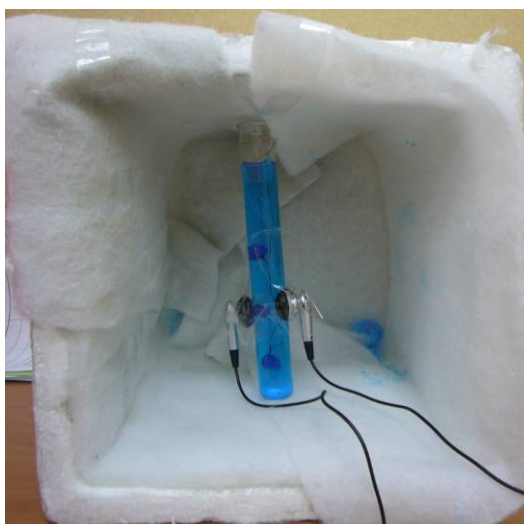
▲圖 [6]-b



▲圖 [6]-c

2.再將波源放置在中間晶核處。(如圖 [7])

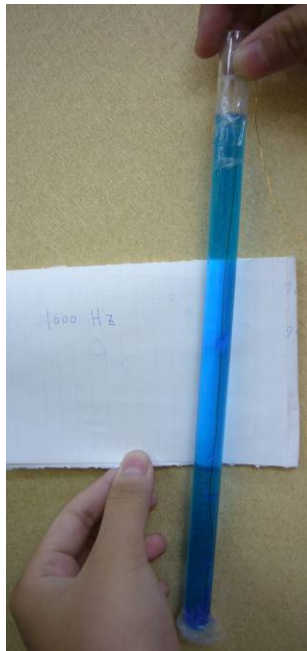
3.其餘步驟開始與實驗 1 的第三步驟相同。



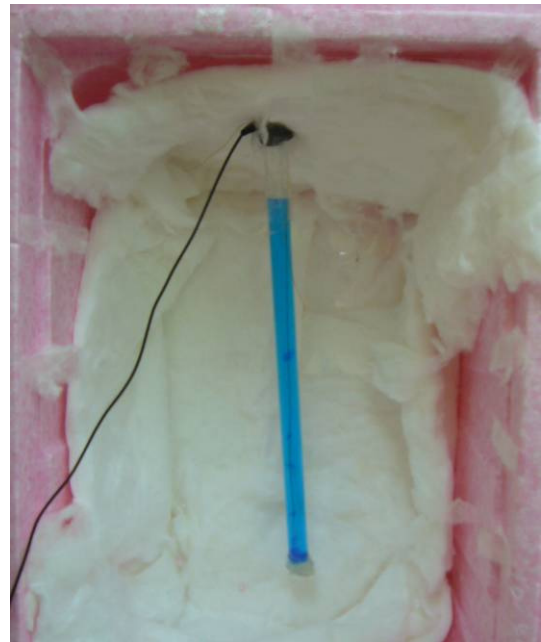
▲圖 [7]

(四)以駐波形式或製造共鳴對結晶形成的影響探討

- 1.取一長約 40 公分，直徑約 4 公分的玻璃管，先以熱熔膠將一端封住。
※封住時必須同時將一約 50 公分的銅漆包線，從中間穿過玻璃管固定。(如圖 [8])
- 2.將管內壁與銅漆包線，以清潔劑清洗乾淨，避免雜質存在。
- 3.將過飽和硫酸銅溶液趁熱到入無結晶核的上述玻璃管中。
- 4.待上述過飽和硫酸銅溶液冷卻至常溫時，將耳機固定在上端管口。
- 5.分別以不同頻率的波源，對著管口打入，其情形如駐波的形式。(如圖 [9])



▲圖 [8]



▲圖 [9]

二、探討不同溫度對結晶的影響

僅探討明礬 ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) 晶體的析出與溫度的關係。

實驗步驟

1. 裝一杯 10 mL 的熱水
2. 加入 3 g 明礬晶體並加熱至完全溶解
3. 把酒精燈移開
4. 放入溫度計觀察並記錄再析出晶體時的溫度 (如圖 [10])
5. 重複上列步驟，但加入的晶體分別為 4g、5g、6g。
6. 再重複以上步驟，但水改為 20 mL，加入的晶體則等比例增加。
分別為 6g、8g、10g、12g。



▲圖 [10] 以溫度計觀察並記錄再析出晶體時的溫度

三、探討不同濃度對結晶的影響

僅探討硫酸銅 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 晶體在不同濃度下的析出與聲波頻率的關係

實驗步驟

1. 分別以 40 克與 50 克的藍色硫酸銅晶體，各加入 100 克的蒸餾水中。
2. 同時將兩杯溶液加熱至完全溶解為止。
3. 再各秤取重量相近的硫酸銅晶核，同時間以相同頻率操作實驗。
4. 其餘步驟與第一項 (甲) 實驗的第三步驟以下相同。

四、探討溶液本身含有其他離子時對結晶的影響

主要是以常見的食鹽做為離子源，實驗步驟：

- 1.在 150 克的飽和硫酸銅溶液中，再加入 10 克的食鹽，加熱使其完全溶解。
- 2.待混合溶液冷卻後，倒入已放置硫酸銅結晶核的試管中。
- 3.其餘步驟與第一項實驗 1 的第三步驟以下相同。

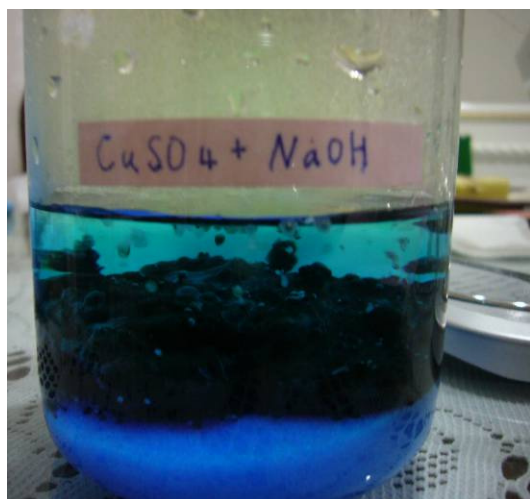
五、探討不同酸鹼性溶液對結晶的影響

(一)鹼性溶液：

實驗步驟

- 1.配製重量百分率濃度 10%的氫氧化鈉(NaOH)溶液。
- 2.再將上述 10%的氫氧化鈉(NaOH)溶液，滴入飽和硫酸銅溶液中約 5 滴。
- 3.其餘步驟與第一項實驗 1 的第三步驟以下相同。

