

臺北市第 54 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：建立多樣性條件之結冰狀況的大數據資料庫
以高速預測超冰水瞬間結冰

關 鍵 詞：大數據、結冰狀況、瞬間結冰

編 號：

作品名稱：建立多樣性條件之結冰狀況的大數據資料庫

以高速預測超冰水瞬間結冰

摘 要

我們用冰加鹽作為冷卻源，促使環境溫度降低使水結成冰，並設計與眾不同的追蹤溫度實驗。首先，我們發現在不同液體中，有些液體結冰速度會隨著時間變化而改變，但結冰狀態並不一定跟其降溫速度有關；再者，不同容器中，凹凸不平的容器結冰速度較快，而結冰狀態在不同容器皆有不同的結晶品質；此外，不同比例的冰鹽比，會有快慢的結冰效果差異；最後，最重要的是結合上述的實驗結果來呼應並評估瞬間結冰的可能性，礦泉水顯示其最容易瞬間結冰，推測其豐富的細小雜質即為結晶之最好條件。從我們研究的分析中，更可利用過冷的概念來詮釋瞬間結冰的成敗，我們建立了其降溫的大數據資料庫，並能有效利用前三系統，來有效預測瞬間結冰的成敗。

壹、研究動機

今年暑假，做著水和冰、水和水蒸氣的實驗時，覺得特別有趣又奧妙。水，這個在日常生活中看似最平凡不過又隨手可得的液體，實際上卻是變化多端，用途多樣且極其珍貴。因此我們決定以「水」為主題做發想，剛好正值暑假，炎炎夏日，為了消暑，人手一杯冰涼飲料或是品嚐冰品，這樣的習慣早已融入大家的日常生活中。於是我們開始思考除了放入家裡冰箱的冷凍庫，是否也有其它方法能有趣又快速的製作出低溫飲品，不受限於地點，即使在野外露營也能輕鬆享受冰品，以對抗溽暑。

相關教材單元：南一版 國小自然與生活科技 三下 第2單元「奇妙的水」。

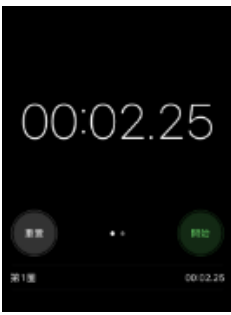
貳、研究目的

- 一、探討相同容器、相同冰塊與鹽巴比例、不同溶液之溫度對時間的變化及結冰狀況的差異。
- 二、探討相同溶液、相同冰塊與鹽巴比例、不同容器之溫度對時間的變化及結冰狀況的差異。
- 三、探討相同溶液、相同容器、不同冰塊與鹽巴比例之溫度對時間的變化及結冰狀況的差異。
- 四、探討過冷現象之溫度差異，並比較前三項實驗之結果並分析之，以了解瞬間結冰的過程。

參、研究設備及器材

一、實驗設備：

譜架	鋼盆
	
溫度計	電子天秤
	
製冰盒（搭配冰箱使用）	量杯
	

鐵盤	碼表（手機）
	

二、實驗原料：

精鹽	冰塊
	
碳酸汽水	運動飲料
	
奶茶	礦泉水
	

氣泡水	平滑寶特瓶（容器一）
	
凹凸寶特瓶（容器二）	曲面寶特瓶（容器三）
	
保冷袋	塑膠袋
	
漏斗	量米杯
	

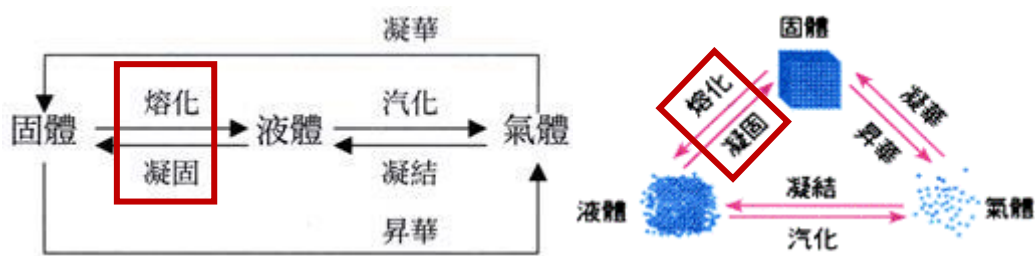
肆、研究過程或方法

一、文獻回顧：

何謂結冰？

即物質從液體變為固體的過程，而在自然科學界中，我們又稱為「凝固」。其物質凝固時的溫度稱為凝固點。目前已知的液體幾乎都可以在低溫時凝固成為固體。

此時，我們開始思考物質三態的變化：



[圖一、物質三態變化圖]

《※圖片出處：http://www.phyworld.idv.tw/Nature/Jun_2/htm/B3_5-4_POINT.html》

如圖一所示，可以看見固態、液態及氣態變化的命名，圖上紅色方框標註，是真正與我們主題相關，即熔化與凝固，其定義如下：

(1) 熔化：

固體受熱之後，開始變為液體的現象，狀態改變但溫度不變，稱為熔化。

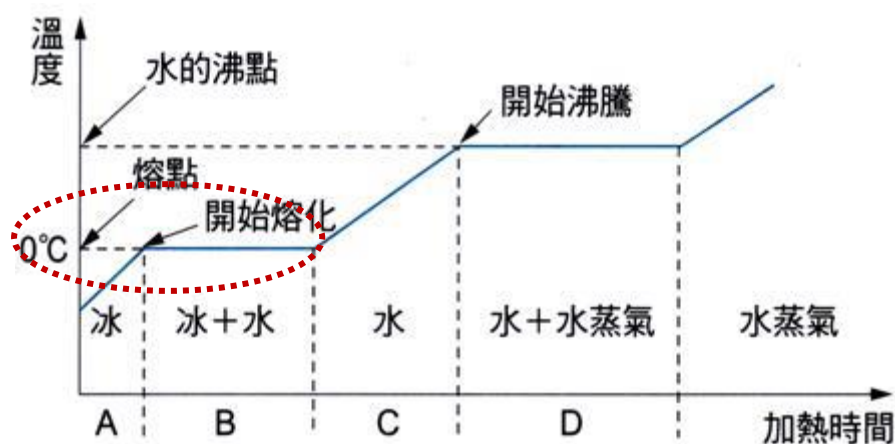
熔化過程中，固體和液體共存，且溫度保持不變，此溫度稱為熔點。

(2) 凝固：

液體放熱之後變為固體的現象，狀態改變但溫度不變，稱為凝固。

液體開始凝固時的溫度，稱之為凝固點。

討論水的三態變化，勢必會需要了解溫度對加熱或放熱時間的曲線：



[圖二、加熱時間對溫度變化曲線：水的三態變化]

