

花蓮縣第 65 屆國民中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：化學科

組 別：國小 A 組

作品名稱：精益求精「晶」～我的寶石夢



關鍵詞：過飽和溶液、結晶、養晶

編號：

目錄

摘要.....	01
壹、研究動機.....	02
貳、研究目的.....	02
參、研究設備及器材.....	03
肆、文獻探討.....	03
伍、研究過程、結果與討論.....	05
陸、結論.....	24
柒、參考文獻.....	26

摘要

本研究主要在探討如何製成美麗的結晶。首先，我們分別找出藍礬、明礬、紫礬適合結晶的條件，接著用不同養晶法分別進行晶體的培養，進行「包心結晶」實驗，最後嘗試「混合結晶」的可能。我們得到以下結果：

1. 在短時間內製作出藍礬、明礬、紫礬美麗的結晶，並將其養大。
2. 我們與過去科展的研究最大不同的是製作出【八面體】之明礬、明紫礬混晶，與之前文獻中培養出的結晶是六邊形或金字塔形狀之結晶有所不同。
3. 利用培養皿養晶要培養成八面體的晶體，必須將晶體時常翻面培養，關鍵是每次將最小的面朝下。
4. 明礬與紫礬能形成【包心結晶】。
5. 明礬與紫礬能形成【混合結晶】，調整明礬與紫礬的比例，可以得到不同深淺的紫色結晶。

壹、研究動機

因為之前看到學長姐科展時有做出漂亮 X 圖型的食鹽結晶，跟原本的食用鹽顆粒長得差異真大。後來老師又在課堂上播放透過調配不同鹽類過飽和水溶液可以長出美麗結晶的影片，令我們感到十分驚艷，我們也想試試看是否能研究出在短時間內製作出擁有美麗形狀和顏色的結晶。因此，我們想用藍礬、明礬、紫礬作為此次研究的對象，因為他們的結晶形狀和顏色都很吸引我們。

另外，我們還想把這些美麗的結晶養大，就像夢幻中的寶石一樣美麗！除此之外，我們也了解他們分別結晶之後可以在不同鹽類水溶液中互相包覆結晶嗎？如果將不同溶質在水中互相混合，可以形成不同顏色或形狀的美麗結晶嗎？我們心中有著很多的疑問，於是請教老師指導我們研究這個主題，著手開始蒐集資料，並進行了許多關於結晶的實驗。

貳、研究目的

一、探討如何製成美麗的結晶晶種？

- (一) 探討不同濃度的「藍礬」溶液結晶情形
- (二) 探討不同濃度的「明礬」溶液結晶情形
- (三) 探討不同濃度的「紫礬」溶液結晶情形

二、探討如何將美麗的結晶養大？

- (一) 緩慢蒸發法 (1. 培養皿養晶法、2. 懸吊式養晶法)

三、探討是否能形成「包心結晶」？

- (一) 將「藍礬」晶種分別放入明礬、紫礬過飽和水溶液中
- (二) 將「明礬」晶種分別放入藍礬、紫礬過飽和水溶液中
- (三) 將「紫礬」晶種分別放入藍礬、明礬過飽和水溶液中

四、探討是否能形成「混合結晶」？

- (一) 將「藍礬」、「明礬」混和，製作過飽和水溶液
- (二) 將「藍礬」、「紫礬」混和，製作過飽和水溶液
- (三) 將「明礬」、「紫礬」混和，製作過飽和水溶液

五、根據「混合結晶」之實驗結果，探討【明礬+紫礬】如何製作成淡紫色【明紫礬結晶】並將其養大成夢幻的粉紫晶鑽？

參、研究設備及器材

- 一、 設備：放大鏡、手機、電子磅秤、電腦、防潮箱。
- 二、 器材：燒杯、玻璃棒、量筒、刮勺、培養皿、三腳架及陶瓷纖維網、瓦斯燈、溫度計、滴管、濾紙、漏斗、鑷子、尺。
- 三、 藥品：硫酸銅(藍礬)($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)、硫酸鋁鉀(明礬)($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)、硫酸鉻鉀(紫礬)($\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)

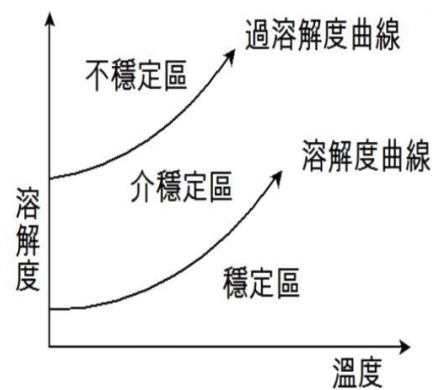
肆、文獻探討

一、名詞解釋：

- (一) 溶解度：是指定溫、定壓時，每單位飽和溶液中所含溶質的量。
- (二) 飽和溶液：一種物質能夠被溶解的最大程度。用「每100公克溶劑能溶解的溶質重」表示之。
- (三) 未飽和溶液：當濃度低於飽和溶液溶解度的溶液，稱為未飽和溶液。
- (四) 過飽和溶液：當濃度高於飽和溶液溶解度的溶液，稱為過飽和溶液。

二、邁耶理論：

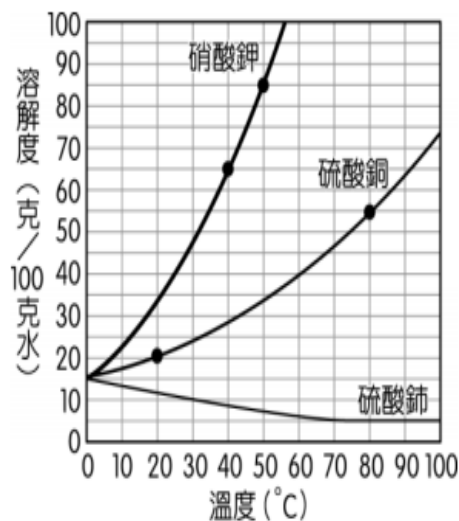
- (一) 穩定區(安定區)：位於溶解度曲線下方，為不飽和水溶液，不會形成結晶。
- (二) 介穩定區(準安定區)：只能成長晶體不能生成晶體，故需加入少數微小晶體，作為晶種；如控制得當，可得較大之晶體。
- (三) 不穩定區(不安定區)：位於過溶解度曲線(又稱過飽和曲線)上方，會有大量微小晶體析出，使晶體無法長大，故成為微小的晶體。



三、五水合硫酸銅 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ — 藍礬（內容節錄自維基百科）

五水合硫酸銅是無水硫酸銅粉末的結晶體，化學式 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ，為藍色固體，故俗名為藍礬、膽礬。無水硫酸銅，化學式 CuSO_4 ，為白色粉末，或因不純而呈淡灰綠色，是可溶性銅鹽。其水溶液因水合銅離子的緣故而呈現出藍色，故在實驗室裡無水硫酸銅常被用於檢驗水的存在。其晶體結構屬斜方晶系。溶解度為20g/100g水（20℃）

硫酸銅可以用於殺滅真菌。與石灰水混合後生成波爾多液，用於控制檸檬、葡萄等作物上的真菌。硫酸銅也可用於除藻，其機制為銅離子穿透細胞壁取代葉綠素中的鎂離子，使葉綠體無法行光合作用，進而滅亡。



