

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 化學科

團隊合作獎

080212

藍晶閃耀

~探索單結晶、雙結晶、包心結晶形成的條件

學校名稱：宜蘭縣宜蘭市光復國民小學

作者： 小六 陳郁心 小六 林雅信 小六 廖家妤 小六 游耘如 小六 趙妍綾	指導老師： 何佩穎
---	------------------

關鍵詞：單結晶、雙結晶、包心結晶

摘要

模擬自然界各種環境形成結晶的差異，以「緩降」晶體最大顆且硬度最大，加磁、加壓晶體最小顆，加壓密度最大。濃度越高角度越大，加磁會擾亂結晶生長而有各種角度，晶形不規則。緩降、加壓、加磁有助於晶體顏色變深，低溫顏色最淺。雙溶質溶液抑制雙方結晶生長，使雙方晶體都變小顆，雙晶重量也均降低。單晶體積均大於雙晶體積。飽和雙結晶硫酸銅晶量約 60%多於明礬結晶量約 40%。在緩降、急降、加壓下，包心結晶外圍雙結晶均為硫酸銅結晶量多，晶量多當外圍，晶量少當包心，即為「外晶銅、包心礬」；以「緩降」外圍晶最大顆。加磁無法幫助包心結晶。回收液再製晶明顯比新製晶的體積、密度和硬度均小、顏色淡很多，廢液經處理後無毒性可排入水槽。

壹、研究動機

紫水晶洞晶體閃亮繽紛耀眼奪目引起我們的興趣與好奇心，晶體很漂亮，有大有小，有四邊形、五邊形……，我們模擬自然界在各種天然環境條件下，單溶質形成的結晶其形狀、大小、硬度、密度、顏色、透光度的差異。探討雙溶質交互作用影響下形成的雙結晶有何不同與各種環境條件下雙結晶的結果。在何種條件下可以製作出包心結晶。結晶後之液體若直接倒入水槽會造成重金屬環境汙染，因此我們試著將回收液利用再製晶的可能性，最後廢液經處理後無毒性可倒入水槽中。

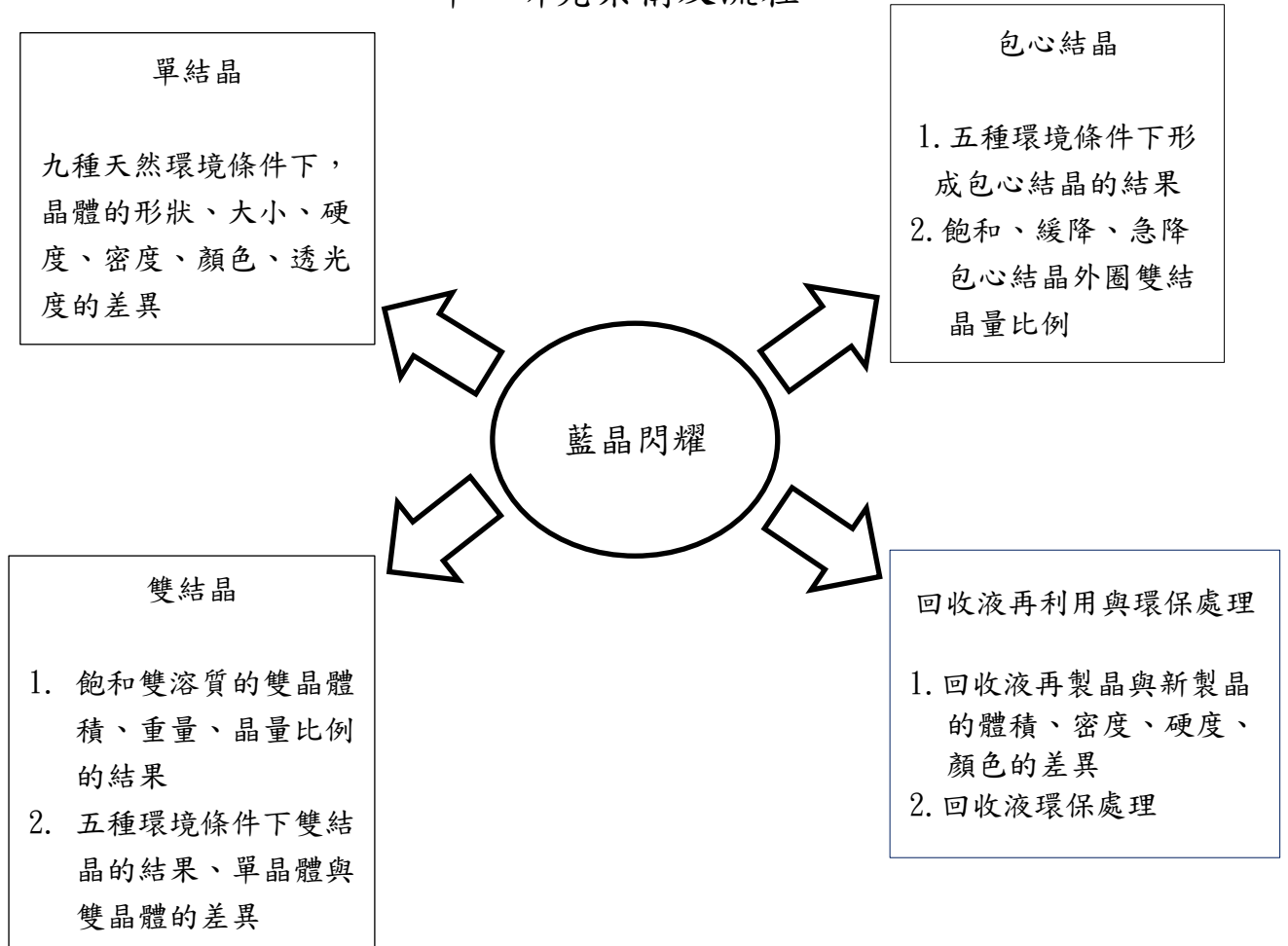
貳、研究目的

- 一、單溶質水溶液在各種天然環境條件下形成的單結晶有何差異。
- 二、雙溶質水溶液在不同環境下形成的雙晶體的結果。
- 三、何種環境條件下能形成包心結晶？
- 四、結晶後之液體再製晶體的性質與廢液環保處理。

參、研究設備與器材

硫酸銅(含水)藥品、鉍明礬藥品、超強力磁鐵、大型號鐵夾、PH檢測計、燒杯(250 ml、500ml)、電子秤、雷射筆、單眼相機、翻拍架、5段電子溫度顯示熱水瓶、溫度計、量筒、刀片架、握力器、三角架、滴管、攪拌棒、保鮮膜、濾紙、冰箱、RO純水、量角器、游標尺、描圖紙

肆、研究架構及流程



伍、研究問題

研究一：單溶質在不同濃度、熱帶高溫變溫、寒帶低溫恆溫、磁場、壓力等九種天然環境條件下結晶有何不同？

研究二：雙溶質在飽和、緩降、急降、磁場、壓力等五種環境條件下雙結晶的結果。

研究三：雙溶質在飽和、緩降、急降、磁場、壓力等五種環境條件下形成的包心結晶的效果如何？

研究四：回收液再製晶，在飽和、緩降、急降等三種環境條件下晶體的性質與廢液環保處理。

陸、研究過程與方法

研究一：單溶質在不同濃度、熱帶高溫變溫、寒帶低溫恆溫、磁場、壓力等九種天然環境條件下結晶有何不同？

		
硫酸銅調配濃度	高溫溶解	高溫緩降
		
一週後觀察結晶生長	磁場(超強磁鐵)	加壓(寶特瓶壓扁)
		
觀察晶體形狀	等比例描繪晶體	游標尺測量晶體厚度
		
描繪晶體與量長寬度	測量重量、體積	拍照晶體顏色
		
晶體的透光度	測量晶體硬度	握力器

(一)實驗步驟:

1. 未飽和液: 硫酸銅 22 g/100ml 加熱至完全溶解後放置室溫。
2. 飽和液: 硫酸銅 352 g/700ml 加熱至完全溶解後放置室溫降溫, 分別倒入燒杯 100ml 放置室溫為飽和液; 倒入燒杯 100ml 放入冰箱冷藏低溫(4°C); 倒入 150ml 於貼兩側的超強力磁鐵的四方形容器為加磁液; 倒入 350ml 裝滿寶特瓶容器瓶蓋密封貼滿膠帶並確認溶液不外露,

以大型鐵夾夾寶特瓶為加壓液。

3. 過飽和液: 硫酸銅 64 g/100ml 加熱至完全溶解後放置室溫。


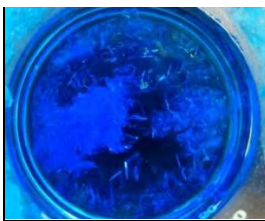
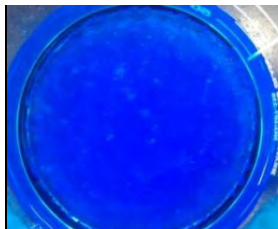



4. 高溫 70°C 飽和液: 硫酸銅 216g/300ml 加熱溫度 70°C 完全溶解後, 分別倒入燒杯 100ml 杯口以保鮮膜密封放置保溫熱水瓶, 從 70°C 緩降至 30°C 時間共 8 小時, 取出放置室溫為緩降液; 倒入燒杯 100ml 以大量冰塊及水, 燒杯隔水急速降溫, 從 70°C 急降至 30°C 時間共 2 分鐘, 取出放置室溫為急降液; 倒入燒杯 100ml 放置室溫降溫, 從 70°C 自然降至室溫時間共 2 小時為自然降液。

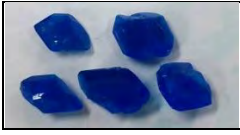
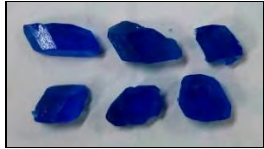

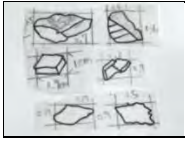
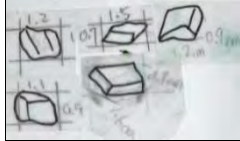
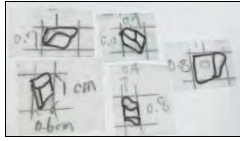
5. 將 9 種晶體以描圖紙等比例描繪晶體大小, 游標尺測量晶體厚度, 量角器測量晶體的角度, 量筒測量部分晶體的水量體積, 在同光源環境下以單眼相機、翻拍架拍晶體, 並以電腦影像軟體檢測晶體的 RGB 值, 在全暗室環境以雷射光照射晶體, 拍下晶體的透光度影像, 並以電腦影像軟體檢測晶體的 HSB 值, 以握力器施力於刀片架上來測量晶體表面的破壞或碎裂程度。

(二) 實驗結果


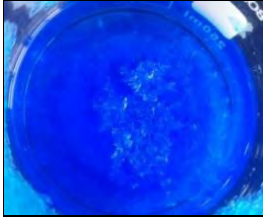




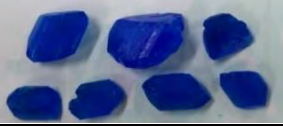
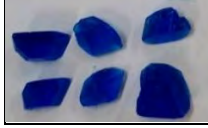
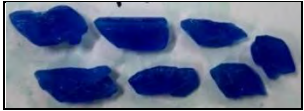
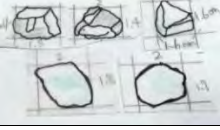
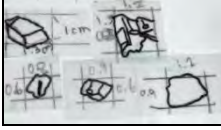
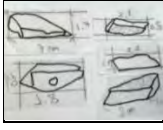
實驗 A: 9 種環境下晶體的角度、體積、形狀

1. 不同濃度

	未飽和(100ml)	飽和(100ml)	過飽和(100ml)
即可結晶	1 週未結晶 2 週少量結晶	4 天少量結晶	2 天少量結晶
完全結晶	3 週	1 週	1 週
一週圖片			
			


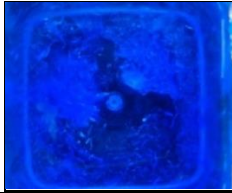







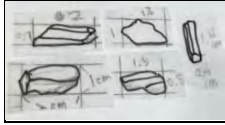
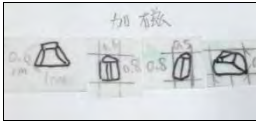
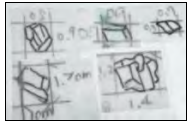
晶形			
等比例 畫形狀			
邊形	平行四邊形	平行四邊形	平行四邊形
角度	45°	45°	55°
長度	長 1.67 cm	長 1.32 cm	長 1.1 cm
寬度	寬 1.13 cm	寬 0.88 cm	寬 0.58 cm
厚度	0.4 cm	0.5 cm	0.6 cm
體積	約 0.75	約 0.58	約 0.38
結晶 重量	2.8g	18.4g	29g

2. 高溫變溫

	緩慢降溫(100ml)	急速降溫(100ml)	自然降溫(100ml)
即可 結晶	4 小時可結晶	0.5 小時可結晶	1 小時可結晶
完全 結晶	3 天	3 天	3 天
一週 圖片			
			
晶形			
等比例 畫形狀			
邊形	平行四邊形、 梯形、不規則	平行四邊形、不規則	平行四邊形、 長方體、不規則
角度	60°	60°	60°

長度	長 1.8 cm	長 1.1 cm	長 2.42 cm
寬度	寬 1.58 cm	寬 0.86 cm	寬 1.02 cm
厚度	1.2 cm	0.5 cm	0.6 cm
體積	約 3.41	約 0.47	約 1.48
結晶重量	47g	43.7g	44.7g

3. 低溫恆溫、磁場、壓力

	低溫 (4°C) (100ml)	加磁(150ml)	加壓(350ml)
即可結晶	1 週少量結晶	1 週少量結晶	1 週少量結晶
完全結晶	2 週	2 週	2 週
兩週圖片			
			
