

憤怒的冰點

高小組物理科第二名

高雄縣鳳西國民小學

作 者：郭鐘元、羅東昇、黃祥罡、陳易聰
指導教師：王世充、黃憲寬

一、研究動機

暑假中天氣炎熱，弟弟提議把養樂多飲料，倒進杯裡放在冰箱冷凍內結冰。但是隔天發現亞克力杯裂掉，連同冰也一起裂掉，於是引發我們一連串的研究。開學後我們提議把這些素材，當作今年科學展覽的體裁。也再請教自然科學蔡老師及王老師，在他們的協助下。作有系統的探討，液體的結冰。

二、研究目的

- 1.水結冰是從何處先結。
- 2.冰為何裂掉。
- 3.各種液體結冰後的體積變化。

三、研究設備及器材

- 1.溫度計八支。
- 2.鹽、糖、小蘇打、麵粉、太白粉、乳粉。
- 3.空氣泵浦一個。
- 4.小馬達數個。
- 5.角度儀。
- 6.各種結冰器具數個。
- 7.旋轉製冰機一台。

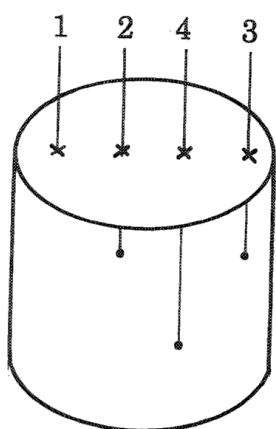
四、研究內容及方法

〈研究一〉水是從那裡先結冰

〈實驗一〉液體內各點的溫度

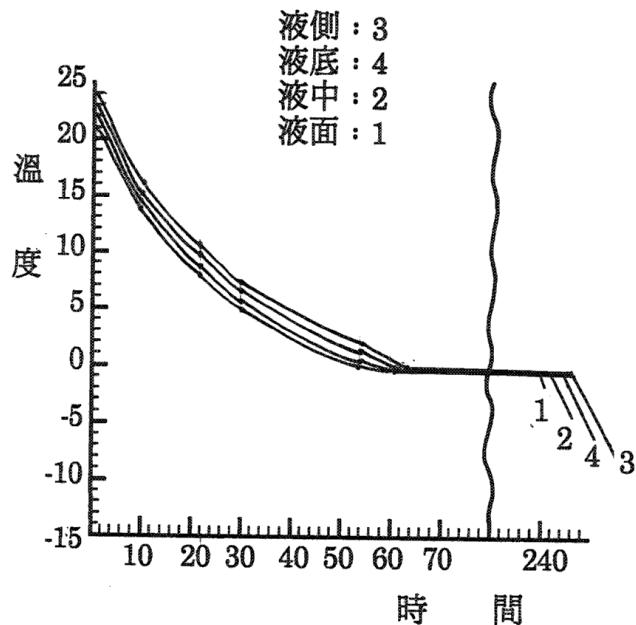
我們首先用一量筒，在筒上做一木蓋。木蓋上鑽四孔。供放溫度計用。如（圖一）所示。

(圖一) 測量液體溫度



- (1) 放液面
- (2) 放液中
- (3) 放液側
- (4) 放液底

(表一) 液體中各種溫度變化



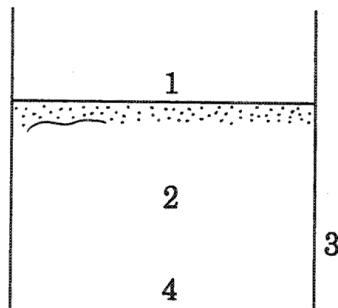
發現：

1. 液面溫度降得最快，其次是液中、液底、最後是液側。
2. 待完全結冰後，液側反而繼續降到負五度。

〈實驗二〉液體的溫度是如何傳導

〈方法一〉既然由〈實驗一〉中得知液面溫度，尚未結冰前比液側溫度低二度，我們把盛滿清水的透明杯子，水面上撒一些輕質物質，觀察是否有溫差，即有流動。如〈圖二〉

發現：其水滾動現象不明顯。



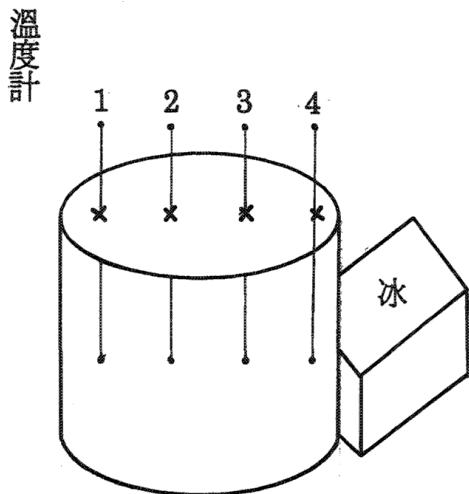
(圖二) 液體內溫差

〈方法二〉熱導與冷導

