

中華民國第42屆中小學科學展覽會

∴ 作品說明書 ∴

國中－化學科

科 別：化學科

組 別：國中組

作品名稱：熱包知多少

關 鍵 詞：醋酸鈉過飽和溶液、自製實驗裝置〈教具〉

編 號：030203

學校名稱：

臺北縣立中正國民中學

作者姓名：

謝昀臻、楊禮蔚、呂易謙

指導老師：

黃政建、蔡志清



摘要

在本項實驗裏：

1. 我們利用自製的封口攪拌器，繪出「醋酸鈉的溶解度曲線」；並且證明：決定醋酸鈉的溶解度數據，蒸發掉的水量為不可忽略之因素。
2. 我們利用所得到的醋酸鈉溶解度資料，求出「當 1 克的醋酸鈉晶體析出，將伴隨著放出 20.07 卡的熱量。」
3. 以粒子觀點為基礎，我們設計了多項實驗以驗證：低濃度的過飽和溶液，實際上具有極高的安定性。即使搖晃溶液、溫度驟變也不致析出晶體；且有效晶種（直接或間接提供的）必須是醋酸鈉本身。
4. 我們利用電解法精製過飽和溶液。並且發現：電解過程中，電流逐漸變小且最後幾乎等同於電解醋酸鈉飽和溶液。
5. 我們匯集上述之實驗結果。在低成本的限制條件下，製作出兩種不同用途（教學用、取暖用）的熱包；並且，提出 自製量熱器、自製電解裝置 在理化教學上的可能助益。

一. 研究動機

時值月考過後，我們幾個死黨相約逛夜市；突然來了個攤販向我們兜售「神奇暖手袋」。一本對新奇事物的好奇心，我們合資買了下來；回到學校後，老師告訴我們，暖手袋的放熱原理，其實就是「過飽和溶液」！

我們於是想到，在國二上的理化課，老師是有教授過「飽和溶液」【二上理化，1-3】的觀念；那時雖然有學習過「固體的溶解度會隨溫度升高而增加」，但並沒有學過什麼「溶液會放出熱量的」！老師隨後又提醒我們：「物質的變化本來就是常伴隨有能量的放出或吸收」【二下理化，7-3】。我們想：冬天的腳步愈來愈近，一個暖手袋卻要價 150 元；而且我們對於「物質的變化伴隨有能量的放出或吸收」和「飽和溶液」是怎樣串起關係也甚感興趣。於是，我們這幾個死黨毅然決然地投身「科展」這個超級任務。

二. 研究目的

（研究一）繪製出「醋酸鈉的溶解度曲線」。【資料搜尋不易！】

（研究二）利用（研究一）所得的資料，計算出「當 1 克的醋酸鈉晶體析出，將伴隨著放出多少卡的熱量？」

（研究三）探討「造成醋酸鈉過飽和溶液析出晶體的變因」。

（研究四）利用「電解法」來精製醋酸鈉過飽和溶液。

（研究五）這項科展在教學與生活上的應用。

三. 研究藥品、器材

(一) 藥品：

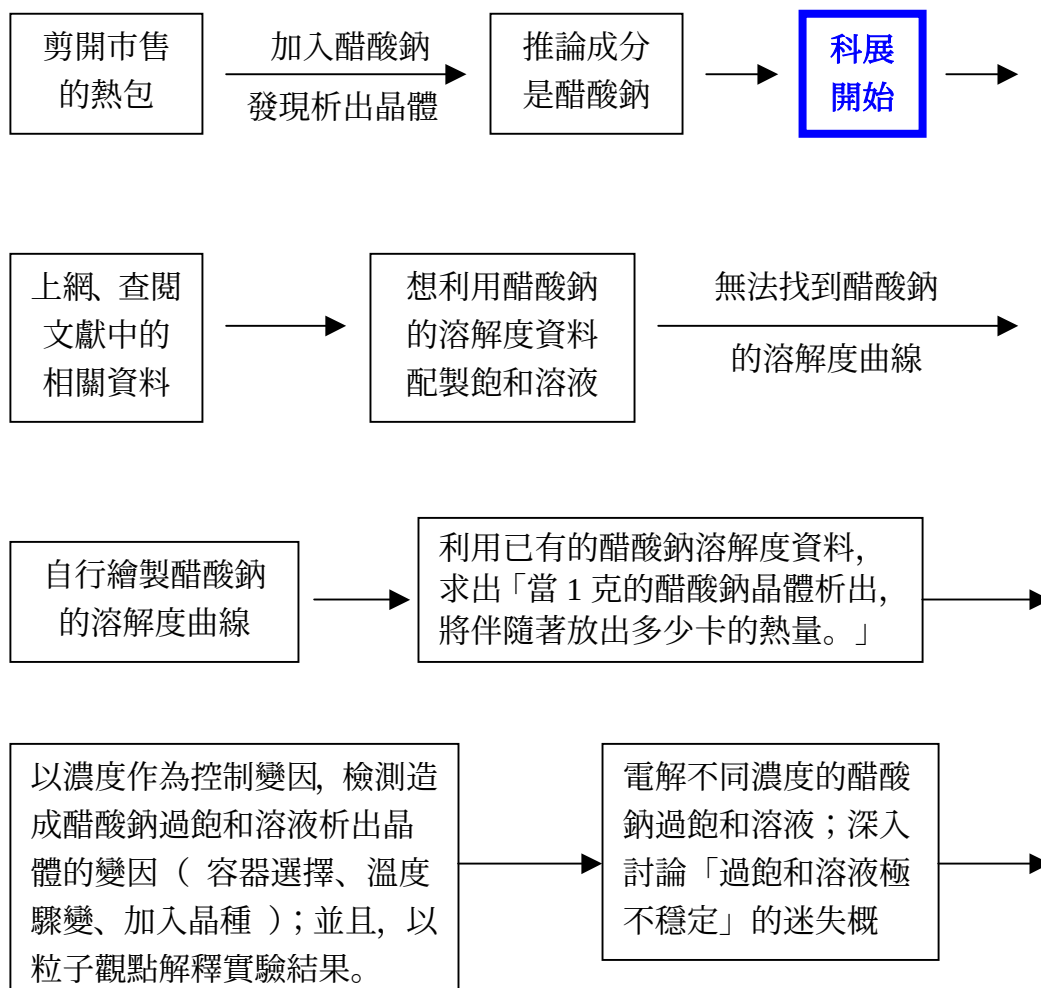
醋酸鈉 ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)、硝酸鉀、氯化鈉、硫酸銅、硝酸銀、濃醋酸 (99 ~ 100%)、純水 (1. 以下簡稱為水 2. 密度 1.01 g/cm^3 [附件一](#))。