《※圖片出處：http://www.phyworld.idv.tw/Nature/Jun_2/htm/B3_5-4_POINT.html》

如圖二所示，我們可以看見從 A 區（冰，固態）到 B 區（冰+水，即固液共存）的起頭時，開始恆溫好一段時間後，才可以跳至 C 區（水，液態），這正是我們實驗必須探討的，究竟我們的飲料在多種成分混合在一起時，是否能觀察到類似的現象，因此我們認為追溫的實驗必須納入為我們實驗設計的元素，而該圖雖然指的是熔化的過程，但在前一部份已討論其為雙向的反應，即可逆反應，因此我們的實驗會是從圖中的 C 區駢 B 區駢 A 區，即凝固的過程。

從微觀結構來看，其實凝固的現象中要如何解釋，必須先從結晶成核說起，大部分液體在凝固時都會結晶，即是晶體的固體。結晶的過程是一階的熱力學相變化，在液態固態共存的期間，系統的平衡溫度不變，等於凝固點。結晶主要包括二個現象：成核和成長。

- (1) 成核：是指分子開始聚集形成晶核，在奈米尺度以週期性排列，其排列方式決定晶體結構的樣子。
- (2) 成長：即晶體持續長大，最後達到晶核的臨界大小。

礙於微觀結構實在難以肉眼看見，因此我們實驗會針對結冰的形貌，進行記錄並加以比較。

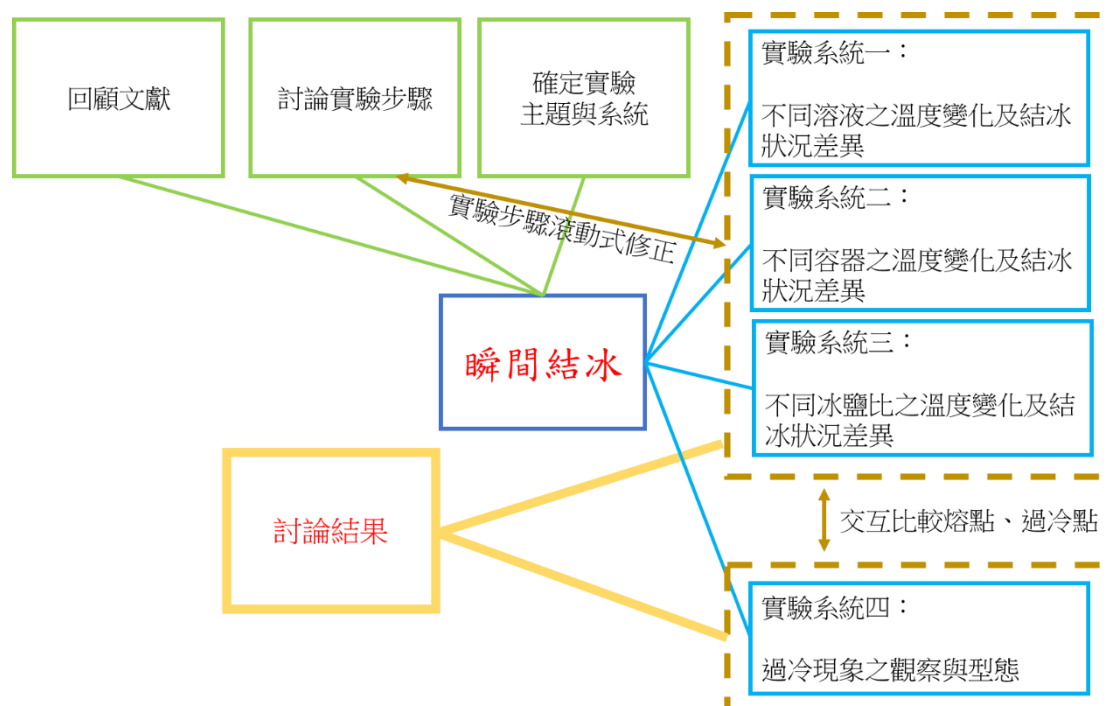
在觀察前述所說的持溫的區間，倘若遲遲沒有發現明顯結冰，會不會是其他現象造成的？該現象即為過冷，是指液體低於熔點而沒有凝固的現象。因為勻相核化結晶的活化能，純液體的結晶一般會在略低於熔點時開始。

晶核的形成也表示形成新相和液體之間的相介面，此過程會消耗能量，能量大小依其表面能而定，假如要形成的晶核太小，形成晶核產生的能量無法形成介面，就不會開始成核的現象。一直要到溫度夠低，可以產生穩定的晶核，才會開始凝固。若容器的表面有不規則，或是有固體或氣體的雜質，已經形成的固體結晶，或是存在成核劑或是振動，就可能會有非勻相核化結晶，其中一些相介面的破壞會釋出能量，使得過冷點接近或等於熔點。

從了解結冰的瞬間，又何謂瞬間結冰？從上述的過冷現象即可得知，物質越純，降到冰點或以下的溫度時越容易發生過冷現象！但一旦這些過冷物質接觸到「凝結核」它們就會馬上凝固，即給予突然的驅動力。

因此本實驗針對過冷現象想要更細一步的觀察，從各種不同條件下的結冰速率，進而討論及觀察其過冷的過程，來推估是否有效產生瞬間結冰的可能性，也可以了解如何快速得到大家夢寐以求的飲料冰沙。

