

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：物理科

作 品 名 稱：彭巴效應之實驗探討

學校 / 作者：臺北市立金華國民中學 丘雅鈺



作者簡介

目前就讀北市金華中學,小時候曾至馬來西亞接受數年教育,之後回到台灣就學。自國小五年級開始對物理產生濃厚的興趣,從此踏入科學界的殿堂,開始參加科學相關競賽,曾在北市科展中獲獎。自從參加科學展覽後,漸漸養成了持續性研究的習慣,每年都有計劃性的繼續從事不同的實驗工作。

升國中後,成績都維持在前 1~2 名,因為十分善於分配時間,所以沒有因課業繁忙而放棄了科學實驗,每天都會留一個小時左右的時間,進行實驗或者是閱讀科學書籍。除了科學以外,在語文、運動、音樂方面都曾獲獎

去年獲選為 2005 國際物理親善大使台灣代表,在一系列的活動中,結識許多國外具有物理這方面知識的朋友,透過彼此間的交流,討論實驗的內容,學習到許多課本中所沒有的珍貴知識。

希望在未來能有機會繼續投入物理這方面的領域,並對社會有所貢獻。

彭巴效應之實驗探討

延續 38 屆北市科展的研究主題繼續研究，針對實驗方法進行改良。

用熱敏電阻、數位電錶、冰箱冷凍庫、不同水溫，測繪「冷卻曲線」探討彭巴效應。

發現在 80°C、60°C、40°C、20°C 的不同水初溫中，初溫愈高的水，完成冷凍的時間愈短。

由冷卻曲線觀察，發現初溫較冷的水比熱水有更明顯的過冷現象。

由冷卻曲線觀察，彭巴效應非常明顯，並且可由曲線上準確量測結冰始末的時間。

彭巴效應明顯，並可重覆實驗。

這次的研究探討，有助於我未來在彭巴效應實驗的量測技術。可應用於一般家庭冷卻物品時，快速冷卻，節省時間。可找出結冰的經濟初溫範圍，提供往後各領域利用

An Experimental Study of the Mpemba Effect

Hot water freezes faster than cold water? It is surprising to most people, but it is true. It has been observed and studied in numerous experiments. I tried to set up an experiment to explore the so-called Mpemba effect.

I use NTC, multi-meter and house refrigerator to construct cooling curve for water of various initial temperature. The Mpemba effect is discussed based on the cooling curve. I found that the benefit of using NTC is faster measurement, higher sensitivity and cooling process is not disturbed.

By inspection of the cooling curve, the Mpemba effect is obvious and repeatable. The initial and final state of freezing process is easily determined. Cold water reveals super-cooling phenomena. Inspection of gas bubbles in freeze ice showed that cold water contains more gas than hot water.

一、前言

若將同質量的冷水及熱水同時放入冷凍庫中冷凍，誰會先結冰？依常識作答，我們會回答：冷水先結冰。但很抱歉，正確的答案是熱水先結冰。

在看到科教館雜誌「彭巴效應」專題之後，懷疑其中敘述現象的真實性，故著手進行實驗。

在經過多番詢問以及資料搜尋後發現，1969 年彭巴效應曾經短暫的受到了物理界部份人士的關注，但是此後至今的時間裡，「彭巴」這個名詞又再度在物理界消聲匿跡，成為了單純流傳於民間的討論。於是，我決定展開研究，立足現行課本中的基礎物理，其中參考了國中理化教材「熱」、「物質三態」單元，以及生物教材之「環境循環」單元、科教館雜誌「彭巴效應」專題、牛頓雜誌及科學人雜誌的「物質變化」專題…等，結合許多作者以前或現在使用的教材、刊物，去尋找答案。

這次的研究延續作者今年 38 屆北市科展的研究主題繼續研究，主要根據評審委員之意見，針對實驗的手法進行改良，希望能夠更進一步的研究此效應，經過長達一年多的相關實驗與改良，終於歸納開發出一套研究彭巴效應的有效實驗方法，希望提供給未來研究此主題的同學一個方向。