(二) 器材：

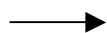
自製封口攪拌器、自製量熱器、自製電解裝置、電子天秤、電磁攪拌器、恆溫槽、抽氣機、電熱湯匙、3 號夾鏈袋 ($0.04 \times 100\text{mm} \times 70\text{mm}$)、手套組(外—綿紗, 內—塑膠)、熱溶膠、錐形瓶 (150,500ml)、量筒 (25,100ml)、燒杯(50,250,1000ml)、活塞、保鮮膜、秤量紙、玻璃棒、溫度計、純水、彈力髮夾、細鐵棒 (耳掬)、用過的 9 伏特電池 (有效電壓小於 6.5 伏特)。

四. 研究方法

Part 1—實驗流程



綜合上述的實驗結果，
來製作出經濟成本低，
安定性高的熱包。



和指導教師們討論，自製實驗器材在
理化學習上的發揮空間：

1. 自製量熱器
2. 自製電解裝置（簡便型，攜帶型）

Part 2—實驗結果紀錄

（研究一）繪製出「醋酸鈉的溶解度曲線」

一.主題說明：

由於醋酸鈉溶解度很大，一般的途徑並不能尋得其「溶解度資料」[附件二](#)，我們決定自行繪製。

二.研究設計：

（一）第一階段

1. 我們使用來恆溫槽加熱、恆溫。
2. 為抵掉恆溫槽的循環水造成的推力和浮力，我們在燒杯兩側掛上重砝碼。
3. 實驗結果如下：

控制變因：純水體積 **25ml**

操作變因：醋酸鈉溶液的溫度 **T (°C)**

應變變因：醋酸鈉的最大溶解 **M (克)**

T (°C)	21.5	26.0	30.0	34.5	40.5	49.5	50.5
M (克)	20.01	32.62	35.04	38.07	42.1	47.13	66.34

表一（未封瓶）

4. 實驗結果討論：

- （1）醋酸鈉溶液的溫度 **T**，必須**取自燒杯內**。不能直接取自槽水的溫度；經驗顯示，兩者相差約 **0.5 ~ 1.5 °C**。
- （2）如果無法取得恆溫槽來進行實驗，**一般水族館販賣的「恆溫棒」**亦可取代之。因為，**真正要量取的，是杯內溶液的溫度**。
- （3）當 **T** 達到 35°C 以上，為了減少醋酸鈉溶液蒸發走的水量；我們曾嘗試當不攪拌溶液時，趕快在燒杯上覆蓋保鮮膜。但老師提醒我們，即使這樣做，**蒸發掉的水量還是太多了**。
- （4）於是，在老師的指導下，我們製作了一個「**封口攪拌器**」（參見實物）



(二) 第二階段：

1. 重複第二階段的實驗，但燒杯替換成封口攪拌器。
2. 實驗結果如下：

控制變因：純水體積 **25ml**

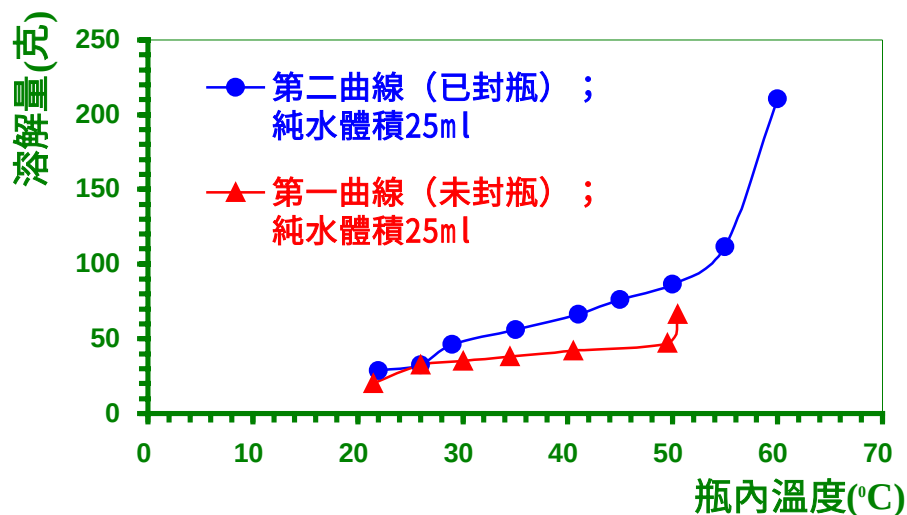
操作變因：醋酸鈉溶液的溫度 **T (°C)**

應變變因：醋酸鈉的最大溶解量 **M (克)**

T (°C)	26.0	29.0	35.0	41.0	45.0	50.0	55.0	60.0	67.5
M (克)	32.51	46.10	56.21	66.31	76.52	86.41	111.35	210.36	大於 720

