

# 屏東縣第 61 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：化學科

組 別：國中組

作品名稱：冰術師-探討 pH 值對溶液結冰時中央氣泡的影響

關 鍵 詞： pH 值 、 中央氣泡 、 臨界酸鹼值（最多三個）

編號： B3025

製作說明：

- 1.說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
- 2.編號：自報名系統報名完取得作品編號後，先填寫回作品封面上，再存成 docx 及 pdf 檔後再上傳。
- 3.封面編排由參展作者自行設計。

## 摘要

我們觀察發現有些溶液結冰時中央有白色氣泡聚集，但有些則呈現整塊氣泡分散的狀態，究竟什麼因素會影響冰塊的氣泡分散或聚集呢？我們查詢資料後發現少有研究針對溶液的酸鹼性對中央氣泡的影響進行探討，因此我們選定這方向進行實驗。

實驗結果顯示：蒸餾水結冰時中央氣泡形狀為倒三角錐形，氣泡多集中在上半部，而酸鹼溶液的中央氣泡則為圓柱形，氣泡多集中在下半部，推論兩者結冰過程不同。

當溶液的  $\text{pH}$  值  $> 2$ ，可以看到中央氣泡聚集的現象，因此我們將  $\text{pH} = 2$  及  $12$  稱為本實驗的“臨界酸鹼值”。其中當  $\text{pH}$  越接近  $7$ ，中央氣泡的體積越小，越接近蒸餾水中央氣泡的體積，當  $10 > \text{pH} > 3$  之間時。

透過切割冰塊，實驗結果顯示冰塊中氣泡聚集外， $\text{H}^+$ 離子及  $\text{OH}^-$ 離子也有往冰塊中心集中的現象。

## 壹、 研究動機

每到炎熱的夏天，冰塊無所不在，當手中的飲料中加了冰塊後，原本一杯平凡無奇的冰塊瞬間成了一杯清涼的飲料。但是每當我們在自己家中製冰時，不管什麼形狀的容器，冰塊中央大都會聚集一塊白色的區域，以手機拍攝後觀察，發現是水中的氣泡，但如可樂及檸檬汁，卻呈現整塊混濁的冰，因此引發我們的好奇，究竟是什麼原因造成此種差異。

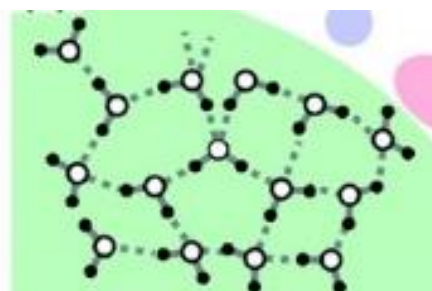


我們上網搜尋資料知道，水結成冰時氫鍵(極性共價鍵)為主要的結合力，而氣泡原來溶解於水中，在水結成冰時排出，我們好奇當加入酸性或鹼性物質時，溶液中的氫離子與氫氧根離子的量是否會影響氣泡的聚集情形?在文獻中並未看到因溶液酸鹼性不同而做結冰氣泡聚集情形的探討，因此想藉由本實驗探討 pH 值對溶液結冰時中央氣泡的影響。

## 貳、 文獻探討

八年級上學期自然課本第二章中提及水結成冰時，因溫度下降，氣泡的溶解度下降而造成氣泡的析出，以及水結冰時因密度關係由表面開始結冰，還有水結冰時體積膨脹，除此之外對水結冰的說明甚少。

我們在網路上看到，在關於冰中水分子的鍵結，交通大學的文章中提及:低溫下的“氫鍵網狀結構擴張”，所謂氫鍵指的是水分子之間微弱的作用力(示意圖中的虛線)，冰的結構是一種立體的網狀結構，低溫的水中已有奈米冰生成，也開始排出氣體。



我們查詢歷屆科展資料，在第 51 屆作品冰漩渦中，水中加入色素，了解冰塊並不是整塊都是無色透明的，中間都有一條白色的冰柱以及在水中溶質集中於中心處的方式，且氣泡聚集的樣態與盛裝溶液的容器彼此靠近的程度有關。

第 58 屆作品「泡」「冰」就位-探討冰塊中氣泡變化與水的關係中以糖及食鹽為溶質，得出水中的 TDS 值越高，水中的純度越低，氣泡的體積越大，但若為酸鹼物質呢？

第 59 屆作品冰清欲結-探討不同條件溶液結冰時溶質匯聚現象的差異中，使用有色的鹽類觀察到並非所有濃度的溶液溶質都會匯聚，結冰速度越慢中央匯聚效果越好，但並未針對溶液中的氣泡做研究。

第 45 屆作品冰冰有理-關於糖水結冰濃度梯度的研究中，下層的冰溶質的濃度較上層的冰大，冷凍時的溫度越低，濃度分離得越好。

在歷屆作品中，沒有針對酸鹼性對結冰時中央氣泡影響的研究，同時我們也想知道所有的濃度都會看到中央氣泡的聚集嗎？濃度到達多少時對中央氣泡的體積就幾乎與蒸餾水相同？溶液結冰時整塊冰塊的酸鹼性分布如何？

## 參、 研究目的

一、觀察蒸餾水結冰時中央氣泡聚集情形

二、探討以下變因對中央氣泡的影響

(一) 酸的濃度及種類

(二) 鹼的濃度及種類

三、從以下三個面向探討不同溶液結冰時中央氣泡的情形：

(一) 中央氣泡的形狀

(二) 中央氣泡的體積計算

(三) 冰塊內部不同位置的 pH 值分佈

## 肆、 研究設備及器材


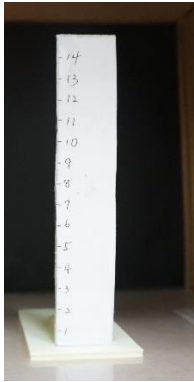





### 一、 研究藥品

蒸餾水、鹽酸(HCl)、硝酸(HNO<sub>3</sub>)、氫氧化鈉(NaOH)、氫氧化鉀(KOH)、食鹽(NaCl)

### 二、 研究設備及器材

冰箱(冷凍庫溫度-10℃)、定量瓶(500ml)、燒杯、電腦(使用 imageJ 軟體)

特殊器材介紹:

			
圓柱塑膠容器	自製刻度尺	自製攝影棚	
			
鋸刀	砂輪切割機	pH 計(EZDO-5011A)	pH 計(EZDO-6011A)

