

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030207

晶奇再現-天氣瓶的結晶探討與改良

學校名稱：臺南市立新興國民中學

作者： 國二 吳昕諾 國二 陳姿吟 國二 黃靖雯	指導老師： 陳昶翰 鍾旭盈
---	-----------------------------

關鍵詞：storm glass、結晶、溶解度

摘要

為探討風暴球結晶變化之因，我們先對硝酸鉀、氯化銨、樟腦與其混和溶液進行微觀、肉眼觀察與 X 光繞射檢測，結果發現，樟腦與氯化銨構成羽毛狀晶形，硝酸鉀為羽毛間的結晶核，故三者相混和的羽毛狀晶形最為清楚。

再藉由進行多溶質溶液與低介電常數溶劑測試時所學的知識來製作風暴球，然後再對自製風暴球進行結晶因素的探討，結果發現，結晶變化與光照度、光顏色、聲波頻率、電流、接觸材質、濕度與氣壓無關，也無預測功能，只與溫度、溫度下降速率與溶解次數有關。

最後，再以甲基紅、廣用指示劑與自製色度計來改良自製風暴球，**成功製造出一成本低廉、適合台灣天氣、顏色可隨天氣改變與可當作簡易溫度計的變色風暴球**，為風暴球增加趣味性與實用性。

壹、研究動機

國一時，碰巧在網路看到風暴球的介紹與製作，從內容上看到有一玻璃容器，裡面溶液的結晶竟會隨著天氣變化而改變，神奇的變化激起了我們的好奇心，又得知學校老師與學長姐有做過相關實驗，所以，為滿足心中的疑惑，在詢問老師、查閱相關資料與評估可行性後，開始了一連串的實驗……

貳、研究目的

- 一、觀察市售結晶風暴球。
- 二、風暴球的羽毛狀結晶成因為何？
- 三、硝酸鉀、氯化銨與樟腦溶於水或酒精的溶解度為何？
- 四、測試多溶質溶液的溶解度。
- 五、測試不同溶劑對溶液溶解度的影響。
- 六、自製結晶風暴球。
- 七、探討影響結晶風暴球結晶的因素。
- 八、變色結晶風暴球的製作。
- 九、變色結晶風暴球的逐日觀察。

參、研究設備及器材

- 一、各結晶法
 - (一)硝酸鉀
 - (二)氯化銨
 - (三)樟腦
 - (四)RO 水
 - (五)無水酒精
 - (六)數位溫度計
 - (七)顯微鏡(MOTIC)
 - (八)視訊設備
 - (九)自製微量滴管
- 二、溶解度的測量
 - (一)加熱攪拌器(SUNTEX SH-301、NW HP240)
 - (二)烤箱(SENGOKU NC-920(T))
 - (三)水玻璃無線防潮器(SAMPO AD-L1301BL)
 - (四)保麗龍盒
 - (五)自製滴定裝置
- 三、影響結晶風暴球的因素探討
 - (一)結晶風暴球
 - (二)溫濕度計(WISEWIND)
 - (三)LED 燈泡
 - (四)自製變壓器
 - (五)三用電表
 - (六)紅綠黃色玻璃紙
 - (七)耳機
 - (八) pH 計(VS p-80)
 - (九)電源供應器
 - (十)防潮恆溫箱(防潮家)
 - (十一)保麗龍盒
 - (十二)VB_Generator_standalone 軟體

肆、研究過程、結果及討論

研究一、觀察市售結晶風暴球。

探討 1、相關資料的查閱。

【目的】上網購買結晶風暴球並查閱相關資料。

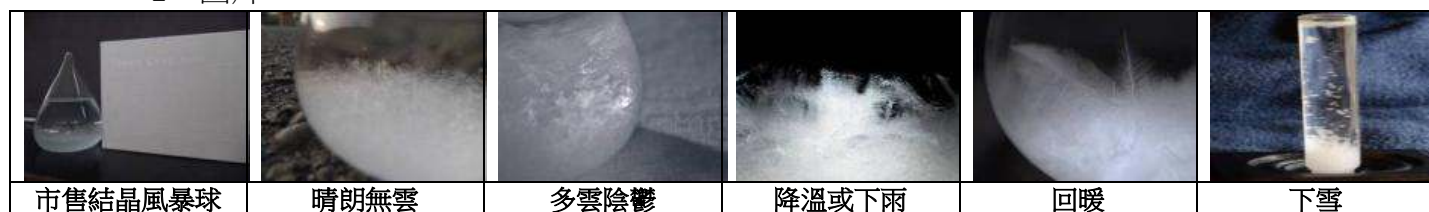
【步驟】1、至網站購買結晶風暴球。

2、網路搜尋「結晶風暴球」、「天氣瓶」或「storm glass」等關鍵字，並整理相關資料。

【結果】 1、資料顯示：風暴球可透過不同的羽毛狀晶形與晶量預測晴天、多雲、起霧、暴風雨、下雪、大風等天氣。

- (1) 瓶中液體清澈乾淨時，表示天氣將晴朗無雲。
- (2) 瓶中液體混濁朦朧時，表示天氣將多雲陰鬱。
- (3) 瓶中羽毛狀晶形逐漸增加時，表示天氣將降溫或下雨。
- (4) 瓶中羽毛狀晶形逐漸減少時，表示天氣將回暖。
- (5) 瓶中有星星狀晶形且向下墜落時，表示即將下雪。

2、圖片：



【討論】 1、風暴球的晶形與晶量可能會因天氣的不同而改變，故我們查閱資料，嘗試了解可能是何種因素導致，整理如下：

- (1) 氣壓，但沒有相關實驗佐證，故我們推測，瓶子為密封狀態，空氣分子無法穿透至裡面，無法有效感知氣壓，因此我們對此因素存疑。
- (2) 溫度，藉由溫度改變來影響溶解度而沉澱，此因素最讓我們信服。
- (3) 其它因素有：一、玻璃外壁和內部混合溶液的表面交互作用，二、玻璃材料本身的電流作用，三、量子穿隧效應。可是都沒有相關實驗佐證，所以我們也對這些因素存疑。
- (4) 相關資料還提到，風暴球有預測天氣的效果，可是也沒有相關實驗佐證，所以我們也對此說法存疑。

2、不查還好，一查之下發現我們對風暴球有愈來愈多的困惑，所以我們將先對市售風暴球進行簡易測試，觀察其在不同地點的結晶變化為何。

探討 2、市售風暴球的簡易測試。

【目的】 將市售風暴球放置在不同地點進行結晶測試。

【步驟】 1、將市售風暴球放在冷藏庫、陰暗處、廁所與太陽下 1 小時。

2、記錄溫濕度與拍照，並觀察晶形與晶量變化。

【結果】

環境	冷藏庫	陰暗處	廁所	太陽下
溫度(°C)	-13.6	22.5	25.1	36.8
濕度(%)	x	63	62	32
圖片				
結晶特色	1、晶量最多。 2、晶形為小雪花狀。	1、晶量第二多。 2、晶形為羽毛狀。	1、晶量第三多。 2、晶形為小羽毛狀。	1、晶量最少，幾近澄清。 2、晶形為小羽毛狀。

【討論】 1、風暴球的晶形與晶量可能與溫度有關，溫度愈低，溶解度愈低，晶量愈多，晶形愈接近小雪花狀，但與濕度沒有較明顯的關係，且看不出有預測天氣的功能。

2、風暴球的彎曲玻璃容器設計具有放大效果，可更容易觀察晶形。

3、為了解風暴球的溶液成份與比例，我們查閱了說明書與網路，其成份為 RO 水 33g、酒精 31.6g、硝酸鉀 2.5g、氯化銨 2.5g 與樟腦 10g，但是，何種成份構成雪花狀或羽毛狀結晶？溶液配置過程牽涉到何種化學原理？何種因素會影響結晶？該比例的風暴球適合台灣的天氣嗎？為解決上述疑問，我們決定自製風暴球，然後再與市售風暴球以及文獻風暴球進行結晶測試與比較。

研究二、風暴球的羽毛狀結晶成因為何？

探討 1、以蒸發結晶法觀察結晶形狀。

【目的】利用 3 種蒸發結晶法蒸發 7 種自製溶液，然後觀察晶形與拍照。

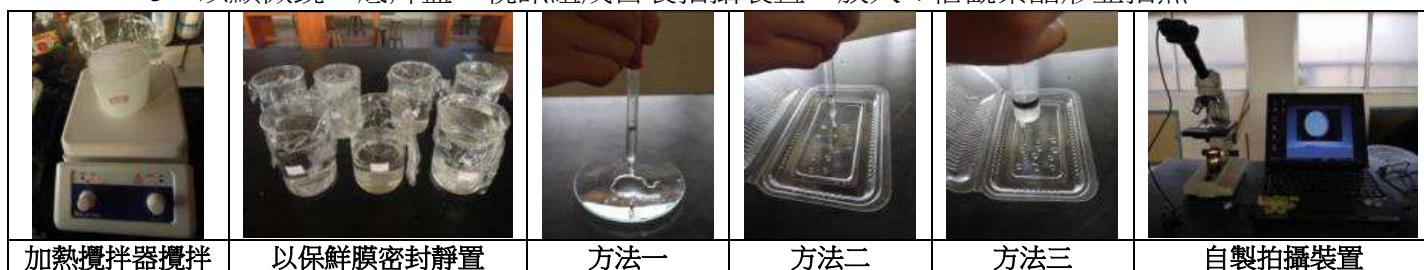
【步驟】1、在室溫 30°C 下，以加熱攪拌器配製下列 7 種溶液，再以保鮮膜密封靜置。

- (1)硝酸鉀溶液：120g 硝酸鉀加水 500g 至完全溶解。
- (2)氯化銨溶液：120g 氯化銨加水 500g 至完全溶解。
- (3)樟腦溶液：120g 樟腦加酒精 500g 至完全溶解。
- (4)硝酸鉀＋氯化銨溶液：60g 硝酸鉀與 60g 氯化銨加水 500g 至完全溶解。
- (5)硝酸鉀＋樟腦溶液：60g 硝酸鉀與 60g 樟腦加水與酒精各 250g 至完全溶解。
- (6)氯化銨＋樟腦溶液：60g 氯化銨與 60g 樟腦加水與酒精各 250g 至完全溶解。
- (7)硝酸鉀＋氯化銨＋樟腦溶液：60g 硝酸鉀、60g 氯化銨與 60g 樟腦加水與酒精各 500g 至完全溶解。

2、以下列 3 種蒸發結晶法蒸發結晶上述 7 種溶液，方法如下：

- (1)方法一：以吸量管吸取 5mL 滴於錶玻璃，再放入戳洞的透明盒內靜置乾燥。
- (2)方法二：以玻璃滴管滴 15 滴於戳洞的透明盒內靜置乾燥。
- (3)方法三：以 10mL 針筒滴 15 滴於戳洞的透明盒內靜置乾燥。

3、以顯微鏡＋底片盒＋視訊組成自製拍攝裝置，放大 4 倍觀察晶形並拍照。



加熱攪拌器攪拌

以保鮮膜密封靜置

方法一

方法二

方法三

自製拍攝裝置

【結果】圖片







1、硝酸鉀溶液

	方法一(吸量管)	方法二(玻璃滴管)	方法三(針筒)
全部			
4 倍			







2、氯化銨溶液

	方法一(吸量管)	方法二(玻璃滴管)	方法三(針筒)
全部			
4 倍			







3、樟腦溶液

	方法一(吸量管)	方法二(玻璃滴管)	方法三(針筒)
全部			
4倍			







4、硝酸鉀+氯化銨溶液

	方法一(吸量管)	方法二(玻璃滴管)	方法三(針筒)
全部			
4倍			

5、硝酸鉀+樟腦溶液

	方法一(吸量管)	方法二(玻璃滴管)	方法三(針筒)
全部			
4倍			

6、氯化銨+樟腦溶液

	方法一(吸量管)	方法二(玻璃滴管)	方法三(針筒)
全部			
4倍			

7、硝酸鉀+氯化銨+樟腦溶液



- 【討論】**
- 1、將溶液滴入戳洞的透明盒內蒸發可防止灰塵進入而影響結晶，又可清楚觀察結晶的進度與晶形變化。而且，以顯微鏡+底片盒+視訊組成的自製拍攝裝置可方便地觀察到明顯的晶形，所以我們將以此裝置來觀察。
 - 2、方法一從滴入至完全結晶，需要2天之久，但樟腦完全揮發只需1小時，所以常會無法觀察到含有樟腦的溶液之完整混和結晶，且會因為晶量較多且厚而無法微觀觀察，但較易以肉眼觀察結晶形狀。
 - 3、方法二與方法三從滴入至完全結晶，需要30分鐘，可觀察含有樟腦的溶液，且此兩種方法的晶量較薄而可微觀觀察，但均無法有效控制每滴的量，導致每滴的結晶結果不一致而造成觀察上的誤差，且此方法較不易以肉眼觀察晶形。
 - 4、方法一可進行肉眼觀察，方法二與三可進行微觀觀察，但都具有缺點，故我們將繼續改良。