四、硫酸鋁鉀 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ — 明礬（內容節錄自維基百科）

硫酸鋁鉀 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 又稱鉀明礬、鉀鋁礬、鉀礬、十二水合硫酸鋁鉀，其為由硫酸鉀和硫酸鋁形成的含結晶水之複鹽，由於是礬類中最重要成員，又直接簡稱為明礬。明礬結晶為極易溶於水中的無色或白色的八面體晶體，其晶體結構屬異極性三方晶系。溶解度為12 g/100g 水(20℃)

硫酸鋁鉀可以用作淨化水質、鞣製皮革、當作發粉（油條、冬粉）或者代替硫酸鋁作凡拉明藍防染劑。硫酸鋁鉀也可以添加在化妝品中當作除臭劑，或為刮鬍子時造成的小傷口當作止血劑。

五、硫酸鉻鉀 $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ — 紫礬（內容節錄自維基百科）

硫酸鉻鉀，化學式為 $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ，深紫色晶體，又稱紫礬、鉻礬、鉻明礬，是一種複鹽，無水時為灰褐色粉末，可用於皮革鞣製。晶體結構屬立方晶系，溶解度24 g/100g 水（20 °C）。

伍、研究過程、結果與討論

一、探討如何製成美麗的結晶晶種？

(一) 探討不同濃度的「藍礬」溶液結晶情形：

製作不同濃度的藍礬水溶液，尋找最適合的結晶濃度。

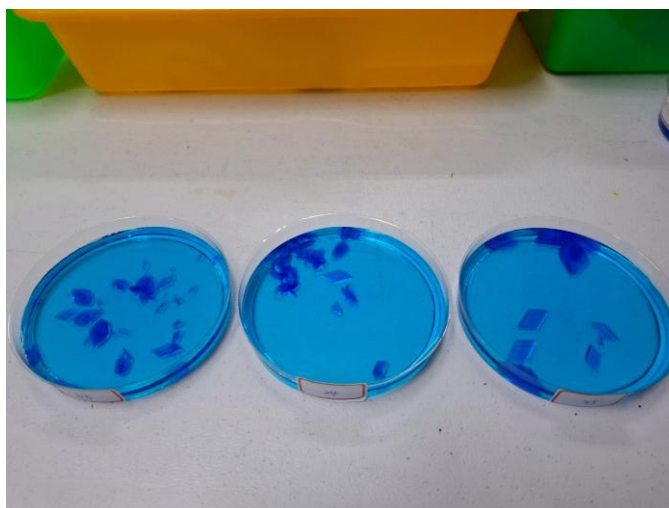
1. 實驗方法：

從文獻中知道五水合硫酸銅的溶解度會隨著溫度上升而提高，當溶液溫度降低時，溶解度也跟著降低，無法溶解的硫酸銅便會析出長成晶體。當時我們實驗室的溫度約 20 度，根據文獻五水合硫酸銅此時的溶解度約 20 克/100 克水。若熱水溫度達 75 度左右，溶解度約 50 克/100 克水，當溶液緩慢降至室溫後，理論上便會析出約 30 克左右的結晶。為了瞭解在甚麼濃度下能製作出美麗的晶種，我們用 50 克水依比例調配 3 種濃度來比較：

- (1) 將五水合硫酸銅 23 克、24 克、25 克分別置於 50 克水中加熱充分攪拌至完全溶解，製作成過飽和水溶液。
- (2) 分別將三杯水溶液趁熱過濾後，倒入培養皿中。
- (3) 覆蓋廚房紙巾，並放置於「防潮箱」。
- (4) 待降至室溫後移除廚房紙巾，觀察比較結晶情形。

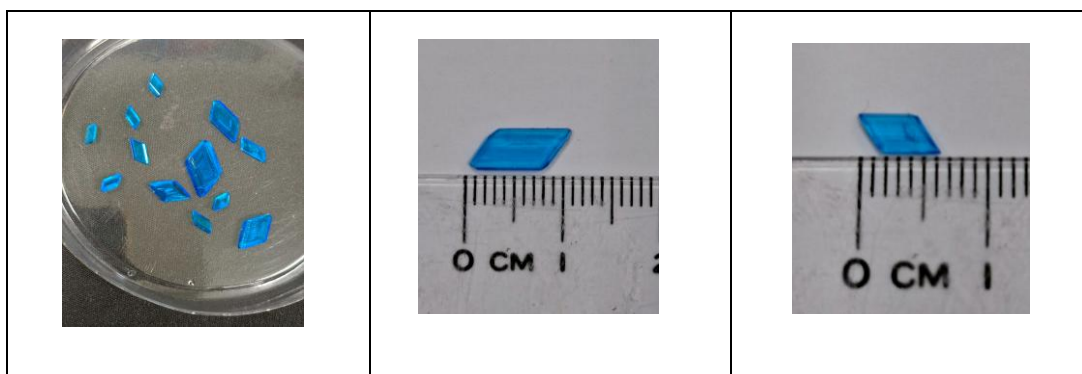
2. 實驗結果：

- (1) 一天後觀察結晶狀況，由左而右分別為五水合硫酸銅 23 克、24 克、25 克之結晶情形。



- (2) 我們發現，在這三個濃度都可以培養出晶種，但以濃度 25 克/50 克水這組得到的結晶最完整最美。

(3) 兩天後取出結晶當晶種。



➤ 討論：

1. 這個實驗我們做了三次，前 2 次花了一個星期，三種水溶液皆沒有成功製作成美麗的結晶，只有細小的結晶。如下圖：



我們認為有兩個原因造成失敗：

- (1) 可能是天氣不穩定剛好遇到寒流溫度驟降，以至於形成許多雜晶，導致難以形成完美結晶。
 - (2) 我們攪拌完後沒有馬上過濾，等到降至室溫才過濾，因為過飽和溶液降至室溫後經過搖晃容易產生不穩定，來到邁耶理論中的不穩定區，容易產生細小的結晶，不利於晶體的成長。
2. 針對以上兩個可能原因，我們做了改變：
- (1) 將調配好的溶液馬上過濾並覆蓋廚房紙巾，避免灰塵影響結晶。
 - (2) 將溶液放置於「防潮箱」內避免氣溫變化降溫過快而導致產生細小結晶，待降至室溫後再移除廚房紙巾。
- 最後，第三次我們更改了兩個做法後，終於有成功地結晶。

(二) 探討不同濃度的「明礬」溶液結晶情形

製作不同濃度的明礬水溶液，尋找最適合的結晶濃度。

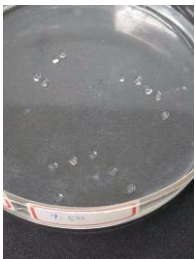
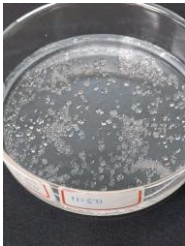
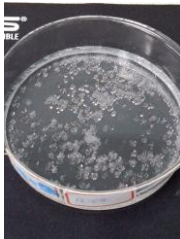
1. 實驗方法：

從文獻中知道明礬溶解度為 12g/100g 水 (20°C)，若 50 克水，於室溫 20 度可溶解 6 克明礬。基於此，我們用 50 克水，調配 4 種濃度來觀察：

- (1) 用 50 克的熱水（約 50 度），分別加入 9 克、10 克、11 克、12 克的明礬充分攪拌至完全溶解，製成過飽和明礬水溶液。
- (2) 將溶液分別過濾後，倒入培養皿中。
- (3) 分別放置於防潮箱內，覆蓋廚房紙巾避免灰塵落入。
- (4) 待降至室溫後移除廚房紙巾，觀察比較結晶情形。

