

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 化學科

佳作

080208

精益求精「晶」

學校名稱：桃園市大溪區仁善國民小學

作者：  小六 彭方柔  小六 張怡婷  小六 李意涵  小六 廖宣閔	指導老師：  陳靜宜  余哲銘
---	-----------------------------

關鍵詞：鉍明礬、結晶、染色

## 摘要

我們延續自然課製作鹽的結晶實驗，嘗試進行明礬的結晶實驗，在購買材料時，意外的認識了「鉍明礬」，才知道明礬其實很多種！我們很好奇究竟這種「食品級」的化學原料，能不能也變成吸睛的美麗結晶？經過一連串的實驗後，我們發現：1.鉍明礬的溶解度會隨溫度升高而明顯的增加，很適合用來進行冷卻結晶的實驗。2.冷卻速度或震動都會使鉍明礬水溶液變得不穩定而容易析出晶核，使得結晶顆粒多而細小。3.附著物的材質會影響結晶析出附著的效果；附著物在水溶液中的空間結構，如形狀、粗細都會影響晶核沉降時附著的量，繼而影響總結晶量。4.洛神花、咖啡、鐵鏽等天然素材、食用色素、水彩等都可以讓鉍明礬染色；其中以食用色素效果最均勻，成色效果佳。

## 壹、研究動機

我們在自然課學到如何製作鹽的結晶，很好奇除了鹽還能用什麼做出結晶呢？後來老師介紹我們明礬也可以，我覺得很有趣，而且網路上有關明礬結晶的研究也不少！一開始我們嘗試用西藥房買來的鉀明礬做了一些小實驗，後來為了想要更多的明礬來做進一步的研究，到化工材料行買材料時，老闆介紹我們另一種的「鉍」明礬，我們進一步收集資料才知道明礬其實很多種，很好奇究竟這種常被人們添加在油條中的「食品級」化學原料，是不是也能變成吸睛的美麗結晶？於是我們勉勵自己精益求精「晶」，希望透過我們的研究能讓結晶的解密訊息再添一筆，找到可以快速製作又大又美結晶的好方法。

## 貳、研究目的

- 一、認識鉍明礬。
- 二、探究鉍明礬的溶解度與水溫變化的關係。
- 三、探究水溶液的濃度對鉍明礬結晶析出的影響。
- 四、探究冷卻速度對鉍明礬結晶析出的影響。
- 五、探究震動對鉍明礬結晶析出的影響。

- 六、探究附著物的材質對鉍明礬結晶析出的影響。
- 七、探究附著物的位置對鉍明礬結晶析出的影響。
- 八、探究附著物的大小對鉍明礬結晶析出的影響。
- 九、探究附著物的形狀對鉍明礬結晶析出的影響。
- 十、探究鉍明礬結晶染色的方法。



### 參、實驗器材

編號	器材或材料名稱	數量	編號	器材或材料名稱	數量
1	鉍明礬	25Kg	23	粗鋁線	一卷
2	塑膠量杯 1L	6 個	24	細鋁線	1 卷
3	燒杯 500ml	8 個	25	鎳絲	1 卷
4	燒杯 250ml	8 個	26	棉線	1 卷
5	透明塑膠杯	200 個	27	中國結繩	1 卷
6	卡斯爐	4 台	28	透明塑膠片	5 張
7	玻璃鍋	4 個	29	魔帶	1 卷
8	攪拌棒	6 支	30	毛根	40 根
9	溫度計	10 支	31	菜瓜布	1 塊
10	量筒	2 個	32	科技海綿	1 塊
11	電子秤	1 個	33	螺帽	4 顆
12	膠帶	1 卷	34	華司	4 顆
13	雙面膠	1 卷	35	水彩	4 色
14	冰棒棍	3 包	36	彩色筆	4 色
15	偏心馬達	一個	37	綠色色素	1 罐
16	電池	12 顆	38	紅色色素	1 包
17	電池盒	1 個	39	食用色素	4 色
18	漏斗	1 個	40	咖啡	兩杯
19	濾紙	8 張	41	洛神花	
20	透明公升盒	6 個	42	硫酸銅	
21	透明分公升盒	6 個	43	鋼棉	
22	40 倍寶石放大鏡	4 支			



## 肆、文獻探討

### 一、鉍明礬的特性、功能與用途:

鉍明礬又稱鉍礬，根據國家教育研究院雙語詞彙、學術名詞暨辭書資訊網，其化學名為硫酸鋁鉍(ammoniumalum)，與一般藥局販售的鉀明礬不同。[維基百科關於鉍明礬的說明](#)整理如下：

- 1.十二水合**硫酸鋁鉍**，俗名**鉍明礬**，化學式  $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 。
- 2.[pH](#) 值一般會在微酸的範圍內，約為 4 至 5。
- 3.硫酸鋁鉍可以抑制細菌生長。
- 4.硫酸鋁鉍不是主要的工業化學品或是實驗室常用的化學藥品，但因為它無毒且價格便宜，因此常用例如水的淨化、植物膠、瓷器水泥、體香劑、皮革製造、染整及防火織料。硫酸鋁鉍是動物驅蟲噴霧劑的常見成份。

### 二、結晶原理：

一般晶體的成長會經過三個階段，首先溶液先達到過飽和狀態，接著析出晶核，接著晶核開始成長。

(一)、過飽和溶液：在一定的溫度及壓力下，溶液中所含溶質達最大量時稱為「飽和溶液」，此時溶質溶解速率等於析出速率。當飽和溶液的溫度降低或溶劑蒸發，其溶解度降低時，若無晶體析出，此溶液為「過飽和」溶液。(其溶解的質量高於該溫度下之溶解度)。

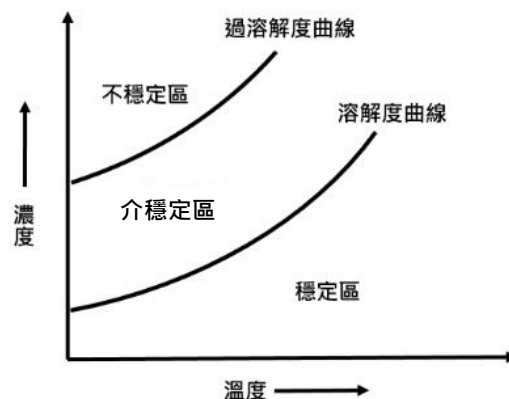
(二)、達成過飽和之方法:

- 1.冷卻法：利用溫度下降溶解度降低的現象，適合溶解度變化較大時。可是降溫太快，過飽和度快速上升，則析出大量小晶核，結晶顆粒多而細小，若要形成粗大顆粒則需緩慢降溫，讓晶體有足夠的時間生長完全。
- 2.溶劑蒸發法：適用溶質之溶解度隨溫度變化較小時。溶劑蒸發慢，過飽和度處於低狀態，此時晶核不易析出，一旦析出後晶核附近之過飽和度又下降，使第二顆晶核不易生出，因此可得較集中型，單一的大結晶。
- 3.鹽析法：在溶液中加入第三種物質，急速降低溶質之溶解度。

- (三)、形成晶核：溶質突破其析出時所需克服之能量障壁而析出成晶核。(無外力干擾造成分子間的擾動與碰撞提供能量，晶核無法析出則形成過飽和溶液)。
- (四)、晶核成長：晶核的表面逐漸沉積更多的固體，最後生長成為大型的晶體顆粒，其生長面成幾何相似形。

### 三、邁耶理論：

- (一)、穩定區：溶液未達飽和，不會析出晶體。
- (二)、不穩定區：溶液濃度高度過飽和，會迅速析出晶核的微小固體再成長成結晶。



- (三)、介穩定區：此區不形成晶核，只會附著在外加晶種上成長。由邁耶理論可以推斷，欲析出粗大顆粒，可將濃度維持在介穩定區再加入一些外加晶種，較能得到大顆晶體。相反的，讓水溶液濃度維持在不穩定區較易得到較小顆的結晶。

## 伍、研究過程與方法

### 【問題一】、水溫對鉍明礬溶解度有何影響？

**實驗 1：**以每 100 公克溶劑能溶解的溶質重來計算溶解度。

- 1.準備 20°C、30°C、40°C、50°C、60°C、70°C 及 80°C 的水各 100 克，並以水浴法隔水加熱維持水溫。
- 2.一匙一匙加入鉍明礬攪拌，直到無法溶解計算出溶解度。



### 實驗結果與發現：

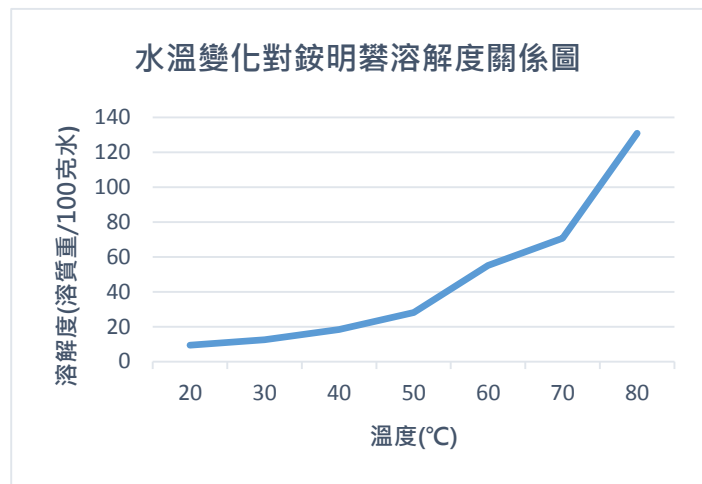
1.100 克的水，在不同水溫狀態鉍明礬溶解量紀錄如下表：

次序	水溫						
	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C
第一次	9	11.8	17.9	24.3	56.6	67.1	125.6
第二次	9.9	13.1	18.8	32.1	53.8	74.4	136.5
平均溶解量	9.45	12.45	18.35	28.20	55.20	70.75	131.05