探討2、自製微量滴管。

【目的】 自製一可方便清洗、操作方便與可固定體積的微量滴管。

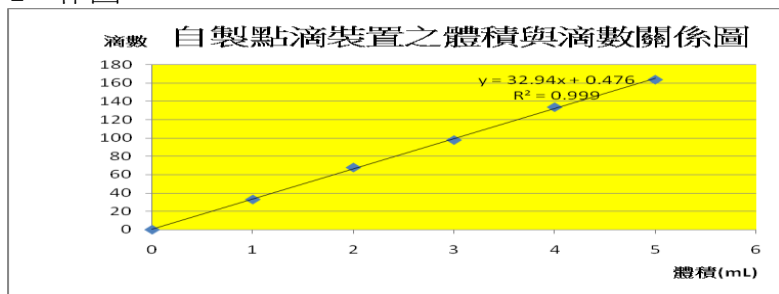
【步驟】 1、利用12mL針筒、彈簧、螺絲與螺帽製作微量滴管。

- 2、以自製微量滴管滴RO水至10mL量筒內，記錄每單位體積的滴數並作圖。

【結果】 1、數據結果：

體積(mL)	滴數
0	0
1	33
2	68
3	98
4	134
5	164

2、作圖：



換算公式為 $Y = 32.94X + 0.476$ X：體積(mL) Y：滴數

【討論】 1、滴數與體積的換算公式為 $Y = 32.94X + 0.476$ ，經修正後，滴至5mL需要165滴，故每滴體積約為0.03mL。

- 2、由於學校沒有微量滴管，所以我們改以針筒來自製微量滴管，其有操作方便、體積可固定、體積可控制與成本低廉等優點，所以我們將以自製微量滴管取代玻璃滴管與針筒。

探討3、以自製蒸發結晶法觀察結晶形狀。












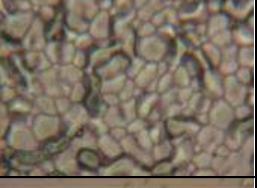
















【目的】 以自製微量滴管蒸發7種自製溶液，然後觀察晶形與拍照。

【步驟】 1、以自製微量滴管取出7種溶液於戳洞的透明盒內靜置乾燥。

- 2、拍攝全部、4倍、10倍與40倍等模式的照片。



【結果】 圖片

	全部	4 倍	10 倍	40 倍
硝酸鉀 溶液				
氯化銨 溶液				
樟腦 溶液				
硝酸鉀+ 氯化銨 溶液				
硝酸鉀+ 樟腦溶液				
氯化銨+ 樟腦溶液				
硝酸鉀+ 氯化銨+ 樟腦溶液				

【討論】 1、使用自製蒸發結晶法不僅可以固定滴定體積，方便觀察，且由於溶液體積不大，約 1 分鐘就可完全結晶，可有效防止樟腦揮發而造成的觀察誤差。

2、各蒸發結晶法比較：

名稱	方法一	方法二	方法三	自製蒸發結晶法
吸取裝置	吸量管	玻璃滴管	10mL 針筒	自製微量滴管
優點	適合肉眼觀察	適合微觀觀察。	適合微觀觀察。	1、適合微觀觀察。 2、滴定體積固定。 3、結晶速度快。 4、成本低廉。 5、適合觀察揮發性物質。 6、操作方便。
缺點	1、不適合微觀觀察。	1、不適合肉眼觀察。	1、不適合肉眼觀察。	不適合肉眼觀察。

2、結晶速度超慢。 3、不適合觀察揮發性物質。	2、結晶體積不固定。 3、結晶速度較慢。 4、不適合觀察揮發性物質。	2、結晶體積不固定。 3、結晶速度較慢。 4、不適合觀察揮發性物質。	
----------------------------	--	--	--

3、微觀觀察七種結晶的整理如下：

名稱	硝酸鉀溶液	氯化銨溶液	樟腦溶液	硝酸鉀+氯化銨溶液	硝酸鉀+樟腦溶液	氯化銨+樟腦溶液	硝酸鉀+氯化銨+樟腦溶液
結晶特色	白色菱柱晶體，呈現交錯排列	白色立方晶體，呈現羽毛狀排列	白色顆粒狀晶體，呈現放射狀排列	些微放射狀排列	些微羽毛狀	羽毛狀與放射狀排列	明顯的長條羽毛狀排列

樟腦與氯化銨會形成羽毛狀晶形，且其混和可使晶形變大；硝酸鉀會讓晶形變小，但會讓結晶範圍變大，故「硝酸鉀+氯化銨+樟腦」的結晶最為好看，我們推測，**硝酸鉀會干擾「羽毛裡」的氯化銨與樟腦結晶，但扮演「羽毛間」結晶核的角色**，為讓此推測更具說服力，我們將繼續提出論證。







探討 4、以降低溫度結晶法觀察結晶形狀。

【目的】以冷劑降低溫度的方式觀察晶形。


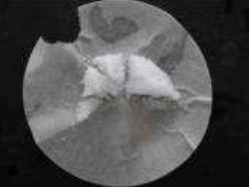

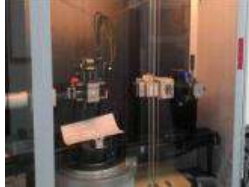
- 【步驟】
- 1、取 7 種自製溶液 12mL 至試管中並用保鮮膜與橡皮筋密封。
 - 2、將試管放入冷劑(冰塊與食鹽重量比為 3：1)中冷卻，觀察結晶變化並拍照。

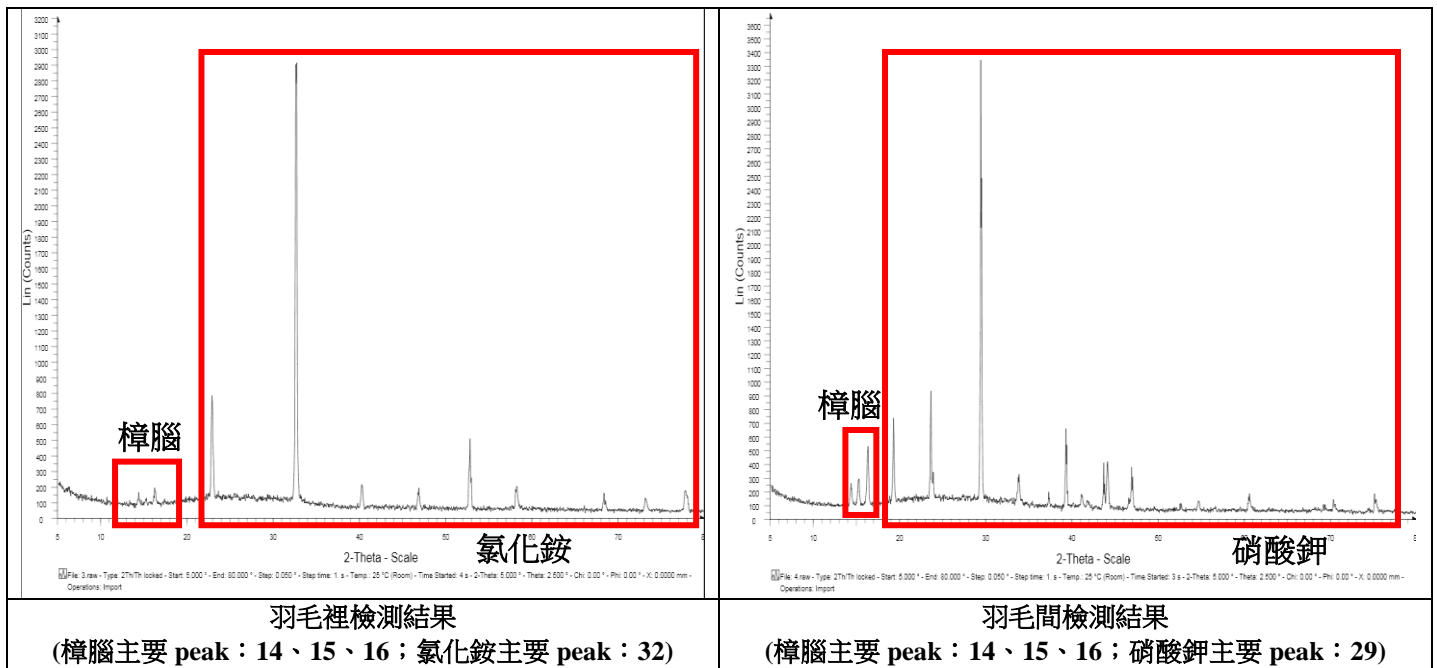
【結果】



名稱	硝酸鉀溶液	氯化銨溶液	樟腦溶液	硝酸鉀+氯化銨溶液
圖片				
結晶特色	白色菱柱晶體交錯沉澱	白色雪花狀與羽毛狀沉澱，但雪花狀較多	白色雪花狀與羽毛狀沉澱，但羽毛狀較多	不規則白色雪花狀與羽毛狀沉澱，但面積比氯化銨溶液大
名稱	硝酸鉀+樟腦溶液	氯化銨+樟腦溶液	硝酸鉀+氯化銨+樟腦溶液	
圖片				
結晶特色	不規則白色雪花狀與羽毛狀沉澱，面積比樟腦溶液大	白色雪花狀與羽毛狀沉澱，面積比硝酸鉀+樟腦溶液大	白色雪花狀與羽毛狀沉澱，面積最大	

【討論】1、**測試結果皆與自製蒸發結晶法的微觀觀察結果雷同**，再來，我們利用市售真空盒自製抽氣裝置過濾「羽毛裡」與「羽毛間」的結晶，然後送至**成大照坤儀器中心進行低掠角薄膜 X 光繞射檢測**，果不其然，**結果皆與我們的推測雷同**，「羽毛裡」的結晶成分有樟腦與氯化銨，「羽毛間」的結晶成分有樟腦與硝酸鉀，而樟腦數量較少的原因為測試過程中，樟腦會不斷地揮發所導致。

			
自製抽氣裝置	羽毛狀結晶	放入玻片中	實驗進行中



2、綜合探討 3 與探討 4 的結論，樟腦與氯化銨扮演著羽毛狀結晶的角色，則硝酸鉀雖會干擾「羽毛裡」的氯化銨與樟腦結晶，但扮演「羽毛間」結晶核的角色，故以硝酸鉀＋氯化銨與樟腦溶液的羽毛狀結晶最為清楚明顯。

3、接著，我們擬將七種溶液靜置數天，等待溶液均勻混和，觀察晶形或面積是否改變。

探討 5、觀察靜置不同天數之結晶形狀。

【目的】以自製蒸發結晶法與降低溫度法觀察溶液靜置 1 至 7 天的晶形。

【步驟】靜置溶液 1 至 7 天，再以自製蒸發結晶法與降低溫度法觀察結晶變化並拍照。









【結果】1、硝酸鉀溶液

	1天	3天	5天	7天
自製蒸發結晶法				
降低溫度法				





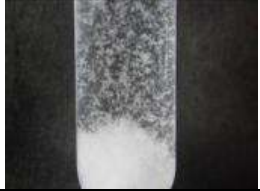



2、氯化銨溶液

	1天	3天	5天	7天
自製蒸發結晶法				
降低溫度法				









3、樟腦溶液

	1天	3天	5天	7天
自製蒸發結晶法				
降低溫度法				



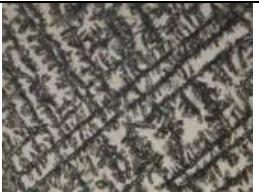





4、硝酸鉀+氯化銨溶液

	1天	3天	5天	7天
自製蒸發結晶法				
降低溫度法				

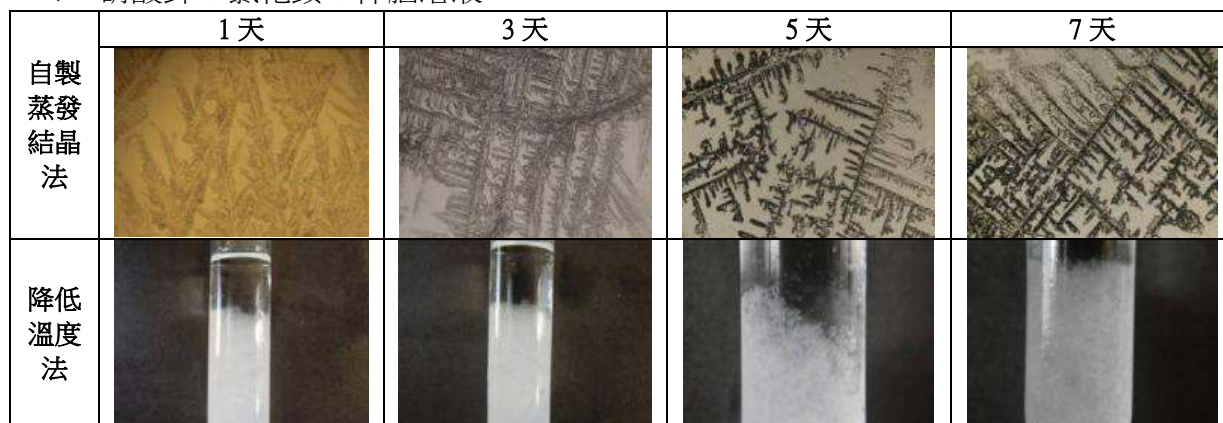
5、硝酸鉀+樟腦溶液

	1天	3天	5天	7天
自製蒸發結晶法				
降低溫度法				

6、氯化銨+樟腦溶液

	1天	3天	5天	7天
自製蒸發結晶法				
降低溫度法				

7、硝酸鉀+氯化銨+樟腦溶液



- 【討論】**
- 1、靜置天數對純溶液的晶形影響不大，從第 1 天開始就無太大的影響，但對混合溶液的晶形與面積影響頗大，每天的結晶變化都有些許不同，約到第 5 天，結晶才會漸趨完美、明顯與平緩，原因為溶液內的粒子需要時間均勻混合，才能在最佳的位置排列結晶，以達羽毛狀晶形與大面積的結果。
 - 2、從研究一的簡易結晶測試來看，市售風暴球約在 26°C 就已無結晶，但台灣天氣炎熱，年均溫約為 28.8°C，夏天均溫更高達 33.5°C，故我們打算製作適合台灣天氣的結晶風暴球，所以，我們將先測試各溶質在不同溫度溶於水或酒精的溶解度。