2. 實驗結果：

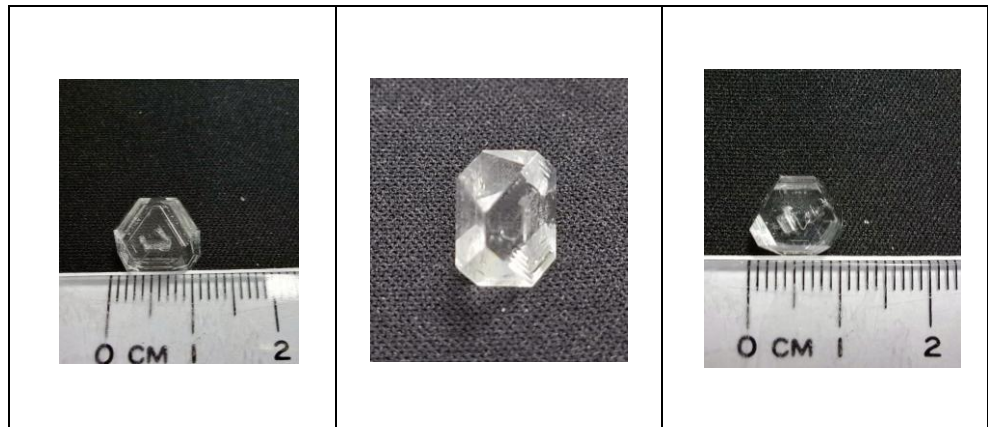
- (1) 一天後觀察結晶狀況，由左而右分別為明礬 9 克、10 克、11 克、12 克之結晶情形。

9 克	10 克	11 克	12 克
			

- (2) 2 天後觀察結晶狀況，發現 9 克/50 克水這組的結晶最成功。

9 克	10 克	11 克	12 克
			

(3) 第三天取出結晶當晶種。



➤ 討論：

從這個實驗，我們發現要能快速成功製作出明礬結晶，明礬的克數並非越多越好，太多明礬反而冷卻後水溶液落入不穩定區，會有太多細小結晶。因此明礬溶液之溶解度為 9 克/50 克水這組的結晶最成功，也相對穩定（當時室溫約 20°C），除了可以快速製作品種，也可適合於後續作為養晶的濃度。

(三) 探討不同濃度的「紫礬」溶液結晶情形

製作不同濃度的紫礬水溶液，尋找最適合的結晶濃度。

1. 實驗方法：

從文獻中知道紫礬溶解度為 24g/100g 水 (20°C)，若 50 克水，於室溫 20 度可溶解 12 克明礬。基於此，我們用 50 克熱水，調配 4 種濃度來觀察：

- (1) 用 50 克的熱水（約 50 度），分別加入 13 克、14 克、15 克、16 克的明礬充分攪拌至完全溶解，製成過飽和紫礬水溶液。
- (2) 將溶液分別過濾後，倒入培養皿中。
- (3) 分別放置於防潮箱內，覆蓋廚房紙巾避免灰塵落入。
- (4) 待降至室溫後移除廚房紙巾，觀察比較結晶情形。

2. 實驗結果：

- (1) 一天後觀察結晶狀況，由左而右分別為紫礬 13 克、14 克、15 克、16 克之結晶情形，因為紫礬水溶液顏色很深，所以先將水溶液移除，再取出結晶拍照。

13 克	14 克	15 克	16 克
			

(2) 這次的實驗，我們發現紫礬溶解度 16 克/50 克水這組的結晶最成功。

(3) 第三天取出結晶當晶種。



➤ 討論：

從這個實驗，我們發現要能快速成功製作出紫礬結晶，紫礬溶液之溶解度為 16 克/50 克水這組的結晶最成功，也相對穩定，除了可以快速製作品種，也可適合於後續作為養晶的濃度。

二、探討如何將美麗的結晶養大？

(一) 緩慢蒸發法

從文獻得知，養晶有快速冷卻法與室溫下緩慢蒸發法，我們不使用快速冷卻法，因為雖然速度快，但會造成許多細小結晶附著於晶種上，就不美觀了。想要將晶種養大又要兼顧美觀，就必須使用緩慢降溫蒸發的方法。除此之外，探討培養皿養晶法和懸吊式養晶法，培養出來的結晶會有甚麼不同的結果？以下為分別針對藍礬、明礬所做的養晶實驗（因紫礬溶液太黑不易觀察，所以沒做紫礬養晶實驗）：

1. 【藍礬】養晶實驗：

(1) 培養皿養晶法

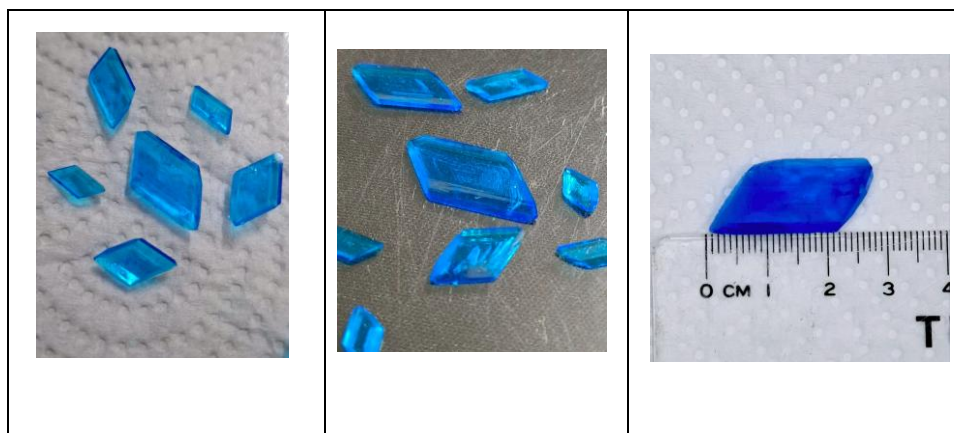
★實驗步驟如下：

- ①採用藍礬製作品種的濃度來養晶。用 50 克藍礬加 100 克水調配藍礬水溶液，將其過濾於培養皿後，用廚房紙巾將其覆蓋。
- ②待其降溫後，打開廚房紙巾，將晶種放入培養皿中。

- ③等待並觀察其成長狀況。如果產生細小結晶附著之現象，必須將結晶取出，重新過濾成新的培養液繼續養晶，否則細小潔晶容易黏在晶種上就不好看了。

★實驗結果：

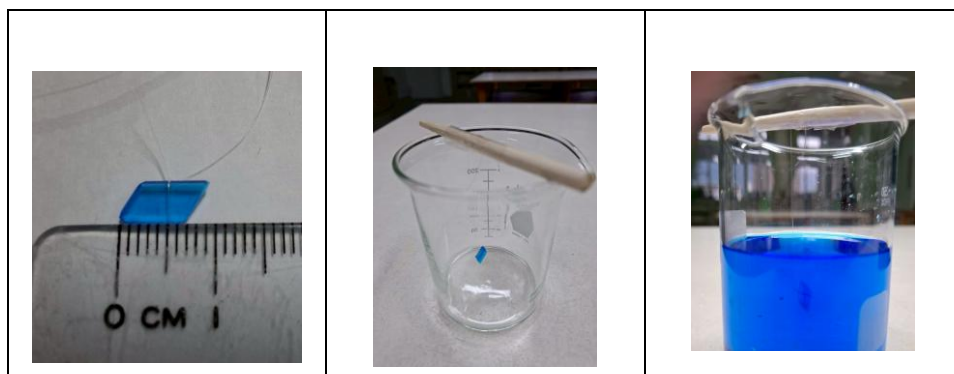
- ①經過一星期養晶的結果，可以得到透明又美麗的類似平行四邊形之藍色硫酸銅晶體。