【說明】：我們之所以僅以 10%的氫氧化鈉(NaOH)溶液，滴入約 5 滴使其溶液呈現微鹼性即可，其實有另一真正因素考量，那就是因為剛開始時，我們誤會老師的意思，而是直接將氫氧化鈉(NaOH)固體約數克加入飽和硫酸銅溶液中，結果發生了嚴重的綠色沉澱物(如圖 [11] 所示)，經與老師報告之後，才知錯誤。原因是過量的氫氧化鈉，會使得銅離子(Cu^{2+})與氫氧根(OH)產生綠色的**氫氧化銅**沉澱。



加熱前部分沉澱



加熱後全部生成綠色氫氧化銅沉澱

▲圖 [11]

(二)酸性溶液：

實驗步驟：除將滴入之物改為濃硫酸約 3 滴之外，其餘步驟同上。

伍、研究結果與討論

一、探討聲波對結晶的影響：

(一)不同頻率的聲波對結晶量的影響

1.硫酸銅因音頻改變，所造成的結晶重量百分比變化如下：

其中圖 [12]與圖 [13]分別代表 900Hz 與 1400Hz 的結晶情形及重量變化，圖 [14]則為重量百分比變化數字柱狀圖。

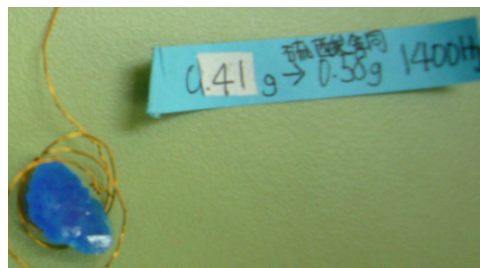
* 實驗時溫度大約控制為 25 度 C ，濕度約為 75% Hp

表 1：硫酸銅結晶總表

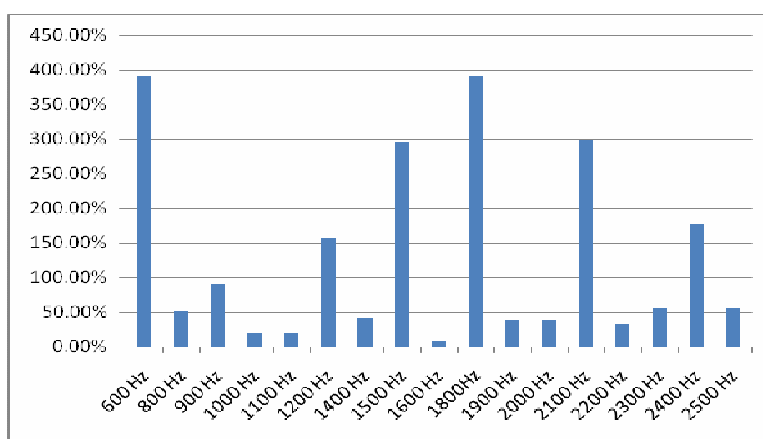
音波頻率	600 Hz	800 Hz	900 Hz	1000 Hz	1100 Hz
原重量	1.1 g	0.29 g	0.86 g	0.5g	0.7 g
結晶後重量	5.4 g	0.44 g	1.63 g	0.6g	0.84 g
重量差	4.3 g	0.15 g	0.77 g	0.1g	0.14 g
重量差百分比	390.90%	51.72%	89.53%	20%	20%
音波頻率	1200 Hz	1400 Hz	1500 Hz	1600 Hz	1800Hz
原重量	0.69 g	0.41g	0.48 g	0.37 g	0.42g
結晶後重量	1.77 g	0.58g	1.9 g	0.4 g	2.06g
重量差	1.08 g	0.17g	1.42 g	0.03 g	1.64g
重量差百分比	156.00%	41.46%	296%	8%	390.47%
音波頻率	1900 Hz	2000 Hz	2100 Hz	2200 Hz	2300 Hz
原重量	0.31 g	0.39 g	0.46 g	0.45g	0.53 g
結晶後重量	0.43 g	0.54 g	1.83 g	0.6g	0.82 g
重量差	0.12 g	0.15 g	1.37 g	0.15g	0.29 g
重量差百分比	38.71%	38.46%	297.83%	33.33%	54.72%
音波頻率	2400 Hz	2500 Hz			
原重量	0.51 g	0.63 g			
結晶後重量	1.41 g	0.97g			
重量差	0.90 g	0.34 g			
重量差百分比	176.47%	53.40%			



▲圖 [12] 在 900Hz 之下，結晶重量為 1.63 克，增加 0.77



▲圖 [13] 在 1400Hz 之下，最後結晶重量為 0.58，增加 0.17 克



▲圖 [14] 硫酸銅重量百分比變化柱狀圖

實驗結果

- (1)由上圖 [14]看出，每隔 **300 Hz**，重量差百分比均會大量升高，少者 90% 最高達 390% 以上。如音頻 600Hz、900Hz、1200Hz、1500Hz 等。
- (2)若音頻非 **300 Hz** 的倍數，則重量差百分比都偏低，大都在 50% 以下。如音頻 800Hz、1000Hz、1100Hz.....2200Hz 等。