二、研究架構：



[圖三、本研究架構圖]

三、實驗設計與內容：

【表一、本實驗設計（包含各項變因：控制變因、操縱變因、應變變因）】

項目	實驗內容	控制變因	操縱變因	應變變因
實驗一	不同溶液之結冰狀況差異。	容器、冰塊與鹽巴比例	不同溶液種類 1.碳酸汽水 2.運動飲料 3.礦泉水	溫度對時間變化、結冰狀況
實驗二	不同容器之結冰狀況差異。	溶液、冰塊與鹽巴比例	不同容器種類 1.平滑容器寶特瓶 2.凹凸不平寶特瓶 3.曲線寶特瓶	溫度對時間變化、結冰狀況
實驗三	不同冰鹽比之結冰狀況差異。	溶液、容器	不同冰鹽比 1.（2:1; 600g:300g） 2.（3:1; 600g:200g） 3.（4:1; 600g:150g）	溫度對時間變化、結冰狀況
實驗四	不同溶液之過冷現象的比較。	冷卻時間、冰鹽比	不同飲料種類 1.礦泉水 2.奶茶 3.碳酸汽水	有無瞬間結冰之現象

設計內容：

- 一、觀察相同容器、相同冰塊與鹽巴比例、不同溶液之溫度對時間的變化及結冰狀況的差異，加入時間與溫度曲線探討之。
- 二、觀察相同溶液、相同冰塊與鹽巴比例、不同容器之溫度對時間的變化及結冰狀況的差異，加入時間與溫度曲線探討之。
- 三、觀察相同溶液、相同容器、不同冰塊與鹽巴比例之溫度對時間的變化及結冰狀況的差異，加入時間與溫度曲線探討之。
- 四、觀察過冷現象之溫度差異，並比較前三項實驗之結果並分析之，以了解瞬間結冰的過程，整理表格評估其可能性與實驗結果是否相符。

四、實驗步驟：

實驗一：相同容器、相同冰塊與鹽巴比例、不同溶液之溫度變化與結冰狀況之差異。

1. 前置作業：製作大量冰塊。
2. 架設溫度測量設備：將兩支溫度計會綁在譜架上，如圖所示，為了固定測量溫度的高度，以避免溫度梯度之明顯差異。(如圖四)
3. 使用量杯，秤量其液體（如碳酸汽水、運動飲料及礦泉水）體積 200 毫升。
4. 利用鐵盤及電子天秤，秤量其精鹽重量 200 克。(如圖五)
5. 利用鐵盤及電子天秤，秤量其冰塊重量 600 克。(如圖五、圖六)
6. 放置空容器至盛裝冰塊的鋼盆正中心位置，尚未盛裝待測溶液。。
7. 插入一支溫度計並測量 200 毫升樣品的初使溫度。
8. 將剛剛已秤好之冰塊及精鹽批次放下，以一層冰塊及撒下一層鹽巴，並重複該動作，至盛裝冰塊及精鹽完畢為止。
9. 將第 7.步之待測液體倒入至該容器中。
10. 同時將第 1.步所架設之溫度測量設備，一支溫度計測量冰塊鹽巴之環境溫度、一支溫度計測量樣品（即容器內之液體）溫度。
11. 開始記錄時間、溫度及結冰狀況，約每分鐘記錄一次。

		
[圖四、測溫裝置圖]	[圖五、冰塊及精鹽之準備]	[圖六、電子天秤秤量冰塊]

實驗二：相同溶液、相同冰塊與鹽巴比例、不同容器之溫度對時間的變化及結冰狀況的差異。

1. 前置作業：製作大量冰塊。
2. 架設溫度測量設備：將兩支溫度計會綁在譜架上，如圖所示，為了固定測量溫度的高度，以避免溫度梯度之明顯差異。
3. 使用量杯，秤量其液體體積 200 毫升（皆以相同液體：碳酸汽水）。
4. 利用鐵盤及電子天秤，秤量其精鹽重量 200 克。
5. 利用鐵盤及電子天秤，秤量其冰塊重量 600 克。
6. 放置樣品（如凹凸不平保特瓶及曲線保特瓶）容器至盛裝冰塊的鋼盆正中心位置，尚未盛裝待測溶液。
7. 一支溫度計測量 200 毫升液體之初使溫度。
8. 將剛剛已秤好之冰塊及精鹽批次放下，以一層冰塊及撒下一層鹽巴，並重複該動作，至盛裝冰塊及精鹽完畢為止。
9. 將第 7.步之待測液體倒入至該容器中。
10. 同時將第 1.步所架設之溫度測量設備，一支溫度計測量冰塊鹽巴之環境溫度、一支溫度計測量樣品（即容器內之液體）溫度。
11. 開始記錄時間、溫度及結冰狀況，約每分鐘記錄一次。

實驗三：相同溶液、相同容器、不同冰塊與鹽巴比例之溫度對時間的變化及結冰狀況的差異。

1. 前置作業：製作大量冰塊。
2. 架設溫度測量設備：將兩支溫度計會綁在譜架上，如圖所示，為了固定測量溫度的高度，以避免溫度梯度之明顯差異。
3. 使用量杯，秤量其液體體積 200 毫升（皆以相同液體：碳酸汽水）。
4. 利用鐵盤及電子天秤，秤量其精鹽重量依各組冰鹽比例不同而調整（如 150 克、200 克、300 克，其比例分別為 4:1，3:1，2:1）。
5. 利用鐵盤及電子天秤，秤量其冰塊重量 600 克。
6. 放置空容器至盛裝冰塊的鋼盆正中心位置。

7. 以一支溫度計測量 200 毫升液體之初使溫度。
8. 將剛剛已秤好之冰塊及精鹽批次放下，以一層冰塊及撒下一層鹽巴，並重複該動作，至盛裝冰塊及精鹽完畢為止。
9. 將第 7.步之待測液體倒入至該容器中。
10. 同時將第 1.步所架設之溫度測量設備，一支溫度計測量冰塊鹽巴之環境溫度、一支溫度計測量樣品（即容器內之液體）溫度。
11. 開始記錄時間、溫度及結冰狀況，約每分鐘記錄一次。

