

# 透明中的朦朧—— 冰中不透明的探討

## 高小組物理科第三名

台北縣永和市網溪國民小學

作者：張慈映、董曉琦  
洪琬卿

指導教師：黃添修、王全清

### 一、研究動機

夏天自製冰塊消暑，發現結冰前是透明的溶液，結冰後卻不完全透明；於是上課請教老師，老師說：「你們何不好好研究實驗看看。」於是在老師的指導下，與同學利用課餘時間著手觀察研究。

### 二、研究目的

- (一)探討影響冰塊不透明的因素。
- (二)能否製成晶瑩剔透的冰塊。

### 三、研究設備器材

量筒、塑膠杯、試管、培養皿、天平、砝碼、溫度計、光亮計、氣球、幻燈機、針筒、容器、冷凍庫、冰箱……等。

### 四、研究過程或方法

實驗(一)：觀察結冰過程

實驗步驟：取五根試管各裝 20c c 的自來水，放入透明的冷凍庫，觀察其結冰過程。

發現：1. 首先由外圍先結冰，但底部的會往上浮到冰的表膜，直到表面相當厚度後，底部的才不會再繼續上升。  
2. 當結冰時間達一半時，足見管口與側面具成透明的冰，而中間部分未結成冰，初成的冰和未結成之水接觸地方有點狀和細條向上的不透明產生。

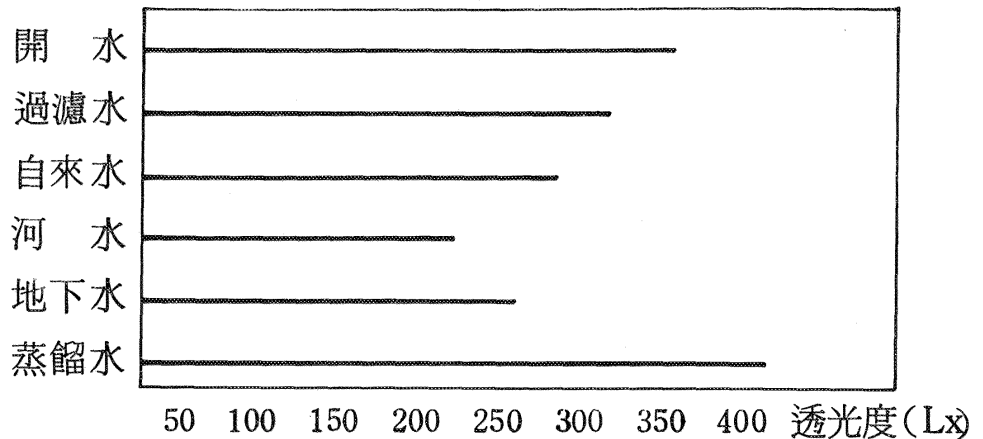
3. 結冰完成後，不透明集中於中央部分。

4. 冰塊上半部，發現很多向上發展的透明溝痕，以手抹入空氣後，產生和中央部分相似的不透明。

實驗(二)：不同水質結冰後，有無差別。

實驗步驟：以透明塑膠杯，分別裝 100 cc 的蒸餾水、開水、過濾水、地下水、河水各五杯，放入冷凍庫結冰，觀察其結果。

實驗結果：



發現：各種水質都有不透明，且雜質愈少愈透明。

實驗(三)：結冰的速度不同，對透明與否有影響。

實驗步驟：取三組各五杯裝有 100cc 的自來水，放入強冷、中冷、弱冷的冰箱中，觀察其結冰情形。

發現：溫度不同下結冰，透光度無明顯差距，故不是冰中不透明的主因。

實驗(四)：冰塊中的不透明，可能是在結冰時，中間部分的冰，無法完全結冰所造成。

實驗步驟：取二組各四根裝有 40cc 的自來水試管，放入冰箱中，在結冰過程中，第一組以針刺破表面，使中間部分得與充分結冰，第二組則不刺，觀察其結冰結果。

實驗結果：

組別	透光方式 編號	體積變化		倒立 透光	側面 透光	底前 透光	透光度	總和	平均
		結冰前	結冰後						
不 刺	1	40	43	350	350	650	450	1933.33	483.33
	2	40	43	250	400	800	483.33		
	3	40	43	350	400	600	550		
	4	40	43	300	350	700	450		
刺	1	40	44	300	350	700	450	1848.88	462.22
	2	40	43	300	350	750	466.67		
	3	40	43	350	400	650	466.67		
	4	40	43	300	400	700	466.67		

