

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

探究精神獎

080118

「泡」「冰」就位

— 探討冰塊中氣泡變化與水的關係

學校名稱：新北市私立育才國民小學

作者：	指導老師：
小五 吳庚祖	劉燕妮
小五 邱敬愷	黃麗蓉
小五 梁淮鉸	
小五 陸竑甫	
小五 張城竣	
小五 謝瑀家	

關鍵詞：冰塊、氣泡變化

摘要

本研究探討影響冰塊中氣泡變化的因素，探究溫度、時間及水質三項因素，對冰塊顏色、氣泡大小、氣泡位置及氣泡多寡的影響，實驗結果發現：一、冰入時的水溫越高，冰塊氣泡越少。二、水的結冰時間越久，冰塊氣泡越小。三、經過急速冷凍的水，冰塊皆呈現乳白色，氣泡散布整個冰塊。四、以經過處理過的水為實驗水種，水的 TDS 值越高，冰塊中氣泡越多。

壹、研究動機

一、動機說明

三年級的時候學過水的三態變化，並在同學介紹下看了「搞怪 WHY 博士？」這本書，書中介紹如何製造沒有氣泡的冰塊，於是上網查透明冰資料，回家觀察家用冰箱所製作的冰塊，發現冰塊內會有一些白色氣泡，由於我們很好奇這些氣泡的成因，想了解製冰過程中，冰塊中的氣泡變化是否與水溫、水量、裝水的容器或是結冰的時間長短等因素有關？希望透過觀察冰塊中氣泡的變化，也能了解氣泡與冰塊衛生的關係，進而形成簡易檢測冰塊衛生的參考。

二、相關教學單元

三年級自然與生活科技(翰林版)第二單元水的變化。

貳、研究目的與探討

本研究探討影響冰塊中氣泡變化的因素，探究溫度、時間及水質三項因素，對冰塊顏色、氣泡大小、氣泡位置及氣泡多寡的影響。探討內容如下：



- 一、探討不同水溫的水是否對冰塊與氣泡有所影響？
- 二、探討不同材質裝盛容器是否對冰塊與氣泡有所影響？
- 三、探討急速冷凍與一般冷凍的冰塊是否有不同的冰塊及氣泡樣貌？
- 四、探討不同水量的水是否因結冰時間不同而有不同的冰塊及氣泡樣貌？
- 五、探討水的種類不同，是否因水質對冰塊與氣泡有所影響？
- 六、探討不同 TDS 值的混合液，是否因水質不同對冰塊與氣泡有所影響？

參、研究設備及器材











一、研究材料：

自來水、逆滲透水、礦泉水、過濾水、雨水、蒸餾水。

二、實驗實作設備：

				
家用冰箱	急速冷凍冰箱	寶特瓶	鋼杯	紙杯

三、記錄測量工具

			
冰箱專用溫度計	一般溫度計	電子溫度計 (探針式)	
			
TDS 棒 (水質檢測儀)	量筒	量杯	自製九宮格
			
手機微焦鏡頭	手機(拍照)	相機	

肆、研究過程或方法

一、文獻探討

日常生活裡會接觸不同水的種類，如礦泉水、純水、電解水等，想瞭解水質對冰塊氣泡的影響，在老師建議下，使用 TDS 初步檢測水質，因此，我們要先認識 TDS 等相關知識：

- (一) TDS 值：TDS (Total Dissolved Solids)：是指溶解性固體總量，測量單位為 ppm 或毫克/升 (mg/L)。TDS 值越高，表示水中含有的雜質越多，水中全部溶質的總量包括無機物和有機物兩者的含量。本研究使用 ppm 為測量單位。
- (二) 溶質：溶液中被溶劑溶解的物質。溶質可以是固體（如鹽或糖）、液體（如酒精）或氣體（如碳酸飲料中的二氧化碳）。其實在溶液中，溶質和溶劑只是一組相對的概念，相對較多的那種物質稱為溶劑，而相對較少的物質稱為溶質。
- (三) TDS 值與水質的關係：TDS 筆的原理是利用電極檢測水的導電性來判斷水的純度，水因為有這些可溶解水的雜質，讓水產生導電性，導電性越好，TDS 值越高，表示水中的雜質越多，水的純度越低；反之，TDS 值越低，水質則越純。但 TDS 筆只能監測水中的可導電物質，不能檢測細菌、病毒、微生物等物質，所以 TDS 數值僅作為參考，不能作為水質唯一檢驗標準。

二、實驗方法

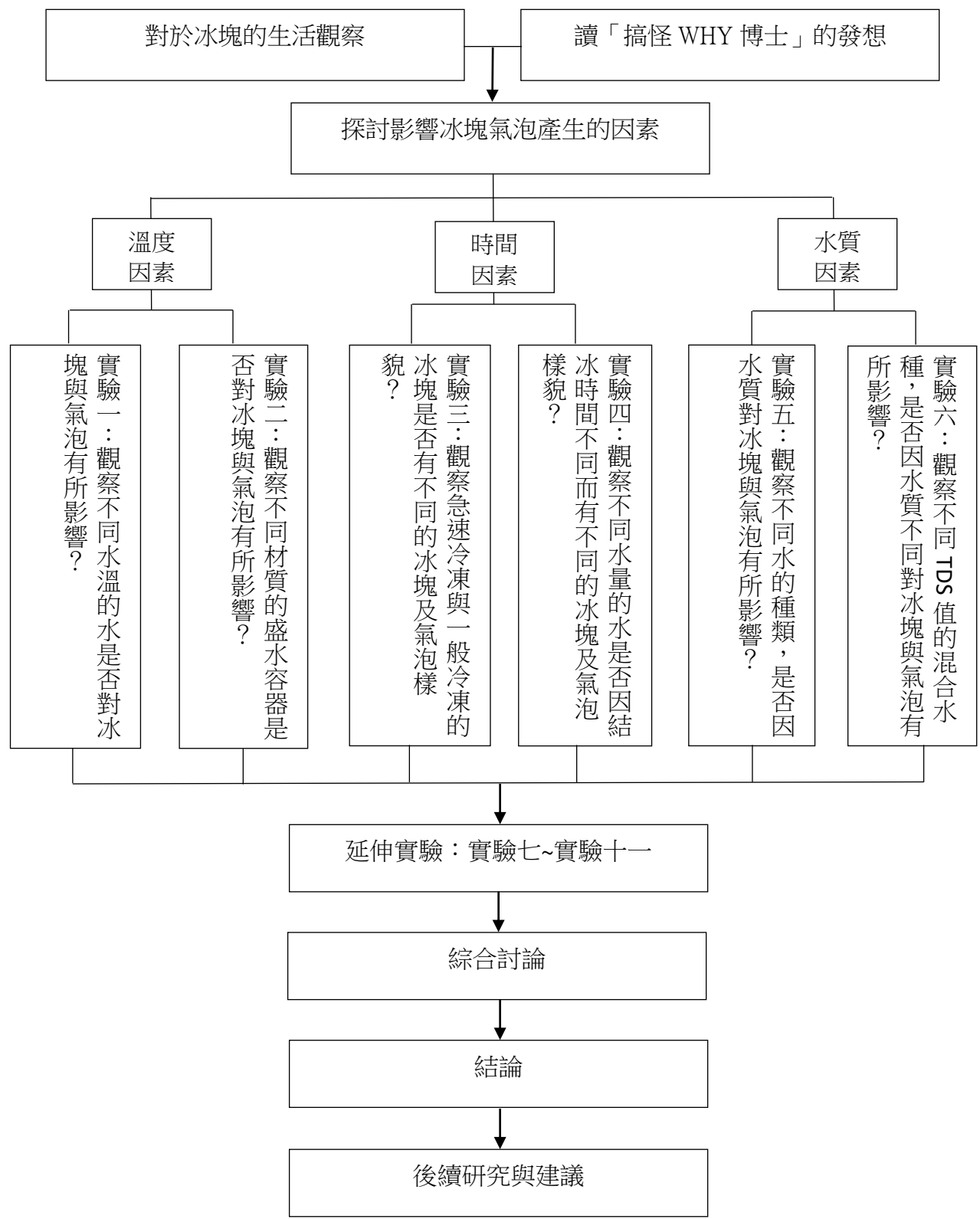
透過手機微焦鏡頭觀察冰塊的白色部分，發現是由許多細小的孔洞組成（如右圖），在光線的散射下呈現白色。由於水在冰凍過程中會排除水之外的物質，例如溶在水裡的空氣或是雜質，同時水結冰的過程中，有些空氣來不及「跑」掉而被凍在冰塊裡。因此，白色氣泡產生的原因可能是：(一)溶在水裡的空氣變成了冰塊中的氣泡。(二)冰凍過程，氣泡來不及跑掉。(三)結凍過程中所排出的水中雜質。

在搞怪 WHY 博士書中提及較容易製作出透明冰的方法是把水燒開，也就是使用煮沸過的水，透過煮沸過程，開著水壺蓋讓水繼續沸騰一段時間，盡量減少水中空氣以及雜質。我們使用水質檢測棒作為水質檢測工具，先使用蒸餾水(0 ppm)進行觀察，蒸餾水所結成的冰仍有白色氣泡存在(如右圖)。



從上述原因進行實驗設計，以水溫、結冰時間、水量、水的種類、水質以及盛水容器六個實驗變項，觀察水結冰後的氣泡變化，記錄冰塊顏色、氣泡位置、氣泡大小、氣泡多寡，瞭解冰塊氣泡變化與水的關係。

伍、研究架構



陸、研究過程及方法

一、實驗方法：

從水溫、盛水容器、結冰時間、水量、水的種類、水中添加物以及六個實驗變項，觀察水結冰後的氣泡變化，並記錄冰塊顏色、氣泡位置、氣泡大小、氣泡多寡。

二、實驗記錄方式：

(一) 冰塊顏色：透明或乳白色。

(二) 氣泡位置：觀察點為標示牌為正面進行描述，須描寫氣泡位置，以及氣泡的集中或分散情形，並使用自製九宮格，以九等分方式畫圈記錄氣泡位置。









(三) 氣泡大小：以 1mm 為基準，若氣泡直徑皆小於 1mm，則記錄「小」，若發現至少 10 個氣泡直徑大於 1mm，則記錄「有大有小」。

(四) 氣泡多寡：以氣泡佔總冰塊體積的比例為記錄方式，以氣泡數量 1/2 或 1/3 來記錄，氣泡數量超過 1/3 但不足 1/2 時，則記錄「比 1/2」少；若氣泡數量超過 1/2 則記錄「比 1/2 多」。




實驗一：探討水溫高低是否影響冰塊中氣泡的變化？

(一) 第 1 次實驗：

1. 環境設定：過濾水冰入前，冷凍室溫度 -1°C ，低溫設定 -18°C 。
2. 實驗步驟：(1)調出 4°C 、 15°C 、 40°C 的水溫。(2)先把各水溫的水倒入量筒測水量 150ml 並倒入燒杯。(3)貼上標籤。(4)放入冰箱。(5)放置 21 小時後取出觀察。

			
調出水溫	以量筒測量水量	倒入燒杯	放入冷凍室
			
進行實驗觀察			

表一：實驗一 第 1 次實驗記錄





項目 \ 水溫	5℃	15℃	40℃
冰塊顏色	外圍透明，中間有乳白色氣泡。	外圍透明，中間有乳白色氣泡。	外圍透明，中間有乳白色氣泡。
氣泡位置	集中在中間，周圍的氣泡多。	集中在中間，周圍的氣泡多。	集中在中間，周圍的氣泡多。
氣泡大小	小	小	小
氣泡多寡	比 1/2 多	比 1/2 多	約 1/2
照片			

3. 實驗結果：(1)冰塊顏色：水溫越高外層越透明。(2)氣泡位置：大致相同。(3)氣泡大小：全都是小。(4)氣泡多寡：以 5℃ 和 15℃ 最多。

(二) 第 2 次實驗：根據第一次實驗結果，由於 5℃ 與 15℃ 溫度只差 10 度幾乎看不出氣泡變化，但發現 40℃ 氣泡較少，可再增加溫度區隔確認氣泡與溫度的關係。

1. 實驗步驟：同第 1 次實驗步驟，分別調水溫 20℃、40℃、60℃、80℃，放置 24 小時後取出觀察。

表二：實驗一 第 2 次實驗記錄

項目 \ 水溫	20℃	40℃	60℃	80℃
冰塊顏色	外圍透明，中間有乳白色氣泡。	外圍透明，中間有乳白色氣泡。	外圍透明，中間有乳白色氣泡。	外圍透明，中間有乳白色氣泡。
氣泡位置	集中在中間，外圍氣泡多。	集中在中間，外圍氣泡不多。	集中在中間，外圍氣泡不多。	集中在中間，外圍氣泡不多。
氣泡大小	小	小	小	小
氣泡多寡	比 1/2 多	比 1/2 少	約 1/2	比 1/3 少
冰入後照片				

2. 實驗結果：(1)冰塊顏色：冰塊中間以乳白色為主，水溫越高外層越透明。(2)氣泡位置：大致相同。(3)氣泡大小：全都是小。(4)氣泡多寡：各水溫的冰塊氣泡都小於 1mm，只有一兩個大於 1mm，但都不到十個。以 5℃ 和 15℃ 最多，80℃ 最少。

