

奇妙的晶體

國中組化學科第一名

台北市仁愛國中

作者：胡正恒

指導教師：杜雯華

一、研究動機

在上一屆的全國科展活動中，得蒙幾位教授細心的指導與鼓勵，並提供一些良好的研究路徑，引發了我深入研究探討的勇氣和決心，再做更大膽的假設，並動手實驗以求應證。

二、研究目的

這次研究乃完全由上一屆參加全國科展“奇妙的晶體”衍生而來，並利用課餘之暇悉心完成以下探討：

- (一)繼續探討結晶的各種特性，及其他環境干擾因素。
- (二)探討磁力下，晶體生長的實驗：包括磁型、磁力、溫度、速率等等及其影響如何。

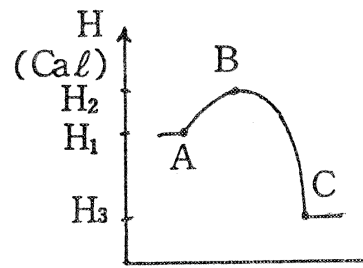
三、文獻討論

(一)溫度差距：(溫差)高溫下的飽和溶液，當靜置室內時，溫度慢慢降低，熱量逐漸散失，最後和室溫達成平衡，這種飽和液與最後室溫二者的差距，就稱作溫度差簡稱溫差(詳見作者於全國第廿六屆科展優勝作品 P.60)。

(二)碰撞學說：溶質溶解於水中時，對離子固體而言，因為吸熱而不斷溶解，當溫度不再增加，而達飽和液後溶解和沈澱則完全決定於環境所提供的條件對於何方較為有利，則反應將趨向於有利的一方進行。如圖示(圖A—1)。

A表示最初晶體能量為 H_1 。

B 表示吸熱後的最不穩狀態。
 此時能量為 H_2 ，其能量差 $\Delta H = H_2 - H_1$ 是為活化能。C 為組成另外一種具有更穩定情況的能量為 H_3 ，當粒子如晶體的離子，是被靜電力所束縛，或因斥力而又成為離子取決於溫降，若能放出 $[H_2 - H_3]$ 之熱量，使成為固體



(圖 A-1)

，便形成新結晶，否則將又解離成為離子繼續保持碰撞。

四、研究過程及結果

實驗(一)探討受磁之有無對析出結晶量之差異。

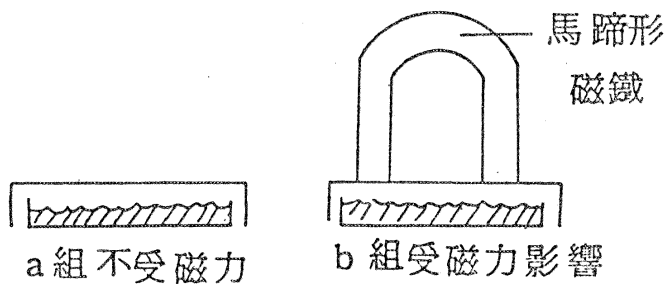
1. 問題：

磁力會不會影響沈澱析出量的多寡？

2. 實驗設計：

(1) 裝置：如

圖 B-1



(2) 實驗步驟：

控制的變因：藥品 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

| 飽和溶液溫度 | 溶液體積 | 時間 | 室溫 | b 組電壓 |
|--------|--------|-------|-------|-------|
| 50 °C | 100 ml | 24 hr | 30 °C | 6 V |

改變的變因：a 組不受磁力

b 組受磁力影響

(3) 結果：

| 組 別 | a 組不受磁力影響 | | | b 組受磁力影響 | | |
|---------|-----------|-------|-------|----------|-------|-------|
| 實驗次數 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 析晶重W(g) | 19.84 | 20.51 | 20.36 | 23.72 | 23.89 | 24.14 |
| 平均(g) | 20.44 | | | 23.92 | | |