研究三、硝酸鉀、氯化銨與樟腦溶於水或酒精的溶解度為何？

探討 1、以溶質加入溶劑的方式施測不同溫度下的溶解度。

【目的】以溶質加入溶劑的方式，算出不同溫度下的溶解度，並與文獻比較。

【步驟】1、於錐形瓶內加入溶劑(水或酒精)並量取重量 W_1 。

2、將溫度控制在 20°C、30°C、40°C 與 50°C，加入溶質(硝酸鉀、氯化銨或樟腦)攪拌至完全溶解，並量取重量 W_2 。

3、以溶質重($W_2 - W_1$)與溶劑重代入溶解度公式算出溶解度，此方法命名為方法一。

4、重複上述步驟 5 次並取平均。

【結果】1、數據結果：

(1)硝酸鉀

	水重(g)	硝酸鉀重(g)	溶於水的溶解度(g/100g 水)	文獻	誤差(%)	酒精重(g)	硝酸鉀重(g)	溶於酒精的溶解度(g/100g 酒精)	文獻	誤差(%)
20°C	50.0	15.4	30.8	31.6	-2.5	50.0	0.0	0.0	不溶	
30°C	50.0	22.0	44.0	45.3	-2.9	50.0	0.0	0.0	不溶	
40°C	50.0	29.9	59.8	61.3	-2.4	50.0	0.0	0.0	不溶	
50°C	50.0	41.6	83.2	85.5	-2.7	50.0	0.0	0.0	不溶	

(2)氯化銨

	水重(g)	氯化銨重(g)	溶於水的溶解度(g/100g 水)	文獻	誤差(%)	酒精重(g)	氯化銨重(g)	溶於酒精的溶解度(g/100g 酒精)	文獻	誤差(%)
20°C	50.0	18.1	36.2	37.2	-2.7	100.0	0.09	0.09	無	
30°C	50.0	20.2	40.4	41.4	-2.4	100.0	0.10	0.10	無	
40°C	50.0	22.2	44.4	45.8	-3.1	100.0	0.13	0.13	無	
50°C	50.0	24.5	49.0	50.4	-2.8	100.0	0.14	0.14	無	

(3)樟腦

	水重(g)	樟腦重(g)	溶於水的溶解度(g/100g 水)	文獻	誤差(%)	酒精重(g)	樟腦重(g)	溶於酒精的溶解度(g/100g 酒精)	文獻	誤差(%)
20°C	300.0	0.1	0.03	無		20.0	40.2	201.0	無	
30°C	300.0	0.2	0.07	無		20.0	45.6	228.0	無	
40°C	300.0	0.3	0.10	無		20.0	53.8	269.0	無	
50°C	300.0	0.3	0.10	無		20.0	62.7	313.5	無	

- 【討論】** 1、為找出硝酸鉀、氯化銨與樟腦溶於水或酒精的溶解度，我們上網尋找相關文獻，**但有些沒有相關資料，故我們以實驗求得各溶質溶於水或酒精的溶解度。**
- 2、加入溶質時，溶劑會不斷蒸發，且要是一不小心，溶質就會殘留在錐形瓶口，導致誤差隨著溫度變大而變大，最大來到-3.1%左右。
- 3、**本方法誤差頗大，故我們打算再用第二個方法測量溶解度。**

探討 2、以自製滴定裝置施測不同溫度下的溶解度。

【目的】 製作滴定裝置進行測試，算出不同溫度下的溶解度，並與文獻比較。

- 【步驟】** 1、於錐形瓶內分別加入定量的溶質(硝酸鉀、氯化銨或樟腦)，並量取重量 W_1 。
- 2、將溫度控制在 20°C、30°C、40°C 與 50°C，以自製滴定裝置滴入溶劑(水或酒精)攪拌至完全溶解，並量取重量 W_2 。
- 3、以溶劑重($W_2 - W_1$)與溶質重代入溶解度公式算出溶解度，此方法命名為方法二，並重複上述步驟 5 次並取平均。



自製滴定裝置

【結果】 1、數據結果：

(1)硝酸鉀

	硝酸鉀重(g)	水重(g)	溶於水的溶解度(g/100g 水)	文獻	誤差(%)	硝酸鉀重(g)	酒精重(g)	溶於酒精的溶解度(g/100g 酒精)	文獻	誤差(%)
20°C	30.0	95.1	31.5	31.6	-0.0	0.1	無限多	0.0	不溶	
30°C	30.0	66.4	45.2	45.3	-0.0	0.1	無限多	0.0	不溶	
40°C	40.0	65.4	61.2	61.3	-0.0	0.1	無限多	0.0	不溶	
50°C	40.0	46.8	85.4	85.5	-0.0	0.1	無限多	0.0	不溶	

(2)氯化銨

	氯化銨重(g)	水重(g)	溶於水的溶解度(g/100g 水)	文獻	誤差(%)	氯化銨重(g)	酒精重(g)	溶於酒精的溶解度(g/100g 酒精)	文獻	誤差(%)
20°C	30	80.8	37.1	37.2	-0.0	0.1	87.7	0.11	無	
30°C	30	72.6	41.3	41.4	-0.0	0.1	72.8	0.14	無	
40°C	30	65.7	45.7	45.8	-0.0	0.1	61.9	0.16	無	
50°C	30	59.7	50.3	50.4	-0.0	0.1	56.7	0.18	無	

(3)樟腦

	樟腦重(g)	水重(g)	溶於水的溶解度(g/100g 水)	文獻	誤差(%)	樟腦重(g)	酒精重(g)	溶於酒精的溶解度(g/100g 酒精)	文獻	誤差(%)
20°C	0.1	253.3	0.04	無		50	21.4	233.6	無	
30°C	0.1	151.4	0.07	無		50	18.5	270.3	無	
40°C	0.1	119.6	0.08	無		50	16.3	306.7	無	
50°C	0.1	101.7	0.10	無		50	13.5	370.4	無	

【討論】 1、加入溶質蓋上橡皮塞前，需以溶劑沖洗殘留在錐形瓶口的溶質，以降低實驗誤差。

- 2、利用三通接頭、矽膠管、橡皮塞、輸液套、輸液筒、溫度計與錐形瓶製成的自製滴定裝置測試溶解度，可避免溶劑的蒸發與瓶口溶質的殘留，實驗結果皆與文獻相去不遠。
- 3、為確認方法二是否準確，我們將再以第三個方法測量溶解度。

探討 3、以乾燥飽和溶液的方式施測不同溫度下的溶解度。

【目的】以烤箱乾燥法與乾燥箱乾燥法蒸發各飽和溶液，算出不同溫度下的溶解度，並與文獻比較。

【步驟】1、在 20°C、30°C、40°C 與 50°C 的 50g 溶劑中加入溶質至沉澱，並維持恆溫靜置三天。

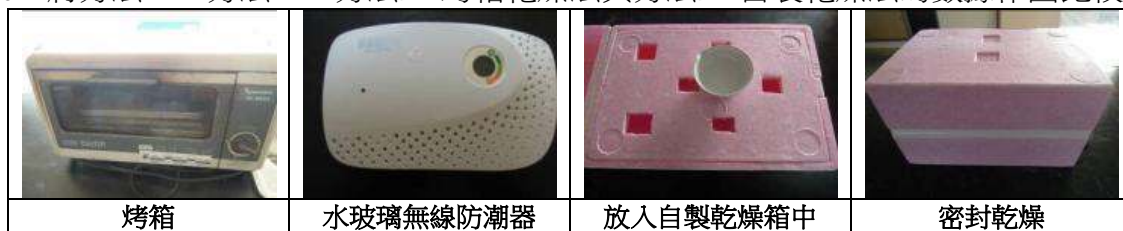
2、秤量乾燥之坩堝重量 W_1 ，並量取上層溶液 20g 至坩堝中。

3、放至烤箱或自製乾燥箱中乾燥，等待坩堝重量無變化即可秤量重量 W_2 。

4、將溶質重($W_2 - W_1$)與溶劑重($20 - W_2 + W_1$)代入溶解度公式算出溶解度，此方法命名為方法三。

5、重複上述步驟 5 次並取平均。

6、將方法一、方法二、方法三-烤箱乾燥法與方法三-自製乾燥法的數據作圖比較。



【結果】1、數據結果：

(1) 烤箱乾燥法

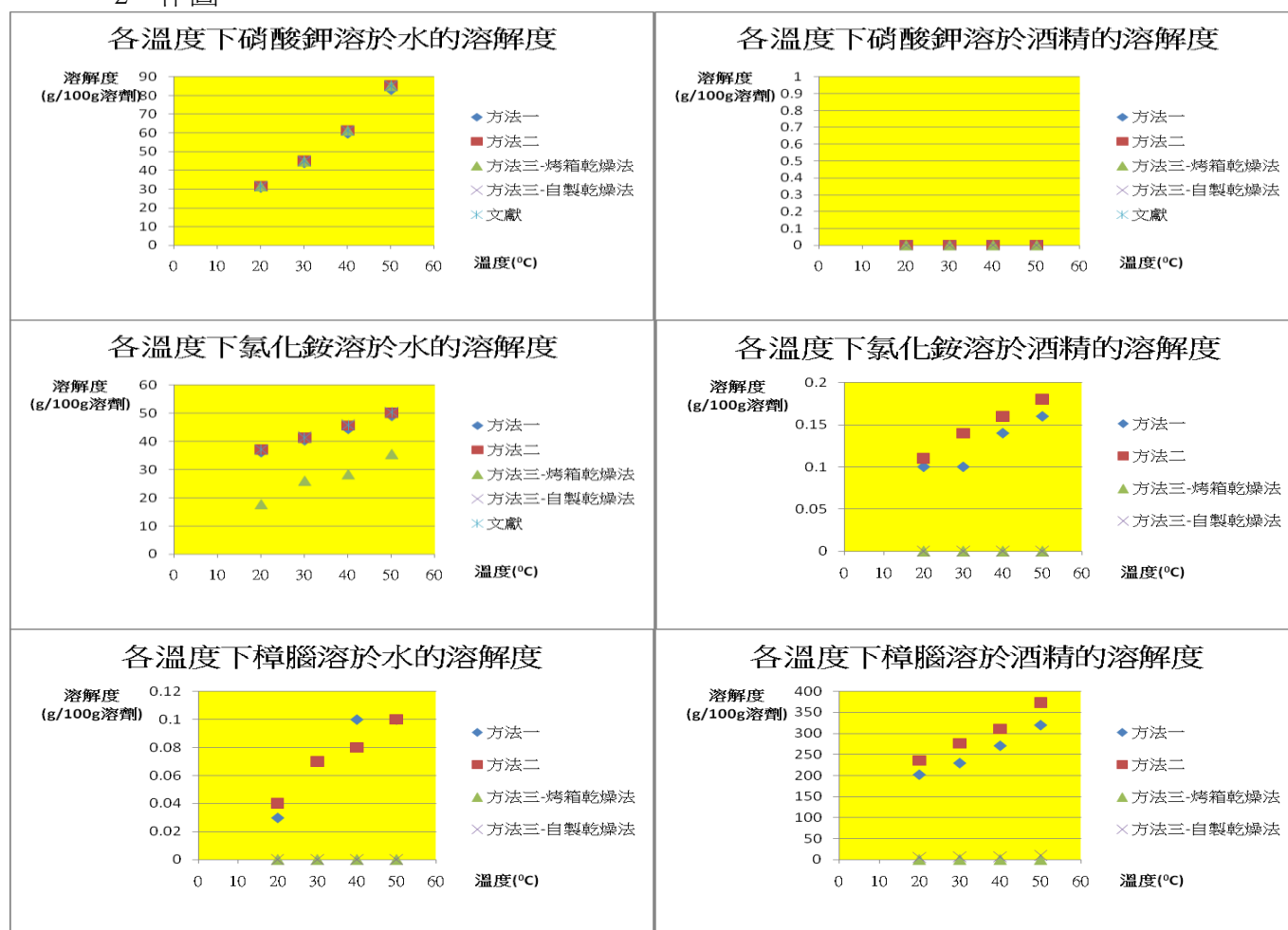
	硝酸鉀重(g)	水重(g)	溶於水的溶解度(g/100g水)	文獻	誤差(%)	硝酸鉀重(g)	酒精重(g)	溶於酒精的溶解度(g/100g酒精)	文獻	誤差(%)
20°C	4.8	15.2	31.6	31.6	0.0	0.0	20.0	0.0	不溶	
30°C	6.2	13.8	44.9	45.3	-0.9	0.0	20.0	0.0	不溶	
40°C	7.6	12.4	61.3	61.3	0.0	0.0	20.0	0.0	不溶	
50°C	9.2	10.8	85.2	85.5	-0.4	0.0	20.0	0.0	不溶	
	氯化銨重(g)	水重(g)	溶於水的溶解度(g/100g水)	文獻	誤差(%)	氯化銨重(g)	酒精重(g)	溶於酒精的溶解度(g/100g酒精)	文獻	誤差(%)
20°C	3.0	16.9	17.8	37.2	-52.2	0.0	20.0	0.0	無	
30°C	4.1	15.7	26.1	41.4	-37.0	0.0	20.0	0.0	無	
40°C	4.4	15.5	28.4	45.8	-38.0	0.0	20.0	0.0	無	
50°C	5.2	14.6	35.6	50.4	-29.4	0.0	20.0	0.0	無	
	樟腦重(g)	水重(g)	溶於水的溶解度(g/100g水)	文獻	誤差(%)	樟腦重(g)	酒精重(g)	溶於酒精的溶解度(g/100g酒精)	文獻	誤差(%)
20°C	0.0	20.0	0.0	無		0.0	20.0	0.0	無	
30°C	0.0	20.0	0.0	無		0.0	20.0	0.0	無	
40°C	0.0	20.0	0.0	無		0.0	20.0	0.0	無	
50°C	0.0	20.0	0.0	無		0.0	20.0	0.0	無	