(三) 實驗結論

實驗一經由第 1 次實驗、第 2 次實驗的結果，我們發現水溫和冰塊顏色、氣泡位置沒有太大的關聯。進入冷凍室 21 小時及 24 小時的冰塊，冰塊氣泡都小於 1mm，發現冰入前水的溫度越高，結冰後氣泡越少，而且不可使用玻璃，會爆掉。

(四) 新學習與新發現：

我們發現：(1)結冰時間愈久，冰就越透明。(2)水溫和氣泡位置沒有太大的關聯。(3)溫度只差 10 度幾乎看不出變化。

實驗二：探討盛裝水的容器是否影響冰塊中氣泡的變化？

(一) 第 1 次實驗

1. 環境設定：過濾水冰入前，冷凍室溫度-1℃，低溫設定-18℃。
2. 實驗過程：(1)選擇布丁盒、鋼杯及塑膠製冰盒三樣常見但材質不同的容器來盛裝水。(2)三種容器各盛裝 150cc 的過濾水，同時放入冰箱冰凍室。(3)過 24 小時後同時取出，觀察冰塊的氣泡變化。

表三：實驗二 第 1 次實驗記錄

項目 \ 種類	布丁盒	鋼杯	一般製冰盒
冰塊顏色	四週透明，中間有白色氣泡	四週透明，中間有白色氣泡	四週透明，中間有白色氣泡
氣泡位置	全部分散	集中在下方	集中在下方
氣泡大小	有大有小	有大有小	小
氣泡多寡	比 1/2 多	比 1/2 多	約 1/2
照片			

3. 實驗結果：(1)冰塊顏色：冰塊顏色透明，不因容器不同而有變化。(2)氣泡位置：用鋼杯及製冰盒為容器的冰，氣泡多集中在下方，冰塊呈現下面乳白色冰上面透明冰的情形。用布丁盒為容器的冰塊，則呈現白色氣泡則分散在冰塊中。(3)氣泡大小：用鋼杯及製冰盒為容器的冰塊，氣泡較小。用布丁盒為容器的冰塊，冰中氣泡有大有小。(4)氣泡多寡：各項容器的白色氣泡皆佔冰塊體積的二分之一以上，不因容器不同而有變化。

(二) **第 2 次實驗：**在第 1 次實驗時，原先預定使用玻璃杯當作實驗容器，但因做實驗過程中發生玻璃杯因過冷碎裂而刪除，同時因布丁杯與製冰盒皆為材質相同的塑膠類，無法區辨盛水容器的溫度傳導對冰塊氣泡的影響。所以在第二次實驗時，選擇都是圓柱形的容器，容器材質分別為塑膠類的寶特瓶、金屬類的鋼杯、以及紙類的紙杯，統一過濾水水量為 150ml。記錄方式增加九宮格記錄氣泡位置。

1. 環境設定：冰入前，室溫 18℃，冷凍室溫度-1℃，低溫設定-18℃。
2. 實驗步驟：同第 1 次實驗步驟。

表四：實驗二 第 2 次實驗記錄

項目 \ 種類	布丁盒			鋼杯			紙杯		
冰塊顏色	四週透明，中間有白色氣泡			四週透明，中間有白色氣泡			四週透明，中間有白色氣泡		
氣泡位置 (九宮格記錄)	1	2	3	①	②	3	①	2	3
	4	⑤	6	4	⑤	⑥	④	⑤	6
	⑦	⑧	⑨	7	⑧	⑨	⑦	⑧	9
氣泡大小	有大有小			有大有小			有大有小		
氣泡多寡	比 1/3 少			比 1/2 多			比 1/2 多		
照片									

3. 實驗結果：(1)冰塊顏色：冰塊顏色透明，不因容器不同而有變化。(2)氣泡位置：在九宮格有不同的氣泡位置分布，冰塊由下方結凍至上方，底部有一層薄冰。(3)氣泡大小：各材質容器的冰塊都有大氣泡與小氣泡。(4)氣泡多寡：氣泡由多到少分別為鋼杯、紙杯、寶特瓶。

(三) 實驗結論：

實驗二經由第 1 次實驗、第 2 次實驗的結果，我們發現容器形狀及材質和冰塊顏色、氣泡位置沒有太大的關聯，水從受冷處開始結冰，推論氣泡位置可能與冰箱擺放位置相關。屬於金屬材質的鋼杯溫度傳導速度較快，氣泡較多。

(四) 新學習與新發現：

鋼杯和製冰盒的冰塊氣泡的位置集中下方，布丁盒氣泡位置則是分散，後續可以對盛裝容器的材質做更進一步的分析及實驗。

實驗三：探討結冰時間是否影響冰塊中氣泡的變化？

(一) 第 1 次實驗

1. 環境設定：冰入前，室溫 17℃，冷凍室溫度-1℃。



2. 實驗過程：

(1) 蒐集實驗的材料：冰箱溫度計、礦泉水、純水、布丁花型杯、果凍圓弧型杯。

(2) 一般冷凍：(1) 一般冷凍低溫設定-18℃。(2)選擇布丁杯、果凍杯、寶特瓶三種容器各盛裝 150cc 的純水，同時放入冰箱冰凍室。(3)經過 20 小時取出觀察。

(3) 急速冷凍：(1)急速冰箱低溫設定-40℃，在冰前 1 個小時預冷運轉。(2)上述三種容器分成二組（一層放三件），分別放置中層及下層進行實驗。(3)經過 2 小時取出觀察。

表五：實驗三 第 1 次實驗記錄

項目 \ 種類	一般冷凍	急速冷凍
冷凍室溫度	-18℃	- 40℃
結凍時間	20 小時	2 小時
冰塊顏色	透明冰，像水晶	呈現乳白色
氣泡位置	氣泡在 中間較多	佈滿氣泡
氣泡大小	有大有小	極小
氣泡多寡	很多，超過 1/2	密集，超過 1/2
圖片		

3. 實驗結果：(1)冰塊顏色：急速冷凍的冰塊為乳白色，一般冷凍的冰塊較為透明。(2)氣泡位置：急速冷凍的冰塊氣泡分布整個冰塊中。(3)氣泡大小：急速冷凍的氣泡小而密集，一般冷凍的冰塊氣泡有大有小。(4)氣泡多寡：冰塊氣泡都比 1/2 多。

4. 其他觀察：同室溫且同水量下，急速冷凍 2 小時就能結冰，一般冷凍則需要 20 小時。一般冷凍的冰塊冰塊光亮透明，並且很多細長的放射線，伴著氣泡好像是開了一朵花般的美麗。急速冷凍冰塊外表結了很多的霜可擦掉，冰塊是混濁的乳白色，上方出現冰凸現象，冰塊稍微互撞就碎裂。

(二) 第 2 次實驗

根據第 1 次實驗結果，急速冷凍 2 小時與一般冷凍 20 小時的冰塊顏色、氣泡位置不同，但氣泡多寡與氣泡大小差異不大。從急凍冷凍 2 小時冰塊的冰裂現象，推測冷凍時間已超過水剛好的結冰時間很久，於是增加急速冷凍 1.5 小時一般冷凍 8 小時實驗項目觀察不同結冰時間的氣泡情形，使用過濾水，盛裝容器皆為寶特瓶。

1. 實驗過程：

(1) 一般冷凍：①把容器倒入 150ml 的過濾水，並測水溫。②用冰箱溫度計測冷凍室溫度，最後溫度為-18℃。③放入家用冰箱。④分別放置 8 小時及 15 小時後取出觀察，並使用九宮格記錄氣泡位置。

(2) 急速冷凍：①設定急速冷凍冰箱冷凍室溫度。②把容器倒入 150ml 的過濾水，並測水溫。③放入急速冷凍冰箱。④分別放置 1.5 小時及 2 小時後取出觀察，並使用九宮格記錄氣泡位置。

表六：實驗三 第 2 次實驗記錄

種類 項目	急速冷凍						一般冷凍					
冰入前水溫	22℃			20℃			20℃			20℃		
冷凍室溫度	-38℃			-38℃			-18℃			-18℃		
結凍時間	2 小時			1.5 小時			15 小時			8 小時		
冰塊顏色	乳白色			乳白色			上面透明冰，中間一球狀和底部乳白色霧霧的			上面透明冰，中間一球狀和底部乳白色霧霧的		
氣泡位置	①	②	③	①	②	③	1	2	3	1	2	3
	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥
	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨
氣泡大小	小			小			有大有小			有大有小		
氣泡多寡	比 1/2 多			比 1/2 多			約 1/2			比 1/2 少		
圖片												

2. 實驗結果：(1)冰塊顏色：一般冷凍的冰塊以透明冰為主，中間有白色氣泡；急速冷凍的冰塊為乳白色。(2)氣泡位置：一般冷凍的氣泡集中在冰塊中間，最下方結了一層冰；急速冷凍的氣泡分布全部冰塊，但中間氣泡顏色更白。(3)氣泡大小：一般冷凍的氣泡有大有小，以小氣泡較多，冰凍 8 小時的冰塊大氣泡最多；急速冷凍的冰塊氣泡全都小於 1mm。(4)氣泡多寡：急速冷凍冰塊的氣泡較多，一般冷凍的氣泡較少，冰凍 8 小時的氣泡最少

(三) 實驗結論

實驗三經由第 1 次實驗、第 2 次實驗的結果，我們發現：

1. 冰塊內的氣泡多寡、氣泡大小與容器形狀相關性不高，與實驗二的結論相同。
2. 在冷凍室清空的情形下，約略測出 150CC 的水在一般冷凍（低溫設定-18℃）的結凍時間約 15 小時左右，急速冷凍（低溫設定-40℃）的結凍時間約 1.5 小時左右。
3. 結冰時間影響冰塊顏色，急速冷凍的冰塊整體是乳白色，氣泡位置散布冰塊各處，推論水在快速結冰時，水中氣泡在短時間內無法被集中或排出，而分散在冰塊中
4. 觀察 8 小時、15 小時及 20 小時一般冷凍的冰塊氣泡中發現，隨著冰凍時間的越長，氣泡越小。

(四) 新學習與新發現：






1. 結冰的時間會影響冰塊的顏色。
2. 結冰時間愈短，冰塊碰撞後較易碎。
3. 做實驗的過程要有耐性，不能急著一直開冰箱影響溫度，溫度的變化不但影響結冰的時間，也影響了氣泡的位置和顏色。

實驗四：探討水量多寡是否影響冰塊中氣泡的變化？

(一) 第 1 次實驗

1. 環境設定：過濾水冰入前，室溫 20℃，冷凍室溫度-1℃，低溫設定-18℃。
2. 實驗過程：(1)使用 5 瓶寶特瓶。(2)用量杯裝水，分別倒入 100ml、150ml、200ml、250ml、300ml 的過濾水，並測水溫。(3)貼上標籤。(4)測量冰入前冰箱溫度。(5)將 5 瓶水冰入冷凍庫中。(5)放置 20 小時後取出觀察。

表七：實驗四 第 1 次實驗記錄

水量 項目	100 ml	150 ml	200 ml	250 ml	300 ml
冰塊顏色	外圍透明，中間有乳白色氣泡。	外圍透明，中間有乳白色氣泡。	外圍透明，中間有乳白色氣泡。	外圍透明，中間有乳白色氣泡。	外圍透明，中間有乳白色氣泡。
氣泡位置	左邊	中央	左上	下方	右邊
氣泡大小	有大有小	有大有小	有大有小	有大有小	有大有小
氣泡多寡	比 1/2 少	比 1/2 少	比 1/2 少	比 1/2 少	約 1/2
照片					




3. 實驗結果：(1)冰塊顏色：皆為外圍透明，中間有乳白色氣泡的冰塊不因水量不同而有變化。(2)氣泡位置：此次實驗沒有固定的氣泡位置分布，但氣泡多在冰塊中央。(3)氣泡大小：各水量的冰塊呈現都有大氣泡與小氣泡。100cc 水量的冰塊中比 1mm 大的氣泡超過 10 個，其他水量的冰塊中氣泡則是有大有小。(4)氣泡多寡：水量約多，氣泡越多，300ml 的氣泡最多，冰塊中氣泡有 1/2，氣泡最多；少於 300cc 水量的冰塊中氣泡則都不到 1/2，100ml 的氣泡最少。

(二) 第 2 次實驗

根據第 1 次實驗結果，發現水量越多，冰塊內氣泡越多。我們想驗證此項推論，所以進行第 2 次實驗，將過濾水用輔助吸管更加緩慢注入寶特瓶中，避免空氣因倒水過程溶入水中，並水量調整為 100ml、200ml、300ml 進行觀察。同時根據實驗三的結果，預估結冰時間取出觀察。

1. 環境設定：冰入冷凍室前，室溫 22℃，冷凍室溫度-2℃，低溫設定-18℃。
2. 實驗過程：同第 1 次實驗步驟，分別倒入 100ml、200ml、300ml 的過濾水，並測水溫。結冰完成後取出觀察，並使用九宮格記錄氣泡位置。

表八：實驗四 第 2 次實驗記錄

項目 \ 水量	100 ml			200 ml			300 ml		
結凍時間	7 小時			8 小時			9 小時		
冰塊顏色	以透明冰為主，白色氣泡在中間。			以透明冰為主，白色氣泡不明顯。			以透明冰為主，中間有白色柱狀氣泡。		
氣泡位置	1	2	3	①	②	③	1	②	3
	④	⑤	6	④	⑤	⑥	④	⑤	6
	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	7	⑧	9
氣泡大小	小			有大有小			有大有小		
氣泡多寡	比 1/2 少			比 1/2 多			比 1/2 多		
照片									