實驗四：探討過冷現象之溫度差異，並比較前三項實驗之結果並分析之，以了解瞬間結冰的過程。

1. 前置作業：製作大量冰塊。
2. 準備兩瓶相同的未開封 350 毫升樣品。
3. 準備一只內有錫箔面的保冷袋
4. 準備一只半透明塑膠袋
5. 利用鐵盤及電子天秤，秤量其精鹽重量 200 克
6. 利用鐵鍋及電子天秤，秤量其冰塊重量 600 克
7. 首先將半透明塑膠袋置入保冷袋，維持袋口打開，將樣品放入最底層。
8. 將冰塊鋪上一個平面，再將精鹽灑上，一層接著一層將其餘冰塊及精鹽放上，並稍微施力於塑膠袋上，使內部空氣的空隙減少，陸續把剩餘精鹽均勻鋪蓋在冰塊上層。
9. 將半透明塑膠袋打上二個結後，再將保冷袋拉鏈拉上
10. 計時 65 分，取其中一瓶並測量該液體溫度，並記錄之。
11. 同第 10.步，將另一瓶樣品輕敲桌面，觀察是否瞬間結冰，並記錄其結冰狀態。

伍、研究結果

實驗一：相同容器、相同冰塊與鹽巴比例、不同溶液之溫度變化與結冰狀況之差異。

實驗結果如下：

觀察平滑保特瓶，如圖七所示其結冰狀況，在 200 毫升的樣品（如碳酸汽水、運動飲料及礦泉水），精鹽重量 200 克，冰塊重量 600 克。

1. 目測發現碳酸汽水於 55 分外層結冰，運動飲料於 56 分外層結冰，礦泉水於外層 60 分結冰。
2. 如圖八、圖九所示其結冰狀況，碳酸汽水於 2 小時，有 90%結冰，其中尚有液體 20 毫升未結冰。
3. 運動飲料於 2 小時，有 80%結冰，其中尚有液體 40 毫升未結冰。
4. 礦泉水於 2 小時，有 80.5%結冰，尚有液體 39 毫升尚未結冰。



【圖七、觀察樣品結冰狀況】



【圖八、經過一段時間後外層結冰】



【圖九、實驗中止時，觀察左容器內剩餘液體的體積，及右容器結冰情形】

如下表二、三、四所示，各時間下其樣品溫度、環境溫度，及結冰狀態之追蹤結果：

【表二、樣品一（碳酸汽水）各時間對溫度及結冰狀態之實驗紀錄】

時間（分）	樣品溫度	環境溫度	備註
5	10	-8.1	
10	2	-11	
15	-0.5	-12.2	
20	-1	-12.1	
25	-0.2	-12	
30	-0.5	-12	
35	-0.5	-12.9	
40	-1	-11.1	
45	-1	-11.5	
50	-1	-11.5	
55	-1	-10	外層結冰
60	-1	-10.2	
65	-1	-9.1	
70	-1	-9.9	
75	-1.9	-8.2	
80	-1	-7	
85	-1	-7	
90	-2	-6	
95	-2	-5.5	約 70%結冰
100	-2	-5	
105	-2	-4.7	
110	-2	-4	
115	-2	-4	
120	-2.1	-3.5	90%結冰， 尚有液體 20 毫升