目的

- (一) 以科學手法證實彭巴效應之存在
- (二) 探討彭巴效應實驗變因對彭巴效應的影響(不同初溫,不同溫度梯度)
- (三) 針對彭巴效應現象成因的推論提出證據，並進行歸納(氣體溶解度,過冷效應,對流)
- (四) 經由實驗分析和整理前人的推論,歸納並提出自己推論
- (五) 歸納開發出一套完整的實驗手法，正確且有效進行彭巴效應實驗。
- (六) 利用彭巴效應找出結冰的經濟初溫(範圍)
- (七) 針對彭巴效應之主題進行資料彙整(歷史，理論，實驗，未來)。

本研究特色（貢獻）

- (一) 改良實驗手法(建立有效彭巴效應實驗手法)-熱敏電阻測溫(減少溫度計及其他因素的變因影響)，結冰定義的辨識(將結冰定義確認，取代視覺性質觀察)
- (二) 利用 excel 試算表進行數據分析(圖表，數據整理)
- (三) 「彭巴效應」的主題式探討：建立較完整的彭巴效應探討(歷史，科學理論)
- (四) 持續長達一年實驗的實驗經驗：提出彭巴效應失敗的常見原因，提供未來其他人研究參考用
- (五) 經長時間研究，整理出一套簡易的彭巴效應實驗方法，方便一般民眾進行實驗，藉此達到科學普及的目的
- (六) 結合課程教材(電學，熱學)進行推論，立足已知，探討未知

二、研究方法與過程

(一) 方法

測溫：利用 NTC 負溫度係數熱敏電阻「溫度下降時電阻直增加，溫度上升時電阻直減少」的性質，進行水、結冰溫度的測量。利用熱敏電阻 $R_t / R_0 = e^{B(1/T - 1/273)}$ 電阻和溫度的關係式，換算出溫度。(關係式介紹：請見 P.19 討論 13)

結冰：當電阻值維持在 0°C 的電阻值時(超過 3 分鐘以上)，即代表水正在進行結冰；當結冰作業完成後(完全結冰)，電阻值將繼續上升

冷熱水製備：將熱水加入冷水中，以玻棒攪拌調整溫度。

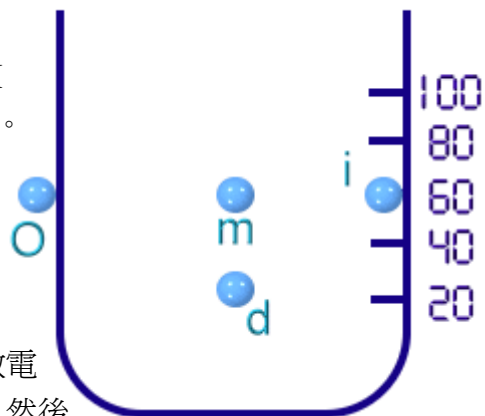
冷卻條件：利用家用冰箱的冷凍庫作為冷卻環境，冷度調為「最強」。將實驗容器置於厚紙板上(熱絕緣體，防止底部接觸傳導的影響)，紙板再由竹筷架高，遠離冷凍庫底板。

環境溫濕度：使用儀器：電子溫度計。測量冰箱溫度(溼度)、室溫(溼度)。

測溫位置：每組燒杯上安排 4 個熱敏電阻(如圖)

內壁 I、外壁 O、中央(上)M、中央(下)D，其中 IOM 皆位於 60ml 水平線上，而 D 則位於 20ml 水平線上。

熱敏電阻配置圖



(二) 過程

1. 熱敏電阻前置作業(器材如圖 1-1)