3. 實驗結果：(1)冰塊顏色：外圍透明，中間有乳白色氣泡。(2)氣泡位置：白色氣泡由瓶子底部下方往上延伸。(3)氣泡大小：100ml 的冰塊氣泡都小於 1mm，其他水量則有大氣泡和小氣泡。(4)氣泡多寡：水量約多，氣泡越多，300ml 的氣泡最多，100ml 的氣泡最少。
4. 其他觀察：(1)200ml 冰塊內氣泡有如天晴時的雲層，一層一層由下往上，是首次發現的氣泡樣態，而 300ml 則發現白色氣泡柱。(2)由於二次實驗使用不同冰箱，發現在未完全清空冰箱的情形下(一半清空)，同水量的水結凍時間顯著縮短許多。






(三) 第 3 次實驗

根據第 2 次實驗結果，發現水量越多，冰塊內氣泡越多。但第二次的實驗結果，200ml 與 300ml 的冰塊卻和之前的結冰情形有明顯差異。於是決定再進行第三次實驗，實驗過程如第 2 次實驗，但水量調整為 100ml、200ml、300ml、400ml、500ml 進行觀察，並預估結冰時間取出觀察。

- 環境設定：冰入前，室溫 22℃~23℃，冷凍室溫度-2℃，低溫設定-18℃。
- 實驗過程：同第 2 次實驗步驟，分別倒入 100ml、200ml、300ml、400 ml、500ml 的

過濾水，並測水溫。結冰完成後取出觀察，並使用九宮格記錄氣泡位置。

表九：實驗四 第 3 次實驗記錄

種類 項目	100 ml			200 ml			300 ml			400 ml			500 ml		
結凍時間	7.5 小時			8.5 小時			9.5 小時			10.5 小時			11.5 小時		
冰塊顏色	以透明冰為主，白色氣泡在中間。			以透明冰為主，白色氣泡在中間。			以透明冰為主，中間有白色柱狀氣泡。			以透明冰為主，中間有白色柱狀氣泡。			以透明冰為主，中間有白色柱狀氣泡。		
氣泡位置	1	2	3	1	2	3	1	②	3	①	②	③	①	②	③
	4	⑤	⑥	4	⑤	⑥	④	⑤	6	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥
	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨
氣泡大小	小			小			有大有小			有大有小			有大有小		
氣泡多寡	比 1/2 少			比 1/2 少			比 1/2 多			比 1/2 多			比 1/2 多		
照片															

2. 實驗結果：(1)冰塊顏色：皆為外圍透明。(2)氣泡位置：白色氣泡由瓶子底部下方向上延伸，300ml、400ml、500ml，都形成白色氣泡柱。(3)氣泡大小：100ml 和 200ml 的冰塊氣泡都小於 1mm，其他則是有大氣泡和小氣泡，500ml 的大氣泡最多，最大的氣泡超過 2mm。(4)氣泡多寡：水量約多，氣泡越多，500ml 的氣泡最多，100ml 的氣泡最少。

(四) 實驗討論：

- 從實驗四的 3 次實驗結果，我們發現(1)冰塊顏色、氣泡位置與大小與水量無明顯關聯。(2)水量越多，冰塊內氣泡越多。
- 根據實驗三的結果，冰凍時間越長，氣泡越小，但實驗四較多水量的實驗組呈現較多大氣泡，推論與結冰時間有關。
- 柱狀氣泡的產生，可能與容器形狀相關(此實驗為瘦長型容器)。

(五) 新學習新發現：

- 容器中的水量越多，氣泡越多，所以如果要做沒有氣泡的大冰塊，會比較困難。

2. 水量越多，需要結凍時間越長。冰的觀察實驗，有時會因融化造成誤差。

實驗五：探討水的種類是否影響冰塊中氣泡的變化？

(一) 實驗過程：

1. 蒐集實驗材料：經同組夥伴討論後決定使用生活易取得的自來水、礦泉水、過濾水、RO 逆滲透水為實驗水種，進行實驗時正逢北部連續大雨(107 年 1 月初)，再增加雨水為實驗項目。實驗容器為瓶身平整無紋路便於觀察的寶特瓶。
2. 實驗步驟：(1) 先在紙上寫下五種水質的名稱，分別貼在寶特瓶上方，避免干擾觀察。(2) 將五種水質的水分別倒入量杯中，確定水量為 150ml 後，先測量與記錄 TDS 與水溫後，再倒入寶特瓶中。(3) 為避免寶特瓶冰入冰箱後產生壓力變化，影響結冰形狀及冰塊觀察，寶特瓶蓋不旋緊，輕輕扣上。(4) 先測試冷凍室溫度後，再冰入。(5) 拍照及完成觀察記錄。

		
蒐集雨水(107.1.9)	貼上標示	將測量 150ml 的水倒入瓶中
		
-18℃，冰 20 小時的結果	觀察冰塊中的氣泡	記錄觀察情形
		
小組討論：認識冰箱溫度計	實際操作冰箱溫度計	小組討論：冰塊氣泡觀察

(二) 第 1 次實驗

1. 環境設定：冰入前，測得當時冷凍室溫度 -10.55°C ，低溫設定 -18°C 。
2. 實驗步驟：同上述步驟，冰凍 8 小時後取出觀察，發現結冰未完成，無法觀察。

(三) 第 2 次實驗

1. 環境設定：冰入前，冷凍室溫度 -1°C ，低溫設定 -18°C 。
2. 實驗步驟：同第 1 次實驗步驟，放置 20 小時後取出觀察。

表十：實驗五 第 2 次實驗記錄

水種 項目	礦泉水	過濾水	自來水	RO 逆滲透水	雨水
冰入前 水溫	16°C	18°C	16°C	16°C	17°C
TDS	51ppm	40 ppm	39 ppm	4 ppm	3 ppm
冰塊顏色	乳白色	外面透明，中間有一團乳白色的氣泡。	外面透明，中間有一團乳白色的氣泡。	外面透明，中間有一團乳白色的氣泡。	乳白色為主，但比較多空隙。
氣泡位置	氣泡分散	氣泡集中在中下方。	氣泡集中在中間，周圍各有一些氣泡。	氣泡集中在中間，周圍有需多分散氣泡。	氣泡集中在上方，透明冰中有氣泡分散。
氣泡大小	小	小	小	小	小
氣泡多寡	比 1/2 多	比 1/2 少	約 1/3	約 1/3	比 1/2 多
照片					
					

3. 實驗結果：(1)冰塊顏色：TDS 值越高，冰塊顏色越混濁，礦泉水冰塊顏色是乳白色，TDS 數值越小，冰塊越透明，氣泡越少。(2)氣泡位置：氣泡位置不因水質不同而有任何顯著變化。(3)氣泡大小：五種水質結冰後的氣泡都小於 1mm。(4)氣泡多寡：礦泉水 TDS 數值為 51ppm，是五種水中最高，結冰後的氣泡也最多。
4. 其他觀察：(1)礦泉水與雨水的冰塊氣泡觀察結果相似，但無法解釋 TDS 數值差異。(2) TDS 數值接近的自來水（39PPM）和過濾水（40PPM），冰塊氣泡觀察結果相近。

(一) 第 3 次實驗

根據第 2 次實驗結果，為了確定實驗五觀察結果的一致性，決定再用相同步驟進行實驗一次，唯一不同的是根據實驗小組討論的修正建議，使用量杯到水時，使用吸管或玻棒輔助，減少注水過程中空氣溶入水中的機會，並盡可能把準備好實驗水先靜置一天再放置冷凍室。

1. 環境設定：冰入前，冷凍室溫度-1℃，低溫設定-18℃。
2. 實驗步驟：同第 2 次實驗步驟，放置 20 小時後取出觀察，並使用九宮格記錄。

表十一：實驗五 第 3 次實驗記錄

水種 項目	礦泉水			過濾水			自來水			RO 逆滲透水			雨水		
冰入前水溫	13℃			14℃			14℃			15℃			15℃		
冰入前冰箱溫度	-2℃			-2℃			-2℃			-2℃			-2℃		
TDS	51ppm			37 ppm			36 ppm			3ppm			11 ppm		
冰塊顏色	冰塊上方透明，中下方有一團乳白色的氣泡。			外面透明，中下方有一團乳白色的氣泡。			外面透明，左下角有一團乳白色的氣泡。			幾乎完全透明，中右下方有一些乳白色氣泡。			乳白色		
氣泡位置	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	①	②	③
	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥
	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨
氣泡大小	小			小			小			小			小		
氣泡多寡	最多。 比 1/2 多			比 1/2 少			比 1/2 少			最少。 比 1/3 少			比 1/3 多		
照片															

3. 實驗結果：(1)冰塊顏色：TDS 數值越高，冰塊越透明。(2)氣泡位置：氣泡位置不因水質不同而有任何顯著變化。(3)氣泡大小：五種水質經 20 小時結冰後的氣泡都小於 1mm。(4)氣泡多寡：礦泉水的 TDS 數值為 51ppm，是五種水中最高，結冰後的氣泡最多，RO 逆滲透水，結冰後的氣泡最少。





4. 其他觀察：雨水的 TDS 值不穩定，無法推估雨水與 TDS 值的相關性，加上天候因素無法穩定蒐集實驗雨水，將在後期實驗中刪除雨水項目。

(二) 第 4 次實驗

由於第 2 次實驗與第 3 次實驗結果，礦泉水的冰塊不一致，為了更進一步確認實驗五觀察結果的一致性，排除雨水項目後，依第 3 次實驗步驟方式進行。

1. 實驗步驟：同第 3 次實驗。

表十二：實驗五 第 4 次實驗記錄

水種 項目	礦泉水			過濾水			自來水			RO 逆滲透水		
冰入前水溫	13℃			14℃			14℃			15℃		
冰入前冰箱溫度	-2℃			-2℃			-2℃			-2℃		
TDS	51ppm			37 ppm			36 ppm			3ppm		
冰塊顏色	冰塊上方透明，中下方有團乳白色的氣泡。			外面透明，中下方有團乳白色的氣泡。			外面透明，左下角有團乳白色的氣泡。			幾乎完全透明，中右下方有些乳白色氣泡。		
氣泡位置	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	④	⑤	6	4	⑤	6	④	⑤	6	4	⑤	6
	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨
氣泡大小	小			小			小			小		
氣泡多寡	比 1/2 多			比 1/2 少			比 1/2 少			比 1/3 少		
照片												

2. 實驗結果：觀察結果與第 3 次實驗相似。

(三) 實驗結論：

- 除雨水外，其他四種水的冰塊顏色、氣泡位置與大小不因水質而有顯著改變。
- 過濾水與自來水 TDS 質相近，冰塊氣泡結果也相近，只有氣泡位置不同。
- TDS 值最高的礦泉水氣泡最多，TDS 值最低的 RO 水氣泡最少。
- 雨水的 TDS 值比較低，冰塊顏色是乳白色、氣泡最多及散布全部冰塊，與其他水種的實驗結果不同。

(四) 新學習與新發現：

1. 一月初的連續大雨，我們蒐集大雨開始後第三天的雨水，檢測出 TDS 值只有 3ppm，是五種水種中最低的，本來以為雨水會是 TDS 數值最高的呢！但一月底的實驗雨水是連續小雨第 2 天的雨水，TDS 值 11ppm，無法確定 TDS 數值差異原因。
2. 第 2 次實驗時，實驗發現礦泉水和雨水冰塊顏色都為乳白色，但 TDS 數值差距甚大，有可能是因為在將雨水倒入寶特瓶的過程用了漏斗倒入，增加空氣與雨水的混合接觸的結果。在未來實驗中，就留意實驗時液體緩慢注入的方法，最好再靜置一天，減少實驗誤差。
3. 由於家中的冰箱無法淨空，在第 2 次實驗後發現靠著其他物品的寶特瓶有冰凸現象，而且結冰的順序變成從其他物品的接觸面橫向延伸。因此採用用毛巾或是保麗龍隔開其他物品的方式，讓寶特瓶盡可能在不被其他物品干擾的情況下結冰。
4. 從這次實驗中發現如何利用冰中的氣泡來看水質，也學到 TDS 筆的使用意義。
5. 原來 150ml 的水在一般冷凍下要完全結冰需要冰 20 小時左右，這次實驗做了好久，中間失敗很多次，要找適合的水瓶，蒐集不同水質的水，等待結冰的過程中，還要忍住不去開冰箱，如果以後還要做相關實驗，真的要更早開始做實驗。

實驗六：探討不同 TDS 值的混合液，是否因水質不同對冰塊與氣泡有所影響？

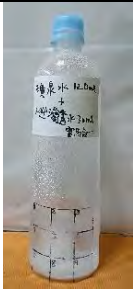



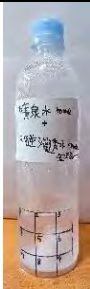



(一) 設計概念：實驗五的實驗結果 TDS 數值最高的水質，結冰後、氣泡也最多。我們希望更了解 TDS 值與冰塊中氣泡的關係，於是設計由實驗五 TDS 值最高的礦泉水與 TDS 值最低的 RO 逆滲透水進行混合，藉由觀察不同比例的混合液的冰塊變化，進一步驗證實驗五的結論。