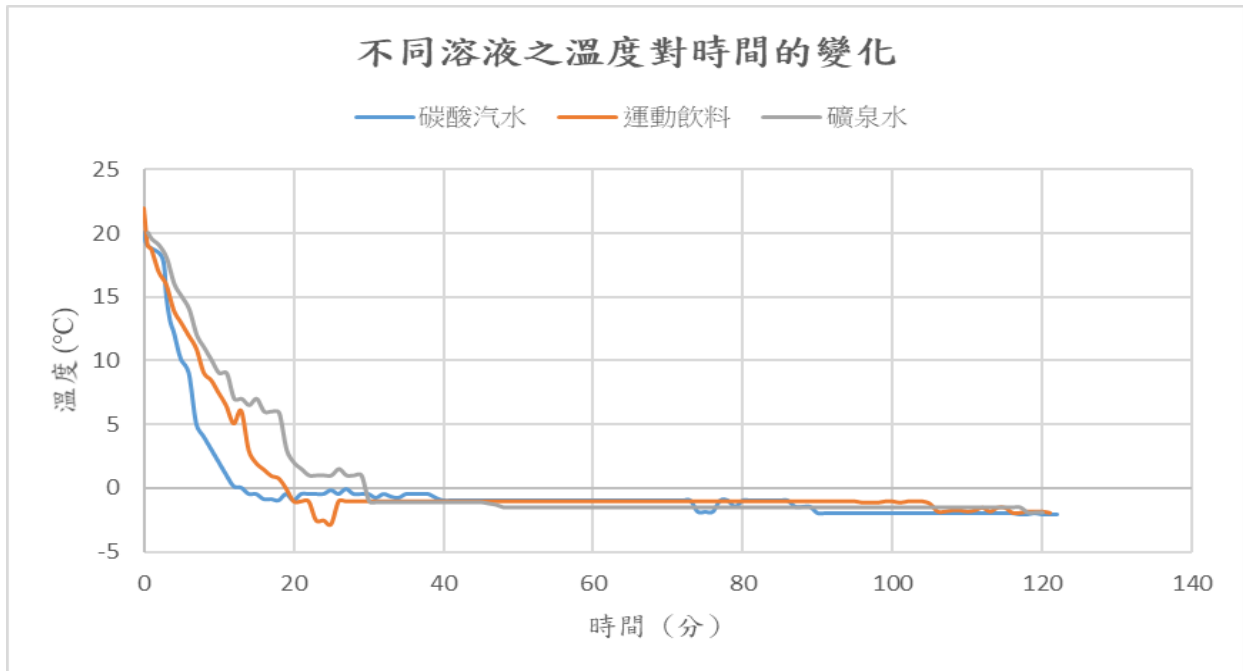
【表三、樣品二（運動飲料）各時間對溫度及結冰狀態之實驗紀錄】

時間（分）	樣品溫度	環境溫度	備註
5	13	-14.5	
10	7.5	-15.2	
15	2	-15.2	
20	-1	-14.2	
25	-2.8	-12.9	
30	-1	-12	
35	-1	-13.2	
40	-1	-13	
45	-1	-12	
50	-1	-10.9	
55	-1	-10	目測冰沙
60	-1	-10.9	
65	-1	-12	
70	-1	-13	
75	-1	-12.8	
80	-1	-11	結冰 8 成
85	-1	-10	
90	-1	-9.8	
95	-1	-9.5	
100	-1	-8.5	
105	-1.2	-7.8	
110	-1.8	-8	
115	-1.5	-6	
120	-1.8	-5.8	80%結冰， 尚有液體 40 毫升

【表四、樣品三（礦泉水）各時間對溫度及結冰狀態之實驗紀錄】

時間（分）	樣品溫度	環境溫度	備註
5	15	-11	
10	9	-12	
15	7	-14	
20	2	-13.9	
25	1	-12	
30	-1	-13	
35	-1.1	-12.8	
40	-1.1	-12.8	
45	-1.1	-13	
50	-1.5	-14	
55	-1.5	-13	
60	-1.5	-11	
65	-1.5	-11.5	
70	-1.5	-11.8	
75	-1.5	-11.5	
80	-1.5	-9	50%結冰
85	-1.5	-8.5	
90	-1.5	-8	
95	-1.5	-6.2	
100	-1.5	-5	
105	-1.5	-4.5	
110	-1.5	-3.9	
115	-1.5	-3	
120	-1.9	-2.1	80.5%結冰， 尚有液體 39 毫升

綜合表二、三、四，如下圖所示其不同樣品之溫度對時間的變化：



[圖十、不同溶液之溫度對時間的變化]

實驗二：相同溶液、相同冰塊與鹽巴比例、不同容器之溫度對時間的變化及結冰狀況的差異。

實驗結果如下：

觀察平滑容器（容器一）、凹凸不平保特瓶（容器二）及曲線保特瓶容器（容器三）內放置碳酸汽水 200 毫升。

1. 如圖九所示，樣品一（平滑容器）於 56 分外層結冰，2 小時結冰 90%，其中尚有液體 20 毫升未結冰。
2. 如圖十一所示，樣品二（凹凸不平容器）於 38 分外層結冰，於 2 小時結冰 80%，其中尚有液體 40 毫升未結冰。
3. 如圖十二所示，樣品三（曲面容器）容器於 38 分外層結冰，於 2 小時結冰結冰 85%，其中尚有液體 30 毫升未結冰。



[圖十一，實驗中止時，樣品二之結冰情形]



[圖十二，實驗中止時，樣品三之結冰情形]

【表五、樣品一（平滑容器）各時間對溫度及結冰狀態之實驗紀錄】

時間（分）	樣品溫度	環境溫度	備註
5	10	-8	
10	2	-11	
15	-0.5	-12.1	
20	-1	-12.2	
25	-0.2	-12	
30	-0.5	-12	
35	-0.5	-12.9	
40	-1	-11	
45	-1	-11.7	
50	-1	-11.5	
55	-1	-10	外層結冰 20%結成細沙狀
60	-1	-10.1	
65	-1	-9.1	
70	-1	-9.9	
75	-1.9	-8.1	
80	-1	-7.9	80%結冰
85	-1	-7	
90	-2	-6	
95	-2	-5.8	
100	-2	-5	
105	-2	-4.8	
110	-2	-4	
115	-2	-4	
120	-2.1	-3.8	90%結冰， 尚有液體 20 毫升