晶形			
等比例畫形狀			
邊形	平行四邊形、長方體	不規則	平行四邊形
角度	45°	45° 55° 60°	45°
長度	長 1.7 cm	長 0.9 cm	長 1.02 cm
寬度	寬 0.78 cm	寬 0.6 cm	寬 0.8 cm
厚度	0.4 cm	0.4 cm	0.3 cm
體積	約 0.53	約 0.21	約 0.24
結晶重量	24.7g	14.2g/1.5=9.4 g	22.4g/3.5=6.4 g

結論：

- 即可結晶時間:急降(0.5小時)>自然降(1小時)>緩降(4小時)>過飽和(2天)>飽和(4天)>低溫(1週)>加磁(1週)>加壓(1週)>未飽和(2週)。急降即可結晶時間最快，未飽和即可結晶

時間為2週最久。緩降、急降、自然降能快速結晶，濃度在短時間2~3天耗盡，要再有結晶有限，相較飽和、未飽和都是慢慢結晶，每天晶體越來越大和重量增多。

2. 完全結晶時間:急降、自然降、緩降3天，低溫、加磁、加壓2週，過飽和、飽和1週，未飽和3週。高濃度3天完全結晶最快，濃度越低完全結晶時間最久。
3. 完全結晶重量: 70°C 高溫高濃度:緩降(47g)最重，急降(43.7g)、自然降(44.7g)差不多，室溫飽和:低溫(24.7g)>飽和(18.4g)>加磁(14.2g)>加壓(6.4g)，室溫過飽和(29g)，室溫未飽和(2.8g)。
4. 晶體邊形:未飽和、飽和、過飽、加壓均為平行四邊形，加磁多為不規則形，低溫多為平行四邊形和少量長方體，緩降為平行四邊形、梯形、不規則，急降為平行四邊形、不規則，自然降為平行四邊形、長方體、不規則。飽和液的結晶為硫酸銅標準的單一顆完整晶形平行四邊形，高溫變溫和低溫除了平行四邊形外，有長方體、梯形和多顆大晶體堆疊在一起呈現不規則，加磁會使晶體長成不規則。
5. 晶體角度:未飽和、飽和、低溫、加壓為45°，過飽為55°，緩降、急降、自然降為60°，加磁有45°、55°、60°。上述總結，飽和為45°，過飽為55°，高溫高濃度為60°，濃度越高角度越大，加磁會干擾結晶的生長而有各種角度的產生。
6. 晶體體積: 緩降(3.41)>自然降(1.48)>未飽和(0.75)>急降(0.47)>飽和(0.58)>低溫(0.53)>過飽和(0.38)>加壓(0.24)>加磁(0.21)。以高溫高濃度冷卻最緩慢的「緩降」結晶能形成最厚最大顆的晶體，自然降第二，未飽和第三，因結晶天數最長，隨著天數而使濃度越來越高，晶形外圍濃度越高即可迅速長成大顆的晶體，加磁、加壓晶形最小顆。推論晶體大小與濃度、冷卻速度變化有關。

實驗 B: 9 種環境下晶體的密度

	未飽和		飽和		過飽和	
重量(g)	3.7	3.9	9.8	6.4	7.9	5.4
水量(ml)	1.7	1.85	4.7	3.2	3.9	2.7
密度	2.17	2.108	2.085	2	2.025	2
平均值	2.13		2.04		2.01	
	緩降		急降		自然降	
重量(g)	7.9	7.0	4.5	6.7	8.4	5.5
水量(ml)	3.5	3.1	2.05	3.05	4	2.5

密度	2.257	2.25	2.19	2.196	2.1	2.2
平均值	2.25		2.193		2.15	
	低溫 (4°C)		磁場(超強磁鐵吸力)		加壓(寶特瓶壓扁)	
重量(g)	5.6	5.8	2.1	4.4	8.3	5.1
水量(ml)	2.7	2.89	0.9	1.9	3.4	2.1
密度	2.074	2	2.33	2.315	2.44	2.42
平均值	2.03		2.32		2.43	

結論：

1. 晶體密度:加壓(2.43)>加磁(2.32)>緩降(2.25)>急降(2.19)=自然降(2.15)=未飽和(2.13)>飽和(2.04)=低溫(2.03)=過飽和(2.01)。「加壓」的密度最大,「加磁」次之,高溫高濃度冷卻最緩慢的「緩降」密度第三。

實驗 C: 9 種環境下晶體的硬度




	未飽和	飽和	過飽和	緩慢	急速	自然降	低溫 (4°C)	加磁場	加壓
測量一	4	3	3.5	6	3	5	3	2	4
測量二	5	3	3.5	6	3	5.5	2.5	2	4
測量三	4.5	3	3.5	6	3	6	2	2	4
平均圈數	4.5	3	3.5	6	3	5.5	2.5	2	4
換算重量	17.1Kg	14.73Kg	15.52Kg	19.47Kg	14.73Kg	18.6Kg	13.94Kg	13.15Kg	16.31Kg

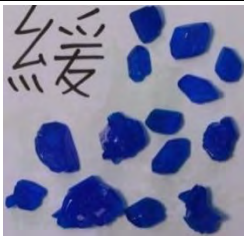

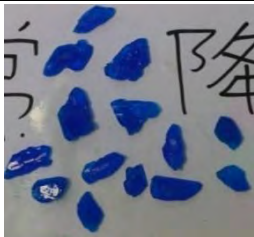

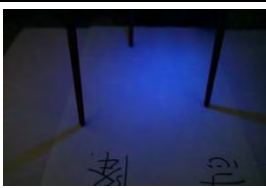

結論：

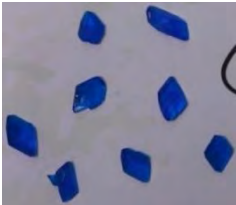

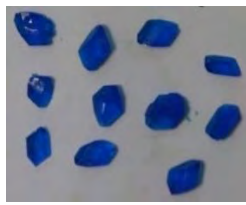
1. 晶體硬度:緩降(19.47kg) > 自然降(18.6kg) > 未飽和(17.1kg) > 加壓(16.31kg) > 過飽和(15.52kg) > 急降(14.73kg) = 飽和(14.73kg) > 低溫(13.94kg) > 加磁(13.15kg)。對照晶體的體積和實驗時觀察的結果可知,高溫高濃度冷卻速度最緩慢的「緩降」能形成最厚最大顆的晶體,晶體越大顆越厚硬度會越硬,低溫、加磁的硬度最小。推論晶體硬度與濃度、冷卻速度變化有關。
2. 飽和濃度以「加壓」硬度為最大,所以加壓可以使晶體硬度增大。自然降第二,未飽和第三。未飽和因結晶天數最長,隨著天數而使濃度越來越高,晶形越外圈因濃度越高也漸漸長成大顆的晶體,而使硬度變大。硬度與濃度有關。

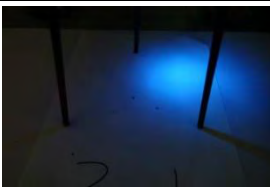
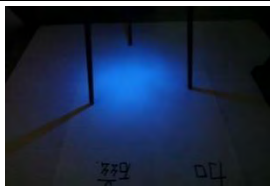
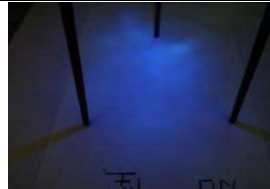
實驗 D: 9 種環境下晶體的顏色與透光度

	未飽和	飽和	過飽和
圖片			
顏色	RGB (2, 22, 85)	RGB (6, 45, 148)	RGB (2, 37, 119)

(RGB、 HSL、 HSV、 色碼表)	HSL(226, 95%, 17%) HSV(225.5, 0.9765, 0.3333) #021555	HSL(224, 92%, 30%) HSV(223.5, 0.9595, 0.5804) #062C93	HSL(222, 97%, 24%) HSV(222.1, 0.9832, 0.4667) #022579
圖片			
明亮度 (HSB值)	H:215 S:86 B:100	H:215 S:88 B:91	H:202 S:82 B:100

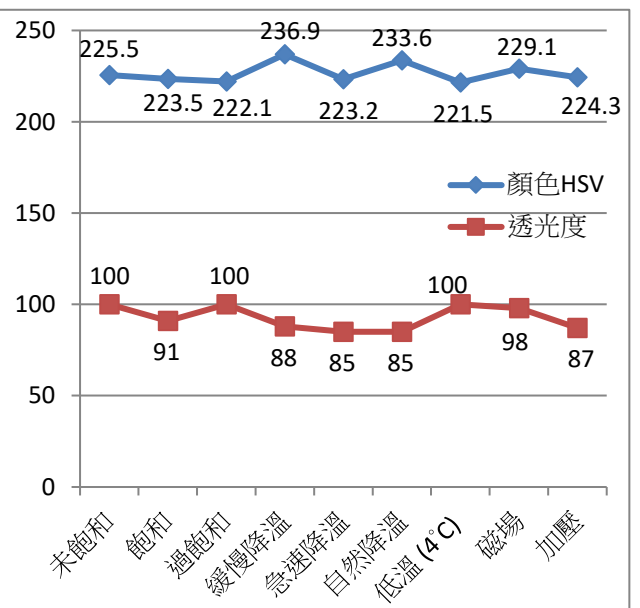
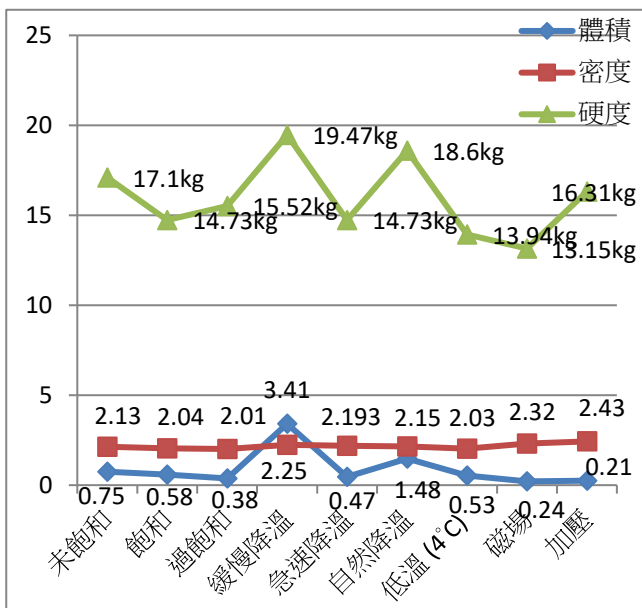
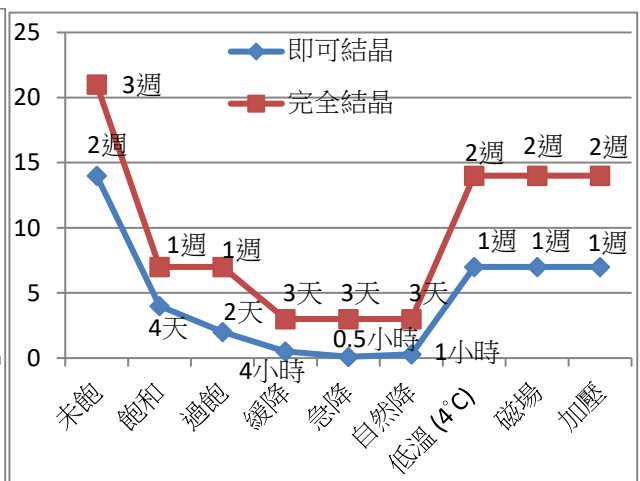
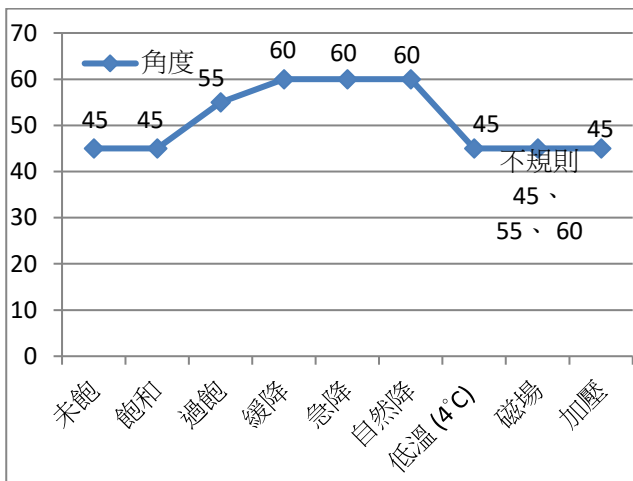
	緩慢	急速	自然降
圖片			
顏色 (RGB、 HSL、HSV、 色碼表)	RGB (9, 15, 125) HSL(237, 87%, 26%) HSV(236.9, 0.9280, 0.4902) #090F7C	RGB (3, 34, 114) HSL(223, 95%, 23%) HSV(223.2, 0.9739, 0.4471) #032372	RGB (9, 21, 121) HSL(234, 86%, 25%) HSV(233.6, 0.9256, 0.4745) #091477
圖片			
明亮度 (HSB值)	H:227 S:72 B:88	H:226 S:76 B:85	H:227 S:81 B:85

	低溫(4°C)	磁場	加壓
圖片			
顏色 (RGB、 HSL、 HSV、 色碼表)	RGB (0, 44, 143) HSL(222, 100%, 28%) HSV(221.5, 1.0000, 0.5608) #002B8F	RGB (6, 28, 127) HSL(229, 91%, 26%) HSV(229.1, 0.9528, 0.4980) #061C7F	RGB (2, 40, 147) HSL(224, 97%, 29%) HSV(224.3, 0.9864, 0.5765) #022892

圖片			
明亮度 (HSB 值)	H:198 S:85 B:100	H:211 S:85 B:98	H:223 S:78 B:87

結論：

- 由實驗數據 HSB 的明亮度來判讀透光度：未飽和(100) = 過飽和(100) = 低溫(100) > 加磁(98) > 飽和(91) > 緩降(88) > 加壓(87) > 急降(85) = 自然降(85)。未飽和、過飽和、低溫的晶體透光度最好，高溫高濃度的晶體透光度最差。
- 由實驗數據 HSL、HSV 判讀顏色深到淺：緩降(236.9) > 自然降(233.6) > 加磁(229.1) > 未飽和(225.5) > 加壓(224.3) > 飽和(223.5) > 急降(223.2) > 過飽和(222.1) > 低溫(221.5)，高溫高濃度冷卻速度最緩慢的緩降、自然降和加壓、加磁都有助於晶體顏色變深，低溫顏色最淺。