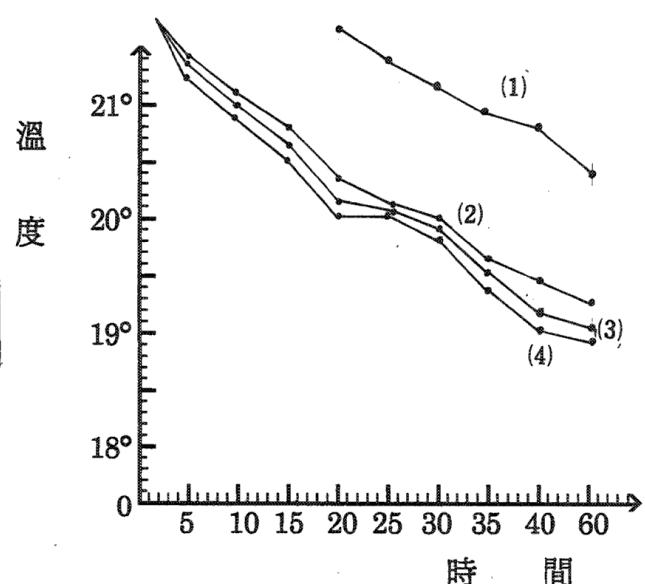
我們觀察用烈火煮水，使水熱導的方式是水分子活躍的上下，冷熱之間相互翻動對流。由〈方法一〉對流不明顯。是不是冷導和熱導

不相同呢？我們又做了以下如〈圖三〉的實驗。

(圖三) 液體的冷傳導



(表二) 液體冷導方式



發現：液體也可以像銅棒一樣，分子與分子之間用傳遞方式傳熱。

〈實驗三〉為何有中空的冰

我們先做五種結冰樣品，杯子、水量都相同。但冷凍時間不同。觀察其結冰的程序。

發現：其結冰的順序是杯口的邊緣先結一層薄薄的冰屑。再來是杯口表層、杯子側面、底部、最後是杯子中間地帶。當我們取來2小時冷凍樣品時，中間是中空，尚以液體存在。

(表三) 同體積不同時間結冰情形

水 量	時 間	情 形
100cc.	20	水冷冷的
100cc.	60	杯緣有細脆冰
100cc.	120	杯底杯口、杯側結冰
100cc.	240	中間有些水泡
100cc.	480	杯口白粉狀的霜

〈實驗四〉容積的多寡會影響結冰的速度嗎？

發現：水量較少的較早結冰。反之水量較多的結冰時間較長。

(表四) 不同水量結冰的時間

水量 \ 時間	20	40	60	80	100	120	160	180	200	240
10			v							
20			v							
30			v							
40			v							
50				v						
60				v						
70					v					
80						v				
90						v				
100							v			

〈實驗五〉液體相同體積、不同直徑的容器、結冰速度相同嗎？

發現：直徑110公厘的接觸面積較大，也因此最先結冰。直徑大使上下厚度薄，冷導速度也快。

(表五) 同體積不同直徑容器的結冰時間

直徑 \ 時間	20	40	60	80	100	120	160	180	200	240
30				v						
50			v							
70			v							
90		v								
110		v								