(2) 自製乾燥箱乾燥法

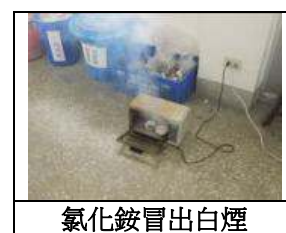
	硝酸鉀重(g)	水重(g)	溶於水的溶解度(g/100g水)	文獻	誤差(%)	硝酸鉀重(g)	酒精重(g)	溶於酒精的溶解度(g/100g酒精)	文獻	誤差(%)
20°C	4.8	15.2	31.6	31.6	0.0	0.0	20.0	0.0	不溶	
30°C	6.2	13.8	44.9	45.3	-0.9	0.0	20.0	0.0	不溶	
40°C	7.6	12.4	61.3	61.3	0.0	0.0	20.0	0.0	不溶	
50°C	9.2	10.8	85.2	85.5	-0.4	0.0	20.0	0.0	不溶	

	氯化銨重(g)	水重(g)	溶於水的溶解度(g/100g水)	文獻	誤差(%)	氯化銨重(g)	酒精重(g)	溶於酒精的溶解度(g/100g酒精)	文獻	誤差(%)
20°C	5.4	14.6	37.0	37.2	-0.5	0.0	20.0	0.0	無	
30°C	5.9	14.1	41.8	41.4	+1.0	0.0	20.0	0.0	無	
40°C	6.3	13.7	46.0	45.8	+0.4	0.0	20.0	0.0	無	
50°C	6.7	13.3	50.4	50.4	0.0	0.0	20.0	0.0	無	
	樟腦重(g)	水重(g)	溶於水的溶解度(g/100g水)	文獻	誤差(%)	樟腦重(g)	酒精重(g)	溶於酒精的溶解度(g/100g酒精)	文獻	誤差(%)
20°C	0.0	20.0	0.0	無		0.9	19.1	4.7	無	
30°C	0.0	20.0	0.0	無		1.2	18.8	6.4	無	
40°C	0.0	20.0	0.0	無		1.3	18.7	7.0	無	
50°C	0.0	20.0	0.0	無		1.8	18.2	9.9	無	

2、作圖：



- 【討論】** 1、**烤箱乾燥法**乾燥完成約需要 30 分，速度較快，且求出的硝酸鉀溶於水或酒精溶解度均與文獻相去不遠，**但無法作出氯化銨與樟腦的溶解度**，原因在於烤箱溫度約在 200°C 左右，會讓 100°C 左右氣化的氯化銨與室溫下揮發的樟腦氣化，導致無法得到正確的溶質質量。
- 2、**自製乾燥法**在室溫下乾燥完成約需要 5 天，速度較慢，但可準確求得硝酸鉀溶於水或酒精與氯化銨溶於水的溶解度，**但還是無法求得樟腦的溶解度**。



氯化銨冒出白煙

3、各方法比較如下：

	方法一	方法二	方法三-烤箱乾燥法	方法三-自製乾燥法
方式	溶質加入溶劑	溶劑加入溶質	配製飽和溶液，抽取上層溶液，再用烤箱乾燥	配製飽和溶液，抽取上層溶液，再用自製乾燥箱乾燥
優點	速度快 (約 2 小時)	1、速度快 (約 1 小時) 2、準確。 3、製作成本低廉。	1、速度快 (約 30 分) 2、準確。	準確。
缺點	施測過程溶劑蒸發，以及溶質會殘留在瓶口，導致誤差極大	無	僅適合 200℃ 以上不氣化之溶質(硝酸鉀)	1、速度慢。(約 5 天) 2、僅適合室溫以上不氣化之溶質(硝酸鉀與氯化銨)

4、所以我們以各方法的實驗結果與文獻，綜合整理出各溶質的溶解度：

	溶於水的溶解度(g/100g 水)			溶於酒精(g/100g 酒精)		
	硝酸鉀	氯化銨	樟腦	硝酸鉀	氯化銨	樟腦
20℃	31.6	37.2	0.04	不溶	0.11	233.6
30℃	45.3	41.4	0.07	不溶	0.14	270.3
40℃	61.3	45.8	0.08	不溶	0.16	306.7
50℃	85.5	50.4	0.10	不溶	0.18	370.4

5、接著我們將對各溶液作多溶質溶液的溶解度測試，觀察在多溶質的狀態下，溶質的溶解度是否會改變。

研究四、測試多溶質溶液的溶解度。

探討 1、探討雙溶質溶液的溶解度。

【目的】以方法二探討雙溶質溶液的溶解度。

【步驟】固定溫度為 30℃，以方法二量測需加入的溶劑量，重複 5 次並取平均。

【結果】1、數據結果：

(1)溶劑為水

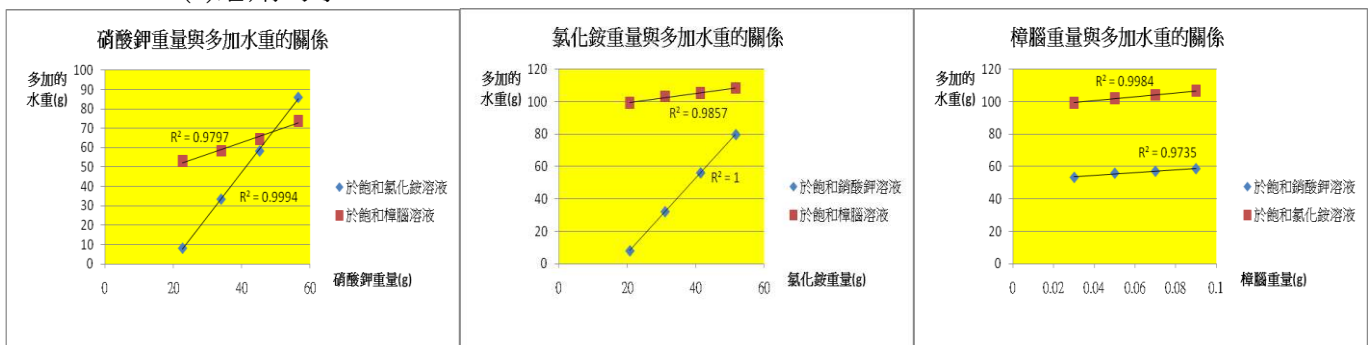
氯化銨重(g)	原始水重(g)	加入的硝酸鉀重(g)	後來水重(g)	多加的水重(g)	樟腦重(g)	原始水重(g)	加入的硝酸鉀重(g)	後來水重(g)	多加的水重(g)
20.7	50.0	22.7	58.0	8.0	0.03	50.0	22.7	103.2	53.2
20.7	50.0	34.0	83.4	33.4	0.03	50.0	34.0	108.3	58.3
20.7	50.0	45.3	108.3	58.3	0.03	50.0	45.3	114.5	64.5
20.7	50.0	56.6	136.1	86.1	0.03	50.0	56.6	123.9	73.9
硝酸鉀重(g)	原始水重(g)	加入的氯化銨重(g)	後來水重(g)	多加的水重(g)	樟腦重(g)	原始水重(g)	加入的氯化銨重(g)	後來水重(g)	多加的水重(g)
22.7	50.0	20.7	58.0	8.0	0.03	50.0	20.7	149.4	99.4
22.7	50.0	31.0	82.1	32.1	0.03	50.0	31.0	153.3	103.3
22.7	50.0	41.4	106.0	56.0	0.03	50.0	41.4	155.3	105.3
22.7	50.0	51.7	129.6	79.6	0.03	50.0	51.7	158.5	108.5
硝酸鉀重(g)	原始水重(g)	加入的樟腦重(g)	後來水重(g)	多加的水重(g)	氯化銨重(g)	原始水重(g)	加入的樟腦重(g)	後來水重(g)	多加的水重(g)
22.7	50.0	0.03	103.2	53.2	20.7	50.0	0.03	149.4	99.4
22.7	50.0	0.05	105.8	55.8	20.7	50.0	0.05	152.1	102.1
22.7	50.0	0.07	107.0	57.0	20.7	50.0	0.07	154.3	104.3
22.7	50.0	0.09	108.6	58.6	20.7	50.0	0.09	156.7	106.7

(2)溶劑為酒精

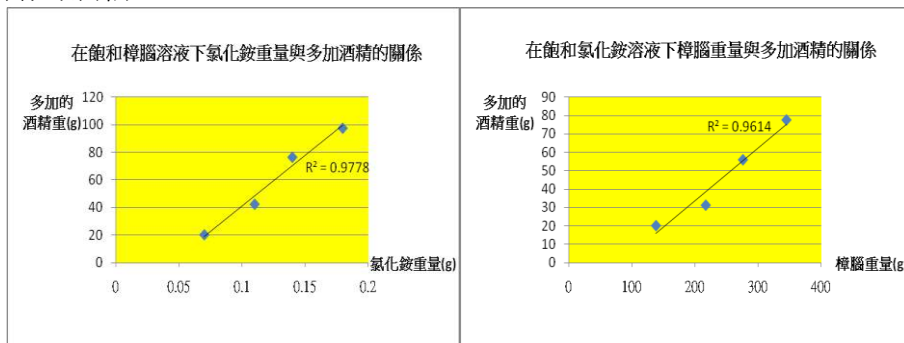
硝酸鉀重(g)	原始酒精重(g)	加入的氯化銨重(g)	後來酒精重(g)	多加的酒精重(g)	硝酸鉀重(g)	原始酒精重(g)	加入的樟腦重(g)	後來酒精重(g)	多加的酒精重(g)
少許	50.0	0.07	無限多	無限多	少許	50.0	138.1	無限多	無限多
少許	50.0	0.11	無限多	無限多	少許	50.0	217.1	無限多	無限多
少許	50.0	0.14	無限多	無限多	少許	50.0	276.2	無限多	無限多
少許	50.0	0.18	無限多	無限多	少許	50.0	345.2	無限多	無限多
氯化銨重(g)	原始酒精重(g)	加入的硝酸鉀重(g)	後來酒精重(g)	多加的酒精重(g)	氯化銨重(g)	原始酒精重(g)	加入的樟腦重(g)	後來酒精重(g)	多加的酒精重(g)
0.07	50.0	少許	無限多	無限多	0.07	50.0	138.1	70.2	20.2
0.07	50.0	少許	無限多	無限多	0.07	50.0	217.1	81.3	31.3
0.07	50.0	少許	無限多	無限多	0.07	50.0	276.2	105.9	55.9
0.07	50.0	少許	無限多	無限多	0.07	50.0	345.2	127.5	77.5
樟腦重(g)	原始酒精重(g)	加入的硝酸鉀重(g)	後來酒精重(g)	多加的酒精重(g)	樟腦重(g)	原始酒精重(g)	加入的氯化銨重(g)	後來酒精重(g)	多加的酒精重(g)
138.1	50.0	少許	無限多	無限多	138.1	50.0	0.07	70.2	20.2
138.1	50.0	少許	無限多	無限多	138.1	50.0	0.11	92.4	42.4
138.1	50.0	少許	無限多	無限多	138.1	50.0	0.14	126.6	76.6
138.1	50.0	少許	無限多	無限多	138.1	50.0	0.18	147.7	97.7

2、作圖：

(1)溶劑為水



(2)溶劑為酒精



- 【討論】** 1、以不同重量的硝酸鉀加入飽和氯化銨與飽和樟腦水溶液作圖後發現，剛開始硝酸鉀在氯化銨溶液中的溶解度比在樟腦溶液中來的大，但當硝酸鉀重量約 50g 時，在樟腦溶液中的溶解度會比在氯化銨溶液中來的大；原因為氯化銨的銨根剛開始可和水形成大量的氫鍵，但隨著硝酸鉀漸漸變多，硝酸根影響氫鍵的作用力也會漸漸變大，進而影響氯化銨與硝酸鉀溶於水的溶解度，故需加入更多的水才能溶解；但樟腦溶液則無此影響。
- 2、以不同重量的氯化銨加入飽和硝酸鉀與飽和樟腦水溶液作圖後發現，剛開始氯化銨在硝酸鉀溶液中的溶解度比在樟腦溶液中來的大，但若氯化銨重量愈來愈大時，在樟腦溶液中的溶解度會比在硝酸鉀溶液來的大；原因為硝酸根剛開始可大量和水形成氫鍵，但隨著氯化銨漸漸變多，銨根影響氫鍵的作用力也會漸漸變大，進而影響氯化銨與硝酸鉀