研究二：雙溶質在飽和、緩降、急降、磁場、壓力等五種環境條件下雙結晶的

結果




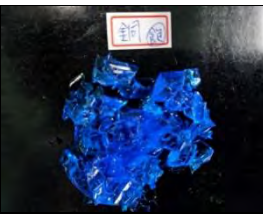

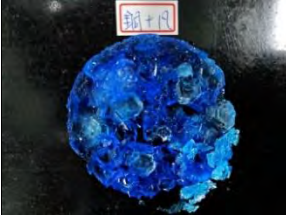



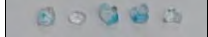
(一)實驗步驟

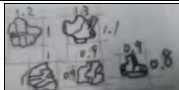
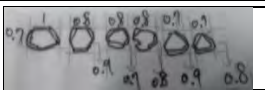

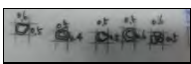
1. 硫酸銅飽和液:硫酸銅 44g /100ml 加熱至完全溶解後靜置。
2. 明礬飽和液:明礬 18g/100ml 加熱至完全溶解後靜置。
3. 雙溶質飽和液(硫酸銅 264g+明礬 108g)/600ml 加熱至完全溶解後，分別倒入燒杯 100ml 為雙溶質飽和液;倒入 150ml 貼於兩側的超強力磁鐵的四方形容器為雙溶質加磁;倒入 350ml 裝滿寶特瓶容器瓶蓋密封貼滿膠帶並確認溶液不外露，以大型鐵夾夾寶特瓶為雙溶質加壓。
4. 高溫 70°C 雙溶質飽和液(硫酸銅 144g+明礬 70g)/200ml 加熱溫度 70°C 完全溶解，分別倒入燒杯 100ml 杯口以保鮮膜密封放置保溫熱水瓶，從 70°C 緩降至 30°C 時間共 8 小時，取出放置室溫為雙溶質緩降液；倒入燒杯 100ml 以大量冰塊及水，燒杯隔水急速降溫，從 70°C 急降至 30°C 時間共 2 分鐘，取出放置室溫為雙溶質急降液。
5. 一週後取出硫酸銅飽和晶體、明礬飽和晶體、(硫酸銅+明礬)飽和晶體秤重、5 種雙結晶，以描圖紙等比例描繪晶形，游標尺測量晶體厚度、量筒測量晶體體積。

(二)實驗結果

實驗 A: 雙溶質交互作用下的雙結晶，單晶與雙晶 體積、密度的差異

1. 單溶質飽和液與雙溶質飽和混合液 體積、重量、形狀

飽和	硫酸銅(100ml)	明礬(100ml)	硫酸銅+明礬(100ml)	
一週				
				
晶形				

等比例 畫形狀				
長度	長 1.32 cm	長 0.86 cm	長 0.86 cm	長 0.56 cm
寬度	寬 0.88 cm	寬 0.73 cm	寬 0.65 cm	寬 0.48 cm
厚度	0.5cm	0.4 cm	0.32 cm	0.3 cm
體積	0.58	0.25	0.17	0.08
結晶 重量	10.2g	9.2g	18.6g	

2. 單溶質、雙溶質晶體密度




飽和	硫酸銅		明礬		硫酸銅+明礬	
重量(g)	5.3	10.2	8.8	9.2	12	18.6
水量(ml)	2.65	4.86	5.77	6.05	6.62	10.3
密度	2.03	2.098	1.525	1.520	1.812	1.805
平均值	2.04		1.52		1.80	




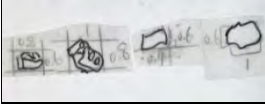
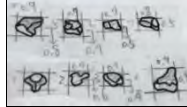
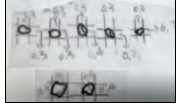
結論：




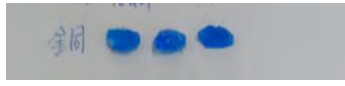
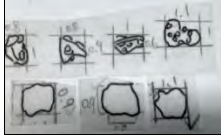
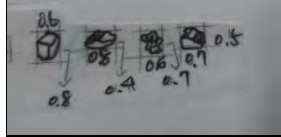
- 單結晶重量: 硫酸銅晶重 10.2g, 明礬晶重 9.2g, 雙溶質混合(硫酸銅+明礬)晶重 18.6g, $(10.2+9.2=19.4)>18.6$, 表示在雙溶質混合溶液環境下使雙方的結晶重量均降低。
- 晶體體積: 單晶銅(0.58) $>$ 雙晶銅(0.32), 單晶明礬(0.4) $>$ 雙晶明礬(0.3); 單晶體積均大於雙晶體積, 表示在雙溶質離子效應下會互相抑制對方結晶的「生長」、擠壓「空間」, 使雙方的晶體都變小顆。
- 雙晶密度: 硫酸銅密度 2.03, 明礬密度 1.52, 兩溶質混合密度是 1.80; 以混合重量(18.6g)、體積(10ml)和各單一密度、體積、重量計算得知, 雙結晶晶量比例: 硫酸銅結晶量 59.5% $>$ 明礬結晶量 40.5%, 表示在雙溶質兩離子交互作用下, 硫酸銅結晶多過明礬結晶。
- 晶形: 雙溶質下的硫酸銅某些角度還是看的到平行四邊晶體, 但因與明礬堆疊的關係, 使得硫酸銅整體晶形呈現不規則。

實驗 B: 飽和、緩降、急降、加壓、加磁環境下的雙結晶-硫酸銅晶體的差異

1. 雙結晶

	飽和(100ml)	緩降(100ml)	急降(100ml)
一週 圖片			

硫酸銅晶形			
硫酸銅等比例形狀			
長度	長 0.86 cm	長 0.82cm	長 0.34 cm
寬度	寬 0.65 cm	寬 0.71cm	寬 0.33 cm
厚度	0.32 cm	0.39 cm	0.13 cm
體積	0.17	0.22	0.01

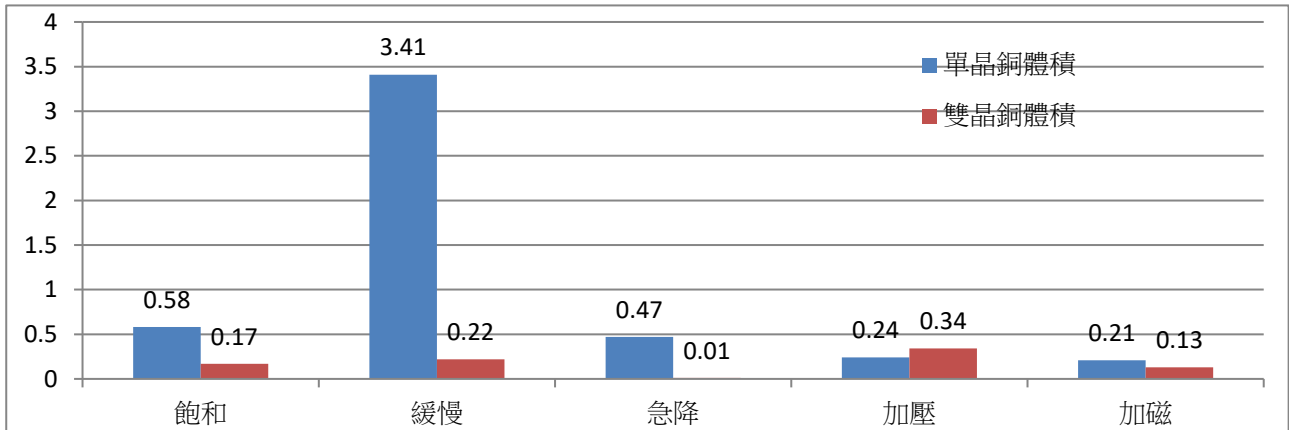
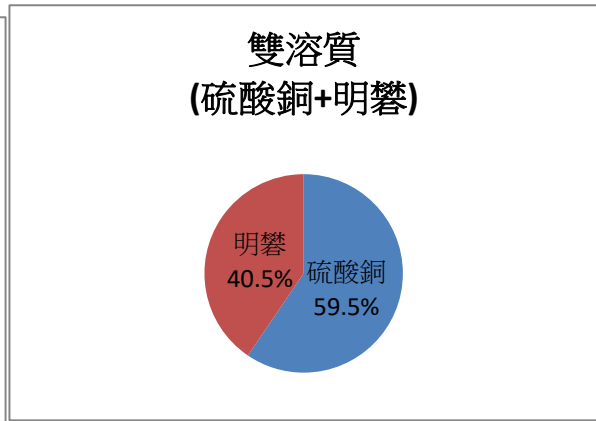
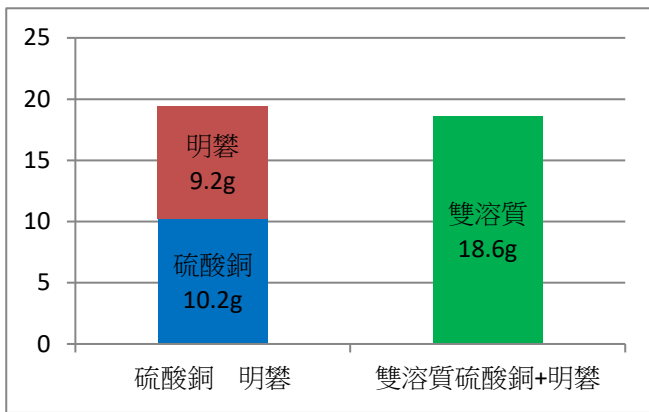
	加壓(350ml)	加磁(150ml)
一週圖片		
硫酸銅晶形		
硫酸銅等比例畫形狀		
長度	長 0.96 cm	長 0.75cm
寬度	寬 0.89 cm	寬 0.55cm
厚度	0.4 cm	0.32 cm
體積	0.34	0.13

2. 比較不同環境下單晶體與雙晶體的差異

	飽和		緩慢		急降		加壓		加磁	
	單晶銅	雙晶銅	單晶銅	雙晶銅	單晶銅	雙晶銅	單晶銅	雙晶銅	單晶銅	雙晶銅
體積	0.58	0.17	3.41	0.22	0.47	0.01	0.24	0.34	0.21	0.13

結論：

- 飽和：單晶銅(0.58) > 雙晶銅(0.17)。緩慢：單晶銅(3.41) > 雙晶銅(0.22)。急降：單晶銅(0.47) > 雙晶銅(0.01)。加壓：單晶銅(0.24) < 雙晶銅(0.34)。加磁：單晶銅(0.21) > 雙晶銅(0.13)，除加壓外，單晶銅體積均大於雙晶銅體積。
- 雙溶質不同環境下雙晶銅體積：加壓(0.34) > 緩降(0.22) > 飽和(0.17) > 加磁(0.13) > 急降(0.01)，加壓有助於銅離子附著在硫酸銅上結晶養成大晶體，也使晶體間非常的緊密黏在一起，晶體外觀是非常尖硬的。



研究三：雙溶質在飽和、緩降、急降、磁場、壓力等五種環境條件下形成的包心結晶的效果如何？



(一) 實驗步驟

- 雙溶質飽和：(硫酸銅 176g+明礬 72g)/400ml 加熱至完全溶解，分別倒入 3 杯各為 200ml(放入已綁好的銅包心、礬包心)、100ml(放入已綁好的銅包心)、100ml(放入已綁好的礬包心)。
- 雙溶質緩降：(硫酸銅 288g+明礬 140g)/400ml 加熱溫度 70°C 完全溶解，燒杯口以保鮮膜密封放置保溫熱水瓶，從 70°C 緩慢降溫至 30°C 時間共 8 小時，分別倒入 3 杯各為 200ml(放入綁好銅心、礬心)、100ml(放入綁好銅心)、100ml(放入綁好礬心)。
- 雙溶質急降：(硫酸銅 288g+明礬 140g)/400ml 加熱溫度 70°C 完全溶解後，以大量冰塊及水，燒杯隔水急速降溫，從 70°C 緩慢降溫至 30°C 時間共 2 分鐘，分別倒入 3 杯各為 200ml(放

入綁好銅心、礬心)、100ml(放入綁好銅心)、100ml(放入綁好礬心)。

- 雙溶質加壓：(硫酸銅 462g+明礬 189g)/1050ml 加熱至完全溶解，分別倒入 3 瓶寶特瓶各為 350ml(放入綁好銅心、礬心)、350ml(放入綁好銅心)、350ml(放入綁好礬心)裝滿寶特瓶瓶蓋密封膠帶封緊並以大型鐵夾夾寶特瓶。
- 雙溶質加磁：(硫酸銅 66g+明礬 27g)/150ml 加熱至完全溶解，隔水加熱溫度至完全溶解後降至室溫，將溶液倒入貼於兩側的超強力磁鐵的四方形容器(放入已綁好的銅心、礬心)。
- 一週後取出包心結晶觀察記錄，秤重、描晶形、測量晶形厚度。

(二)實驗結果

實驗 A：飽和、緩降、急降、加壓、加磁環境下的包心結晶

一、包心結晶-飽和

結論：

	飽和(銅心 礬心)200ml		飽和(銅心)100ml	飽和(礬心)100ml
一週 圖片				
硫酸銅 晶形				
硫酸銅 等比例 畫形狀				
長度	長 1cm	長 0.86cm	長 1.08cm	長 0.77cm
寬度	寬 0.725cm	寬 0.65cm	寬 0.82cm	寬 0.52cm
厚度	0.3 cm	0.15 cm	0.32 cm	0.26 cm
體積	0.21	0.08	0.28	0.10
包心結晶 剖面厚度				
包心	銅心	礬心	銅心	礬心
前重	5.3	5.3	4.6	4.5
後重	13.9	9.1	14	8.7
增加重量	8.6	3.8	9.4	4.2

- 飽和外圈銅晶體積：一包銅心外銅晶(0.28)>兩包銅心外銅晶(0.21)，一包礬心外銅晶(0.10)>兩包礬心外銅晶(0.08)，一包心外銅晶均比兩包心競爭下，可使包心外圈硫酸銅