(4)討論：①磁力對析晶重有影響，但影響的差距並不大。

②受蹄形磁鐵影響的b組，析晶量大於不受磁力影響的a組，即 $W_b > W_a$ 。

實驗(二)：探討各種受磁方式和結晶分佈的關係。

1.問題：①沈澱的分佈方式是否受磁力的影響？

②磁鐵放置的方式是否影響結晶的分佈？

③蹄形磁鐵和棒形磁鐵，因磁力方向不同，造成結晶結果如何？

2.實驗設計：

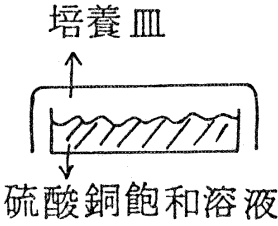
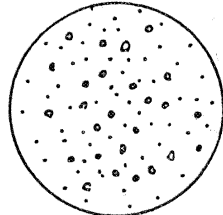
(1)裝置：如圖B-2。

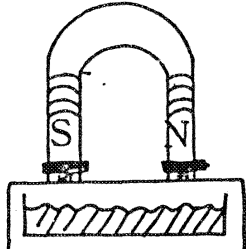
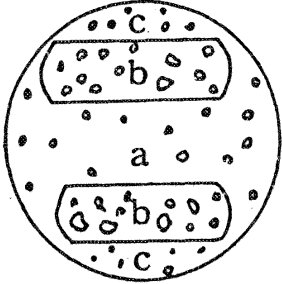

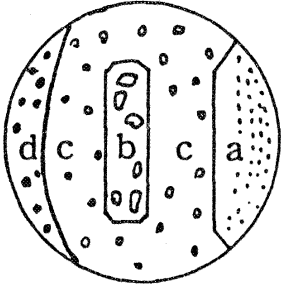
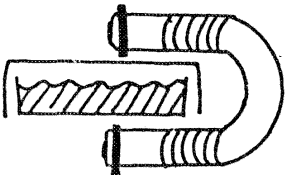
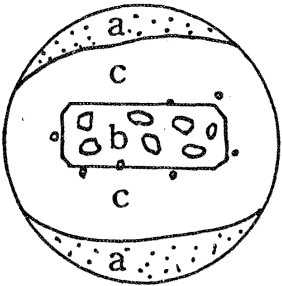
(2)實驗步驟：

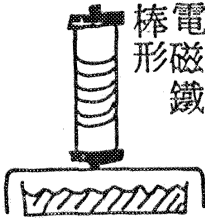
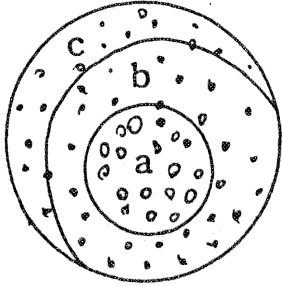

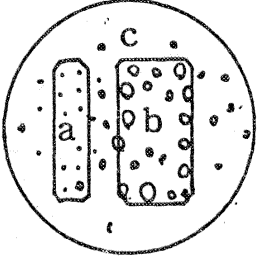
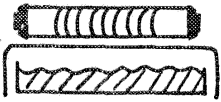
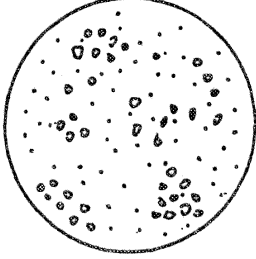
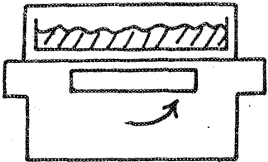
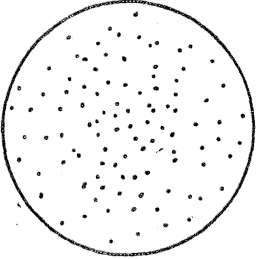
控制的變因：藥品，變因如同實驗一的控制變因。