## 伍、 研究方法及研究歷程

一、 溶液在冷凍庫中放置的情形

(一) 為了讓研究問題單純化，我們選擇上下底面積相同的圓柱形容器，容器四周受冷均勻。

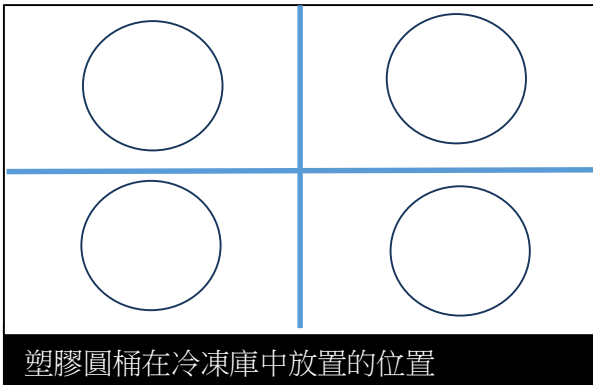
(二) 以量筒量 350mL 溶液，並倒入圓柱形容器，相同變因下，每次在冰箱中放置 4 杯。

(三) 為了避免四杯溶液相距太近而影響結冰情形，我們將冰箱的冷凍庫平面平分成四個等分，每一個容器各占一個位置，避免互相接觸影響。

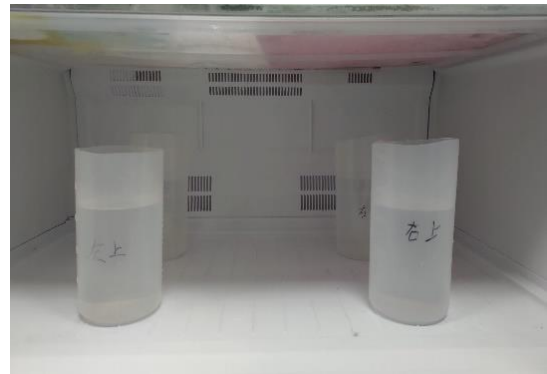


配製溶液

(四) 在冷凍庫冷凍 24hr，隔日取出進行拍照。



塑膠圓桶在冷凍庫中放置的位置



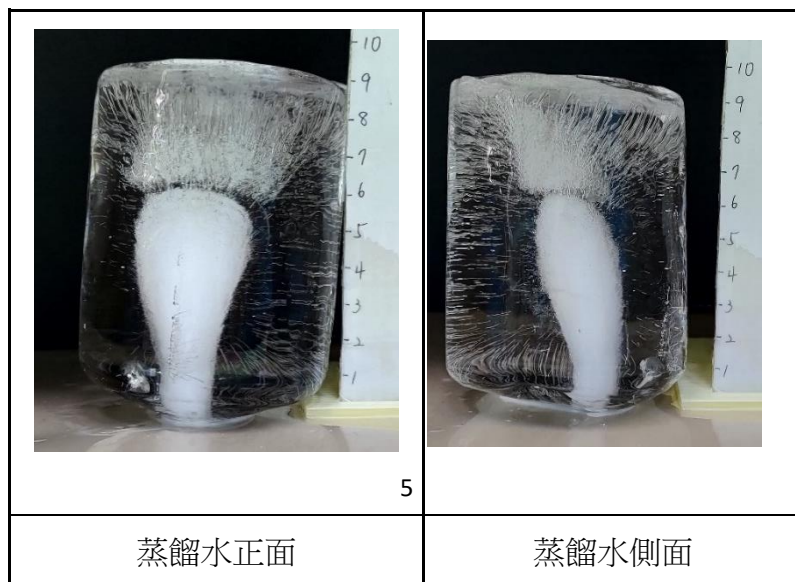
二、 冰塊內中央氣泡體積的計算方法

(一) 將冰塊以照片記錄，傳入電腦。

(二) 用 imagej 軟體估算中央氣泡聚集體積

(三) 以蒸

餾水為例：

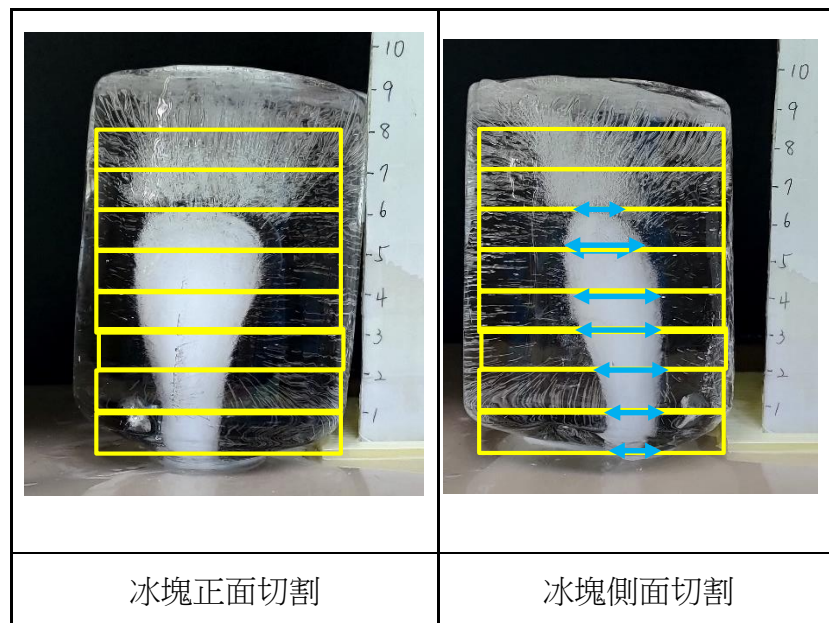




1. 冰塊的正面和側面各拍一張照片
2. 以 imageJ 軟體打開相片
3. 將照片正面及側面正中冰塊的高以每一公分切成一等分分開
4. 測量正面每一區塊氣泡面積的大小
5. 測量側面每一區塊氣泡的寬度
6. 將正面估算出的面積 $\times$ 相對應側面的寬(計算的表格)
7. 將各組加總，估算出中央氣泡體積



imageJ 操作情形



各切塊體積及總體積(單位: $cm^3$ )

區塊編號	蒸餾水 1	蒸餾水 2	蒸餾水 3
1	1.10	1.98	3.73
2	3.69	5.74	2.80
3	3.61	5.02	2.74
4	3.09	3.95	2.36
5	3.62	3.52	2.71
6	3.14	1.94	2.44
7	1.42	0.75	1.56
8	0.52	0.41	0.93
9			0.25
10			0.13
<b>體積總和</b>	<b>20.20</b>	<b>23.31</b>	<b>19.65</b>