先將各熱敏電阻編號(圖 2)，然後再用烙鐵將熱敏電阻與電線焊接相連(圖 3)，之後再套上熱縮套管，然後使用吹風機使套管緊縮，直到與焊接部位貼合(圖 4)。



圖 1 器材



圖 2

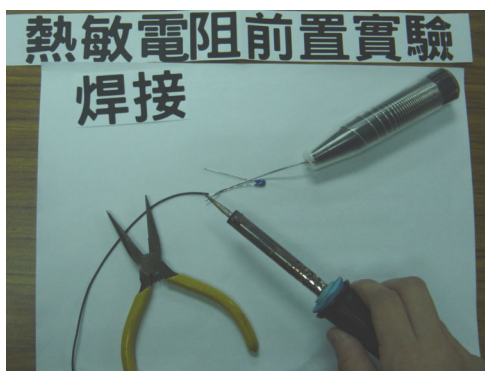


圖 3



圖 4

2. 熱敏電阻的校正實驗(實驗編號 E-A)

將各熱敏電阻按編號接上電表(圖 2)，然後再利用防水膠布將各熱敏電阻沿著小透明屏壁環狀固定(圖 1)。A 部分實驗是校正低溫(-10°C)到 0°C 的範圍：在冷水中加入冰塊和食鹽(體積比約 3 : 1)並用玻棒攪拌直到降溫至 -10°C 左右，然後將熱敏電阻放入冷水中(圖 4)，觀察杯內水銀溫度計(感應球與熱敏電阻位置接近)所顯示的溫度和當時之電阻值(圖 3)，並做紀錄。