2. 鉍明礬的溶解度隨水溫升高明顯的增加。

3. 我們發現每次加入鉍明礬後，水溫就會下降，鉍明礬溶解過程是吸熱反應。

4. 不同的水溫的飽和鉍明礬水溶液靜置 16 小時後結晶析出量各不同。從下表可以看出到



最後各種溫度的飽和水溶液會有不同的結晶量與結晶狀態。水溫較高溶解度大，但結晶顆粒較小。我們懷疑是因為冷卻速度較快造成的，值得繼續探討。

水溫	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C
2 小時後						

## 【問題二】、冷卻速度如何影響鉍明礬的結晶？

### 實驗 2-1：利用不同水溫水浴，控制冷卻速度

1. 準備 6 杯重量百分濃度 23% 的鉍明礬水溶液各 180ml，以水浴法維持在 60°C。
2. 取出水溶液，每組各兩杯分別置於 1 公升的 0°C 冰塊水、室溫水、50°C 熱水中，靜置 16 小時後觀察記錄。

冷卻方法	置於冰塊水中冷卻	置於室溫中冷卻	置於 50°C 水浴中冷卻
實驗結果			
描述	結晶顆粒形狀不規則，約 2mm 至 3mm 大小。	有 8-10mm 大小的結晶析出，稍有六角晶形。	有明顯的晶形，有一顆約 2cm 的四面體結構。





實驗結果與發現：冷卻速度越快顆粒越小，冷卻速度慢容易有較大且完整晶形析出。



## 實驗 2-2：利用水浴法觀察冷卻速度對附著物結晶的影響

- 1.準備 4 根 12 公分長的毛根，一端扭轉固定在冰棒棍，另一端保留 6 公分的長度。
- 2.準備 4 杯重量百分濃度 23%的鉍明礬水溶液各 180ml，以水浴法維持在 60°C。
- 3.分成 2 組，分別置於 0°C 冰水及室溫中冷卻。
- 4.靜置 16 小時後觀察記錄結晶情形。

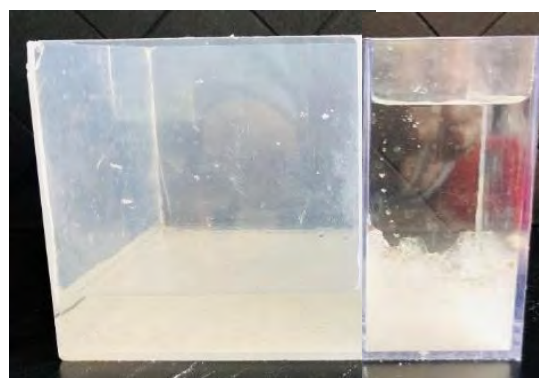
### 實驗結果與發現：

冷卻方法	置於 0°C 冰塊水中冷卻	置於室溫中冷卻
實驗裝置		
實驗結果		
結果描述	1.結晶顆粒小，約 1mm-2mm 2.越靠近底部結晶量越多。	1.結晶顆粒大，約 5-8mm。 2.靠近水面附近有較的結晶出現。

- 1.冷卻速度越快，結晶顆粒越小，析出量越多。
- 2.冰水中靠底部有較多結晶析出，應該是底部溫度較低。

### 實驗方法 2-3：利用容器開口越大散熱速度越快的原理來控制冷卻速度。

- 1.準備重量百分濃度 35%、23%及 14% 三種濃度的鉍明礬水溶液 180ml 各 2 杯，以水浴法維持在 60°C。
- 2.分別倒入截面為 10cm\*10cm、5cm\*5cm 的方形容器中，靜置 16 小時，觀察記錄結晶情形。

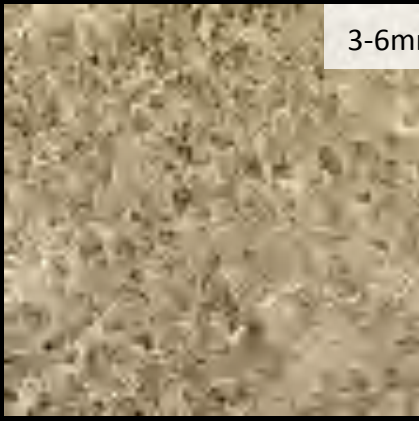

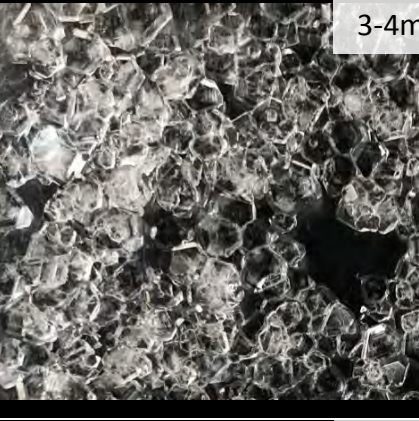
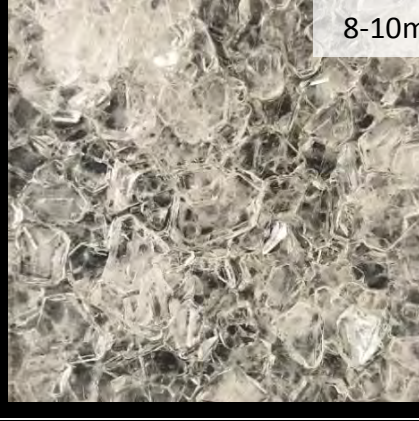

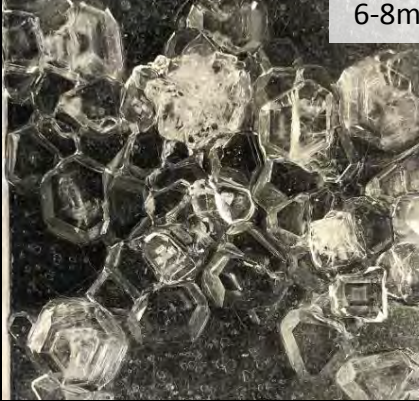


截面大小不同的兩種容器

### 實驗結果與發現：

1.截面積大散熱較快的組別不論濃度高低，結晶顆粒均較小。

2.將照片等比例裁減如下圖：

容器 截面	10cm*10cm	5cm*5cm
水溶 液濃 度 35%	 3-6mm	 8-10mm
水溶 液濃 度 23%	 3-4mm	 8-10mm
水溶 液濃 度 14%	 3-4mm	 6-8mm

3.濃度 14%這組冷卻速度較快的，所析出的晶體約 2-3mm，顆粒較小。但冷卻速度較慢這一組，結晶顆粒約 6-8mm，顆粒較大。

4.百分濃度 14%較這組晶形較完整，可能是當溫度下降進入邁耶理論的不穩定區時，因為濃度較低，能形成的晶核數量較少，當溫度繼續下降進入介穩定區時，晶體開始生長時，每個晶體有機會長得比較好，也可以形成比較完整的晶型。



**【問題三】水溶液的濃度對鉍明礬結晶析出的影響為何？**

**實驗 3-1：設計相同水溫不同溶解量進行結晶觀察。**

- 1.準備 100 克水，分別加入 10、20、30 克鉍明礬，每種重量各兩杯。並以水浴法控制水溫為 60°C。
- 2.移開水浴後，靜置於室溫環境，16 小時後進行觀察記錄。


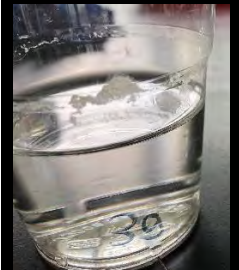

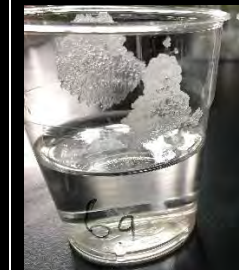
**實驗結果與發現：**

同溫(60°C)不同溶解量與析出鉍明礬量關係紀錄表			
次序 \ 溶解量 析出量	10 克	20 克	30 克
第一次	0.1 克	8.6 克	22.1 克
第一次	0.3 克	8.4 克	20.7 克
平均	0.2 克	8.5 克	21.4 克
析出百分比	2%	43%	71%

當每 100 克水溶解量達 20 克時，冷卻到室溫時約可以析出 43%，當溶解量到達 30 克時，可以析出約 21.4 克，將近 71%都析出了。

**實驗 3-2：以室溫水溶解不同量的鉍明礬來進行結晶觀察。**

**實驗結果與發現：**經過三周時間，水約蒸發減少三分之一，但除了杯壁上有部分極細的粉末狀顆粒附著外，在水溶液中並未發現結晶的析出。

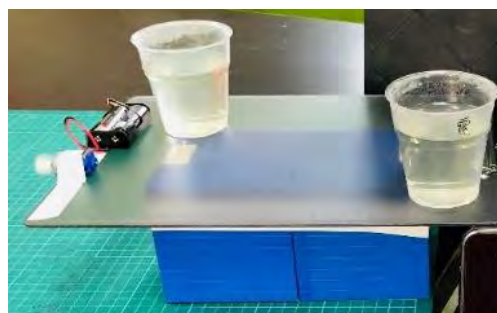
溶解量	2 克	3 克	4 克	6 克
經過 兩周後 外觀				

由實驗 3-1、3-2 的結果推論：常溫的鉍明礬水溶液不容易透過溶劑蒸發法來析出晶體。

【問題四】、震動如何影響鉍明礬結晶析出情形？

實驗 4：藉由偏心馬達震動觀察結晶析出情形。

- 1.準備 4 杯 1 重量百分濃度 23%的 50°C 鉍明礬水溶液各 180ml，並以水浴法讓溫度維持 50°C。
- 2.將能產生震動的偏心馬達串聯兩顆電池後固定在塑膠板後，固定在塑膠立方體上。
- 3.在塑膠板上放置震動實驗的兩杯水溶液。
- 4.在另一張桌子上放置另兩杯同樣的水溶液後，啟動開關，以平板錄影紀錄結晶析出變化過程，持續震動 3 小時後靜置。