溶於水的溶解度，故需要加入更多的水才能溶解；但樟腦溶液則無此影響。

- 3、以不同重量的樟腦加入飽和硝酸鉀與飽和氯化銨水溶液作圖後發現，不管加入多少樟腦，在氯化銨溶液中的溶解度始終比在硝酸鉀溶液中來的小；原因為銨根和水形成的氫鍵比硝酸根來的多，所以影響水與樟腦的水合能力，導致樟腦在氯化銨溶液的溶解度較小。
- 4、由於硝酸鉀不會溶解於酒精中，故我們只作了在飽和樟腦溶液下氯化銨重量與多加的酒精重量的關係以及在飽和氯化銨溶液下樟腦重量與多加的酒精重量的關係兩張圖形。但看不出有何關係。
- 5、在了解各溶質相互影響的關係後，我們將探討三溶質溶液對溶解度的影響。

探討 2、探討三溶質溶液的溶解度。

【目的】以方法二探討三溶質溶液的溶解度。

【步驟】固定溫度為 30°C，以方法二量測需加入的溶劑量，重複 5 次並取平均。

【結果】1、數據結果：

(1)固定氯化銨與樟腦重，改變硝酸鉀重

氯化銨重(g)	樟腦重(g)	原始水重(g)	加入的硝酸鉀重(g)	後來水重(g)	多加的水重(g)
20.7	0.03	149.4	22.7	152.9	3.5
20.7	0.03	149.4	34.0	157.8	8.4
20.7	0.03	149.4	45.3	163.5	14.1
20.7	0.03	149.4	56.6	164.1	14.7

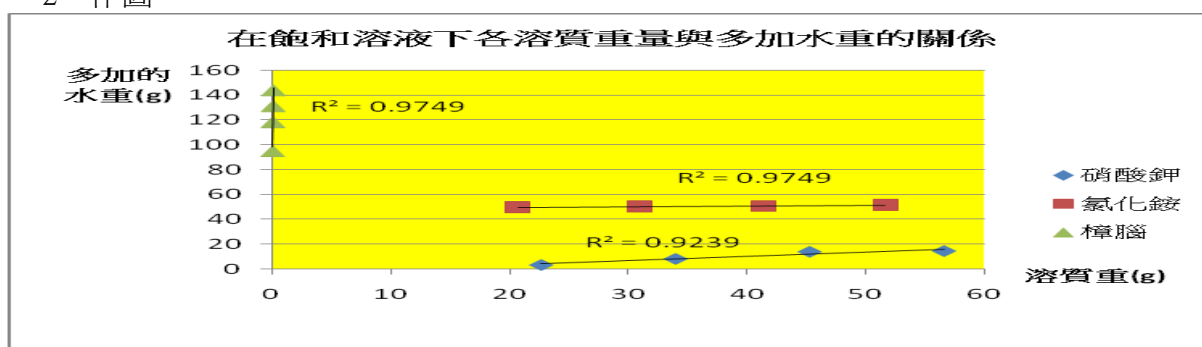
(2)固定硝酸鉀與樟腦重，改變氯化銨重

硝酸鉀重(g)	樟腦重(g)	原始水重(g)	加入的氯化銨重(g)	後來水重(g)	多加的水重(g)
22.7	0.03	103.2	20.7	152.9	49.7
22.7	0.03	103.2	31.0	153.5	50.3
22.7	0.03	103.2	41.4	153.9	50.7
22.7	0.03	103.2	51.7	154.8	51.6

(3)固定硝酸鉀與氯化銨重，改變樟腦重

硝酸鉀重(g)	氯化銨重(g)	原始水重(g)	加入的樟腦重(g)	後來水重(g)	多加的水重(g)
22.7	20.7	58.0	0.03	152.9	94.9
22.7	20.7	58.0	0.05	176.2	118.2
22.7	20.7	58.0	0.07	189.1	131.1
22.7	20.7	58.0	0.09	201.9	143.9

2、作圖：



【討論】1、作圖發現，還需加入的水重與該溶質的溶解度有關，溶解度大小為硝酸鉀 > 氯化銨 > 樟腦，故需再加入水重為硝酸鉀 < 氯化銨 < 樟腦。

- 2、由於硝酸鉀不會溶解於酒精中，故我們只作了不同重量的各溶質加入各飽和水溶液中的測試。接著我們將再加入酒精，探討三個溶質與兩個溶劑之間的關係，看看酒精是否會影響水溶液的溶解度。

研究五、測試不同溶劑對溶液溶解度的影響。

探討 1、探討酒精對三溶質水溶液的影響。

【目的】以方法二探討酒精對三溶質水溶液的影響為何？

【步驟】固定溫度為 30°C，以方法二測量需加入的溶劑量，重複 5 次並取平均。

【結果】1、數據結果：

(1)固定氯化銨與樟腦重，改變硝酸鉀重

硝酸鉀重(g)	氯化銨重(g)	樟腦重(g)	水重(g)	酒精重(g)
2.3	2.1	13.8	43.4	51.6
4.5	2.1	13.8	52.2	78.9
9.1	2.1	13.8	77	93.4
18.2	2.1	13.8	115	101.7

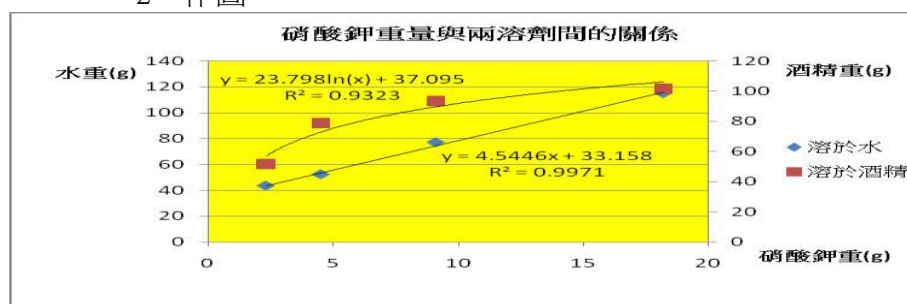
(2)固定硝酸鉀與樟腦重，改變氯化銨重

硝酸鉀重(g)	氯化銨重(g)	樟腦重(g)	水重(g)	酒精重(g)
2.3	2.1	13.8	43.4	51.6
2.3	4.1	13.8	48.4	56.7
2.3	8.2	13.8	55.2	61.5
2.3	16.5	13.8	59.8	64.1

(3)固定硝酸鉀與氯化銨重，改變樟腦重

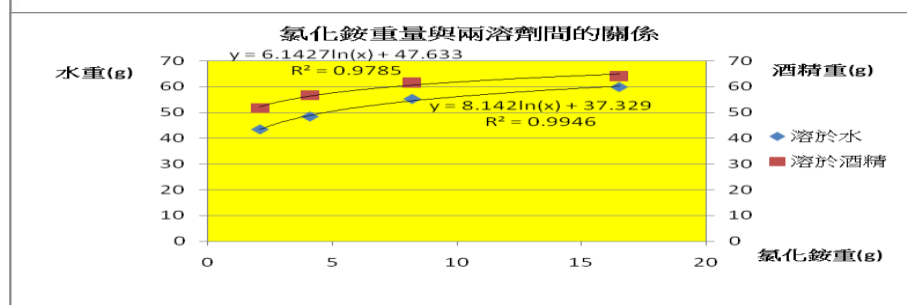
硝酸鉀重(g)	氯化銨重(g)	樟腦重(g)	水重(g)	酒精重(g)
2.3	2.1	13.8	43.4	51.6
2.3	2.1	27.6	45.1	85.0
2.3	2.1	55.2	48.2	142.8
2.3	2.1	110.5	51.7	265.0

2、作圖：



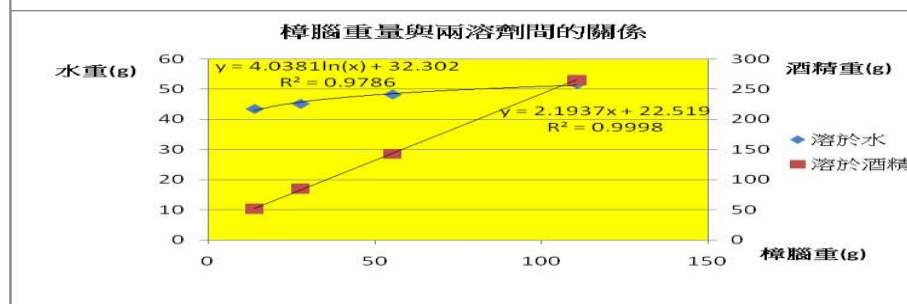
公式為 $Y = 4.5446X + 33.158$
X：硝酸鉀重(g) Y：水重(g)

公式為 $Y = 23.798\ln(X) + 37.095$
X：硝酸鉀重(g) Y：酒精重(g)



公式為 $Y = 8.142\ln(X) + 37.329$
X：氯化銨重(g) Y：水重(g)

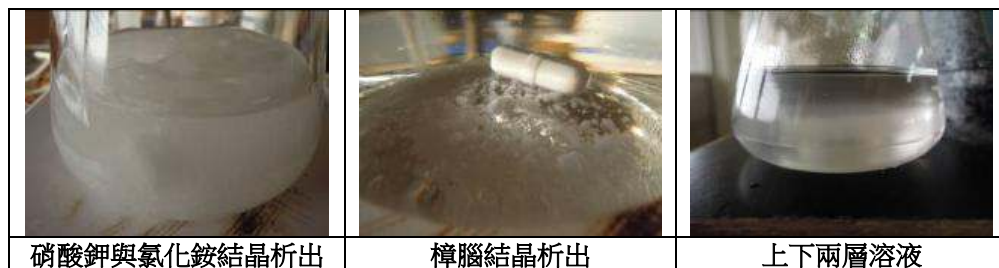
公式為 $Y = 6.1427\ln(X) + 47.633$
X：氯化銨重(g) Y：酒精重(g)



公式為 $Y = 4.0381\ln(X) + 32.302$
X：樟腦重(g) Y：水重(g)

公式為 $Y = 2.1937X + 22.519$
X：樟腦重(g) Y：酒精重(g)

【討論】1、利用方法二可同時滴入水與酒精，且實驗過程中發現有二：
一、若先加水再加酒精，在加入酒精時，已溶解的硝酸鉀與氯化銨會結晶析出，若再加入水讓硝酸鉀與氯化銨溶解，則樟腦又會再結晶析出；



硝酸鉀與氯化銨結晶析出

樟腦結晶析出

上下兩層溶液

二、若酒精量太少，會形成樟腦酒精溶液和硝酸鉀與氯化銨水溶液上下兩層同時存在的現象，故要重複加水與酒精，讓溶液沒有沉澱且沒有分層才能算實驗結束。

- 2、為何加入酒精會導致硝酸鉀與氯化銨析出？經查閱相關文獻後發現原因有二：一、酒精的介電常數比水還低，會導致溶液中的離子吸引力增加，故較易結晶析出，使得溶解度降低；二、酒精會與水形成分子間的氫鍵，導致離子無法進行有效的水合作用，因而析出結晶，使得溶解度降低。
- 3、原本想利用上述六個公式統整出一個公式來配製風暴球溶液，但配製飽和溶液的變因太過複雜，牽涉到離子與水的水合能力、離子與溶劑的氫鍵、溶劑與溶劑的氫鍵、有機物溶於有機溶劑等因素，所以只好作罷，但實驗過程總會遇到許多困難，而且經由解決問題學到的知識與得到的成就感，支持我們一步一步邁向成功，所以在討論許久之後，我們決定以方法二配製適合台灣天氣的結晶風暴球。

研究六、自製結晶風暴球。

探討 1、配製結晶風暴球溶液。




















【目的】以方法二配製飽和結晶風暴球溶液。

- 【步驟】1、固定溫度為 35°C，使用水與酒精以方法二溶解 1~19 號配方，並紀錄所需的溶劑量。
2、將溶液倒入試管中，靜置一週並觀察與拍照。

【結果】1、數據結果：

編號	硝酸鉀重(g)	氯化銨重(g)	樟腦重(g)	水重(g)	酒精重(g)	說明
1	3.0	3.0	3.0	14.5	12.4	溶質重比為 1 : 1 : 1
2	3.0	3.0	6.0	21.2	20.5	溶質重比為 1 : 1 : 2
3	3.0	3.0	12.0	27.8	26.4	溶質重比為 1 : 1 : 4
4	3.0	6.0	3.0	20.9	13.3	溶質重比為 1 : 2 : 1
5	3.0	12.0	3.0	29.7	15.1	溶質重比為 1 : 4 : 1
6	6.0	3.0	3.0	19.2	13.2	溶質重比為 2 : 1 : 1
7	12.0	3.0	3.0	27.2	14.7	溶質重比為 4 : 1 : 1
8	3.0	6.0	6.0	24.1	23.1	溶質重比為 1 : 2 : 2
9	6.0	3.0	6.0	22.8	22.1	溶質重比為 2 : 1 : 2
10	6.0	6.0	3.0	25.7	14.4	溶質重比為 2 : 2 : 1
11	3.0	12.0	12.0	32.9	39.7	溶質重比為 1 : 4 : 4
12	12.0	3.0	12.0	31.3	39.8	溶質重比為 4 : 1 : 4
13	12.0	12.0	3.0	44.9	19.2	溶質重比為 4 : 4 : 1
14	3.0	6.0	12.0	32.5	31.1	溶質重比為 1 : 2 : 4
15	3.0	12.0	6.0	30.4	26.8	溶質重比為 1 : 4 : 2
16	6.0	12.0	3.0	36.1	15.2	溶質重比為 2 : 4 : 1
17	12.0	6.0	3.0	33.3	15.0	溶質重比為 4 : 2 : 1
18	6.0	3.0	12.0	32.0	30.6	溶質重比為 2 : 1 : 4
19	12.0	3.0	6.0	28.5	25.3	溶質重比為 4 : 1 : 2