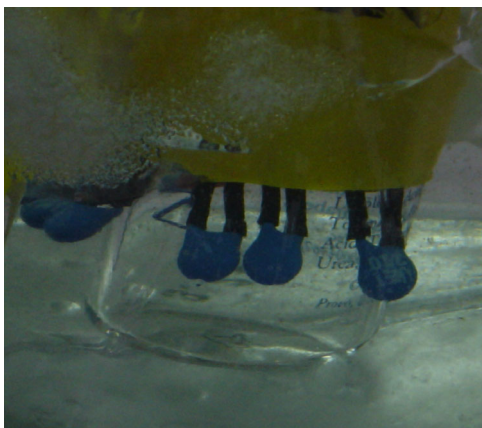


圖 1 環狀固定

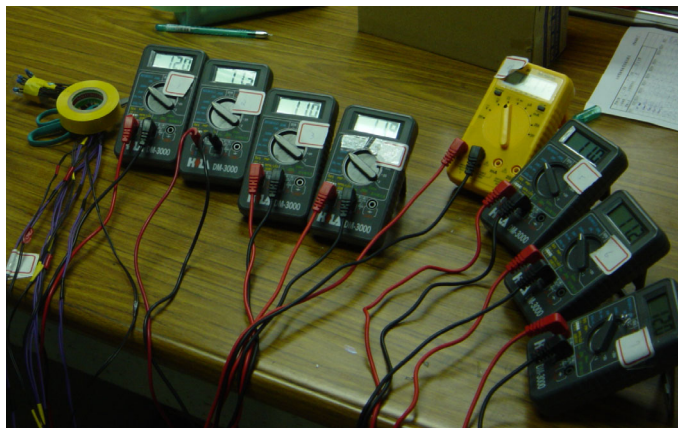


圖 2 接上電表

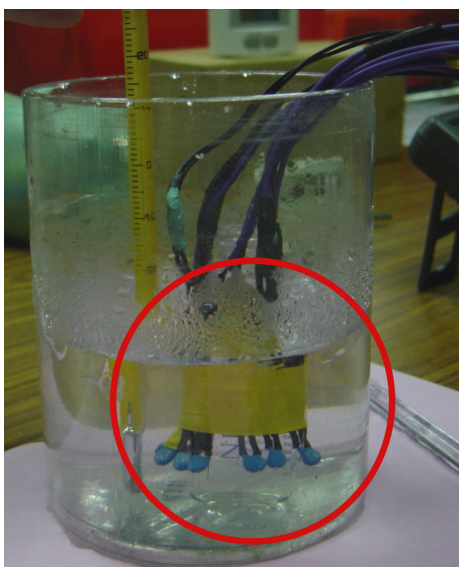


圖 3 溫度計與熱敏電阻位置接近

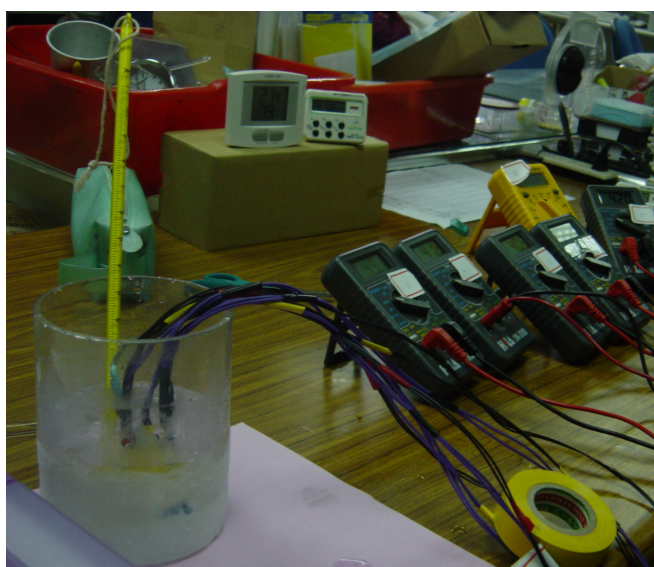


圖 4 將熱敏電阻放入冷水中

3. 不同初溫之水結冰情形比較實驗(實驗編號 A、B、C、D)

按照下列分組進行各實驗。先利用實驗用膠土(圖 1) 依預定位置(圖 2)固定各熱敏電阻，並用文件夾、防水膠布固定電線、燒杯於紙板上，避免移動。接著按分組設定之初溫，將冷熱水分別倒入燒杯C及H中(圖 3)，並紀錄各組初水溫的電阻值(圖 4)，此後便開始計時，每 3 分鐘紀錄一次電阻值(圖 5)。

實驗	燒杯編號	水初溫	電阻配置(1。2。3...電阻編號)
A(測試)	C / H	20℃ / 40℃	1(I)、2(O)、3(M) / 4(I)、5(O)、6(M)
B	C / H	23℃ / 40℃	1(I)、2(O)、3(M) / 4(I)、5(O)、6(M)
C	C / H	20℃ / 60℃	1(I)、2(O)、3(M) / 4(I)、5(O)、6(M)
D	C / H	20℃ / 80℃	1(I)、2(O)、3(M)、7(D) / 4(I)、5(O)、6(M)、8(D)