偏心馬達震動實驗裝置



用平板錄影協助觀察

實驗結果與發現：

- 1.震動實驗結果紀錄：

重量百分濃度 23%的 50°C 的 130 克鉍明礬水溶液震動三小時的觀察紀錄						
	側面照	俯視照	結晶	拆解結晶	結晶重	平均
震動組					第一次	33.10 克
					34.1 克	
不振動組					第一次	20.22 克
					20.2 克	
					第二次	
					20.9 克	

- 2.震動這組實驗，可以看到許多細微顆粒一直隨著震動析出，析出後有些在水中懸浮，有些則緩緩降落。杯壁上析出的結晶也多因為震動而滑落。

3.震動組的結晶顆粒較小，但結晶析出的總量較多。根據邁耶理論推論，是震動使得水溶液處於不穩定區，因此有許多的晶核析出。而第三小時後，停止震動，水溶液進入介穩定區，晶核繼續成長。我們觀察到底層上方有一些較大的結晶，應該是這樣形成的。

### 【問題五】、附著物的材質會影響鉍明礬結晶析出嗎?

實驗 5：1.準備各種素材如下表：

類別	名稱
金屬類	鋁線、錫線、白鐵線、大華司、小華司、大螺帽、小螺帽
塑膠	塑膠繩、尼龍繩、塑膠包線、釣魚線、泡棉、菜瓜布、科技海綿
棉麻類	棉線、麻繩、細毛線
毛根	細毛毛根、塑膠材質毛根

2.每一種素材分別製作兩組總長 16 公分的樣本，固定在冰棒棍後，掛在 200 毫升的塑膠杯上。

3.準備 60°C 的飽和鉍明礬水溶液，分別量取 180 毫升倒入步驟 2.的塑膠杯中。

4.靜置三天後，觀察記錄毛根結晶的情形。













### 實驗結果與發現：

1.天然棉、麻材質：結晶較為細碎，其中麻線由於有分出來的細絲，所以結晶的組合還有分叉的現象，很特別。

材料名稱	棉線	細毛線	麻線
結晶情形			
特徵	小顆粒均勻分布。約 2-4mm。	結晶密集，顆粒大小差異大約 2-6mm。	晶體顆粒小，細絲線上也有 2-3mm 結晶析出。








(二)、塑膠、尼龍材質：表面光滑的材質容易滑落，魔帶上的晶體體積大，透明度高；菜瓜布的總量是最多的。

材料名稱	魔帶	釣魚線	尼龍繩
結晶情形			
特徵	結晶大，數量少。4-6mm。	2-5mm 左右，透明。	結晶 2-3mm，易脫落
材料名稱	膠皮鐵線(細)	膠皮鐵線(中)	膠皮鐵線(粗)
結晶情形			
特徵	大結晶術顆，部分小結群集。2-8mm。	許多小結晶聚合成似方結構。3-4mm。	許多小結晶聚合成長筒狀，偶有較大透明晶。2-3mm。
材料名稱	中國結細繩	泡綿	塑膠繩
結晶情形			
特徵	由許多細小結晶組成。3mm-5mm。	泡棉表現有一片顆粒微細的結晶。1-2mm。	許多微細顆粒組成。1-2mm。
材料名稱	菜瓜布	海綿	科技海綿
結晶情形			
特徵	表面有稜角非常清楚的結晶。10mm-14mm。	細小結晶布滿表面。2mm-3mm。	細小結晶布滿表面。2mm-3mm。



(三)金屬類：在金屬類的結晶中，螺帽和華司類與明礬水作用後，隔天即發生化學反應，表面原本光亮的金屬都被腐蝕，呈灰黑色。取出接觸空氣一段時間後，產生明顯的銹色，且表面上完全沒有結晶析出附著的痕跡，但從綁在上面的中國結繩線上的結晶，可以確認環境已達結晶成長的條件。

材料名稱	白鐵線	錫鎳線	鋁線
結晶情形			
特徵	由約 2-3mm 大小的小結晶組成。	線上沒有結晶，且顏色變灰白。	結晶形狀接近八面體，晶體大小 12-15mm。

材料名稱	小螺帽	大螺帽	小鐵片	大鐵片
結晶情形				
特徵	螺帽上面無結晶。取出後一段時間即生鏽。	上面無結晶。取出後一段時間即生鏽。	上面無結晶。取出後一段時間即生鏽。	上面無結晶。取出後一段時間即生鏽。

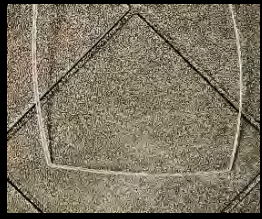


【問題六】、附著物的大小會影響鉍明礬結晶析出嗎？

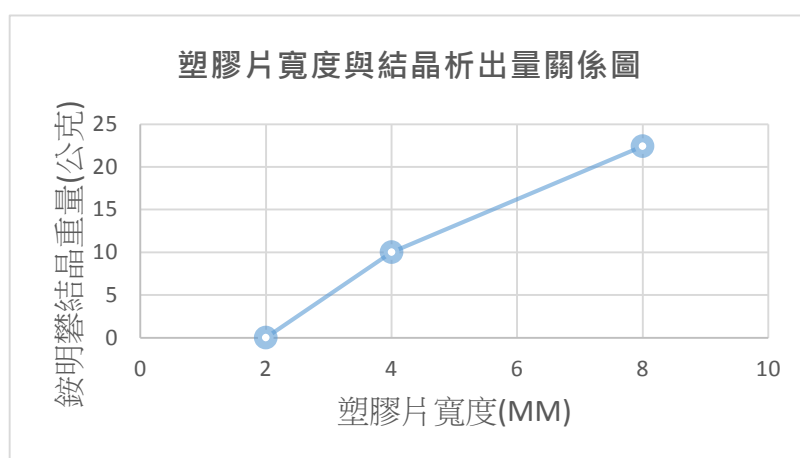
實驗 6-1：觀察不同寬度的塑膠片結晶的情形。

- 1.將塑膠片分別裁成 2mm、4mm、8mm 寬、30cm 長的塑膠條。
- 2.將塑膠條折成邊長 6cm 的正方形後，固定在冰棒棍上。
- 3.將三根冰棒棍同時移至放有 50°C 飽和的明礬水溶液中。
- 4.靜置 16 小時後，將塑膠條移出水溶液，靜置晾乾。
- 5.量秤重量後，計算出塑膠片上鉍明礬的淨重。

## 實驗結果與發現：

### 1. 實驗結果紀錄：

寬度	2mm	4mm	8mm
結晶情形			
結晶重量	0 公克	10 公克	22.4 公克








2. 塑膠片寬度對結晶析出的影響：結晶的重量隨著塑膠片的寬度接近等倍增加。

### 實驗 6-2：

1. 準備長 16 公分粗、細兩種鋁線及棉線。
2. 依照步驟 8-1 進行。

實驗結果與發現：鋁線和棉線的實驗結果，都是粗的容易有較多的結晶析出。

粗細	鋁線結晶情形	結晶重	平均重量	比較與推論
粗鋁線		第一次	2.15 克	粗、細鋁線上面的結晶顆粒大小差不多，但總量以粗鋁線較多。應該是進入不穩定區時的形成晶核後，沉降在鋁線上面一側的數量不同所致。
		2.0 克		
細鋁線		第二次	1.15 克	
		2.3 克		
細鋁線		第一次	1.15 克	
		1.6 克		
		第二次		
		0.7 克		

粗細	棉線結晶情形	結晶重	平均重量	比較與推論
粗棉線		第一次	6.85 克	粗棉線上結晶量較多，細綿線上的結晶數較少，但細綿線上的結晶顆粒較大，晶形較完整。應該也是形成晶核過程，細綿線上晶核較少而都能生長得較大。
		7.3 克		
		第二次		
		6.4 克		
細棉線		第一次	5.05 克	
		4.6 克		
		第二次		
		5.5 克		

**【問題七】、附著物的位置會影響鉍明礬結晶析出嗎?**

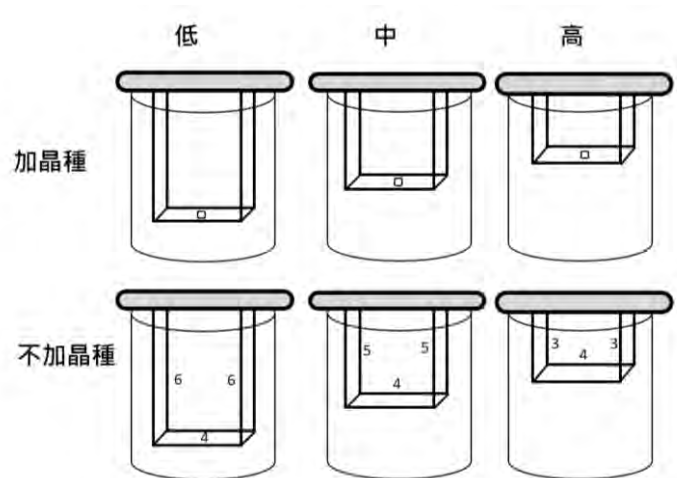
**實驗 7-1：毛根放在不同位置。**

- 1.準備八杯 60°C，180 毫升的飽和鉍明礬水溶液。
- 2.準備八個毛根，分別套在塑膠管上，扭轉成大小相同直徑 2.5 公分的圓圈。
- 3.將步驟 2.的毛根扭轉固定在冰棒棍上面後，再分別固定在步驟 1.水溶液的液面、杯底、杯側及離水底 1 公分處。
- 4.靜置三天後，觀察記錄毛根結晶的情形。

**實驗結果與發現：**我們發現毛根的位置對於毛根上的結晶樣態影響不大，但是位於杯側與杯底的毛根，較容易有大量的結晶累積。

**實驗 7-2：**


- 1.準備 12 杯 60°C 重量百分濃度 23% 180 毫升的鉍明礬水溶液。
- 2.將塑膠片裁成長 16cm 寬 8mm 的塑膠條，依照右圖圖解的方式凹折、固定在冰棒棍上，每個實驗都做兩份。




