

嘉義縣第五十六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：冰下奇蹟

關鍵字：過冷、過冷水、瞬間結冰

編號：

目錄

摘要.....	3
壹、研究動機.....	3
貳、研究目的.....	3
一、瞭解什麼是過冷水.....	4
二、瞭解從過冷水到瞬間結冰再到融化，溫度變化的情形.....	4
三、探討過冷水形成的原因.....	4
四、過冷水瞬間結冰後，結冰形狀是否相同。.....	4
參、研究器材與設備.....	4
肆、研究過程與方法.....	5
問題一：文獻探討，找出過冷水的定義.....	5
問題二：實際測試一瓶過冷水的溫度變化情形.....	6
問題三：形成過冷水的影響因素為何.....	8
(一)水質是否會影響.....	8
(二)容器是否會有影響.....	10
(三)冰箱擺放的位置是否有影響.....	12
(四)水溶液的酸鹼性是否有影響.....	14
(五)水溶液濃度是否會影響.....	15
(六)水量多寡是否有影響.....	17
(七)溶質對過冷水溫度的影響.....	19
(八)是否具結晶核是否有影響.....	21
問題四：不同水溶液過冷後，瞬間結冰的冰晶形狀是否相同.....	23
伍、研究結果.....	25
陸、討論.....	27
柒、結論.....	30
捌、參考資料及其他.....	30

作品名稱：冰下奇蹟

摘要：

一般水的溫度降至 0°C (凝固點)時，會有結冰的現象。但是過冷水卻在 0°C 以下仍然保持液態，到底是什麼原因造成這種奇妙的現象呢？

我們試著從水質、瓶子的材質、水溶液的成分、水溶液的酸鹼性、水量、水溶液的濃度、結冰時需要的結晶核等因素來作探討。

依據實驗結果歸納得知：

1. 液體除了溫度的因素外，還需要具有結晶核，才会有凝固的現象；液體只要缺乏結晶核的條件，就產生了低於 0°C 卻無法凝固的過冷現象，但一旦受到擾動碰觸結晶核，過冷水就會瞬間結冰。
2. 水溶液的溶質會影響過冷水的溫度，加了鹽巴的水溶液，會比加了糖的水溶液降到更低的溫度，瞬間結冰會的冰晶也會因為溶質不同，形成不一樣的冰晶形狀。

壹、研究動機

一般常識中，總是學到水在 0°C 時，會開始結冰，但是，在一次偶然的機會下，我們在新聞中看到了一部影片，內容是將礦泉水冰入冰箱，放置兩小時後，拿出來的礦泉水還是液體狀。可是經過搖晃後，水竟然神奇的全部結成了冰，而且是瞬間結冰，這真是太神奇了！

看到這個影片後，激發了我們的好奇心，水既然會過冷，那麼夏天就只要帶過冷水的飲料出門，搖一搖就有飲料冰可以喝了，感覺像在變魔術一樣，多帥氣啊！於是，我們開始動手做起探究過冷水的形成因素，打算大顯身手，讓其他同學對我們投以羨慕、崇拜的眼神。

貳、研究目的

我們希望藉由探究過冷水形成的原因，來了解這個神奇的現象，並且藉由探究過冷水形成的原因，來增加日常生活中，生活中的便利，例如：可以隨時喝到冰沙飲料……等等。

表 2-1 研究目的與對應的實驗問題設計

研究目的	對應的實驗問題設計
一、瞭解什麼是過冷水	1. 文獻探討，找出過冷水的定義
二、瞭解從過冷水到瞬間結冰再到融化，溫度變化的情形	2. 實際測試一瓶過冷水的溫度變化情形。
三、探討過冷水形成的原因	3. 為什麼會形成過冷水。 (1)水質是否會影響。 (2)容器是否會有影響。 (3)冰箱擺放的位置是否有影響。 (4)水溶液的酸鹼性是否有影響。 (5)水溶液濃度是否會影響。 (6)水量多寡是否有影響。 (7)溶質的多寡是否有影響。 (8)是否具結晶核是否有影響。
四、過冷水瞬間結冰後，結冰形狀是否相同	4. 不同水溶液過冷後，瞬間結冰的冰晶形狀是否相同。

參、研究器材與設備

從日常生活中隨手可得、可見的物品中，我們找出以下幾項，做為我們的實驗器材：

表 3-1 實驗器材一覽表

測量設備	實驗器具	自製工具
酒精溫度計、紅外線溫度計、電子秤、計時器、小湯匙、滴管、量杯	冰箱、快煮壺、空塑膠瓶、空玻璃瓶、可口可樂、雪碧、蘋果西打、自來水、蒸餾水、糖、鹽、醋、檸檬酸、小蘇打粉、石灰、土、砂子、石頭、	自製瓶架



圖 3-1 「冰下奇蹟」所有實驗器材舉例

肆、研究過程與方法

一、問題一：文獻探討，找出過冷水的定義

什麼是過冷水，我們利用網路搜尋，整理出以下的資料。

(一)文獻的定義資料

1. 維基百科：過冷水 (supercooled water，又譯過冷卻水) 是指溫度低於攝氏零度的液態水。
2. NTCU 科學實驗室：水凝結為冰，溫度必須降低到凝固點；但是到達凝固點時，水未必可以立即凝結為冰，此時稱之為「過冷水 (supercooled water)」。過冷水只要條件適合 (例如壓力改變、有結晶核、晃動等等)，可以立即凝結為冰。

3. 科學 OnLine：若水質純淨無雜質而且容器光滑，冰晶無處可以附著就無法形成，所以即使溫度低於水的凝固點也無法結冰。此時只要搖晃此瓶“超冷凍水”，使水分子之間劇烈碰撞而形成冰晶，其他水分子就會立即附著其上開始結晶，於是整瓶“超冷凍水”就瞬間結冰，此現象稱為過冷（Supercooling）。

(二)本實驗的過冷水定義

所謂的過冷水，就是當水溶液的溫度降至該容易的凝固點之下，但並未結冰，成為固體，而是繼續保持液態的狀態，稱之為「過冷水」。

二、問題二：實際測試一瓶過冷水的溫度變化情形。

從過冷水的溫度下降情形，至搖晃後，瞬間結冰，再到融化，期間的溫度變化情形是怎樣，我們實際來測量看看。

(一)、使用的器材：

計時器、寶特瓶空瓶、酒精溫度計、冰箱

(二)、實驗操作方法：

步驟 1：用電鑽在礦泉水空瓶的瓶蓋中央打出一個比溫度計略小的洞。在瓶蓋的洞中插入溫度計，溫度計露出的範圍可以輕易觀察到零下 25°C。

步驟 2：將兩瓶寶特瓶空瓶倒入自來水，然後拴緊所有瓶蓋，排除氣泡。

步驟 3：自製瓶架平放進冰箱冷凍庫，依序擺放仔細標記的寶特瓶。紀錄實驗開始溫度。

步驟 4：計時器歸零，關上冰箱開始實驗。

步驟 5：每五分鐘分別紀錄一次溫度計溫度變化。



圖 4-1 過冷水溫度變化情形實驗器材舉例

(三)、實驗研究結果：

我們將實際觀測的溫度變化結果，紀錄如下：

表 4-1 過冷水溫度變化情形紀錄

溫 度 水瓶	時間										
	0 分	30 分	60 分	90 分	120 分	150 分	180 分	210 分	240 分	270 分	
A	22°C	3°C	-6°C	-1°C	-1°C	-1°C	-1°C	-1°C	-1°C	1.5°C	
B	24°C	5°C	-5°C	-9°C	-2°C	-2°C	-2°C	-2°C	-2°C	2.5°C	
溫 度 水瓶	時間										
	300 分	330 分	360 分	390 分	420 分	450 分	480 分	510 分	540 分		
A	1.5°C	1.5°C	1.5°C	1.5°C	1.5°C	-13°C	-16°C	-16°C	-16°C		
B	2.5°C	2.5°C	2.5°C	2.5°C	2.5°C	2.5°C	2.5°C	-4°C	-15°C		

