

【2021 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中（職）組 成果報告表單

題目名稱：急凍瞬間——過冷水相關現象探討

一、摘要：

本研究主要為探討液體發生過冷現象的最佳形成條件，實驗大致上可分為三部份，我們首先測試市面上相異飲品形成過冷現象的效果顯著程度，最後選擇效果最佳的可樂進行後續實驗。在第二部分中我們針對不同的環境條件進行探討，找出形成過冷可樂的最佳條件；最後一部分主要探討如何觸發過冷液體的瞬間結冰現象，探討能產生最多結冰可樂的觸發方式。

二、探究題目與動機

高二上選修化學提到有關溶液凝固點下降的相關資訊，感興趣之餘，在上網查詢相關資料後發現許多生物的抗寒機制都和此效應有關，人類也透過過冷效應得到許多便利以及樂趣，如用鹽將雪融化以方便清理，或是一些魔術表演等，都和過冷現象與凝固點下降有密切的關係。我們比較氣泡水、純水、雪碧、可樂、寶礦力等多種飲料，找出最容易形成過冷狀態的飲料，再透過該種飲料探討過冷現象形成的條件與結冰觸發之方式等，歸納出過冷現象形成的最佳條件與相關現象之研究結果。

三、探究目的與假設

1. 比較各種飲料形成過冷水的成功率，找出最適合的實驗樣品。
2. 利用前項實驗找出的飲料，比較形成過冷現象的各種條件。
 - (1) 實驗前使用超音波震盪不同時間，創造不同氣泡含量的變因
 - (2) 放入冰箱前是否搖晃與冷凍時間
 - (3) 在冰箱中的擺放位置
3. 觸發結冰的方式
 - (1) 開瓶
 - (2) 搖晃
 - (3) 超音波震盪



圖 1、可樂成分圖

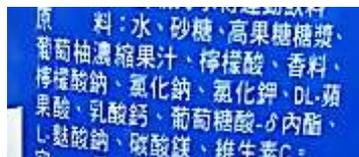


圖 2、寶礦力成分圖

陽離子	毫克當量 (mEq/L)	陰離子	毫克當量 (mEq/L)
Na ⁺ (鈉)	21	Cl ⁻ (氯)	16
K ⁺ (鉀)	4.9	Citrate ³⁻ (檸檬酸根)	13
Ca ²⁺ (鈣)	1	Lactate ⁻ (乳酸根)	1
Mg ²⁺ (鎂)	0.5		