結果討論

我們認為每 300 Hz 結晶量會增加應該是因為波長的影響，但計算出波長後，未見明顯規律性。

2.明礬的重量百分比變化：

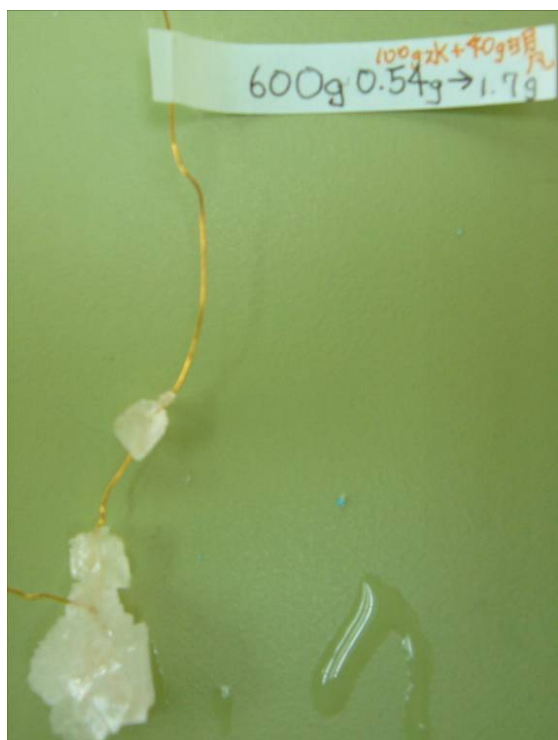
明礬因音頻改變，所造成的結晶重量百分比變化如下：

其中圖 [15]與圖 [16]分別代表 600Hz 與 1400Hz 的結晶情形及重量變化，圖 [17]則為重量百分比變化數字曲線圖。

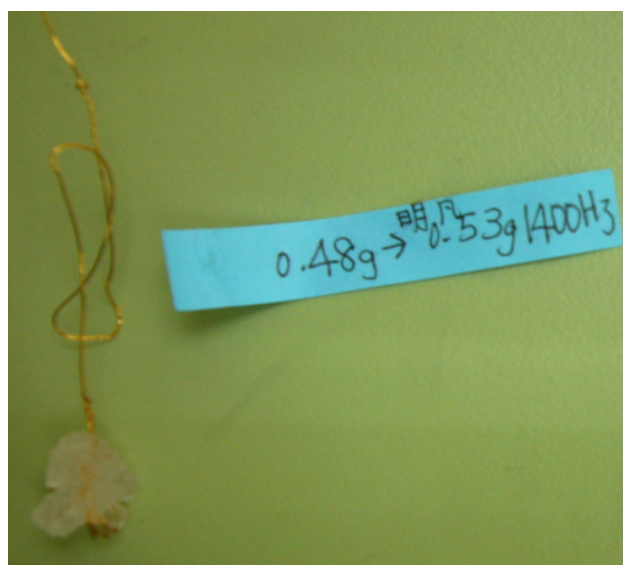
表 2：明礬結晶總表

* 實驗時溫度大約控制為 25 度 C，濕度約為 75% Hp

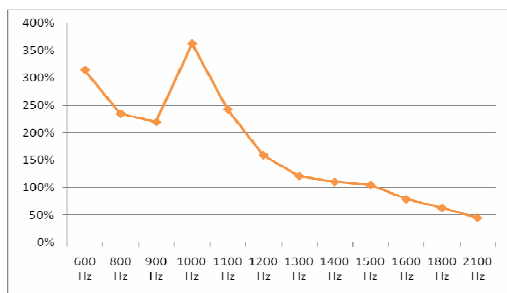
音波頻率	600 Hz	800 Hz	900 Hz	1000 Hz	1100 Hz
原重量	0.54g	0.49 g	0.51 g	0.46 g	0.75 g
結晶後重量	2.24g	1.64 g	1.63 g	2.13g	2.57g
重量差	1.7 g	1.15 g	1.12 g	1.67g	1.82g
重量差百分比	315%	234.69%	219.60%	363.04%	242.67%
音波頻率	1200 Hz	1300 Hz	1400 Hz	1500 Hz	1600 Hz
原重量	0.71 g	0.38 g	0.48g	0.89 g	0.66 g
結晶後重量	1.84g	0.84 g	1.01g	3.84 g	1.18 g
重量差	1.13 g	0.46 g	0.53g	2.95 g	0.52 g
重量差百分比	159.15%	121.05%	110.41%	104.49%	78.79%
音波頻率	1800 Hz	2100 Hz			
原重量	1.53g	0.85 g			
結晶後重量	2.49g	1.23 g			
重量差	0.96g	0.38 g			
重量差百分比	62.74%	44.71%			



▲圖 [15] 在 600Hz 之下，最後結晶重量增加 1.77 克



▲圖 [16] 在 1400Hz 之下，最後結晶重量增加 0.53 克



▲圖 [17] 明礬重量百分比變化曲線圖

實驗結果

由上圖 [17]看出，除在 **1000Hz** 結晶重量百分比會增加外，其他幾乎是隨著頻率的增加而遞減。換言之，明礬的結晶是隨音頻越大，結晶重量增加百分比越小。





結果討論

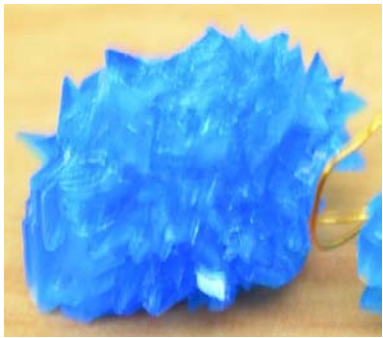

我們認為明礬會在 **1000 Hz** 時結晶量增加，可能是因為 **1000 Hz** 為明礬的自然頻率，而我們在打波時，正好形成共振，使得明礬結晶量增加。

(二)不同頻率的聲波對結晶體形狀的影響(有何不同)

根據實驗一步驟 1，對每一個結晶體拍照歸納作記錄製成表 3 後做分析：

表 3：硫酸銅結晶形狀差異總表

音波頻率	600 Hz	800 Hz	900 Hz	1000 Hz	1100 Hz
結晶形狀					
音波頻率	1200 Hz		1500 Hz		1800Hz
結晶形狀					

音波頻率	2000 Hz	2100 Hz	2400Hz
結晶形狀			

實驗結果

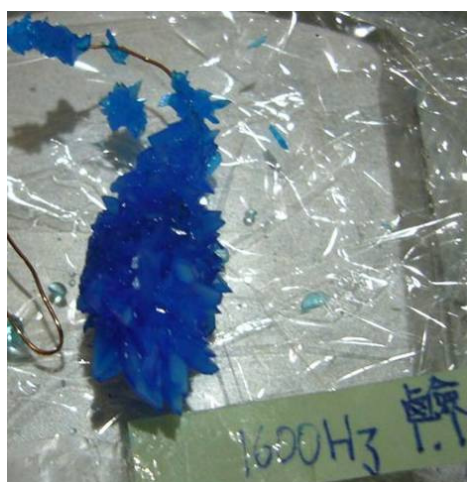
1.由上方的圖片收集，分析發現純硫酸銅結晶形狀在 **900Hz** 以下，幾乎都呈現 **條柱狀形**；而在 **1000Hz** 以上，卻都呈現**小針狀形**。

2.對照第四、五兩項實驗的照片，如圖[18]所示，可以很清楚看出，若是水溶液中加入食鹽離子化合物，則所有結晶形狀表面幾乎完全呈現**粗粒狀**，即是與上述的條柱狀形、小針狀形完全不同。



▲圖 [18] 粗粒狀結晶形狀

3.若是水溶液中加入少量鹼性離子，則結晶形狀卻會隨著音頻的不同，而呈現出不同的外形，我們發現在 **1600Hz** 以下，幾乎完全呈現**小針狀**，如圖[19] 所示，但在 **1700Hz** 以上，則又幾乎完全呈現**粗粒狀**與加入食鹽相似。