(2) 懸吊式養晶法

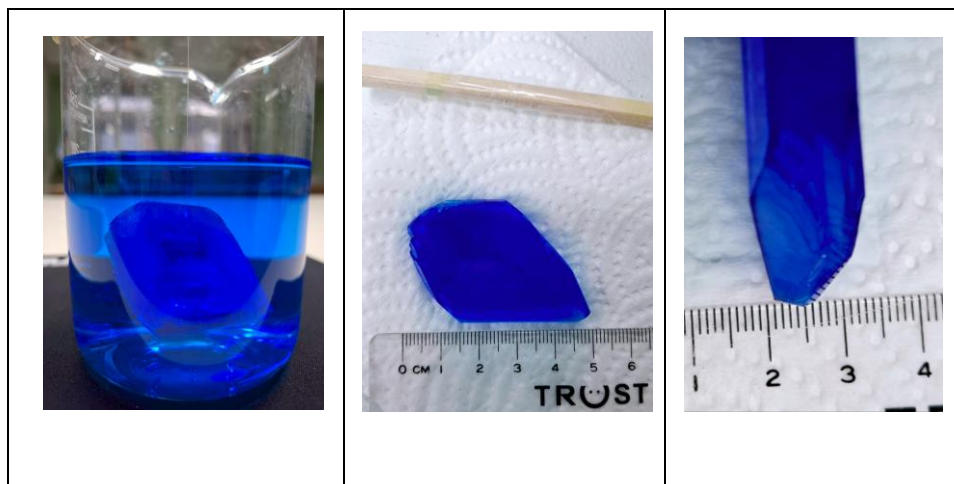
★實驗步驟如下：

- ①採用藍礬製作品種的濃度 25 克/50 克水來養晶。用 100 克藍礬加 200 克水調配藍礬水溶液，將其過濾後，用廚房紙巾將其覆蓋。
- ②將晶種用釣魚線綁好，一端纏繞在竹筷上，並調整線的長度，讓晶種可以懸吊在燒杯中間。
- ③待溶液降溫後，打開廚房紙巾，將綁好的晶種放入 250ml 的燒杯中。
- ③等待並觀察其成長狀況。



★實驗結果：

- ①經過一星期養晶的結果，可以得到大又美麗的類似平行四邊形之藍色硫酸銅晶體，厚度較厚，體型大且重，可惜較不透明。



★討論：

- ①透過兩種不同養晶法之比較，發現用培養皿養晶法養大的晶體較為扁平，厚度比較薄，可能的原因為容器底部限制了結晶的發展，因此只好往其他方向發展。用此方式也較麻煩，因為容器底部容易有細小的結晶形成，會黏住大晶體，一不小心就會養壞了，要時常更換養晶溶液，較為麻煩。
- ②用懸吊式養晶法比較好，因為晶體的成長方向較不受限，可以結晶得較完整，並且比較不會被細小結晶附著，因為細小結晶比較會附著在容器底部。因此用懸吊法能養出更大更好的藍礬結晶。

2. 【明礬】養晶實驗：

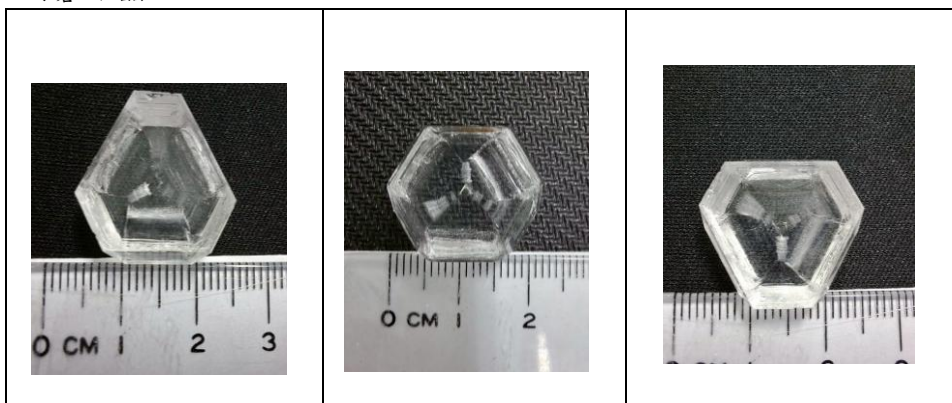
(1) 培養皿養晶法

★實驗步驟如下：

- ①採用明礬製作品種的濃度 9 克/50 克水來養晶。將 18 克明礬加入 100 克水調配明礬水溶液，將其過濾於培養皿中，用廚房紙巾將其覆蓋。
- ②待其降溫後，打開廚房紙巾，將明礬晶種放入培養皿中。
- ③等待並觀察其成長狀況。如果產生細小結晶附著之現象，必須將結晶取出，重新過濾成新的培養液繼續養晶，否則細小結晶容易黏在晶種上就不好看了。

★實驗結果：

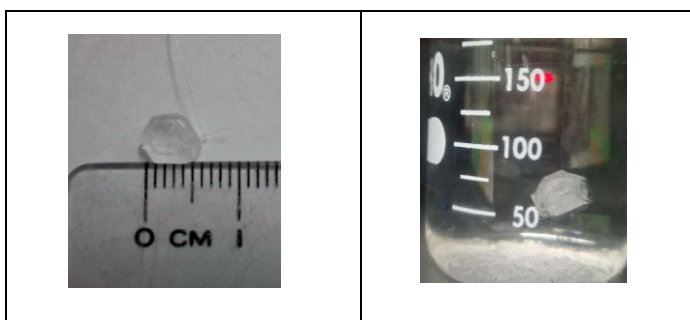
- ①經過一星期養晶的結果，可以得到透明又美麗的類似六邊形之透明明礬結晶。



(2) 懸吊式養晶法

★實驗步驟如下：

- ①採用明礬製作品種的濃度 9 克/50 克水來養晶。用 36 克明礬加 200 克水調配明礬水溶液，將其過濾於燒杯後，用廚房紙巾將其覆蓋。
- ②將晶種用釣魚線綁好，一端纏繞在竹筷上，並調整線的長度，讓晶種可以懸吊在燒杯中間。
- ③待溶液降溫後，打開廚房紙巾，將綁好的晶種放入 250ml 的燒杯中。
- ③等待並觀察其成長狀況。



★實驗結果：

- ①經過一星期養晶的結果，可以得到大又美麗的類似【八面體】之透明明礬晶體，和用培養皿培養的六邊形明礬晶體大不相同。



★討論：

- ①透過兩種不同養晶法之比較，養出來的晶體形狀竟然差異很大，用培養皿養出的是【六邊形】晶體，用懸吊法養出來的是【八面體】結晶，兩種完全不同形狀的結晶。
- ②發現用培養皿養晶法養大的晶體較為扁平，厚度比較薄，可能的原因為容器底部限制了結晶的發展，因此只好往其他方向發展。推測：若能培養時勤於翻面，或許也能養成八面體。
- ③用培養皿養晶法較麻煩，因為容器底部容易有細小的結晶形成，會黏住大晶體，一不小心就會養壞了，要時常更換養晶溶液，較為麻煩。
- ④用懸吊式養晶法比較好，因為晶體的成長方向較不受限，可以結晶得較完整，並且比較不會被細小結晶附著，因為細小結晶大部分會附著在容器底部。因此用懸吊法能養出更大更完整美麗的【八面體】明礬結晶。