- 3.有加晶種組的作法是將晶種置於塑膠片水平那一段的中間。

### 實驗結果與發現：

1. 塑膠片越低，所析出在膠片上的結晶量越大。
2. 有加晶核的組別，結晶總量較沒加晶核的總結晶量大，晶體的大小較不平均。

塑膠片位置		高	中	低
有加晶核 實驗組 結晶情形				
重量	第一次	5.9 克	7.6 克	8.3 克
	第二次	6.7 克	7.3 克	7.9 克
	平均	6.3 克	7.45 克	8.1 克

沒有加晶核 實驗組 結晶情形				
重量	第一次	6 克	6.5 克	7.2 克
	第二次	5.2 克	6 克	7.7 克
	平均	5.85 克	6.25 克	7.45 克





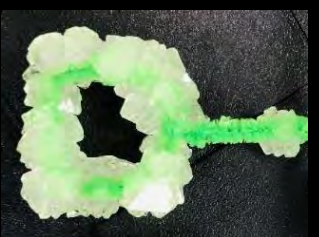

### 【問題八】、附著物的形狀會影響鉍明礬結晶析出嗎？

#### 實驗 8-1：利用不同形狀毛根來結晶

1. 準備周長相同、形狀分別為圓形、四邊形、三角形的毛根各 4 根。
2. 將步驟 1 毛根固定在冰棒棍後，掛在裝有重量百分濃度 23% 及 35%、水溫 60°C 的鉍明礬水溶液的塑膠杯上。
3. 靜置 16 小時後，觀察記錄毛根結晶的情形。

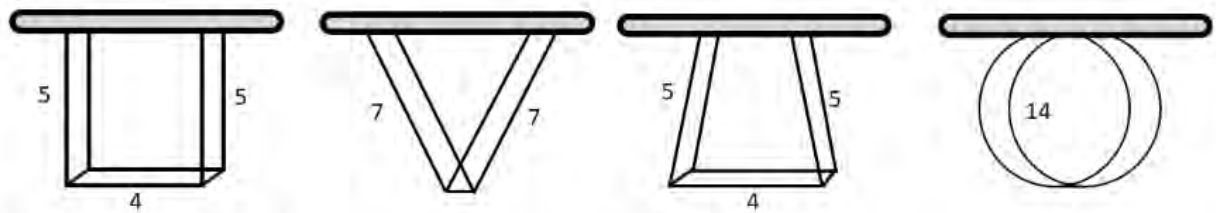
**實驗結果與發現：**從實驗結果判斷，無論哪一種濃度，毛根的形狀並不會明顯影響結晶形成的情形。



形狀	毛根摺成三角形	毛根摺成四角形	毛根摺成圓形
結晶情形			
結晶情形			

### 實驗 8-2：利用不同形狀塑膠片、鋁線來結晶


- 1.將塑膠片裁成寬 0.8cm，長 16cm 的長條共 8 條，再依照下圖的方式分別折成 U 字、V 字、梯形及圓型，並固定在冰棒棍上。



- 2.將塑膠片的冰棒棍掛在裝有 50°C 重量百分濃度 23% 的塑膠杯上。
- 3.靜置 16 小時後，觀察記錄毛根結晶的情形。
- 4.將塑膠片替換成鋁條後重複步驟 2 和 3。





### 實驗結果與發現：

- 1.不同形狀塑膠片結晶析出結果如下：

膠片形狀	方形	三角形	梯形	圓形	
結晶外觀					
結晶重	第一次	7.2 克	3.8 克	5.7 克	6.9 克
	第二次	6.9	4.8 克	4.9 克	6.9 克
	平均	7.05 克	4.30 克	607 克	6.9 克

從上表發現結晶量：方形 > 圓形 > 梯形 > 三角形。推測因為晶核形成後會向下沉澱，容易沉降在水平的表面，因此附著物水平的面積越大，越有機會攔截下沉的晶種，繼續成長使得結晶量大。方形的塑膠片，水平有較大的空間，因此可以有較多的結晶。

2.不同形狀鋁線結晶析出結果如下:

鋁線形狀		方形	三角形	梯形	圓形
結晶外觀					
結晶重	第一次	3.6 克	1 克	1 克	1.7 克
	第二次	3.4 克	0.8 克	1.8 克	1.5 克
	平均	3.5 克	0.9 克	1.4 克	1.6 克

3.從上表發現結晶量：方形 > 圓形 > 梯形 > 三角形。跟附著物為塑膠片時，有相同的排序。

4.整合三個實驗，不同素材附著的程度不同。形狀主要影響沉降過程所攔截的晶核量。

【問題九】、哪些原料可以讓鉍明礬結晶染色？

實驗 9-1：用人工色素、彩色筆及水彩染色。

1.準備重量百分濃度 23%的鉍明礬水溶液

100ml。再分別加入紅、黃、綠、藍色的水彩、彩色筆及食用色素。並以水浴法保持水溫 50°C。

2.用細綿線將 5mm 鉍明礬晶體綁好固定於冰棒棍。

3.將晶核放入步驟 1 的水溶液中，16 小時後取出，並用飽和的鉍明礬水溶液快速沖洗後擦乾。



水彩染色水和綁好的晶種。

實驗結果與發現：

1.染色觀察記錄如下表:

顏料	結晶染色情形	染色的特徵描述
水彩染		1.顏色不是很均勻。 2.有些顏料會卡進晶體的缺刻或凹中。 3.結晶內部原本綁晶核用的棉線顏色很深。
人工色素		1.顏色很鮮豔，而且結晶的八面體構造很清楚。

2.彩色筆的顏料一碰到鉍明礬水溶液便變成透明。

實驗 9-2：使用植物色素、咖啡、鐵鏽染色。

1.製作染色用水：

(1).洛神花水：用熱水浸泡 20 分鐘後，過濾出顏色水，再加入鉍明礬，調製成重量百分濃度 23% 的顏色水。

(2).鐵鏽水：將鋼絲絨沾水後放置在空氣中，待生鏽後，取出鏽水待用。

(3).咖啡水：將研磨是咖啡液體加入鉍明礬調製成重量百分濃度 23% 的顏色水。



洛神花茶過濾



洛神花茶染色水

2.用細綿線將約 5mm 的鉍明礬晶核綁好固定。

3.將晶核放入步驟 1、2、3 的水溶液中，16 小時後取出，並用飽和的鉍明礬水溶液快速沖洗後擦乾。



實驗結果與發現：如下表。

顏料	結晶染色情形	染色的特徵描述
洛神花		1.顏色呈現淡紫色。 2.結晶顆粒較小。 3.洛神花茶原為暗紅色，加入銨明礬後變成深紫色。
鐵鏽		1.顏色不是很均勻。 2.部分鐵鏽顆粒被晶體包覆。 3.大小約 1.8 公分。
咖啡		1.有好幾個四面體形結構。 2.顏色為均勻的深褐色。 3.大小約 2cm。

### 實驗方法 9-3：

- 1.準備 100 克的水加入天然色素，再加入銨明礬，調製成重量百分濃度 23%的顏色水。
- 2.用細綿線將約 5mm 的銨明礬晶核綁好固定，並放入步驟 1.的容器中。
- 3.16 小時後取出，並用飽和的銨明礬水溶液快速沖洗後擦乾。
- 4.觀察記錄結晶情形。



用 40 倍放大鏡觀察



在染色水中成長的硫酸銨晶體



## 實驗結果與發現：

顏料	結晶染色情形	染色的特徵描述
食用色素		1.顏色鮮艷。 2.顏色隨著結晶過程固定在結晶的層面間，用40倍放大鏡觀察時，可以看到結晶的痕跡及顏料附著的情形。

## 陸、討論

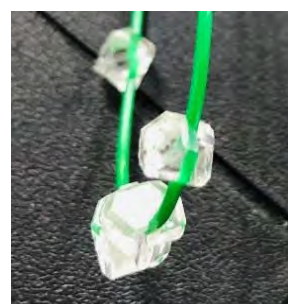
### 一、使用鉍明礬做結晶教學會比較好嗎？

鉍明礬與鉀明礬都有溶解度隨著水溫升高而明顯增加的特性，利用冷卻法可以在短時間內觀察水溶液的結晶現象，值得應用在教學上。鉍明礬的溶解度變化雖然不及鉀明礬，但因為鉍明礬是食品級的原料，相對在使用上較為安全。

水 溫	20°C	30°C	50°C	80°C
鉀明礬溶解度(溶質克數/100 克水)	12.0	18.5	36.8	195.0
鉍明礬溶解度(溶質克數/100 克水)	9.45	12.45	28.2	131.1

### 二、如何讓附著物上的結晶穩定成長？

一開始我們都是用毛根在做結晶的實驗，因為我們原本認為光滑的表面比較不容易長晶，但根據【問題五】各種材質實驗結果發現像魔帶、鋁線，表面平整卻也長了很大的結晶。而泡棉、海綿、科技海綿這類表面上有緻密小孔洞的素材，有密密麻麻細微的晶體附著，顆粒顯得微細。可能是表面光滑的物質附著不易，一旦有晶核附著，便可成長為較大的晶體。表面有孔洞的素材，可能在放入水溶液的過程中，有一些空氣一起進入了水中，造成接觸面的擾動或氣體溶解