(二) 第 1 次實驗：

1. 環境設定：冰入前，測得當時冷凍室溫度 -2°C ，冷凍室設定為 -18°C 。
2. 實驗過程：(1)材料準備：600ml 礦泉水，600ml RO 逆滲透水。(2)用量杯調配四種 150ml 的混和液，分別為：120ml 礦泉水混合 30ml RO 逆滲透水、90ml 礦泉水混合 60ml RO 逆滲透水、60ml 礦泉水混合 RO90ml 逆滲透水、30ml 礦泉水混合 120ml RO 逆滲透水。(3)測 TDS 值，及水溫，再貼上標籤。(4)放置冷凍室 8 小時後取出觀察，用九宮

格記錄氣泡分布情形。

表十三：實驗六 第 1 次實驗記錄

水種 項目	120ml 礦泉水 30ml RO 水			90ml 礦泉水 60ml RO 水			60ml 礦泉水 90ml RO 水			30ml 礦泉水 120ml RO 水		
冰入前水溫	21℃			23℃			23℃			21℃		
TDS	47ppm			37 ppm			27 ppm			17ppm		
冰塊顏色	大部分透明，中間有團乳白色氣泡，瓶子底部有一層薄冰。			大部分透明，中間有團乳白色氣泡，瓶子底部有一層薄冰。			大部分透明，中間有團乳白色氣泡，瓶子底部有一層薄冰。			大部分透明，中間有團乳白色氣泡，瓶子底部有一層薄冰。		
氣泡位置	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	④	⑤	6	④	⑤	6	4	⑤	⑥	④	⑤	6
	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨
氣泡大小	有大有小			有大有小			有大有小			有大有小		
氣泡多寡	約 1/3			約 1/3			比 1/3 少			比 1/3 少		
照片	 			 			 			 		

3. 實驗結果：(1)冰塊顏色和氣泡位置：四種混合溶液觀察結果相似。(2)氣泡大小：四種混和液都有大氣泡和小氣泡。(3)氣泡多寡：TDS 值越高，氣泡越多。

(三) 第 2 次實驗：

1. 環境設定：冰入前，測得當時冷凍室溫度 -1℃，冷凍室設定為-18℃。
2. 實驗步驟：同第 1 次實驗。增加過濾水及 RO 逆滲透水進行 TDS 數值比較。

表十四：實驗六 第 2 次實驗記錄

水種 項目	礦泉水	120ml 礦泉水 30ml RO 水	90ml 礦泉水 60ml RO 水	60ml 礦泉水 90ml RO 水	30ml 礦泉水 120ml RO 水	RO 水
冰入前 水溫	21℃	21℃	23℃	23℃	21℃	21℃
TDS	51ppm	47ppm	37 ppm	27 ppm	17ppm	3ppm
冰塊 顏色	冰塊上方透明，中下方有團乳白色的氣泡。	大部分透明，中間有團乳白色氣泡，瓶子底部有一層薄冰。	大部分透明，中間有團乳白色氣泡，瓶子底部有一層薄冰。	大部分透明，中間有團乳白色氣泡，瓶子底部有一層薄冰。	大部分透明，中間有團乳白色氣泡，瓶子底部有一層薄冰。	幾乎完全透明，中右下方有些乳白色氣泡。
氣泡 位置	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3
	④ ⑤ ⑥	④ ⑤ ⑥	④ ⑤ ⑥	④ ⑤ ⑥	④ ⑤ ⑥	④ ⑤ ⑥
	⑦ ⑧ ⑨	⑦ ⑧ ⑨	⑦ ⑧ ⑨	⑦ ⑧ ⑨	⑦ ⑧ ⑨	⑦ ⑧ ⑨
氣泡 大小	有大有小	有大有小	有大有小	有大有小	有大有小	有大有小
氣泡 多寡	比 1/2 多	約 1/3	約 1/3	比 1/3 少	比 1/3 少	比 1/3 少
照片						

3. 實驗結果：(1)冰塊顏色、氣泡位置：六種水質的冰塊皆中間有白色氣泡，四週透明。

(2)氣泡大小：六種水質的冰塊都有大氣泡和小氣泡。(3)氣泡多寡：TDS 值越高，氣泡越多。

(四) 實驗結論

1. 冰塊顏色及氣泡位置與氣泡大小：不因水質而有差異，四種混合溶液冰塊的樣態差不多，四種混和液都有大氣泡和小氣泡。
2. 氣泡多寡：TDS 值越高，氣泡越多，120ml 礦泉水和 30ml RO 滲透水的混和液，TDS 值最高，氣泡也最多。

(五) 新發現新學習

學會使用多種規格的量杯(60ml、20ml 和 120ml)調配不同比例的混合液，調配過程，發現只要多倒 1~2 ml，就可能改變水中的 TDS 值，調配混合液需要非常精準。

柒、延伸實驗

一、設計緣由：根據 4/28 複審評審現場建議，並與指導教授討論後，分別從水溫、時間及水量設計五種實驗，進一步探究冰塊內氣泡的變化。

二、實驗設計：

(一) 實驗七：煮沸後過濾水水溫實驗。

- 待釐清項目：由於煮沸水能排除較多雜質，試比較煮沸水的溫度變化與冰塊內氣泡與未煮沸水的異同。
- 實驗設計：以煮沸的過濾水為實驗組，實驗步驟同實驗一方式進行。



表十五 實驗七：煮沸後過濾水水溫實驗




水溫 項目	10℃	15℃	20℃	25℃	35℃	40℃	60℃	80℃
冰塊 顏色	中間乳白色氣泡，外圍透明。							
氣泡 位置	中下方乳白色氣泡，刺狀氣泡分布外圍。							
	刺狀氣 泡較多	刺狀氣 泡中等	刺狀氣 泡中等	刺狀氣 泡中多	刺狀氣 泡中多	刺狀氣 泡中少	刺狀氣 泡少	刺狀氣 泡少
氣泡 大小	小	小	小	小	小	小	小	小
氣泡 多寡	比 1/2 多	比 1/2 多	比 1/2 多	比 1/2 多	比 1/2 多	約 1/2	比 1/2 少	比 1/3 少
備註	有冰裂	有冰裂	有冰裂	有冰裂	有冰裂	有冰裂	有冰裂	有冰裂

- 實驗結果與討論：(1)水溫越高，氣泡越少。(2) 冰塊顏色、氣泡位置及氣泡大小與水溫變化沒有顯著相關。(3)煮沸的與未煮沸的過濾水，冰塊內氣泡樣態類似。

(二) 實驗八：不同水量的急速冷凍實驗。

- 待釐清項目：實驗四實驗結果「500ml 的水量較多，需結冰時間較長，氣泡較多。」與實驗三實驗結果「急速冷凍的冰塊氣泡最多」，實驗結果矛盾需再釐清。
- 實驗設計：(1)實驗步驟同實驗三方式進行，設計 200ml、300ml 及 500ml 三種水量的 2 小時急速冷凍實驗。(2)環境設定：冰入前，室溫 28℃，低溫設定-40℃。

表十六 實驗八：不同水量的急速冷凍實驗


種類 項目	200 ml			300 ml			500 ml		
冰塊顏色	乳白色			乳白色			冰塊下方及上方為乳白色，中間為透明冰。		
氣泡位置	①	②	③	①	②	③	①	②	③
	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥
	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨
氣泡大小	小			小			有大有小		
氣泡多寡	比 1/2 多			比 1/2 多			約 1/2		
照片									
備註	與實驗三結果相同			與實驗三結果相同			與實驗三結果不同		

3. 實驗結果與討論：(1)冰塊顏色、氣泡位置、氣泡大小、氣泡多寡：200ml、300ml 的實驗結果與實驗三所有的急速冷凍冰塊相同。(2) 500ml 的結冰情形發現水由上層及下層開始受冷結冰，並以下層結冰為主；冰塊顏色以乳白色居多，中間出現透明冰，且有超過 2mm 的氣泡，推測冰中含水量仍高，若繼續增加急速冷凍時間，可能與實驗三結果相同。(3)實驗三、實驗四無結果並無矛盾：水量越多，並塊內氣泡越多，需要完全結凍的時間也越長。

(三) 實驗九：不同水種急速冷凍實驗。

- 待釐清項目：不同水種的冰塊是否因冷凍時間而有差異(實驗三及實驗五比較)。
- 實驗設計：實驗步驟同實驗三方式進行，設計煮沸水、自來水、礦泉水、過濾水、RO 逆滲透水的急凍實驗。(2)環境設定：冰入前，室溫 23℃，低溫設定-40℃。

表十七： 實驗九 不同水種急速冷凍實驗


水種 項目	礦泉水			過濾水			常溫煮沸水			自來水			RO 逆滲透水		
TDS	51ppm			48 ppm			48 ppm			47ppm			3ppm		
冰塊顏色	乳白色			乳白色			乳白色			乳白色			乳白色		
氣泡位置	①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③
	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥
	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨
氣泡大小	小			小			小			小			小		
氣泡多寡	比 1/2 多			比 1/2 多			比 1/2 多			比 1/2 多			比 1/2 多		
照片															

3. 實驗結果與討論：(1)冰塊顏色：五種水皆為乳白色，顏色深淺以 TDS 值 51ppm 的礦泉水最深，TDS 值 3ppm 的 RO 水最淺。(2)氣泡位置及大小：五種水結果相似。(3)氣泡多寡：TDS 值 51ppm 的礦泉水最，TDS 值 3ppm 的 RO 水最淺。(4)不同水種的冰塊氣泡，冰塊顏色有明顯差異，TDS 值越低的冰塊顏色透明部分越多，氣泡較少。


(四) 實驗十、十一：氣泡柱成因探討實驗。

- 待釐清項目：探討實驗四從 300ml 產生氣泡柱的原因，釐清氣泡柱與水量或容器形狀的相關性。
- 實驗設計：(1)實驗十：以 300ml 過濾水對照組，進行同水量，不同水位實驗。(2)實驗十一：以 300ml 過濾水對照組，進行同水位不同水量實驗。
- 實驗步驟：使用實驗四 300ml 相同寶特瓶為對照組(底面直徑為 6 公分圓柱)，分別使用底面直徑 9 公分、12 公分的塑膠材質容器。使用過濾水(TDS 值 48)。
 (1)實驗十：用量杯測量 300ml 過濾水水量，分別倒入容器中。
 (2)實驗十一：以 300ml 寶特瓶為水位高度基準，分別注入相同高度的過濾水。
 (3)將實驗十、實驗十一的實驗體同時冰入冷凍室 27 小時後取出觀察。
- 環境設定：冰入前水溫 26℃，冷凍室溫度-1℃，低溫設定-18℃。

表十八 實驗十：同 300ml 水量，不同水位高度

底面直徑 項目	6cm			9cm			12cm		
冰塊顏色	中下方乳白色氣泡，刺狀氣泡分布外圍。								
	刺狀氣泡最多			刺狀氣泡次多			刺狀氣泡最少		
氣泡位置	1	②	3	1	2	3	1	2	5
	4	⑤	6	4	⑤	6	4	⑤	6
	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨
氣泡大小	有大有小								
	刺狀氣泡較多，超過 1mm 的氣泡最多。			超過 1mm 的氣泡次多			超過 1mm 的氣泡最少		
氣泡多寡	約 1/3			約 1/3			約 1/3		
氣泡柱高度	約 7 公分			約 4.5 公分			約 2 公分		
照片									

表十九 實驗十一：同 300ml 水位高度，水量不同

底面直徑 項目	6cm			9cm			12cm		
冰塊顏色	中下方乳白色氣泡，刺狀氣泡分布外圍。								
	刺狀氣泡最多			刺狀氣泡次多			刺狀氣泡最少		
氣泡位置	1	②	3	1	②	3	1	②	5
	4	⑤	6	4	⑤	⑥	4	⑤	6
	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨
氣泡大小	有大有小								
	刺狀氣泡較多，超過 1mm 的氣泡最少。			超過 1mm 的氣泡較多			出現超過 2mm 的氣泡		
氣泡多寡	約 1/3			約 1/3			比 1/3 多		
氣泡柱高度	約 7 公分			約 6 公分			約 7 公分		
照片									

5. 實驗結果與討論：

- (1) 實驗十：冰塊顏色、氣泡位置、氣泡多寡不因不同水位有變化，氣泡柱在高水位容易出現。
- (2) 實驗十一：冰塊顏色、氣泡位置不因不同水量有變化。水位高度相同，氣泡柱的形狀皆類似角錐且高度差異不大，顯示氣泡柱產生與容器形狀相關性低。
- (3) 從實驗十、實驗十一發現：水量越多，結冰時間越長；容器底面積較小，水位較高，容易產生氣泡柱。容器直徑越大，氣泡柱底橢圓形面積越大。

捌、綜合討論

一、討論水在急速冷凍的冰塊及氣泡樣貌與一般冷凍的差異性。

水經過急速冷凍後，冰塊呈現乳白色霧狀，冰塊內全部都是氣泡，可能與急凍下的水中空氣來不及排出，使得冰塊呈現霧狀，有時因水結成冰時有小破口，讓空氣迅速竄脫，因此有時會出現冰突。一般冷凍的冰塊，除白色氣泡外，還有許多放射狀氣泡，看出空氣在水結凍過程中跑掉的痕跡。

二、不同水質所產生的冰塊，其冰塊氣泡與 TDS 的關係。

本次實驗採用五種水，其中礦泉水的 TDS 值高於 50ppm，冰塊中的氣泡也最多。本次研究中發現 TDS 值高於 50 ppm 的水所製成的冰，白色氣泡在冰塊總體積的比例較大。