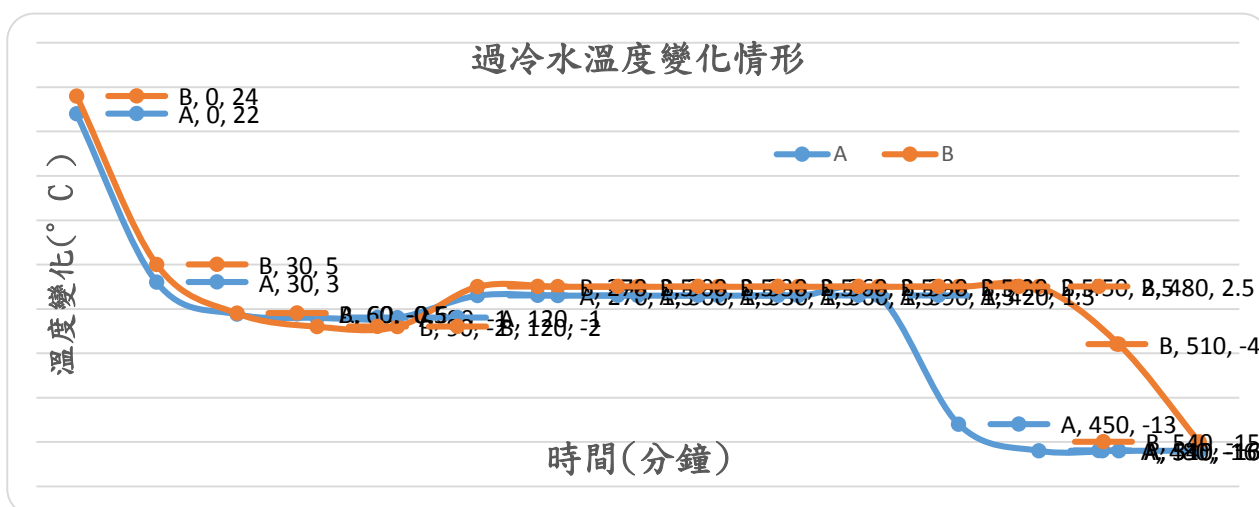


圖 4-2 過冷水溫度變化呈現先降，後升，再降，再升的變化

(四)、實驗小結論：

1. 過冷水的溫度變化呈現是先降，後升，再降，再升的變化。
2. 當過冷水一搖晃時，會瞬間結冰，但是，溫度在瞬間結冰的同時，會上升至 0 度以上，同時結冰。
3. 瞬間結冰後，溫度會繼續保持接近 0 度一段時間不變，然後開始上升，當冰開始要融化時，溫度再次下降，接下來才又會繼續上升。

三、問題三:形成過冷水的影響因素為何？

對於會形成過冷水的原因究竟是什麼？我們就可以調整的因素來做探究，分別有容器、水質、冰箱冷凍庫放置位置、酸鹼性、濃度、水量多寡、溶質多寡、是否具有結晶核來作探討。

(一)水質是否會影響

為了探討是否是因為純水或非純水所造成的，所以，我們利用已經去除大部分雜質的蒸餾水以及完全沒去除雜質的自來水來進行測試。

1、使用的器材：

蒸餾水、自來水、空礦泉水瓶、紅外線測溫器

2、實驗操作方法：

- 步驟 1：在兩個空礦泉水瓶中，分別裝入自來水及蒸餾水。
- 步驟 2：將兩個水瓶靜置一段時間，直到氣泡消失，再冰至冰箱。
- 步驟 3：每隔一段時間便利用紅外線測溫器測量溫度。
- 步驟 4：觀察水瓶裡的水是否會降至 0 度以下而不結冰。