魔帶上的結晶



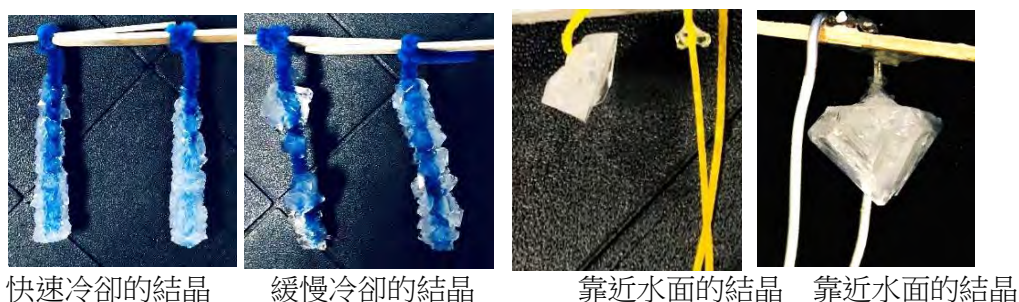
鋁線上的結晶

等過程干擾了鉍明礬的穩定狀態，使得這些表面較粗糙的素材容易有較多的晶核析出，而有較多的小結晶。

我們原本認為越高溫的鉍明礬飽和濃度越高的水溶液，所產生的結晶會越大。但是後來我們發現水溶液離開水浴後即開始冷卻，水溶液其實是處於擾動的不穩定狀態，容易產生很多晶核沉澱至底部，過多一起生長的晶核導致每個晶體都不大。後來我們改成用 80°C 以上的熱水來溶解鉍明礬，同時我們減少了鉍明礬的溶解量，在溶解完後，讓水溶液靜置，此方法可以讓結晶的顆粒較大也較透明。

### 三、為什麼靠近水面會有比較大的結晶？

由研究【問題二】可以知道冷卻會促進鉍明礬的析出，所以越靠近底部結晶析出的量越多。但是，靠近水面處，也容易有結晶析出。我們對照其他實驗組的結果，發現也有類似的現象，我們推測應與表面水蒸汽蒸發速度較快有關。



### 四、附著物的位置會影響結晶情形嗎？

根據研究【問題七】的結果：塑膠片的位置越高結晶量越少；【研究問題六】的結果：塑膠片的寬度越大，結晶的量越大；再加上實驗 8-2 塑膠片摺成方形或圓形都比梯形或 V 字形結晶量大，我們推論附著物水平的承接面越大，結晶量越大。

## 柒、結論

- 一、鉍明礬溶解度與鉀明礬的溶解度變化相似，都隨溫度提升而有明顯的增加，適合用來進行冷卻結晶的實驗活動，食品級的鉍明礬應該更安全。
- 二、快速冷卻或震動都會加速晶核析出，結晶的顆粒會較小，透明度相對較低。
- 三、附著物的表面粗糙的容易有細微的結晶；表面光滑的容易有較大的結晶。大部分的素材都可以讓結晶附著生長，只有鐵、鎳錫等素材會與鉍明礬水溶液產生反應，無法讓

晶體附著。

四、附著物的形狀、大小、位置都會影響水溶液的空間結構，進而影響水平承接鉍明礬析出晶核的量；水平方向的面積大較容易承接沉降的結晶核，增加結晶生成及成長的機會。

五、洛神花、咖啡、鐵鏽等都可以作為天然染色劑，讓鉍明礬結晶染上大地色系的色彩；水彩染色顏色較不均勻；食用色素可以染出均勻又鮮豔的色彩。

## 捌、參考資料來源

化學神的夢想世界。「化學實驗課程」溶解度-明礬結晶實驗說明~!!。  
<http://blog.udn.com/chemicalgod/2768417>

台灣師範大學化學系葉名倉教授責任編輯(2008)。晶體的生長。  
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3425>。

如寶石般的明礬結晶。中學生網站。

<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2013/11/2013111420231124.pdf>

台灣師範大學化學系葉名倉教授責任編輯(2008)。晶體的生長。  
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3425>。

硫酸鋁鉍。維基百科。

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A1%AB%E9%85%B8%E9%93%9D%E9%93%B5>

晶晶計較-明礬結晶的奧秘。中華民國第 56 屆中小學科學展覽會。

<https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/080220.pdf>

結晶(化工機械) 松山農工化科。製作。

[https://market.cloud.edu.tw/content/vocation/chemical\\_engineering/tp\\_ss/content-wa/wchm2/wpage2-5.htm](https://market.cloud.edu.tw/content/vocation/chemical_engineering/tp_ss/content-wa/wchm2/wpage2-5.htm)

神奇的硫酸鋁鉍結晶~鉍明礬。中學生網站。

<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2018/11/2018111208011803.pdf>

雙語詞彙、學術名詞暨辭書資訊網。國家教育研究院。

<http://terms.naer.edu.tw/detail/31964/>

## 【評語】 080208

本作品研究明礬結晶，題目有趣。主要工作在尋找鉍明礬結晶條件，並尋找可以快速製作又大又美結晶的方法，變因很多都有考慮到，值得鼓勵。但應說明為何要針對這些變因進行研究。在長晶解說部分清楚，仔細分析在溶液各部位的晶體成長狀況，也討論不同附載材料性質、形貌對晶體成長的影響，染色的晶體相當漂亮。但有一些錯漏，應全面檢查並修正。一些較嚴重的錯誤：如封面科別標示錯誤宜多加注意。

歷年來有關明礬結晶的參展作品或相關文獻報導已有非常多，應多強化文獻查閱，參考文獻應編號並在文中引用處標示。同時建議作者可比較與文獻作品研究方向及結論的異同處，並強調本作品有別於其他報導或作品的重要發現。在現階段的研究結論，其創新稍微不足。



## 摘要

延續自然課製作鹽的結晶實驗在購買材料時，意外的認識了食品級的「鉍明礬」，我們很好奇究竟這種「食品級」的化學原料，能不能也變成吸睛的美麗結晶？經過一連串的實驗後，我們發現：1.鉍明礬的溶解度會隨溫度升高而明顯的增加，很適合用來進行冷卻結晶的實驗。2.冷卻速度或震動都會使鉍明礬水溶液變得不穩定而容易析出晶核，使得結晶顆粒多而細小。3.附著物的材質會影響結晶析出附著的效果；附著物在水溶液中的空間結構，如形狀、粗細都會影響晶核沉降時附著的量，繼而影響總結晶量。4.洛神花、咖啡、鐵鏽等天然素材、食用色素、水彩等都可以讓鉍明礬染色；其中以食用色素效果最均勻，鐵鏽顆粒會鑲嵌在鉍明礬晶體中。

## 壹、研究動機

在自然課學到製作鹽結晶的方法，很好奇除了鹽還能用什麼做出結晶呢？網路上有關明礬結晶的研究也不少！一開始我們嘗試用西藥房買來的鉀明礬做了一些小實驗，後來到化工材料行老闆介紹我們另一種的「鉍」明礬，相關的研究不多，我們很好奇這種常被人們添加在油條中的「**食品級**」化學原料，是不是也能變成吸睛的美麗結晶？於是我們勉勵自己精益求精「晶」，希望透過我們的研究能讓結晶的解密訊息再添一筆，找到可以**快速製作**又**大**又**美**結晶的好方法。

## 貳、研究目的

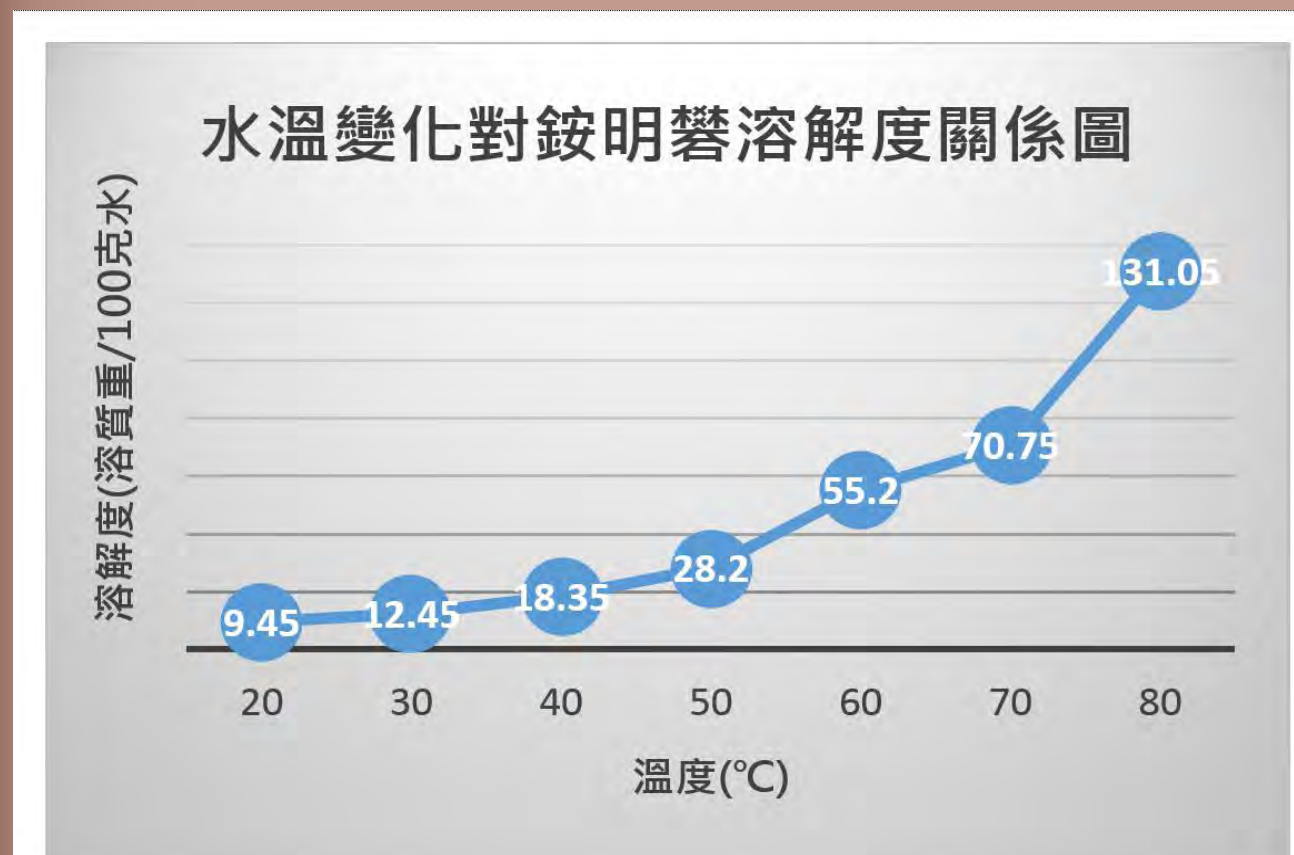
- 一、認識鉍明礬。
- 二、探究鉍明礬的**溶解度**與**水溫變化**的關係。
- 三、探究水溶液的**濃度**對鉍明礬結晶析出的影響。
- 四、探究**冷卻速度**對鉍明礬結晶析出的影響。
- 五、探究**震動**對鉍明礬結晶析出的影響。
- 六、探究**附著物**的**材質**對鉍明礬結晶析出的影響。
- 七、探究**附著物**的**位置**對鉍明礬結晶析出的影響。
- 八、探究**附著物**的**大小**對鉍明礬結晶析出的影響。
- 九、探究**附著物**的**形狀**對鉍明礬結晶析出的影響。
- 十、探究鉍明礬結晶**染色**的方法。