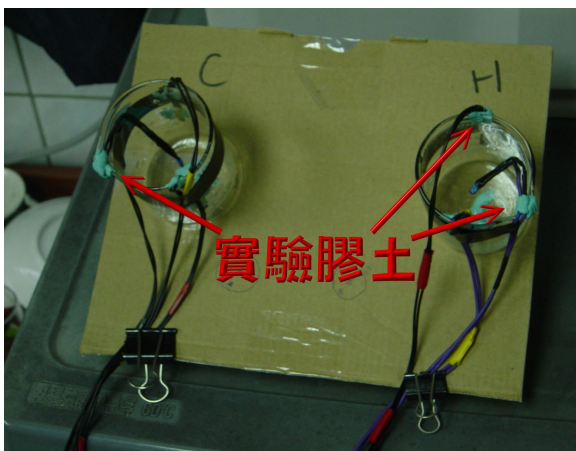


圖 1 綠色者為特殊實驗用膠土

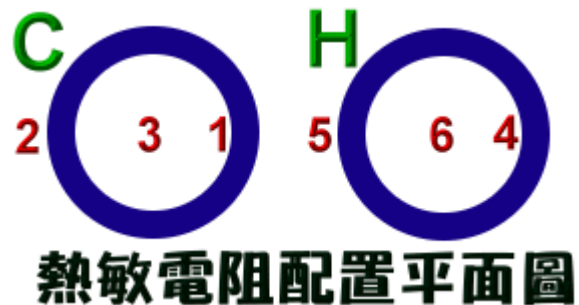


圖 2



圖 3 測量倒入水之水溫

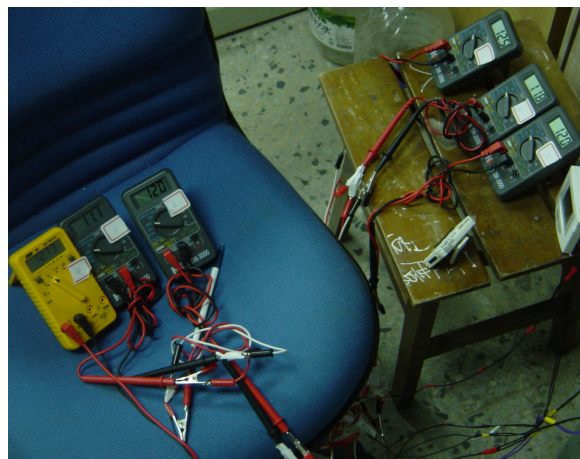


圖 4



圖 5 每 3 分鐘紀錄一次電阻值

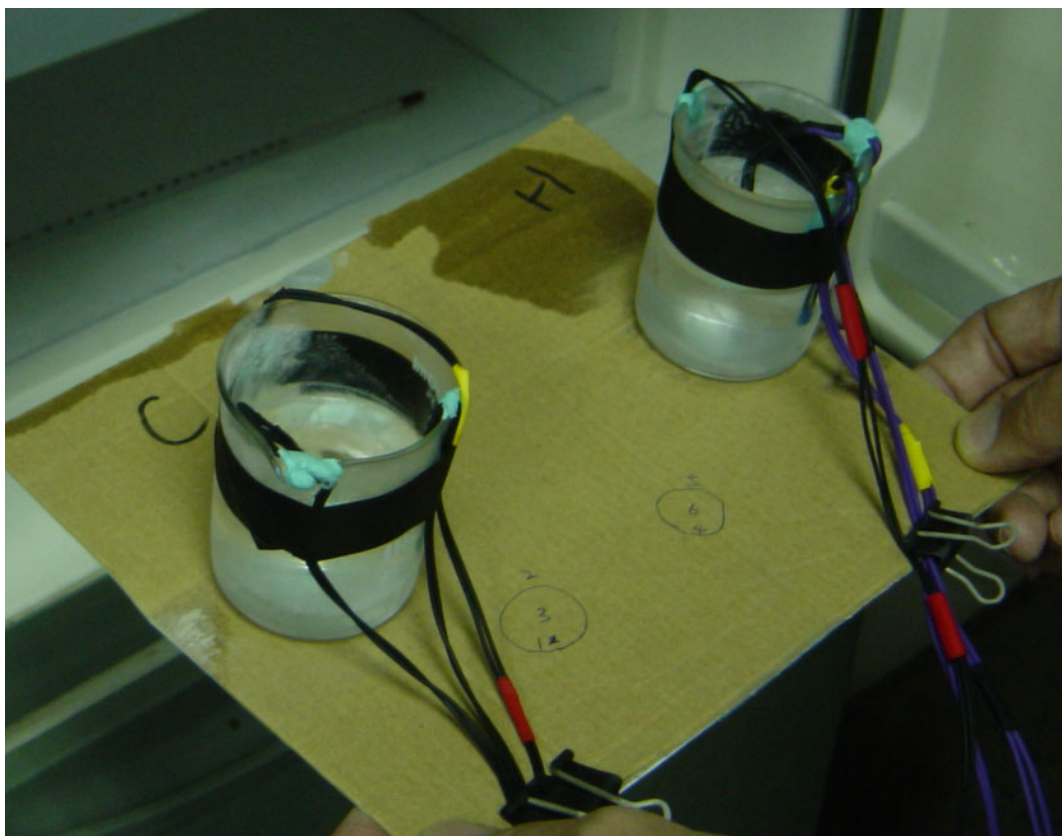


圖 6 基礎實驗時的中途觀察

實驗條件紀錄表

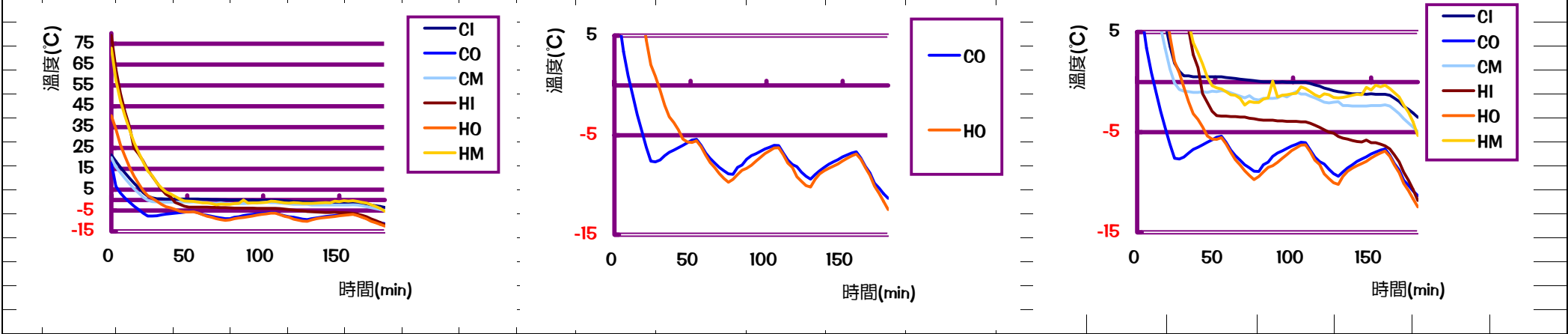
(紀錄編號# 1)

實驗編號	燒杯編號	計畫水初溫	水源及處理條件	熱敏電阻編號及位置	備註/簽名
#A	C	20℃	RO逆滲透之水	(I) 內壁 (O)外壁 (M)中央 (I)(O)(M)-30ml水平位置	
#A	H	40℃	RO逆滲透之水，冷熱混合 ——(攪拌)——	(I) 內壁 (O)外壁 (M)中央 (I)(O)(M)-30ml水平位置	
#B	C	23℃	RO逆滲透之水	(I) 內壁 (O)外壁 (M)中央 (I)(O)(M)-30ml水平位置	