發現：不論刺與不刺，所結之冰仍會有不透明存在，足見是否完全結冰不是主因。

實驗(五)：結冰後，放置時間的長短，對冰塊的透明有影響嗎？

實驗步驟：1.取五組各三杯裝有 150 cc 的自來水，放入冰箱中結冰。

2.使其結冰後留置冰箱中的時間分別是 0 小時、12 小時、24 小時、48 小時、72 小時再取出，比較其透光度。

實驗結果：

時間	從杯底 算不透明 高度	接近瓶 口透明的 厚度	冰塊底 有無明 顯氣泡	冰塊上 有明顯 裂紋者	透光度
72 小時	5.3 cm	2.1 cm	有	有	410
48 小時	5.3 cm	2 cm	有	有	420
24 小時	5.2 cm	2 cm	有	有	410
12 小時	5.4 cm	2 cm	有	有	400
0 小時	5.3 cm	2 cm	有	有	420

發現：在結冰後，不論放置時間長或短，對透明並無明顯的影響。

實驗(六)：容器的密閉與否，對結冰後的透明度有關嗎？

實驗步驟：1.取二組各五杯，分別裝有 50 cc、100 cc、150 cc、

180 cc 的自來水，一組密封，另一組不加封。

2. 將二組杯子，同時放入冰箱中，觀察其結果。

實驗結果：

註：「✓」表多，「○」表是

水量	實驗結果		底部氣泡的多寡	不透明是否集中	不透明是否濃度高	不透明邊有明顯氣泡	接近杯口透明的多寡	冰塊透明的多寡	冰塊邊緣的透明多寡
	密封	與否							
50 cc	不密封		✓				✓		
	密封			○	○	○		✓	✓
100 cc	不密封		✓				✓		
	密封			○	○	○		✓	✓
150 cc	不密封		✓				✓		
	密封			○	○	○		✓	✓
180 cc	不密封		✓				✓		
	密封			○	○	○		✓	✓

發現：在密封狀況下，可得較透明的冰，但其不透明部分則較深且集中。

實驗(七)：容器的形狀不同時，對結冰後透明與否有關嗎？

實體步驟：以量筒取自來水各 425 cc，分別倒入圓柱體、球體、長方體、正方體四種容器中，放入冰箱結冰，待結冰後取出觀察比較。

實驗結果：

容器形狀	實驗結果	冰塊高度	側面厚度	透明度	不明形	透之狀	底部氣泡之多寡次序	透明度之清晰比較
圓柱體		5 cm	約 1.0~1.5 cm		圓柱體		3	2
球體		9.5 cm	約 2.5 cm		球體		4	1
長方體		2.8 cm	寬約 0.8-1.0 cm 長約 0.7-1.3 cm		長方體		1	4
正方體		4.2 cm	約 1.0-1.5 cm 但一側不透明		正方體		2	3

發現：像球體結冰次序較均衡一致的，透明部分較多，不透明部分較深且集中，而次序不均衡一致者則相反。

實驗(八)：假設在實驗中，杯中倒入的水越多，則不透明所佔比例越多。

實驗步驟：取 25cc、50cc、75cc、100 cc、125 cc、150cc 的自來水倒入透明塑膠杯中，分別編號，放入冰箱中，待完全結冰後觀察，觀察其透明與否的次序。

實驗結果：

水 量 \ 實驗結果	底部氣泡多寡之比數	不透明範圍之數	透 明 之 比 數	接 近 瓶 口 透 明 度 厚 度	結 冰 面 紋 多 寡 比 數
25 cc	6	6	1	0.8 cm	無
50 cc	5	5	2	1.0 cm	5
75 cc	4	4	3	1.3 cm	4
100 cc	3	3	4	1.5 cm	3
125 cc	2	2	5	2.0 cm	2
150 cc	1	1	6	2.5 cm	1

發現：1.底部都有氣泡產生，水量愈多，氣泡也愈多。

2.不透明集中在中央處。

3.水量愈多，不透明愈多，水量愈少，不透明愈少，但透明部分也隨水量多寡而增減。

實驗(九)：假設結晶表面有空氣接觸下，可能較透明，無空氣接觸下，可能較不透明。

實驗步驟：1.取二組各六粒氣球，分別裝入 190 cc 的水，第一組有空氣存在裡面，第二組則無。

2.把二組氣球放入冰箱，待至結冰後觀察。

實驗結果：

組別	實驗結果				
	空氣接觸	不透明邊有無氣泡	不透明邊氣泡的多寡	邊緣有無明顯氣泡	邊緣氣泡的多寡
第一組	有	2	有	2	1
第二組	有	1	有	1	2