表二 (已封瓶)

3. 合併表一和表二的數據，可得圖表如下：



4. 實驗結果討論：

- (1) 比較兩條曲線，即可知道「蒸發掉的水量」確實是不可忽略的因素。
- (2) 由圖可知，當醋酸鈉溶液的溫度高於 55°C，溶解量開始急劇升高。尤其是 **T = 67.5** 那點，我們已經消耗一罐以上的醋酸鈉 (**500 克**)；錐形瓶也必須使用到 500ml 的。老師告訴我們，以作為熱包的用途來說，這個數據已經沒有實用價值。

(三) 追加實驗：

1. 為了驗證【裝置 F】確實適合用來量測易溶性鹽類的溶解度。我們重複第三階段實驗，但把醋酸鈉改換成硝酸鉀；比較測量值和標準值。

2. 實驗結果如下：

控制變因：純水體積 25ml

操作變因：硝酸鉀溶液的溫度 T (°C)

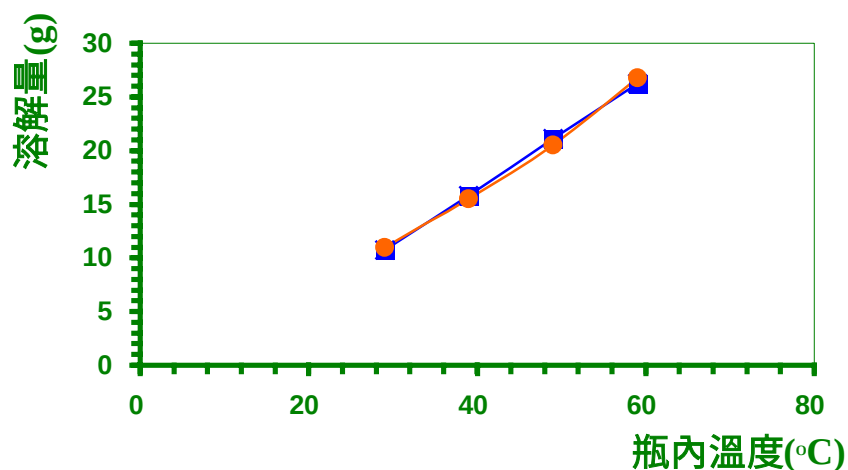
應變變因：硝酸鉀的最大溶解量 M (克)

第一曲線（標準值）；純水體積 25ml

T (°C)	29.0	39.0	49.0	59.0
M (克)	11.00	15.50	20.50	26.75

第二曲線（測量值）；純水體積 25ml

T (°C)	29.0	39.0	49.0	59.0
M (克)	10.75	15.80	21.14	26.25



T (°C)	29.0	39.0	49.0	59.0
誤差百分率 (%)	-2.27	1.94	3.12	-1.87

- (1) 標準值的數據是直接取自硝酸鉀的溶解度曲線 [附件三](#)
- (2) 實驗誤差都在 +5 ~ -5 % 之間，應屬可以接受的範圍；所以我們認為【裝置 F】幾乎是可以準確地量測出易溶性鹽類的溶解度。
- (3) 不過，指導老師也提醒我們，由於攪拌器的轉軸是由塑膠吸管所做成；因此不適合用來攪拌強酸、強鹼和部分的有機溶劑，這點要特別注意。