三、用家用冰箱進行結冰實驗時，為什麼氣泡幾乎都會集中在中間附近？

按照水密度理論，水的密度在 4℃時最大，溫度低的水應該會在上方，並且先從上方開始結冰，但用家用冰箱時，因為無論是壁冷式或氣冷式冰箱，都從四週開始降溫，造成容器內水結成冰的過程，形成外冷內熱逐漸結冰的情形，水中空氣被迫集中在某處。另，鋼杯因溫度的傳導速度較快，水溫較能一致性下降，所以氣泡多集中在下層；底面積較大的容器，受冷情形較為平均，氣泡也多集中在下層。

四、在家製作透明冰的會遇到那些困難？

現代冰箱多有專門製冰設備，以急速冷凍製造冰塊，冰塊則呈現霧狀；若以傳統方式製冰，家中冰箱東西較多，雖以煮沸後的冷開水製造冰塊，有可能因原水的水質不良影響製冰，也可能因倒水時混入過多空氣而影響製冰。

玖、結論

- 一、冰塊內氣泡變化不因水溫、水量及盛裝容器的材質而有差異。
- 二、冰塊內白色氣泡多寡，與冰凍時間有關，急凍下的冰塊，白色氣泡滿布冰塊中。
- 三、冰塊內的白色氣泡與水中雜質有關，TDS 值約高，水中純度越低，冰塊越容易出現較多的白色氣泡。

壹拾、後續研究與建議

- 一、白色氣泡多寡與水中雜質有關，除用 TDS 棒基礎檢測外，若未來要用水質研究冰塊與氣泡的關係，可考慮使用溫泉水等礦物質高的水，或是調查台灣地區硬水區及軟水區的自來水結冰後的差異。
- 二、排除水質影響，可建議使用過濾水或純水進行減少冰塊中氣泡的實驗。
- 三、實驗過程減少外來空氣或容器內部空氣的干擾，可考慮（1）裝滿至少 90%的水，（2）用保鮮膜覆蓋瓶口；（3）將水倒入容器時，建議用玻棒輔助，緩緩將水注入容器中，再靜置一日；（4）將水煮沸，冷卻靜置後實驗。
- 四、本次實驗雨水雖因天候因素及 TDS 值不穩定，選擇在實驗過程中排除，但雨水是值得未來探討的方向。
- 五、本次研究從冬季實驗到夏季，發現冰塊實驗有季節性差異，夏季水溫較高需結凍時間較長，觀察時融化較迅速。大台北地區的過濾水或自來水，在雨水較充足的冬季，TDS 值較低(約 36ppm)；夏季或雨量不足的時節，TDS 值較高(約 48ppm)。

壹拾壹、參考資料

- 一、陳怡璇（2016）。搞怪 Why 博士：29 個生活科學實驗。康軒出版社。
- 二、鄭永銘(民 104 年 9 月 25 日)。跟著鄭大師玩科學：透明冰。取自 <https://www.masters.tw/60341/cleanice>。
- 三、SOFTU（民 104 年 7 月 12 日）。壹讀：水質監測，TDS 靠譜嗎？取自 <https://read01.com/zh-tw/yoJaB.html#.WYL806czZPa>。

【評語】 080118

此作品的研究主題具有相當趣味性，對日常生活中常見的現象，去作實驗並了解其成因，此相當符合科學研究的精神，值得鼓勵。實驗變因豐富，若能對有些變因的操控能再嚴謹些，必會成為質感更好的研究小品。

摘要

本研究探討影響冰塊中氣泡變化的因素，探究溫度、時間及水質三項因素，對冰塊顏色、氣泡大小、氣泡位置及氣泡多寡的影響，實驗結果發現：一、冰入時的水溫越高，冰塊氣泡越少。二、水的結冰時間越久，冰塊氣泡越小。三、經過急速冷凍的水，冰塊皆呈現乳白色，氣泡散布整個冰塊。四、以經過處理過的水為實驗水種，水的TDS值越高，冰塊中氣泡越多。

壹、研究動機

一、動機說明

三年級的時候學過水的三態變化，並在同學介紹下看了「搞怪WHY博士？」這本書，書中介紹如何製造沒有氣泡的冰塊，於是上網查透明冰資料，回家觀察家用冰箱所製作的冰塊，發現冰塊內會有一些白色氣泡，由於我們很好奇這些氣泡的成因，想了解製冰過程中，冰塊中的氣泡變化是否與水溫、水量、裝水的容器或是結冰的時間長短等因素有關？希望透過觀察冰塊中氣泡的變化，也能了解氣泡與冰塊衛生的關係，進而形成簡易檢測冰塊衛生的參考。

二、相關教學單元

三年級自然與生活科技(翰林版)第二單元水的變化。

貳、研究目的與探討

本研究探討影響冰塊中氣泡變化的因素，探究溫度、時間及水質三項因素，對冰塊顏色、氣泡大小、氣泡位置及氣泡多寡的影響。探討內容如下：

- 一、探討不同水溫的水是否對冰塊與氣泡有所影響？
- 二、探討不同材質裝盛容器是否對冰塊與氣泡有所影響？
- 三、探討急速冷凍與一般冷凍的冰塊是否有不同的冰塊及氣泡樣貌？
- 四、探討不同水量的水是否因結冰時間不同而有不同的冰塊及氣泡樣貌？
- 五、探討水的種類不同，是否因水質對冰塊與氣泡有所影響？
- 六、探討不同TDS值的混合液，是否因水質不同對冰塊與氣泡有所影響？

參、研究設備及器材









一、研究材料：

自來水、逆滲透水、礦泉水、過濾水、雨水、蒸餾水。

二、實驗實作設備：

				
家用冰箱	急速冷凍冰箱	寶特瓶	鋼杯	紙杯

三、記錄測量工具

			
冰箱專用溫度計	一般溫度計	電子溫度計 (探針式)	
			
TDS 棒 (水質檢測儀)	量筒	量杯	自製九宮格
			
手機微焦鏡頭	手機(拍照)	相機	

肆、研究過程或方法

一、文獻探討：

(一)TDS值：TDS (Total Dissolved Solids)：是指溶解性固體總量，測量單位為ppm或毫克／升 (mg/L)。TDS值越高，表示水中含有的雜質越多，水中全部溶質的總量包括無機物和有機物兩者的含量。本研究使用ppm為測量單位。

(二)溶質：溶液中被溶劑溶解的物質。溶質可以是固體（如鹽或糖）、液體(如酒精)或氣體(如碳酸飲料中的二氧化碳)。其實在溶液中，溶質和溶劑只是一組相對的概念，相對較多的那種物質稱為溶劑，而相對較少的物質稱為溶質。

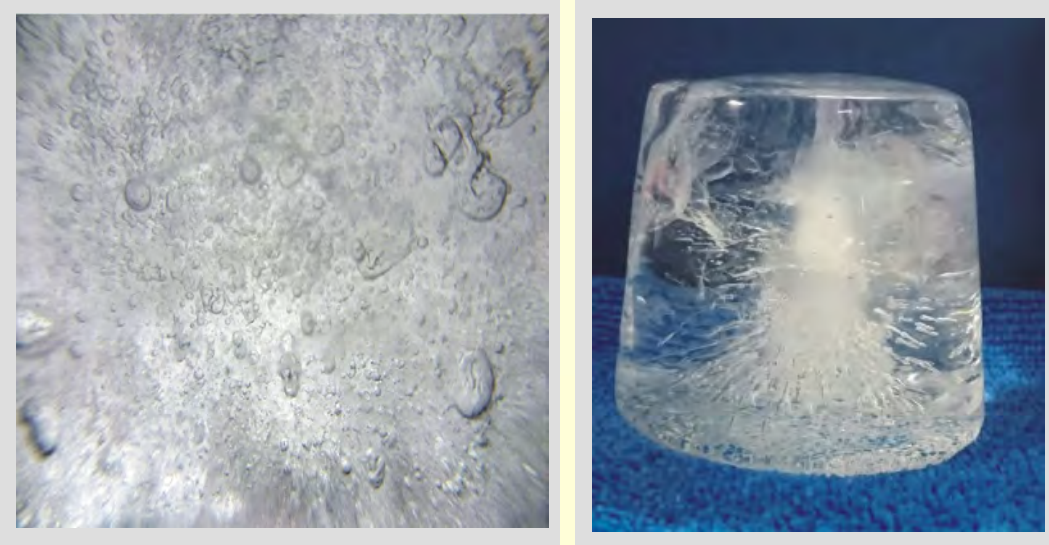
(三)TDS值與水質的關係：TDS筆的原理是利用電極檢測水的導電性來判斷水的純度，水因為有這些可溶解水的雜質，讓水產生導電性，導電性越好，TDS值越高，表示水中的雜質越多，水的純度越低；反之，TDS值越低，水質則越純。但TDS筆只能監測水中的可導電物質，不能檢測細菌、病毒、微生物等物質，所以TDS數值僅作為參考，不能作為水質唯一檢驗標準。

二、實驗方法

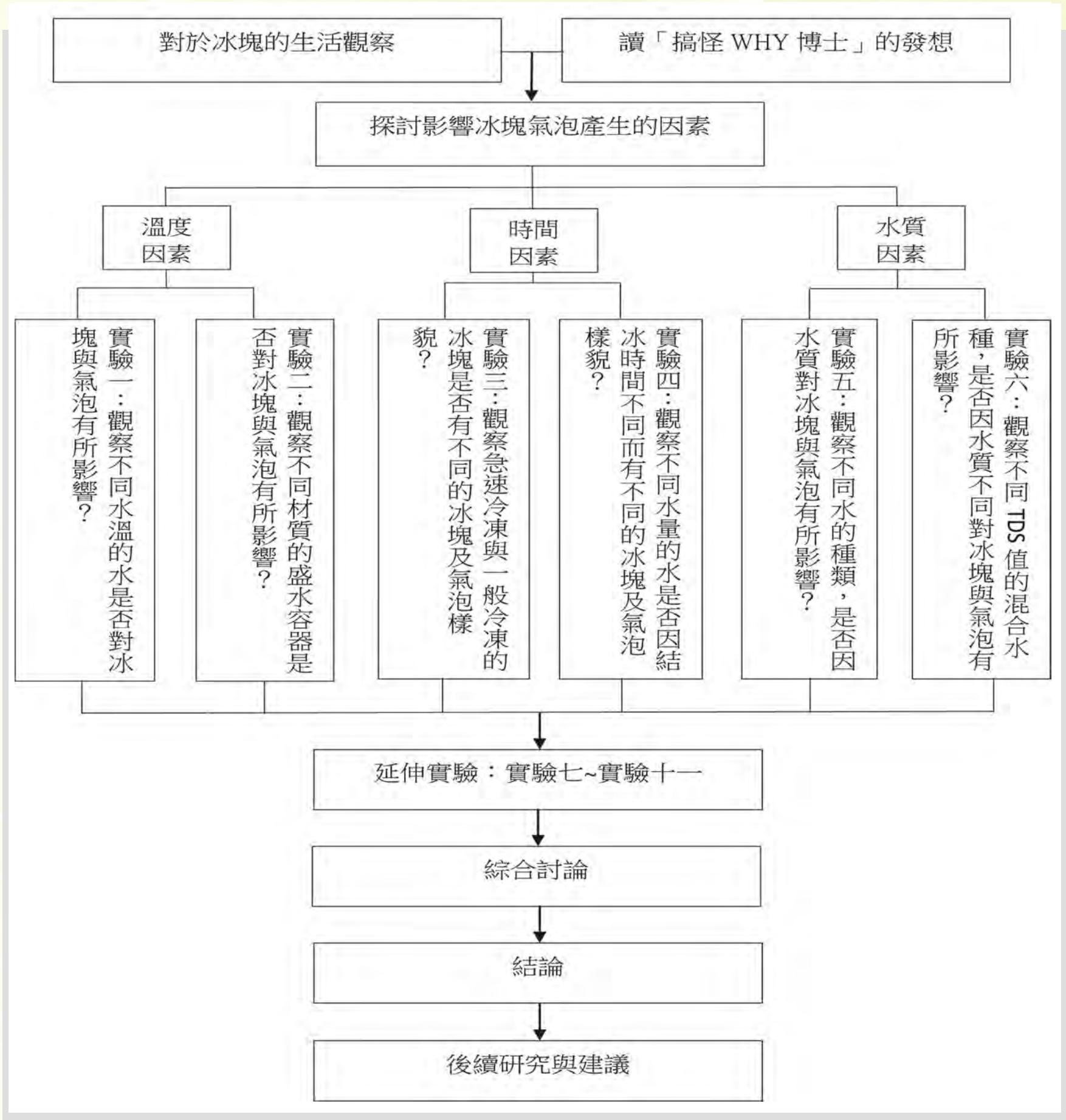
透過手機微焦鏡頭觀察冰塊的白色部分，發現是由許多細小的孔洞組成（如右圖），在光線的散射下呈現白色。由於水在冰凍過程中會排除水之外的物質，例如溶在水裡的空氣或是雜質，同時水結冰的過程中，有些空氣來不「跑」掉而被凍在冰塊裡。因此，白色氣泡產生的原因可能是：(一)溶在水裡的空氣變成了冰塊中的氣泡。(二)冰凍過程，氣泡來不及跑掉。(三)結凍過程中所排出的水中雜質。