圖 3、寶礦力離子含量圖

表 1、飲料種類列表與特質比較

	氣泡	溶質	離子
可樂	有	(如上圖 1)	較少 (碳酸、磷酸)
寶礦力	無	(如上圖 2)	較多 (如上圖 3)
純水	無	無	無

四、探究方法與驗證步驟

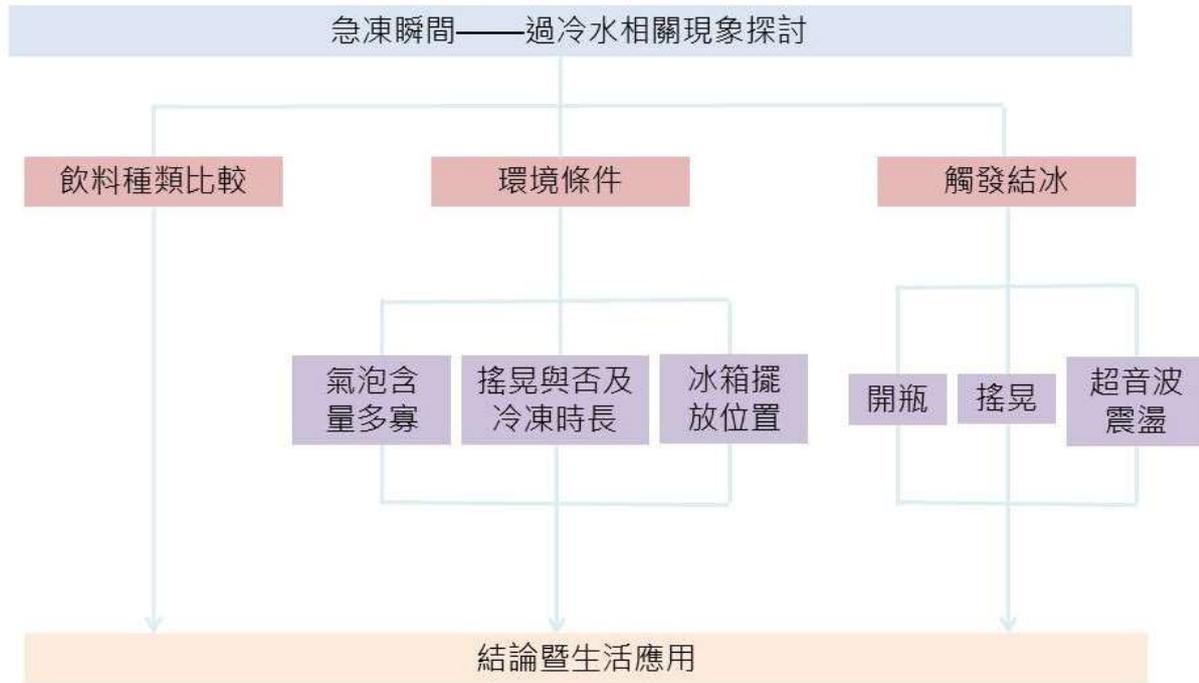


圖 4、實驗架構圖

一、飲料種類比較測試

1. 於試管內中入 25 毫升之可樂、寶礦力、蒸餾水。
2. 將其置於盛有冰塊及食鹽的大燒杯內。
3. 每間隔 30 秒記錄一次液體溫度，持續六分鐘。
4. 每一種液體的實驗重複操作三次，並將平均數據繪製成不同飲品的溫度下降變化趨勢圖。



圖 5、試管實驗裝置圖

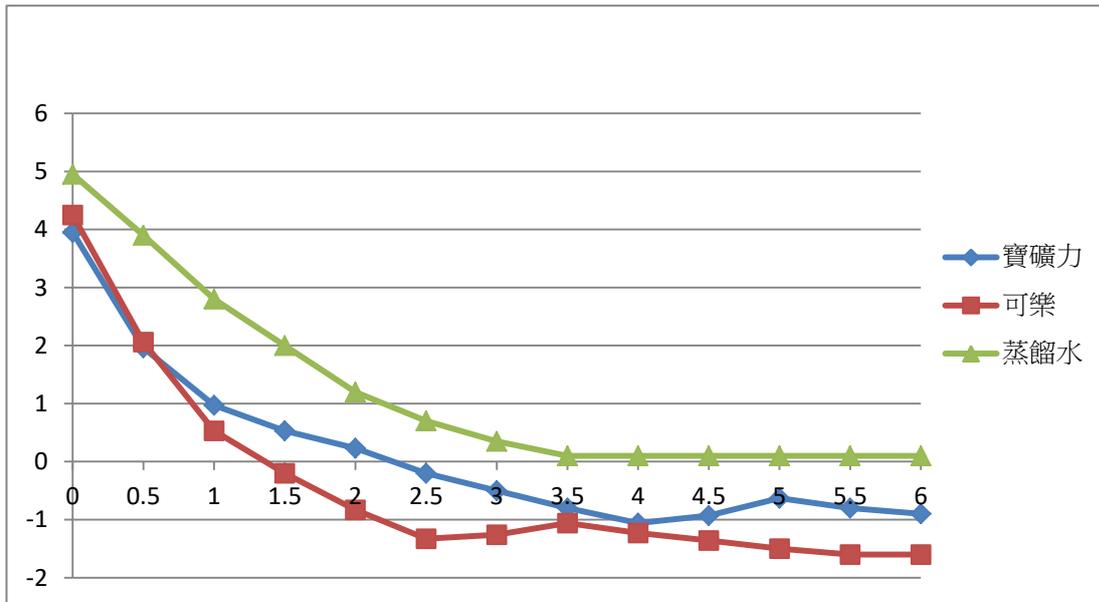


圖 6、不同飲料溫度變化趨勢圖

由上圖可知，可樂形成過冷狀態的現象較為明顯，寶礦力次之，而蒸餾水則難以由此實驗做出過冷現象，故我們決定以過冷現象較易觀察的可樂作為後續實驗的基本液體。實驗前我們假設寶礦力的過冷效果應該最好，因為其具有多種電解質，溶液凝固點下降幅度應該最大，但此假設不符合實驗結果。可樂及寶礦力內皆含有多種溶質，因此造成兩者之差異的可能是氣泡，氣泡存在阻礙水分子排列成晶格，所以氣泡愈多，液體愈不容易結冰。