(研究二) 利用 (研究一) 所得的資料, 計算出「當 1 克的醋酸鈉晶體析出, 將伴隨著放出多少卡的熱量?」

一.主題說明：

對於已知的「醋酸鈉過飽和溶液之放熱現象」, 我們希望能予以數據化。

二.研究設計：

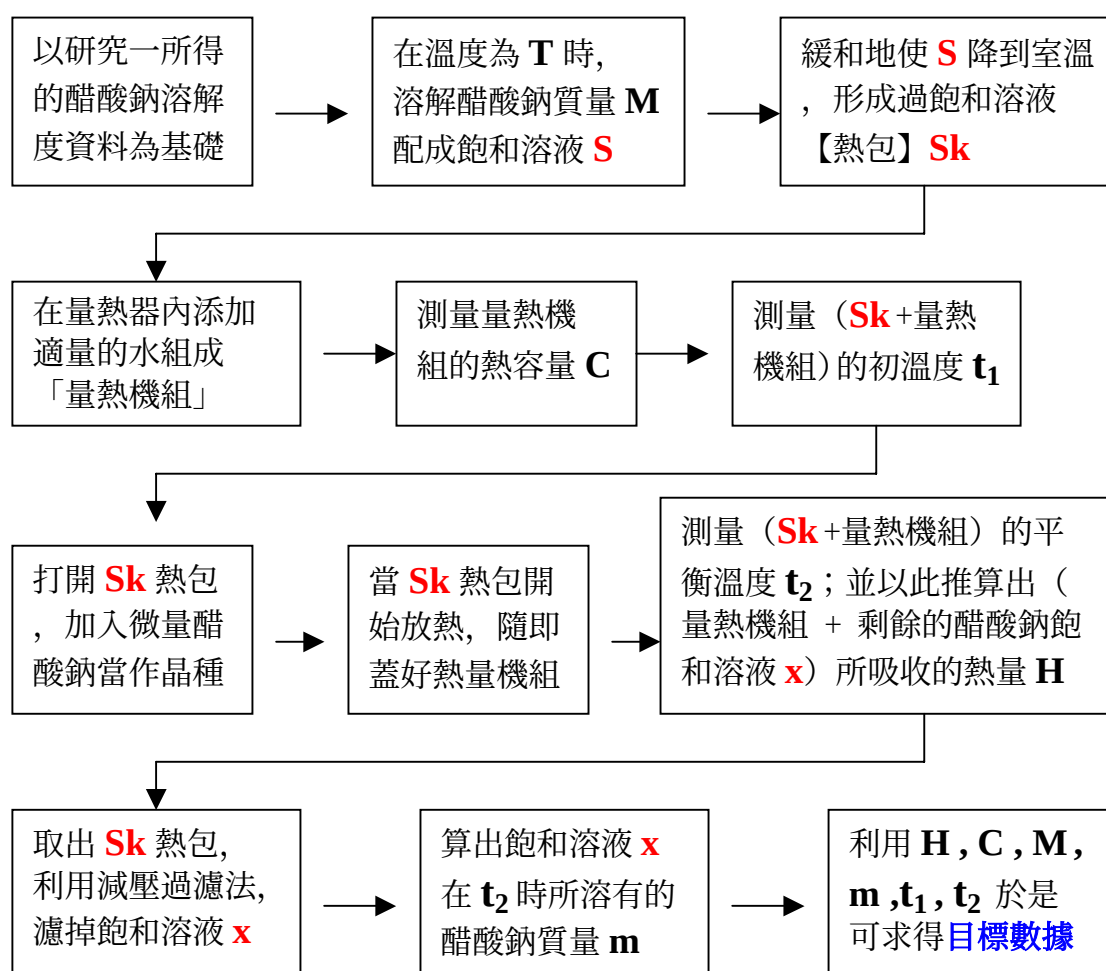
(一) 實驗流程 【參閱附件】

令 醋酸鈉溶液的溫度為 T 時, 醋酸鈉的最大溶解量是 M → 飽和溶液 S

醋酸鈉溶液的溫度為 t 時, 醋酸鈉的最大溶解量是 m → 飽和溶液 x

但 $T > t$

則 實驗流程如下



(二) 實驗結果：

1. 控制變因： $T=41.0^{\circ}\text{C}$, $M=66.31$ 克, $C = 184.0$ 卡/克, $t_1=23.7^{\circ}\text{C}$ (室溫)
2. 操作變因：因醋酸鈉析出晶體所放出的熱量 H
3. 應變變因：平衡溫度 t_2 , 飽和溶液 x 在 t_2 時所溶有的醋酸鈉質量 m
4. 計 算：詳細之計算過程請參閱 [附件四](#)

$$\text{目標數據} = H \div \text{醋酸鈉析出量} = 976.2 \div 48.64 = 20.07 \text{ (卡/克)}$$

所以，**當 1 克的醋酸鈉晶體析出，將伴隨著放出 20.07 卡的熱量。**

(三) 追加實驗：

1. 為了檢驗減壓過濾後所得的醋酸鈉純度如何，並進一步了解數據的準確性。我們再重做一次實驗；但，這次以**濾得的醋酸鈉**代替**醋酸鈉原品**。
2. $\text{目標數據} = H \div \text{醋酸鈉析出量} = 915.4 \div 44.85 = 20.41 \text{ (卡/克)}$
3. 所以，**當 1 克的再回收醋酸鈉晶體析出，將伴隨著放出 20.41 卡的熱量。**
4. $\text{誤差百分率} = 1.69 \%$ ；測量結果仍是在 $+5 \sim -5 \%$ 之間，應屬合理範圍。

(研究三) 探討「造成醋酸鈉過飽和溶液析出晶體的變因」

一. 主題說明：

- (一) 在查閱已有的文獻中，我們得知「**過飽和溶液是不穩定的**」。些微的攪動、溫度變化或是加入晶種，即造成其晶體析出；而很多化學物質也確實是這樣。

註：硝酸鉀溶液就是一個很好的例子。

- (二) 然而，令我們疑惑的是——

1. **有時候，我們配成的醋酸鈉過飽和溶液確實是很不穩定：**
不管是如何的小心翼翼，一個小小搖晃振動或替換容器便析出晶體。
2. **有時候，我們配成的醋酸鈉過飽和溶液卻意外的穩定：**
不管是如何的搖晃振動或替換容器，醋酸鈉過飽和溶液沒有異狀。

- (三) 老師曾告訴我們一個有趣的比喻：把溶液比喻成電影院，則過多的（**某一種**）溶質就像是沒有椅子可坐的觀眾，所以他們只好跨坐在椅子間，當然他們應屬於一種不穩定的狀態！基於此，我們推測過飽和溶液的穩定性應與其**濃度**（即 **溶質粒子的多少**）有關。

- (四) 於是，我們以**濃度**作控制變因，設計實驗來檢測**造成醋酸鈉過飽和溶液析出晶體的變因**。（**容器選擇、溫度驟變、加入晶種**）

二. 研究設計：

配置三種不同重量百分濃度的醋酸鈉飽和溶液，然後使其降溫變成過飽和溶液。

【編號：**甲、乙、丙**】

	溶質重 (克)	溶劑重 (克)	原始飽和溶液的 重量百分濃度 (%)
甲	76.52	25.25	75.19
乙	66.31	25.25	72.42
丙	56.21	25.25	69.00