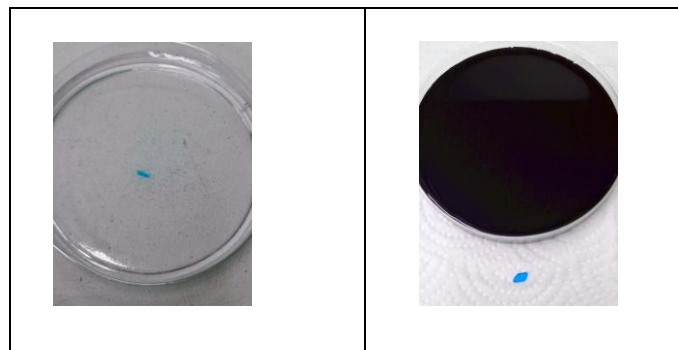
三、探討是否能形成「包心結晶」？

我們在製作結晶的過程也發現到明礬和紫礬在培養皿中培養出形狀相似的六邊形結晶，猜想他們之間不知是否可以互相包覆，形成有不同顏色的包心結晶呢？藍礬和其他兩種結晶形狀不同，那他們在一起會形成甚麼結晶呢？我們感到很好奇，於是進行以下的實驗，研究【包心結晶】的可能性。

(一) 將「藍礬」晶種分別放入明礬、紫礬過飽和水溶液中

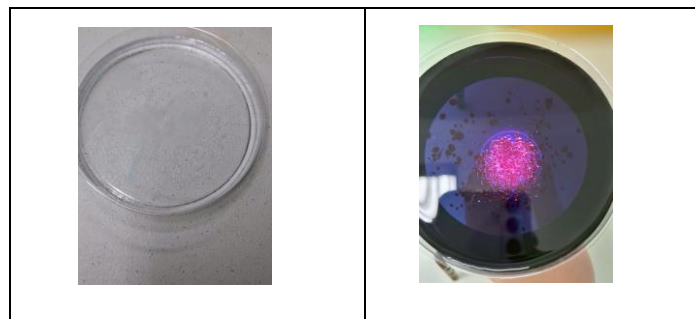
1. 實驗方法：

- (1) 用 9 克明礬加 50 克的熱水調配明礬水溶液，將其過濾後，用廚房紙巾覆蓋。
- (2) 用 16 克紫礬加 50 克的熱水調配紫礬水溶液，將其過濾後，用廚房紙巾覆蓋。
- (3) 待降至室溫後，移除廚房紙巾，將藍礬分別放入明礬、紫礬過飽和水溶液中，並將其放置於防潮箱內等待結晶。



2. 實驗結果：

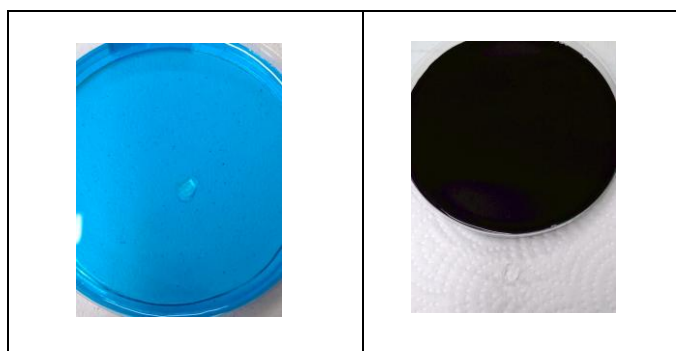
- (1) 一天後觀察到藍礬分解了，結果證明藍礬無法在明礬、紫礬的過飽和溶液中形成包心結晶。



(二) 將「明礬」晶種分別放入藍礬、紫礬過飽和水溶液中

1. 實驗方法：

- (1) 用 25 克藍礬加 50 克的熱水調配藍礬水溶液，過濾後，用廚房紙巾將其覆蓋。
- (2) 用 16 克紫礬加 50 克的熱水調配紫礬水溶液，過濾後，用廚房紙巾將其覆蓋。
- (3) 待降至室溫後，移除廚房紙巾，將明礬分別放入藍礬、紫礬過飽和水溶液中，並將其放置於防潮箱內等待結晶。



2. 實驗結果：

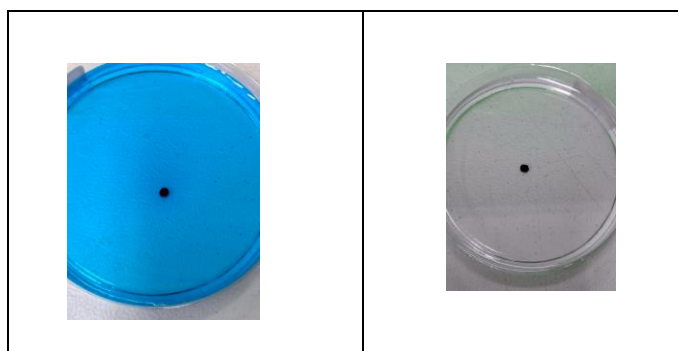
- (1) 一天後觀察到明礬在藍礬溶液中分解了，結果只有藍礬結晶，證明明礬也無法在藍礬的過飽和溶液中形成包心結晶。
- (2) 一天後觀察到明礬在紫礬溶液中產生了包覆現象，證明明礬可以在紫礬的過飽和溶液中形成包心結晶。



(三) 將「紫礬」晶種分別放入藍礬、明礬過飽和水溶液中

1. 實驗方法：

- (1) 用 25 克藍礬加 50 克的熱水調配藍礬水溶液，將其過濾後，用廚房紙巾覆蓋。
- (2) 用 9 克紫礬加 50 克的熱水調配紫礬水溶液，將其過濾後，用廚房紙巾覆蓋。
- (3) 待降至室溫後，移除廚房紙巾，將紫礬分別放入藍礬、明礬過飽和水溶液中，並將其放置於防潮箱內等待結晶。



2. 實驗結果：

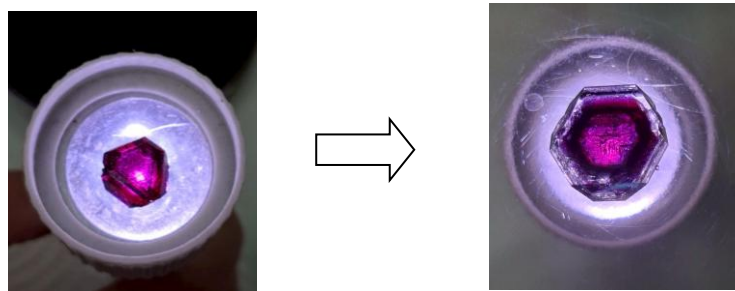
- (1) 一天後觀察到紫礬在藍礬溶液中分解了，結果只有藍礬結晶，證明紫礬也無法在藍礬的過飽和溶液中形成包心結晶。
- (2) 一天後觀察到紫礬在明礬溶液中產生了包覆現象，證明紫礬可以在明礬的過飽和溶液中形成包心結晶。