改變的變因：受磁方式即磁鐵放置的方式。

(3)結果：如圖B-3。

| | 圖 B-2 | 圖 B-3 |
|-----|---|---|
| 第一組 |  |  <p>分布：均勻沉澱於皿底。 晶形：沒有特別大或特別小的形狀。 結晶形狀：分散嵌合</p> |

| | | | |
|----------------------|--|---|---|
| <p>第 二 組</p> | <p>蹄形電磁鐵</p>  |  | <p>分布：a區較疏， b區較密。 結晶：大小上b區 > a區。 晶形：a區完整單 獨存在，b 區相嵌合， c區結晶良 好。</p> |
| <p>第 三 組</p> |  |  | <p>分布 密度：b > c > d > a。 結晶：b區最大， a區幾為粉 末。 晶形：沒有完整結 晶。</p> |
| <p>第 四 組</p> |  |  | <p>分布：c區沒有沈 澱，a區較 密。 結晶：b區最大， 厚度大於a 區。 晶形：a、c區交 界處結晶良 好。</p> |

| | | | |
|------------|--|--|--|
| <p>第五組</p> |  <p>棒形電磁鐵</p> |  | <p>分布：$a > b > c$ 密度：$a > b > c$ 結晶大小：$a > b > c$ (b、c區相似)。 晶形：b、c區空隙較大處結晶良好。</p> |
| <p>第六組</p> |  |  | <p>分布：c區沒有結晶分布，b區沈澱略密 晶形：b區邊緣處出現大量雙晶及聚晶。</p> |
| <p>第七組</p> |  |  | <p>分布：看不出規律性。 晶形：有雜亂聚晶的現象。</p> |
| <p>第八組</p> |  <p>磁性攪拌器可使磁極不停轉換</p> |  | <p>分布、結晶和晶形：沒有特殊之處—密集嵌合、細小沈澱。</p> |

(4)討論：

ㄎ. 本定性實驗，其目的在從各種實驗設計中，找出一組較為合適的組合，以作為以後研究之用。由各組的結果看來，結晶的分布，和接受磁力影響（即磁鐵安置方法）有極密切之關係。

ㄎ. 就 1 ~ 4 組及 5 ~ 7 組看來，在分布上的差異：前者均為密切結晶嵌合，而後者多半單獨析出，晶形較完整，造成原因可能為：

(ㄎ)蹄形和棒形磁鐵雖然通入電壓相同，但所造成的磁力強弱不同。

(ㄎ)溫度差距不同，因本實驗完成費時太多，室溫不定。

ㄏ. 在各組中，以第二組優點最多：

(ㄎ)器材使用續簡便，容易控制。

(ㄎ)使用磁鐵個數僅一。

(ㄏ)易於觀察。

故以下各類定量實驗，均採用第二組之受磁方式進行。

實驗(三)：探討磁場強度和析晶量之間的關係。

1. 問題：(1)磁力強度（由電壓控制）和結晶之析出量有關嗎？

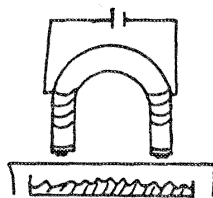
(2)如果有，那麼是什麼關係？

2. 實驗設計：

(1)裝置：如圖 B-5 以及有讀錶之整流器一套。

(2)實驗步驟：

控制的變因：



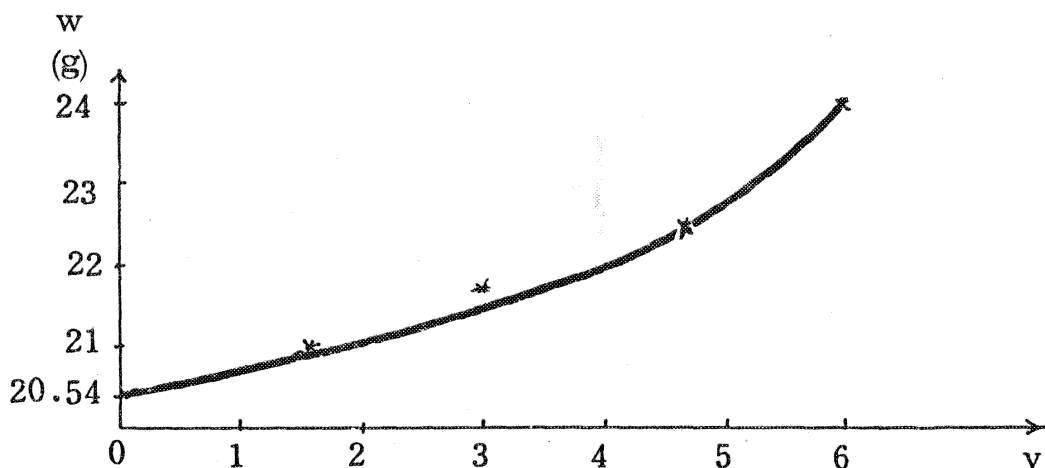
藥品： $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