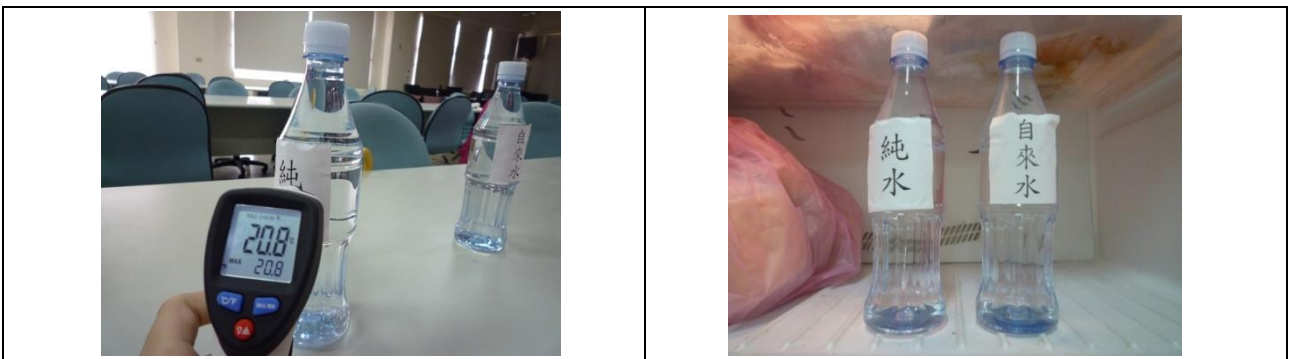


圖 4-3 水質是否會影響過冷水形成的實驗器材

3、實驗研究結果：

表 4-2 測試水質是否是形成過冷水的因素紀錄

	自來水	蒸餾水(純水)
第一次	○	○
第二次	○	○
第三次	○	○

「○」代表形成過冷水 「×」代表形未能形成過冷水

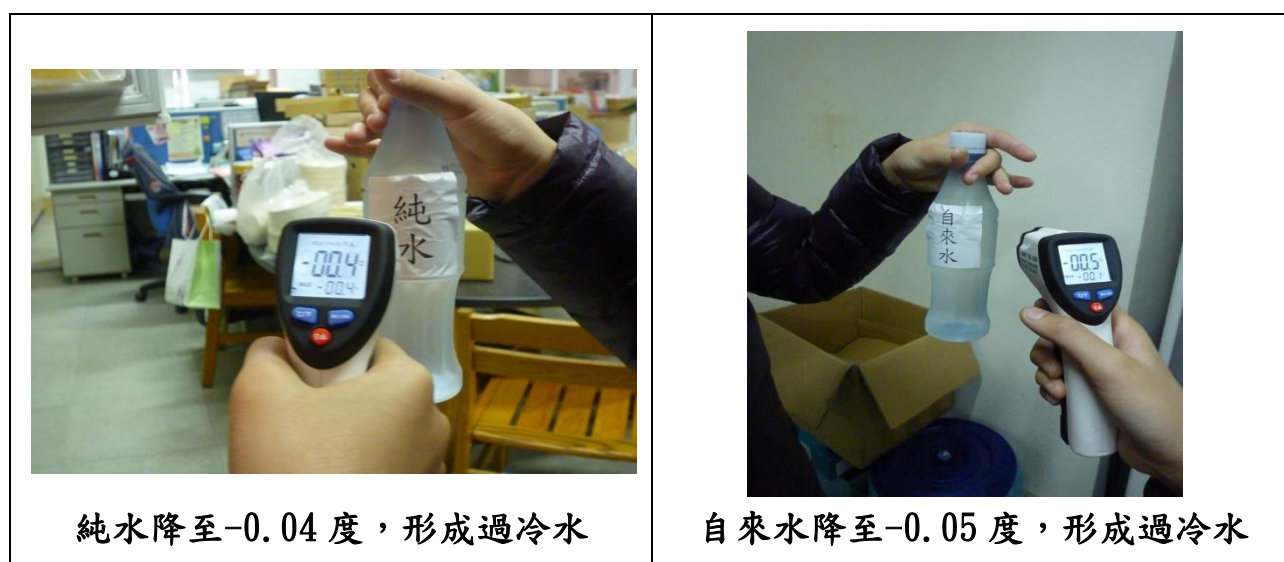


圖 4-4 自來水及純水實驗情形

4、實驗小結論：

- (1). 無論是自來水或蒸餾水，都可以形成過冷水。
- (2). 水中的雜質多寡不不是主要形成過冷水的原因。

(二)容器是否會有影響。

水質並不是形成過冷水的原因，那麼是否是因為容器的影響呢？在我們看到的報導影片中，主持人說是因為瓶子是否光滑的影響，才能形成過冷水，然後搖一搖便可以瞬間結冰，所以，我們決定把不同材質的瓶子拿來做測試。

1、使用的器材：

8種不同材質的空瓶、自來水、紅外線測溫計、捏扁的礦泉水瓶

2、實驗操作方法：

步驟1：將8種不同材質的空瓶，包含了不同造型的礦泉水瓶、大小不一的玻璃瓶等，裝滿自來水。

步驟2：將裝滿水的瓶子，標示號碼，並同時冰至冰箱冷凍庫中。

步驟3：每隔一段時間便利用紅外線測溫器測量溫度。

步驟4：觀察水瓶裡的水是否會降至0度以下而不結冰。

步驟5：另外，增加測試一瓶捏扁的礦泉水瓶。

步驟6：觀察如果是捏扁的水瓶，瓶子呈現不規則的不光滑表面，是否可以形成過冷水。

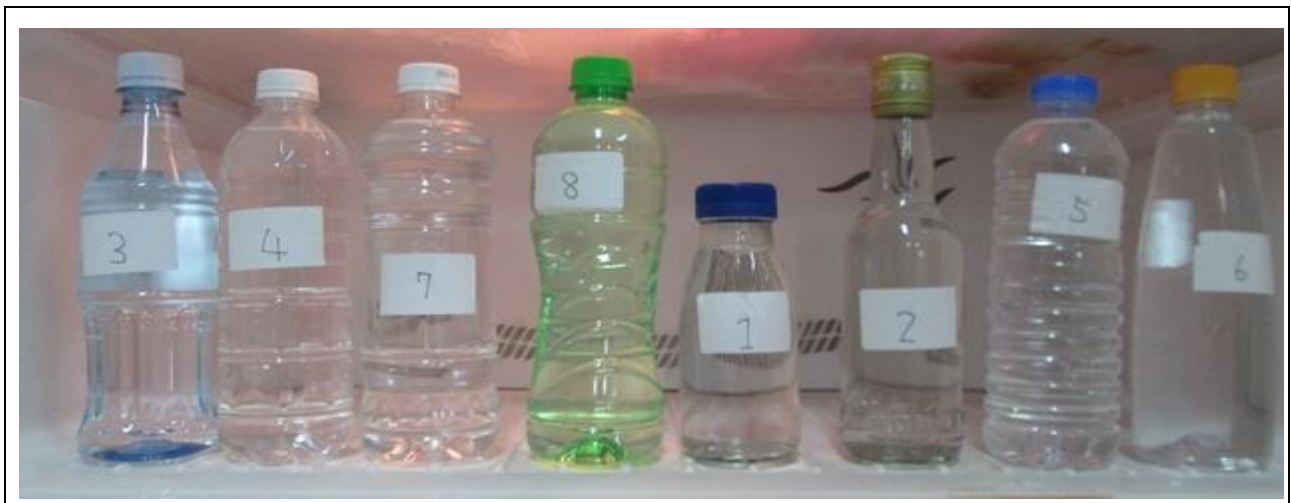


圖 4-5 不同材質的礦泉水瓶與過冷水是否有關

3、實驗研究結果：

我們將已編號的水瓶圖片及實驗紀錄對照如下：

表 4-3 不同材質的礦泉水瓶實驗結果紀錄

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	捏扁
第 1 次	○	○	○	○	×	×	○	○	×
第 2 次	○	○	○	○	○	○	○	×	×
第 3 次	○	○	○	×	○	○	○	○	×

「○」代表形成過冷水 「×」代表形未能形成過冷水

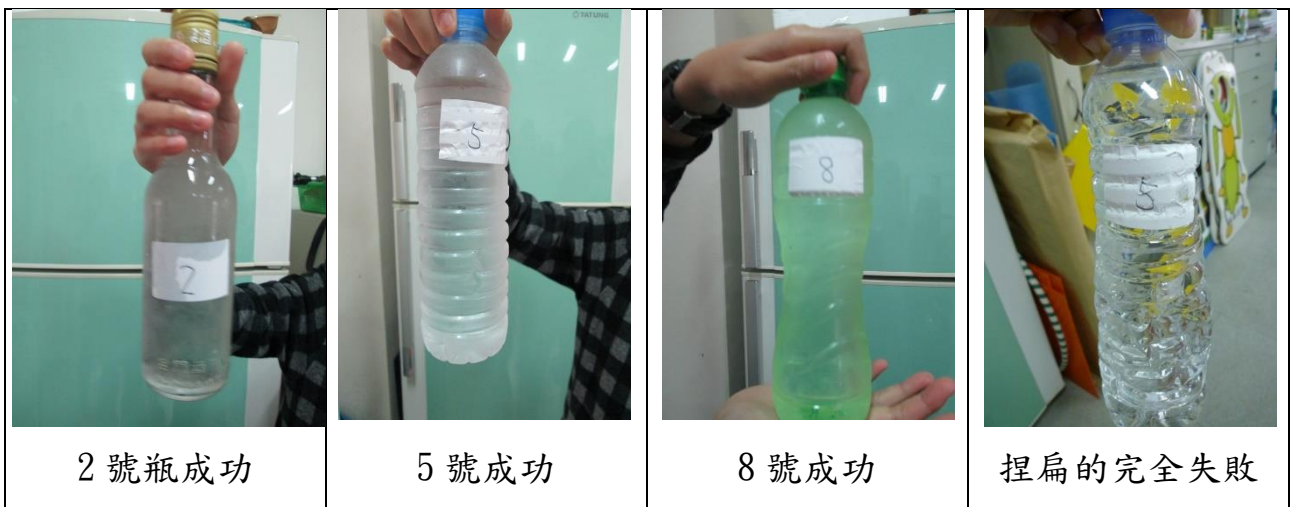


圖 4-6 不同材質的礦泉水瓶不會影響過冷水形成，但捏扁則會影響

4、實驗小結論：

- (1). 容器凹凸不平，或是有條紋，並不會嚴重影響實驗結果。
- (2). 一開始我們認為一定會成功的光滑 6 號瓶，卻有一次失敗，可見較光滑的瓶子不一定會成功。
- (3). 完全捏扁的水瓶則屢試屢敗，可見捏扁與容器本身的凹凸不平，本質上並不相同。