註：此溶質仍是指 三水合醋酸鈉（ $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ）而言。

二-A 容器選擇

1. 分別將甲、乙、丙三種飽和溶液裝入開口、封口之試管，待其降溫變成過飽和溶液後檢測其安定性。

	開口試管	封口試管
甲	析出	析出
乙	析出	未析出
丙	未析出	未析出

2. 分別將甲、乙、丙三種飽和溶液裝入開口、封口之夾鏈袋，待其降溫變成過飽和溶液後檢測其安定性。

	開口夾鏈袋	封口夾鏈袋
甲	析出	未析出
乙	未析出	未析出
丙	未析出	未析出

註：上述實驗之結果是指「最常出現的結果」。真正在實驗時，可能因為某些技術上的問題（例如：灰塵掉入，容器壁仍附有微量溶質等……）而造成晶體析出。

3. 實驗結果討論：

檢視表 A 和表 B，我們可以作出以下推論 ——

- (1) 比起器壁堅硬的玻璃試管，器壁柔軟可以做適時調整（以對應外壓）的夾鏈袋較適合醋酸鈉過飽和溶液的生成。
- (2) 比起筆挺的玻璃試管，夾鏈袋的降溫過程較為緩和、均勻。
- (3) 比起濃度高的醋酸鈉過飽和溶液，濃度低的醋酸鈉過飽和溶液具有較高的穩定性。

二-B 溫度驟變

1. 分別將甲、乙、丙三種飽和溶液裝入封口夾鏈袋，待其降溫變成過飽和溶液後，檢測其對溫度變化的反應。

	溫度驟降（放入冷凍庫， -8°C ）	溫度驟降後驟升（ $-8 \sim 35^{\circ}\text{C}$ ）
甲	未析出	析出
乙	未析出	未析出
丙	未析出	未析出

2. 實驗結果討論：

除了高濃度的過飽和溶液，溫度的變化不會使得裝在夾鏈袋的醋酸鈉過飽和溶液析出。

二—C 加入晶種

1. 再配製過飽和溶液丙一次，分別取出 10ml 裝入不同的五支試管；在五支試管內分別加入少許 (1) 醋酸鈉固體 (2) 硫酸銅固體 (3) 硝酸銀固體 (4) 氯化鈉固體 (5) 純醋酸液體 (6) 醋酸鈉溶液

2. 實驗結果：

	醋酸鈉 固體	硫酸銅 固體	硝酸銀 固體	氯化鈉 固體	純醋酸 液體	醋酸鈉 溶液
過飽和 溶液丙	析出	未析出	未析出	未析出	未析出	未析出

3. 實驗結果討論：

- (1) 即使提供多量的 鈉離子，醋酸根 或是 醋酸鈉以外的固體，仍舊不能使得醋酸鈉過飽和溶液析出。
- (2) 不同種類的溶質，彼此並不互相干擾；所以，硫酸銅仍舊可以溶解在醋酸鈉過飽和溶液內。



二—D 以粒子觀點論證「出現醋酸鈉晶種 應是 造成析出的直接原因」

1. 就實驗結果而言，要使過飽和溶液析出。除了直接加入醋酸鈉晶體；尚有「彈金屬片」--- 同時適用高濃度過飽和溶液【甲】和 低濃度過飽和溶液【丙】。「溫度驟變，攪動溶液」--- 只適用高濃度過飽和溶液。

2. 如果，過飽和溶液內的溶質分布真如老師所譬喻【9-3 粒子觀點】；則

- (1) 對應網路資料的說法【參考資料 5】：

醋酸根、鈉離子和水分子是以金屬的刻痕為結合點，產生初始晶體後持續向外擴充。

驗證 將金屬片外包塑膠（如右圖），以使得金屬刻痕應無法發揮結合點效果。
結果 過飽和溶液無法析出！

- (2) 對應理化課本所提的分子結構概念【10-2，10-4】；如果過飽和醋酸鈉（乙酸鈉分子）溶液摻入肥皂碎屑（十八酸鈉分子）應不致析出。

【因分子形狀相差太多，無法接續完成晶體之擴充】

結果 如右圖，過飽和溶液沒有析出！

- (3) 從粒子觀點來看，醋酸根、鈉離子在低濃度過飽和溶液應是比高濃度過飽和溶液有更多可『勉強填入』的位子。因此，即使溫度驟變、攪動溶液；醋酸根、鈉離子可以滑向其他空位（移位），不致於結成醋酸鈉晶種（不易導致析出）。

- (4) 歸納上述三點，可知：

攪動、驟變溫度不一定會破壞過飽和狀態；應視其濃度大小而定！

（研究四）利用「電解法」來精製醋酸鈉過飽和溶液

一. 主題說明：

- 我們曾想利用「電解水產生氫氣與氧氣」這反應來擾動低濃度的過飽和溶液溶液，造成晶體析出。然而，出乎我們意料之外的！「電解水產生氫氣、氧氣」這樣強烈攪動溶液的反應，不但沒有造成醋酸鈉過飽和溶液析出晶體，竟單純的電解溶液內的水起來。
- 於是我們想到；或許，我們可以利用『電解』來精製醋酸鈉過飽和溶液。