〈研究二〉冰為何把亞克力杯撐破了。

我們先以鋁裝、亞克力、塑膠、鐵杯，分別裝入100cc，待結冰後再作觀察。

發現：

1. 亞克力杯破裂，杯內的冰塊也有裂掉。
2. 每種杯口都呈現不規則凸出。

〈實驗一〉各種水溶液結冰後的體積變化。

發現：

1. 小蘇打結冰後的膨脹最大是113cc。

2. 發現小蘇打溶液結冰後，全部是乳白色，其他的體積都是105cc。

3. 每種溶液其結冰後表面都是不規則偏向凸出。

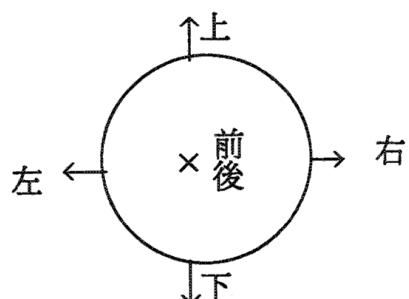
(表六) 各種溶液結冰後體積變化

溶液 體積	純水	鹽水	糖水	檸檬酸	麵粉水	太白粉水	地瓜粉	味精	小蘇打	奶粉
原有 100 cc.	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
結冰體積	105	105	105	105	105	105	105	105	113	105

〈實驗二〉結冰後的膨脹方向。

用一汽球裝水，再標示其前後、左右、上下方向。再量取長度待結冰後再測量，判斷其膨脹方向。如〈圖四〉

(圖四) 結冰膨脹試驗



(表七) 結冰膨脹方向

方 向	原 来	冷凍 後
左 右	8.5cm	8.75cm
前 後	6.6cm	6.75cm
上 下	7.1cm	7.12cm

發現：

1. 其膨脹方向以左右、前後較大、上下較小。

2. 我們懷疑是否跟冷凍室各點溫度、及送風口位置有關。

〈實驗三〉水溶液表面為何會有不規則的凸出。

〈方法一〉杯口凸出與容器的材質有關嗎？

我們選了數組容器，放在冷凍室各角度做試驗。

發現：無論那種容器裝水結冰，都會有凸出證明與容器的材質無關。

(表八) 各種容器表面結冰情形

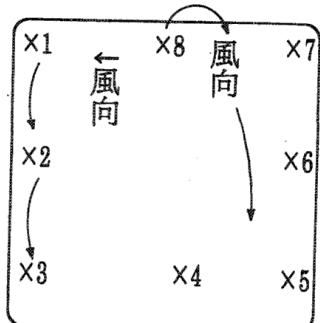
容 器 種 類	容 量	表 面 情 形
鋁 裝	100cc.	表 面 凸 出
玻 璃	100cc.	表 面 凸 出
塑 膠	100cc.	表 面 凸 出
鐵 杯	100cc.	表 面 凸 出
磁 杯	100cc.	表 面 凸 出

〈方法二〉與容器擺放地點有關嗎？

發現：

- 1.下層由於冷凍空氣循環由— $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \cdots 7 \rightarrow 8$ 。
- 2.上層循環由8處由上往下吹，造成8較冷以彌補5、5、7、不足。

(圖五) 冷凍室配置圖



(表九) 冰凍室各點溫度

溫度 時間		1	2	3	4	5	6	7	8
上 層	10	3	3	4	4	5	4	4	3
	20	0	1	1	2	3	2	2	1
	30	-4	-2	0	1	1	0	0	0
	40	-5	-3	-2	-1	0	-1	-1	-2
下 層	10	0	0	1	1.5	2.5	2.5	3	1
	20	-1	-0.5	0	0.5	2	2	2	0
	30	-4	-2	-1	0	0	1	1	-1
	40	-5	-3	-2	-1	-1	0	0	-2

〈方法三〉表面凸出冰塊和溶液材質，密綿度有關嗎？

發現：

- 1.每一種溶液經結冰冷凍後，其表面均會凸出。
- 2.麵粉、太白粉、地瓜粉和水攪拌後其冷凍表面凸出更加明顯。

(表十) 各種溶液結冰表面情形

種類	純水	鹽	糖	味精	麵粉	太白粉	地瓜粉	小蘇打
原高	60	60	60	60	60	60	60	60
冷凍高	62	65.5	66	63	67	68	67	64
情形	外 亮 內 混	斜 方 不 透 明	黃	白	混	上 亮 下 混	上 亮 下 混	乳 白