發現：在有空氣的接觸下，所形成之球塊較透明。

實驗(+): 假設濃度不同，對結冰透明有影響。

實驗步驟：各取 40 cc 濃度為 2%、5%、10%、20%、40%、60%、90% 的鹽、糖、味精、小蘇打、明礬、檸檬酸，放入冰箱中，結冰後觀察。

實驗結果：

濃度	物品透光度					
	鹽	糖	味精	小蘇打	明礬	檸檬酸
2%	500	500	960	150	1000	400
5%	410	475	900	125	980	380
10%	320	400	800	100	815	360
20%	270	350	715	70	720	340
40%	250	315	650	50	640	322
60%	200	250	520	40	520	300
90%	115	200	400	0	300	270

發現：1. 濃度愈低，透光度愈好，濃度愈高，透光度愈差。

2. 明礬和鹽濃度愈高，須愈低溫才能凝固。

## 五、討論

(-) 由實驗(-)得知，冰塊上端有向上發展的透明小溝痕，抹入空氣後，產生和冰塊一樣的條狀不透明，由此推論，冰中不透明由氣泡構成。

(二)水量多則空氣含量多，由實驗(八)發現，水量多，不透明也多，由此推論，不透明是由氣泡構成。

(三)由實驗(十)，將水和溶質混合時，產生許多向上升的小氣泡與冰塊中的點狀不透明相似，由此推論，不透明由氣泡所構成。

## 六、再假設—冰中的不透明是由氣泡形成

假設(一)：以加熱法，使水中空氣含量減少後，加以密封，其所結之冰透光度應較佳。

實驗步驟：1.取四組各五根裝有 28cc 自來水，第一組加熱至沸騰後密封；第二組加熱至 70°C 後密封；第三組不加熱密封，第四組不加熱不密封。

2.將四組試管放入冰箱中，待至結冰後觀察比較。

實驗結果：

組別	編號					平均	名次
	透光度	1	2	3	4		
一		1400	1350	1300	1450	1400	1
二		1000	950	1050	1000	1050	2
三		600	650	650	550	610	3
四		500	550	450	500	490	4

發現：水加熱後空氣含量減少，所結之冰透光度較佳，假設成立。

假設(二)：在水中打氣和攪拌增加空氣含量，其所結之冰透光度較差。

實驗步驟：取三組各四杯裝 225 cc 的自來水，放入冰箱中，待冰膜形成後，第一組打氣，第二組攪拌，第三組不打氣也不攪拌，待完全結冰後取出觀察比較。

實驗結果：

組別	透光方式	底前	前底	正立	倒立	側面	透光	透光	總平均
	透光度	透光	透光	透光	透光	透光	度總計	度平均	
打氣結冰	1	175	205	175	180	165	900	180	181
	2	180	190	195	205	120	890	178	
	3	180	210	240	310	155	1095	219	
	4	165	135	115	185	135	735	147	
攪拌結冰	1	125	185	150	280	145	885	177	131
	2	80	80	125	265	80	630	126	
	3	85	70	110	185	70	520	104	
	4	85	85	105	240	85	600	120	
未打攪氣拌結冰	1	300	330	230	170	200	1230	246	239
	2	280	310	220	150	210	1170	234	
	3	285	340	210	150	210	1195	239	
	4	270	320	225	160	210	1185	237	

發現：水經打氣和攪拌後，空氣含量增加，所結之冰透光度較差，假設成立。

假設(三)：冰中的不透明如為氣泡，加諸外力，則會上浮。

實驗步驟：在結冰過程，不透明初形成時，以針挑之，觀察變化。

發現：在冰與水接觸地方的點狀和細條狀不透明初形成時，以針挑之，則會冉冉上浮至水面後消失，故假設成立。

假設(四)：人造雨是利用溴化鹽當「聚核」，凝結飽和與不飽和的小水滴下降。冰中的不透明如為氣泡所形成，則小氣泡都會有上浮的傾向，只是浮力不夠，利用連續打氣的方法，給予適當聚核，聚集游離的小氣泡，增加浮力，上浮到水面消失，故所結之冰透光度應較佳。