(圖 B-5)

| 飽和液溫度 | 溶液體積 | 受磁時間 | 室溫 |
|-------|--------|------|-------|
| 50 °C | 100 ml | 48 m | 26 °C |

改變的變因：磁力大小（以通入之電壓控制）。

(3)結果：見圖B—6。



(圖B—6)

(4)討論：

①磁力的增大(0→6 V)，可使析晶量隨著增多。

②本實驗受限於器材，校內現有儀器無法探討大於6 V的電磁力的情況。

③因此以下實驗，均通6 V之電壓於電磁鐵上。

實驗(四)：探討相同磁力下，改變溶液的飽和溫度，和未受磁力影響者的比較。

1.問題：

磁力影響析晶的多寡，和溶液飽和溫度有關嗎？

2.實驗設計：

(1)裝置：A組受磁力影響：裝置同圖B—5。

B組為對照組。

(2)步驟：

控制的變因：

| 通入電壓 | 受磁時間 | 溶液總體積 | 當時室溫 |
|------|-------|--------|-------|
| 6 V | 24 hr | 100 ml | 26 °C |

改變的變因：溶液之飽和溫度。

做法：1.燒杯中置入定量的水約100 ml即可，並漸次加入過量的硫酸銅晶體。

2. 加熱到實驗中所指定的飽和溫度，（杯底有晶體）
3. 趁熱快速過濾，取得總體積為 100 ml 之溶液。
4. 靜待結果。

(3)結果：見表 B—7。

| 組別 | 溶液溫度 °C | 析晶重 (g) | | 析晶差 $\Delta W = W_a - W_b$ |
|----|------------|-------------------|--------------|-------------------------------|
| | | A組 (磁力 W_a) | B組 (W_b) | |
| 1 | 30 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 35 | 4.07 | 3.14 | 0.93 |
| 3 | 40 | 11.28 | 9.23 | 2.05 |
| 4 | 45 | 14.70 | 12.03 | 2.67 |
| 5 | 50 | 24.19 | 20.38 | 3.81 |
| 6 | 55 | 32.28 | 27.62 | 4.66 |
| 7 | 60 | 40.46 | 35.95 | 4.51 |
| 8 | 65 | 58.47 | 54.27 | 4.20 |
| 9 | 70 | 75.44 | 71.56 | 3.88 |

※說明：

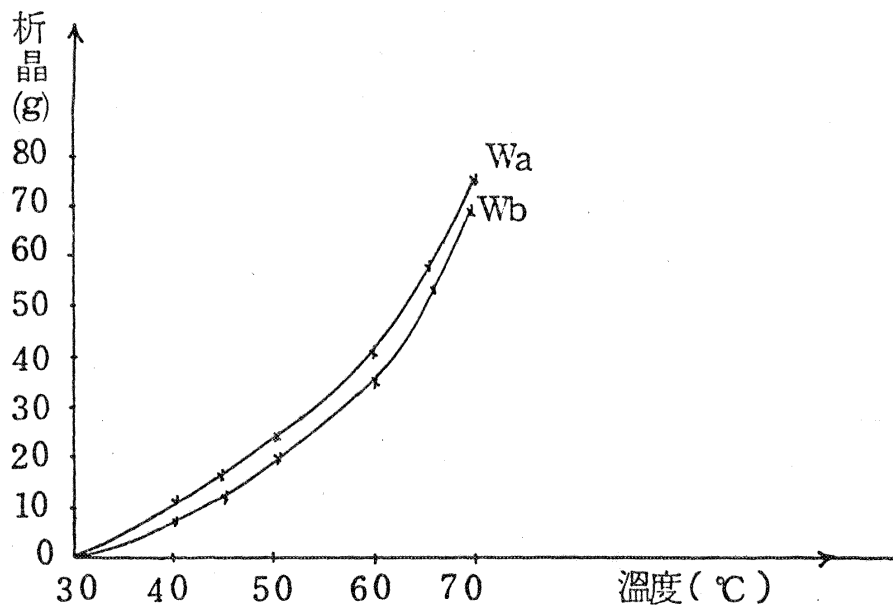
1. 析晶差 ΔW 為 A 組析晶重 (W_a) 減去 B 組析晶重 (W_b) 即 $\Delta W = W_a - W_b$ 。
2. 欲知硫酸銅的溶解度，請查閱上屆科展中的實驗 P.62。
3. 以飽和溶液溫度為橫坐標，析晶重(g)為縱坐標可得圖 B—8。
4. 以飽和溶液溫度為橫坐標，析晶差 $\Delta W(g)$ ，為縱坐標，可得圖 B—9。