【圖 A】



【圖 B】

二.：研究設計

（一）實驗流程

參閱附件五

（二）實驗結果

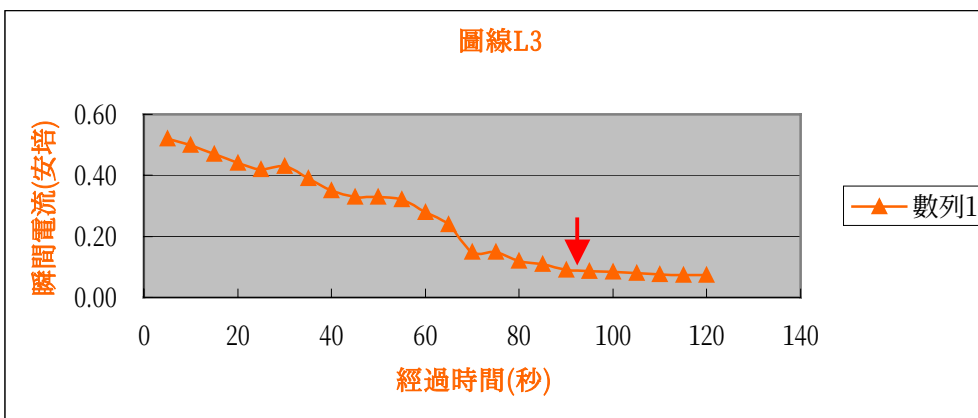
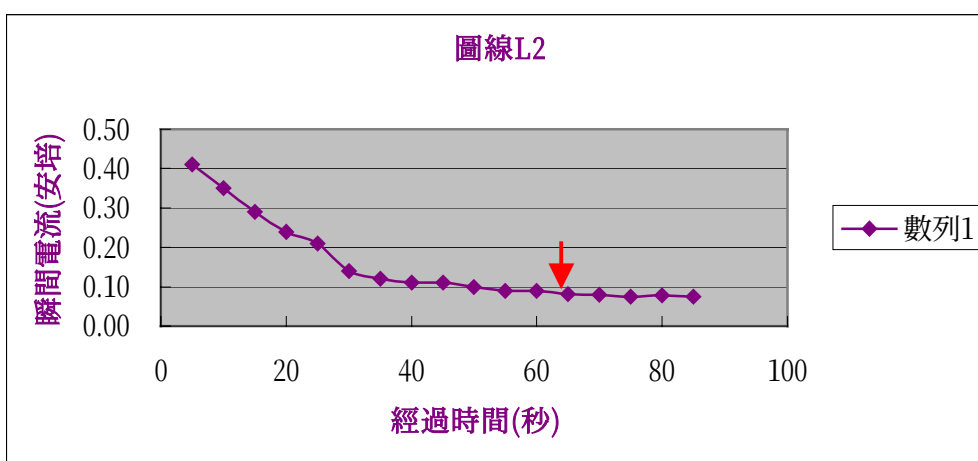
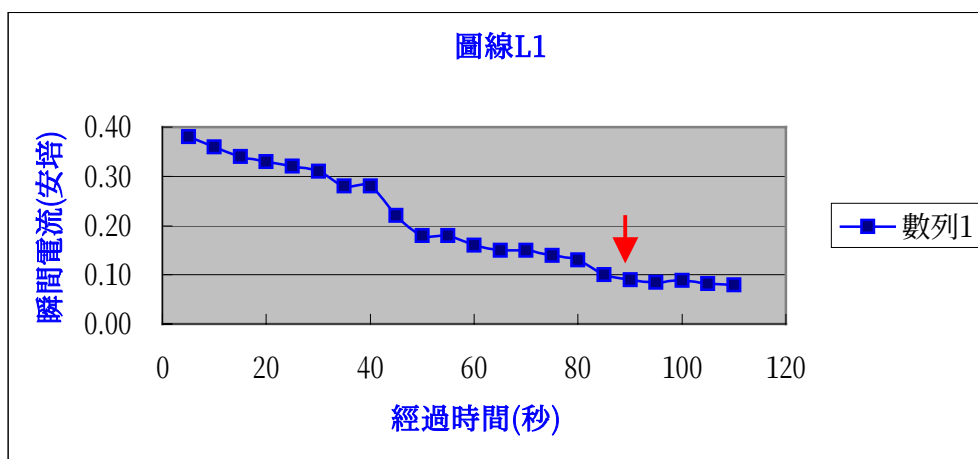
控制變因：供電電壓 6 伏特，過飽和溶液體積 15ml，電極材料為石墨，電極與燒杯之相對位置【含 1. 電極與電解的接觸面積 2. 兩電極的距離】固定

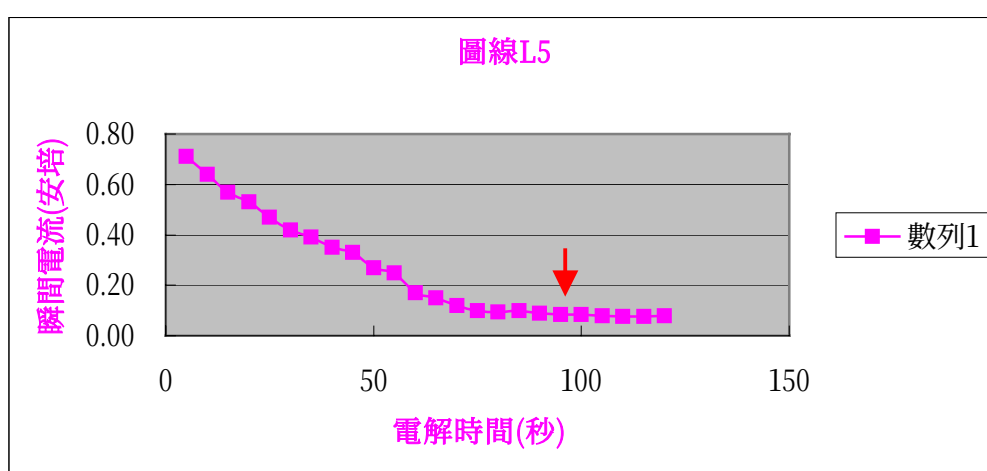
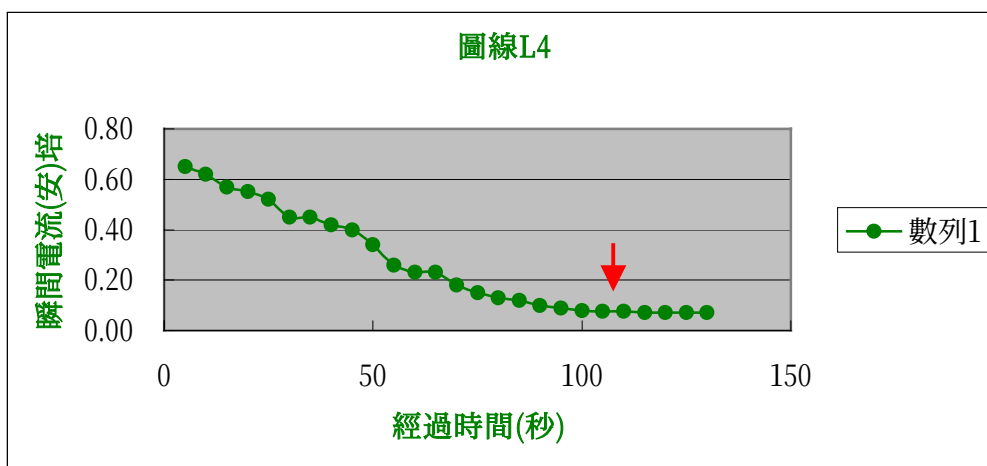
操作變因：原始醋酸鈉飽和溶液濃度 P（%）