## 肆、研究過程與結果

### 問題一、水溫對鉍明礬溶解度有何影響？

實驗方法：測量20至80°C水對鉍明礬的溶解度。

實驗結果：



- 1.鉍明礬的溶解度隨水溫升高明顯的增加。
- 2.鉍明礬溶解過程是吸熱反應。
- 3.從飽和水溶液冷卻析出的結晶顆粒都很細小。

水溫	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C
2小時後						

### 問題二、冷卻速度對鉍明礬結晶的影響？

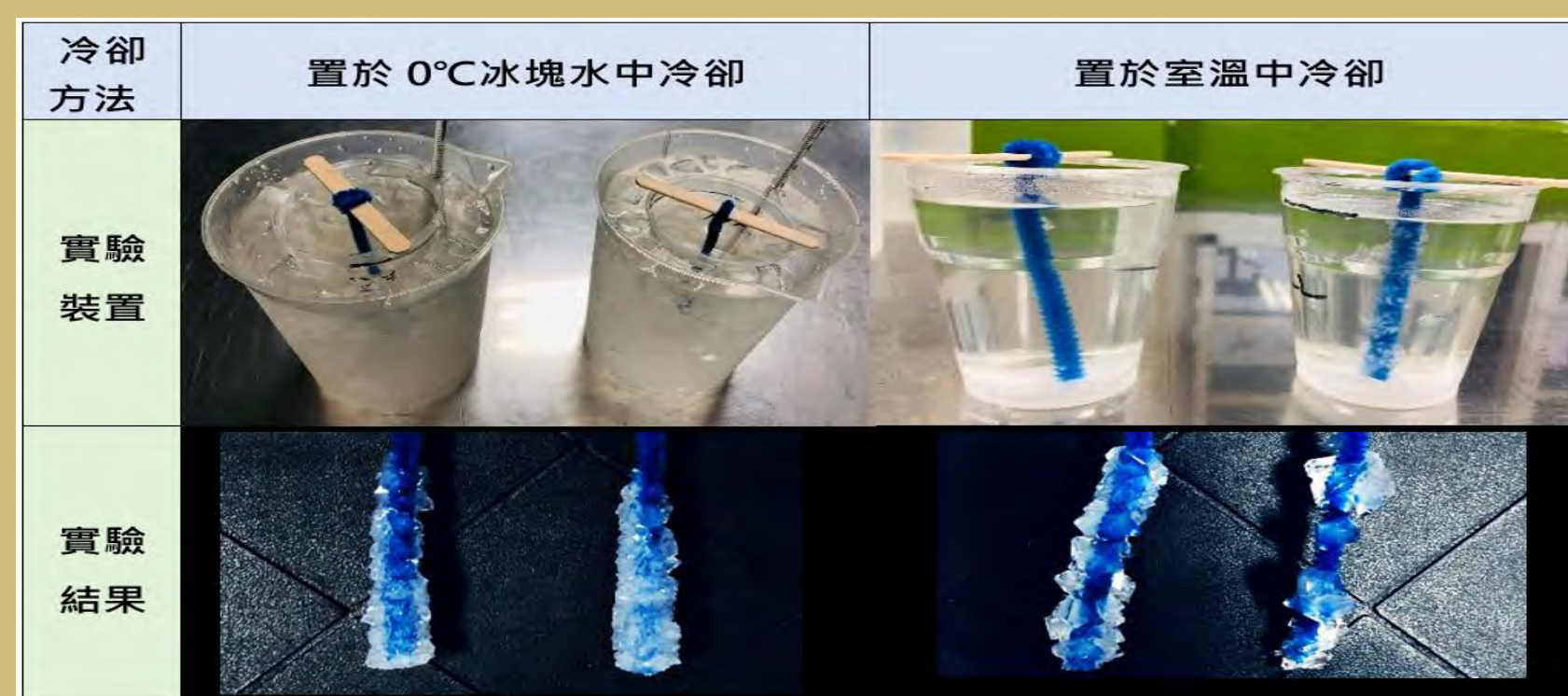
實驗方法：用不同溫度的水浴進行冷卻。

冷卻方法	冰塊水	室溫	50°C水
結晶情形			
描述	1. 形狀不規則。 2. 2-3mm。	1. 六角晶形。 2. 8-10mm。	1. 金字塔型結晶。 2. 約 2cm。

- 1.冷卻速度越快，結晶顆粒越小；冷卻速度越慢，結晶顆粒越大，晶型越完整。
- 2.毛根實驗組，冰水中靠底部有較多結晶析出，應該是底部溫度較低。

## 參、研究設備及器材

編號	材料名稱	數量	編號	材料名稱	數量	編號	材料名稱	數量
1	鉍明礬	25Kg	15	偏心馬達	1個	29	彩色筆	4色
2	塑膠量杯1L	6個	16	電池	12顆	30	粗鋁線	1卷
3	燒杯500ml	8個	17	電池盒	1個	31	細鋁線	1卷
4	燒杯250ml	8個	18	漏斗	1個	32	鎳線	1卷
5	透明塑膠杯	200個	19	濾紙	8張	33	棉線	1卷
6	卡斯爐	4台	20	公升盒	6個	34	中國結繩	1卷
7	玻璃鍋	4個	21	分公升盒	6個	35	塑膠片	5張
8	攪拌棒	6支	22	40倍放大鏡	1包	36	魔帶	1卷
9	溫度計	10支	23	紅色色素	4色	37	毛根	40根
10	量筒	2個	24	食用色素	兩杯	38	菜瓜布	1塊
11	電子秤	1個	25	咖啡	1杯	39	科技海綿	1塊
12	膠帶	1卷	26	洛神花		40	螺帽	4顆
13	雙面膠	1卷	27	硫酸銅		41	華司	4顆
14	冰棒棍	3包	28	綠色色素	1罐	42	水彩	4色



### 問題三、濃度對鉍明礬結晶有何影響？

實驗方法：用不同初溫、不同濃度進行結晶觀察。

常溫組	溶解量	10 克	12 克	14 克
經過兩週後外觀				

不同濃度，初溫 60°C冷卻析出鉍明礬結晶紀錄表			
溶解量/重量百分濃度	10 克/9%	20 克/16%	30 克/23%
平均析出量	0.2 克	5.2 克	16.15 克
析出百分比	0.18%	4.33%	12.42%
結晶情形			
不同濃度，初溫 80°C冷卻析出鉍明礬結晶紀錄表			
平均析出量	0.4 克	6.35 克	17.15 克
析出百分比	0.36%	5.29%	13.19%
結晶情形			

- 實驗結果：1.濃度越高，析出的結晶量較多。  
2.相同濃度，起始溫度越高，形成的結晶越大。我們改採用90°C以上的熱水來溶解鉍明礬，同時我們採用重量百分濃度23%，溫度要降到°C才到達飽和，可以在完全溶解完後，讓水溶液靜置一段時間，此方法可以讓結晶的顆粒較大也較透明。



### 問題四、震動如何影響鉍明礬結晶析出情形？

實驗方法：藉由偏心馬達震動觀察結晶析出情形。

實驗結果與發現：

- 震動實驗組的水面、杯壁、液體中都不斷以結晶顆粒析出、沉降。
- 震動組的結晶顆粒較小，但結晶析出的總量較多。



重量百分濃度 23% 的 50°C 的 130 克鉍明礬水溶液震動三小時的觀察紀錄

	側面照	俯視照	結晶	拆解結晶	結晶重	平均
震動組					第一次	33.10 克
					34.1 克	
不振動組					第一次	20.22 克
					20.2 克	
					第二次	
					32.1 克	
					20.9 克	

### 問題五、附著物的材質會影響鉍明礬結晶析出嗎？

實驗方法：利用不同材質靜置於鉍明礬水溶液結晶進行觀察。

實驗結果：

天然棉、麻材質結晶析出情形

- 天然棉、麻材質：結晶較為細碎。
- 塑膠、尼龍材質：魔帶上的晶體體積大，透明度高；菜瓜布的總量是最多的。而泡棉、海綿、科技海綿這類表面上有緻密小孔洞的素材，有密密麻麻細微的晶體附著。可能是表面光滑的物質附著不易，一旦有晶核附著，便可成長為較大的晶體。表面有孔洞的素材，可能在放入水溶液的過程中，有一些空氣一起進入了水中，造成接觸面的擾動或氣體溶解等過程干擾了鉍明礬的穩定狀態，而有較多的晶核析出。

名稱	棉線	細毛線	麻線
結晶情形			
特徵	小顆粒均勻分布，約 2-4mm。	結晶密集，顆粒大小差異大約 2-6mm。	晶體顆粒小，細絲線上也有 2-3mm 結晶析出。