二、環境條件

(一)氣泡含量多寡

- 1.於三個燒杯內分別裝入等量可樂。
- 2.將其中兩燒杯分別放入超音波震盪儀內震盪 30、60 秒。
- 3.將震盪時間 0 秒、30 秒、60 秒之可樂分別取 25 毫升於試管中。
- 4.將其置於盛有冰塊及食鹽的大燒杯內。
- 5.每間隔 30 秒記錄一次液體溫度，持續十分鐘。
- 6.每一種液體的實驗重複操作三次，並將平均數據繪製成不同氣泡量多寡的可樂溫度下降變化趨勢圖。



圖 7、超音波震盪儀操作圖

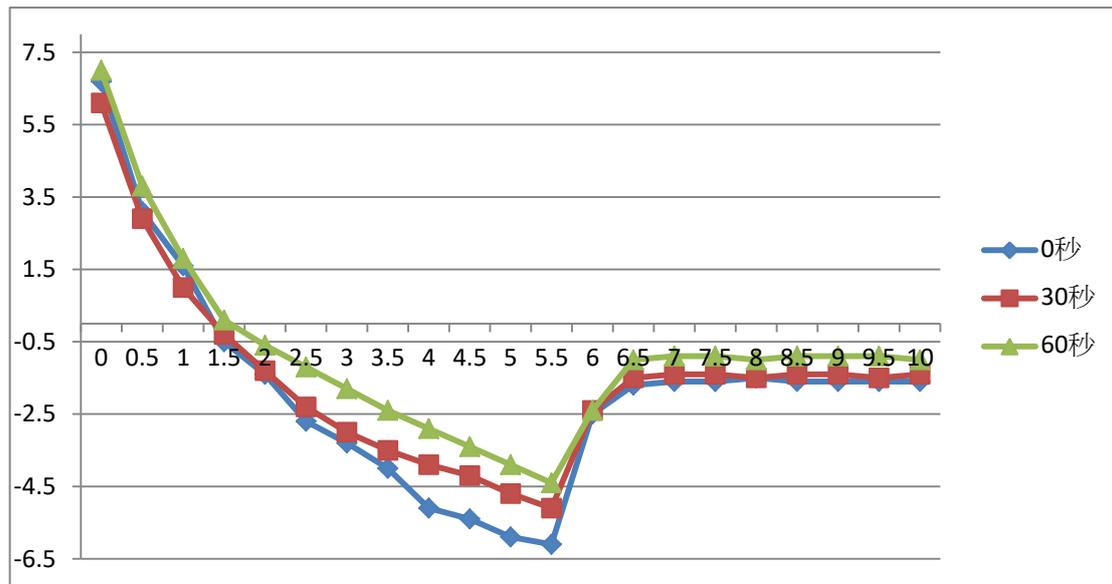


圖 8、不同氣泡量多寡的可樂溫度變化趨勢圖

實驗前我們假設震盪時間愈短(氣泡含量愈多)的可樂凝固點應愈低，而由實驗可知，震盪 60 秒的可樂之凝固點略高於震盪 30 秒的可樂，符合實驗假設，可能因氣泡存在會阻礙水分子排列成晶格，所以氣泡愈多，液體愈不容易結冰，過冷曲線有最低溫度。

(二)搖晃與否與冷凍時長

1. 將四瓶可樂其中兩瓶大力搖晃
2. 將四瓶可樂冰進冰箱
3. 分別在 1hr30min 與 2hr 時，各將一瓶搖過與未搖過的可樂拿出冰箱
4. 開瓶並記錄結果