應變變因：被電解掉的水質量 ΔM （克）

原始飽和溶液之溫度	原 P（%）	電解掉的水質量 ΔM （克）	殘存溶液【醋酸鈉重：水重】的比值 K	電解過程經歷時間 Δt （分）	電解過程之瞬間電流 I
35.0	69.0	1.38	0.54	88.2	圖線 L1
41.0	72.4	1.55	0.48	68.2	圖線 L2
45.0	75.2	1.68	0.51	91.5	圖線 L3
50.0	77.4	1.79	0.45	102.4	圖線 L4
55.0	81.5	1.93	0.52	97.6	圖線 L5

【表 S】





註：K 值的計算方法 和 圖線 L1 ~ L5 的數據資料 [請參閱附件六](#)

(三) 實驗結果討論：

1. 比較圖線 L1、L2、L3、L4 和 L5。我們發現：

- (1) 電解過飽和溶液之過程，電流逐漸變小。
- (2) 當過飽和溶液析出晶體（即打上紅標處），電流不再下落，漸趨恆定；而且，L1、L2、L3、L4 和 L5 都是驅向 0.7 ~ 0.8 安培。
- (3) 由表 S 可知，醋酸鈉飽和溶液濃度愈大，可被電解掉的水質量愈多。

2. 對照（研究三）的『粒子觀點』，我們可推論如下：

- (1) 隨著電解水實驗持續進行，原本可供給過量的醋酸鈉『勉強填入』的空位逐漸減少；具有導電效果的醋酸根和鈉離子活動範圍自然也逐漸變少。
- (2) 當飽和溶液析出晶體，所有『勉強填入』的過量醋酸鈉全被震落下來，溶液幾乎改變成飽和溶液。所以，五杯過飽和溶液之電解效果幾乎相等。
- (3) 對照電解醋酸鈉飽和溶液（0.55 安培，27°C），五杯過飽和溶液在析出晶體後，電解效果仍較強些（0.7 ~ 0.8 安培）；推測應是溫度因素之影響：亦即是，電解

實驗造成整杯溶液溫度升高；將導致底部的部分析出晶體又溶解掉。

- (4) 對於「醋酸鈉飽和溶液濃度愈大，可被電解掉的水質量愈多」，相信應屬合理。因為，醋酸鈉試藥本身即是水合物，其溶入水中將導致水量再增加。當然，從粒子觀點看來，可供給過量的醋酸鈉『勉強填入』的空位又增加了；因此，可再延長電解時間。
- (5) 參考以往的科展作品（參考資料 4）；我們知道，對電流會有影響。所以，我們特意地把石墨電極用熱溶膠固定起來。事實上，電極與燒杯之相對位置【
1. 電極與電解的接觸面積 2. 兩電極的距離】確實是影響電流大小的重要因素（例如石墨電極是否深入電解液中，將可造成將近 20 % 的誤差）
- (6) 有時石墨電極上面（甚至內側）的缺刻會附著一些醋酸鈉晶體；實驗前務必清洗乾淨（建議用熱水清洗），以免精製過飽和溶液不成，反而使其析出結晶。
- (7) 使用 6 伏特供電電壓是一實驗經驗。其實使用 3 伏特是效果最好，而且其所產生的廢熱很少，溶液幾乎無須再靜置冷卻。但其電解時間幾乎是 6 伏特的兩倍，因實驗資源有限，我們只好改用 6 伏特。【註：若使用 9 或 12 伏特，因其產生的廢熱過多，需外加冷水浴；且其擾動溶液太過激烈，易造成非自然性晶體析出 ----- 例如，賤出的醋醋酸溶液附著石墨電極；待其水分揮發將形成醋醋酸微粒，若其掉落溶液將隨即造成晶體析出，但這時並未達到電解極限！】

（研究五） 這項科展在教學與生活上的應用

- 一. 歸納（研究 一 ~ 四）的實驗結果，我們建議配製因用途而配製適當的熱包。亦即是：



（一）教學用途：

1. 因為偏重安定性，再現性。建議以 35 ~ 41°C 的醋酸鈉飽和溶液（約 69 ~ 73 %）來配製，用 3 號夾鏈袋裝袋。
2. 存放在約 50 ~ 55°C 的溫水中，整體靜置空氣中使其緩緩冷卻。
3. 因為是低濃度的過飽和溶液，安定性很高；劇烈搖晃，溫度驟升降也不析出。
4. 若使用電源供應器提供穩定電壓 3 伏特，平均電流約 28 mA，可持續電解 30 分鐘以上。