(三)冰箱擺放的位置是否有影響。

因為發現我們認為很光滑的瓶子，卻出現無法形成過冷的現象，所以我們推測是否與冰箱冷凍庫中所冰的位置有關，因此，我們先利用線香觀察一下冰箱冷凍庫中，冷風的傳送方向，並以九宮格的方式擺放在冷凍庫中，來做測試。

1、使用的器材：

9 瓶相同的礦泉水瓶 自來水紅外線測溫計 線香 打火機 削鉛筆機

2、實驗操作方法：

步驟 1：打火機點燃線香，並擺放在削鉛筆機上方，放進冷凍庫中一段時間。

步驟 2：打開冷凍庫，觀察線香的煙在冷凍庫中如何飄動。

步驟 3：將 9 瓶相同的礦泉水裝自來水並編號，並依照九宮格的方式排列，放入冷凍庫中。

步驟 4：重複 3 次步驟 3，並每隔一段時間利用紅外線測溫計測量溫度。

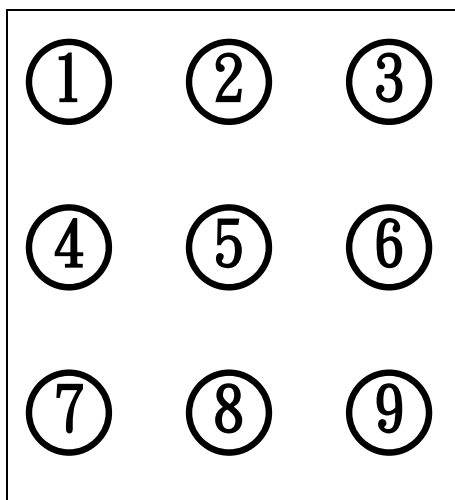
步驟 5：將實驗結果紀錄於表中。



圖 4-7 冰箱擺放位置的實驗器材

3、實驗研究結果：

冷凍庫中，水平擺放位置圖



實驗紀錄如下：

表 4-4 不同冰箱擺放位置的礦泉水瓶實驗結果紀錄

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9
第 1 次	○	○	×	×	×	×	○	○	×
第 2 次	○	×	×	○	○	×	○	×	○
第 3 次	○	○	×	×	×	○	×	○	○

「○」代表形成過冷水 「×」代表形未能形成過冷水



圖 4-8 只要受冷均勻，就會形成過冷水，與擺放位置無關

4、實驗小結論：

- (1) 冷凍庫的冷風由出風口吹出後，會往外在往下再往內的方式循環，所以，冷凍庫中的每個位置受冷溫度並不一致。
- (2) 冷凍庫中若冰進較多的物品時，風向也隨之受到影響。
- (3) 實驗結果以①位置較易形成過冷水，其他位置有時成功有時失敗，另外 3 號位置則每次都失敗。
- (4) 過冷水形成的原因與受冷是否均勻有關，只要瓶子受冷均勻，就較容易成功。