結晶較為大顆。

2. 飽和外圈增加重量：一包銅心外圈增加重量(9.4)>兩包銅心外圈增加重量(8.6)，一包礬心外圈增加重量(4.2)>兩包礬心外圈增加重量(3.8)，一包心增加重量均大於兩包心外圈重量多。特別的是，銅心增加重量都是礬心增加重量的 2 倍，使銅心晶體變大顆很多。

3. 雙溶質飽和液兩包心下：

①銅心外圈：沒有新的硫酸銅結晶，只看見銅心晶體越來越大顆且晶形呈平行四邊形；明礬點狀結晶，數量稀少小如點。

②礬心外圈：有 8~10 顆硫酸銅結晶，數量少，晶體大顆；礬心沒有新的明礬結晶，是將原本礬心的明礬長得更大顆。

4. 雙溶質飽和液一包心下：

①銅心外圈：沒有新的硫酸銅結晶，只見將原本銅心晶體長得更大顆，增加的重量是兩包心-銅心的兩倍重；明礬點狀結晶，數量稀少小如點。



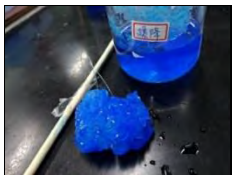
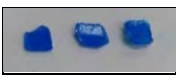



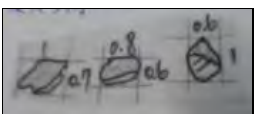
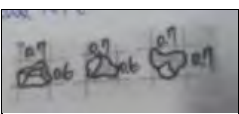
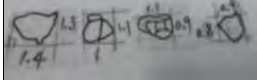
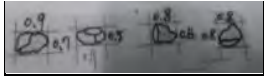
②礬心外圈：有 12~14 顆硫酸銅結晶，數量少，晶體大顆；沒有新的明礬結晶，是將原本的礬心長得更大顆。

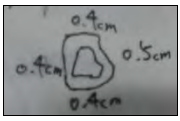
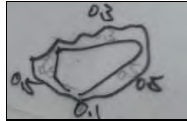
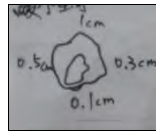
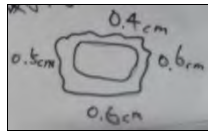
5. 綜合上述：①雙溶質飽和溶液，礬心：外圈銅結晶大顆，銅心：外圈礬晶數量稀少點狀分布，且銅心晶體成養(長)晶狀態，使銅心晶體變大顆。

②硫酸銅喜歡找自己同類屬性附著使晶種變大，亦可附著在礬心上，有硫酸銅結晶。

③明礬喜歡找自己同類屬性附著使晶種變大，但不容易附著在銅心上，沒有明礬結晶。

二、包心結晶-緩降

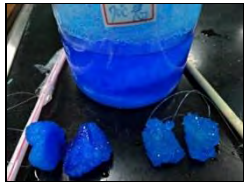
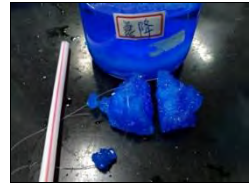


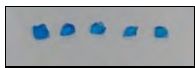
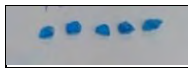

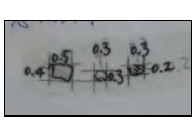
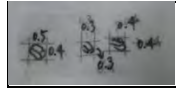

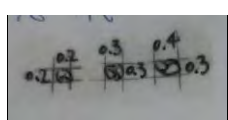
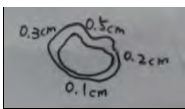
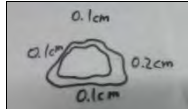
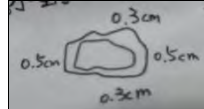
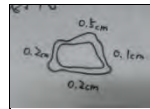
	緩降(銅心 礬心)200ml		緩降(銅心)100ml	緩降(礬心)100ml
一週後 圖片				
硫酸銅 晶形				
硫酸銅 等比例 畫形狀				

長度	長 0.93cm	長 0.7cm	長 1.12cm	長 0.85cm
寬度	寬 0.63cm	寬 0.63cm	寬 1cm	寬 0.65cm
厚度	0.33 cm	0.34 cm	0.36 cm	0.37 cm
體積	0.19	0.14	0.4	0.2
包心結晶 剖面厚度				
包心	銅心	礬心	銅心	礬心
前重	3.3	3.5	4.4	4.6
後重	16.4	14.6	21.1	21
增加重量	13.1	11.1	16.7	16.4

結論：

1. 緩降外圈銅晶體積：一包銅心外銅晶(0.4) > 兩包銅心外銅晶(0.19)，一包礬心外銅晶(0.2) > 兩包礬心外銅晶(0.14)，一包心外銅晶均比兩包心外銅晶較為大顆很多。
2. 緩降外圈增加重量：一包銅心外圈增加重量(16.7) > 兩包銅心外圈增加重量(13.1)，一包礬心外圈增加重量(16.4) > 兩包礬心外圈增加重量(11.1)，一包心增加的重量均比兩包心競爭下，可使包心外圈變重很多。
3. 緩降雙溶質有利包心外圈的結晶，有硫酸銅、明礬結晶多且大顆，晶體混在一起。

三、包心結晶-急降

	急降(銅心 礬心)200ml		急降(銅心)100ml	急降(礬心)100ml
一週 圖片				
硫酸銅晶 形				
硫酸銅等 比例 畫形狀				
長度	長 0.36cm	長 0.4cm	長 0.4cm	長 0.3cm
寬度	寬 0.3cm	寬 0.36cm	寬 0.36cm	寬 0.26cm
厚度	0.1 cm	0.08 cm	0.11 cm	0.07 cm
體積	0.01	0.01	0.01	0.005
包心結晶 剖面厚度				

包心	銅心	礬心	銅心	礬心
前重	5.8	5.4	4.1	4.3
後重	24.1	21.5	22.6	21.8
增加重量	18.3	16.1	18.5	17.5

結論:

- 急降外銅晶體積:一包銅心外銅晶(0.01)=兩包銅心外銅晶(0.01),一包礬心外銅晶(0.01)=兩包礬心外銅晶(0.005),一包心外銅晶和兩包心外圈銅晶差不多,且晶體均非常微小如細沙。
- 急降外圈增加重量:一包銅心外圈增加重量(18.5)=兩包銅心外圈增加重量(18.3),一包礬心外圈增加重量(17.5)=兩包礬心外圈增加重量(16.1),一包心和兩包心增加的重量差不多沒有太大差異。
- 緩降、飽和、加壓環境下,一包心和兩包心競爭下,單一包心明顯增加重量會比較多。



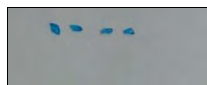
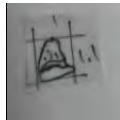
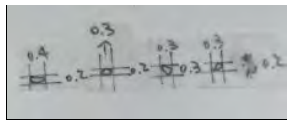
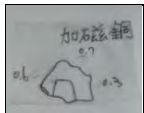
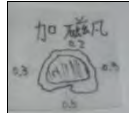
四、包心結晶-加壓

飽和	加壓(銅心 礬心)200ml		加壓(銅心)100ml	加壓(礬心)100ml
2週 圖片				
硫酸銅 晶形				
硫酸銅 等比例 畫形狀				
長度	長 0.71cm	長 0.48cm	長 0.93cm	長 0.7cm
寬度	寬 0.5cm	寬 0.4cm	寬 0.73cm	寬 0.6cm
厚度	0.24cm	0.16 cm	0.43cm	0.16 cm
體積	0.08	0.03	0.29	0.06
包心結晶 剖面厚度				
包心	銅心	礬心	銅心	礬心
前重	3.6	3.6	4.1g	4.8g
後重	7.7	7.3	16.4g	11.3g
增加重量	4.1	3.7	12.3	6.5

結論：

1. 加壓外銅晶體積：一包銅心外銅晶(0.29)>兩包銅心外銅晶(0.08)，一包礬心外銅晶(0.06)>兩包礬心外銅晶(0.03)，一包礬心外銅晶均比兩包心競爭下，可使包心外銅晶較為大顆。
2. 加壓外圈增加重量：一包銅心外圈增加重量(12.3)>兩包銅心外圈增加重量(4.1)，一包礬心外圈增加重量(6.5)>兩包礬心外圈增加重量(3.7)，一包心增加的重量均比兩包心競爭下，可使包心外圈變重很多。特別的是，一包心下，銅心增加重量是最多，重量為其他包心的2倍，銅晶形也是最大顆。
3. 加壓有助包心外圈的硫酸銅與明礬結晶，且銅晶體呈薄片狀、長形、非常尖銳堅硬。

五、包心結晶-加磁

飽和	加磁(銅心 礬心)150ml	
2週 圖片		
硫酸銅 晶形		
硫酸銅 等比例 畫形狀		
長度	長 1.1cm	長 0.325cm
寬度	寬 1cm	寬 0.225cm
厚度	0.4 cm	0.1 cm
體積	0.44	0.007
包心結晶 剖面厚度		
包心	銅心	礬心
前重	4g	3.9g
後重	11.9g	7g
增加重量	7.9 g	3.1 g

結論：



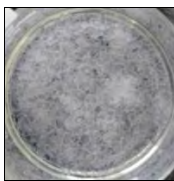
1. 加磁外銅晶體積：銅心外銅晶(0.44)>礬心外銅晶(0.007)，包心外銅晶較為大顆。
2. 加磁外圈增加重量：銅心外圈增加重量(7.9)>礬心外圈增加重量(3.1)，加磁兩包心環境下，銅心增加重量是礬心的2倍。

3. 加磁-①銅心外圍無新的硫酸銅結晶，而是使銅心晶種變大顆，明礬結晶小如點。



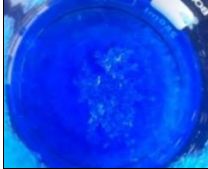
②礬心外圍硫酸銅結晶小如點，明礬結晶小如點。加磁無法形成包心結晶。

實驗 B: 飽和、緩降、急降之包心結晶外圍雙晶晶量比例

表一

密度	明礬飽和		明礬緩降		明礬急降	
一週 圖片						
重量(g)	8.8	9.2	4.3	4.3	5.8	9.0
水量(ml)	5.77	6.05	2.7	2.65	3.75	5.8
密度	1.525	1.520	1.592	1.622	1.546	1.551
平均值	1.522		1.607		1.548	

表二

密度	硫酸銅飽和		硫酸銅緩降		硫酸銅急降	
一週 圖片						
重量(g)	9.8	6.4	7.9	7.0	4.5	6.7
水量(ml)	4.7	3.2	3.5	3.1	2.05	3.05
密度	2.085	2	2.257	2.25	2.19	2.196
平均值	2.042		2.253		2.193	

結論:

1. 以重量、體積和密度計算包心結晶飽和、緩降、急降兩心外圍雙溶質結晶量比例:

環境	飽和兩心		緩降兩心		急降兩心	
	銅心	礬心	銅心	礬心	銅心	礬心
外圍	銅晶 68.6%	銅晶 41.5%	銅晶 73.2%	銅晶 56.1%	銅晶 61.8%	銅晶 67.3%
晶量	礬晶 31.3%	礬晶 58.4%	礬晶 26.7%	礬晶 43.9%	礬晶 38.1%	礬晶 32.6%

①在飽和兩離子交互作用，銅離子、礬離子都喜歡結晶在各自同種類上。

②在緩降、急降兩離子交互作用，硫酸銅結晶量均多於明礬結晶量，銅離子結晶強於礬離子。

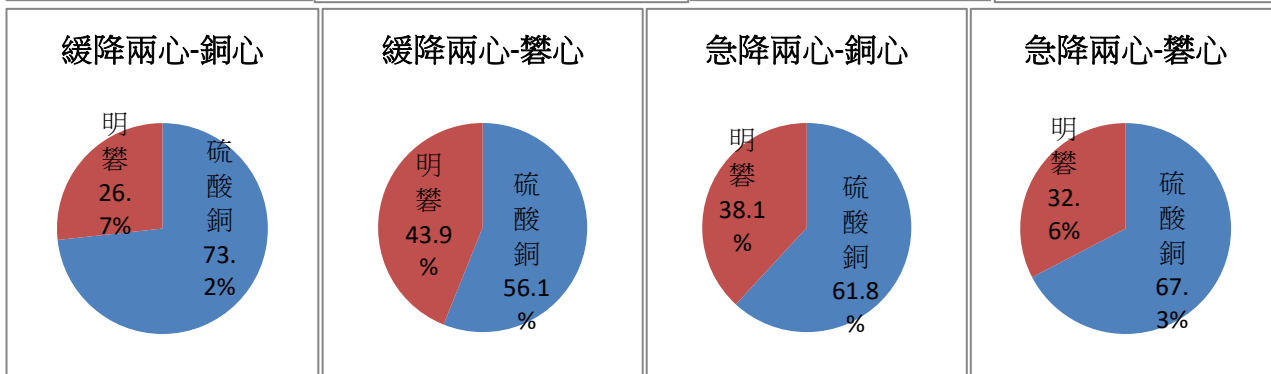
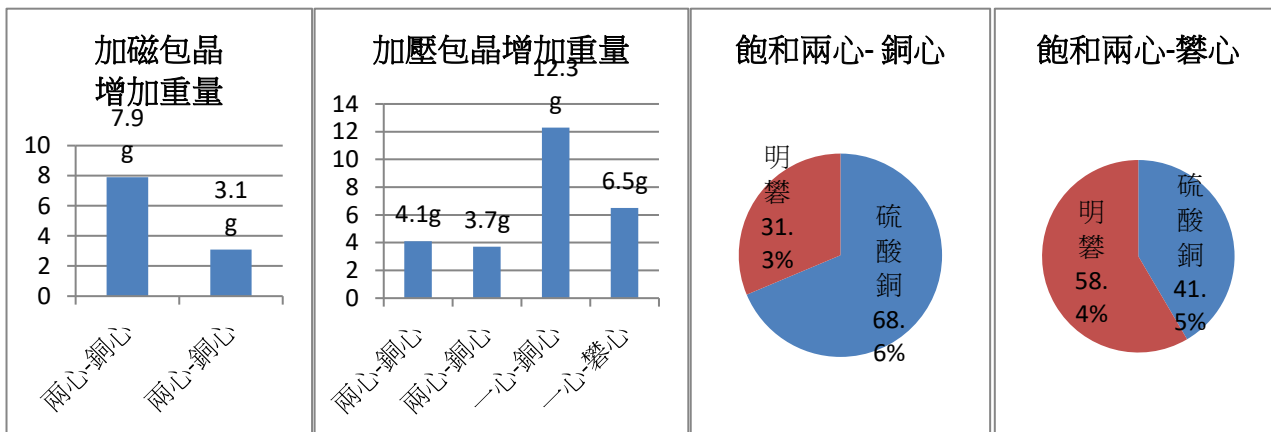
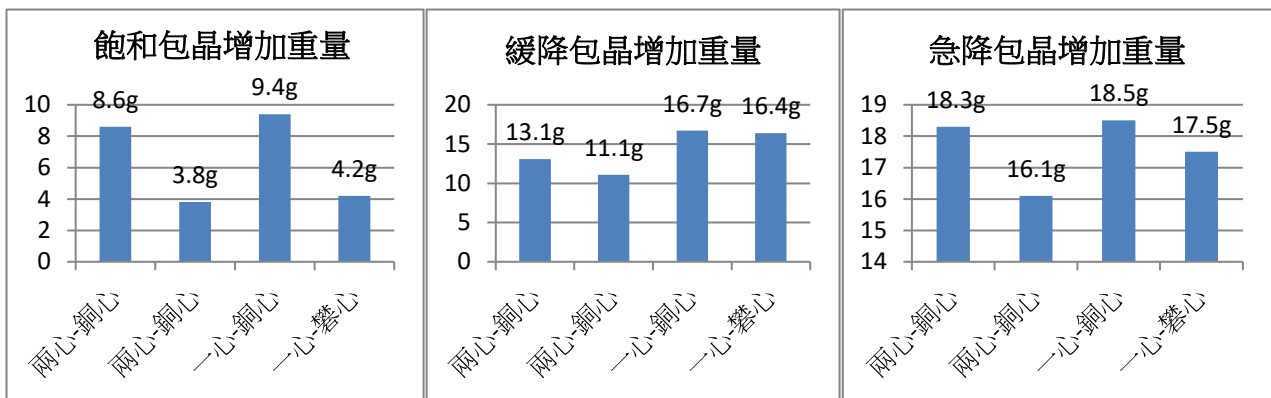
2. 急降結晶重量>緩降結晶重量，在急速降環境下，外圍晶重量最重。