#B	H	40℃	RO逆滲透之水，冷熱混合 ——(攪拌)——	(I) 內壁 (O)外壁 (M)中央 (I)(O)(M)-30ml水平位置	
#C	C	21℃	RO逆滲透之水	(I) 內壁 (O)外壁 (M)中央 (I)(O)(M)-30ml水平位置	
#C	H	60℃	RO逆滲透之水，冷熱混合 ——(攪拌)——	(I) 內壁 (O)外壁 (M)中央 (I)(O)(M)-30ml水平位置	
#D	C	21℃	RO逆滲透之水	(I) 內壁 (O) 外壁 (M) 中央 (I)(O)(M)-30ml 水 平 位 置 (D)-中央，(I)下方約2.5cm處	
#D	H	80℃	RO逆滲透之水，冷熱混合 ——(攪拌)——	(I) 內壁 (O) 外壁 (M) 中央 (I)(O)(M)-30ml 水 平 位 置 (D)-中央，(I)下方約2.5cm處	
#CH	CH	(-10) ~ 80℃	RO逆滲透之水，加熱至80℃後降溫	編號1-8熱敏電阻測試	
#G	C	57℃	自來水 75.4g	183	末質量 153.2- 78.4=74.8
#G	H	16.1℃	熱水飲水機 75.4g	456	末質量 156.6-82.6=74