表 2、本次實驗後不同可樂的結冰狀況

			
1hr30min、有搖晃	1hr30min、無搖晃	2hr、有搖晃	2hr、無搖晃

透過本次實驗可得知，透過本次實驗可得知，在冰入冰箱前先搖晃有助於使過冷可樂結冰的量增加，且冷凍時間 2 小時的成果優於 1.5 小時。搖晃過程中使溶在水中的氣體

釋出，瓶內壓力增加，開瓶瞬間的氣壓變化量也增大，又結合「氣泡含量多寡」之實驗結果，液體中氣泡愈少的可樂愈容易結冰，因此有搖晃的可樂結冰量較多。而冷凍時間愈長，可樂溫度愈低，故結冰量較多。

(三) 冰箱內擺放位置

1. 將可樂依照編號位置正確擺放。
2. 冷凍兩小時。
3. 紀錄實驗成果與觀察結冰狀態



圖 9、冰箱位置編號圖



圖 10、1 及 2 號位置結冰可樂圖(左圖：前 右圖：後)



表 3、不同位置可樂結冰情形

位置編號	編號 1	編號 2	編號 3	編號 4	編號 5
第一次	結冰	結冰	成功	成功	成功
第二次	結冰	結冰	成功	成功	結冰
第三次	結冰	結冰	結冰	成功	成功

在上圖 1 號至 5 號位置中，1、2 號位置之後方正好是冰箱的出風口。實驗後我們發現，在 1 號及 2 號位置的可樂容易直接結冰，而 3、4、5 號位置的可樂較容易成功。

在觀察可樂所結的冰後，我們發現可樂是從後方，也就是正對出風口的位置開始結冰。因此我們推測，若要成功使可樂形成過冷可樂，必須使它均勻降溫，若某部分降溫過快，容易使可樂在該部分開始結冰，導致實驗失敗。

三、觸發瞬間結冰的方式

1. 將三瓶可樂冰入冷凍庫製成過冷可樂。
2. 2hr 後從冰箱取出。
3. 其中一瓶開瓶後記錄結冰狀況。
4. 其餘兩瓶分別搖晃或置入超音波震盪儀，記錄結冰狀況。

表 4、各種處理方式下可樂之結冰狀況

處理方式	處理前	處理後
開瓶	液態	由上往下開始結冰
搖晃	液態	搖晃後多出一些小碎冰
超音波震盪	液態	結冰狀態無明顯改變

可樂開瓶前二氧化碳濃度高，水分子較難排列，開瓶後瞬間濃度下降，加入擾動因素，並且水分子有空間行程結晶，一但有結冰產生，其他水分子會依附上形成的冰，瞬間產生大量結冰現象，使可樂由上往下開始結冰。搖晃可樂會使液體多出一些小碎冰，推測是由於搖晃增加分子碰撞機會，使水分子較易形成晶格；超音波震盪比起搖晃更接近分子層級，使分子透過震盪提高自身溫度，不易結成冰。

五、結論與生活應用

(一) 最容易形成過冷液體之條件

1. 飲料種類：可樂
2. 最佳條件：

氣泡含量	愈多愈好
搖晃與否	搖晃
冷凍時長	兩小時
冰箱擺放位置	4 號 (不正對冰箱出風口，能均勻降溫的位置)

3. 觸發結冰方式：開瓶

(二) 生活應用：

1. 過冷現象應用在生活的範疇包含魔術表演，或是一些具表演性質的調酒製作等等，透過了結此現象的原理與概念，能增進對於自然科學的學習興趣及相關知識。
2. 利用過冷可樂製作可樂冰沙，不失為一個新奇且吸引人的方式。

參考資料

1. Youtube(2010.07.14) 消暑大絕招：輕鬆讓你的飲料瞬間結冰！流言追追追-【實驗精華片段】。取自 <https://www.youtube.com/watch?v=cP86vPHTPDw>
2. 高連陽、楊水平(2010.09.10)【化學示範實驗：可口可樂神奇凝冰—過冷】，科學 Online。取自 https://www.youtube.com/watch?v=Q7q_wzVzVTU
3. 邱律婷(2009)。「釘釘」是個人才—急速冷卻水之冰釘特性研究，2009 年台灣國際科展物理與太空學科大會獎第三名。
4. 吳宏達(2010)。「過冷水-冰點-雲霧」之有關水相態性質。取自 <http://ws3.ntcu.edu.tw/earthlab/earthlab/week06.asp>