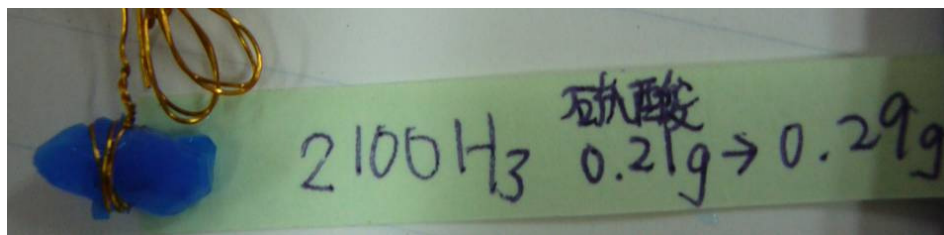


▲圖 [19] 1600Hz 以下小針狀結晶



▲圖 [20] 1700Hz 以上粗粒狀結晶形狀

4.反之水溶液中加入少量酸性離子，則結晶形狀卻與加入食鹽相似，如圖[21]所示。



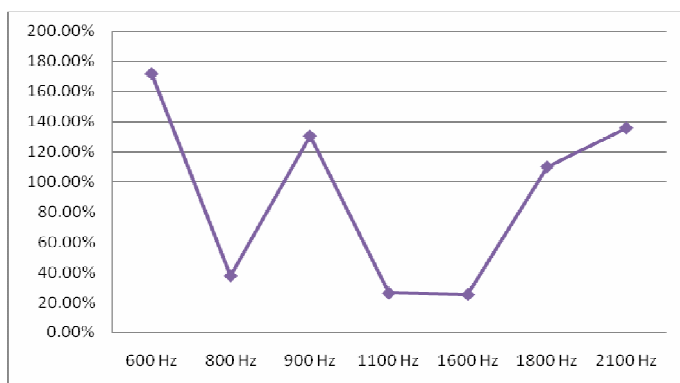
▲圖 [21] 酸性之下得到的粗粒狀結晶

(三)不同聲波源位置對結晶的影響

1.位於試管**上方**的硫酸銅結晶因音頻改變，所造成的重量百分比變化如下表 4，圖 [22]則為重量百分比變化曲線圖。

表 4：試管**上方**的硫酸結晶總表

音頻大小	600 Hz	800 Hz	900 Hz	1100 Hz	1600 Hz	1800 Hz	2100 Hz
上方原重	0.32 g	0.32 g	0.23 g	0.27 g	0.2 g	0.20 g	0.28 g
上方實驗後重	0.87 g	0.47 g	0.53 g	0.34 g	0.25 g	0.42 g	0.66 g
重量差	0.55g	0.12 g	0.3 g	0.07 g	0.05 g	0.22 g	0.38 g
重量差百分比	171.88%	37.50%	130.43%	25.90%	25%	110%	135.71%

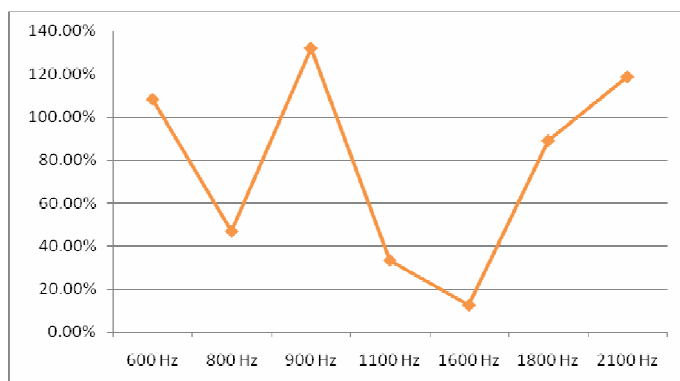


▲圖 [22] 上方重量百分比變化曲線圖

2.位於試管**中間**的硫酸銅結晶因音頻改變，所造成的重量百分比變化如下表 5，圖 [23] 則為重量百分比變化曲線圖。

表 5：試管**中間**的硫酸結晶總表

音頻大小	600 Hz	800 Hz	900 Hz	1100 Hz	1600 Hz	1800 Hz	2100 Hz
中間原重	0.37 g	0.32 g	0.22 g	0.3 g	0.16 g	0.27 g	0.27 g
中間實驗後重	0.77 g	0.47 g	0.51 g	0.4 g	0.18 g	0.51 g	0.59 g
重量差	0.40g	0.15 g	0.29 g	0.1 g	0.02 g	0.24 g	0.32 g
重量差百分比	108.11%	46.88%	131.81%	33.30%	12.50%	88.89%	118.51%

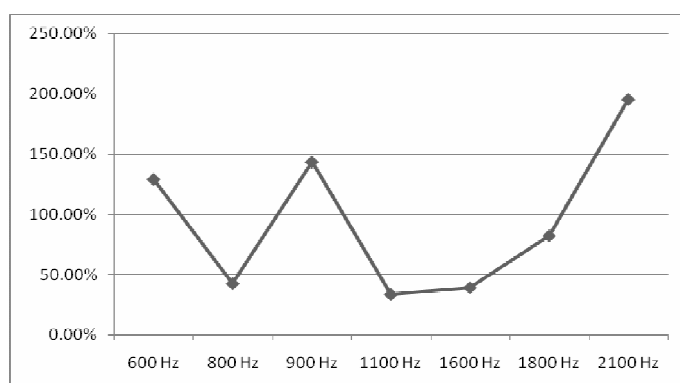


▲圖 [23] 中間重量百分比變化曲線圖。

3.位於試管**上方**的硫酸銅結晶因音頻改變，所造成的重量百分比變化如下表 6，圖 [24]則為重量百分比變化曲線圖。

表 6：試管下方的硫酸結晶總表

音頻大小	600 Hz	800 Hz	900 Hz	1100 Hz	1600 Hz	1800 Hz	2100 Hz
下方原重	0.31 g	0.26 g	0.23 g	0.3 g	0.18 g	0.39 g	0.22 g
下方實驗後重	0.71 g	0.37 g	0.56 g	0.4 g	0.25 g	0.71 g	0.65 g
重量差	0.40 g	0.11 g	0.33 g	0.1 g	0.07 g	0.32 g	0.43 g
重量差百分比	129.0%	42.31%	143.47%	33.30%	38.89%	82.05%	195.45%



▲圖 [24] 下方重量百分比變化曲線

實驗結果

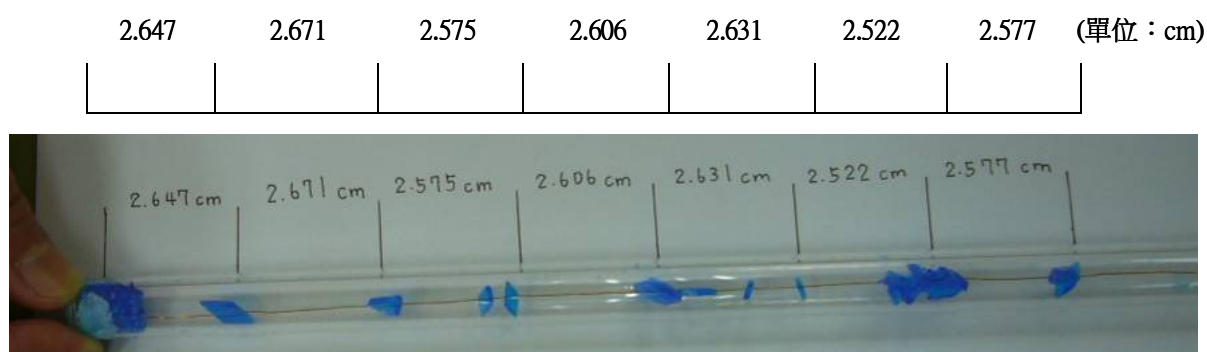
- 1.由圖[22]~圖 [24]，分析發現**純硫酸銅**結晶的多寡與位置無關。而僅與音頻的大小內容有關。
- 2.對照第一項實驗甲有關硫酸銅結晶與音頻大小的關係，得知在**每隔 300Hz**處仍然出現增大的情形。
- 3.綜合上述的實驗結果，我們可以大膽的預測硫酸銅結晶量在 300、600、900、1200、1500、1800Hz.....等每隔 300Hz 處的音頻之下，均會出現較大的沉澱量。