(三)討論：

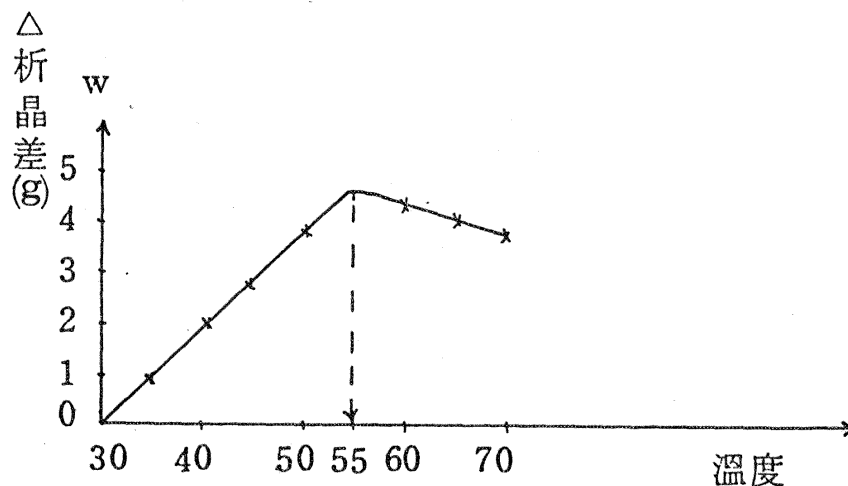
1. 放出熱量析出晶體：

由硫酸銅的溶解度曲線可知其為一溶解吸熱晶體，溶解度隨溫度上升而增大，因此欲從飽和溶液中析出晶體，必須降低

溶液的溫度，使溶質粒子動能降低，進而易於互相結合，形成固體沈澱。



(圖 B-8)



(圖 B-9)

2. 由圖 B-8 得知：

- ① 無論是否受磁，硫酸銅的飽和溫度愈高，最後得到的析晶愈重。
- ② 飽和溶液在受磁之情況下，可獲得更多的析晶。

3. 由圖 B-9 得知：

受磁與不受磁之析晶差有一個極大值，其溫度大約為 55 °C 左右，查表得此時，飽和溶液之濃度為 40.5 %，此即最合適

吾人研究的最佳濃度。

實驗(五)：探討受磁時間與析晶量之關係。

1. 問題：在磁力與未受磁情況之下結晶速率如何？

2. 實驗設計：

(1) 裝置：A組受磁力作用，其裝置同前B—5。

B組為不受磁之對照組。

(2) 步驟：

控制的變因：

| A組電磁鐵之電壓 | 溶液總體積 | 飽和溶液溫度 | 室溫 |
|----------|--------|--------|-------|
| 6 V | 100 ml | 55 °C | 26 °C |

改變的變因：實驗時間

做法：1. 配製溶液如前，10組，控制電源時間從0～45 hr

。

2. 用針筒吸出溶液，並計算析出之溶質重。

(3) 結果：見表B—10，圖B—10、表B—11、表B—12分析：

| 編號 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|---|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 實驗時間 hr | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
| A組受磁Wa | 0 | 0.03 | 3.11 | 5.7 | 16.54 | 20.86 | 21.24 | 21.95 | 21.82 | 21.78 |
| B組Wb | 0 | 1.45 | 3.66 | 5.91 | 11.83 | 18.04 | 20.28 | 21.15 | 21.57 | 21.64 |