(四) 水溶液的酸鹼性是否有影響。

為了測試水溶液的酸鹼性是否會影響過冷水的形成，所以，我們找了幾樣日常生活中常見的酸鹼添加物，來進行測試，分別有：鹽、糖、醋、小蘇打粉、檸檬酸等。

1、使用的器材：

空寶特瓶、自來水、紅外線測溫計、電子秤、鹽、糖、醋、小蘇打粉、檸檬酸

2、實驗操作方法：

步驟 1：將鹽、糖、醋、小蘇打粉、檸檬酸各量 10 公克，放入裝水的寶特瓶中，並使之完全溶解。

步驟 2：靜置一段時間後，將寶特瓶放入冰箱冷凍庫中。

步驟 3：每隔一段時間測量水瓶降溫的情形，觀察是否會形成過冷水。

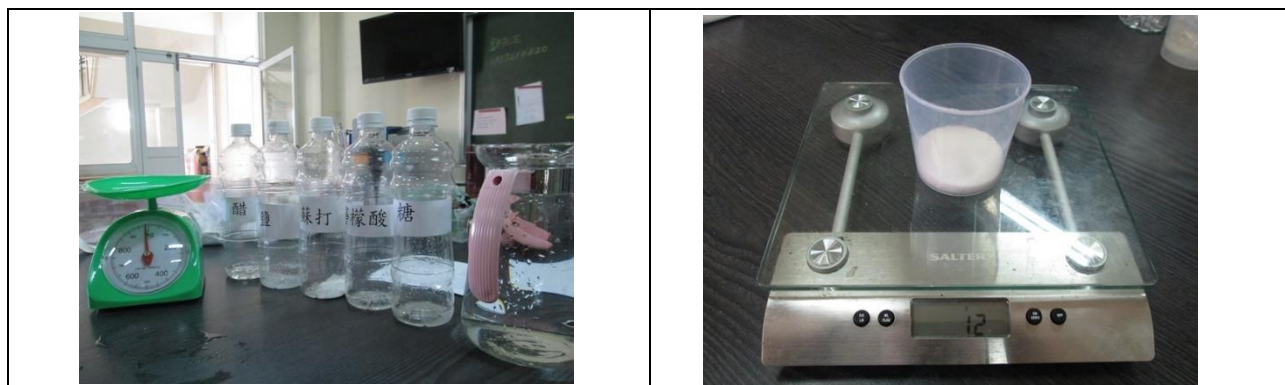


圖 4-9 酸鹼性水溶液是否有影響的實驗器材

3、實驗研究結果：

表 4-5 酸鹼性水溶液是否會影響過冷水形成的實驗記錄

溶質	糖	鹽	醋	小蘇打	檸檬酸
第一次	○	○	○	○	○
第二次	○	○	○	○	○
第三次	○	○	○	○	○

「○」代表形成過冷水 「×」代表形未能形成過冷水

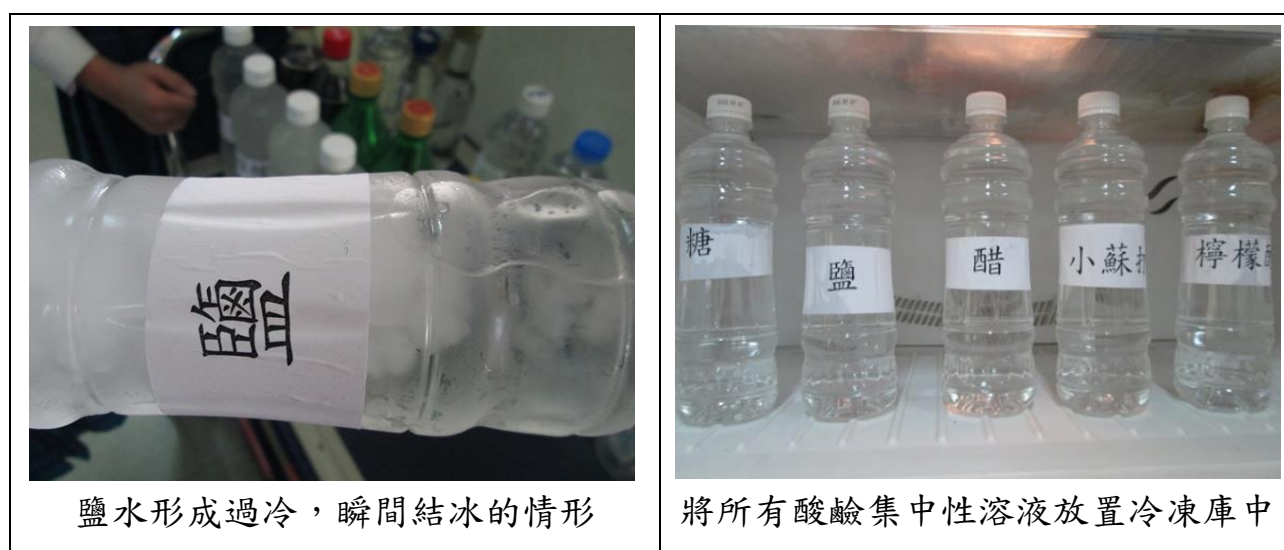


圖 4-10 酸鹼集中性水溶液皆可以形成過冷水

4、實驗小結論：

- (1)不管是酸性、中性還是鹼性的水溶液，皆可以形成過冷水。
- (2)過冷水的水溶液，經過搖晃，其瞬間結冰時，所呈現的都是冰砂狀。

(五)水溶液濃度是否會影響。

既然水質、水瓶、酸鹼性都不會影響形成過冷水，那麼水溶液的濃度是否有影響呢？我們決定用不同濃度的糖水來做測試。

1、使用的器材：

空寶特瓶、自來水、紅外線測溫計、不同濃度的糖水、電子秤

2、實驗操作方法：

步驟 1：計算出 2%、5%、10%、15% 的糖水各需要多少溶質及水。

步驟 2：準備相同的寶特瓶 4 個，分別標示出不同濃度，貼於瓶身。

步驟 3：將溶質及所需要的水混合，搖晃使之溶解，然後靜置一段時間，待所有氣泡消失，再將所有水瓶冰入冰箱冷凍庫中。

步驟 4：並每隔一段時間測量溫度變化，並重複試驗 3 次。



圖 4-11 水溶液濃度是否會影響過冷水形成的實驗器材

3、實驗研究結果：

表 4-6 不同濃度的糖水實驗記錄情形

糖水濃度	2%	5%	10%	15%
第一次	○	○	○	○
第二次	○	○	○	○
第三次	○	○	○	○

「○」代表形成過冷水 「×」代表形未能形成過冷水

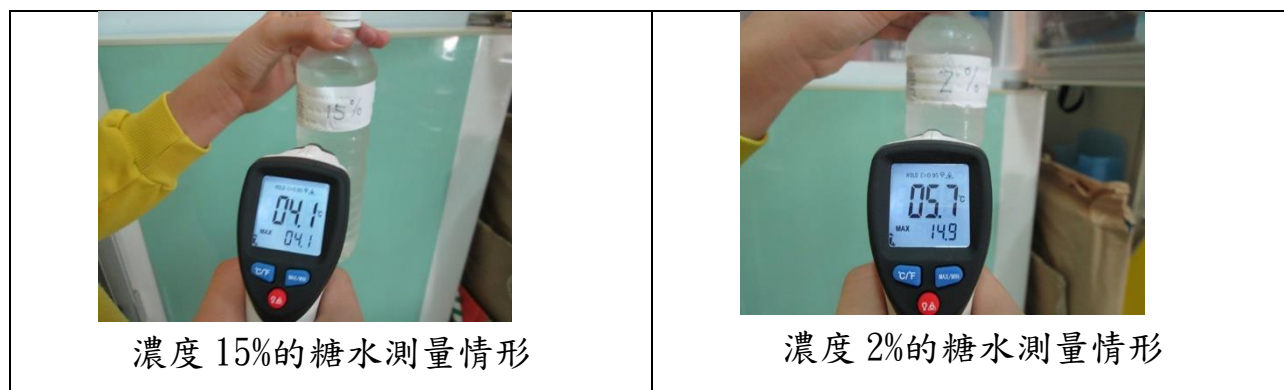


圖 4-12 不同濃度的水溶液都可以做出過冷水

4、實驗小結論：

- (1)所試驗的糖水濃度 2%、5%、10%、15%都可以形成過冷水。
- (2)在降溫的過程中，觀察發現，濃度越高降溫速度越快。
- (3)所試驗的糖水皆為不飽和水溶液，因此，水瓶中並無未溶解的糖。
- (4)依實驗結果可以得知，在不飽和水溶液的狀況之下，水溶液皆可形成過冷水。
- (5)若是過飽和溶液，則因為未實際測量，所以無法推論。