在搞怪WHY博士書中提及較容易製作出透明冰的方法是把水燒開，也就是使用煮沸過的水，透過煮沸過程，開著水壺蓋讓水繼續沸騰一段時間，盡量減少水中空氣以及雜質。我們使用水質檢測棒作為水質檢測工具，先使用蒸餾水(0ppm)進行觀察水所結成的冰仍有白色氣泡存在(如圖)。

從上述原因進行實驗設計，以水溫、結冰時間、水量、水的種類、水質以及盛水容器六個實驗變項，觀察水結冰後的氣泡變化，記錄冰塊顏色、氣泡位置、氣泡大小、氣泡多寡，瞭解冰塊氣泡變化與水的關係。



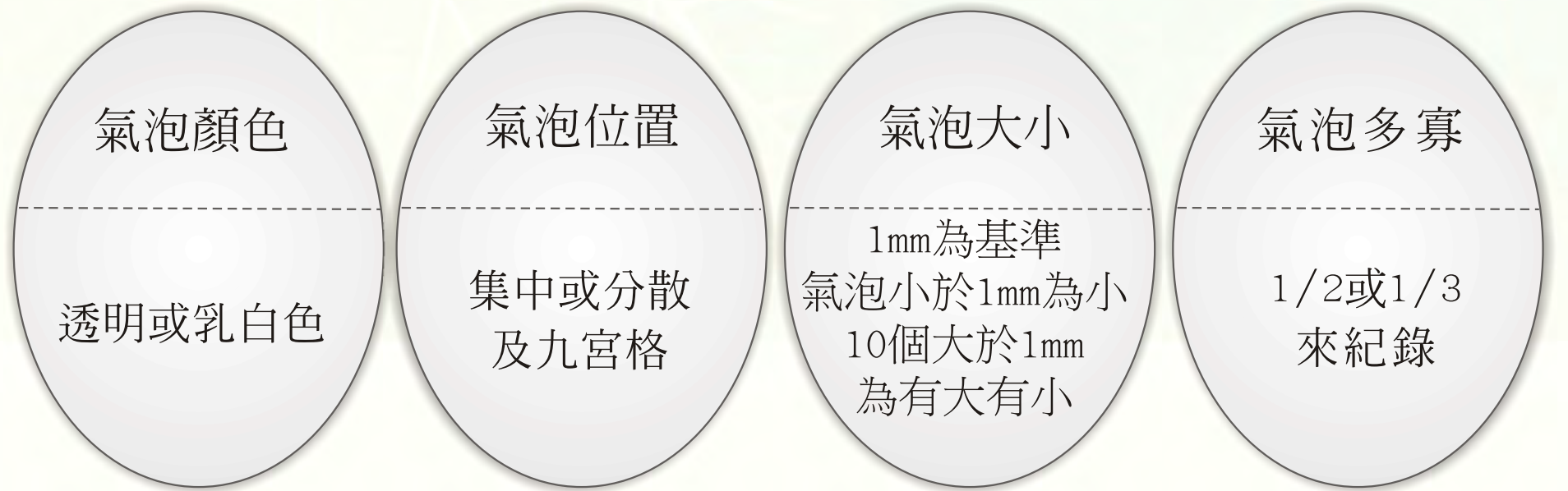
三、研究架構：



伍、研究結果

一、實驗方法：從水溫、盛水容器、結冰時間、水量、水的種類、水中添加物以及六個實驗變項，觀察水結冰後的氣泡變化，並記錄冰塊顏色、氣泡位置、氣泡大小、氣泡多寡。




二、實驗記錄方式：



實驗一：探討水溫高低是否影響冰塊中氣泡的變化？


(一)第1次實驗：

- 環境設定：過濾水冰入前，冷凍室溫度 -1℃，低溫設定-18℃。
- 實驗步驟：
 - 調出水溫。
 - 以量筒測量150ml水量。
 - 倒入燒杯。
 - 放入冷凍室。
 - 進行實驗觀察。

表一：實驗一 第1次實驗記錄				
項目\水溫	5℃	15℃	40℃	
冰塊顏色	外圍透明，中間有乳白色氣泡。	外圍透明，中間有乳白色氣泡。	外圍透明，中間有乳白色氣泡。	
氣泡位置	集中在中間，周圍的氣泡多。	集中在中間，周圍的氣泡多。	集中在中間，周圍的氣泡多。	
氣泡大小	小	小	小	
氣泡多寡	比 1/2 多	比 1/2 多	約 1/2	
照片				

- 實驗結果：(1)冰塊顏色：水溫越高外層越透明。(2)氣泡位置：大致相同。(3)氣泡大小：全都是小。(4)氣泡多寡：以5℃和15℃最多。

(二)第2次實驗：



表二：實驗一 第2次實驗記錄				
項目\水溫	20℃	40℃	60℃	80℃
冰塊顏色	外圍透明，中間有乳白色氣泡。	外圍透明，中間有乳白色氣泡。	外圍透明，中間有乳白色氣泡。	外圍透明，中間有乳白色氣泡。
氣泡位置	集中在中間，外圍氣泡多。	集中在中間，外圍氣泡不多。	集中在中間，外圍氣泡不多。	集中在中間，外圍氣泡不多。
氣泡大小	小	小	小	小
氣泡多寡	比 1/2 多	比 1/2 少	約 1/2	比 1/3 少
冰入後照片				

- 實驗結果：(1)冰塊顏色：冰塊中間以乳白色為主，水溫越高外層越透明。(2)氣泡位置：大致相同。(3)氣泡大小：全都是小。(4)氣泡多寡：各水溫的冰塊氣泡都小於1mm，只有一兩個大於1mm但都不到十個。以5℃和15℃最多，80℃最少。
- 實驗結論：實驗一經由第1次實驗、第2次實驗的結果，我們發現水溫和冰塊顏色、氣泡位置沒有太大的關聯。進入冷凍室21小時及24小時的冰塊，冰塊氣泡都小於1mm，發現冰入前水的溫度越高，結冰後氣泡越少，而且不可使用玻璃，會爆掉。
- 新學習與新發現：我們發現：(1)結冰時間愈久，冰就越透明。(2)水溫和氣泡位置沒有太大的關聯。(3)溫度只差10度幾乎看不出變化。


實驗二：探討盛裝水的容器材質是否影響冰塊中氣泡的變化？

(一)第1次實驗

- 環境設定：過濾水冰入前，冷凍室溫度-1℃，低溫設定-18℃。
- 實驗過程：(1)選擇布丁盒、鋼杯及塑膠製冰盒三樣常見但材質不同的容器來盛裝水。(2)三種容器各盛裝150cc的過濾水，同時放入冰箱冷凍室。(3)過24小時後同時取出，觀察冰塊的氣泡變化。

表三：實驗二 第1次實驗記錄			
項目\種	布丁盒	鋼杯	一般製冰盒
冰塊顏色	四週透明，中間有白色氣泡	四週透明，中間有白色氣泡	四週透明，中間有白色氣泡
氣泡位置	部分散	集中在下方	集中在下方
氣泡大小	有大大小小	有大大小小	小
氣泡多寡	比 1/2 多	比 1/2 多	約 1/2
照片			

- 3.實驗結果：(1)冰塊顏色：冰塊顏色透明，不因容器不同而有變化。(2)氣泡位置：用鋼杯及製冰盒為容器的冰，氣泡多集中在下方，冰塊呈現下面乳白色冰上面透明冰的情形。用布丁盒為容器的冰塊，則呈現白色氣泡則分散在冰塊中(3)氣泡大小：用鋼杯及製冰盒為容器的冰塊，氣泡較小。用布丁盒為容器的冰塊，冰中氣泡有大有小。(4)氣泡多寡：各項容器的白色氣泡皆佔冰塊體積的二分之一以上，不因容器不同而有變化。
- (二)第2次實驗：在第二次實驗時，選擇都是圓柱形的容器，容器材質分別為塑膠類的寶特瓶、金屬類的鋼杯、以及紙類的紙杯，統一過濾水水量為150ml。記錄方式增加九宮格記錄氣泡位置。
- 1.環境設定：冰入前，室溫18℃，冷凍室溫度-1℃，低溫設定-18℃。



表四：實驗二 第2次實驗記錄									
項目\種	布丁盒			鋼杯			紙杯		
冰塊顏色	四週透明，中間有白色氣泡			四週透明，中間有白色氣泡			四週透明，中間有白色氣泡		
氣泡位置 (九宮格記錄)	1	2	3	①	②	3	①	2	3
	4	⑤	6	4	⑤	⑥	④	⑤	6
	⑦	⑧	⑨	7	⑧	⑨	⑦	⑧	9
氣泡大小	有大有小			有大有小			有大有小		
氣泡多寡	比 1/3 少			比 1/2 多			比 1/2 多		
照片									

- 2.實驗結果：(1)冰塊顏色：冰塊顏色透明，不因容器不同而有變化。(2)氣泡位置：在九宮格有不同的氣泡位置分布，冰塊由下方結凍至上方，底部有一層薄冰。(3)氣泡大小：各材質容器的冰塊都有大氣泡與小氣泡。(4)氣泡多寡：氣泡由多到少分別為鋼杯、紙杯、寶特瓶。
- (三)實驗結論：實驗二經由第1次實驗、第2次實驗的結果，我們發現**容器形狀及材質和冰塊顏色、氣泡位置沒有太大的關聯，水從受冷處開始結冰，推論氣泡位置可能與冰箱擺放位置相關。屬於金屬材質的鋼杯溫度傳導速度較快，氣泡較多。**

實驗三：探討結冰時間是否影響冰塊中氣泡的變化？

(一)第1次實驗

- 1.環境設定：冰入前，室溫17℃，冷凍室溫度-1℃。
- 2.實驗過程：(1)蒐集實驗的材料：冰箱溫度計、礦泉水、純水、布丁花型杯、果凍圓弧型杯。(2)一般冷凍：①一般冷凍低溫設定-18℃。②選擇布丁杯、果凍杯、寶特瓶三種容器各盛裝150cc的純水，同時放入冰箱冰凍室。③經過20小時取出觀察。(3)急速冷凍：①急速冰箱低溫設定 -40℃，在冰前1個小時預冷運轉。②上述三種容器分成二組(一層放三件)，分別放置中層及下層進行實驗。③經過2小時取出觀察。

種	一般冷凍	急速冷凍
項目		
冷凍室溫度	-18℃	- 40℃
結凍時間	20 小時	2 小時
冰塊顏色	透明冰，像水晶	呈現乳白色
氣泡位置	氣泡在 中間較多	佈滿氣泡
氣泡大小	有大有小	極小
氣泡多寡	很多，超過 1/2	密集，超過 1/2
圖片		

- 3.實驗結果：(1)冰塊顏色：急速冷凍的冰塊為乳白色，一般冷凍的冰塊較為透明。(2)氣泡位置：急速冷凍的冰塊氣泡分布整個冰塊中。(3)氣泡大小：急速冷凍的氣泡小而密集，一般冷凍的冰塊氣泡有大有小。(4)氣泡多寡：冰塊氣泡都比1/2多。同室溫且同水量下，急速冷凍2小時就能結冰，一般冷凍則需要20小時。一般冷凍的冰塊冰塊光亮透明，並且很多細長的放射線，伴著氣泡好像是開了一朵花般的美麗。急速冷凍冰塊外表結了很多的霜可擦掉，冰塊是混濁的乳白色，上方出現冰凸現象，冰塊稍微互撞就碎裂。

(二)第2次實驗

- 根據第1次實驗結果，急速冷凍2小時與一般冷凍20小時的冰塊顏色、氣泡位置不同，但氣泡多寡與氣泡大小差異不大。從急速冷凍2小時冰塊的冰裂現象，推測冷凍時間已超過水剛好的結冰時間很久，於是增加急速冷凍1.5小時一般冷凍8小時 實驗項目觀察不同結冰時間的氣泡情形，使用過濾水，盛裝容器皆為寶特瓶。
- 1.實驗過程：(1)一般冷凍：①把容器倒入150ml的過濾水，並測水溫。②用冰箱溫度計測冷凍室溫度，最後溫度為-18℃。③放入家用冰箱。分別放置8小時及15小時後取出觀察，並使用九宮格記錄氣泡位置。(2)急速冷凍：①設定急速冷凍冰箱冷凍室溫度。②把容器倒入150ml的過濾水，並測水溫。③放入急速冷凍冰箱。④分別放置1.5小時及2小時後取出觀察，並使用九宮格記錄氣泡位置。





種	急速冷凍						一般冷凍			
項目							20℃		20℃	
冰入前水溫	22℃						-18℃		-18℃	
冷凍室溫度	-38℃						15 小時		8 小時	
結凍時間	2 小時		1.5 小時							
冰塊顏色	乳白色			乳白色			上面透明冰，中間一球狀和底部乳白色露露的		上面透明冰，中間一球狀和底部乳白色露露的	
氣泡位置	①	②	③	④	⑤	⑥	1	2	3	
	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	4	5	⑥	⑦
	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑦	⑧	⑨	⑩
氣泡大小	小		小				有大有小		有大有小	
氣泡多寡	比 1/2 多		比 1/2 多				約 1/2		比 1/2 少	
圖片										