3. 外晶形體積:緩降>飽和>急降，緩降外晶形最大，飽和外晶形次之，急降外晶形最小。















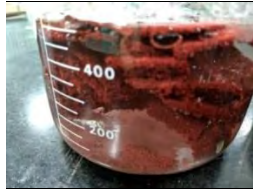






4. 在加壓、緩降、急降，不論是銅心或礬凡心，觀察外圍增加重量都是硫酸銅的結晶量偏多，

硫酸銅附著結晶強過明礬附著結晶。

- 加磁無法幫助包心結晶。
- 加壓銅心有明礬結晶，明礬晶量和晶形大，比飽和、加磁的效果好的。礬心外有硫酸銅結晶晶形大片且大顆。加壓有利於包心結晶外圍附著結晶的形成。
- 比較兩包心和一包心的環境，一包心外圍量均大於兩包心的外圍量，可知兩包心的外圍結晶有附著結晶上的二選一的競爭，一包心外圍結晶比較不受競爭的干擾。
- 包心結晶製作的條件可以以「雙結晶的結論和包心結晶外圍雙結晶晶量比例」來應用，晶量多則適合放在外圍結晶，晶量少的適合當包心，即為「外晶銅、包心礬」。
- 包心結晶製作的環境以「緩降」外圍結晶體積最大顆，「急降」外圍結晶重量最重。



研究四：結晶後之液體再製晶體的性質與廢液環保處理

		
結晶後之液體曬乾挑除雜質	調濃度再製晶體	裁剪回收的鋁罐
		
鋁片未磨	用砂紙磨去表面薄膜	鋁片全磨除表面薄膜
		
左:正方形 2*2cm (小片) 右:長方形 2*4cm (大片)	再製晶後之液體放置 1 個月 無法再結晶液體 PH2.2	石蕊試紙測試
		
左放入 50 片 2*4cm 大片 右放入 100 片 2*2cm 小片	放入鋁片變化後呈淡藍色	放入鋁片變化後呈深綠
		
放入鋁片變化後呈深灰	放入鋁片變化後呈咖啡紅	最後液體變清澈
		
小而多片，100 片 PH3.7	大而少片，50 片 PH3.5	取出附著咖啡紅的鋁片曬乾
		
刮下鋁片上的咖啡紅-銅	撈河川中的小魚	清澈液體稀釋至 PH6.5 放入河川的小魚

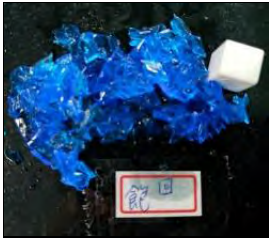

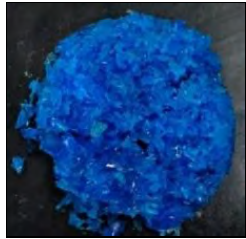



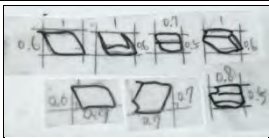
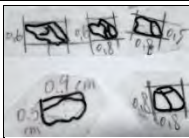
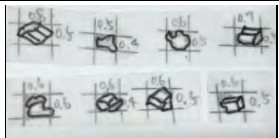
(一)實驗步驟

1. 將結晶後的硫酸銅液體集中於容器內曬乾，挑除雜質，調配溶液並濾過雜質。
2. 飽和液:硫酸銅 44 g/100ml 加熱至完全溶解後放置室溫。
3. 高溫 70°C 飽和液：硫酸銅 144g/200ml 加熱溫度 70°C 完全溶解後，分別倒入 100ml 燒杯口以保鮮膜密封放置保溫熱水瓶，從 70°C 緩降至 30°C 時間共 8 小時，取出放置室溫為緩降液；倒入 100ml 燒杯以大量冰塊及水量將燒杯隔水急速降溫，從 70°C 急降至 30°C 時間共 2 分鐘，取出放置室溫為急降液。
4. 一週後取出再製晶體繪製晶形、晶形、測量厚度、晶體體積、在同光源環境下以單眼相機、翻拍架拍照晶體，並以電腦影像軟體測量顏色 RGB、測量硬度。
5. 收集學校資源回收室的鋁罐，清洗晾乾剪取頭尾圓盤，取罐身長方形鋁片以砂紙磨去表面薄膜，裁成大片 2*2=4 平方公分，小片 2*1=2 平方公分。
6. 將放置兩個月無法再結晶的硫酸銅廢液，測量環保處理前的 P H 值，2 燒杯各 500ml 分別放入大片 2*2=4 平方公分 50 片，小片 2*1=2 平方公分 100 片觀察記錄。
7. 浸泡鋁片(刮除表面薄膜)後的澄清液體測量 PH 值，並加入大量水稀釋置 PH 值 6.5，放入河川的小魚觀察 3 週。

(二)實驗結果

實驗 A:回收液曬乾再製晶體與新製晶的體積、密度、硬度、顏色的差異

1.再製晶體

硫酸銅	飽和(100ml)	緩降(100ml)	急降(100ml)
			
硫酸銅 晶形			
硫酸銅 等比例 畫形狀			
邊形	平行四邊形	平行四邊形	平行四邊形
長度	長 0.87cm	長 0.86cm	長 0.62cm
寬度	寬 0.58cm	寬 0.6cm	寬 0.48cm

厚度	0.18 cm	0.32 cm	0.15cm
體積	0.09	0.16	0.04
重量	7.7g	35.2g	41.6g




2. 再製晶體密度

	飽和		緩降		急降	
重量(g)	5.3	7.2	10.1	9.1	3.7	10.8
水量(ml)	3.1	4.2	5.25	4.51	2	6
密度	1.709	1.714	1.923	2.017	1.85	1.8
平均密度	1.71		1.97		1.82	

3. 再製晶體硬度

再製晶	飽和	緩降	急降
握力器力量	0 圈以下，10Kg 以下	0 圈以下，10Kg 以下	0 圈以下，10Kg 以下
莫氏硬度 互相刻畫	滑石硬度 1	石膏硬度 2	石膏硬度 2

4. 再製晶體顏色

再製晶	飽和	緩降	急降
圖片			
顏色 (RGB、 HSL、 HSV、 色碼表)	RGB (0, 71, 163) HSL(214, 100%, 32%) HSV(213.9, 1.0000, 0.6392) #0047A3	RGB (7, 29, 131) HSL(229, 90%, 27%) HSV(229.4, 0.9466, 0.5137) #071E83	RGB (0, 86, 175) HSL(211, 100%, 34%) HSV(210.5, 1.0000, 0.6863) #0054AD

5. 比較新製晶與再製晶體的差異



	飽和		緩降		急降	
	新製晶	再製晶	新製晶	再製晶	新製晶	再製晶
體積	0.58	0.09	3.41	0.16	0.47	0.04
密度	2.04	1.71	2.25	1.97	2.19	1.82
硬度	14.73Kg	10Kg 以下 莫式硬度 1	19.47Kg	10Kg 以下 莫式硬度 2	14.73Kg	10Kg 以下 莫式硬度 2
顏色 (RGB、 HSL、 HSV、 色碼表)	RGB (6,45,148) HSL(224, 92%, 30%) HSV(223.5, 0.9595, 0.5804) #062C93	RGB (0,71,163) HSL(214, 100%, 32%) HSV(213.9, 1.0000, 0.6392) #0047A3	RGB (9,15,125) HSL(237, 87%, 26%) HSV(236.9, 0.9280, 0.4902) #090F7C	RGB (7,29,131) HSL(229, 90%, 27%) HSV(229.4, 0.9466, 0.5137) #071E83	RGB (3,34,114) HSL(223, 95%, 23%) HSV(223.2, 0.9739, 0.4471) #032372	RGB (0,86,175) HSL(211, 100%, 34%) HSV(210.5, 1.0000, 0.6863) #0054AD

結論：

1. 晶體體積:新製晶飽和(0.58) >再製晶飽和(0.09)。新製晶緩降(3.41) >再製晶緩降(0.16)。
新製晶急降(0.47) >再製晶急降(0.04)。再製晶的體積明顯的都比新製晶的體積小很多。
2. 晶體密度:新製晶飽和(2.04) >再製晶飽和(1.71)。新製晶緩降(2.25) >再製晶緩降(1.97)。
新製晶急降(2.19) >再製晶急降(1.82)。再製晶的密度明顯的都比新製晶的密度變小。
3. 晶體硬度:新製晶飽和(14.73kg) >再製晶飽和(10kg以下, 莫氏硬度為1)。新製晶緩降
(19.47kg) >再製晶緩降(10kg以下, 莫氏硬度為2)。新製晶急降(14.73kg) >再製晶急降
(10kg以下, 莫氏硬度為2)。硬度使用握力器刀片切再製晶體, 都低於10公斤以下的重量,
再製晶的硬度降低很多且容易碎裂。
4. 晶體顏色:由實驗數據HSL、HSV判讀, 新製晶飽和(223.5) >再製晶飽和(213.9)。新製晶緩
降(236.9) >再製晶緩降(229.4)。新製晶急降(223.2) >再製晶急降(210.5)。再製晶體顏
色均比新製晶體顏色淡很多。
5. 由實驗的知再製晶的體積、密度、硬度、顏色都降低很多, 故新藥品結晶後之液體不適合
再拿來製晶。此實驗驗證研究一的結論, 晶體體積、密度、硬度、顏色和硫酸銅濃度有關,
回收液的硫酸銅濃度和新藥品硫酸銅濃度不一樣, 濃度降低很多。

實驗B:無法再結晶之回收液環保處理

①無法再結晶液體

液體容量	500ml(編號 1:小而多片)	500ml(編號 2:大而少片)
		
鋁片同面積	小片 2*1=2 平方公分 100 片 總面積 2*100=200	大片 2*2=4 平方公分 50 片 總面積 4*50=200
鋁片重量	約 11.9g	約 11.4g
浸泡前 PH 值	PH2.2	PH2.2
顏色變化	藍→淡藍→深綠→深灰→咖啡紅→澄清	藍→淡藍→深綠→深灰→咖啡紅→澄清
時間	2 小時 20 分	2 小時 20 分
浸泡後 PH 值	3.7	3.5