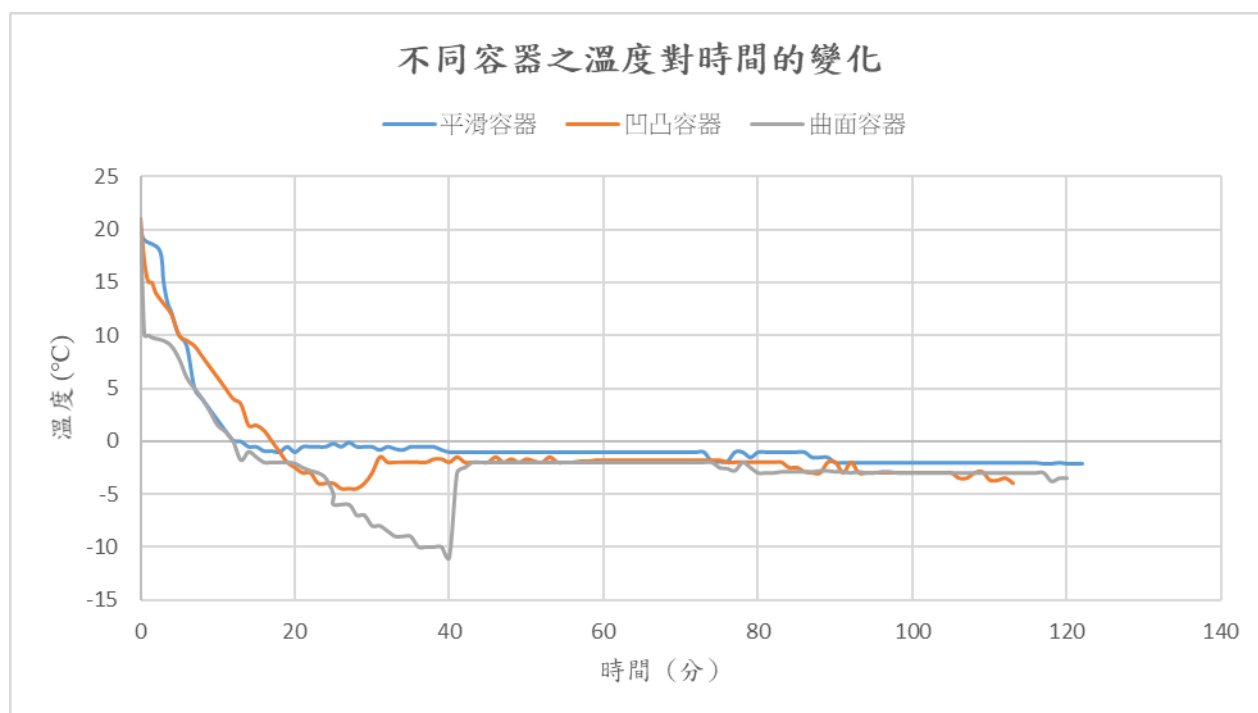
【表六、樣品二（凹凸容器）各時間對溫度及結冰狀態之實驗紀錄】

時間（分）	樣品溫度	環境溫度	備註
5	10	-8.1	
10	6	-8.5	
15	1.5	-10	
20	-2.5	-10.1	
25	-4	-11	
30	-3	-11.9	
35	-2	-9	
40	-2	-9.9	外層結冰
45	-2	-10	
50	-1.7	-10	
55	-2	-10	
60	-1.8	-10	
65	-1.8	-10	
70	-1.8	-9	
75	-1.8	-8	
80	-2	-8	
85	-2.5	-7	
90	-2	-7	
95	-3	-7	
100	-3	-6	
105	-3	-4.9	
110	-3.7	-4	
115	-4	-4	85%結冰， 尚有液體 30 毫升

【表七、樣品三（曲面容器）各時間對溫度及結冰狀態之實驗紀錄】

時間（分）	樣品溫度	環境溫度	備註
5	7.8	-2	
10	1.5	-6.1	
15	-1.5	-10	
20	-2.1	-11	
25	-5	-12	
30	-8	-13	
35	-9	-14	
40	-11	-15	外圍結冰
45	-2	-10	
50	-2	-9.5	
55	-2	-10.8	
60	-2	-11	
65	-2	-10.9	
70	-2	-10.7	
75	-2.5	-11	
80	-3	-10	
85	-2.9	-10	
90	-2.9	-9.5	起泡
95	-3	-9	
100	-3	-8	
105	-3	-6.8	
110	-3	-6	
115	-3	-6	
120	-3.5	-5	結冰 170cc

綜合表五、六、七，如下圖所示其不同樣品之溫度對時間的變化：



[圖十三、不同容器之溫度對時間的變化]

實驗三：相同溶液、相同容器、不同冰塊與鹽巴比例之溫度對時間的變化及結冰狀況的差異。

實驗結果如下：

觀察平滑容器，待測溫液體為碳酸汽水 200 毫升，環境以重量 600 克冰塊，調整冰鹽比，精鹽重量分別為 150 克、200 克及 300 克，其比例為 4:1、3:1 及 2:1。

圖九所示，樣品一（平滑容器）於 56 分外層結冰，2 小時結冰 85%，其中尚有液體 30 毫升未結冰。

1. 樣品一（冰鹽比 4:1）於 20 分時樣品為攝氏-1.1 度，目視於 40 分表面未結成冰沙，於 60 分結冰 81%，其中尚有液體 38 毫升未結冰。
2. 樣品二（冰鹽比 3:1）於 20 分時樣品為攝氏-1 度，目視於 56 分表面結成冰沙，於 120 分結冰 90%，其中尚有液體 20 毫升未結冰。
3. 樣品三（冰鹽比 2:1）於 20 分時樣品為攝氏-2 度，目視於 40 分 80%結成冰沙，60 分時一敲瞬間結冰 77.5%，其中尚有液體 45 毫升未結冰。

【表八，樣品一（冰鹽比 4:1）各時間對溫度及結冰狀態之實驗紀錄】

時間（分）	樣品溫度	環境溫度	備註
5	10.1	-9	
10	5	-9	
15	1	-11.1	
20	-1.1	-12.5	
25	-2.2	-12	
30	-6.2	-12	
35	-8.5	-11.9	
40	-10	-12	表面未結成冰沙
45	-10.9	-12.8	
50	-10	-14	
55	-11.5	-14	
60	-11.9	-13.5	結冰 81%， 38cc 未結冰

【表九，樣品二（冰鹽比 3:1）各時間對溫度及結冰狀態之實驗紀錄】

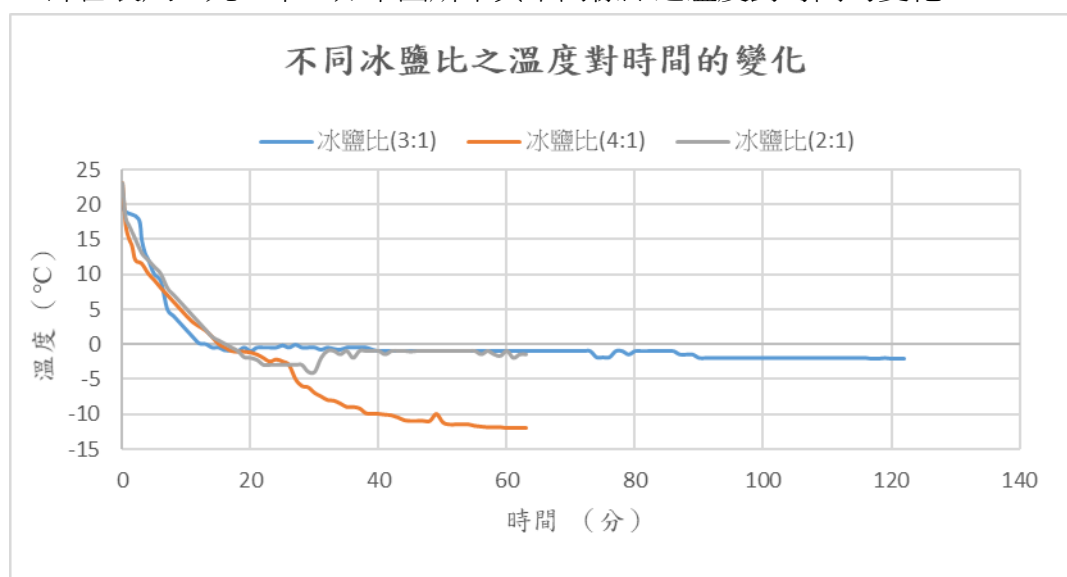
時間（分）	樣品溫度	環境溫度	備註
5	10	-8.1	
10	2	-12.5	
15	-0.5	-12.2	
20	-1	-12.1	
25	-0.2	-12	
30	-0.5	-12	
35	-0.5	-12.9	
40	-1	-11.1	
45	-1	-11.5	
50	-1	-11.5	
55	-1	-10	外層結冰
60	-1	-10.2	
65	-1	-9.1	
70	-1	-9.9	
75	-1.9	-8.2	
80	-1	-7	
85	-1	-7	
90	-2	-6	
95	-2	-5.5	結冰 70%