### 三、 測量冰塊內部不同位置的 pH 值方法

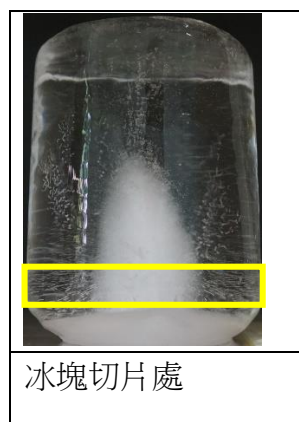
(一) 發展研究方法的過程：我們非常好奇當冰塊結冰時，中央氣泡區與周圍的區域，pH 值是否有差異？根據冰塊結冰的樣態，我們發現冰塊中的氣泡集中在下半部，

最底部約 1 公分厚的部分容易出現不均勻的結冰，因此我們決定取樣冰塊底部往上 1 公分~2 公分的厚度來測 pH 值，如右圖標示。

但冰塊是直徑約 8 公分的圓柱體，我們應如何切呢？

(二) 嘗試過的方法：

1. 使用鋸刀：一開始我們使用鋸刀直接將冰塊切開，但因冰塊太厚，切割時間太久，且切割面不平整，且冰塊不規則破裂的情形。





2. 使用線鋸機：後來我們借用創客教室的線鋸機，希望能快速切下冰塊，且切割面平整，但線鋸機切到冰塊中央時，前面切開的部分又重新結冰，甚至一個冰塊尚未切完，線鋸條陰沉受不住冰塊的硬度斷裂，如右圖。



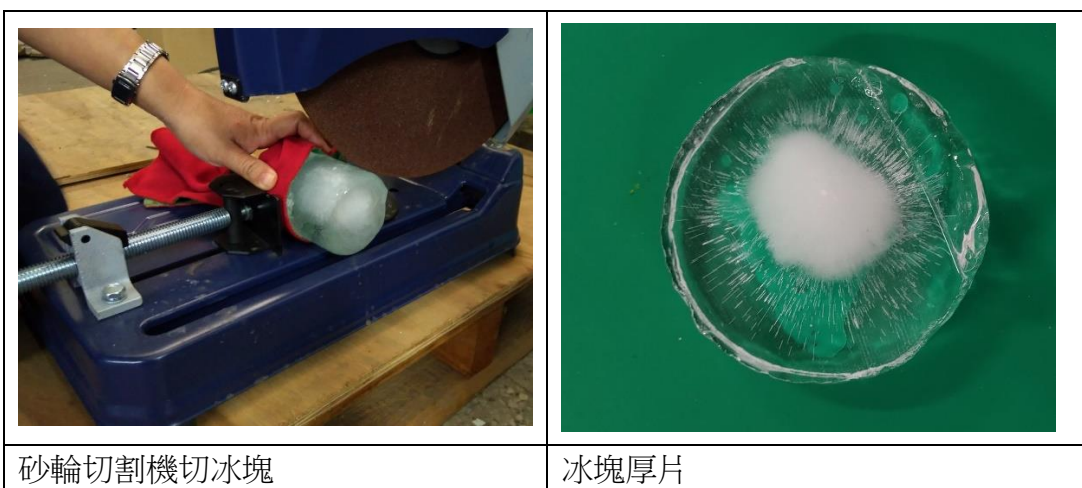
斷裂的線鋸條

3. 使用手持式電鑽機：若不切開冰塊而是直接鑽孔到要測 pH 值的位置，是否可行？我們借用手持式電鑽機鑽冰塊，但會發現因要測 pH 值，孔必須鑽到夠大，但鑽孔時冰融化成水飛濺，反而測不到這個點的 pH 值，且難以控制冰塊表層不同位置融化的冰水流入孔中。

### (三)確定的實驗方法：使用砂輪切割機及鋸刀

這是我們試過切割冰塊快速且切割面又平整的方法，因此本研究用此方式切割冰塊。

1. 使用砂輪切割機切下由冰塊底部往上 1 公分~2 公分的冰塊厚片，如下圖。



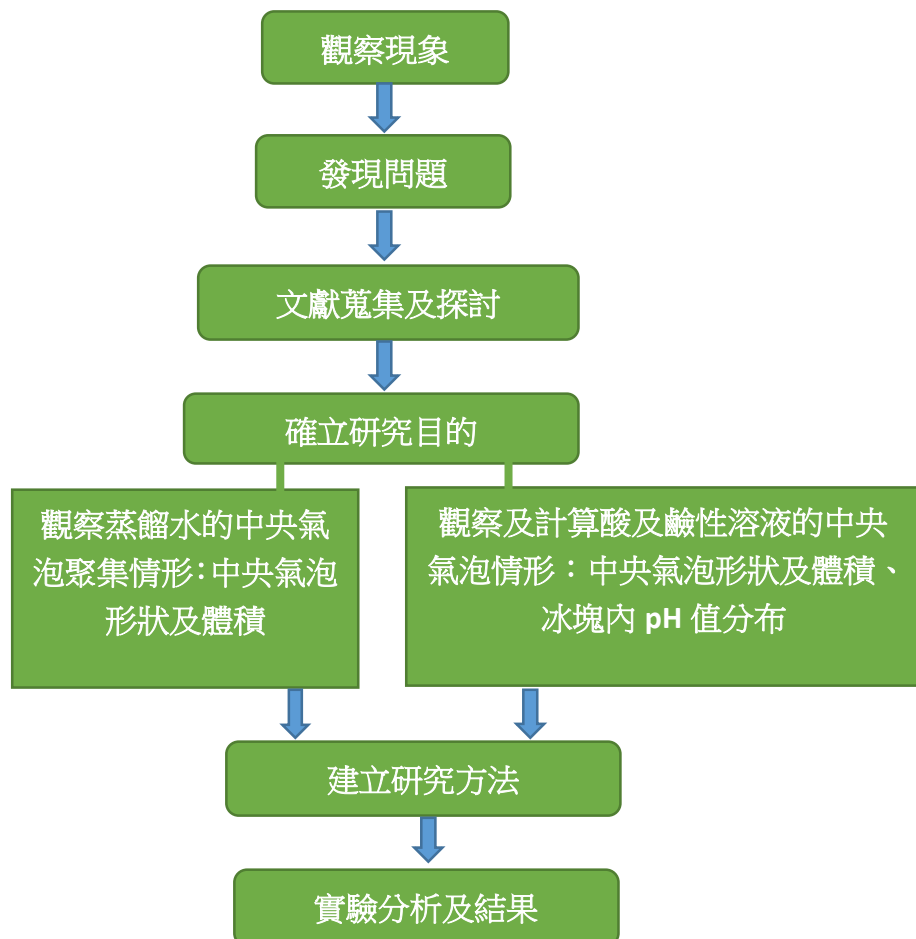
2. 再以鋸刀分別在中央、距圓心 $\frac{\text{半徑}}{2}$ 處及圓周處切下約 1 平方公分面積的冰塊，如下左圖。