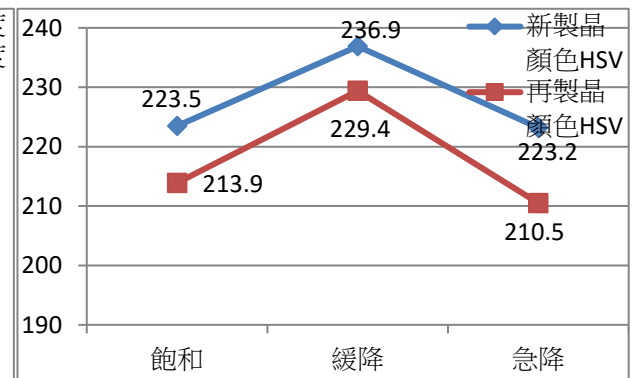
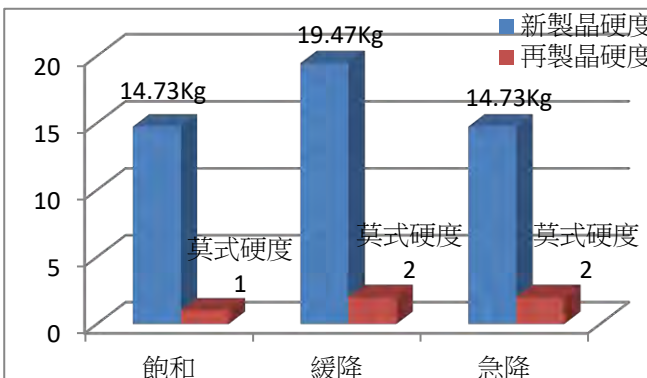
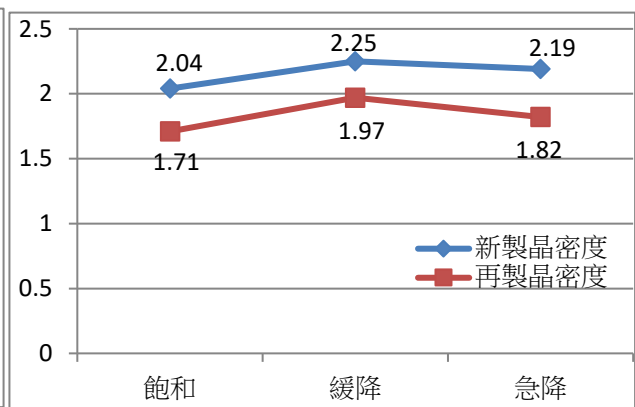
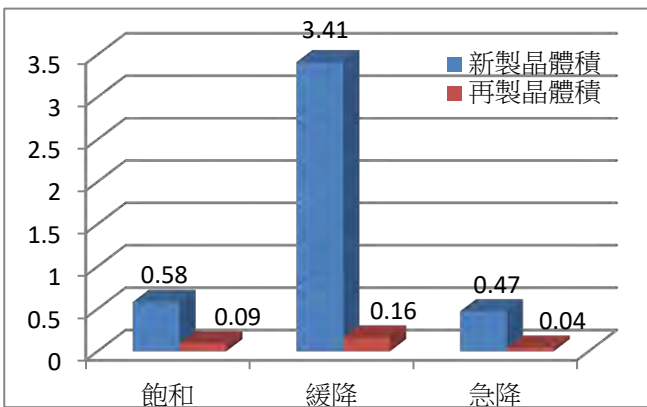
- ②大量水稀釋至 PH 值 6.5: 浸泡鋁片後的澄清液體 PH 值 3.7 取 30ml→加入 PH 值 7.3 的水
量 4780ml→PH 值 5.5 取 20ml 加入水 980ml 至總液體 1000ml→PH 值 6.5。

③**養魚**：取稀釋後的液體 PH 值 6.5 容量 500ml → 放入 11 隻河川的小魚和 2 隻孔雀魚 → 3 週後魚兒悠游自在存活 → 表示大量稀釋後的液體無毒性。

④**收集銅原子**：將附著於鋁片外的咖啡色粉末曬乾 → 刮下咖啡色粉末。

結論：

1. 浸泡鋁片，在總面積下的長方形 2*4 大片 50 片和正方形 2*2 小片 100 片，使硫酸銅便清澈的時間一樣均為 2 小時 20 分，所以大片、小片不會影響液體顏色變至澄清水速度時間的快慢。
2. 再製晶體（第二次製晶）後的淡藍色液體 PH 2.2，浸泡鋁片後澄清液體 PH 3.7，可得知鋁片可以吸附硫酸銅中的銅離子附著在鋁片上呈咖啡色顆粒，將澄清液體加入大量稅稀釋至 PH 6.5 後放入河川的小魚和孔雀魚養魚 3 周依舊存活，可知浸泡鋁片後成澄清液體排放入下水道或河川是無毒性的。
3. 此實驗結果可提供給各級學校在硫酸銅實驗後結合回收鋁罐再利用來處理重金屬廢液毒性的參考方法。



柒、研究結果

研究一

1. 高溫高濃度之緩降、急降、自然降 2~3 小時即可看到結晶且在短時間 3 天可完全結晶，未

飽和可看到結晶的時間、完全結晶時間均最久。

2. 硫酸銅飽和液晶體為單一顆完整晶形平行四邊形，高溫變溫和低溫恆溫除了平行四邊形外，有長方體、梯形和多顆大晶體堆疊在一起呈現不規則，加磁使晶體呈不規則。
3. 晶體角度飽和為 45° ，過飽為 55° ，高濃度為 60° ，濃度越高角度越大，加磁會干擾結晶的生長而有各種角度的產生。
4. 九種環境下以「緩降」晶體最厚最大顆，硬度也最大，加磁、加壓晶體最小顆。
5. 「加壓」晶體密度最大，「加磁」第二，「緩降」第三。
6. 緩降、自然降、加壓、加磁都有助於晶體的顏色變深，低溫顏色最淺。
7. 未飽和、過飽和、低溫的晶體透光度最好，高濃度晶體透光度最差。
8. 飽和濃度以「加壓」硬度為最大，所以加壓可以使晶體硬度增大。未飽和濃度因結晶天數最長，隨著天數而使濃度越來越高，晶形越外圈因濃度越高也漸漸長成大顆的晶體，而使硬度變大。推論結晶的各差異與濃度大小、溫度變化、外在加壓力、磁場有關。

研究二

1. 雙溶質離子效應下會互相抑制雙方結晶的「生長」、「空間」，使雙方的晶體都變小顆，雙方結晶重量也均降低。單晶體積大於雙晶體積。
2. 飽和雙溶質硫酸銅結晶量約 60% 多於明礬結晶量約 40%。
3. 加壓有助於銅離子附著在硫酸銅上結晶養成大晶體，也可使晶體間非常的緊密黏在一起，晶體外觀是非常尖硬的。

研究三

1. 在飽和、緩降、加壓環境，兩包心外圈晶有附著結晶上二選一的競爭，一包心外圈晶比較不受競爭的干擾，所以，一包心外銅晶均比兩包心外圈銅晶較為大顆很多；一包心增加的重量均比兩包心外圈變重很多。
2. 急降環境，一包心和兩包心競爭下重量沒有太大差異，且晶體均非常微小如細沙。
3. 緩降外晶體有硫酸銅、明礬結晶多且最大顆，有利包心外圈的結晶。
4. 由包心結晶的飽和、緩降、急降兩心環境下外圈兩溶質結晶量比重可知，
 - A. 雙溶質飽和液的兩離子交互作用下，銅離子、礬離子都喜歡結晶附著在各自同種類使晶種變大。

- ①銅心晶體成養(長)晶狀態，使銅心晶體變大顆，但不容易有明礬結晶的附著，晶細小。
 - ②礬心外圍可以附著銅晶大顆且晶顆數量少。
- B. 在緩降、急降的兩離子交互作用下，硫酸銅結晶量均多於礬結晶量很多，表示銅離子結晶強過礬離子。
5. 在緩降、急降、加壓下，不論是銅心或礬心，外圍增加重量都是硫酸銅的結晶量偏多，硫酸銅附著結晶強過明礬附著結晶。
 6. 急降晶重>緩降晶重，即是急降外圍晶重量最重。
 7. 加壓有助包心結晶外圍硫酸銅與明礬附著的結晶，且銅晶體呈薄片狀、長形、非常尖銳堅硬，晶形且大片大顆，比飽和、加磁的效果最好的。
 8. 加磁無法幫助包心結晶。
 9. 製作包心結晶的條件可以「雙溶質結晶量比例」，晶量較多為外圍結晶，晶量少為包心，即為「外晶銅、包心礬」。製作包心結晶的環境在「各環境下外圍雙晶的比重」應用，以「緩降」為最佳能製作出包心外圍的最大顆晶形，「急降」的外圍結晶重量最重。

研究四

1. 再製晶明顯比新製晶的體積、密度均小、硬度易碎裂、顏色淡很多，故新藥品結晶後之回收液體不適合再拿來製晶。此實驗驗證研究一的結論，晶體體積、密度、硬度、顏色和硫酸銅濃度有關，回收液的硫酸銅濃度和新藥品硫酸銅濃度不一樣，濃度降低很多。
2. 廢液浸泡鋁片，在總面積下裁成大片、小片，使硫酸銅變成清澈的時間是一樣的，所以大片、小片不會影響液體顏色變至澄清水速度時間的快慢。
3. 廢液浸泡鋁片可以吸附硫酸銅中的銅離子附著在鋁片上呈咖啡色顆粒，將澄清液體加入大量水稀釋後放入河川的小魚和孔雀魚3周可存活，證明是無毒性的，可排放入下水道或河川。此實驗結果可提供給各級學校在硫酸銅實驗後，結合回收鋁罐再利用來處理重金屬廢液毒性的參考方法。

捌、問題討論

1. 如何知道已達完全結晶的時間？

答: 先將燒杯溶液用滴管吸出，燒杯連同結晶每天用磅秤秤重紀錄，若重量沒有增加太多且趨

於穩定，表示差不多已完成結晶。

2. 溫度變化、濃度大小影響結晶體積的大小、顏色、硬度、密度的關係？

答:由研究一得知，「高溫高濃度」、「緩降」形成的晶體大顆、硬度較大且顏色最深，反之，低溫恆溫(4°C)環境形成的晶體顏色最淺，密度、硬度均小，晶體品質差。

3. 為何低溫顏色最淺？緩降顏色最深？

答: 由研究一得知，顏色與密度、硬度有關，低溫在結晶過程中，結構排列較鬆散、銅離子少，空隙含有水，使密度、硬度均降低，顏色淺，緩降在結晶過程中，結構排列整齊緊密、銅離子多，使密度、硬度均大，顏色深。

4. 為何緩降晶體最大顆？急降最小顆？

答:結晶形成需要時間慢慢堆疊排列，「緩降」時間越久結構排列越整齊緊密，晶體最大顆，「急降」時間短暫，快速析出結晶，結構快速排列亂、不緊密且空隙包覆水，晶體積小。

5. 加壓晶體的特性為何？

答:加壓為飽和溶液，受擠壓使結晶過程中，結晶時間慢，堆疊排列結構越緊密，顏色變深。晶體成薄、片狀且尖銳、晶體積小，使密度是最大的，也硬度大增。雖為非高濃度，加壓卻可使晶體顏色變深、密度、硬度均變大。

6. 最佳的單結晶環境為何？

答: 由研究一得知，①「高溫高濃度」能提供大量的結晶原料，密度、硬度大且顏色深，②「溫度變化最緩慢」，結晶需要時間慢慢堆疊，因緩降時間最長，晶體最大顆，③穩定環境，不震動。

7. 為何飽和雙溶質下的雙晶體積都變小顆，雙晶重量也均降低。

答: 由研究二得知，雙溶質使雙方的溶解度均降低而影響了雙結晶重量，雙方的結晶空間減小，形成兩種晶體互相堆疊狀態，空間填滿後無法繼續生長，只能在新的空間再結晶新晶體，使雙晶銅體積<單晶銅體積。

8. 雙溶質飽和液，包心結晶為何都找自己同屬性的結晶？

答: 由研究三得知，雙結晶過程中，慢慢堆疊會選擇同屬性、結構的形狀角度相同較易附著且穩定，不同屬性結構的形狀角度不同，堆疊不易附著也不穩定。

9. 雙溶質在緩降、急降環境下，包心結晶外圈晶量比為何都是銅晶量大於礬晶量？

答:由研究三得知，高溫高濃度容易產生大量的結晶量，同時間內，兩離子的特性不同，銅離子比礬離子容易形成結晶且速度快，故銅晶量多於礬晶量。

10. 形成包心結晶的最佳環境為何？

答：由研究三得知，①「高溫高濃度」、「溫度變化緩慢」是形成包心結晶最大顆，「飽和」產生各自養晶狀態，無法形成包心結晶，②兩種藥品選擇上以雙結晶晶量比例差異越大，外圍結晶顏色越趨近單一，越漂亮。

玖、未來展望

1. 提供教學上學生實驗操作模擬自然界的環境條件，不同濃度、熱帶高溫溫差大、寒帶低溫恆溫、磁場、地殼變動擠壓(加壓)下，高溫岩漿所含礦物降溫速度影響結晶顆粒大小、性質等形成的火成岩。
2. 提供在製作包心結晶外圍、內心兩種藥品屬性上的選擇，可先以「雙溶質結晶量比例」為前置實驗，雙溶質結晶量比例差異越大包心結晶外圍結晶顏色越單一，晶量少為包心，晶量多為外晶的參考依據，在「各環境下外圍雙晶的比例」應用，以「緩降」為最佳能製作出包心外圍的最大顆晶形。
3. 硫酸銅廢液環保處理方式供各級學校在硫酸銅實驗後結合回收鋁罐處理重金屬廢液毒性的參考方法。

拾、參考資料

1. 雨傘開花~聖誕樹的秘密。2014/10/23 取自 <http://www.docin.com/p-53574161.html>。
2. Alan Holder (1968) 晶體與晶體成長。台北市：徐氏基金會出版部。
3. 范宣、董舒婷(2005)影響晶體結晶要素之研究。台中市第45屆科展得獎作品。
4. 食鹽結晶的X檔案。中華民國第四十五屆科展作品。
5. 結晶：<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/?qid=1004122402276>。
6. 晶體的生長。2014/11/30 取自 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3425>。
7. 查詢師大化學-溶解度
8. 國立台灣大學化學系有機教研小組(民91)。實驗二，再結晶。有機化學實驗。國立台灣大學化學系。

【評語】 080212

探討單溶質與雙溶質水溶液在各種環境條件下分別形成的單結晶與雙晶體的差異，了解何種環境條件下能形成包心結晶，以緩慢降溫晶體顆粒與硬度最大，加磁、加壓晶體顆粒最小，加壓密度最大。濃度越高角度越大，加磁會擾亂結晶生長而有各種角度，晶形不規則。本研究對於結晶的條件有詳細的探討，但建議應對過去研究做背景介紹，交代差異處，利用結晶後之廢液浸泡鋁片可以吸附硫酸銅中的銅離子的現象，則是不錯的構想。

本工作亮點：

- (1) 簡單中求變化，觀察晶體部份雖沒有令人驚喜的地方、但是最後提出的利用鋁罐做氧化還原回收銅是個有趣的想法，且有實用價值。
- (2) 嚴謹考量到實驗廢液處理問題。

建議：

- (1) 本工作的成果呈現，特別是雙晶部份，需要品質較佳的照片與放大圖，如能加強則更佳。在海報討論時倒有出示較大的圖片。
- (2) 許多實驗紀錄中的缺數據，建議提供紀錄本中英文單字縮寫的說明，實驗條件如磁場與壓力，強度可能不足，難有明確結論。