100	-2	-5	
105	-2	-4.7	
110	-2	-4	
115	-2	-4	
120	-2.1	-3.5	結冰 90%結冰， 尚有液體 20 毫升

【表十，樣品三（冰鹽比 2:1）各時間對溫度及結冰狀態之實驗紀錄】

時間（分）	樣品溫度	環境溫度	備註
5	11	-14	
10	5	-15.9	
15	0.5	-15	
20	-2	-14.9	
25	-3	-14.5	
30	-4	-14.5	
35	-1	-14.9	
40	-1	-15	結成細沙狀， 約 80%
45	-1.1	-15	
50	-1	-14.9	
55	-1	-15	
60	-1	-15	77.5%結冰 45 毫升未結冰

綜合表八、九、十，如下圖所示其不同樣品之溫度對時間的變化：



[圖十四、不同冰鹽比之溫度對時間的變化]

實驗四

觀察過冷現象之溫度差異，並比較前三項實驗之結果並分析之，以了解瞬間結冰的過程。

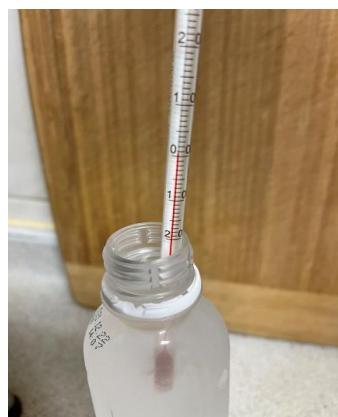
實驗結果如下：

樣品一：礦泉水

1. 礦泉水 1.1 測初使溫度 19.5 度，後放置保冷袋 65 分鐘後，打開樣品後溫度 0.9 度，敲一下並未瞬間結冰。如圖十五，圖十六，圖十七所示。
2. 礦泉水 1.2 測初使溫度 19.5 度，後放置保冷袋 65 分鐘後，未開瓶敲一下即瞬間結冰。圖十八所示。
3. 礦泉水 1.3 測初使溫度 19.5 度，後放置保冷袋 120 分鐘後，打開樣品後溫度-1 度，敲一下並未瞬間結冰。圖十九所示。
4. 礦泉水 1.4 測初使溫度 19.5 度，後放置保冷袋 120 分鐘後，未開瓶敲一下即瞬間結冰，發現 120 分比 65 分瞬間結冰快很多。如圖二十至二四所示。



[圖十五、室溫量測]



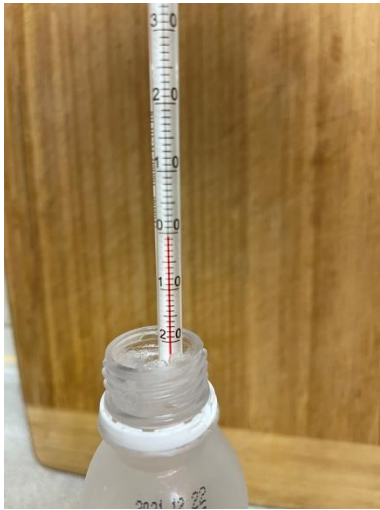
[圖十六、降溫後量測]



[圖十七、過冷後結冰情形]



[圖十八、過冷後結冰情形]



[圖十九、過冷點量測]



[圖二十、瞬間結冰錄影截圖]



[圖二十一、瞬間結冰]



[圖二十二、瞬間結冰]



[圖二十三、瞬間結冰]

樣品二：奶茶

1. 奶茶 1.1 測初使溫度 19.9 度，後放置保冷袋 65 分鐘後，打開樣品後溫度 6 度，敲一下並未瞬間結冰。如圖二十四所示。
2. 奶茶 1.2 測初使溫度 19.9 度，後放置保冷袋 65 分鐘後，未打開樣品，敲一下仍未瞬間結冰。

樣品三：

1. 碳酸汽水 1.1 測初使溫度 19.1 度，後放置保冷袋 65 分鐘後，打開樣品後溫度 4 度，敲一下並未瞬間結冰。如圖二十五所示。
2. 奶茶 1.2 測初使溫度 19.1 度，後放置保冷袋 65 分鐘後，未打開樣品，敲一下仍未瞬間結冰。



【表十一、實驗四結果：不同溶液測量其過冷溫度，並確認樣品是否瞬間結冰】

樣品名稱	冷卻時間(時)	樣品初始溫度	樣品冷卻後溫度	是否瞬間結冰	開瓶與否
礦泉水 1.1	1.05	19.5	0.9	否	已開瓶
礦泉水 1.2	1.05	19.5		是	未開瓶
礦泉水 1.3	2	19.5	-1	否	已開瓶
礦泉水 1.4	2	19.5		是	未開瓶
奶茶 1.1	1.05	19.9	6	否	已開瓶
奶茶 1.2	1.05	19.9		否	未開瓶
碳酸汽水 1.1	1.05	19.1	4	否	已開瓶
碳酸汽水 1.2	1.05	19.1		否	未開瓶