我們把三個冰塊依序稱為“內小冰塊、中小冰塊、外小冰塊”。

3. 切下的三塊小冰塊分別放置在三個燒杯中，待冰塊溶化後以 pH 計檢測並記錄。



#### 四、 研究歷程



## 陸、 研究結果

### 一、 蒸餾水結冰時中央氣泡的聚集情形

(一)目的：觀察並記錄蒸餾水結冰時中央氣泡的聚集情形，以了解在沒有溶質情況下中央氣泡的聚集情形。

(二)步驟：取 350mL 蒸餾水(pH=7.42)共 4 杯放置於冰箱冷凍庫中，  
24 小時後觀察其結冰後的形狀及計算中央氣泡體積。

(三)結果：

1. 蒸餾水結冰時中央氣泡的形狀：約呈現倒三角錐形，如右圖。
2. 蒸餾水結冰時中央氣泡的體積：

區塊編號	蒸餾水 1	蒸餾水 2	蒸餾水 3
1	1.10	1.98	3.73
2	3.69	5.74	2.80
3	3.61	5.02	2.74
4	3.09	3.95	2.36
5	3.62	3.52	2.71
6	3.14	1.94	2.44
7	1.42	0.75	1.56
8	0.52	0.41	0.93
9			0.25
10			0.13
<b>體積總和</b>	<b>20.20</b>	<b>23.31</b>	<b>19.65</b>

平均體積為  $21.05\text{cm}^3$

(三)分析:

因我們選用圓柱狀的容器，冰塊亦為圓柱形，但中央氣泡呈現倒三角形。由於水結冰時，水分子之間的鍵結會將原本溶於水中的氣體排出，因此我們推論：結冰的過程應是由下層開始，將多數排出的氣體往上推，當冰塊最上層結冰，氣體就被包覆在冰塊中，而呈現倒三角錐形，這與課本上說的冰塊是由上層開始結冰不一樣!



## 二、 不同 pH 值(濃度不同)的鹽酸水溶液結冰時中央氣泡的情形





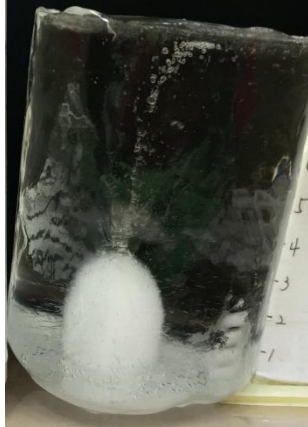

(一)目的：加了溶質後，中央氣泡的聚集情形與蒸餾水有何不同?我們先以實驗室中分子結構較簡單的酸-鹽酸，來進行實驗，看看不同濃度的鹽酸水溶液結冰後：中央氣泡的體積及形狀是否隨之改變?冰塊中的 pH 分布的情形如何?

(二)步驟：

1. 分別配置 0.1M(pH=1)、0.01M(pH=2)、0.001M(pH=3)、0.0001M(pH=4)、0.00001M (pH=5)、0.000001M (pH=6)的 350ml 鹽酸溶液各 4 杯，放置於冷凍庫中。
2. 24 小時後，觀察溶液結冰後的中央氣泡體積、形狀及冰塊內 pH 值分布情形。

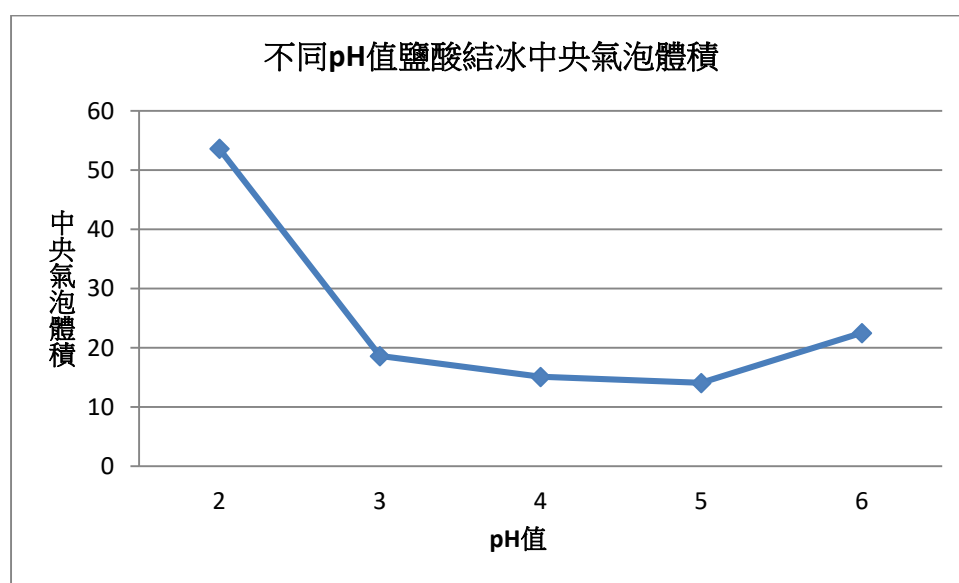
(三)結果

1. 鹽酸結冰時中央氣泡的形狀：由下圖，可以發現多數形狀呈現圓柱狀。

不同濃度的鹽酸結冰照片			
濃度(pH 值)	HCl 0.1M(pH=1)	HCl 0.01(pH=2)	HCl 0.001M(pH=3)
不同濃度的鹽酸結冰照片			
濃度(pH 值)	HCl 0.0001M(pH=4)	HCl 0.00001M (pH=5)	HCl 0.000001M( pH=6)

2. 鹽酸結冰時中央氣泡的體積：

實驗次數	pH1	pH2	pH3	pH4	pH5	pH6
1	氣泡分散在整個冰塊	47.8	17.8	15.28	14.54	22.54
2		52.14	18.75	17.30	13.23	18.50
3		54.1	14.83	12.13	11.20	
4		49.27	26.63	15.75	17.32	
5		64.74	15.03	15.1		
平均		53.61	18.61	15.11	14.07	20.52



3. 冰塊的 pH 值分布：將冰塊切下厚片，在由中央氣泡的中心分別切下內小冰塊、中小冰塊及外小冰塊。

冰塊 pH 值	內小冰塊	中小冰塊	外小冰塊
pH=1	2.18	2.55	5.39
	1.94	1.87	5.22
pH=2	1.84	2.32	3.23
	2.02	1.67	3.00
pH=3	2.12	3.3	5.00
	2.37	3.59	5.14
pH=4	3.11	5.40	7.25
	5.68	6.14	6.61
pH=5	7.29	7.86	8.4
	7.51	8.2	8.19
pH=6	7.6	7.99	8.06
	7.47	7.77	8.25