2、圖片(溫度 14.9°C，濕度 79%)

編號	1	2	3	4	5	6	7
圖片							
結晶	顆粒狀	些微羽毛狀	大片羽毛狀 厚度較薄	些微羽毛狀	雪花狀	不規則柱狀	不規則柱狀
編號	8	9	10	11	12	13	14
圖片							
結晶	小片羽毛狀	些微羽毛狀 與絲綢狀	不規則絲綢狀	小片羽毛狀 厚度較厚	些微羽毛狀 與大片不規則絲綢狀	些微羽毛狀	大片羽毛狀 厚度較厚
編號	15	16	17	18	19		
圖片							
結晶	小片羽毛狀	些微不規則 羽毛狀	小片不規則 絲綢狀	中等羽毛狀 厚度較薄	小片不規則 絲綢狀		

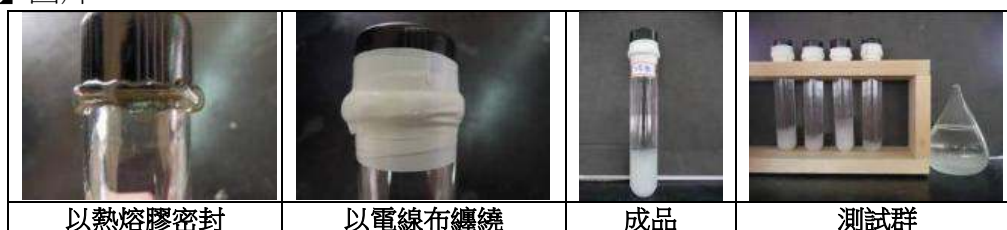
- 【討論】** 1、結果如同研究二，樟腦與氯化銨扮演著羽毛狀結晶的角色，但氯化銨比例愈高晶形會愈不像羽毛狀，所以比例不可太高；硝酸鉀扮演羽毛間結晶核的角色，可加大結晶面積，但會干擾羽毛裡的氯化銨與樟腦結晶，所以比例也不可太高。
- 2、故我們挑選三支晶形與市售風暴球較接近的配方，也就是編號 3 號、14 號與 18 號製作自製結晶風暴球。

探討 2、自製結晶風暴球。

【目的】 配製文獻、編號 3、編號 14 與編號 18 等 4 支結晶風暴球。

- 【步驟】** 1、以文獻資料(RO 水 33g、酒精 31.6g、硝酸鉀 2.5g、氯化銨 2.5g 與樟腦 10g)與探討 1 的 3 號、14 號與 18 號配方配製 4 支結晶風暴球。
- 2、將溶液 40mL 倒至試管，再以熱熔膠與電線布黏牢，並靜置一週。

【結果】 圖片



- 【討論】** 1、以熱熔膠與電線布黏牢是為避免溶液蒸發與空氣進出影響溶解度，進而影響實驗結果。
- 2、接著，我們將對測試群進行測試，探討何種因素會影響風暴球的結晶。

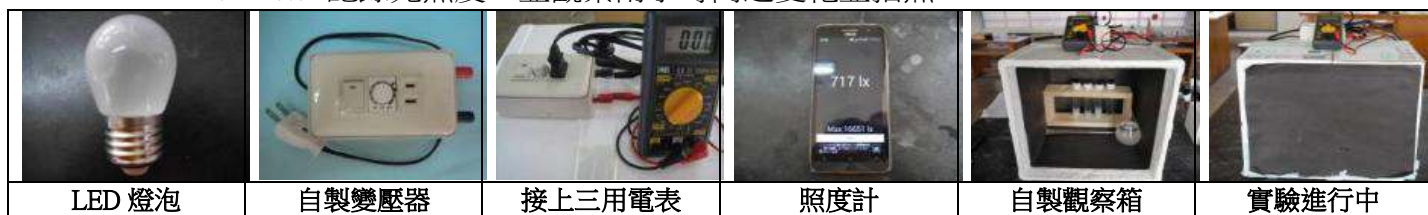
研究七、探討影響結晶風暴球結晶的因素。

探討 1、不同的光照度對晶量與晶形有影響嗎？

【目的】以自製觀察箱改變光的照度，測試光照度對晶量與晶形是否會有影響。

【步驟】1、利用 LED 燈泡、自製變壓器、三用電表與保麗龍箱製成自製觀察箱。

2、將測試群放入自製觀察箱中，然後改變光源電壓為 65、70 與 75 V，利用手機 app 程式 LuxMeter 記錄光照度，並觀察兩小時內之變化並拍照。



【結果】圖片(溫度 23.3°C 左右，濕度 65% 左右)

電壓(V)	照度(lx)	市售風暴球	文獻	編號 3	編號 14	編號 18
0	0					
65	9					
70	9					
75	11					

【討論】1、自製變壓器、可調式 LED 燈泡、三用電表與 LuxMeter 軟體可有效地控制與測量光照度；為避免溫度改變所造成的誤差，我們使用保麗龍箱、低照度測試與低熱度 LED 燈泡。

2、光照度愈高，光粒子數就愈多，但晶量與晶形沒有改變，所以光照度(光量子效應)對風暴球的晶量與晶形沒有影響。

探討 2、不同顏色的光對晶量與晶形有影響嗎？

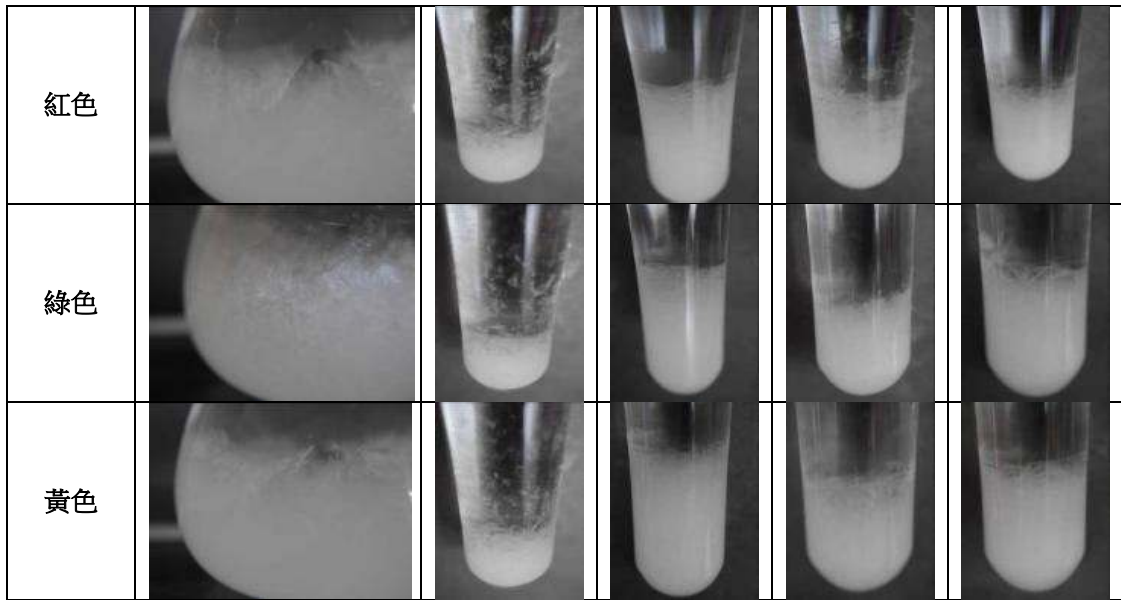
【目的】以玻璃紙改變光的顏色，測試不同色光對晶量與晶形是否會有影響。

【步驟】1、以紅、綠與黃色的玻璃紙包覆在 LED 燈上，並將光源電壓調製 65V。

2、將測試群放入自製觀察箱中，觀察兩小時內之變化並拍照。

【結果】圖片(溫度 22.3°C 左右，濕度 64% 左右)

顏色	市售風暴球	文獻	編號 3	編號 14	編號 18
白色					



【討論】 藉由有色玻璃紙可改變 LED 光源的顏色，但改變光源顏色，晶量不變且晶形依舊維持些微的絲綢狀與羽毛狀，故不同色光(光的頻率)對風暴球的晶量與晶形沒有影響。








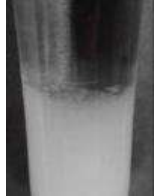












探討 3、不同聲波頻率對晶量與晶形有影響嗎？

【目的】 改變聲波頻率，測試不同的聲波頻率對晶量與晶形是否會有影響。

【步驟】 利用 VB_Generator_standalone 軟體搭配耳機，固定增益值為 0db、位置為中間，改變聲波頻率為 100、1000 與 10kHz，觀察兩小時內之變化並拍照。



【結果】 圖片(溫度 23.5°C 左右，濕度 73% 左右)

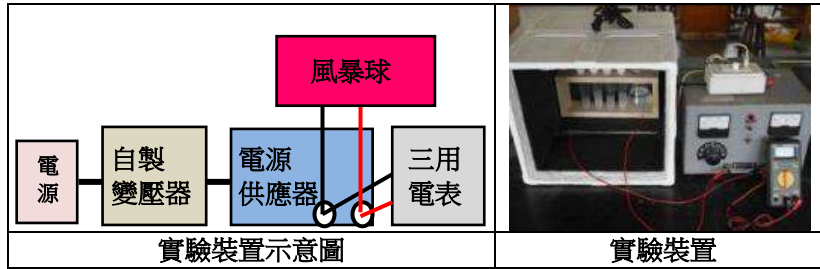
聲波頻率(Hz)	市售風暴球	文獻	編號 3	編號 14	編號 18
0					
100					
1000					
10k					

【討論】改變聲波頻率，晶量不變且晶形維持些微的羽毛狀與絲綢狀，故聲波頻率(瞬間氣壓變化)對風暴球的晶量與晶形沒有影響。

探討 4、不同的電流對晶量與晶形有影響嗎？

【目的】改變電源的電流，測試電流對晶量與晶形是否會有影響。

【步驟】以自製變壓器、三用電表、電源供應器與電源線接上測試群，改變電流為 0.5、1.0 與 1.5A，觀察兩小時內之變化並拍照。



【結果】圖片(溫度 19.8°C，濕度 63%)

電流(A)	市售風暴球	文獻	編號 3	編號 14	編號 18
0					
0.5					
1.0					
1.5					

【討論】1、為避免短路，我們利用電源供應器將交流電轉換成直流電，但由於學校的電源供應器無法微調，所以我們將電源供應器接上自製變壓器進行微調，且為避免電流熱效應產生的熱來影響風暴球的結晶，我們選用較粗的 1mm 鋁製線圈。

2、改變電流大小，晶量不變且晶形維持些微的羽毛狀與絲綢狀，故電流大小(電流作用或電磁波)對風暴球的晶量與晶形沒有影響。

探討 5、不同的接觸材質對晶量與晶形有影響嗎？

【目的】測試接觸材質對晶量與晶形是否會有影響。

【步驟】在測試群試管內黏上尼龍網與不鏽鋼網，倒入溶液靜置一週後，觀察其變化並拍照。

【結果】圖片(溫度 22.4°C，濕度 65%)



黏上不同材質

材質	文獻	編號 3	編號 14	編號 18
無				
尼龍網				
不鏽鋼網				

- 【討論】** 1、以晶量來看，有網子比沒有網子還多，原因在於，**溶液易在網上的結晶(結晶核)旁來結晶，導致結晶範圍較廣，看起來當然有著更多的晶量。**
- 2、以晶形來看，有網子比沒有網子有著更大片的羽毛狀結晶，原因在於，**結晶範圍變大，其會有更大的空間形成羽毛狀晶形，而不像在試管底部結晶那樣。**
- 3、所以，**若風暴球已結晶，接觸材質會影響結晶核的分布，而影響風暴球的晶量與晶形；若風暴球未結晶，接觸材質對其完全沒有影響。**