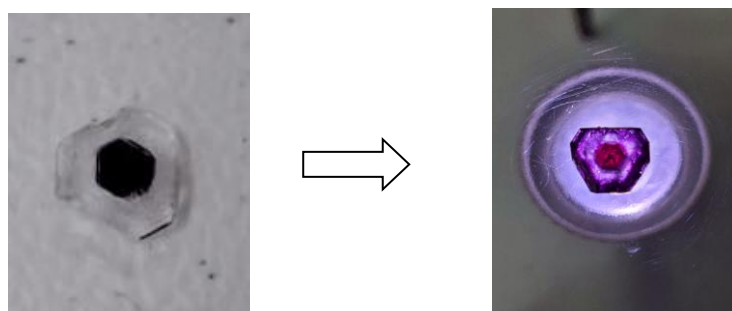
★討論：

- (1) 從以上實驗得知明礬與紫礬可以互相包覆，形成包心結晶。
- (2) 我們從分別的結晶型態發現，形狀相似的明礬與紫礬才能互相包覆，形成包心結晶；藍礬則因結晶形狀與明礬、紫礬不同，與之互相堆疊不容易，無法形成包心結晶。

(四) 將「內明礬外紫礬」之包心結晶再放入「明礬」過飽和水溶液中，形成二次包覆結晶（明紫明）。



(五) 將「內紫礬外明礬」之包心結晶再放入「紫礬」過飽和水溶液中，形成二次包覆結晶（紫明紫）。



★討論：

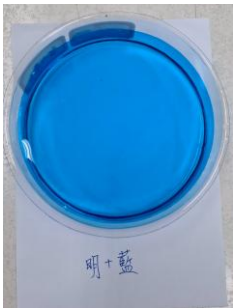
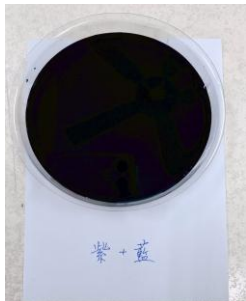
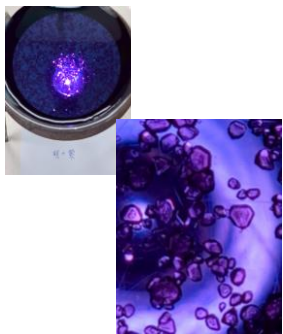
- (1) 進行二次包覆結晶的實驗仍然成功，在「明紫明」結晶中呈現很清楚漂亮的包心，但是在「紫明紫」結晶中，因為有雙層紫礬，導致中間層的明礬顏色不易看清楚，必須用打燈的方式才容易看的出來。
- (2) 由此實驗得知明礬和紫礬可以進行多次的包覆結晶，但太多層反而不易看得清楚，尤其當最外層是紫礬時更看不出來，必須打光才能顯示多層包覆之現象。

四、探討是否能形成「混合結晶」？

- (一) 將「藍礬」、「明礬」混和，製作過飽和水溶液
- (二) 將「藍礬」、「紫礬」混和，製作過飽和水溶液
- (三) 將「明礬」、「紫礬」混和，製作過飽和水溶液

1. 實驗方法：

- (1)「藍礬+明礬」：分別調製濃度為 25 克/50 克水之藍礬過飽和水溶液，濃度為 9 克/50 克水之明礬過飽和水溶液，並將其混和在一起，過濾後，用廚房紙巾將其覆蓋。待降至室溫後，移除廚房紙巾，並將其放置於防潮箱內等待結晶。
- (2)「藍礬+紫礬」：分別調製濃度為 25 克/50 克水之藍礬過飽和水溶液，濃度為 16 克/50 克水之紫礬過飽和水溶液，並將其混和在一起，過濾後，用廚房紙巾將其覆蓋。待降至室溫後，移除廚房紙巾，並將其放置於防潮箱內等待結晶。
- (3)「明礬+紫礬」：分別調製濃度為 9 克/50 克水之明礬過飽和水溶液，濃度為 16 克/50 克水之紫礬過飽和水溶液，並將其混和在一起，過濾後，用廚房紙巾將其覆蓋。待降至室溫後，移除廚房紙巾，並將其放置於防潮箱內等待結晶。

	(1)	(2)	(3)
第一天			
第二天			

2. 實驗結果：

- (1) 實驗發現「藍礬+紫礬」、「藍礬+明礬」這兩組都沒有產生結晶。
- (2) 【明礬+紫礬】的混合溶液中形成了淡紫色的結晶，形狀也有六邊形的。
但是細小的晶體很多，研判應是過飽和溶液太濃而到達了不穩定區。
- (3) 從實驗發現【明礬+紫礬】是可以形成紫色透明混晶的。

★討論：

- (1) 這次的實驗我們發現【明礬+紫礬】可以製作成混合晶體，我們推論可能是因為明礬 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 和紫礬 $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 兩者具有化學式相似、結晶形狀相似的原因，因此可以形成混晶。
- (2) 藍礬 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 化學式、結晶形狀和明礬、紫礬明顯不同，因此無法形成混晶。

四、根據「混合結晶」之實驗結果，探討【明礬+紫礬】如何製作成淡紫色【明紫礬結晶】並將其養大成夢幻的粉紫晶鑽？

從上一個實驗得知【明礬+紫礬】是可以形成混晶的，但因為濃度調配太濃，導致細小結晶太多，因此我們修正濃度調配。因為紫礬水溶液顏色很深，所以我們試著以明礬為主，搭配少量紫礬做實驗。以明礬的溶解度「18 克/100 克水」作為濃度基準，試著調配可以製作出【明紫礬結晶】的混晶濃度。

(一) 製作【明紫礬結晶】的混晶晶種實驗：

1. 實驗方法：

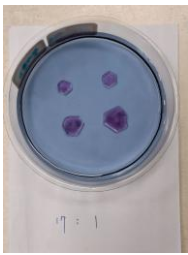
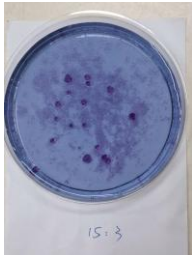
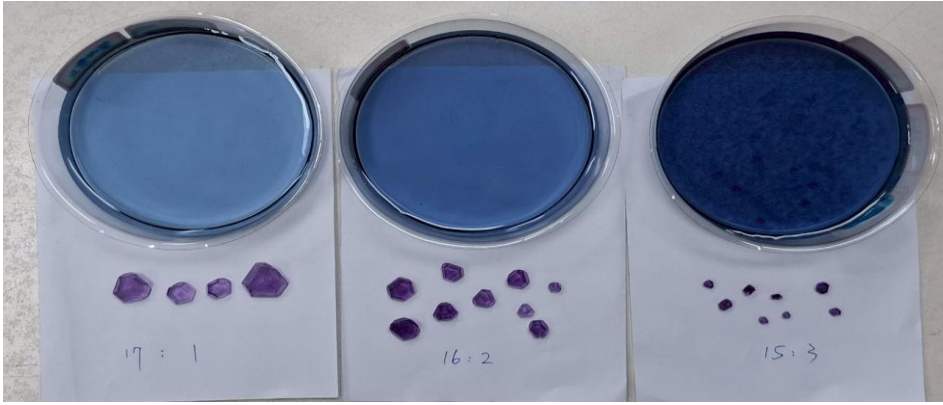
- (1) 分別調配（明礬 17 克+紫礬 1 克/水 100 克）、（明礬 16 克+紫礬 2 克/水 100 克）、（明礬 15 克+紫礬 3 克/水 100 克）三種不同比例【明紫礬結晶】的混晶水溶液。
- (2) 過濾後，用廚房紙巾將其覆蓋。待降至室溫後，移除廚房紙巾，並將其放置於防潮箱內等待結晶。