- (3) 在展示表達上，摘要部分表達待加強、實驗結果敘述略顯亂，如何定量雙晶中各自的重量百分比？宜說明。雙晶剖面結構中礬心略帶藍色，顯示銅離子有進入礬心，如何發生，宜分析討論。
- (4) 建議用正確的“礬心”取代所有錯別字“凡心”。

摘要

模擬自然界各種環境形成結晶的差異，以「緩降」晶體最大顆且硬度最大，加磁、加壓晶體最小顆，加壓密度最大。濃度越高角度越大，加磁會擾亂結晶生長而有各種角度，晶形不規則。緩降、加壓、加磁有助於晶體顏色變深，低溫顏色最淺。雙溶質溶液抑制雙方結晶生長，使雙方晶體都變小顆，雙晶重量也均降低。單晶體積均大於雙晶體積。飽和雙結晶硫酸銅晶量約60%多於明礬結晶量約40%。在緩降、急降、加壓下，包心結晶外圍雙結晶均為硫酸銅結晶量多，晶量多當外圍，晶量少當包心，即為「外晶銅、包心礬」；以「緩降」外圍晶最大顆。加磁無法幫助包心結晶。回收液再製晶明顯比新製晶的體積、密度和硬度均小、顏色淡很多，廢液經處理後無毒性可排入水槽。

研究動機

紫水晶洞晶體閃亮繽紛耀眼奪目引起我們的興趣與好奇心，晶體很漂亮，有大有小，有四邊形、五邊形……，我們模擬自然界在各種天然環境條件下，單溶質形成的結晶其形狀、大小、硬度、密度、顏色、透光度的差異。探討雙溶質交互作用影響下形成的雙結晶有何不同與各種環境條件下雙結晶的結果。在何種條件下可製作出包心結晶。結晶後之液體若直接倒入水槽會造成重金屬環境汙染，因此我們試著將回收液利用再製晶的可能性，最後廢液經處理後無毒性可倒入水槽中。

研究目的

- 一、單溶質水溶液在各種天然環境條件下形成的單結晶有何差異。
- 二、雙溶質水溶液在不同環境下形成的雙晶體的結果。
- 三、何種環境條件下能形成包心結晶？
- 四、結晶後之液體再製晶的性質與廢液環保處理。

研究架構及流程



研究過程與方法

研究一：單溶質在不同濃度、熱帶高溫變溫、寒帶低溫恆溫、磁場、壓力等九種天然環境條件下結晶有何不同？

實驗A：9種環境下晶體的角度、體積、形狀

	未飽和(100ml)	飽和(100ml)	過飽和(100ml)
即可結晶	1週未結晶 2週少量結晶	4天少量結晶	2天少量結晶
完全結晶	3週	1週	1週
一週圖片			
晶形			
等比例圖形狀			
邊形	平行四邊形	平行四邊形	平行四邊形
角度	45°	45°	55°
長度	長1.67 cm	長1.32 cm	長1.1 cm
寬度	寬1.13 cm	寬0.88 cm	寬0.58 cm
厚度	0.4 cm	0.5 cm	0.6 cm
體積	約0.75	約0.58	約0.38
結晶重量	2.8g	18.4g	29g

2. 高溫變溫

	緩慢降溫(100ml)	急速降溫(100ml)	自然降溫(100ml)
即可結晶	4小時可結晶	0.5小時可結晶	1小時可結晶
完全結晶	3天	3天	3天
一週圖片			
晶形			
等比例圖形狀			
邊形	平行四邊形、梯形、不規則	平行四邊形、不規則	平行四邊形、長方體、不規則
角度	60°	60°	60°
長度	長1.8 cm	長1.1 cm	長2.42 cm
寬度	寬1.58 cm	寬0.86 cm	寬1.02 cm
厚度	1.2 cm	0.5 cm	0.6 cm
體積	約3.41	約0.47	約1.48
結晶重量	47g	43.7g	44.7g

3. 低溫恆溫、磁場、壓力

	低溫(4°C)(100ml)	加磁(150ml)	加壓(350ml)
即可結晶	1週少量結晶	1週少量結晶	1週少量結晶
完全結晶	2週	2週	2週
兩週圖片			
晶形			
等比例圖形狀			
邊形	平行四邊形、長方體	不規則	平行四邊形
角度	45°	45° 55° 60°	45°
長度	長1.7cm	長0.9cm	長1.02cm
寬度	寬0.78cm	寬0.6cm	寬0.8cm
厚度	0.4cm	0.4 cm	0.3cm
體積	約0.53	約0.21	約0.24
結晶重量	24.7g	14.2g/1.5+9.4g	22.4g/3.5+6.4g

實驗B：9種環境下晶體的密度

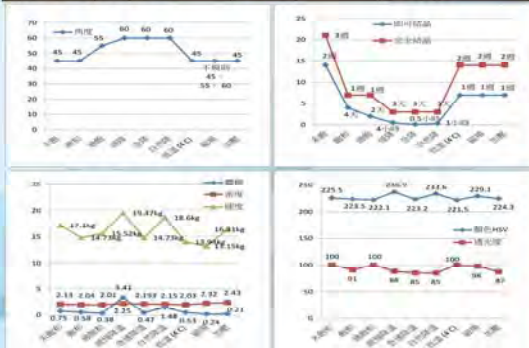
	未飽和	飽和	過飽和
重量(g)	3.7	3.9	9.8
水量(ml)	1.7	1.85	4.7
密度	2.17	2.108	2.085
平均值	2.13	2.04	2.01
	緩降	急降	自然降
重量(g)	7.9	7.0	4.5
水量(ml)	3.5	3.1	2.05
密度	2.257	2.25	2.19
平均值	2.25	2.193	2.15
	低溫(4°C)	磁場(超強磁鐵吸力)	加壓(寶特瓶壓晶)
重量(g)	5.6	5.8	2.1
水量(ml)	2.7	2.89	0.9
密度	2.074	2	2.33
平均值	2.03	2.32	2.43

實驗C：9種環境下晶體的硬度

	未飽和	飽和	過飽和	緩降	急降	自然降	低溫(4°C)	加磁場	加壓
測量一	4	3	3.5	6	3	5	3	2	4
測量二	5	3	3.5	6	3	5.5	2.5	2	4
測量三	4.5	3	3.5	6	3	6	2	2	4
平均硬度	4.5	3	3.5	6	3	5.5	2.5	2	4
換算硬度	17.1Kpa	14.72Kpa	15.82Kpa	19.47Kpa	14.73Kpa	18.6Kpa	12.9Kpa	12.15Kpa	16.31Kpa

實驗D：9種環境下晶體的顏色與透光度

	未飽和	飽和	過飽和
圖片			
顏色(RGB - HSL - HSV - 色值表)	R:68 (2, 22, 85) S:L:258, S: 95, 173) H:V(225, 5, 0.978, 0.3333) #021595	R:68 (6, 45, 144) S:L:274, S: 95, 393) H:V(223, 5, 0.959, 0.5804) #062593	R:68 (2, 37, 119) S:L:222, S: 95, 243) H:V(222, 1, 0.932, 0.4687) #022579
圖片			
明亮度(HS-B值)	H:215 S:88 B:100	H:215 S:88 B:81	H:202 S:82 B:100
	緩慢	急速	自然降
圖片			
顏色(RGB - HSL - HSV - 色值表)	R:68 (8, 15, 123) S:L:237, S: 87, 245) H:V(226, 8, 0.928, 0.4902) #090F7C	R:68 (3, 34, 114) S:L:223, S: 95, 293) H:V(222, 2, 0.9739, 0.4471) #032372	R:68 (8, 27, 121) S:L:224, S: 86, 251) H:V(223, 6, 0.9256, 0.4745) #091477
圖片			
明亮度(HS-B值)	H:227 S:72 B:88	H:226 S:76 B:85	H:227 S:81 B:85
	低溫(4°C)	磁場	加壓
圖片			
顏色(RGB - HSL - HSV - 色值表)	R:68 (6, 44, 143) S:L:222, 100%, 283) H:V(221, 5, 1.0000, 0.5808) #02098F	R:68 (8, 28, 127) S:L:228, S: 87, 263) H:V(229, 1, 0.9528, 0.4989) #061C7F	R:68 (8, 45, 147) S:L:224, S: 86, 251) H:V(224, 3, 0.9864, 0.5785) #022882
圖片			
明亮度(HS-B值)	H:198 S:85 B:100	H:211 S:85 B:98	H:223 S:78 B:87



研究二：雙溶質在飽和、緩降、急降、磁場、壓力等五種環境條件下雙結晶的結果

實驗A：雙溶質交互作用下的雙結晶，單晶與雙晶體積、密度的差異

1. 單溶質飽和液與雙溶質飽和混合液 體積、重量、形狀

飽和	硫酸銅(100ml)	明礬(100ml)	硫酸銅+明礬(100ml)
一週 圖片			
硫酸銅 晶形			
硫酸銅 等比例 量形狀			
長度	長1.32 cm	長0.86 cm	長0.86 cm
寬度	寬0.88 cm	寬0.73 cm	寬0.65 cm
厚度	0.5cm	0.4 cm	0.32 cm
體積	0.58	0.25	0.17
結晶重量	10.2g	9.2g	18.6g

2. 單溶液、雙溶質晶體密度

飽和	硫酸銅	明礬	硫酸銅+明礬
重量(g)	5.3	10.2	8.8
水重(ml)	2.65	4.86	5.77
密度	2.03	2.098	1.525
平均值	2.04	1.52	1.80

實驗B：飽和、緩降、急降、加壓、加磁環境下的雙結晶-硫酸銅晶體的差異

1. 雙結晶

飽和	飽和(100ml)	緩降(100ml)	急降(100ml)	加壓(350ml)	加磁(150ml)
一週 圖片					
硫酸銅 晶形					
硫酸銅 等比例 量形狀					
長度	長0.86 cm	長0.82cm	長0.34 cm	長0.96 cm	長0.75cm
寬度	寬0.65 cm	寬0.71cm	寬0.33 cm	寬0.89 cm	寬0.55cm
厚度	0.32 cm	0.39 cm	0.13 cm	0.4 cm	0.32 cm
體積	0.17	0.22	0.01	0.34	0.13

2. 比較不同環境下單晶體與雙晶體的差異

體積	飽和		緩降		急降		加壓		加磁	
	單晶銅	雙晶銅	單晶銅	雙晶銅	單晶銅	雙晶銅	單晶銅	雙晶銅	單晶銅	雙晶銅
	0.58	0.17	3.41	0.22	0.47	0.01	0.24	0.34	0.21	0.13



研究三：雙溶質在飽和、緩降、急降、磁場、壓力等五種環境條件下形成的包心結晶的效果如何？

實驗A：飽和、緩降、急降、加壓、加磁環境下的包心結晶

1. 包心結晶-飽和

飽和	飽和(銅心/礬心)200ml	飽和(銅心)100ml	飽和(礬心)100ml
一週 圖片			
硫酸銅 晶形			
硫酸銅 等比例 量形狀			
長度	長1cm	長0.86cm	長1.08cm
寬度	寬0.725cm	寬0.65cm	寬0.82cm
厚度	0.3 cm	0.15 cm	0.32 cm
體積	0.21	0.08	0.28
包心結晶 剖面厚度			
包心	銅心	礬心	銅心
前重	5.3g	5.3g	4.6g
後重	13.9g	9.1g	14g
增加重量	8.6g	3.8g	9.4g

2. 包心結晶-緩降

飽和	緩降(銅心/礬心)200ml	緩降(銅心)100ml	緩降(礬心)100ml
一週後 圖片			
硫酸銅 晶形			
硫酸銅 等比例 量形狀			
長度	長0.93cm	長0.7cm	長1.12cm
寬度	寬0.63cm	寬0.63cm	寬1cm
厚度	0.33 cm	0.34 cm	0.36 cm
體積	0.19	0.14	0.4
包心結晶 剖面厚度			
包心	銅心	礬心	銅心
前重	3.3g	3.5g	4.4g
後重	16.4g	14.6g	21.1g
增加重量	13.1g	11.1g	16.7g

3. 包心結晶-急降

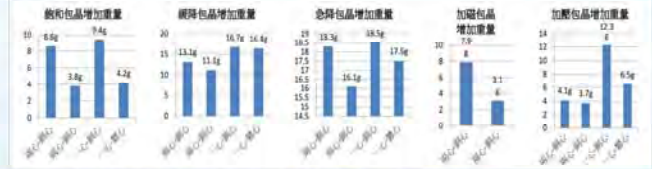
飽和	急降(銅心/礬心)200ml	急降(銅心)100ml	急降(礬心)100ml
一週 圖片			
硫酸銅 晶形			
硫酸銅 等比例 量形狀			
長度	長0.36cm	長0.4cm	長0.4cm
寬度	寬0.3cm	寬0.36cm	寬0.36cm
厚度	0.1 cm	0.08 cm	0.11 cm
體積	0.01	0.01	0.005
包心結晶 剖面厚度			
包心	銅心	礬心	銅心
前重	5.8g	5.4g	4.1g
後重	24.1g	21.5g	22.6g
增加重量	18.3g	16.1g	18.5g

4. 包心結晶-加壓

飽和	加壓(銅心/礬心)350ml	加壓(銅心)350ml	加壓(礬心)350ml
二週 圖片			
硫酸銅 晶形			
硫酸銅 等比例 量形狀			
長度	長0.71cm	長0.48cm	長0.93cm
寬度	寬0.5cm	寬0.4cm	寬0.73cm
厚度	0.24cm	0.16 cm	0.43cm
體積	0.08	0.03	0.29
包心結晶 剖面厚度			
包心	銅心	礬心	銅心
前重	3.6g	3.6g	4.1g
後重	7.7g	7.3g	16.4g
增加重量	4.1g	3.7g	12.3g

5. 包心結晶-加磁

飽和	加磁(銅心/礬心)150ml
二週 圖片	
硫酸銅 晶形	
硫酸銅 等比例 量形狀	
長度	長1.1cm
寬度	寬1cm
厚度	0.4 cm
體積	0.44
包心結晶 剖面厚度	
包心	銅心
前重	4g
後重	11.9g
增加重量	7.9 g