(四)分析：

1. 以中央氣泡的形狀來看，鹽酸結冰時呈現圓柱狀，氣泡大多集中冰塊的下半部，與蒸餾水結冰時呈現到倒三角錐形有很大的不同，這顯示結冰的過程也有不同。
2. 在鹽酸濃度為 0.1M(pH=1)時冰塊皆為白色，經由切片後仔細觀察，許多細小的氣泡均勻分布在整個冰塊，在這個濃度並未有氣泡聚集的情形。
3. 當 pH 值大於 2，就有氣泡集中的現象，也就是 pH 值會影響中央氣泡體積，鹽酸 pH 值越小，中央氣泡體積越大，當鹽酸的 pH=4、5、6 時，濃度較低，可能因 H<sup>+</sup> 離子濃度較小，幾乎接近蒸餾水，冰塊結冰情形與蒸餾水的結冰較接近，但中央氣泡體積最小時是 pH=5。
4. 由分析冰塊中的 pH 值可以發現，整個冰塊的酸鹼性分布不均勻，數據顯示 pH 值：內小冰塊<中小冰塊<外小冰塊，表示冰塊中央氣泡也是冰塊中 H<sup>+</sup>離子濃度較高之處。



### 三、 不同 pH 值(濃度不同)的氫氧化鈉水溶液結冰時中央氣泡的情形

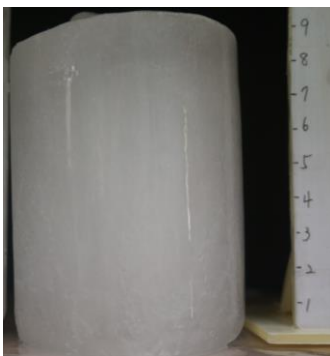
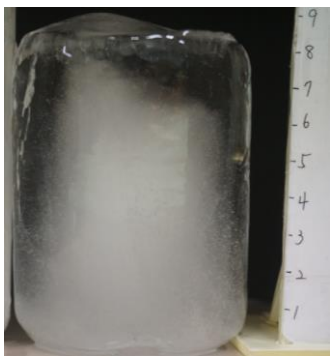

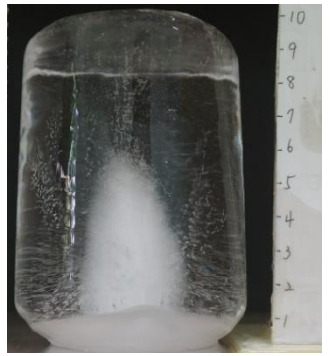


(一)目的:我們再以實驗室中結構較常用的鹼-氫氧化鈉，來進行實驗，看看不同濃度的氫氧化鈉結冰後:中央氣泡的體積及形狀是否隨之改變?冰塊中的 pH 分布的情形如何?

(二)步驟:

1. 分別配置 0.1M(pH=13)、0.01M(pH=12)、0.001(pH=11)、0.0001M(pH=10)、0.00001M(pH=9)、0.000001(pH=8)的 350ml 氫氧化鈉溶液各 4 杯，放置於冷凍庫中。
2. 24 小時後，觀察溶液結冰後的中央氣泡體積、形狀及冰塊內 pH 值分布情形。

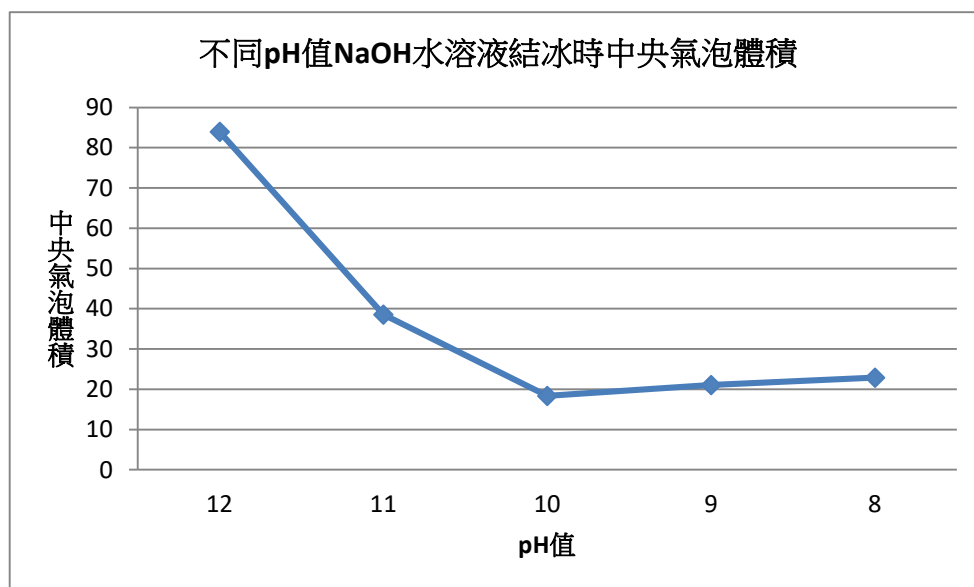
(三)結果

1. 氫氧化鈉水溶液結冰時中央氣泡的形狀：由下圖，可看出多為圓柱狀，偶呈現三角錐狀。

NaOH 溶液 實驗照片			
pH 值	pH=13	pH=12	pH=11
NaOH 溶液 實驗照片			
pH 值	pH=10	pH=9	pH=8

2. 氫氧化鈉水溶液結冰時中央氣泡的體積：

實驗次數	pH=13	pH=12	pH=11	pH=10	pH=9	pH=8
1.	氣泡分散在整個冰塊	89.92	31.52	23.62	22.87	26.60
2.		80.28	33.64	15.70	19.18	19.14
3.		80.82	45.43	15.92		
4.		73.47	45.05	16.52		
5.		95.30	37.09	19.92		
平均		83.96	38.55	18.34	21.03	22.87



3. 冰塊中的 pH 值分布將冰塊切下厚片，在由中央氣泡的中心分別切下內小冰塊、中小冰塊及外小冰塊。

冰塊 pH 值	內小冰塊	中小冰塊	外小冰塊
pH=13	12.39	12.31	12.2
pH=12	11.69	11.25	11.0
pH=11	10.43	10.86	9.85
pH=10	9.75	9.46	8.72
pH=9	9.15	8.50	8.50
pH=8	8.25	7.77	7.12