- 2.實驗結果：(1)冰塊顏色：一般冷凍的冰塊以透明冰為主，中間有白色氣泡；急速冷凍的冰塊為乳白色。(2)氣泡位置：一般冷凍的氣泡集中在冰塊中間，最下方結了一層冰；急速冷凍的氣泡分布全部冰塊，但中間氣泡顏色更白。(3)氣泡大小：一般冷凍的氣泡有大有小，以小氣泡較多，冰凍8小時的冰塊大氣泡最多；急速冷凍的冰塊氣泡全都小於1mm。(4)氣泡多寡：時間少氣泡多。
- (三)實驗結論：實驗三經由第1次實驗、第2次實驗的結果，我們發現：
- 1.冰塊內的氣泡多寡、氣泡大小與容器形狀相關性不高，與實驗二的結論相同。
- 2.在冷凍室清空的情形下，約略測出 150CC 的水在一般冷凍（低溫設定-18℃）的結凍時間約15小時左右，急速冷凍(低溫設定-40℃)的結凍時間約1.5小時左右。
- 3.**結冰時間影響冰塊顏色，急速冷凍的冰塊整體是乳白色，氣泡位置散布冰塊各處，推論水在快速結冰時，水中氣泡在短時間內無法被集中或排出，而分散在冰塊中。**
- 4.觀察8小時、15小時及20小時**一般冷凍的冰塊氣泡中發現，隨著冰凍時間的越長，氣泡越少。**

實驗四：探討水量多寡是否影響冰塊中氣泡的變化？

(一)第1次實驗

- 1.環境設定：過濾水冰入前，室溫20℃，冷凍室溫度-1℃，低溫設定-18℃。
- 2.實驗過程：(1)使用5瓶寶特瓶。(2)用量杯裝水，分別倒入100ml、150ml、200ml、250ml、300ml的過濾水，並測水溫。(3)貼上標籤。(4)測量冰入前冰箱溫度。(5)將5瓶水冰入冷凍庫中。(5)放置20小時後取出觀察。


表七：實驗四 第1次實驗記錄									
項目\水量	100 ml	150 ml	200 ml	250 ml	300 ml				
冰塊顏色	外圍透明，中間有乳白色氣泡。		外圍透明，中間有乳白色氣泡。		外圍透明，中間有乳白色氣泡。		外圍透明，中間有乳白色氣泡。		
氣泡位置	左邊		中央		左上		下方		
氣泡大小	有大有小		有大有小		有大有小		有大有小		
氣泡多寡	比 1/2 少		比 1/2 少		比 1/2 少		比 1/2 少		
照片									

- 3.實驗結果：(1)冰塊顏色：皆為外圍透明，中間有乳白色氣泡的冰塊不因水量不同而有變化。(2)氣泡位置：此次實驗沒有固定的氣泡位置分布，但氣泡多在冰塊中央。(3)氣泡大小：各水量的冰塊呈現都有大氣泡與小氣泡。100cc 水量的冰塊中比1mm大的氣泡超過10個，其他水量的冰塊中氣泡則是有大有小。(4)氣泡多寡：水量約多，氣泡越多，300ml的氣泡最多，冰塊中氣泡有1/2，氣泡最多；少於300ml水量的冰塊中氣泡則都不到1/2，100ml的氣泡最少。

(二)第2次實驗

根據第1次實驗結果，發現水量越多，冰塊內氣泡越多。我們想驗證此項推論，所以進行第2次實驗，將過濾水用輔助吸管更加緩慢注入寶特瓶中，避免空氣因倒水過程溶入水中，並水量調整為100ml、200ml、300ml進行觀察。同時根據實驗三的結果，預估結冰時間取出觀察。

- 1.環境設定：冰入冷凍室前，室溫22℃，冷凍室溫度-2℃，低溫設定-18℃。
- 2.實驗過程：同第1次實驗步驟，分別倒入100ml、200ml、300ml的過濾水，並測水溫。結冰完成後取出觀察，並使用九宮格記錄氣泡位置。

表八：實驗四 第2次實驗記錄									
項目\水量	100 ml			200 ml			300 ml		
結凍時間	7 小時			8 小時			9 小時		
冰塊顏色	以透明冰為主，白色氣泡在中間。			以透明冰為主，白色氣泡不明顯。			以透明冰為主，中間有白色柱狀氣泡。		
氣泡位置	1	2	3	①	②	③	1	②	3
氣泡大小	④	⑤	6	④	⑤	⑥	④	⑤	6
	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	7	⑧	9
	小			有大有小			有大有小		
氣泡多寡	比 1/2 少			比 1/2 多			比 1/2 多		
照片									

- 3.實驗結果：(1)冰塊顏色：外圍透明，中間有乳白色氣泡。(2)氣泡位置：白色氣泡由瓶子底部下方往上延伸。(3)氣泡大小：100ml的冰塊氣泡都小於1mm，其他水量則有大氣泡和小氣泡。(4)氣泡多寡：水量約多，氣泡越多，300ml的氣泡最多，100ml的氣泡最少。

(三)第3次實驗

根據第2次實驗結果，發現水量越多，冰塊內氣泡越多。但第二次的實驗結果，200ml與300ml的冰塊卻和之前的結冰情形有明顯差異。於是決定再進行第三次實驗，實驗過程如第2次實驗，但水量調整為100ml、200ml、300ml、400ml、5001ml進行觀察，並預估結冰時間取出觀察。

- 1.環境設定：冰入前，室溫22℃~23℃，冷凍室溫度-2℃，低溫設定-18℃。

表九：實驗四 第3次實驗記錄															
種	100 ml			200 ml			300 ml			400 ml			500 ml		
項目	結凍時間			冰塊顏色			氣泡位置			氣泡大小			氣泡多寡		
	7.5 小時			8.5 小時			9.5 小時			10.5 小時			11.5 小時		
	以透明冰為主，白色氣泡在中間。			以透明冰為主，白色氣泡在中間。			以透明冰為主，中間有白色柱狀氣泡。			以透明冰為主，中間有白色柱狀氣泡。			以透明冰為主，中間有白色柱狀氣泡。		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	4	⑤	⑥	4	⑤	⑥	4	⑤	⑥	4	⑤	⑥	4	⑤	⑥
	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨
	小			小			有大有小			有大有小			有大有小		
	比 1/2 少			比 1/2 少			比 1/2 多			比 1/2 多			比 1/2 多		
照片															

- 2.實驗結果：(1)冰塊顏色：皆為外圍透明。(2)氣泡位置：白色氣泡由瓶子底部下方向上延伸，300ml、400ml、500ml，都形成白色氣泡柱。(3)氣泡大小：100ml和200ml的冰塊氣泡都小於1mm，其他則是有大氣泡和小氣泡，500ml的大氣泡最多，最大的氣泡超過2mm。(4)氣泡多寡：水量越多，氣泡越多，500ml的氣泡最多，100ml的氣泡最少。

(四)實驗討論：

- 1.從實驗四的3次實驗結果，我們發現**(1)冰塊顏色、氣泡位置與大小與水量無明顯關聯。(2)水量越多，冰塊內氣泡越多。**
- 2.根據實驗三的結果，**冰凍時間越長，氣泡越小，但實驗四較多水量的實驗組呈現較多大氣泡，推論與結冰時間有關。**
- 3.**柱狀氣泡的產生，可能與容器形狀相關**(此實驗為瘦長型容器)。

實驗五：探討水的種類是否影響冰塊中氣泡的變化？

(一)實驗過程：

- 1.蒐集實驗材料：經同組夥伴討論後決定使用生活易取得的自來水、礦泉水、過濾水、RO逆滲透水為實驗水種，進行實驗時正逢北部連續大雨（107年1月初），再增加雨水為實驗項目。實驗容器為瓶身平整無紋路便於觀察的寶特瓶。
- 2.實驗步驟：






實驗步驟	實驗材料	實驗結果
蒐集雨水(107.1.8)	貼上標示	將測量 150ml 的水倒入瓶中
-18℃，冰 20 小時的結果	觀察冰塊中的氣泡	記錄觀察情形
小組討論：認識冰箱溫度計	實際操作冰箱溫度計	小組討論：冰塊氣泡觀察

(二)第1次實驗：

- 1.環境設定：冰入前，測得當時冷凍室溫度 -10.55℃，低溫設定-18℃。
- 2.實驗步驟：同上述步驟，冰凍8小時後取出觀察，發現結冰未完成，無法觀察。

(三)第2次實驗：

- 1.環境設定：冰入前，冷凍室溫度-1℃，低溫設定-18℃。
- 2.實驗步驟：同第1次實驗步驟，放置20小時後取出觀察。

表十：實驗五 第2次實驗記錄									
項目\水種	礦泉水	過濾水	自來水	RO 逆滲透水	雨水				
冰入前水溫	16℃	18℃	16℃	16℃	17℃				
TDS	51ppm	40 ppm	39 ppm	4 ppm	3 ppm				
冰塊顏色	乳白色	外面透明，中間有一圈乳白色的氣泡。	中間有一圈乳白色的氣泡。	外面透明，中間有一圈乳白色的氣泡。	乳白色為主，但比較多空隙。				
氣泡位置	氣泡分散	氣泡集中在中下方。	氣泡集中在中間，周圍含有一些氣泡。	氣泡集中在中間，周圍有需多分散氣泡。	氣泡集中在上方，透明冰中有氣泡分散。				
氣泡大小	小	小	小	小	小				
氣泡多寡	比 1/2 多	比 1/2 少	約 1/3	約 1/3	比 1/2 多				
照片									


- 3.實驗結果：(1)冰塊顏色：TDS值越高，冰塊顏色越混濁，礦泉水冰塊顏色是乳白色，TDS數值越小，冰塊越透明，氣泡越少。(2)氣泡位置：氣泡位置不因水質不同而有任何顯著變化。(3)氣泡大小：五種水質結冰後的氣泡都小於1mm。(4)氣泡多寡：礦泉水TDS數值為51ppm，是五種水中最高，結冰後的氣泡也最多。
- 4.其他觀察：(1)礦泉水與雨水的冰塊氣泡觀察結果相似，但無法解釋TDS數值差異。(2)TDS數值接近的自來水(39PPM)和過濾水（40PPM）

- 3.實驗結果：(1)冰塊顏色：TDS數值越高，冰塊越透明。(2)氣泡位置：氣泡位置不因水質不同而有任何顯著變化。(3)氣泡大小：五種水質經20小時結冰後的氣泡都小於1mm。(4)氣泡多寡：礦泉水的TDS數值為51ppm，是五種水中最高，結冰後的氣泡最多，RO逆滲透水，結冰後的氣泡最少。

(四)第4次實驗

由於第2次實驗與第3次實驗結果，礦泉水的冰塊不一致，爲了更進一步確認實驗五觀察結果的一致性，排除雨水項目後，依第3次實驗步驟方式進行。

- 實驗步驟：同第3次實驗。

表十二：實驗五 第4次實驗記錄												
水種	礦泉水			過濾水			自來水			RO 逆滲透水		
項目	礦泉水			過濾水			自來水			RO 逆滲透水		
冰入前水溫	13℃			14℃			14℃			15℃		
冰入前冰箱溫度	-2℃			-2℃			-2℃			-2℃		
TDS	51ppm			37 ppm			36 ppm			3ppm		
冰塊顏色	冰塊上方透明，中下方有圓乳白色的氣泡。			外面透明，中下方有圓乳白色的氣泡。			外面透明，左下角有圓乳白色的氣泡。			幾乎完全透明，中右下方有些乳白色氣泡。		
氣泡位置	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
氣泡大小	小			小			小			小		
氣泡多寡	比 1/2 多			比 1/2 少			比 1/2 少			比 1/3 少		
照片												

- 實驗結果：觀察結果與第3次實驗相似。

(五)實驗結論：

- 除雨水外，其他四種水的冰塊顏色、氣泡位置與大小不因水質而有顯著改變。
- 過濾水與自來水TDS質相近，冰塊氣泡結果也相近只有氣泡位置不同。
- TDS值最高的礦泉水氣泡最多，TDS值最低的RO水氣泡最少。
- 雨水的TDS值比較低，冰塊顏色是乳白色、氣泡最多及散布全部冰塊與其他水種的實驗結果不同。





實驗六：探討不同TDS值的混合液，是否因水質不同對冰塊與氣泡有所影響？

- (一)設計概念：實驗五的實驗結果TDS數質最高的水質，結冰後、氣泡也最多。我們希望更了解TDS值與冰塊中氣泡的關係，於是設計由實驗五TDS值最高的礦泉水與TDS值最低的RO逆滲透水進行混合，藉由觀察不同比例的混合液的冰塊變化，進一步驗證實驗五的結論。

(二)第1次實驗：

- 環境設定：冰入前，測得當時冷凍室溫度-2℃，冷凍室設定爲-18℃。
- 實驗過程：(1)材料準備：600ml礦泉水，600mlRO逆滲透水。(2)用量杯調配四種150ml的混和液，分別爲：120ml礦泉水混合30ml RO逆滲透水、90ml礦泉水混合60ml RO逆滲透水、60ml礦泉水混合RO90ml逆滲透水、30ml礦泉水混合120ml RO逆滲透水。(3)測TDS值，及水溫，再貼上標籤。(4)放置冷凍室8小時後取出觀察，用九宮格記錄氣泡分布情形。