探討 6、不同的溫度對晶量與晶形有影響嗎？

【目的】 以防潮恆溫箱改變溫度，測試溫度對晶量與晶形是否會有影響。

【步驟】 將測試群放入防潮恆溫箱中，固定濕度為 70%，改變溫度為 22、18 與 14°C，觀察兩小時內之變化並拍照。

【結果】 圖片



溫度(°C)	市售風暴球	文獻	編號 3	編號 14	編號 18
22					
18					
14					











- 【討論】** 1、此防潮恆溫箱的溫度控制並不靈敏，故我們將冷劑放在上層，測試群放在下層，利用對流的方式緩慢降溫，與目標溫度差距不超過 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。
- 2、溫度愈低，晶量愈多，且羽毛狀與絲綢狀的晶形逐漸增加與變大，故**溫度對風暴球的晶量與晶形有較明顯的影響。**

探討 7、溫度下降速率對晶量與晶形有影響嗎？

【目的】 以降低溫度法測試降溫速率對晶量與晶形是否會有影響。

【步驟】以降低溫度法觀察結晶之變化並拍照。

【結果】圖片(冷劑溫度為-5.0°C)

速率	市售風暴球	文獻	編號 3	編號 14	編號 18
慢					
快					

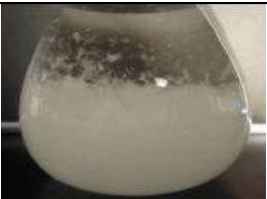









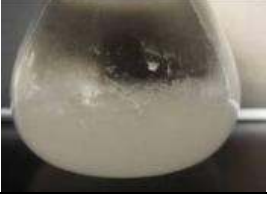




【討論】當測試群泡入冷劑時，溶解度下降，結晶便開始析出，析出過程和影片中下雪狀態的結晶變化一模一樣，晶形均屬於雪花狀，原因在於，溫度下降太快，溶液沒有足夠的時間形成羽毛狀晶形，故溫度下降速率對風暴球的晶形有很明顯的影響。

探討 8、不同的濕度對晶量與晶形有影響嗎？

【目的】以防潮恆溫箱改變濕度，測試濕度對晶量與晶形是否會有影響。

【步驟】固定溫度為 20°C，改變濕度為 65、70 與 75%，觀察兩小時內之變化並拍照。

【結果】圖片

濕度(%)	市售風暴球	文獻	編號 3	編號 14	編號 18
65					
70					
75					





【討論】以防潮恆溫箱控制濕度，差距不超過±1%，然而，濕度改變，晶量不變且晶形依舊維持羽毛狀與絲綢狀的晶形，故濕度對風暴球的晶量與晶形沒有影響。









探討 9、溶解次數對晶量與晶形有影響嗎？

【目的】讓測試群重複沉澱與溶解，測試溶解次數對結晶時間、晶量與晶形是否會有影響。

【步驟】分別把測試群重複放入 50°C 的熱水與 0°C 的冷水 20 次與 40 次，然後再放入 20°C 左右的防潮恆溫箱中，觀察結晶變化並拍照。

【結果】圖片與數據

溶解次數(次)		文獻	編號 3	編號 14	編號 18
0	圖片				

	開始結晶時間	1 時	50 分	45 分	50 分
	晶量	4/13	8/13	8/13	8/13
20	圖片				
	開始結晶時間	1 時 30 分	1 時 15 分	1 時 5 分	1 時 20 分
	晶量	3/13	6/13	6/13	6/13
40	圖片				
	開始結晶時間	2 時 5 分	1 時 40 分	1 時 30 分	1 時 40 分
	晶量	2/13	5/13	5/13	5/13

- 【討論】** 1、溶解次數愈多，開始結晶的時間就愈多，晶量與晶形就會愈小，故溶解次數對風暴球的結晶時間、晶量與晶形有很明顯的影響。
- 2、實驗至此後發現，風暴球的結晶變化和光照度、光顏色、聲波頻率、電流、接觸材質與濕度無關，也沒有預測之後天氣的功能，而且風暴球為密封狀態，空氣分子無法穿透，故與氣壓也無關係，所以結晶變化只和溫度、溫度下降速率與溶解次數有關。再來，為增加風暴球的趣味性與視覺效果，我們打算製作「變色」風暴球。








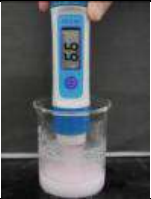
研究八、變色結晶風暴球的製作。

探討 1、結晶變化時的 pH 值會改變嗎？

【目的】 以 pH 計測試結晶前後的 pH 值變化。

【步驟】 分別將測試群放入 40°C 的熱水與 -5°C 冷劑中，觀察其 pH 值並拍照。

【結果】 圖片

狀態	文獻	編號 3	編號 14	編號 18
沒結晶				
pH 值	5.9	5.5	5.2	6.0
有結晶				
pH 值	6.5	6.6	6.3	6.6

- 【討論】** 1、風暴球成份為 RO 水、酒精、樟腦、硝酸鉀與氯化銨，只有氯化銨為酸性(1%水溶液，25°C，pH 值為 5.5)，其餘皆為中性，故我們推測，溶液的晶量愈少，氯化銨晶體也會愈少，氯化銨的解離量就會愈多，故溶液的 pH 值就會愈小，反之則相反。
- 2、果不其然，實驗結果就如同我們的推測，且氯化銨含量愈多的溶液也會愈酸(編號 14)，整體測試群的 pH 範圍約在 5.2~6.6 之間，故我們打算加入適合此變色範圍的酸鹼指示劑，測試結晶變化時的顏色是否也會跟著改變。

探討 2、自製變色結晶風暴球。

【目的】以酸鹼指示劑配製變色結晶風暴球。

【步驟】分別在測試群滴入 3 滴甲基紅指示劑與廣用指示劑，觀察其 pH 值與變化並拍照。

【結果】溫度 25.5°C，濕度 65%

	文獻		編號 3		編號 14		編號 18	
	甲基紅	廣用	甲基紅	廣用	甲基紅	廣用	甲基紅	廣用
圖片								
顏色	淡粉紅	淺綠	粉紅	淺綠	深粉紅	淺綠	淡粉紅	淡綠
pH 值	5.3	6.3	5.0	6.0	4.7	5.7	5.4	6.4

【討論】1、**甲基紅指示劑**變色範圍為 pH4.4(紅色)~pH6.2(黃色)，**廣用指示劑**變色範圍為 pH5(橙色)~pH7(綠色)，所以我們選用甲基紅指示劑與廣用指示劑。

2、實驗結果發現，甲基紅測試群顏色較紅的為編號 14，顏色較淺的為編號 18；廣用測試群顏色較綠的為編號 18，顏色較淺的為編號 14，所以，**變色風暴球顯現的顏色皆與其 pH 值有關**。

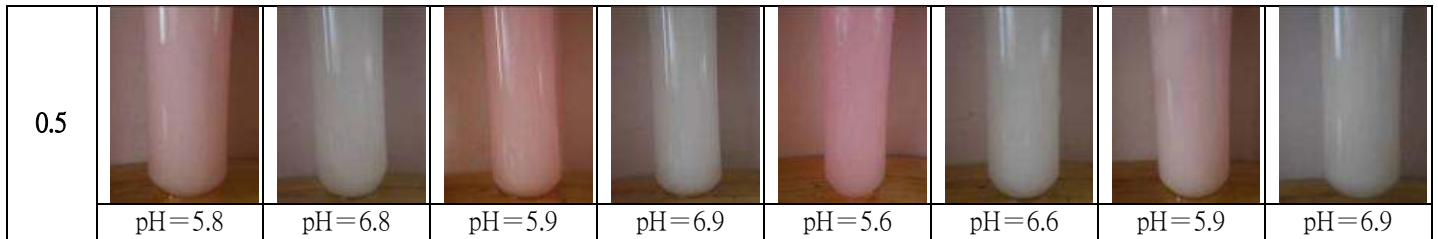
探討 3、變色結晶風暴球的測試。

【目的】測試溫度對變色風暴球的 pH 值、晶量、晶形與顏色是否會有影響。

【步驟】將變色風暴球測試群放入約 40、30、20、10 與 0°C 的水中，觀察其變化並拍照。

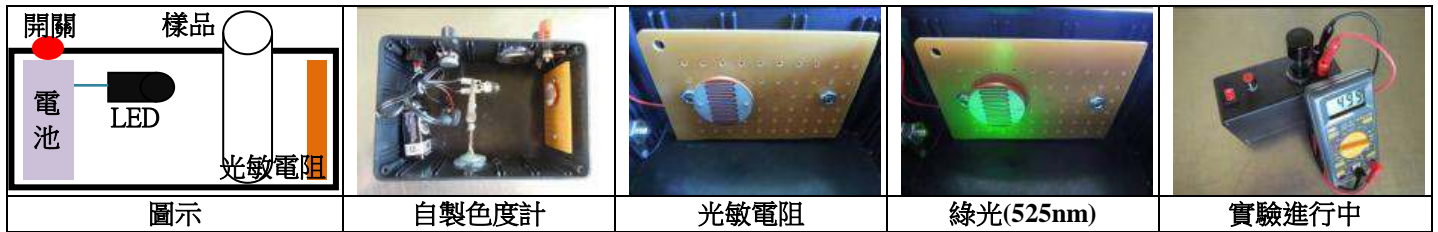
【結果】圖片

溫度 (°C)	文獻		編號 3		編號 14		編號 18	
	甲基紅	廣用	甲基紅	廣用	甲基紅	廣用	甲基紅	廣用
39.8								
	pH=5.2	pH=6.2	pH=4.8	pH=5.8	pH=4.5	pH=5.5	pH=5.3	pH=6.3
30.1								
	pH=5.3	pH=6.3	pH=4.9	pH=5.9	pH=4.6	pH=5.6	pH=5.4	pH=6.4
20.2								
	pH=5.4	pH=6.4	pH=5.1	pH=6.1	pH=4.8	pH=5.8	pH=5.5	pH=6.5
9.9								
	pH=5.6	pH=6.6	pH=5.4	pH=6.4	pH=5.1	pH=6.1	pH=5.7	pH=6.7



【討論】1、實驗結果顯示，溫度愈低，晶量愈多，pH 值就愈大，所以顏色就愈接近粉紅色與綠色；溫度愈高，晶量愈少，pH 值就愈小，所以顏色就愈接近紅色與橙色；而且，變色風暴球有無結晶的 pH 值均與探討 1 不同，原因為甲基紅指示劑的 pH 值為 3.3，會讓風暴球變得更酸，廣用指示劑的 pH 值為 7.8，會讓風暴球變得更鹼。

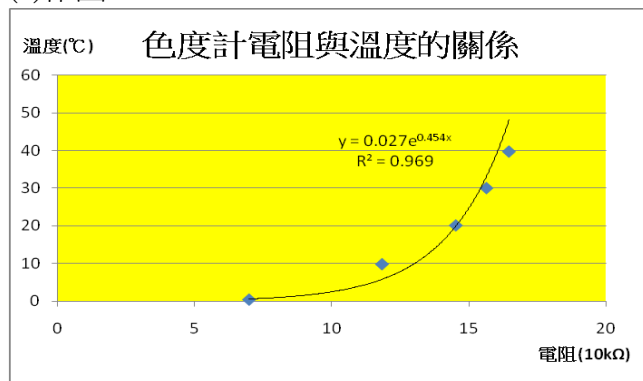
2、再來，我們以自製色度計對變色較明顯的 14 號甲基紅變色風暴球進行測試並作圖：