明礬 17 克+紫礬 1 克	明礬 16 克+紫礬 2 克	明礬 15 克+紫礬 3 克
		



2. 實驗結果：

- (1) 三組的水溶液顏色不同，紫礬之比例越多，溶液顏色越深，得到的結晶顏色也越深。
- (2) 三組都製作成功，皆有明紫礬混合結晶的晶種出現。
- (3) 三組製成的明紫礬結晶，以明礬：紫礬重量比 16:2 這組的顏色最符合我們的期望。

明礬 17 克+紫礬 1 克	明礬 16 克+紫礬 2 克	明礬 15 克+紫礬 3 克
		
		

★討論：

若要製作顏色較深的明紫礬混晶，則只要以明礬的溶解度「18 克/100 克水」作為濃度基準，將紫礬的比例調高，明礬比例降低，兩者的重量加起來是 18 克，加入 100 克熱水，就可調整紫色的深淺，製作出夢幻的明紫礬結晶。

(二) 【明紫礬結晶】的養晶實驗：

我們採用（明礬 16 克+紫礬 2 克/水 100 克）這個比例製作出來的晶種繼續採用兩種不同方式來養晶，做為比較：

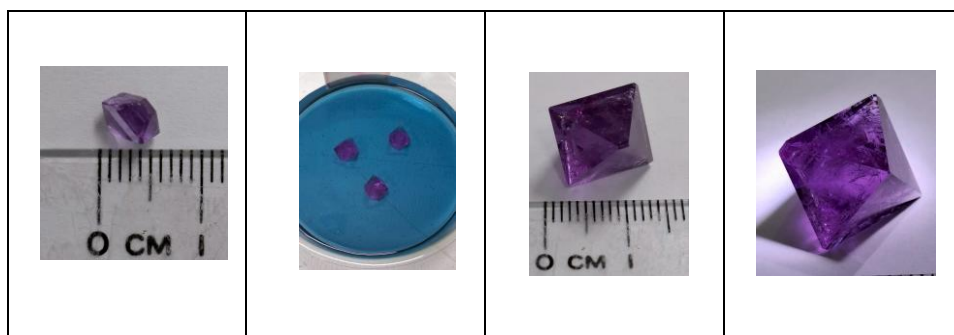
(1) 培養皿養晶法

★實驗步驟如下：

- ①調配（明礬 16 克+紫礬 2 克/水 100 克）水溶液，將其過濾於培養皿中，用廚房紙巾將其覆蓋。
- ②待其降溫後，打開廚房紙巾，將晶種放入培養皿中。
- ③等待並觀察其成長狀況。如果產生細小結晶附著之現象，必須將結晶取出，重新過濾成新的培養液繼續養晶，否則細小結晶容易黏在晶種上就不好看了。
- ④根據之前明礬養晶的成果為六邊形，推測是因為我們沒有翻面，導致底面無法發展成立體結晶。因此這次培養【明紫礬結晶】，我們更改為每天翻面一次，並將最小之三角形面朝下培養。原因是，我們發覺朝下的面向外生長得最快。

★實驗結果：

- ①經過一星期每天不斷翻面養晶的結果，可以得到透明又美麗的類似八面體之【明紫礬結晶】。

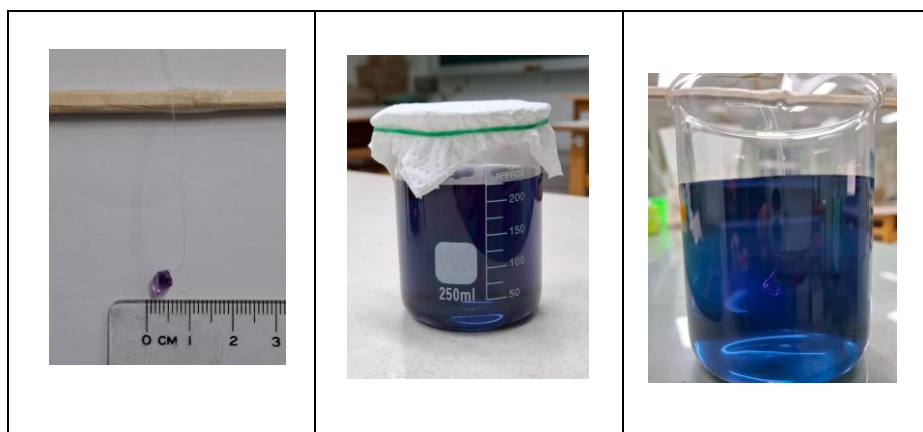


(2) 懸吊式養晶法

★實驗步驟如下：

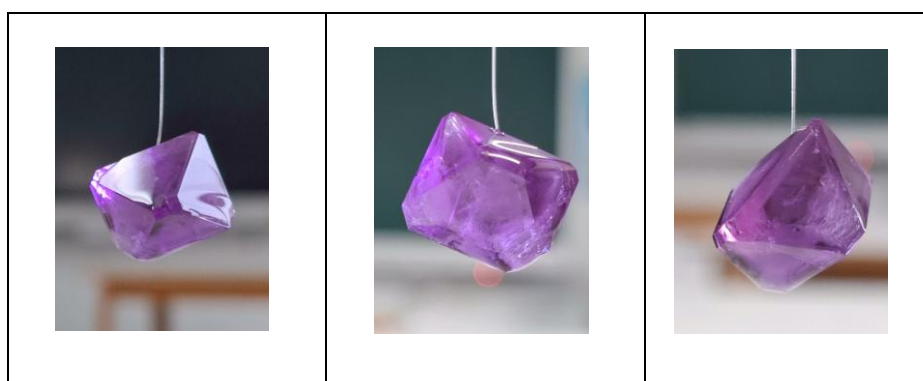
- ①調配（明礬 32 克+紫礬 4 克/水 200 克）水溶液，將其過濾於燒杯中，用廚房紙巾將其覆蓋。
- ②將晶種用釣魚線綁好，一端纏繞在竹筷上，並調整線的長度，讓晶種可以懸吊在燒杯中間。
- ③待溶液降溫後，打開廚房紙巾，將綁好的晶種懸吊於 250ml 的燒杯中。

③等待並觀察其成長狀況。



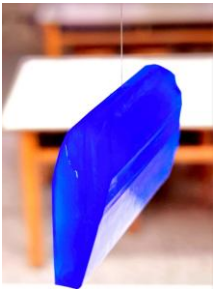
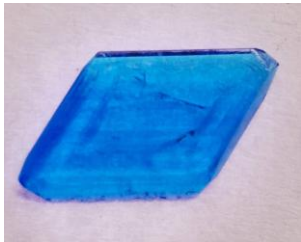
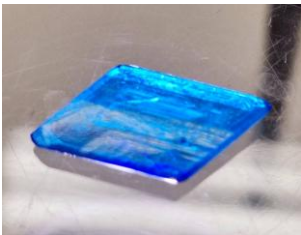
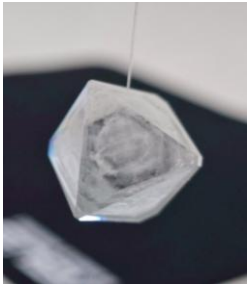
★實驗結果：