（二）取暖用途：

1. 因為偏重放熱值，攜帶方便。建議以 50 ~ 55°C 的醋酸鈉飽和溶液來配製，用（約 78 ~ 82 %）大型通熱袋裝袋。

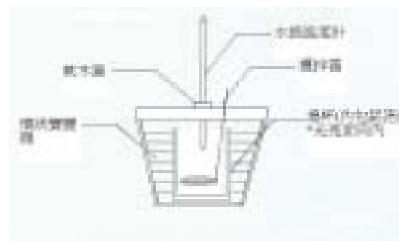
註：使用 粗品醋酸鈉 附件七 即可。

2. 存放在約 $70 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 的溫水中，整體靜置保溫裝置中（例如**保利綸盒子**）使其緩慢地降溫。
3. 因為是**高濃度**的過飽和溶液，**安定性並不高**。
4. 建議可以「彈力鐵片」或「彈力髮夾」代替「**加入晶種**」，使其開始析出。
5. 特別要注意的是，若想要以 70°C 的飽和液來配製，則 **醋酸鈉** 之要求量極可能會超過 1000 克以上；已經不合乎成本。

二. 教學上可運用的教具：

(一) 自製量熱器：

1. 是依據理化 **5-2 熱量**，**5-3 比熱** **5-5，熱的傳播** 所設計的實驗器材。
當然也是很好的教具！



2. 實際使用時，熱量散失並不會很快。平衡溫度約可保持 **25 秒**！
3. 設計圖如下：

(二) 自製電解裝置

攜帶型 I

1. 以方形電池（有效電壓不可超過 6.5 伏特）取代電源供應器。
2. 可直接讀出已被電解的水量（體積）。
3. 可並聯伏特計讀取供電電壓
串聯安培計讀取瞬間電流



(3) 攜帶型 II 【推薦使用】

1. 以方形電池（有效電壓不可超過 6.5 伏特）取代電源供應器。
2. 攜帶、使用方便。
3. 耐摔、抗震力佳（塑膠製品）
4. 成本低廉、有環保概念
5. 可間接標上刻度（參見實物）



二. 實驗結果討論：

1. 在實驗過程中，我們發現到酒精溫度計有不耐高溫的問題。在測完高溫（如 72°C）後，若立即改測低溫（如 -5°C）；管內的酒精柱可能會斷開成好幾段。
2. 由於石墨棒（電極）表面圓滑，不容易用鱷魚夾夾緊；升高電壓也不致被分解破壞。所以我們建議膠連兩支石墨棒成一石墨電極裝置【研究四，圖 A】
3. 攜帶型電解裝置所搭配的方形電池，有效電壓應介於 3.0 ~ 6.5 伏特之間；否則細鐵棒（耳掬）會被分解破壞（形成鐵離子、鐵銹；如下圖）。



五. 結論

- （一）在（研究一）中，我們利用自製的封口攪拌器，繪出「醋酸鈉的溶解度曲線」；並且證明：決定醋酸鈉的溶解度數據，蒸發掉的水量為不可忽略之因素。
- （二）在（研究二）中，我們利用（研究一）所得到的醋酸鈉溶解度資料，求出「當 1 克的醋酸鈉晶體析出，將伴隨著放出 20.07 卡的熱量。」
- （三）在（研究二）中，我們以粒子觀點為基礎，設計了多項實驗以驗證：低濃度的過飽和溶液，實際上具有極高的安定性。即使搖晃溶液、溫度驟變也不致析出晶體；且有效晶種（直接或間接提供的）必須是醋酸鈉本身。
- （四）在（研究四）中，我們利用電解法精製過飽和溶液。並且發現：電解過程中，電流逐漸變小且最後幾乎等同於電解醋酸鈉飽和溶液。
- （五）在（研究五）中，我們匯集研究一 ~ 四的實驗結果。在低成本的限制條件下，製作出兩種不同用途（教學用、取暖用）的熱包；並且，提出自製量熱器、自製電解裝置在理化教學上的可能助益。

六. 展望

- （一）在繪製「醋酸鈉溶解度曲線」時，由於完成每一個點的數據幾乎都得耗去 3~4 小時，我們只好取很大的間隔來標點。所以，儘管我們是以 Exce 軟體繪出最可能曲線；但是，相信藉由曲線走勢所推出的數值，仍會與真值有所差異。希望往後會有同志和我們一同努力，把它作得更完美。畢竟，仍有其他研究者需要這項數據。

註：也是因為這樣，我們所有的研究的基礎資料，都是取自研究一（表二）的八點。

- （二）當我們意外的發現「電解醋酸鈉過飽和溶液」仍不會導致其析出晶體時，我們原是非常興奮。因為藉由這項方法我們將能同時獲得兩個好處：
 - （1）不用高溫處理即可得到高濃度過飽和溶液。
 - （2）順便收集氧氣和氫氣。

但是後來卻發現，儘管電解時間不算短（0.5 ~ 1.5 小時），能電解掉的水量實在有限（1.0 ~ 2.0 克），實用價值其實是不高。事實上，如果從粒子觀點的角度來看。當溫度固定，溶液內能承載的過量醋酸鈉應該是有限的。所以，我們相信「以電解法精製過飽和溶液」終究會有其極限值。只是，究竟我們所是否已處理到極限了？如果不是！那麼這將是一個新的研究方向！
謹再此提供給諸位科學先進做參考……。

七. 參考資料

1. 國中理化課本 1-3、5-2、7-3、9-3、10-4、13-1。
2. 柯清水，無機化學，水牛出版社，P180~183。
3. 方金祥，微型化學實驗之設計與製作，高雄復文書局，P19~21。
4. 渾身是勁—以廢電池改裝為高功率的鋅銅電池，88 年度科展，省立嘉義高中；蕭捷健、丁建裕、許軒榮、何顏均。
5. 中學理化示範實驗/國立彰化師範大學理學院化學系 提供
<http://pckchem.ncue.edu.tw/laboratory/chemdemo/中學理化示範實驗.htm>