〈再證明(一)〉我們將各溶液和水混合冷凍後比原來的純水更加凸出於是我們上述的材質再加熱攪拌再冷凍。

發現：

1.煮熟攪拌後的太白粉及地瓜粉表現最凸出。

2.表面會有一層白色的膜。

(表十一)各種溶液煮熟攪拌冷凍

種類	純水	鹽	糖	味精	麵粉	太白粉	地瓜粉	小蘇打
原高	60	60	60	60	60	60	60	60
冷凍高	62	66	66	64	66	71	77	64
情形	較亮	不透明	黃	不透明	混	混	混	乳白

〈再證明(二)〉我們發現地瓜、太白粉在煮熟攪拌時黏稠性最大。因此我們懷疑表面凸出和黏稠性有關。

發現：加的湯匙數越多，則噴出的冰柱越長。是否與內應力和溫度差有關呢？

(表十二)地瓜粉煮熟攪拌稠度結冰情形

湯匙數	1	2	3	4
原高	60	60	60	60
冷凍高	77.5	78	80	81
情形	混	混	混	混

〈再證明(三)〉我們放了八組試驗組，裡面都裝100cc的水，再觀察是受冰箱冷凍室溫差影響。

發現：

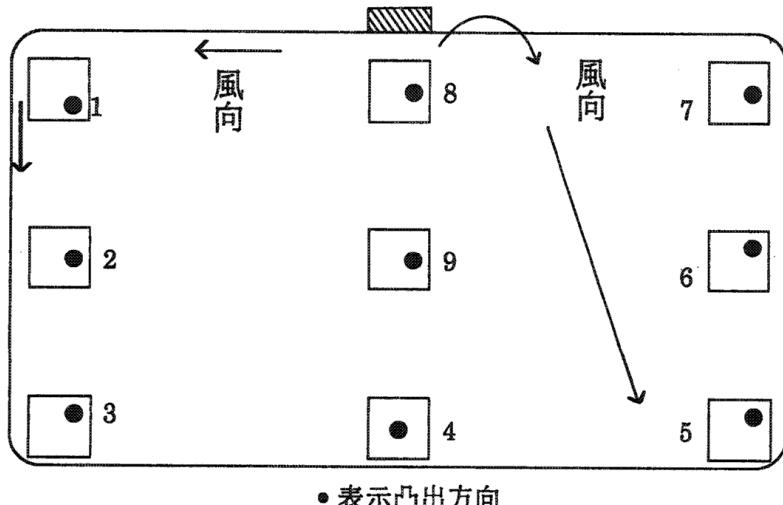
(1)1、2、3、試驗組受冷凍空氣的影響，很明顯的左半邊先結冰，造成擠壓右半邊形成凸出冰塊。