	實驗日	11/19	氣溫	21.6℃	濕度	59%	氣壓1020.1Hpa		R0(k)	R0(k)	R0(k)	R0(k)	R0(k)	R0(k)
	冰箱編號1		冰箱溫控設定	強冷					36.45	32.30	32.25	30.25	33.1	34.55
	實驗人員		作者A						電阻#1	電阻#2	電阻#3	電阻#4	電阻#5	電阻#6
項次	時間	電阻#1	電阻#2	電阻#3	電阻#4	電阻#5	電阻#6	備註	溫度C	溫度C	溫度C	溫度C	溫度C	溫度C
1	0	12.8	12.1	11.8	5.5	7.7	4.9	初溫	22.006	20.544	21.075	37.762	31.670	44.155
2	3	15.6	25.4	13.6	7.7	18.4	6.6		17.578	4.758	17.904	29.503	11.925	36.521
3	6	18	29.6	15.7	9.5	22.1	8.2		14.457	1.709	14.766	24.566	8.094	31.185
4	9	20.4	31.9	17.7	11.6	24.8	9.8		11.782	0.243	12.196	20.019	5.736	26.939
5	12	22.8	33.8	19.8	13.7	27.1	11.6		9.446	-0.880	9.835	16.336	3.948	23.029
6	15	25.1	35.5	21.7	15.8	29	13.4		7.458	-1.826	7.934	13.252	2.598	19.765
7	18	27.2	37.1	23.6	18	30.9	15.3		5.818	-2.670	6.215	10.490	1.345	16.828
8	21	29.5	38.6	25.3	20.2	32.4	17.1		4.180	-3.424	4.806	8.091	0.417	14.409
9	24	31.9	40.2	26.7	22.3	33.9	19		2.620	-4.192	3.725	6.065	-0.464	12.154
10	27	33.3	42.2	28.9	23.4	35.2	20.7		1.770	-5.105	2.151	5.090	-1.192	10.346
11	30	34.7	45.2	30.6	26.8	38.4	22.6		0.961	-6.386	1.026	2.377	-2.860	8.517
12	33	36.1	48.5	32.3	29.6	42.7	24.6		0.188	-7.687	-0.030	0.423	-4.867	6.774
13	36	35.7	51.4	33.4	34.4	49.6	28.6		0.405	-8.750	-0.680	-2.479	-7.650	3.728
14	39	35.8	52.5	33.5	35.8	52.8	31		0.351	-9.136	-0.738	-3.239	-8.794	2.126
15	42	36	53.3	33.6	36.2	56.6	32.9		0.242	-9.411	-0.796	-3.450	-10.055	0.956
16	45	36.2	53.1	33.6	33.6	58.3	33.9		0.134	-9.342	-0.796	-2.029	-10.588	0.370
17	48	36.3	54.6	33.6	36.7	60.2	33.9		0.080	-9.847	-0.796	-3.710	-11.163	0.370
18	51	36.5	55.9	33.6	37	61.6	33.5		-0.027	-10.272	-0.796	-3.864	-11.574	0.602
19	54	36.6	54.9	33	37.3	60.4	33.4		-0.080	-9.946	-0.447	-4.017	-11.223	0.660
20	57	36.6	53.2	32.9	37.5	58.5	33.4		-0.080	-9.377	-0.388	-4.118	-10.650	0.660
21	60	36.7	52	32.8	37.6	57	33.4		-0.133	-8.962	-0.329	-4.168	-10.182	0.660
22	63	36.7	49.4	32.8	37.8	53.8	33.3		-0.133	-8.025	-0.329	-4.268	-9.136	0.719
23	66	36.7	48.9	32.8	37.8	52.9	33.3		-0.133	-7.838	-0.329	-4.268	-8.829	0.719
24	69	36.7	48.2	32.8	37.8	51.8	33.3		-0.133	-7.573	-0.329	-4.268	-8.445	0.719
25	72	36.7	47.4	32.8	37.8	50.7	33.3		-0.133	-7.265	-0.329	-4.268	-8.053	0.719
26	75	36.7	46.7	32.7	37.9	49.8	33.3		-0.133	-6.990	-0.269	-4.318	-7.724	0.719
27	78	36.7	46.3	32.7	37.8	49.7	33.3		-0.133	-6.831	-0.269	-4.268	-7.687	0.719
28	81	36.8	47	32.7	37.8	49.4	33.3		-0.186	-7.109	-0.269	-4.268	-7.576	0.719
29	84	37.1	51	32.7	38.1	51.6	33.3		-0.344	-8.608	-0.269	-4.417	-8.375	0.719
30	87	37.4	53.3	32.8	38.5	54.2	33.4		-0.500	-9.411	-0.329	-4.614	-9.270	0.660