實驗步驟：取八組各三支裝 40 cc 的試管，放入冰箱中結冰，在結冰 1 小時 45 分後，開始每隔 20 分打氣 2 cc，使各組打氣量和次數不同。



實驗結果：

組別	空氣量		體積變化		倒立 透光	底前 透光	側面 透光	平均 透光	總和	總平均	透光 名次
			結冰前	結冰後							
一	0 ml	1	40	43	400	500	300	400	1217	405.67	8
		2	40	43	350	650	250	417			
		3	40	43	400	500	300	400			
二	2 ml	1	40	43	450	600	350	466.65	1309.66	436.55	7
		2	40	43	400	500	350	417			
		3	40	43	450	500	300	426			
三	4 ml	1	40	43	550	650	400	533.33	1499.99	500	6
		2	40	43	500	600	400	500			
		3	40	43	500	500	400	466.66			
四	6 ml	1	40	43	500	550	400	483.33	1583.33	527.78	5
		2	40	43	500	650	450	533.33			
		3	40	43	550	700	450	566.67			
五	8 ml	1	40	44	500	650	400	516.66	1616.66	538.89	4
		2	40	44	500	750	450	566.67			
		3	40	44	500	600	500	533.33			
六	10 ml	1	40	44	500	650	500	566.67	1750	583.33	3
		2	40	44	550	700	500	600			
		3	40	44	600	700	500	583.33			
七 (淺)	22 ml	1	40	44	650	800	550	666.67	1950	650	2
		2	40	44	650	850	550	683.33			
		3	40	44	600	700	500	600			
八 (深)	22 ml	1	40	44	600	750	500	633.33	1966.66	655.55	1
		2	40	44	700	700	550	650			
		3	40	45	600	850	600	683.33			

發現：打氣的次數愈多，所結的冰愈透明，假設成立。

假設(五)：連續打氣，使水中空氣含量減少，待其完全結冰，取出密封，讓其溶化後，體積應減少。

實驗步驟：1.取八隻量筒各裝有 29 cc 的自來水加蓋，水高標識記號，放入冰箱結冰，7、8 號不打氣，但 1～6 號在 2 小時後每隔 10 分鐘打氣 3 ml 至結冰完成。

2.取出密封，待溶化後，觀察其體積變化。

實驗結果：

編號 結果	1	2	3	4	5	6	7	8
結冰前	29	29	29	29	29	29	29	29
結冰後	28.2	28.5	28.0	28.0	27.8	27.8	29	29

發現：打氣結冰的溶化後，體積減少，假設成立。

## 七、結 論

(一)結冰時，以外圍先結且透明，中間最慢並有點狀和細條狀不透明；冰塊上半部有很多向上發展的透明小溝痕，抹入空氣後產生細條狀不透明。

(二)結冰的透明與否和是否完全結冰，結冰速度、結冰後留置冰箱中的位置和時間長短無關。

(三)水中雜質愈多或各種溶液濃度愈高，透光度愈差。

(四)水量多，相對的空氣含量也多，故不透明與透明同時增加，但比例大致相同，水量少時則反之。

(五)結晶表面有空氣接觸，水中氣泡易向空氣中滲透，故所結之冰透光度較佳，無空氣接觸則反之。

(六)容器形狀能使結冰次序均衡一致者，所結之冰透光度較佳，如球體。

(七)水加熱後，空氣含量減少，所結之冰透光度較佳。

(八)水面結冰後，打氣一次或加以攪拌，使空氣含量增加，則所結之冰透光度較差。

(九)在冰與水接觸地方的點狀和細條狀不透明初形成時，以針挑之，

則會冉冉上浮至水面消失，所結之冰透光度較差。

(+)結冰過程中，在水中連續打氣，給予適當的「聚核」，藉以分離水中游離的小氣泡，使其易上浮和水分離，故所結之冰透光度較佳。

(-)在結冰過程中，連續打氣至完全結冰，則水中空氣含量減少，所結之冰溶化後，體積比實驗前體積小。

(三)總結以上得知：

- 1.不透明是氣泡所形成，且印證水中含有空氣，故魚可在水中生存。
- 2.要製成較不透明的冰，則以打氣或攪拌的方法，增加水中空氣含量。
- 3.要製成較透明的冰，則以連續打氣的方法，給予適當「聚核」，減少水中空氣含量，但無法製成完全透明的冰，因上方一定有小部分氣泡。

## 八、參考資料

- (一)大英科技百科全書.....光復書局  
(二)科學的歷史.....東方出版社  
(三)小牛頓兒童科學園地.....小牛頓雜誌社  
(四)自然界的奇異.....東方出版社  
(五)中華兒童百科全書.....台灣省政府教育廳

## 評 語

對一單純問題能以合乎科學探究的方法作深入之研究探討，且在驗證假設方面，屢有新的構想，是一佳作，但少部分假設之形成，其根據之證據稍弱。