(2)4、5試驗品因受到另一股冷凍空氣由上往下影響靠冰箱門溫度較低，先結

冰凸出中間偏後。

(3)因此我們判斷這個冰箱左半邊較右邊冷凍力較強。

(圖六)冷凍凸出方向



• 表示凸出方向

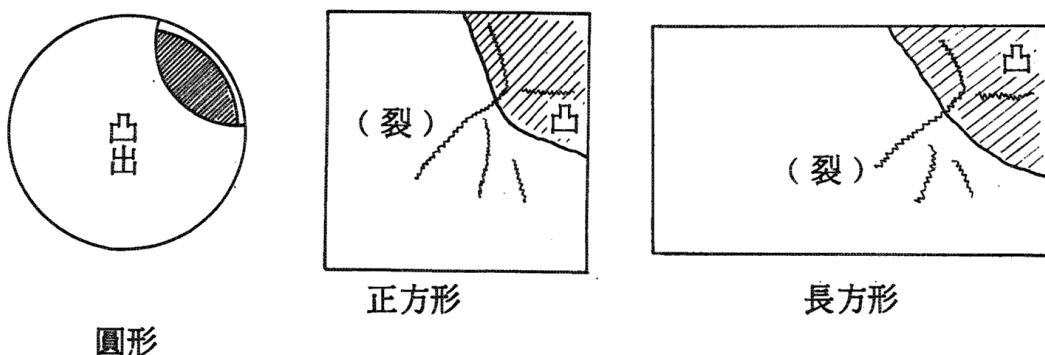
〈方法四〉各種形狀容器結冰後裂開情形。

〈第一組〉我們以圓形、正方形、長方形做實驗，放在同一位置觀察其裂開的情形。

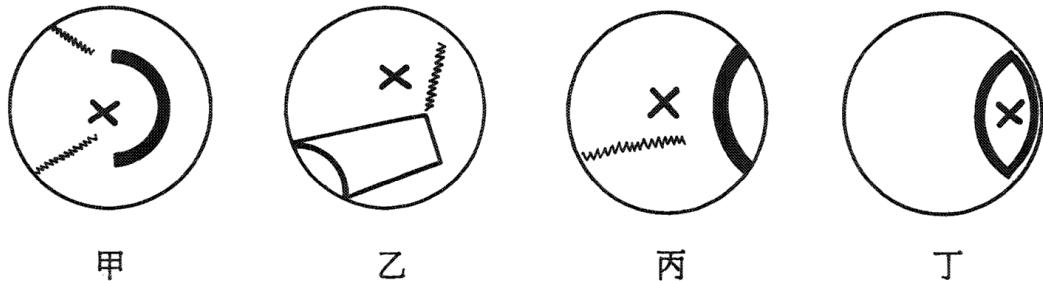
發現：

1. 圓形的結冰後，表面會凸出，但不易裂開。
2. 正方形及長方形，容易在折角部分凸出，也從折角部分裂開。

(圖九)各種容器形狀裂開情形



〈第二組〉我們首先假設這些擠破上層冰塊的力量，是由於冰塊中層部分最後結冰所產生的力量，容器我們採取上次實驗不裂掉的圓形。放置不同形狀及位置其結果。



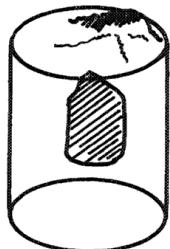
(圖十) 圓柱內放置竹片結冰情形

發現：

1. 甲、乙、丙三杯放置冷凍方向一樣凸出及裂掉都同一方向。
2. 丁杯由於受冷凍結冰往兩竹片內爬升。因此冰塊未裂。

〈第三組〉冰塊是如何裂開。

我們放置一大杯水於冷凍庫內，當表面及外側結冰時把表皮搓破加入紅墨水，再觀察。



(圖十一) 中心水如何突出結冰

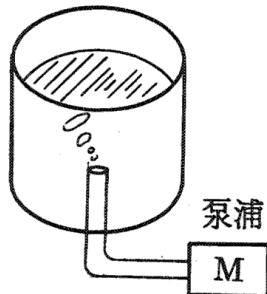
發現：最慢結冰的中間層，結冰後體積膨脹撐破表皮冰層，噴射增壓的液體再結冰。

〈實驗四〉我的亞克力杯不再破裂了。

由於上述各項實驗中，茶杯會破裂是由於冰塊內部結冰速度不一，及擠壓形成內應力，因內應力，因此我們作了幾個改良。

〈方法一〉空氣貫入法

我們以一小型空氣泵浦把空氣一直貫進液體底部。造成空氣往上跑，也同時造成溫度之間較為均勻。



(圖十三) 空氣貫入法

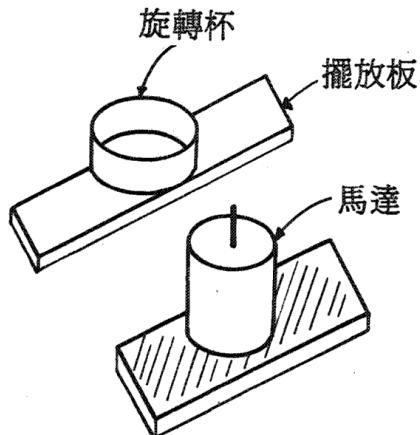
發現：

1. 液體結冰後表面細碎片狀。可能是空氣往上跑在液面破裂。
2. 亞克力完好如初。

〈方法二〉旋轉或滾動法。

我們先設計一馬達裝上平行擺放板。把亞克力杯放於馬達旋轉中心。如(圖十四)所示。

發現：由於馬達的旋轉，使杯內的液體平穩的旋轉，溫度能均勻。亞克力杯不再破裂。



(圖十四) 馬達旋轉法