(表B—10)

※說明：

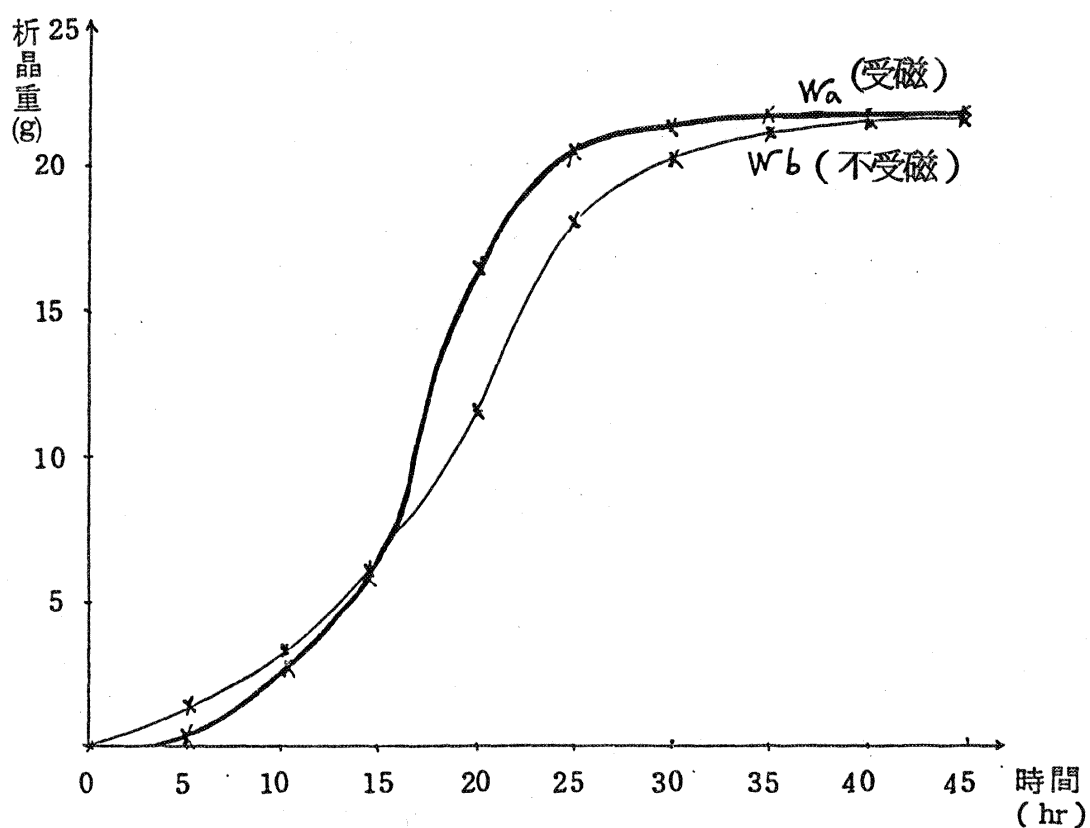
1. 表B—10及圖B—10為原始資料。

2. 表B—11為A、B二組析晶之差， $\Delta W_{a-b} = A_n - B_n$ 。

3. 表B—12為A、B二組中，這一時間間隔(5hr.)

所增加析出之重量。 $\Delta W_a = A_n - A_{n-1}$ ， $\Delta W_b = B_n - B_{n-1}$

。



(圖 B-10)

| 編號 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------------|---|-------|-------|-------|------|------|------|-----|------|------|
| 實驗時間(hr) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
| $\Delta W = A_n - B_n$ a - b | 0 | -1.42 | -0.55 | -0.21 | 4.71 | 2.82 | 0.96 | 0.8 | 0.25 | 0.04 |