(四)分析：

1. 以中央氣泡的形狀來看，氫氧化鈉溶液結冰時呈現圓柱狀，氣泡大多集中冰塊的下半部，與蒸餾水結冰時呈現到倒三角錐形有很大的不同，這顯示結冰的過程也有不同。
2. 在氫氧化鈉溶液濃度為 0.1M(pH=13)冰塊皆為白色，經由切片後仔細觀察，許多細小的氣泡均勻分布在整個冰塊，在這個濃度並未有氣泡聚集的情形。
3. 當 pH 值小於 12，就有氣泡集中的現象，也就是 pH 值會影響中央氣泡體積，氫氧化鈉水溶液 pH 值越小，中央氣泡體積越小，當鹽酸的 pH=10、9、8 時，濃度較低，可能因 OH<sup>-</sup>離子濃度較小，幾乎接近蒸餾水，冰塊結冰情形與蒸餾水的結冰較接近，但中央氣泡體積最小時是 pH=10。
4. 由分析冰塊中的 pH 值可以發現，整個冰塊的酸鹼性分布不均勻，數據顯示多數情況下 pH 值：內小冰塊>中小冰塊>外小冰塊，表示冰塊中央氣泡也是冰塊中 OH<sup>-</sup>離子濃度較高之處。

#### 四、 探討不同種類的酸性水溶液結冰時中央氣泡的情形異同

(一)目的：加了不同的溶質後，兩種不同的酸性溶液結冰後中央氣泡的聚集情形有何不同?





我們先以實驗室中的鹽酸與硝酸來進行實驗，看看不同種類的酸結冰後:中央氣泡的體









積及形狀是否有所不同?冰塊中的 pH 分布的情形如何?

(二)步驟：我們選用硝酸水溶液，重複實驗二的步驟，並進行比較。(因科展比賽時間緊迫，我們只能進行鹽酸及硝酸水溶液實驗，接下來我們將再進行硫酸水溶液及檸檬水的實驗，以便做更多比較)

(三)結果：

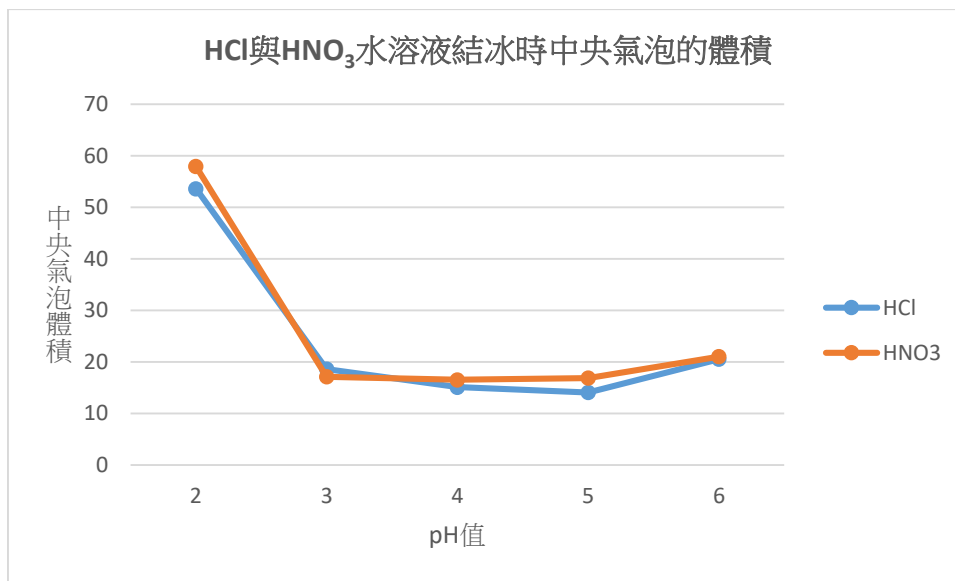
1. 鹽酸及硝酸水溶液結冰後的結冰後中央氣泡的形狀：可以發現結呈現圓柱狀，偶有三角錐狀出現。

pH 值	鹽酸	硝酸水溶液
pH=1		
pH=2		

pH=3		
pH=4		
pH=5		
pH=6		

2. 比較鹽酸與硝酸水溶液在不同 pH 值時中央氣泡體積

pH 值	HCl	HNO <sub>3</sub>
pH=1	氣泡分散在整個冰塊	
pH=2	53.61	57.95
pH=3	18.61	17.12
pH=4	15.11	16.53
pH=5	14.07	16.86
pH=6	20.52	21.03



(四)分析：

1. 鹽酸及硝酸的中央氣泡體積皆呈現圓柱狀，偶有正三角錐狀出現。
2. 在 pH=1 時，鹽酸及硝酸水溶液皆呈現一塊白色冰塊，氣泡分散在整個冰塊，並未集中。
3. 在 pH 值介於 2~6 的範圍內，都有氣泡集中的情形，我們把 pH=2 稱本實驗的“臨界酸鹼值”。隨著 H<sup>+</sup>離子的濃度降低，中央氣泡的體積也漸變小，當 pH 在 3~6 之間時，



中央氣泡體積和蒸餾水的情形相近，。

4. 由圖表可以看出，中央氣泡的體積最小時，並非在  $\text{pH}=6$ ，而是在  $\text{pH}=4$  或  $5$ ，兩者中央氣泡體積隨  $\text{pH}$  值變化類似。