塑膠、尼龍材質結晶析出情形

名稱	魔帶	釣魚線	尼龍繩	膠皮繩(細)	膠皮繩(中)	膠皮繩(粗)
結晶情形						
特徵	結晶大，數量少。4-6mm。	2-5mm 左右，透明。	結晶 2-3mm，易脫落	大結晶兩顆，部分小結晶集。2-8mm。	許多小結晶聚合成似方結構。3-4mm。	小結晶聚合成長筒狀，偶有大透明晶 2-3mm。

名稱	中國結細繩	泡棉	塑膠繩	菜瓜布	海綿	科技海綿
結晶情形						
特徵	結晶大，數量少。4-6mm。	2-5mm 左右，透明。	結晶 2-3mm，易脫落	大結晶兩顆，部分小結晶集。2-8mm。	許多小結晶聚合成似方結構。3-4mm。	小結晶聚合成長筒狀，偶有大透明晶 2-3mm。

金屬類材質結晶析出情形

名稱	白鐵線	錫線	鋁線	小螺帽	大螺帽	小鐵片	大鐵片
結晶情形							
特徵	2-3mm 大小的小結晶組成。	線上沒有結晶顏色變灰白。	形狀近八面體，12-15mm。	螺帽上無結晶，取出後即生鏽。	螺帽上無結晶，取出後即生鏽。	華司上無結晶，取出後即生鏽。	華司上無結晶，取出後即生鏽。

3. 金屬類的結晶中鐵製品及錫線表面有顏色變化，但均無結晶析出。

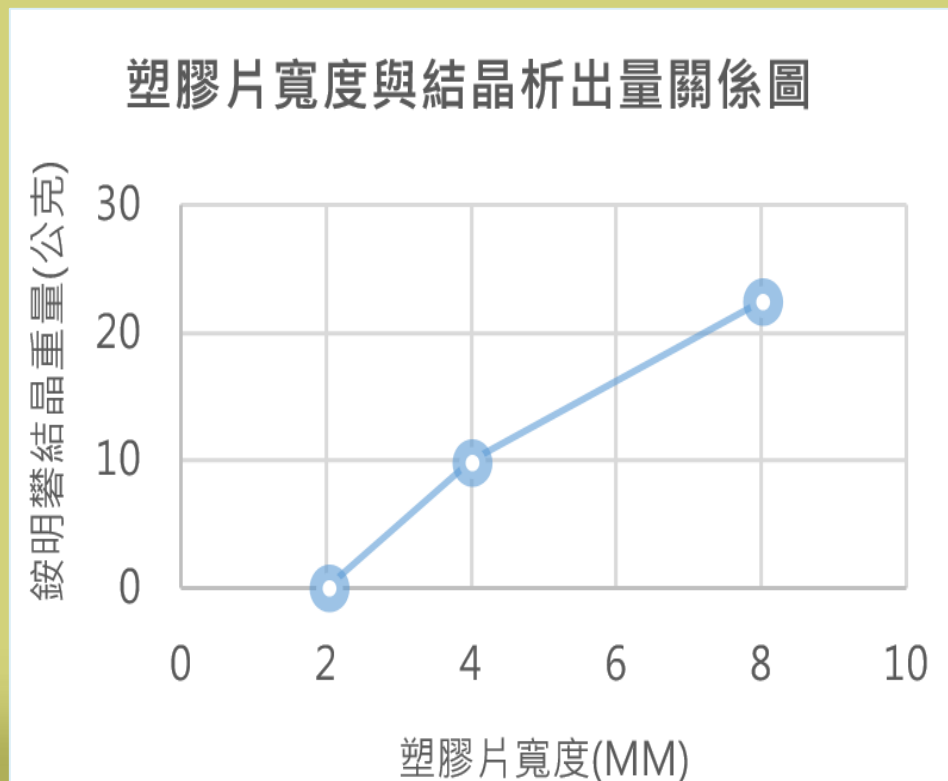
### 問題六、附著物的大小會影響鉍明礬結晶析出嗎？

實驗方法：觀察不同寬度的附著物結晶的情形。

實驗結果：1. 塑膠片越寬，總結晶量越大。

不同寬度塑膠片結晶析出情形

寬度	2mm	4mm	8mm
結晶情形			
結晶重量	0 公克	10 公克	22.4 公克



2. 粗、細鋁線上面的結晶顆粒大小差不多，但總量以粗鋁線較多。

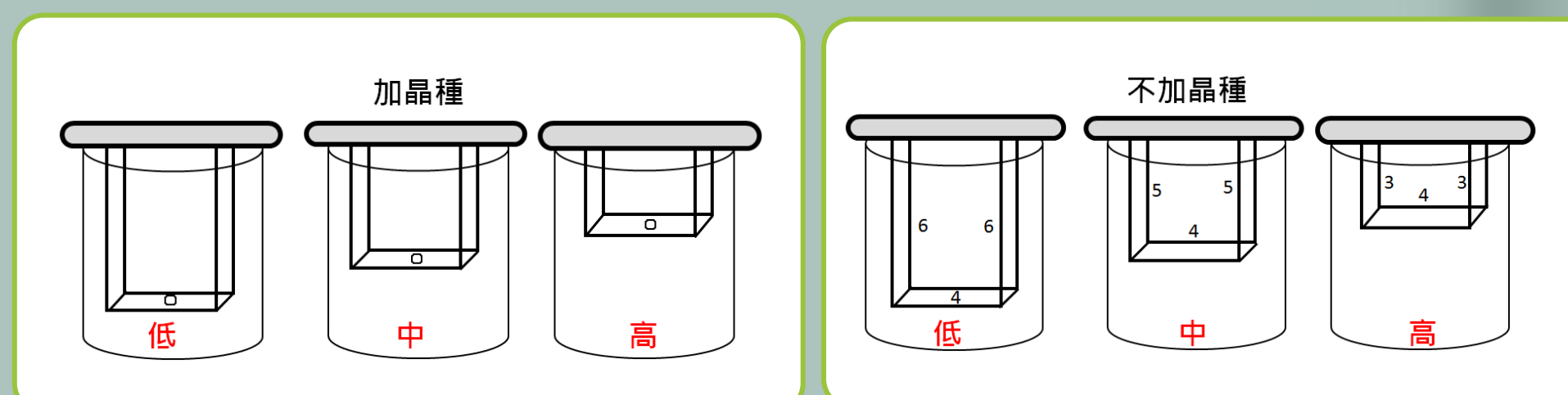
3. 粗棉線上結晶量較多，細棉線上的結晶數較少，但細棉線上的結晶顆粒較大，晶形較完整。

不同寬度鋁條、棉繩結晶析出情形

粗細	鋁線結晶情形	結晶重	平均重量
粗鋁線		第一次	2.15 克
		2.0 克	
細鋁線		第二次	1.15 克
		2.3 克	
粗棉線		第一次	6.85 克
		7.3 克	
細棉線		第二次	5.05 克
		6.4 克	
粗棉線		第一次	6.85 克
		7.3 克	
細棉線		第二次	5.05 克
		6.4 克	
粗棉線		第一次	6.85 克
		7.3 克	
細棉線		第二次	5.05 克
		6.4 克	

### 問題七、附著物的位置會影響鉍明礬結晶嗎？

實驗方法：將塑膠片固定在不同水平高度進行結晶實驗。



實驗結果：

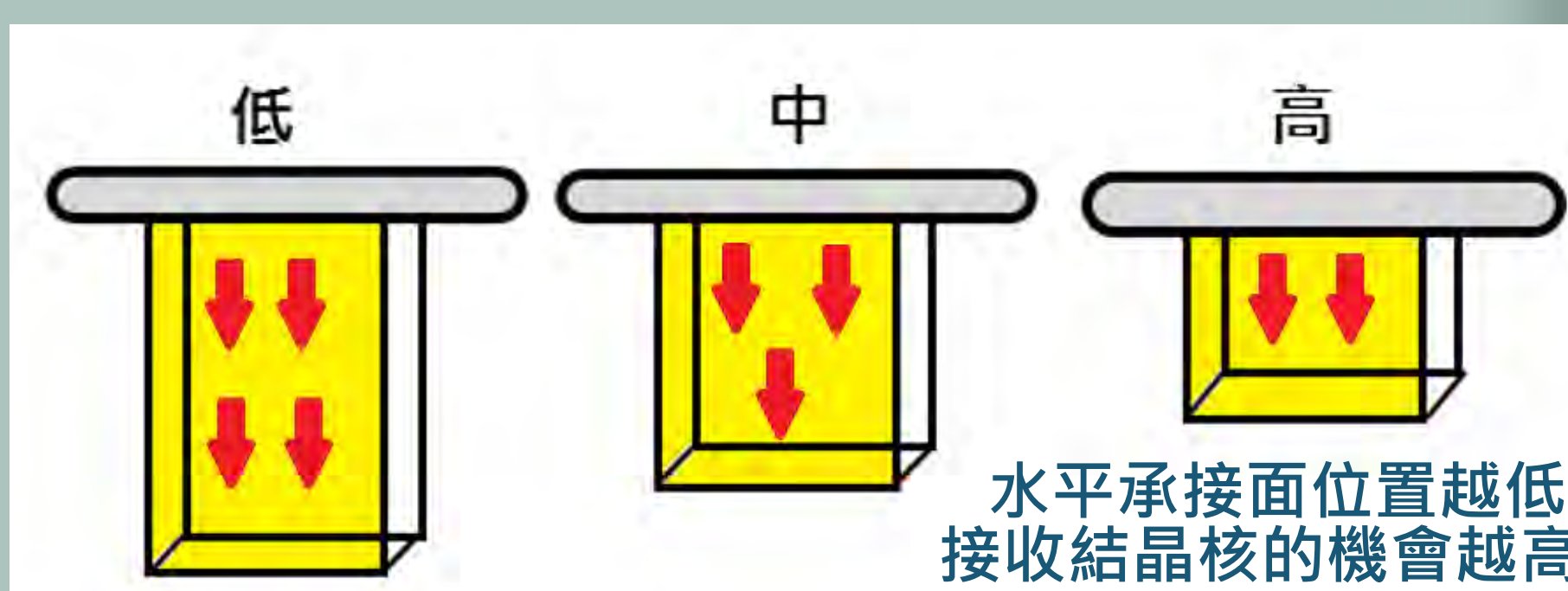
附著物在不同水平高度結晶情形(有晶種)