(表 B-11)

| 時間區間 (hr) | 0~5 | 5~10 | 10~15 | 15~20 | 20~25 | 25~30 | 30~35 | 35~40 | 40~45 |
|---------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A組 $\Delta W_a = A_n - A_{n-1}$ | 0.03 | 3.08 | 2.59 | 10.84 | 4.32 | 0.38 | 0.71 | -0.13 | -0.04 |
| B組 $\Delta W_b = B_n - B_{n-1}$ | 1.45 | 2.21 | 2.25 | 5.92 | 6.21 | 2.24 | 0.87 | 0.42 | 0.07 |

(表 B-12)

(4) 討論：

1. 由表 B-11 得知：在磁力作用下結晶 W_a 在 0 ~ 15 hr，析出量不多，（在 5 g 左右），而 15 ~ 25 hr，將大量析出，增加量約為 15 g，（曲線驟升）但 25hr ~ 以後，幾乎不增加，（40 和 45hr 時，略為下降，可能是受外界溫度變化，和實驗誤差造成所致）。不受磁力影響的 W_b 曲線平緩，表示 B 組析晶量十分均勻，而由 W_a 曲線可知，A 組在 15hr 後迅速析出，計 15 ~ 25 hr 析出量約占實驗終點（45hr）析出量的 69.61%，相形之下不受磁的 B 組，只有占 56.06%*。

25 和 15 hr 時的析晶差

$$\text{* 計算方法: } \frac{\text{25 和 15 hr 時的析晶差}}{\text{45 hr 時析晶量}}$$

2. 由表 B-12 知：受磁與未受磁作用下，析晶差距最大是在 15 ~ 25 hr。

五、結 論

1. 磁力對析晶差確有影響。（ex.1）
2. 磁力對析晶分布區域有影響，但效果並不十分顯著。（ex.2）
3. 磁力強弱能影響析出量，磁力越強，析出量略有微增。（ex.3）
4. 受磁力影響下的硫酸銅溶液：
 - (1) 飽和溫度太高，析晶快速，受磁力效應的分布不明顯。
 - (2) 飽和溫度太低（近於室溫）時，析晶過對或不析出，無法判斷。
 - (3) 在 55 °C 時，磁力效應較其他溫度明顯。（ex.4）
5. 在磁力下結晶和良好溫降下：
 - (1) 晶形較自然析出者美。
 - (2) 析出量稍多。（ex.5）

6. 磁力影響是有限的，如溶液中粒子本身所具備之動能超過影響的範圍，則磁力的效應不顯著。(ex. 4)
7. 磁力可能提供了一種較自然析出優良的結晶方式，在析出的同時，先略作規則排列再沈澱。所以析出晶形較為良好，外觀上缺陷也較少。
8. 我曾經嘗試過在磁場及電場下糖的結晶，却沒有如硫酸銅或硫酸鎳實驗中的效果。
9. 由以上結論推測，若將結晶的因素略去，僅探討電場或磁場對溶液的作用，可得較佳結果。

六、參考資料

1. 第廿六屆全國科展優勝專輯(國立科教館)。
2. 晶體與晶體生長(徐氏基金會)。
3. 日常科學的趣味(後藤憲一)。
4. 牛頓百科全書(化學)、(牛頓出版社)。
5. 普通地質學(國立編譯館)。
6. 礦物學(國立編譯館)。
7. 無機化學(魏明通)。
8. 分子和分子的結構。
9. 最新寶石學(徐氏基金會)、(強志純譯 P.708 ~ 732)。
10. 礦石及晶體獵奇(徐氏基金會)。
11. 岩石圖鑑，礦物圖鑑。
12. 中華百科全書(晶體)。
13. 材料(徐氏基金會)。
14. 台中一中第二十七屆全國科展說明書。

評語

根據上屆參加全國科展之作品，實驗者以已建立的晶體成長法，設計一些新實驗，內容包括晶體成長與溫度、重力，接觸面等的關係

，並探討晶體成長與磁場的關係。後者頗有創意，亦頗適合其程度，實驗結果亦頗有意義。如發現晶體分佈因磁力增強而於磁力影響範圍內略有增加。作品特點為系統性實驗，頗為詳盡的規劃，及正確的實驗態度，且表達亦有條不紊。