## 五、 探討不同種類的鹼性水溶液結冰時中央氣泡的情形異同





(一)目的：加了不同的溶質後，兩種不同的鹼性溶液結冰後中央氣泡的聚集情形有何不同？





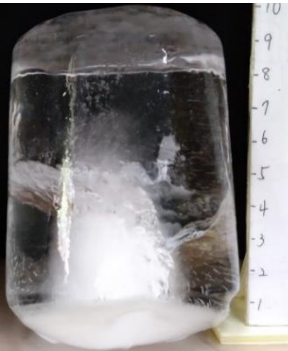


我們先以實驗室中的氫氧化鈉與氫氧化鉀來進行實驗，看看不同種類的鹼結冰後中央氣泡的體積及形狀是否有所不同？冰塊中的  $\text{pH}$  分布的情形如何？

(二)步驟：我們選用氫氧化鉀水溶液，重複實驗三的步驟，並與氫氧化鈉水溶液進行比較。

(三)結果：

1. 比較氫氧化鈉及氫氧化鉀水溶液結冰後的結冰後中央氣泡的形狀：可以發現結呈現圓柱狀，偶有三角錐狀出現。

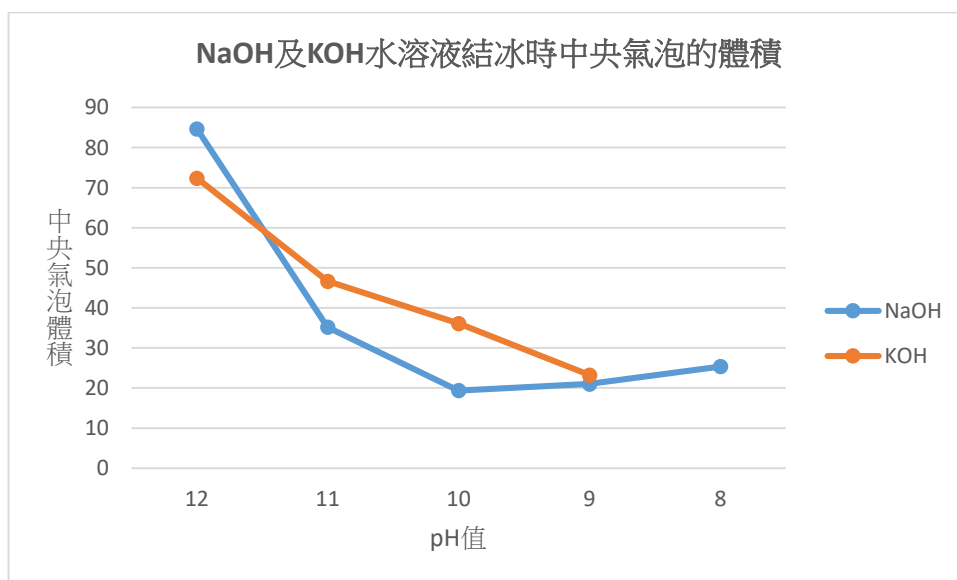
pH 值	氫氧化鈉水溶液	氫氧化鉀水溶液
pH=13		
pH=12		

pH=11		
pH=10		
pH=9		
pH=8		<p>(因 KOH 水溶液 pH=8 的照片遺失，將於近日內補做實驗，讓數據更完整)</p>

## 2.比較氫氧化鈉及氫氧化鉀水溶液結冰後的結冰後中央氣泡的體積

pH 值	NaOH 水溶液	KOH 水溶液
pH=13	氣泡分散在整個冰塊	
pH=12	84.69	72.38
pH=11	35.19	46.67
pH=10	19.36	36.10
pH=9	21.03	23.25
pH=8	25.37	

(因 KOH 水溶液 pH=8 的資料遺失，將於近日內補做實驗，讓數據更完整)



(四)分析：

1. 氫氧化鈉及氫氧化鉀水溶液的中央氣泡體積皆呈現圓柱狀，偶有三角錐狀出現。
2. 在 pH=1 時，氫氧化鈉及氫氧化鉀水溶液皆呈現一塊白色冰塊，氣泡分散在整個冰塊，並未集中。
3. 在 pH 值介於 8~12 的範圍內，都有氣泡集中的情形，我們把 pH=12 稱為本實驗的“臨界酸鹼值”。隨著 OH 離子的濃度降低，中央氣泡的體積也漸變小，當 pH 值在 9

以下時，氫氧化鈉及氫氧化鉀水溶液的中央氣泡體積和蒸餾水的情形相近。

4. 由圖表可以看出，中央氣泡的體積最小時，並非在  $\text{pH}=8$ ，兩者中央氣泡體積隨  $\text{pH}$  值變化類似。

## 六、 探討鹽類結冰時的中央氣泡的情形與酸鹼溶液異同

(一)目的：食鹽溶於水後形成  $\text{Na}^+$  離子及  $\text{Cl}^-$  離子，我們想知道與鹽酸含有相同陰離子( $\text{Cl}^-$ )但陽離子不同的食鹽，其水溶液結冰時中央氣泡與鹽酸是否有差異？以及與氫氧化鈉的陽離子( $\text{Na}^+$ )相同，但因離子不同，其水溶液結冰時中央氣泡與氫氧化鈉溶液是否有差異？究竟  $\text{H}^+$  及  $\text{OH}^-$  離子對溶液結冰是否有不同的影響？中央氣泡的體積及形狀是否隨之改變？




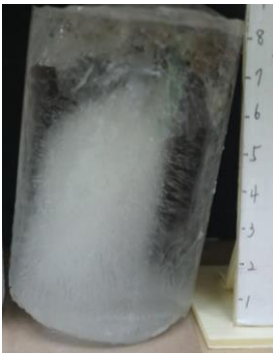








(二)因此我們設計此實驗。對照





(三)步驟:

1. 分別配置  $0.1\text{M}$ 、 $0.01\text{M}$ 、 $0.001\text{M}$ 、 $0.0001\text{M}$ 、 $0.00001\text{M}$ 、 $0.000001\text{M}$  的  $350\text{ml}$  食鹽水溶液各 4 杯，放置於冷凍庫中。
2. 24 小時後，觀察溶液結冰後的中央氣泡體積及形狀。
3. 將實驗結果與鹽酸及氫氧化鈉水溶液比較異同。

(四)結果

1. 食鹽水溶液結冰時中央氣泡的形狀：多為圓柱狀(因食鹽水溶液無法檢測酸鹼性，縱座標以濃度表示)

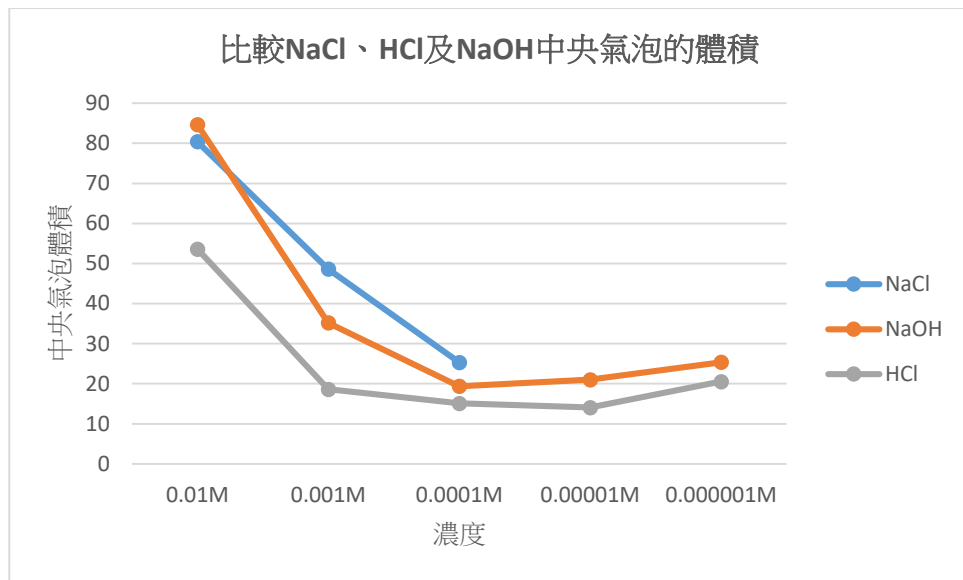
濃度	食鹽水溶液	氫氧化鈉水溶液	鹽酸
0.1M			
0.01M			
0.001M			
0.0001M			