結果討論

音波無論距離遠或近，其頻率都不改變。所以不同位置對物質結晶並不會影響。

(四)以駐波形式或製造共鳴對結晶形成的影響

此項實驗所得到的結果，讓我們十分的興奮，這是因為我們從前幾項的實驗結果已確知，硫酸銅的結晶無論是重量的增加量或是結晶外觀形狀，均與外在音頻有密不可分的關係，既然如此，老師便指導我們可以進一步以駐波的形式，做長管柱的模擬駐波產生實驗，試試看是否會有意想不到的結果。結果我們首次以 800Hz 的音頻做實驗，便得到以下的節狀結晶 (如圖 [25] 所示)。而且更讓我們訝異的是，如果採取相關性的結晶位置與距離測量，我們得到的數據如下圖 [25] 所示。



▲圖 [25] 以 800Hz 駐波形式在長管玻璃柱中

圖[26]a~c 為部分結晶測量圖



▲圖[26]a 第一顆結晶距離



▲圖[26]b 第四顆結晶距離



▲圖[26]c 第七顆結晶距離

圖 [27] a~d 為其他頻率駐波圖



▲圖[27]a 為 700Hz 音頻的駐波結晶情形



▲圖[27]b 為 1200Hz 音頻的駐波結晶情形



▲圖[27]c 為 1500Hz 音頻結晶情形



▲圖[27]d 為 1600Hz 音頻結晶情形

二、探討不同溫度對結晶的影響

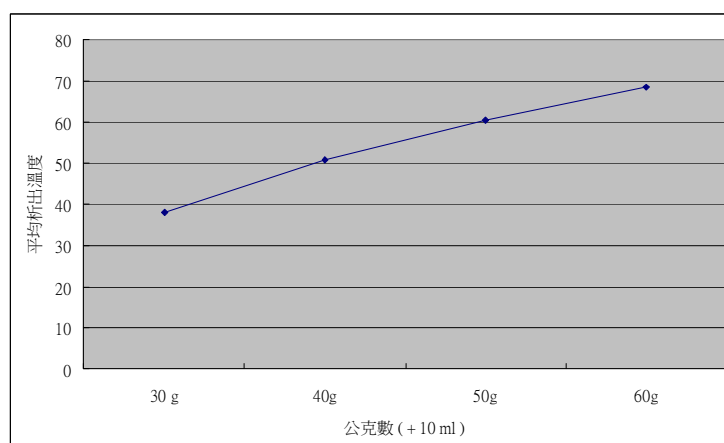
僅探討明礬 ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) 晶體的析出與溫度的關係，見下表 7、表 8 與圖 [28]所示。

表 7：明礬 ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) 晶體的析出溫度：

公克數 (+水 10 ml)	(第一次實驗) 析出溫度	(第二次實驗) 析出溫度	(第三次實驗) 析出溫度	(第四次實驗) 析出溫度	(第五次實驗) 析出溫度
3 g	34.0	32.2	39.5	38.6	37.6
4 g	52.5	55.1	50.3	47.5	49.8
5 g	55.8	63.2	62.5	59.1	64.1
6 g	69.5	68.7	67.5	67.8	69.0
公克數 (+水 20 ml)	(第一次實驗) 析出溫度	(第二次實驗) 析出溫度	(第三次實驗) 析出溫度	(第四次實驗) 析出溫度	(第五次實驗) 析出溫度
6 g	39.6	38.8	40.1		
8 g	50.3	51.1	47.5		
10 g	62.5	58.9	54.1		
12 g	65.1	69.1	68.3		

公克數 (+水 10 ml)	平均 析出溫度
30g	38.0
40g	50.8
50g	60.3
60g	68.4

表 8：明礬 (KAl(SO₄)₂ · 12H₂O)晶體的析出平均溫度與圖形(即是明礬在各溫度下的飽和溶解度)



▲圖 [28] 明礬在各溫度下的飽和溶解度

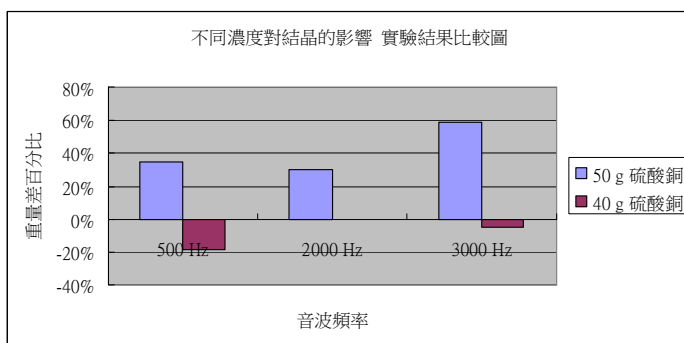
三、探討不同濃度對結晶的影響

在 100 克水中加 50 克和 40 克硫酸銅，之後選擇三種音頻同時對兩溶液做結晶實驗的比較，見下表 9 所示。

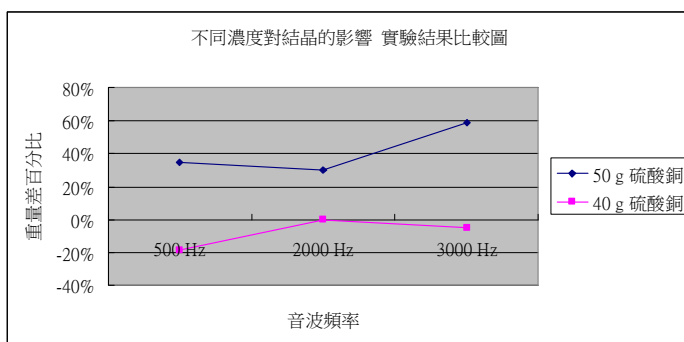
圖[29]與圖[30]分別是不同的濃度的柱狀圖與曲線圖。

表 9：100 克水中加 50 克和 40 克硫酸銅的比較

在 100 g 水中 加入硫酸銅量	50 g	40 g	50 g	40 g	50 g	40 g
音波頻率	500 Hz		2000 Hz		3000 Hz	
原重量	0.6 g	0.7 g	0.81 g	0.68 g	0.51 g	0.56 g
結晶後重量	0.81 g	0.57g	1.05 g	0.68 g	0.81 g	0.53 g
重量差	0.21 g	-0.13 g	0.24 g	0 g	0.3 g	-0.03 g
重量百分比	35%	-18.57%	29.63%	0 %	58.82%	-5.35%