(六)水量多寡是否有影響。

1、使用的器材：

空寶特瓶、自來水、紅外線測溫計、不同水量(25%、50%、75%、100%)的水、電子秤

2、實驗操作方法：

步驟 1：利用電子秤，秤出不同比例重量的水。

步驟 2：在水瓶上貼上標籤，並倒入已經量好的水量，封住瓶蓋，放進冷凍庫中。

步驟 3：每隔一段時間，利用紅外線測溫計測量溫度，並觀測是否達到過冷。

步驟 4：重複試驗 3 次。



圖 4-13 水量多寡是否會影響過冷水形成的實驗器材

3、實驗研究結果：

表 4-7 不同水量的礦泉水實驗記錄情形

不同水量	25%	50%	75%	100%
第一次	×	×	○	○
第二次	×	○	○	○
第三次	×	○	○	○

「○」代表形成過冷水 「×」代表形未能形成過冷水

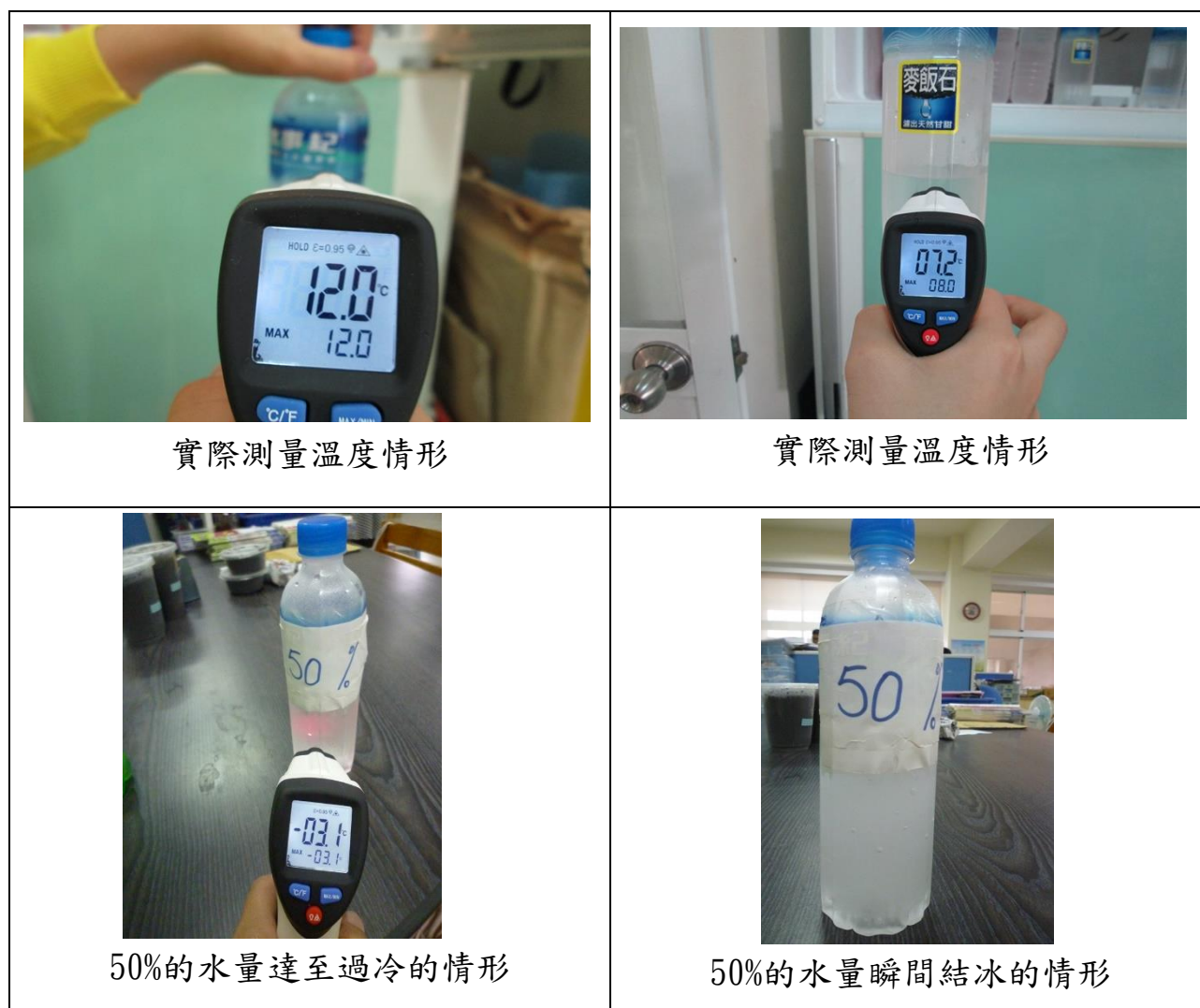


圖 4-14 不同水量的水溶液都可以做出過冷水

4、實驗小結論：

- (1) 在 50% 以上的水量，幾乎都可以每次達至過冷，所以水量多寡不會影響過冷。
- (2) 而 25% 的水量，因每次觀測時間到時，皆已結冰，所以，無法推論。

(七)溶質對過冷水溫度的影響。

溶質的存在與否不影響過冷水的形成，但是否會造成過冷水溫度的差異，我們準備了同一品牌的沙士汽水，但成份上有所差異來做測試，一瓶是普通的「黑松沙士」，另一瓶是「加鹽黑松沙士」，成份上只有多了鹽巴一樣來做測試。

1、使用的器材：

黑松沙士、加鹽黑松沙士、紅外線測溫計

2、實驗操作方法：

步驟 1：準備同品牌、皆不開瓶的「黑松沙士」及「加鹽黑松沙士」各一瓶

步驟 2：將兩瓶沙士同時放入冰箱冷凍庫中。

步驟 3：每隔一段時間，利用紅外線測溫計測量溫度。

步驟 4：測量兩瓶沙士達至過冷的溫度大約是幾度。



圖 4-15 溶質是否會影響過冷水形成的實驗器材

3、實驗研究結果：

表 4-8 加鹽或加糖的沙士汽水實驗記錄情形

品名	黑松沙士	加鹽黑松沙士
第一次	×	×
第二次	○	×
第三次	○	○

「○」代表形成過冷水 「×」代表形未能形成過冷水



一般沙士過冷過程測溫情形



加鹽沙士過冷過程測溫情形



沙士瞬間結冰的情形



加鹽沙士瞬間結冰的情形

圖 4-16 加鹽或加糖的沙士皆可形成過冷水，溶質越多，達到過冷的溫度越低

4、實驗小結論：

- (1) 依據實驗過程觀察，一般沙士的過冷溫度約在-7度，而加鹽沙士過冷溫度則遠低於-7度。
- (2) 依據實驗結果發現，溶質越多，則要達到過冷的溫度就會越低。

(八)具結晶核對瞬間結冰的影響。

為了測試過冷水不結冰是否與缺乏結晶核的緣故，所以，我們利用相同的瓶子裝自來水，先讓水的溫度達至過冷，再丟入一些顆粒大小不同的物品，來做測試，看是否能瞬間結冰。

1、使用的器材：

相同的寶特瓶空瓶、自來水、紅外線測溫計、可溶的物品(鹽、糖)、不可溶的物品(大石頭、小石頭、土、沙)、

2、實驗操作方法：

步驟 1：先將相同寶特瓶的空裝自來水，然後放進冷凍庫中。

步驟 2：每隔一段時間利用紅外線測溫計測溫，觀察是否已經達到過冷。

步驟 3：當水瓶內的水已經達至過冷，便從冷凍庫中移出，打開瓶蓋，依序把要測試的物品放入水中。

步驟 4：觀察水中的過冷水是否瞬間結冰。

步驟 5：紀錄結冰的冰晶形狀。



圖 4-17 結晶核是否會影響過冷水形成的實驗器材

3、實驗研究結果：

表 4-9 在過冷水中投入不同物品當凝結核的實驗記錄情形

物品	大石頭	小石頭	土	沙子	石灰粉	糖	鹽
第一次	○	○	○	○	○	○	×
第二次	○	○	○	○	○	○	×
第三次	○	○	○	○	○	○	×

「○」代表可瞬間結冰 「×」代表形不能瞬間結冰



圖 4-18 除了鹽巴外，所有投入的模擬結晶核，皆可以讓過冷水瞬間結冰

4、實驗小結論：

- (1) 放入物品除了鹽外，其他皆可以讓過冷水瞬間結冰。
- (2) 可以瞬間結冰的物品，觀察其冰晶形狀，皆呈破碎狀，而非冰砂狀。
- (3) 依實驗結果，不管可溶解或不可溶解的物品，皆可以讓過冷水瞬間結冰，顯示，水之所以形成過冷現象，是因為缺乏結晶核。
- (4) 鹽巴無法做出瞬間結冰的原因，有可能是倒入時，已經瞬間溶解，所以持續降溫，而糖在倒入水瓶時，仍可看到為溶解的糖粒。

四、問題四：不同水溶液過冷後，瞬間結冰的冰晶形狀是否相同。

常見的水溶液，在形成過冷的情形下，因為不同的方式使過冷水瞬間結冰，那所結的冰會都一樣嗎？我們利用先前已經做出來的實驗照片做比對，來探討這個問題。

(一)、使用的器材: 先前已記錄的照片

(二)、實驗操作方法:

步驟 1.：將先前已照相的照片列出來。

步驟 2.：比較照片上的瞬間結冰的冰晶情況。

步驟 3.：推論造成不同冰晶的原因。

(三)、實驗研究結果:

1. 利用 搖晃方式 使過冷水瞬間結冰的冰晶

		
搖晃雪碧汽水後 的冰晶	搖晃鹽巴水後 的冰晶	搖晃自來水後 的冰晶
		
搖晃一般沙士後 的冰晶	搖晃加鹽沙士後 的冰晶	搖晃純水後 的冰晶

圖 4-19 不同水溶液在過冷後，用搖晃方式形成的冰晶形狀

2. 利用投入異物方式使過冷水瞬間結冰的冰晶

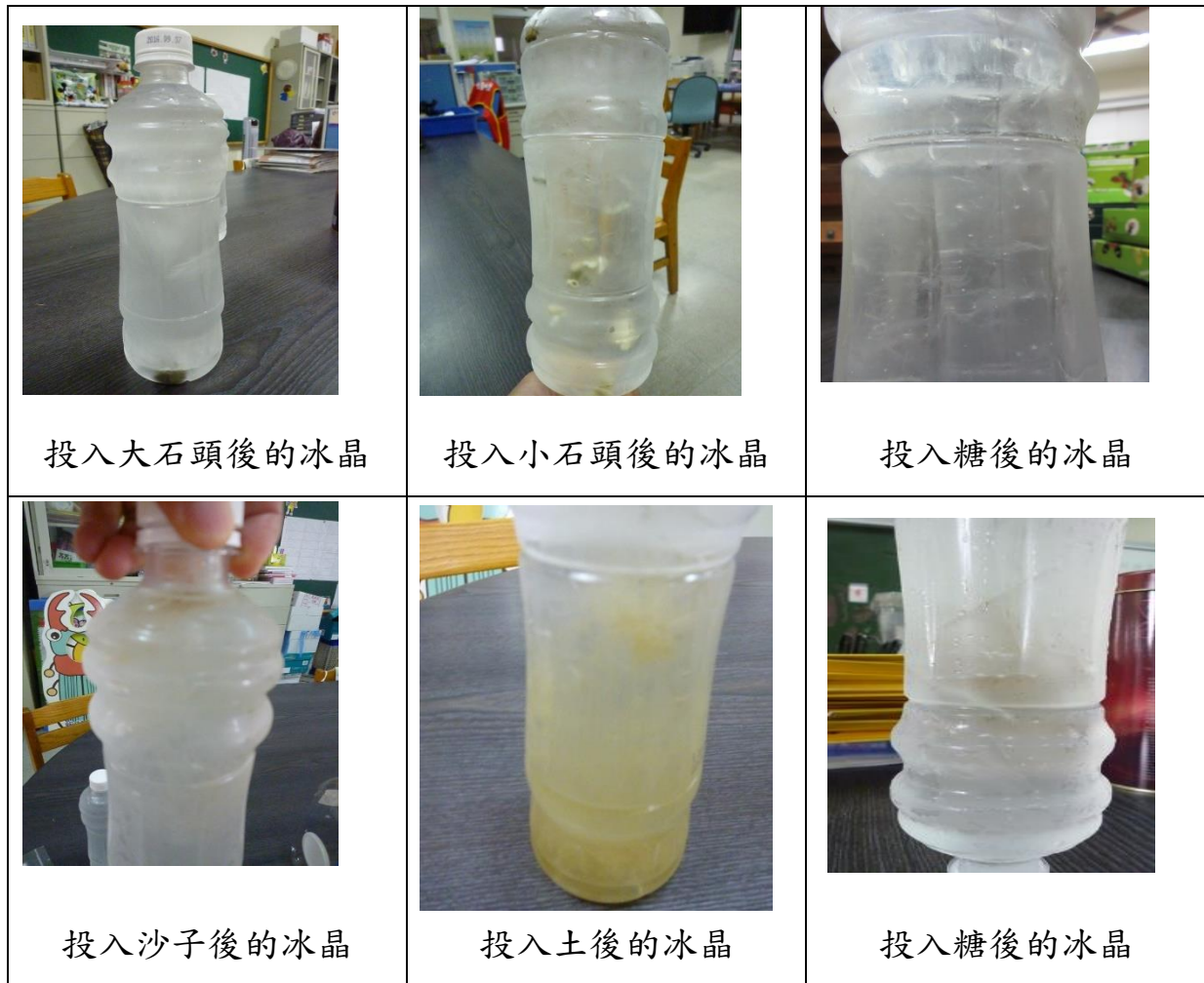


圖 4-20 不同水溶液在過冷後，用投入異物方式形成的冰晶形狀

(四)、實驗小結論：

1. 過冷水若用搖晃的方式，使其瞬間結冰，通常呈現冰砂狀或像棉花糖一樣的冰晶。
2. 過冷水若用投入異物的方式，使其瞬間結冰，則多半從投入的地方產生切面，形成破裂、塊狀的冰晶。
3. 由以上實驗推論，過冷水的冰晶形狀，與搖晃或投入異物方式有關，不同的方式會產生不同的冰晶形狀。

伍、研究結果

綜合我們的研究問題與結果，我們整理如下表：

表 5-1 過冷水成因探討與實驗結果對照表

研究問題	研究結果
1. 文獻探討，找出過冷水的定義	所謂的過冷水，就是當水溶液的溫度降至該容易的凝固點之下，但並未結冰，成為固體，而是繼續保持液態的狀態，稱之為「過冷水」。
2. 實際測試一瓶過冷水的溫度變化情形。	<ol style="list-style-type: none">1. 過冷水的溫度變化呈現是先降，後升，再降，再升的變化。2. 當過冷水一搖晃時，會瞬間結冰，但是，溫度在瞬間結冰的同時，會上升至 0 度以上，同時結冰。3. 瞬間結冰後，溫度會繼續保持接近 0 度一段時間不變，然後開始上升，當冰開始要融化時，溫度再次下降，接下來才又會繼續上升。
3. 形成過冷水的影響因素為何？	
(1) 水質是否會影響。	1. 無論是自來水或蒸餾水，都可以形成過冷水。
(2) 容器是否會有影響。	<ol style="list-style-type: none">1. 容器凹凸不平，或是有條紋，並不會嚴重影響實驗結果。2. 完全捏扁的水瓶則屢試屢敗，可見捏扁與容器本身的凹凸不平，本質上並不相同。
(3) 冰箱擺放的位置是否有影響。	<ol style="list-style-type: none">1. 冷凍庫的冷風由出風口吹出後，會往外在往下再往內的方式循環，所以，冷凍庫中的每個位置受冷溫度並不一致。2. 冷凍庫中若冰進較多的物品時，風向也隨之受到影響。3. 過冷水形成的原因與受冷是否均勻有關，只要瓶子受冷均勻，就較容易成功。

(4)水溶液的酸鹼性是否有影響。	1. 不管是酸性、中性還是鹼性的水溶液，皆可以形成過冷水。
(5)水溶液濃度是否會影響。	1. 所試驗的糖水濃度 2%、5%、10%、15%都可以形成過冷水。 2. 若是過飽和溶液，則因為未實際測量，所以無法推論。
(6)水量多寡是否有影響。	1. 在 50%以上的水量，幾乎都可以每次達至過冷，所以水量多寡不會影響過冷。 2. 而 25%的水量，因每次觀測時間到時，皆已結冰，所以無法推論。
(7)溶質對過冷水溫度的影響。	1. 依據實驗過程觀察，一般沙士的過冷溫度約在 -7 度，而加鹽沙士過冷溫度則遠低於-7 度。 2. 依據實驗結果發現，溶質越多，則要達到過冷的溫度就會越低。
(8)是否具結晶核是否有影響。	1. 放入物品除了鹽外，其他皆可以讓過冷水瞬間結冰。 2. 依實驗結果，不管可溶解或不可溶解的物品，皆可以讓過冷水瞬間結冰，顯示，水之所以形成過冷現象，是因為缺乏結晶核。 3. 鹽巴無法做出瞬間結冰的原因，有可能是倒入時，已經瞬間溶解，所以持續降溫，而糖在倒入水瓶時，仍可看到為溶解的糖粒。
4. 不同水溶液過冷後，瞬間結冰的冰晶形狀是否相同。	1. 過冷水若用搖晃的方式，使其瞬間結冰，通常呈現冰砂狀或像棉花糖一樣的冰晶。 2. 過冷水若用投入異物的方式，使其瞬間結冰，則多半從投入的地方產生切面，形成破裂、塊狀的冰晶。 3. 由以上實驗推論，過冷水的冰晶形狀，與搖晃或投入異物方式有關，不同的方式會產生不同的冰晶形狀。