0.00001M	(因 NaCl 水溶液此濃度尚未完成，將於近日內補做實驗，讓數據更完整)		
0.000001M	(因 NaCl 水溶液此濃度尚未完成，將於近日內補做實驗，讓數據更完整)		

2. 食鹽水溶液與鹽酸、氫氧化鈉溶液結冰時中央氣泡體積比較

濃度	食鹽水溶液	氫氧化鈉水溶液	鹽酸
0.1M	氣泡分散在整個冰塊		
0.01M	80.42	84.69	53.61
0.001M	48.61	35.19	18.61
0.0001M	25.31	19.36	15.11
0.00001M		21.03	14.07
0.000001M		25.37	20.52





(因 NaCl 水溶液此濃度尚未完成，將於近日內補做實驗，讓數據更完整)

### (五)分析

1. 當濃度在 **0.1M** 時，三種溶液皆呈現氣泡分散的情形。
2. 當三種溶液的濃度低於 **0.01M** 時出現氣泡聚集的現象，中央氣泡的形狀皆為圓柱狀，偶為三角錐狀。
3. 由目前完成的資料顯示，食鹽水溶液的中央氣泡體積在 **0.01M** 以下時，中央氣泡體積較鹽酸及氫氧化鈉水溶液大。
4. 食鹽水溶液相較鹽酸及氫氧化鈉溶液中央氣泡周圍有較多小氣泡，看起來冰塊較不澄淨，尤其在濃度 **0.001M** 及 **0.0001M** 兩種濃度比較更是明顯，鹽酸及氫氧化鈉的氣泡集中度較好。
5. 我們實驗的鹽類目前只用了食鹽，我們繼續進行其他鹽類的實驗再加以探討。

## 柒、 結論

- 一、 蒸餾水結冰時中央氣泡的形狀為倒三角錐形，中央氣泡多集中在上半部，而酸性及鹼性溶液結冰都呈現圓柱形，少數呈現三角錐，中央氣泡多集中在冰塊的下半部，顯示蒸餾水與酸鹼溶液的結冰過程不同，溶液的酸鹼性亦會影響溶液結冰時的先後順序。
- 二、 並非所有 pH 值的溶液都可以看到氣泡聚集，當溶液中的酸鹼度太高，氣泡分散在整個冰塊的。我們研究發現：當溶液的 pH 值介於 12~2 之間 ( $12 > \text{pH} > 2$ )時，我們能看到中央氣泡的聚集，因此我們將 12 及 2 稱為本實驗的“臨界酸鹼值”。越接近 pH=7 中央氣泡的體積越小。
- 三、 pH 值介於 9~3 之間的溶液，其溶液結冰後，中央氣泡的體積接近蒸餾水，甚至比蒸餾水的中央氣泡體積更小，體積最小的 pH 值為 pH=5、6、9。
- 四、 切開冰塊後，檢測以中央氣泡為中心，內、中、外小冰塊的 pH 值，我們發現 H<sup>+</sup>離子及 OH<sup>-</sup>離子濃度中央較旁邊高，也就是酸性溶液越往氣泡中心酸性越強，而鹼性溶液越往氣泡中心鹼性越強。顯示結冰時不止氣泡往中央集中，H<sup>+</sup>及 OH<sup>-</sup>離子也有往中央聚集的現象。
- 五、 以食鹽與鹽酸及氫氧化鈉水溶液進行對照，在濃度 0.1M 時，冰塊中的氣泡都沒有集中的現象，而濃度小於 0.01M，開始有中央氣泡的聚集。而食鹽的中央氣泡區明顯較鹽酸及氫氧化鈉來得大，且周圍有許多小氣泡，看起來較為混濁，顯見鹽酸及氫氧化鈉的氣泡集中度較好。
- 六、 我們尚在進行的實驗：
  - (一)每 1 小時拍攝一次蒸餾水及鹽酸的結冰情形，確立蒸餾水及鹽酸的結冰過程。
  - (二)做不同 pH 值的檸檬水的結冰情形，並與鹽酸的結冰進行比較。
  - (三)以硫酸、醋酸及氫氧化銨等更多溶質進行實驗，使實驗推論更準確。

## 捌、 參考文獻

- 一、 蘇建中發行(2020)。國民中學自然科學二上課本。南一書局出版。
- 二、 解開水之謎交大團隊新發現將改寫理化課本(2017)。國立交通大學網站。  
[https://usilab.nctu.edu.tw/hamaguchigroup/archives/NCTU\\_news\\_WaterArticle\\_BCSJ/%E8%A7%A3%E9%96%8B%E6%B0%B4%E4%B9%8B%E8%AC%8E%20%E4%BA%A4%E5%A4%A7%E5%9C%98%E9%9A%8A%E6%96%B0%E7%99%BC%E7%8F%BE%20%E5%B0%87%E6%94%B9%E5%AF%AB%E7%90%86%E5%8C%96%E8%AA%B2%E6%9C%AC.html](https://usilab.nctu.edu.tw/hamaguchigroup/archives/NCTU_news_WaterArticle_BCSJ/%E8%A7%A3%E9%96%8B%E6%B0%B4%E4%B9%8B%E8%AC%8E%20%E4%BA%A4%E5%A4%A7%E5%9C%98%E9%9A%8A%E6%96%B0%E7%99%BC%E7%8F%BE%20%E5%B0%87%E6%94%B9%E5%AF%AB%E7%90%86%E5%8C%96%E8%AA%B2%E6%9C%AC.html)
- 三、 劉婕宇、林子珉、林品君(2011)。冰漩渦。中華民國的 51 屆科學展覽會。
- 四、 洪翌洋、劉宣妤、劉奐均(2019)。冰清欲結-探討不同條件溶液結冰時溶質匯聚現象的差異。中華民國的 59 屆科學展覽會。
- 五、 吳庚祖、邱敬愷、梁淮鉸、陸竝甫、張城竣、謝瑀家(2018)。泡冰就位-探討冰塊中氣泡變化與水的關係。中華民國的 58 屆科學展覽會。
- 六、 彭俊維、陳怡安(2005)。冰冰有理 - 關於糖水結冰濃度梯度的研究。中華民國的 45 屆科學展覽會。