陸、討論與結論

實驗一：

由實驗結果發現**樣品溫度**降溫最快是碳酸汽水 **13 分**時 0°C ，運動飲料 3°C ，礦泉水 7°C ，至 30 分時三樣液體溫度趨近：碳酸汽水 -0.5°C ，運動飲料 -1°C ，礦泉水 -1°C 。很有意思的發現是**環境溫度**碳酸汽水開始時溫度下降較快(溫差較大)，但在 100 分鐘時，發現碳酸汽水和礦泉水的環境溫度卻相同(-5°C)，而運動飲料此時的环境溫度則更低(-8.5°C)。

由實驗結果發現碳酸汽水結冰較快，結冰較快是碳酸汽水其次礦泉水最後舒跑(運動飲料)，我們發現熱量碳酸汽水是舒跑 1.5 倍，糖份舒跑是碳酸汽水 1.6 倍，鈉舒跑是碳酸汽水 7 倍，不清楚液體內容物是否會影響結冰這可做為日後再探討。

實驗二：

凹凸不平保特瓶及曲線保特瓶容器結冰相同，平滑容器較慢，三者比較發現曲線保特瓶容器於 25 分至 40 分時溫度下降比其它容器快，根據目測曲線保特瓶結冰較扎實，未來我們可以做更多的不同容器看溫度下降快慢及結冰速度。

不平滑容器之結冰狀況較平滑容器佳，速率較快，剩餘水量亦較少。結冰是一種結晶的過程，溫度要夠低，且必須要有結晶核的存在，水分子才可依附於其表現進行結晶，形成冰塊。根據實驗結果，推測容器內部之不平滑處亦可作為結晶核，供水形成晶體；然而，若容器平滑，則會因為缺乏結晶核，導致溫度低於攝氏 0 度，還無法結冰。

實驗三：

由實驗結果發現樣品三(冰鹽比 2:1)於 20 分時為 -2°C ，溫度下降相較另二樣品快，其次為樣品二(冰鹽比 3:1) -1°C ，最後為樣品一(冰鹽比 4:1)於 20 分時樣品為 -1.1°C ，由此可證冰鹽比例多溫度下降速度快。

但有趣的是三個樣品在 13 分鐘至 16 分鐘時樣品溫度為 0°C，冰鹽比 4:1 之後快速下降，於 60 分鐘時-11.9°C，冰鹽比 3:1，冰鹽比 2:1 只有-1°C，更印證冰鹽比例多溫度下降速度快結冰。

根據目測雖然都有結冰但冰鹽比 4:1 結冰較扎實，冰鹽比 2:1 拿出時一敲瞬間由液體變固體。

實驗四：

根據上述實驗結果與討論，本實驗之研究結論如下：

在低溫（約為攝氏 0 度）環境下，水分子得以於液體中，以雜質分子作為結晶核形成固體結構。從實驗結果中，可以發現礦泉水冷卻後溫度下降較快，結冰速率最快，碳酸汽水其次，奶茶最慢。

礦泉水比較沒有雜質，加上容器平滑造成缺乏結晶核，亦導致溫度低於攝氏 0 度，還無法結冰，形成「過冷水現象」。「過冷」是一種極不穩定的狀態，稍微一震動就會觸發水分子快速排列成固態，就是瞬間結冰。因此將礦泉水裝於平滑容器內，並置於加入適當比例之冰塊及鹽巴之保冷袋中約一小時後，本實驗形成過冷水現象，礦泉水取出震動即可產生瞬間結冰。

綜上所述，本研究發現礦泉水雜質較少，較不易結冰；而含有雜質的飲料，如碳酸汽水、舒跑等，可能因雜質的存在，而較易結冰。因此，在炎熱的天氣之中，若想盡快於冰涼的飲料中吃到冰塊，建議可以將含雜質分子之飲料放入冰箱之中，以促使飲用者可以減少等待的時間。另外，本研究也發現容器若凹凸不平，結晶狀況較佳，故本研究建議冰飲料時，可以將寶特瓶容器透過凹折稍做處理，使冰塊形成速率較快。至於外出時，若想時不時地拿起飲品，吃到冰塊，建議可將礦泉水從冰箱取出後，置於保冷設備中攜出，如此一來，便可在想吃冰塊的時候，將礦泉水從保冷設備中取出並稍加震動，馬上吃到冰冰涼涼的冰塊！

柒、未來展望

本研究選用之飲品數量較少，選用之容器材質與結構亦有更多選項，至於數據量化的過程，本實驗因實驗設備不足，故以溫度隨時間的變化量，目測觀察為主、冰塊結晶的速率〈立方公分/秒〉等數據之定量都是未來研究可以努力的方向。

本研究最重要的是結合不同條件的實驗結果來呼應並評估瞬間結冰的可能性，並由建立資料庫加以評估，因此從我們研究的分析中，更可以利用過冷的概念來詮釋瞬間結冰的成敗，然而，數據資料庫的精確度仍能再透過更好的實驗設計，包含冷卻源頭的選擇、液體的選擇及容器的選擇，而實驗四的環境條件、容器、液體仍可以多做幾種不同條件來加以比較。

在這個大數據的新時代，本研究希望藉由科學方法，將日常生活人們常常使用的飲品作為對象，在未來倘若能有效評估其可能性，則會省去非常多時間來做前置準備，甚至增高其瞬間結冰的成功率。

捌、參考文獻資料

1. 教學練習網：熱對物質的影響 http://www.phyworld.idv.tw/Nature/Jun_2/htm/B3_5-4_POINT.html
2. 維基百科：凝固、結晶及過冷的定義 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%87%9D%E5%9B%BA>
3. 國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系科學遊戲實驗室：瞬間結冰的實驗 <http://scigame.ntcu.edu.tw/water/water-008.html>
4. 大紀元：瞬間結冰小實驗的新聞 <https://www.epochtimes.com/b5/15/6/25/n4465555.htm>