▲圖 [29] 不同濃度的柱狀圖



▲圖[30] 不同濃度的曲線圖

實驗結果

由表 9 與圖[29]或圖[30]，發現**硫酸銅若要生成結晶**至少在 100 克的水中需加入硫酸銅 50 克。否則將造成不僅無法結晶，甚至會發聲反倒讓結晶核溶解的情形發生，如表 9 中所顯現的情況。

結果討論

要結晶都一定得用過飽和溶液，未飽和或恰飽和只會造成結晶核溶解。

四、探討溶液本身含有其他離子時對結晶的影響

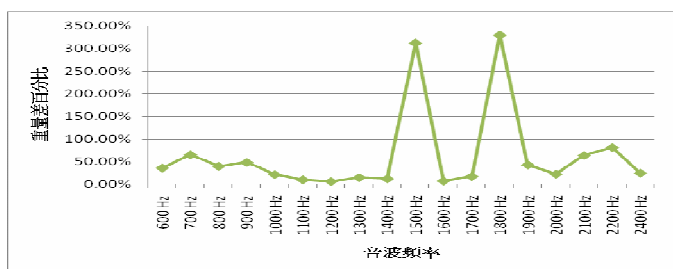
硫酸銅過飽和溶液加入 10 克鹽後，再以不同頻率做結晶實驗所得硫酸銅結晶重量的變化，如表 10 所示。

表 10：硫酸銅溶液加入 10 克鹽

硫酸銅過飽和溶液+食鹽				
音波頻率	600 Hz	700 Hz	800 Hz	900 Hz
原重量	0.33 g	0.58 g	0.75 g	0.33 g
結晶後重量	0.45 g	0.96 g	1.05 g	0.49 g
結晶前後重量差	0.12 g	0.38 g	0.3 g	0.16 g
重量差百分比	36.36%	65.52%	40.00%	48.48%

音波頻率	1000 Hz	1100 Hz	1200 Hz	1300 Hz
原重量	0.41 g	0.69 g	0.31 g	0.99 g
結晶後重量	0.5 g	0.76 g	0.33 g	1.14 g
結晶前後重量差	0.09 g	0.07 g	0.02 g	0.15 g
重量差百分比	21.95%	10.14%	6.45%	15.15%
音波頻率	1400 Hz	1500 Hz	1600 Hz	1700 Hz
原重量	1.12 g	0.4 g	0.78 g	0.91 g
結晶後重量	1.26 g	1.65 g	0.84 g	1.07 g
結晶前後重量差	0.14 g	1.25 g	0.06 g	0.16 g
重量差百分比	12.50%	312.50%	7.69%	17.58%
音波頻率	1800 Hz	1900 Hz	2000 Hz	2100 Hz
原重量	0.23 g	1.02 g	0.83 g	0.25 g
結晶後重量	0.99 g	1.46 g	1.02 g	0.41 g
結晶前後重量差	0.76 g	0.44 g	0.19 g	0.16 g
重量差百分比	330.43%	43.14%	22.89%	64%
音波頻率	2200 Hz	2400 Hz		
原重量	0.27 g	0.4 g		
結晶後重量	0.49 g	0.5 g		
結晶前後重量差	0.22 g	0.1 g		
重量差百分比	81.48%	25%		

圖[31] 是不同音頻的結晶重量變化曲線圖。

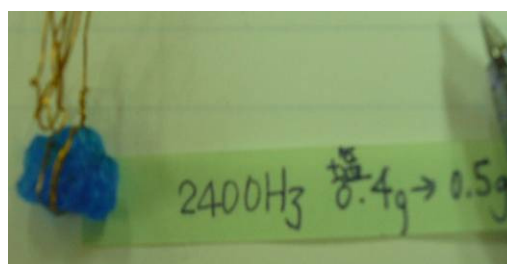


▲圖[31] 不同音頻的結晶重量變化曲線圖

圖[32]a~圖[32]b 分別是部分音頻的結晶情形。



▲圖[32]a



▲圖[32]b

實驗結果

分析發現溶液中若含有其他離子，則**硫酸銅**結晶重量大都呈現下滑的現象，**唯獨在 1500Hz 與 1800Hz 兩處有大量增加的現象。**

結果討論

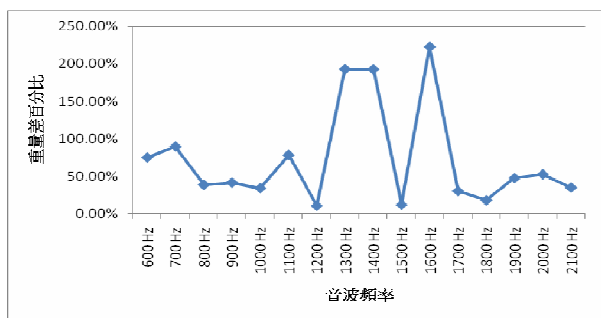
即使在硫酸銅溶液中加了食鹽，還是沒有改變我們第一個實驗的結果 — 硫酸銅在每 300Hz 的結晶量均會突然增加。

五、探討不同酸鹼性溶液對結晶的影響

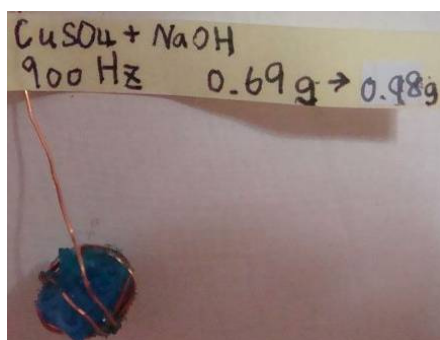
(一)在硫酸銅 (CuSO₄)過飽和溶液中，加入 10%的氫氧化鈉 (NaOH)溶液 2~4 滴後，再放置不同頻率所得到**硫酸銅結晶**的重量差百分比變化如表 11 所示，圖[33] 是不同音頻的結晶重量變化曲線圖。圖[34]是部分音頻的結晶情形。