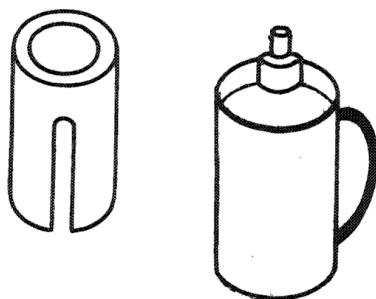
〈研究三〉看誰把冰柱噴得最高

由於〈研究二〉〈實驗四〉得到啓示。杯的四周圍結冰的膨脹力。所產生的內壓，會使管內的水柱（冰柱）爬升，因此我們設計以下實驗。

〈實驗一〉我的冰爬上來了。

我們首先把一南亞水管兩端各鋸一槽如(圖十五)杯內水位高於槽

上再放於冷凍庫內。



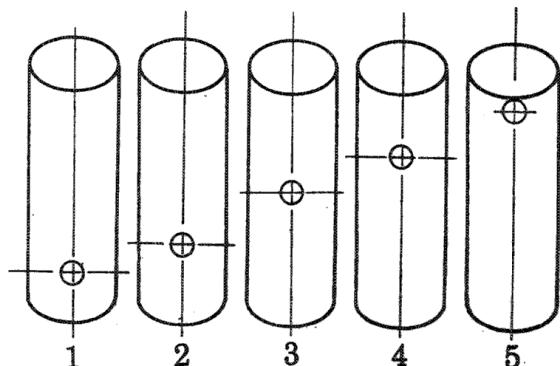
(圖十五)冰柱爬出管外

發現：杯內的杯有凸出，管內的冰更加凸出20多公厘。

推論：是否由於冰中間層最後形成的內壓力。

〈實驗三〉那層的冰中間壓力最大。

我們設計五個等長，但孔距離杯底的高度不相同（圖十六）。



(圖十六)不等長的孔高

(表十五)空心柱的升高量

水 冰 高 號數	1	2	3	4	5
原水高	60	60	60	60	60
結冰高	75	88	92	85	76
增高	+15	+28	+32	+25	+16

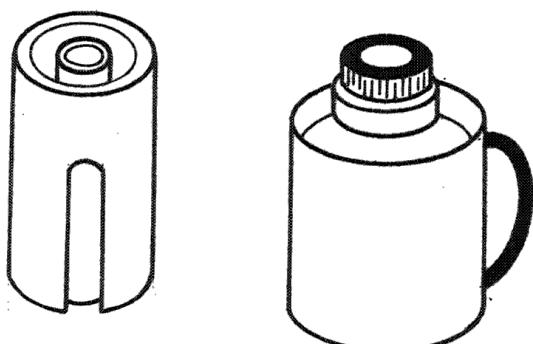
發現：

(1) 1、5 號水管冰柱只升高15、16公厘。

(2) 3號升高32公厘可見中間壓力最大。

〈實驗三〉噴出空心的冰柱

由實驗一、二得以冰內部壓力，使管內冰噴出管外，我們利用內外兩層水管造成空心冰柱如（圖十七）。



(圖十七)噴出空心柱

發現：由於冰的內壓力擠壓外管，但由於內管是密封式沒有水滲入。造成空心冰柱。內、外管部分須加油潤滑。

五、研究與討論

- (一)由〈研究一〉中得知：結冰的順序是由杯口、杯底、杯側、杯中心。
- (二)由〈研究二〉中得知：溶液結冰後其體積膨脹約4.8%。表面的凸出是由於速度不相同，造成擠壓。其黏稠較大其凸出的高度越高，尤其煮熟熱拌的地瓜粉及太白粉。
- (三)〈研究三〉三個實驗，得知中間層的冰形成的內壓力，使管內冰柱更加凸出。

六、結論

- 1.從卅三屆全國科學展後，一直尋找生活化體材。從發現問題到解決問題。似乎我們的能力增加了許多。
- 2.這次實驗最大收穫是了解結冰各種有趣的物理現象。

七、參考書目

- 1.光復科學圖鑑
- 2.大美百科全書
- 3.有趣物理

評語

對液體結冰的過程、先後及對液體凝結體積膨脹的現象作系統性的研究。在中央管突出凝結及以沈浸於液中氣球之壓力變化顯示體內膨脹的方法上，頗為突出亦富新意。