(1)數據結果：

溫度(°C)	39.8	30.1	20.2	9.9	0.5
電阻(10kΩ)	16.47	15.65	14.53	11.83	6.97

(2)作圖：



(3)討論：

a、我們以紅色的互補色光綠光來照射風暴球，所以，溫度愈高，風暴球愈接近紅色，吸收的綠光就愈多，導致穿透的綠光愈少，射至光敏電阻的光愈弱，故電阻愈大。

b、電阻與溫度的換算公式為： $Y = 0.027e^{0.454X}$ Y：溫度(°C) X：電阻(10 kΩ)。

c、從換算公式可看出兩點：

(a)當溫度逐漸升高時，初始的電阻增加較多，表示其 pH 值的變化較大，原因為風暴球內的氯化銨會先溶解與解離所導致，此結果均與上述的 pH 值測試雷同。

(b)我們可藉由風暴球的電阻測量結果來代入公式，推算出當時的溫度，以當作一簡易的溫度計，趣味性十足。

3、最後，我們將進行自製 14 號變色風暴球的逐日觀察，觀察其晶形、晶量與顏色和天氣變化之關係。

研究九、結晶風暴球的逐日觀察。

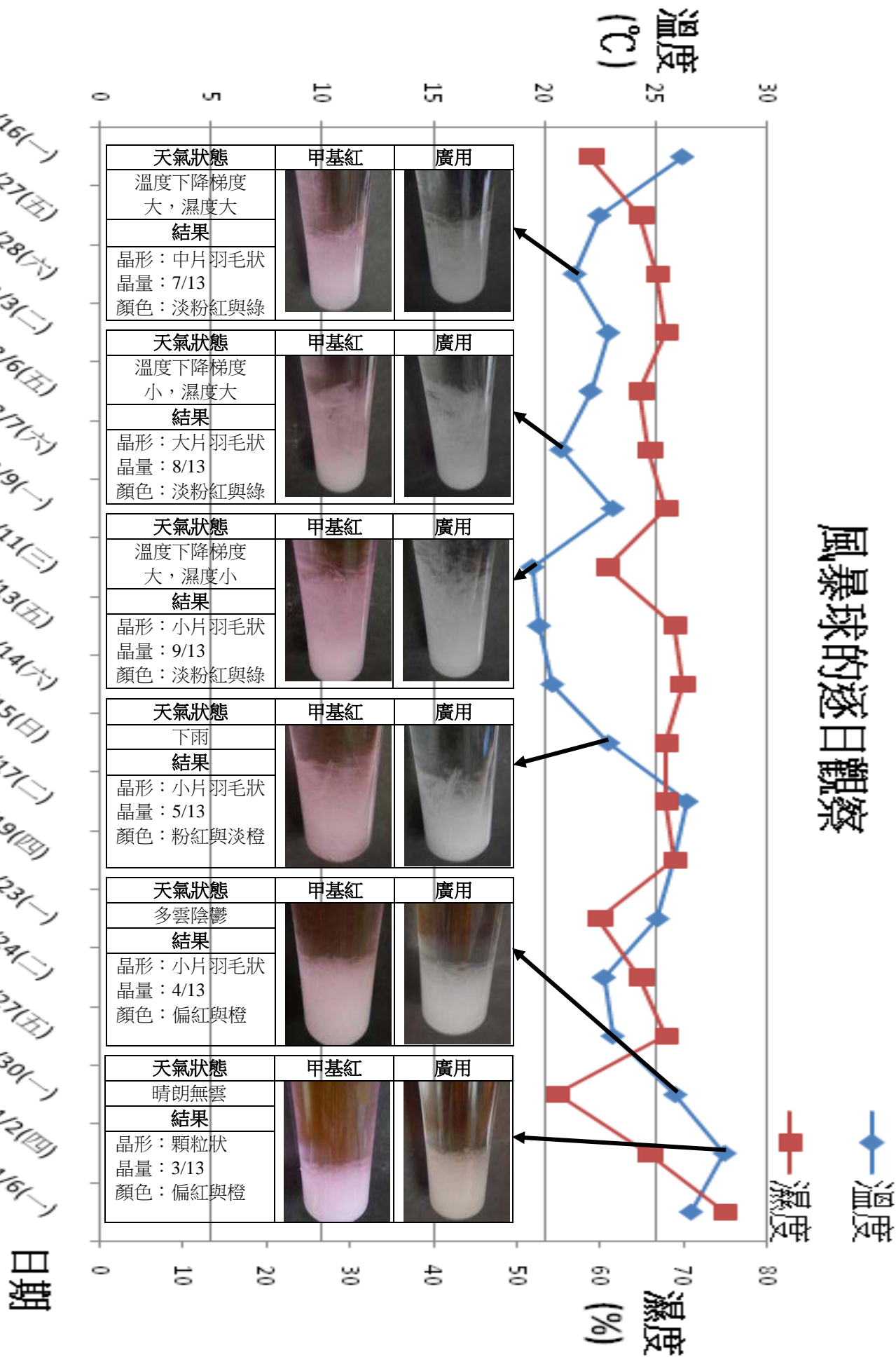
探討 1、不同的天氣狀態對晶量與晶形影響為何？

【目的】測試變色風暴球在不同天氣狀態下結晶的晶量與晶形。

【步驟】觀察變色風暴球逐日的結晶變化並記錄與拍照。

【結果】圖片

風暴球的逐日觀察



- 【討論】** 1、為探討自製變色結晶風暴球與天氣變化之關係，我們拍攝風暴球從 2/10(二)至 6/9(二)每日中午的結晶與顏色變化並記錄當時的天氣狀況，主要發現如下：
- (1)晴朗無雲：此時的溫度較高，所以晶量較少，顏色較偏向紅色與橙色，晶形為小片絲綢狀，但還是與當時的溫度有關。
 - (2)多雲陰鬱：溫度大多比晴朗無雲還低，所以晶量比晴朗無雲稍多，紅色與橙色變淡，晶形為小片絲綢狀，但還是與當時的溫度有關。
 - (3)下雨：溫度大多比多雲陰鬱還低，所以晶量比多雲陰鬱稍多，紅色與橙色更淡，小片羽毛狀晶形較多，但還是與當時的溫度有關。
 - (4)溫度開始下降：羽毛狀晶形漸增，顏色開始偏向粉紅色與綠色，絲綢狀晶形漸減，且晶量漸增。
 - (5)溫度下降許久：大片羽毛狀晶形較多，顏色更偏向粉紅色與綠色，且晶量最多。
 - (6)溫度回暖：大片羽毛狀晶形漸減，顏色開始偏向紅色與橙色，絲綢狀晶形漸增，且晶量漸減。
- 2、從上述的觀察發現，**羽毛狀晶形大小與溫度下降梯度和空氣濕度有很大的關係**，例如：溫度下降梯度愈小，也就是溫度下降較慢，溶液就有足夠的時間結晶，羽毛狀晶形就會較大；空氣濕度愈大，比熱就愈大，溫度就較難改變，羽毛狀晶形也會較大，所以，雖然**風暴球無法「預測」之後的天氣，但是可以「推測」之前的天氣變化**。
- 3、網站上販賣的風暴球一個大約 3000 元，大約 26°C 就已無結晶，而我們自製的變色風暴球每支成本大約 50 元，且到了 35°C 都還有明顯的結晶，**是一個成本低廉、顏色可隨天氣改變與適合台灣天氣的風暴球，若再搭配自製色度計，其又可當作簡易的溫度計，趣味性與實用性十足**。
- 4、本次科展雖未用到艱深的理論與昂貴的儀器，但我們充分發揮科學精神，利用生活中唾手可得的物品逐步解決問題，相當符合科展製作的宗旨，也是我們覺得做科展最好玩與最有成就感的地方。

伍、結論

- 1、市售風暴球會因為位置不同而有不同的羽毛狀晶形與晶量，而我們覺得溫度是最可能導致此變化的因素，因為溫度愈低，溶解度愈低，所以結晶量愈多。接著，我們發現風暴球成份為 RO 水 33g、酒精 31.6g、硝酸鉀 2.5g、氯化銨 2.5g 與樟腦 10g，但是，**何種成份構成雪花狀或羽毛狀結晶？溶液配置過程牽涉到何種化學原理？何種因素會影響結晶？該比例的風暴球適合台灣的天氣嗎？**所以，我們決定自製風暴球，然後再進行結晶測試。
- 2、利用方法一、方法二和方法三蒸發與觀察七種自製溶液，結果顯示，方法一可進行肉眼觀察，方法二與三可進行微觀觀察，但都具有缺點，故我們改良方法一、二與三，以自製微量滴管進行微觀觀察，降低溫度法進行肉眼觀察，且把羽毛狀結晶以自製過濾裝置過濾，然後送至**成大照坤儀器中心進行低掠角薄膜 X 光繞射檢測**，結果發現，**樟腦與氯化銨扮演著羽毛狀結晶的角色，則硝酸鉀雖會干擾「羽毛裡」的氯化銨與樟腦結晶，但扮演「羽毛間」結晶核的角色，故以硝酸鉀＋氯化銨與樟腦溶液的羽毛狀結晶最為清楚明顯**。且靜置天數對純溶液的晶形影響不大，但對混合溶液的晶形與面積影響頗大，**需靜置五天左右才可觀察到完整的結晶**。
- 3、接著，為自製風暴球，我們利用溶質加入溶劑的方法一、自製滴定裝置的方法二與烤箱乾燥法和乾燥箱乾燥法測量氯化銨、硝酸鉀和樟腦的溶解度，結果發現，方法一誤差頗大，烤箱乾燥法無法求得氯化銨與樟腦的溶解度，乾燥箱乾燥法無法求得樟腦的溶解度，故以**自製滴定裝置的方法二求得的數據最為準確，大部份的數據皆與文獻值相同**。
- 4、進行多溶質溶液的測試後發現，**氫鍵的作用力會影響其溶解度，導致不同重量的硝酸鉀和氯化銨加入氯化銨與硝酸鉀溶液時的溶解度，剛開始都比加入樟腦溶液來的大，但隨著加入的量愈來愈多時，在樟腦溶液中的溶解度會比在氯化銨和硝酸鉀溶液中來的大；而不同重量的樟腦加入硝酸鉀與氯化銨水溶液時，不管加入多少樟腦，在氯化銨溶液中的溶解度始終比在硝酸鉀溶液中還小**。

- 5、在進行酒精加入水溶液的實驗後發現，加入酒精時，已溶解的硝酸鉀與氯化銨會結晶析出，若再加入水讓硝酸鉀與氯化銨溶解，樟腦又會結晶析出；且酒精太少會導致溶液上下分層，故要不斷加水 and 酒精才行，原因有二，一為酒精的介電常數比水低，溶液中的離子吸引力較大，導致結晶析出，使得溶解度降低。二為酒精會與水形成分子間的氫鍵，導致離子無法進行有效的水合作用，因而析出結晶，使得溶解度降低。
- 6、由於以公式配製風暴球飽和溶液的方法太過複雜，故我們以自製滴定裝置的方法二配製了 19 支自製風暴球，再從測試結果挑選編號 3 號(硝酸鉀、氯化銨與樟腦溶質重比為 1：1：4)、14 號(重量比為 1：2：4)、18 號(重量比為 2：1：4)與文獻，然後製成風暴球測試群。
- 7、探討影響風暴球結晶的因素後發現，光照度、光顏色、聲波頻率、電流、接觸材質與濕度對風暴球的晶量與晶形沒有影響，也沒有預測之後天氣功能，且風暴球為密封狀態，空氣分子無法穿透，故與氣壓也無關係，所以結晶變化只和溫度、溫度下降速率與溶解次數有關，當溫度緩慢下降，晶形偏向羽毛狀，若溫度快速下降(泡入冷劑)，晶形偏向雪花狀，原因為溫度下降太快，溶液沒有足夠的時間形成羽毛狀晶形。
- 8、我們再以甲基紅指示劑與廣用指示劑自製以及觀察會變色的結晶風暴球，實驗結果發現，溫度愈低，結晶愈多，溶液的 pH 值就愈高，顏色就愈接近粉紅色與綠色；溫度愈高，結晶愈少，溶液的 pH 值就愈低，顏色就愈接近紅色與橙色。再來，我們以自製色度計對變色較明顯的 14 號甲基紅變色風暴球進行測試，結果發現，電阻與溫度的換算公式為： $Y=0.027e^{0.454X}$ (Y：溫度(°C) X：電阻(10 kΩ))，且當溫度逐漸升高時，初始的電阻增加較多，原因為風暴球內的氯化銨會先溶解與解離所導致。
- 9、最後，藉由自製變色風暴球的逐日觀察，我們發現：晴朗無雲的溫度較高，晶量較少，顏色較偏向紅色與橙色，晶形為小片絲綢狀；多雲陰鬱的溫度大多比晴朗無雲還低，晶量比晴朗無雲稍多，紅色與橙色變淡，晶形為小片絲綢狀；下雨的溫度大多比多雲陰鬱還低，所以晶量比多雲陰鬱稍多，紅色與橙色更淡，小片羽毛狀晶形較多；溫度開始下降，羽毛狀晶形漸增，顏色開始偏向粉紅色與綠色，絲綢狀晶形漸減，且晶量漸增；溫度下降許久，大片羽毛狀晶形較多，顏色更偏向粉紅色與綠色，且晶量最多；溫度回暖，大片羽毛狀晶形漸減，顏色開始偏向紅色與橙色，絲綢狀晶形漸增，且晶量漸減。所以，雖然風暴球無法「預測」之後的天氣，但是可以「推測」之前的天氣變化，且我們的自製風暴球有成本低廉、顏色可隨天氣改變與適合台灣天氣等特點，若再搭配自製色度計，又可當作一簡易的溫度計，趣味性與實用性十足。

陸、參考資料

- 1、南一書局主編(民 103)。自然與生活科技第三冊。(46~52 頁)。台南市：南一書局。
- 2、邱瀚霆、黃柏榮、鄭柏中(民 91)。利用低介電常數溶劑來培養晶體。中華民國第四十二屆中小學科學展覽會高中組化學科。
- 3、熊若含、蕭宇珊(民 98)。「晶」益求精-探討不同聲波、溫度、濃度、離子等對其影響。中華民國第四十九屆中小學科學展覽會國中組化學科。
- 4、葉宗儒、蔡耀璿(民 100)。水滴中的「晶」靈。第五十一屆中小學科學展覽會國中組化學科。
- 5、盧裕欣、張哲維、廖思評、吳孟霖(民 95)。食鹽結晶的 X 檔案。第四十四屆中小學科學展覽會國中組理化科。
- 6、郭晉、郭建德、劉峻豪。以食鹽、砂糖探討多溶質溶液之溶解度。中學生網站。
取自：<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2010/11/2010111511580813.pdf>
- 7、大人の天氣預報/北國結晶風暴球。賽先生科學玩具購物網。取自：
http://www.mr-sai.com/web/product.php?id=JPY120590&mc_id=6&member=af000047725
- 8、Storm glass。Wikipedia。取自：http://en.wikipedia.org/wiki/Storm_glass?member=af000047725
- 9、天氣瓶。Wikipedia。取自：<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%A4%A9%E6%B0%A3%E7%93%B6>

【評語】 030207

此作品係全國 54 屆作品的延伸，研究精神可嘉。加入指示劑自製”變色”結晶風暴球是本作品創新部份，若能從溫度下降的速率上和晶形美觀和晶量的高度上再加以研究或樟腦濃度的影響，成果將更好。