表 11：硫酸銅溶液加入鹼性離子

硫酸銅過飽和溶液 + 強鹼				
音波頻率	600 Hz	700 Hz	800 Hz	900 Hz
原重量	0.49 g	0.55 g	0.97 g	0.69 g
結晶後重量	0.86 g	1.04 g	1.35 g	0.98 g
結晶前後重量差	0.37 g	0.49 g	0.38 g	0.29 g
重量差百分比	75.51%	89.99%	39.17%	42.03%
音波頻率	1000 Hz	1100 Hz	1200 Hz	1300 Hz
原重量	0.52 g	0.66 g	0.63 g	0.29 g
結晶後重量	0.7 g	1.18 g	0.7 g	0.85 g
結晶前後重量差	0.18 g	0.52 g	0.07 g	0.56 g
重量差百分比	34.62%	78.78%	11.11%	193.10%
音波頻率	1400 Hz	1500 Hz	1600 Hz	1700 Hz
原重量	0.98 g	0.64 g	1.1 g	0.68 g
結晶後重量	2.87 g	0.72 g	3.55 g	0.89 g
結晶前後重量差	1.89 g	0.08 g	2.45 g	0.21 g
重量差百分比	192.86%	12.50%	222.73%	30.88%
音波頻率	1800 Hz	1900 Hz	2000 Hz	2100 Hz
原重量	0.65 g	0.96 g	0.81 g	0.93 g
結晶後重量	0.77 g	1.42 g	1.23 g	1.26 g
結晶前後重量差	0.12 g	0.46 g	0.43 g	0.33 g
重量差百分比	18.46%	47.92%	53.09%	35.48%



▲圖[33] 在鹼性溶液中，不同音頻的結晶重量變化曲線圖



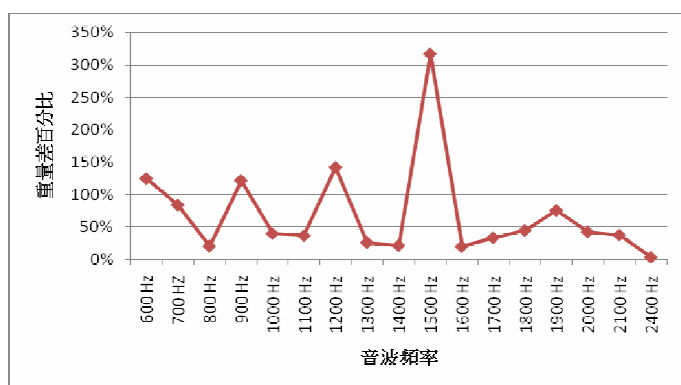
▲圖[34]部分音頻的結晶情形

(二) 硫酸銅 (CuSO_4) 過飽和溶液直接滴入濃硫酸 (H_2SO_4) 2~4 滴後，再打上不同頻率所得到硫酸銅結晶的重量差百分比變化如表 12 所示，圖[35] 是不同音頻的結晶重量變化曲線圖。圖[36]是部分音頻的結晶情形。

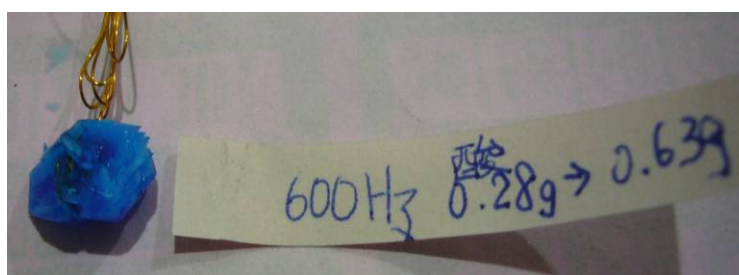
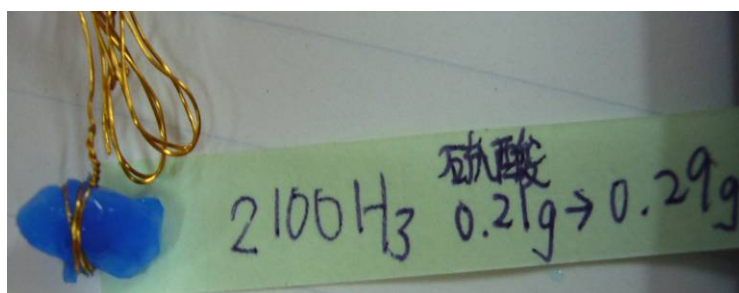
表 12：硫酸銅溶液加入酸性離子

硫酸銅過飽和溶液+濃硫酸				
音波頻率	600 Hz	700 Hz	800 Hz	900 Hz
原重量	0.28 g	0.63 g	1 g	0.5 g
結晶後重量	0.63 g	1.16 g	1.21 g	1.11 g
結晶前後重量差	0.35 g	0.53 g	0.21 g	0.61 g
重量差百分比	125%	84%	21%	122%
音波頻率	1000 Hz	1100 Hz	1200 Hz	1300 Hz
原重量	1.37 g	0.46 g	0.45 g	1.21 g
結晶後重量	1.62 g	0.63 g	1.09 g	1.53 g
結晶前後重量差	0.55 g	0.17 g	0.64 g	0.32 g
重量差百分比	40%	37%	142.22%	26.46%
音波頻率	1400 Hz	1500 Hz	1600 Hz	1700 Hz
原重量	1.28 g	0.3 g	0.83 g	0.74 g
結晶後重量	1.56 g	1.25 g	1 g	0.99 g
結晶前後重量差	0.28 g	0.95 g	0.17 g	0.25 g
重量差百分比	21.88%	316.67%	20.42%	33.78%
音波頻率	1800 Hz	1900 Hz	2000 Hz	2100 Hz

原重量	0.29 g	0.83 g	0.7 g	0.21 g
結晶後重量	0.42 g	1.49 g	1 g	0.29 g
結晶前後重量差	0.13 g	0.63 g	0.3 g	0.08 g
重量差百分比	44.83%	75.90%	42.86%	38%
音波頻率	2400 Hz			
原重量	0.26 g			
結晶後重量	0.27 g			
結晶前後重量差	0.01 g			
重量差百分比	3.85%			



▲圖[35] 在酸性溶液中，不同音頻的結晶重量變化曲線圖



▲圖[36]部分音頻的結晶情形

實驗結果與討論

在硫酸銅過飽和溶液中，無論加入酸或鹼，都還是遵守每 300Hz 結晶量會增加的這種規律，只不過加入酸鹼離子後，結晶量會下滑。

陸、結論

一、探討聲波對結晶的影響：

(一)不同頻率的聲波對結晶量的影響

無論是硫酸銅結晶或是明礬的結晶，我們均發現不同的聲波對兩者的結晶量，存在有某種關係。

在探究此原因時，我們當須先了解飽和溶液的意義及配製出過飽和溶液(降溫即可得到)，因為我們在 二、不同濃度對結晶的影響 探討中發現到：若是溶液未達飽和是無法得到任何結晶的，此時音頻無法得到效果或看不出來。