表十三：實驗六 第1次實驗記錄

水種	120ml 礦泉水 30ml RO 水	90ml 礦泉水 60ml RO 水	60ml 礦泉水 90ml RO 水	30ml 礦泉水 120ml RO 水
項目	120ml 礦泉水 30ml RO 水	90ml 礦泉水 60ml RO 水	60ml 礦泉水 90ml RO 水	30ml 礦泉水 120ml RO 水
冰入前水溫	21℃	21℃	21℃	21℃
TDS	47ppm	37 ppm	27 ppm	17ppm
冰塊顏色	大部分透明，中間有圓乳白色氣泡，瓶子底部有一層薄冰。	大部分透明，中間有圓乳白色氣泡，瓶子底部有一層薄冰。	大部分透明，中間有圓乳白色氣泡，瓶子底部有一層薄冰。	大部分透明，中間有圓乳白色氣泡，瓶子底部有一層薄冰。
氣泡位置	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3
	⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗
	⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗
氣泡大小	約 1/3	約 1/3	約 1/3 少	約 1/3 少
氣泡多寡	約 1/3	約 1/3	約 1/3 少	約 1/3 少
照片				

- 實驗結果：(1)冰塊顏色和氣泡位置：四種混合溶液觀察結果相似。(2)氣泡大小：四種混和液都有大氣泡和小氣泡。(3)氣泡多寡：TDS值越高，氣泡越多。

(三)第2次實驗：

- 環境設定：冰入前，測得當時冷凍室溫度-1℃，冷凍室設定爲-18℃。
- 實驗結果：(1)冰塊顏色、氣泡位置：六種水質的冰塊皆中間有白色氣泡，四週透明。(2)氣泡大小：六種水質的冰塊都有大氣泡和小氣泡。(3)氣泡多寡：TDS值越高，氣泡越多。

(四)實驗結論

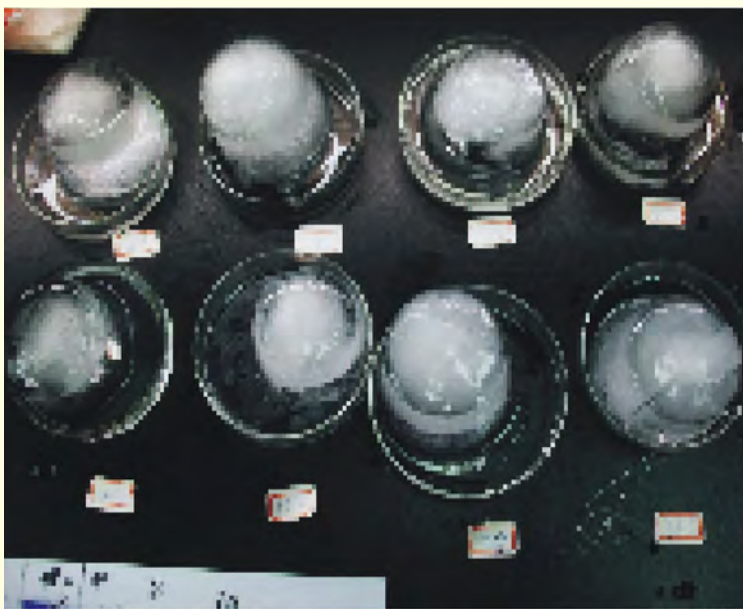
- 冰塊顏色及氣泡位置與氣泡大小：不因水質而有差異，四種混合溶液冰塊的樣態差不多，四種混和液都有大氣泡和小氣泡。
- 氣泡多寡：TDS值越高，氣泡越多，120ml 礦泉水和30ml Ro滲透水的混和液，TDS值最高，氣泡也最多。

陸、延伸實驗

- 設計緣由：根據4/28複審評審現場建議，並與指導教授討論後分別從水溫、時間及水量設計五種實驗，進一步探究冰塊內氣泡的變化。
- 實驗設計

(一)實驗七：煮沸後過濾水水溫實驗



- 待釐清項目：由於煮沸水能排除較多雜質，試比較煮沸水的溫度變化與冰塊內氣泡與未煮沸水的異同。
- 實驗設計：以煮沸的過濾水爲實驗組，實驗步驟同實驗一方式進行。
- 實驗結果與討論：(1)水溫越高，氣泡越少。(2)冰塊顏色、氣泡位置及氣泡大小與水溫變化沒有顯著相關。(3)煮沸的與未煮沸的過濾水，冰塊內氣泡樣態類似。



表十五 實驗七：煮沸後過濾水水溫實驗									
水溫項目	10℃	15℃	20℃	25℃	35℃	40℃	60℃	80℃	
冰塊顏色	中間乳白色氣泡，外圍透明。								
氣泡位置	中下方乳白色氣泡，刺狀氣泡分布外圍。								
氣泡位置	刺狀氣泡較多	刺狀氣泡中等	刺狀氣泡中等	刺狀氣泡中多	刺狀氣泡中多	刺狀氣泡少	刺狀氣泡少	刺狀氣泡少	
氣泡大小	小	小	小	小	小	小	小	小	
氣泡多寡	比 1/2 多	比 1/3 多	比 1/2 多	比 1/2 多	比 1/2 多	約 1/2	比 1/2 少	比 1/3 少	
備註	有冰裂	有冰裂	有冰裂	有冰裂	有冰裂	有冰裂	有冰裂	有冰裂	

(二) 實驗八：不同水量的急速冷凍實驗

- 待釐清項目：實驗四實驗結果「500ml的水量較多，需結冰時間較長，氣泡較多。」與實驗三實驗結果「急速冷凍的冰塊氣泡最多」實驗結果矛盾需再釐清。
- 實驗設計：(1)實驗步驟同實驗三方式進行，設計200ml、300ml及500ml三種水量的2小時急速冷凍實驗。(2)環境設定：冰入前，室溫28℃，低溫設定-40℃。

表十六 實驗八：不同水量的急速冷凍實驗												
種	200 ml			300 ml			500 ml					
項目	乳白色			乳白色			冰塊下方及上方爲乳白色，中間爲透明冰。					
氣泡位置	①	②	③	①	②	③	①	②	③			
	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥			
氣泡大小	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨			
	⑩	⑪	⑫	⑩	⑪	⑫	⑩	⑪	⑫			
氣泡大小	小			小			有大有小					
氣泡多寡	比 1/2 多			比 1/2 多			約 1/2					
照片												
備註	與實驗三結果相同			與實驗三結果相同			與實驗三結果不同					

- 實驗結果與討論：(1)冰塊顏色、氣泡位置、氣泡大小、氣泡多寡：200ml、300ml的實驗結果與實驗三所有的急速冷凍冰塊相同。(2)500ml的結冰情形發現水由上層及下層開始受冷結冰，並以下層結冰爲主；冰塊顏色以乳白色居多，中間出現透明冰，且有超過2mm的氣泡，推測冰中含水量仍高，若繼續增加急速冷凍時間，可能與實驗三結果相同。(3)水量越多，冰塊內氣泡越多，需要完全結凍的時間也越長。

(三) 實驗九：不同水種急速冷凍實驗

- 待釐清項目：不同水種的冰塊是否因冷凍時間而有差異（實驗三及實驗五比較）。
- 實驗設計：實驗步驟同實驗三方式進行，設計煮沸水、自來水、礦泉水、過濾水、RO逆滲透水的急凍實驗。(2)環境設定：冰入前室溫23℃，低溫設定-40℃。

表十七： 實驗九 不同水種急速冷凍實驗															
水種	礦泉水			過濾水			常溫煮沸水			自來水			RO 逆滲透水		
項目	礦泉水			過濾水			常溫煮沸水			自來水			RO 逆滲透水		
TDS	51ppm			48 ppm			48 ppm			47ppm			3ppm		
冰塊顏色	乳白色			乳白色			乳白色			乳白色			乳白色		
氣泡位置	①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③
	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥	④	⑤	⑥
	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨	⑦	⑧	⑨
氣泡大小	小			小			小			小			小		
氣泡多寡	比 1/2 多			比 1/2 多			比 1/2 多			比 1/2 多			比 1/2 多		
照片															

- 實驗結果與討論：(1)冰塊顏色：五種水皆爲乳白色，顏色深淺以TDS值51ppm的礦泉水最深，TDS值3ppm的RO水最淺。(2)氣泡位置及大小：五種水結果相似。(3)氣泡多寡：TDS值51ppm的礦泉水最TDS值3ppm的RO水最淺。(4)不同水種的冰塊氣泡，冰塊顏色有明顯差異，TDS值越低的冰塊顏色透明部分越多，氣泡較少。


(四) 實驗十、十一：氣泡柱成因探討實驗

- 待釐清項目：探討實驗四從300ml產生氣泡柱的原因，釐清氣泡柱與水量或容器形狀的相關性。
- 實驗設計：(1)實驗十：以300ml過濾水對照組，進行同水量，不同水位實驗。(2)實驗十一：以300ml過濾水對照組，進行同水位不同水量實驗。
- 實驗步驟：使用實驗四300ml相同寶特瓶爲對照組(底面直徑爲6公分圓柱)，分別使用底面直徑9公分、12公分的塑膠材質容器。使用過濾水(TDS值48)。(1)實驗十：用量杯測量300ml過濾水水量，分別倒入容器中。(2)實驗十一：以300ml寶特瓶爲水位高度基準，分別注入相同高度的過濾水。(3)將實驗十、實驗十一的實驗體同時冰入冷凍室27小時後取出觀察。
- 環境設定：冰入前水溫26℃，冷凍室溫度-1℃，低溫設定-18℃。

表十八 實驗十：同300ml水量，不同水位高度

項目	底面直徑	6cm	9cm	12cm
冰塊顏色	中下方乳白色氣泡，刺狀氣泡分布外圍。			
氣泡位置	刺狀氣泡最多	刺狀氣泡最多	刺狀氣泡最多	刺狀氣泡最少
	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3
	⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗
氣泡大小	刺狀氣泡較多，超過1mm的氣泡最多。	有大有小	有大有小	有大有小
	約 1/3	約 1/3	約 1/3	約 1/3
氣泡多寡	約 1/3	約 1/3	約 1/3	約 1/3
氣泡柱高度	約 7 公分	約 4-5 公分	約 2 公分	
照片				

表十九 實驗十一：同300ml水位高度，水量不同

項目	底面直徑	6cm	9cm	12cm
冰塊顏色	中下方乳白色氣泡，刺狀氣泡分布外圍。			
氣泡位置	刺狀氣泡最多	刺狀氣泡最多	刺狀氣泡最多	刺狀氣泡最少
	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3
	⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗	⊗ ⊗ ⊗
氣泡大小	刺狀氣泡較多，超過1mm的氣泡最多。	有大有小	有大有小	有大有小
	約 1/3	約 1/3	約 1/3	約 1/3
氣泡多寡	約 1/3	約 1/3	約 1/3	約 1/3
氣泡柱高度	約 7 公分	約 8 公分	約 7 公分	
照片				

- 實驗結果與討論：(1)實驗十：冰塊顏色、氣泡位置、氣泡多寡不因不同水位有變化，氣泡柱在高水位容易出現。(2)實驗十一：冰塊顏色、氣泡位置不因不同水量有變化。水位高度相同，氣泡柱的形狀皆類似角錐且高度差異不大，顯示氣泡柱產生與容器形狀相關性低。(3)從實驗十、實驗十一發現：水量越多，結冰時間越長；容器底面積較小，水位較高，容易產生氣泡柱。容器直徑越大，氣泡柱底橢圓形面積越大。

柒、綜合討論

一、討論水在急速冷凍的冰塊及氣泡樣貌與一般冷凍的差異性

水經過急速冷凍後，冰塊呈現乳白色霧狀，冰塊 內全部都是 氣泡，可能與急凍下的水中空氣來不及排出，使冰塊呈現霧狀，有時因水結成冰時有小破口，讓空氣迅速竄脫，因此有時會出現冰突。一般冷凍的冰塊，除白色氣泡外還有許多放射狀氣泡，看出空氣在水結凍過程中跑掉的痕跡。

二、不同水質所產生的冰塊，其冰塊氣泡與TDS的關係

本次實驗採用五種水，其中礦泉水的TDS值高於50ppm，冰塊中的氣泡也最多本次研究中發現TDS值高於50ppm的水所製成的冰，白色氣泡在冰塊總體積的比例較大。

三、用家用冰箱進行結冰實驗時，爲什麼氣泡幾乎都會集中在中間附近？

按照水密度理論，水的密度在4℃時最大，溫度低的水應該會在上方，並且先從上方開始結冰，但用家用冰箱時，因爲無論是壁冷式或氣冷式冰箱，都從四週開始降溫，造成容器內水結成冰的過程，形成外冷內熱逐漸結冰的情形，水中空氣被迫集中在某處。另，鋼杯因溫度的傳導速度較快水溫較能一致性下降，所以氣泡多集中在下層；底面積較大的容器，受冷情形較爲平均，氣泡也多集中在下層。

四、在家製作透明冰的會遇到那些困難？

現代冰箱多有專門製冰設備，以急速冷凍製造冰塊，冰塊則呈現霧狀若以傳統方式製冰，家中冰箱東西較多，雖以煮沸後冷開水製造冰塊，有可能因原水水質不良影響製冰，也可能因倒水時混入過多空氣而影響製冰。

捌、結論

- 冰塊內氣泡變化不因水溫、水量及盛裝容器的材質而有差異。
- 冰塊內白色氣泡多寡，與冰凍時間有關，急凍下的冰塊白色氣泡滿布冰塊中。
- 冰塊內的白色氣泡