實驗B：飽和、緩降、急降之包心結晶外觀雙晶晶量比例

環境	明礬飽和	明礬緩降	明礬急降	硫酸銅飽和	硫酸銅緩降	硫酸銅急降
一週 圖片						
重量(g)	8.8	9.2	4.3	5.8	9.0	6.4
水重(ml)	5.77	6.05	2.7	3.75	5.8	4.7
密度	1.525	1.520	1.592	1.622	1.546	1.551
平均值	1.522	1.607	1.548	2.042	2.253	2.193

以重量、體積和密度計算包心結晶飽和、緩降、急降兩心外觀雙溶質結晶晶量比例：






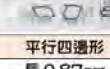
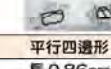
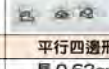
環境	飽和兩心		緩降兩心		急降兩心	
	銅心	礬心	銅心	礬心	銅心	礬心
外觀 晶量	銅晶 68.6% 礬晶 31.3%	銅晶 41.5% 礬晶 58.4%	銅晶 73.2% 礬晶 26.7%	銅晶 56.1% 礬晶 43.9%	銅晶 61.8% 礬晶 38.1%	銅晶 67.3% 礬晶 32.6%



研究四：結晶後之液體再製晶體的性質與廢液環保處理

實驗A：回收液體乾再製晶體與新製晶體的體積、密度、硬度、顏色的差異

1.再製晶體

硫酸銅	飽和(100ml)	緩降(100ml)	急降(100ml)
			
硫酸銅晶形			
硫酸銅等比例晶形狀			
邊形	平行四邊形	平行四邊形	平行四邊形
長度	長 0.877cm	長 0.86cm	長 0.62cm
寬度	寬 0.58cm	寬 0.6cm	寬 0.48cm
厚度	0.18cm	0.32 cm	0.15cm
體積	0.09	0.16	0.04
重量	7.7g	35.2g	41.6g

2.再製晶體密度

	飽和		緩降		急降	
重量(g)	5.3	7.2	10.1	9.1	3.7	10.8
水量(ml)	3.1	4.2	5.25	4.51	2	6
密度	1.709	1.714	1.923	2.017	1.85	1.8
平均密度	1.71		1.97		1.82	

3.再製晶體硬度

再製晶	飽和	緩降	急降
握力器力量	0圈以下，10Kg以下	0圈以下，10Kg以下	0圈以下，10Kg以下
莫氏硬度互相刮畫	滑石硬度1	石膏硬度2	石膏硬度2

4.再製晶體顏色

再製晶	飽和	緩降	急降
圖片			
顏色 (RGB, HSL, HSV, 色碼)	RGB (0, 71, 183) HSL (214, 100%, 42%) HSV (213, 1, 0.000, 0.6392) #0047A3	RGB (7, 29, 131) HSL (229, 90%, 27%) HSV (229, 4, 0.946, 0.5137) #071E83	RGB (0, 86, 175) HSL (211, 100%, 34%) HSV (210, 5, 1.000, 0.6863) #0054AD

5.比較新製晶與再製晶體的差異

	飽和		緩降		急降	
	新製晶	再製晶	新製晶	再製晶	新製晶	再製晶
體積	0.58	0.09	3.41	0.16	0.47	0.04
密度	2.04	1.71	2.25	1.97	2.19	1.82
硬度	1.4, 73Kg	10Kg以下 莫氏硬度 1	19.4, 7Kg	10Kg以下 莫氏硬度 2	14.7, 3Kg	10Kg以下 莫氏硬度 2
顏色 (RGB, HSL, HSV, 色碼)	RGB (6, 45, 148) HSL (224, 92%, 39%) HSV (223.5, 0.3958, 0.5804) #062C92	RGB (0, 71, 183) HSL (214, 100%, 32%) HSV (213, 9, 1.000, 0.6392) #0047A3	RGB (9, 15, 125) HSL (237, 87%, 26%) HSV (236, 9, 0.9280, 0.4902) #09097C	RGB (7, 29, 131) HSL (229, 90%, 27%) HSV (229, 4, 0.946, 0.5137) #071E83	RGB (3, 34, 114) HSL (223, 95%, 22%) HSV (223.2, 0.9735, 0.4471) #032372	RGB (0, 86, 175) HSL (211, 100%, 34%) HSV (210, 5, 1.000, 0.6863) #0054AD

實驗B：無法再結晶之回收液環保處理

1.無法再結晶液體

液體容量	500ml(編號 1:小而多片)	500ml(編號 2:大而少片)
鋁片面積	小片 2*1=2 平方公分 100片 線面積 2*100=200	大片 2*2=4 平方公分 50片 線面積 4*50=200
鋁片重量	約 11.9g	約 11.4g
浸泡前 PH值	PH2.2	PH2.2
顏色變化	藍→淡藍→深綠→深灰→咖啡紅→澄清	藍→淡藍→深綠→深灰→咖啡紅→澄清
時間	2小時 20分	2小時 20分
浸泡後 PH值	3.7	3.5

2.大量水稀釋至PH值6.5：浸泡鋁片後的澄清液體PH值3.7取30ml→加入PH值7.3的水量4780ml→PH值5.5取20ml加入水980ml至總液體1000ml→PH值6.5。

3.養魚：取稀釋後的液體PH值6.5 容量500ml→放入11隻河川的小魚和2隻孔雀魚→3週後魚只悠游自在存活→表示大量稀釋後的液體無毒性。

4.收集銅原子

將附著於鋁片外的咖啡色粉末曬乾一刮下咖啡色粉末。



研究結果

研究一

- 1.高溫高濃度之緩降、急降、自然降2~3小時即可看到結晶且在短時間3天可完全結晶，未飽和可看到結晶的時間、完全結晶時間均最久。
- 2.硫酸銅飽和液體為單一類完整晶形平行四邊形，高溫變溫和低溫恆溫降除了平行四邊形外，有長方體、梯形和多顆大晶體堆疊在一起呈現不規則，加磁使晶體呈不規則。

- 3.晶體角度飽和為45°，過飽為55°，高濃度為60°，濃度越高角度越大，加磁會干擾結晶的生長而有各種角度的產生。
- 4.九種環境下以「緩降」晶體最厚最大顆，硬度也最大，加磁、加壓晶體最小顆。
- 5.「加壓」晶體密度最大，「加磁」第二，「緩降」第三。
- 6.緩降、自然降、加壓、加磁都有助於晶體的顏色變深，低溫顏色最淺。
- 7.未飽和、過飽和、低溫的晶體透光度最好，高濃度晶體透光度最差。
- 8.飽和濃度以「加壓」硬度為最大，所以加壓可以使晶體硬度增大。未飽和濃度因結晶天數最長，隨著天數而使濃度越來越高，晶形越外圍因濃度越高也漸漸長成大顆的晶體，而使硬度變大。推論結晶的各差異與濃度大小、溫度變化、外在加壓力、磁場有關。

研究二

- 1.雙溶質離子效應下會互相抑制雙方結晶的「生長」、「空間」，使雙方的晶體都變小顆，雙方結晶重量均降低。單晶體積大於雙晶體積。
- 2.飽和雙溶質硫酸銅結晶量約60%多於明礬結晶量約40%。
- 3.加壓有助於銅離子附著在硫酸銅上結晶養成大晶體，也可使晶體間非常的緊密黏在一起，晶體外觀是非常硬的。

研究三

- 1.在飽和、緩降、加壓環境，兩包心外圍晶有附著結晶上二選一的競爭，一包心外圍晶比較不受競爭的干擾，所以，一包心外圍晶均比兩包心外圍晶較為大顆很多；一包心增加的重量均比兩包心外圍晶重很多。
- 2.急降環境，一包心和兩包心競爭下重量沒有太大差異，且晶體均非常微小如細沙。
- 3.緩降外圍晶有硫酸銅、明礬結晶多且最大顆，有利包心外圍的結晶。
- 4.由包心結晶的飽和、緩降、急降兩心環境下外圍兩溶質結晶量比重可知，
 - A.雙溶質飽和液和兩離子交互作用下，銅離子、礬離子都喜歡結晶附著在各自同種類使晶體變大。銅晶體成長(長)晶狀態，使銅晶體變大顆，但不容易有明礬結晶的附著，晶體小。礬晶體可以附著銅晶大顆且晶數較少量。
 - B.在緩降、急降的兩離子交互作用下，硫酸銅結晶量均多於礬結晶量很多，表示銅離子結晶強過礬離子。
- 5.在緩降、急降、加壓下，不論是銅晶或礬晶，外圍增加重量都是硫酸銅的結晶量偏多，硫酸銅附著結晶強過明礬附著結晶。
- 6.急降晶體>緩降晶體，即是急降外圍晶重量最重。
- 7.加壓有助包心結晶外圍硫酸銅與明礬附著的結晶，且銅晶體呈薄片狀、長形、非常尖銳堅硬，晶形巨大片大顆，比飽和、加磁的效果最好的。
- 8.加磁無法幫助包心結晶。
- 9.製作包心結晶的條件可以「雙溶質結晶量比例」，晶量較多為外圍結晶，晶量少為包心，即為「外圍晶、包心晶」。製作包心結晶的環境在「各環境下外圍雙晶的比重」應用，以「緩降」為最佳能製作出包心外圍的最大顆晶形，「急降」的外圍結晶重量最重。

研究四

- 1.再製晶明顯比新製晶的體積、密度均小、硬度易碎裂、顏色淡很多，故新藥品結晶後之回收液不適合再拿來製晶。此實驗驗證研究一的結論，晶體體積、密度、硬度、顏色和硫酸銅濃度有關，回收液的硫酸銅濃度和新藥品硫酸銅濃度不一樣，濃度降低很多。
- 2.廢液浸泡鋁片，在總面積下裁成大片、小片，使硫酸銅變成澄清的時間是一樣的，所以大片、小片不會影響液體顏色變澄清速度時間的快慢。
- 3.廢液浸泡鋁片可以吸附硫酸銅中的銅離子附著在鋁片上呈咖啡色顆粒，將澄清液體加入大量水稀釋後放入河川的小魚和孔雀魚3周可存活，證明是無毒性的，可排放入下水道或河川。此實驗結果可提供給各級學校在硫酸銅實驗後，結合回收鋁罐再利用來處理重金屬廢液毒性的參考方法。

問題討論

- 1.如何知道已達完全結晶的時間?
答:先將燒杯溶液用滴管吸出，燒杯連同結晶每天用磅秤重紀錄，若重量沒有增加太多且趨於穩定，表示差不多已完成結晶。
- 2.溫度變化、濃度大小影響結晶體積的大小、顏色、硬度、密度的關係?
答:由研究一得知，「高溫高濃度」、「緩降」形成的晶體大顆、硬度較大且顏色最深，反之，低溫恆溫(4°C)環境形成的晶體顏色最淺，密度、硬度均小，晶體品質差。
- 3.為何低溫顏色最淺?緩降顏色最深?
答:由研究一得知，顏色與密度、硬度有關，低溫在結晶過程中，結構排列較鬆散，銅離子少，空隙含有水，使密度、硬度均降低，顏色淺，緩降在結晶過程中，結構排列整齊緊密，銅離子多，使密度、硬度均大，顏色深。
- 4.為何緩降晶體最大顆?急降最小顆?
答:結晶形成需要時間慢慢堆疊排列，「緩降」時間越久結構排列越整齊緊密，晶體最大顆，「急降」時間短暫，快速析出結晶，結構快速排列亂，不緊密且空隙包覆水，晶體積小。
- 5.加壓晶體的特性為何?
答:加壓為飽和溶液，受擠壓使結晶過程中，結晶時間慢，堆疊排列結構越緊密，顏色變深，晶體成薄、片狀且尖銳、晶體積小，使密度是最大的，也硬度大增。雖為非高濃度，加壓卻可使晶體顏色變深、密度、硬度均變大。
- 6.最佳的單結晶環境為何?
答:由研究一得知，「高溫高濃度」能提供大量的結晶原料，密度、硬度大且顏色深，「溫度變化最緩慢」，結晶需要時間慢慢堆疊，因緩降時間最長，晶體最大顆，穩定環境，不震動。
- 7.為何飽和雙溶質下的雙晶體積都變小顆，雙晶重量也均降低。
答:由研究二得知，雙溶質使雙方的溶解度均降低而影響了雙結晶重量，雙方的結晶空間減小，形成兩種晶體互相堆疊狀態，空間填滿後無法繼續生長，只能在新的空間再結晶新晶體，使雙晶體積<單晶體積。
- 8.雙溶質飽和液，包心結晶為何都找自己同屬性的結晶?
答:由研究三得知，雙結晶過程中，慢慢堆疊會選擇同屬性、結構的形狀角度相同較易附著且穩定，不同屬性結構的形狀角度不同，堆疊不易附著也不穩定。
- 9.雙溶質在緩降、急降環境下，包心結晶外圍晶量比為何都是銅晶量大於礬晶量?
答:由研究三得知，高溫高濃度容易產生大量的結晶量，同時時間內，兩離子的特性不同，銅離子比礬離子容易形成結晶且速度較快，故銅晶量多於礬晶量。
- 10.形成包心結晶的最佳環境為何?
答:由研究三得知，「高溫高濃度」、「溫度變化緩慢」是形成包心結晶最大顆，「飽和」產生各自晶體狀態，無法形成包心結晶，兩種藥品選擇上以雙結晶量比例差異越大，外圍結晶顏色越趨近單一，越漂亮。

未來展望

- 1.提供教學上學生實驗操作模擬自然界的環境條件，不同濃度、熱帶高溫溫差大、寒帶低溫恆溫、磁場、地殼變動擠壓(加壓)下，高溫岩漿所含礦物降溫速度影響結晶顆粒大小、性質等形成的火成岩。
- 2.提供在製作包心結晶外圍、內心兩種藥品屬性上的選擇，可先以「雙溶質結晶量比例」為前置實驗，雙溶質結晶量比例差異越大包心結晶外圍結晶顏色越單一，晶量少為包心，晶量多為外圍的參考依據，在「各環境下外圍雙晶的比例」應用，以「緩降」為最佳能製作出包心外圍的最大顆晶形。
- 3.硫酸銅廢液環保處理方式供各級學校在硫酸銅實驗後結合回收鋁罐處理重金屬廢液毒性的參考方法。