接著我們也了解到，其實聲波的頻率大小只是影響到音調高低而已，聲波的單獨能量則僅受響度大小影響，也就是每次實驗為了使條件相同，我們都將音量調至接近最大量處。

(二)不同頻率的聲波對結晶體形狀的影響

由此項實驗所得到的結果，我們似乎可以合理的推測，在低音頻之下，每秒鐘撞擊結晶表面的次數較少，因此使得結晶表面較易聚集沉澱離子，故容易形成圓條柱狀的結晶。反之，在高音頻之下，每秒鐘撞擊結晶表面的次數較多，因此使得結晶表面較不易聚集沉澱離子，故容易形成小針狀的結晶。

(三)以駐波形式或製造共鳴對結晶形成的影響探討

首先，先就物理駐波與共鳴做一簡單說明如下：

1.駐波的形成：

波動被反射後產生兩個同頻同幅，但以相反方向行進的波動，此兩波疊加後，介質各質點僅在兩節點間振動，波形並沒有傳播，稱為駐波。

2.氣體分子在空氣柱中的振動情形：

以閉管為例說明，當聲波由管的開口端傳入管內，聲波到達閉端後，即被反射回來。反射的聲波和入射的聲波具有相同的頻率和波幅，但行進方向相反，兩者疊合形成駐波。

3.自然頻率：

任何物體發生振動時都會形成駐波，這些駐波有其特定的頻率，我們稱為此振動體的**自然頻率**。所有能振動的物體都有它本身特定的自然頻率。

4.共鳴：

假使有一外來具有週期性的震動，對於任一個可以振動的系統，若持續施加作用，則當外來震動的頻率與該系統的自然頻率相同時，即便是很微小的外來震動，均可以使該系統以相當大的振幅產生振動，此現象便稱之為**共振**。而所謂的共鳴作用，就是將物體的振動能量有效的轉換成聲波的能量便是**共**

鳴現象了。

5.共鳴管的實驗原理：

(1)實驗方法：

利用音叉靠近長管形蓄水器管口，再以象皮槌敲擊音叉，改變蓄水器水位，找到聲音極大時的水面位置，再將蓄水器降低，找到其它共鳴點。

如右圖所示。

(2)實驗原理：

如右圖，第一次產生共鳴時，水面與管口的距離為音叉所產生聲波波長 λ 的 $1/4$ 。之後管內水面每下降二分之一波長的距離時，會聽到一次共鳴。

當我們測得共鳴時水面的深度時，便可得到音叉所發出聲波的波長 λ 。再者，若知道聲音的速度 v ，我們便可算出音叉的振動頻率 f 了。

$$f = v / \lambda$$

當然了，相反的，如知道音叉的頻率 f ，我們便可算出當時的聲音速度 v 了。

從以上的理論探討，我們似乎更加堅定的認為，以固定頻率對著長管柱內的飽和硫酸銅溶液傳遞聲波，的確會因為飽和硫酸銅溶液本身的自然頻率而發生共振與共鳴現象，也因此形成了特殊的節狀結晶，除此之外每個結晶位置間的距離竟然都相當接近，雖然我們的知識尚無法了解其間的相關關係，但我們深信，此一發現將是一項重要的發現，有待日後再做深入之研究。



二、探討不同溫度對結晶的影響

由實驗所做出的數字曲線圖，幾乎可以斷定的是，硫酸銅的飽和溶解度是隨著溫度的升高而增大的。同時我們也發現到硫酸銅在形成結晶時，是有放熱的情形發生，此點在實驗結果中雖並未有提及，但對照我們所製得的表 8 及圖[28]，卻又完全吻合，因為根據化學反應平衡移動原理，當加熱溶解量越大時，則結晶時必然要放出熱量的啊！

三、探討溶液本身含有其他離子時對結晶的影響

綜合第四與第五項的實驗，我們觀察到在飽和硫酸銅溶液中只要加入其他離子，則整體的沉澱增加百分比，似乎有略微減少一些，但其實並不明顯，而且無論是加入哪種離子，都會出現突然增大的情形，我們認為這與聲波和特定成分的溶液所產生的共振有極大的關係，此一課題也是極具有研究的價值。

柒、未來展望

從剛開始與老師討論定案，我們便充滿了新鮮、好奇與滿心的期待。後來在實驗的過程中，時而充滿了驚喜，時而充斥著失望與不安。但在老師的耐心鼓勵與家長們的愛心關懷之下，終究讓我們完成這看似不可能的任務。

當整個實驗接近尾聲時，我們幾乎已完全忘記了這過去半年多來的辛苦，取而代之的卻是腦中所浮現出來的新點子：我們應該可以應用我們與老師所辛苦研究的主要成果—聲波對物質沉澱結晶的影響，來對雞蛋做聲波震盪，用以改變蛋白與蛋黃的位置甚至是形狀。例如：先找出某種特定的頻率，可能不限定是聲波，試著先將蛋黃由裡面向外面震盪出來或是將蛋黃打散開來，接著再試著利用其他輔助工具，雷射、大功率生波器或是震盪器等，將蛋黃製作並控制在某個特定位置結晶沉澱。我們最終的目的是希望製作出一種特別的雞蛋，將其煮熟後切開將呈現出一個大大的黃色『壽』或『福』或其他任何圖形的蛋黃字與圖案，如此一來一定可以造成轟動，甚至為我們的國家台灣打出另一種「台灣之光」也說不定。

基於以上的這個想法，其實我們已在實驗空暇之時略做測試實驗，如圖[36]a、b所示，只是尚無法得到我們所預期的結果而已，我們一致認為若要成功，可能要先研究各種蛋類的各項物理或是化學性質，然後才能根據這些性質，再利用我們目前研究的成效，做更進一步的探究與研發，我們很期待有一天可以在老師的指導之下，繼續完成我們的夢想。



▲圖[36]a



▲圖[36]b

捌、參考資料及其他

1. 聲音製造軟體：<http://audacity.sourceforge.net>
2. 國中理化第一、二、三冊(康軒出版、南一出版、翰林出版)
3. 高中化學第二、三冊－溶解度、飽和溶液濃度、溶液依數性
(南一出版、翰林出版)
4. 網站 <http://chem.kshs.kh.edu.tw/> 化學教學網站
5. 網站 <http://enjoy.phy.ntnu.edu.tw/> 物理教學網站

【評語】 030201

說明書書寫完整，海報版面製作精美，學生的表達能力與臨場反應均佳，駐波實驗的設計非常有趣，聲波誘導結晶的實驗頗具創意，溫度的控制宜再精確；晶種(形狀、重量、大小)格式化宜再精確。