①經過一星期養晶的結果，可以得到大又美麗的八面體之明紫礬晶體，和用培養皿培養得到的晶體型態相同，但操作上更為方便。



★討論：

- ①透過兩種不同養晶法之比較，都能培養出八面體形狀的【明紫礬結晶】。
- ②用培養皿養晶方式需較有耐心，因為容器底部容易有細小的結晶形成，會黏住大晶體，一不小心就會養壞了，所以要時常更換養晶溶液，並且每天要翻面才能成為八面體，因此較為麻煩。
- ③用懸吊式養晶法最困難的是如何將晶種綁起來，因明紫礬晶種形狀不像藍礬的平行四邊形那麼容易綁。
- ④用懸吊式養晶法比較好，因為晶體的成長方向較不受限，可以結晶得較完整，並且比較不會被細小結晶附著，因為細小結晶較容易附著在容器底部。因此用懸吊法養晶較為方便，就能養出八面體形狀的【明紫礬結晶】。

其他養晶成果照片		
		
藍礬結晶		
		
明礬結晶		
		
紫礬結晶		
		
明紫礬結晶		

陸、結論

一、 探討如何製成美麗的結晶晶種？我們得到以下結論：

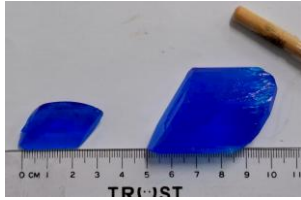
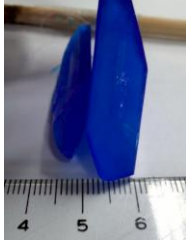
- (1)「藍礬」晶種製作以濃度 50 克/100 克水的比例得到的結晶最完整最美。
- (2)「明礬」晶種製作以濃度 18 克/100 克水的比例得到的結晶最完整最美。
- (3)「紫礬」晶種製作以濃度 32 克/100 克水的比例得到的結晶最完整最美。

注意事項：

- (1) 攪拌完後必須趁熱用濾紙過濾，才不會有雜質或未溶解的鹽顆粒影響實驗，若等冷卻後再過濾，會使溶液處於不穩定區，將形成碎晶。
- (2) 過濾後須加蓋，避免灰塵影響結晶，冷卻後再將蓋移除。
- (3) 過濾完降溫後，放置於防潮箱內，不要攪動、晃動，以免產生碎晶。
- (4) 當遇到寒流氣溫驟降時，溶解度下降，因此會析出更多小結晶附著容器底面，若要解決這個問題，必須要有【恆溫設備】。

二、 如何將美麗的結晶養大？我們使用緩慢降溫蒸發的方法，養晶之水溶液濃度和晶種製作濃度相同，分別採用培養皿養晶法、懸吊式養晶法做養晶之比較，得到以下結論：

- (1) 用培養皿養晶法較麻煩，因為容器底部容易有細小的結晶形成，會黏住大晶體，一不小心就會養壞了，所以要時常更換養晶溶液。
- (2) 培養皿養晶法養大的晶體較為扁平，厚度比較薄，可能的原因為容器底部限制了結晶的發展，因此只好往其他方向發展。
- (3) 用懸吊式養晶法比較好，因為晶體的成長方向較不受限，可以結晶得較完整，並且比較不會被細小結晶附著，因為細小結晶較容易附著在容器底部。
- (4) 用懸吊式養晶法最困難的是如何將晶種綁起來，因明礬和紫礬形狀不像藍礬的平行四邊形那麼容易綁。
- (5) 養晶時會遇到以下兩種狀況：
 1. 當遇到寒流氣溫驟降時，溶解度下降，因此會析出更多小結晶附著在魚線上、晶種跟容器底部。
 2. 若遇到氣溫升溫過高時，則容易發生晶體水解情形（晶體變小），那是因為溫度升高，溶解度會增加。若要解決這個問題，必須要有【恆溫設備】。
- (6)【藍礬】用兩種養晶法養大五天比較：結晶形狀皆相似，但培養皿養的結晶比較薄、比較透明，也長的比較慢。用懸吊法養出來的結晶則比較厚，且大很多。

大小比較	
厚度比較	

(7)【明礬】用兩種養晶方式結晶比較

培養皿養晶法（不翻面）	懸吊式養晶法
六邊形	八面體
	

(8)【明紫礬混晶】兩種養晶方式結晶比較表：

培養皿養晶法 （不翻面）	培養皿養晶法 （每天翻面）	懸吊式養晶法
六邊形	八面體	八面體
		

(9) 用培養皿養晶法培養【明礬】、和【明紫礬混晶】也可以養成八面體，只是要常翻面，並且要讓最小的面朝下，才能漸漸成為八面體，比較麻煩一些，操作難度較高，但是培養出來的結晶較為透明。

三、 探討是否能形成「包心結晶」？

- (1) 由實驗得知【明礬與紫礬】可以互相包覆，形成包心結晶。我們從分別的結晶型態發現，形狀相似的明礬與紫礬才能互相包覆，形成包心結晶，藍礬則因結晶形狀與它們不同，與之互相堆疊不容易，一旦溶液滲入即可能瓦解。
- (2) 進行二次包覆結晶的實驗仍然成功，在「明紫明」結晶中呈現很清楚漂亮的包心，但是在「紫明紫」結晶中，因為有雙層紫礬，導致中間層的明礬顏色不易看清楚，必須用打燈的方式才容易看的出來。
- (3) 由此實驗得知明礬和紫礬可以進行多次的包覆結晶，但太多層反而不易看得清楚，尤其當最外層是紫礬時更看不出來，必須打光才能顯示多層包覆之現象。

四、 探討是否能形成「混合結晶」？

- (1) 藍礬 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 化學式、結晶形狀和明礬、紫礬不同，因此無法形成混晶。
- (2) 明礬和紫礬可以製作成混合晶體，我們推論可能是因為明礬 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 和紫礬 $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 兩者具有化學式相似、結晶形狀相似的原因，因此可以形成混晶。

五、 根據「混合結晶」之實驗結果，探討【明礬+紫礬】如何製作成淡紫色【明紫礬結晶】並將其養大成夢幻的粉紫晶鑽？

- (1) 製作品種：調配（明礬 16 克+紫礬 2 克/水 100 克）混和水溶液。
- (2) 養晶：調配相同濃度之混晶水溶液進行養晶。
- (3) 透過兩種不同養晶法之比較，都能培養出八面體的【明紫礬結晶】。只是用培養皿養晶法，必須時常翻面，將最小的面朝下，才能成為八面體，不翻面的話，只能長成六邊形，因為底面的結晶發展被限制了。

柒、參考資料及其他

1. 聲聲不息？探討各種變因對硫酸銅晶體的影響。中華民國第53屆中小學科學展覽會。
2. 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。
3. 藍色夢幻－硫酸銅結晶的研究。中華民國第57屆中小學科學展覽會。
4. 藍晶閃耀~探索單結晶、雙結晶、包心結晶形成的條件。中華民國第58屆中小學科學展覽會。
5. 晶晶相擁－探究多樣態結晶及顯微縮時攝影在結晶之應用。中華民國第60屆中小學科學展覽會。