陸、討論

根據我們的研究目的與設計相對應的問題、實驗結果來做討論，我們將四個目的將研究的結果結合作討論，整理如下：

一、瞭解什麼是過冷水

研究問題	研究結果
問題 1. 文獻探討，找出過冷水的定義	所謂的過冷水，就是當水溶液的溫度降至該容易的凝固點之下，但並未結冰，成為固體，而是繼續保持液態的狀態，稱之為「過冷水」。

討論：請試著定義過冷水？

結論：由文獻可以得知，過冷水就是當水溶液的溫度降至凝固點以下，卻未變成固態，繼續保持液體的狀態。

二、瞭解從過冷水到瞬間結冰再到融化，溫度變化的情形

研究問題	研究結果
問題 2. 實際測試一瓶過冷水的溫度變化情形。	<ol style="list-style-type: none">1. 過冷水的溫度變化呈現是先降，後升，再降，再升的變化。2. 當過冷水一搖晃時，會瞬間結冰，但是，溫度在瞬間結冰的同時，會上升至 0 度以上，同時結冰。3. 瞬間結冰後，溫度會繼續保持接近 0 度一段時間不變，然後開始上升，當冰開始要融化時，溫度再次下降，接下來才又會繼續上升。

討論：

1. 過冷水是先降溫至凝固點以下的液體，如果搖晃，在瞬間結冰的同時也釋放能量，所以溫度反而上升。
2. 當瞬間結冰後，溫度保持接近攝氏 0 度，接著會因為冰要融化，吸收能量而再度降溫，等冰慢慢溶化後，就會呈現開始升溫的狀況了。

三、探討過冷水形成的原因

研究問題	研究結果
<p>問題 3. 形成過冷水的影響因素為何？</p> <p>(1) 水質是否會影響。</p> <p>(2) 容器是否會有影響。</p> <p>(3) 冰箱擺放的位置是否有影響。</p> <p>(4) 水溶液的酸鹼性是否有影響。</p> <p>(5) 水溶液濃度是否會影響。</p> <p>(6) 水量多寡是否有影響。</p> <p>(7) 溶質對過冷水溫度的影響。</p> <p>(8) 是否具結晶核是否有影響。</p>	<p>1. 無論是自來水或蒸餾水，都可以形成過冷水。</p> <p>2. 容器表面的凹凸不平或條紋，並不會嚴重影響實驗結果，而捏扁的凹痕則會影響。</p> <p>3. 冷凍庫的溫度會因為冷風吹動方向而產生受冷不均的現象，只要受冷均勻，就較容易成功冰出過冷水。</p> <p>4. 不管是酸性、中性還是鹼性的水溶液，皆可以形成過冷水。</p> <p>5. 未飽和水溶液都可以形成過冷水。</p> <p>6. 水量多寡不會影響過冷水形成。</p> <p>7. 依據實驗過程觀察，一般沙士的過冷溫度約在-7 度，而加鹽沙士過冷溫度則遠低於-7 度。所以溶質越多，則要達到過冷水的溫度就會越低。</p> <p>8. 放入物品除了鹽外，其他皆可以讓過冷水瞬間結冰。依實驗結果，不管可溶解或不可溶解的物品，皆可以讓過冷水瞬間結冰，顯示水之所以形成過冷現象，是因為缺乏結晶核。</p>

討論：

1. 純水或水溶液是否都可以形成過冷水？

結論：都可以形成過冷水。

2. 盛水溶液的容器會影響過冷現象嗎？

結論：瓶身只要完整未受擠壓變形，無論造型為何都可出現過冷現象。

3. 受冷降溫的位置對過冷水瞬間結冰有何影響？

結論：受冷溫置若可讓受冷均勻時，則可以成功產生瞬間結冰現象。

4. 不同性質(酸鹼性、濃度、水量)的水溶液是否都可以形成過冷水？

結論：性質不同的水溶液都可以形成過冷水。

5. 濃度會影響的水溶液過冷的溫度嗎？

結論：同一類的物質，濃度越高，其過冷狀態溫度可測得越低。

6. 投入異物為何會讓過冷水瞬間結冰呢？

結論：異物扮演結晶核的角色，撞擊過冷水讓水分子形成穩定的固體狀態，

7. 投入鹽巴此項異物為何未出現過冷水瞬間結冰現象？

結論：鹽巴投入過冷水時，迅速溶解未見鹽粒無法衝擊過冷水產生瞬間結冰，

反而會造成過冷水的凝固點再次降溫，即使搖晃也無法成功。

四、過冷水瞬間結冰後，結冰形狀是否相同

研究問題	研究結果
問題 4. 不同水溶液過冷後，瞬間結冰的冰晶形狀是否相同。	<ol style="list-style-type: none">1. 過冷水若用搖晃的方式，使其瞬間結冰，通常呈現冰砂狀或像棉花糖一樣的冰晶。2. 過冷水若用投入異物的方式，使其瞬間結冰，則多半從投入的地方產生切面，形成破裂、塊狀的冰晶。3. 由以上實驗推論，過冷水的冰晶形狀，與搖晃或投入異物方式有關，不同的方式會產生不同的冰晶形狀。

討論：

1. 利用搖晃方式或投入異物讓過冷水瞬間結冰，兩者冰晶形狀有何不同？

結論：搖晃方式：瞬間結成細碎的小冰晶，於是看到冰沙狀或棉花狀的冰晶

投入異物：與異物結成大塊狀的冰晶

2. 過冷水瞬間結冰的冰晶形狀是如何決定的？

結論：過冷水的冰晶形狀取決於充當結晶核的物質型態

柒、結論

- 一、性質不同的水溶液都可以形成過冷水，但是瓶身結構須是完整未變形。
- 二、過冷水的產生是因為水分子缺乏結晶過程，所以無法形成冰，繼續保持液態。而搖晃瓶身或投擲異物都可以誘發結晶過程出現瞬間結冰。
- 三、不是所有過冷水的冰晶都一樣，其形狀取決於充當結晶核的物質型態。
- 四、投擲可溶異物讓過冷水瞬間結冰的操作中發現，若異物(例：鹽巴)溶解速率太快將來不及誘發結晶過程，反而造成水溶液凝固點下降無法瞬間結冰。
- 五、自然界中，天氣的型態也可能發生過冷水的現象，極有可能會因為接觸到其他物品，而產生瞬間結冰的冰封現象。今年三月份電視媒體曾報導美國有位攝影師在低溫的北美蘇必略湖，拍下了湖水沖撞岸邊時瞬間結成冰層堆疊在岸邊，十分壯闊，此項奇特的自然景觀，其形成原理與本實驗過冷水遇到結晶核(異物碰撞)會瞬間結冰的結論吻合。
- 六、綜上所述，在盛夏想要來一杯低於 0°C 的消暑飲料，只要確認此飲料有溶質(糖分)且無沉澱物，並裝入不易變形的光滑容器(玻璃瓶)冷卻，就能創造出過冷水飲料，加入粉圓或蒟蒻還能瞬間結冰。

捌、參考資料及其他

1. 台中教育大學 NTCU-科學教育應用學系科學遊戲實驗室(無日期) 瞬間結冰，取自 <http://scigame.ntcu.edu.tw/water/water-008.html>
2. 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>
3. 【化學示範實驗：可口可樂神奇凝冰—過冷】
高連陽、楊水平 (2010.09.10) 科學 Online，取自 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=7191>
4. 結冰湖水沖上岸 "堆積冰"獨特自然景觀-中視新聞 20160305
取自 <https://www.youtube.com/watch?v=McsGqdNG-MM>