塑膠片位置	高	中	低
結晶情形			
重量	第一次	5.9 克	7.6 克
	第二次	6.7 克	7.3 克
	平均	6.3 克	7.45 克

附著物在不同水平高度結晶情形(無晶種)

塑膠片位置	高	中	低
結晶情形			
重量	第一次	6 克	7.2 克
	第二次	5.2 克	7.7 克
	平均	5.85 克	7.45 克

- 塑膠片水平位置越低，所析出在膠片上的結晶量越大。
- 有加晶核的組別，結晶總量較沒加晶核的總結晶量大，晶體的大小較不平均。

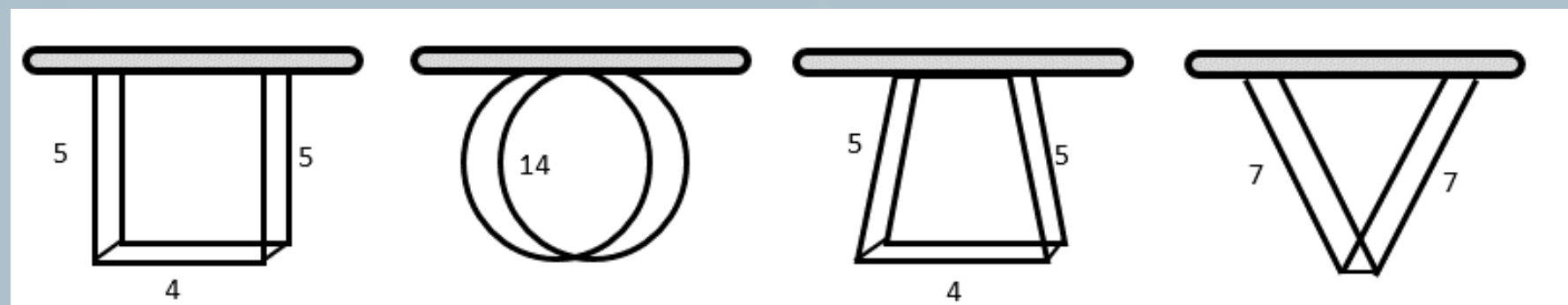


3. 塑膠片所為的空間越大，形成晶核的機會也越大，沉降後落在水平承接面的晶核量也越多。



## 問題八、附著物的形狀會影響鉍明礬結晶嗎？

實驗方法：用同長度不同形狀塑膠片、鋁線來結晶



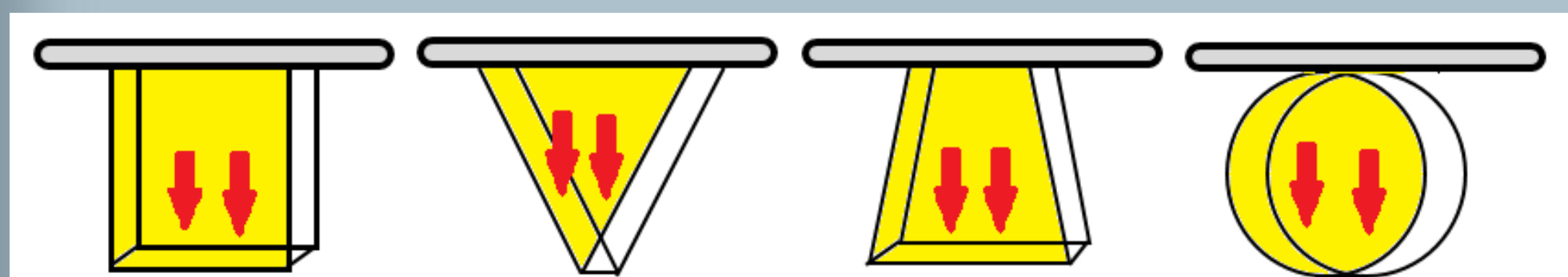
實驗結果：不同形狀的塑膠片上的結晶情形

膠片形狀	方形	圓形	梯形	三角形
結晶外觀				
結晶重	第一次	7.2 克	6.9 克	5.7 克
	第二次	6.9 克	6.9 克	4.8 克
	平均	7.05 克	6.9 克	6.07 克

不同形狀的鋁線上的結晶情形

鋁線形狀	方形	圓形	梯形	三角形
結晶外觀				
結晶重	第一次	3.6 克	1.7 克	1 克
	第二次	3.4 克	1.5 克	0.8 克
	平均	3.5 克	1.6 克	0.9 克

從上表發現結晶量：方形 > 圓形 > 梯形 > 三角形。推測因為晶核形成後會向下沉澱，而承接面上的空間越大，所包含的水溶液也越多，可以形成晶核的數量也越多。



不同形狀空間晶核沉降示意圖

## 問題九、哪些原料可以讓鉍明礬結晶染色？

實驗方法：用人工色素、水彩及食用色素及天然染色劑加入鉍明礬水溶液作為染色水進行染色實驗。實驗結果：

顏料	水彩	人工色素
染色情形		
特徵描述	1.顏色不是很均勻。 2.有些顏料會卡進晶體的缺刻或凹中。 3.結晶內部原本綁晶核用的棉線顏色很深。	1.顏色很鮮豔，而且結晶的八面體構造很清楚。

顏料	食用色素	染色的特徵描述
染色情形		1.顏色鮮豔。 2.顏色隨著結晶過程固定在結晶的層面間，用40倍放大鏡觀察時，可以看到結晶的痕跡及顏料附著的情形。

顏料	洛神花染	鐵鏽染	咖啡染
染色情形			
特徵描述	1.顏色呈現淡紫色。 2.結晶顆粒較小，約1公分。	1.顏色不是很均勻。 2.鐵鏽顆粒被晶體包圍。 3.大小約1.8公分。	1.有幾個四面體結構。 2.顏色為均勻的深褐色。 3.大小約2cm。

- 鐵鏽水雖有許多懸浮顆粒，但仍有明顯的晶型析出，甚至包覆部分鐵鏽顆粒。
- 咖啡的晶型由數個四面體結構組成，很特別。
- 食用色素染色均勻，且有助於觀察結晶層面。

## 伍、討論

### 一、使用鉍明礬做結晶教學會比較好嗎？

鉍明礬與鉀明礬都有溶解度隨著水溫升高而明顯增加的特性，利用冷卻法可以在短時間內觀察水溶液的結晶現象，值得應用在教學上。鉍明礬的溶解度變化雖然不及鉀明礬，但因為鉍明礬是食品級的原料，相對在使用上較為安全。

鉀明礬、鉍明礬溶解度比較表

水溫	20°C	30°C	50°C	80°C
鉀明礬溶解度	12.0	18.5	36.8	195.0
鉍明礬溶解度	9.5	12.5	28.2	131.1

### 二、附著物大小會影響結晶情形嗎？

根據研究【問題七】的結果：塑膠片的位置越高結晶量越少；【研究問題六】的結果：塑膠片的寬度越大，結晶的量越大；再加上實驗8-2塑膠片摺成方形或圓形都比梯形或V字形結晶量大，我們推論附著物上方空間越大或水平的承接面越大，結晶量越大。

## 陸、結論

- 鉍明礬與鉀明礬的溶解度變化相似，都隨溫度提升而有明顯的增加，適合用來進行冷卻結晶的實驗活動，食品級的鉍明礬應該更安全。
- 以90-100°C的熱水調製重量百分濃度約23%的鉍明礬水溶液後，減緩冷卻速度或避免震動都可以避免晶核大量析出而能在較短的時間內(約4小時)生成較大且完整的結晶。
- 大部分的素材都可以讓結晶附著生長，表面光滑的附著物容易有較大的結晶。金屬類的鐵、鎳、錫等素材會與鉍明礬水溶液產生反應，無法讓晶體附著。
- 附著物的形狀、大小、位置都會影響水溶液的空間結構，進而影響水平方向承接鉍明礬析出晶核的量；水平方向的面積大較容易承接沉降的結晶核，增加結晶生成及成長的機會。
- 洛神花、咖啡、鐵鏽等都可以作為天然染色劑，讓鉍明礬結晶染上大地色系的色彩；水彩染色顏色較不均勻；食用色素可以染出均勻又鮮豔的色彩。

## 柒、參考資料

- 化學神的夢想世界。「化學實驗課程」溶解度-明礬結晶實驗說明~!!。 <http://blog.udn.com/chemicalgod/2768417>
- 台灣師範大學化學系葉名倉教授責任編輯(2008)。晶體的生長。 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3425>。
- 如寶石般的明礬結晶。中學生網站。 <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2013/11/2013111420231124.pdf>
- 台灣師範大學化學系葉名倉教授責任編輯(2008)。晶體的生長。 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3425>。
- 硫酸鉍。維基百科。 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A1%AB%E9%85%B8%E9%93%9D%E9%93%B5>
- 晶晶計較-明礬結晶的奧秘。中華民國第56屆中小學科學展覽會。 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/080220.pdf>
- 結晶(化工機械) 松山農工化科。製作。 [https://market.cloud.edu.tw/content/vocation/chemical\\_engineering/tp\\_ss/content-wa/wchm2/wpage2-5.htm](https://market.cloud.edu.tw/content/vocation/chemical_engineering/tp_ss/content-wa/wchm2/wpage2-5.htm)
- 神奇的硫酸鉍結晶~鉍明礬。中學生網站。 <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2018/11/2018111208011803.pdf>
- 雙語詞彙、學術名詞暨辭書資訊網。國家教育研究院。 <http://terms.naer.edu.tw/detail/31964/>