第 8 頁

實驗日期		11/20	氣溫	21.1℃	濕度	68%		氣壓1012Hpa			R0(k)	R0(k)	R0(k)	R0(k)	R0(k)	R0(k)	R0(k)	R0(k)		B=		
冰箱編號		A	冰箱溫控設定		強冷						36.45	32.30	32.25	31.65	30.25	33.1	34.55	21.3		3830		
實驗人員		作者A									電阻#1	電阻#2	電阻#3	電阻#8	電阻#4	電阻#5	電阻#6	電阻#7				
項次	時間	電阻#1	電阻#2	電阻#3	電阻#8	電阻#4	電阻#5	電阻#6	電阻#7	溫度C	溫度C	溫度C	溫度C	溫度C	溫度C	溫度C	溫度C	溫度C				
1	0	13	13.7	12.2	12.8	1.3	5.4	1.8	1.4	21.654	17.776	20.324	18.832	78.952	40.519	72.834	65.726					
2	3	14.9	23.2	14.9	14.1	2.2	7	3	2.2	18.593	6.595	15.901	16.696	62.722	33.997	57.585	52.706					
3	6	17	27.2	16.9	15.9	3.3	9.6	4.3	3.3	15.695	3.386	13.182	14.087	51.199	26.417	47.623	41.850					
4	9	19.2	30.7	19.3	17.9	4.6	12.2	5.7	4.5	13.071	0.992	10.370	11.560	42.334	20.910	40.232	34.022					
5	12	21.7	33.9	21.8	20.2	6.1	15.4	7.4	6	10.480	-0.938	7.839	9.027	35.173	15.748	33.685	27.101					
6	15	24.4	37.6	24.5	22.5	9.4	18.8	9.5	7.6	8.040	-2.925	5.455	6.805	24.811	11.470	27.671	21.644					
7	18	27.1	41	27.2	24.9	10.6	22.4	11.7	9.5	5.892	-4.564	3.355	4.749	22.054	7.816	22.833	16.671					
8	21	30.4	44.8	30.2	27.5	12.3	26.3	14.3	11.7	3.578	-6.221	1.284	2.763	18.712	4.550	18.318	12.178					
9	24	33.1	48.3	32.4	29.7	14.9	29.8	17.5	14.2	1.889	-7.611	-0.090	1.243	14.512	2.059	13.911	8.125					
10	27	34.5	48.5	33.5	32	17.2	31.6	19.5	16.3	1.074	-7.687	-0.738	-0.214	11.447	0.905	11.604	5.307					
11	30	35.3	48	33.8	34	20	34	22.9	19	0.625	-7.497	-0.910	-1.387	8.296	-0.521	8.245	2.242					
12	33	35.3	46.9	33.9	34.8	23.2	36.7	25.6	21.9	0.625	-7.069	-0.968	-1.834	5.263	-1.994	5.962	-0.540					
13	36	35.5	46	34	35.1	26.3	39	28.3	24.7	0.515	-6.711	-1.024	-1.999	2.750	-3.155	3.939	-2.852					
14	39	35.5	45.5	34	35.1	28.1	40.2	29.8	26.2	0.515	-6.509	-1.024	-1.999	1.442	-3.730	2.909	-3.970					
15	42	35.5	44.9	33.9	35.1	32.1	41.8	31.5	27.5	0.515	-6.262	-0.968	-1.999	-1.150	-4.467	1.810	-4.883					
16	45	35.5	44.3	34	35.1	33.6	43.9	33.7	29.8	0.515	-6.012	-1.024	-1.999	-2.029	-5.387	0.486	-6.382					
17	48	35.5	43.7	33.8	35.1	35.2	44.6	35.2	32.1	0.515	-5.758	-0.910	-1.999	-2.918	-5.682	-0.362	-7.754					
18	51	35.5	43.1	33.9	35.1	36	44.7	35.6	33.7	0.515	-5.500	-0.968	-1.999	-3.345	-5.724	-0.581	-8.645					
19	54	35.5	42.9	33.7	35	36.1	44.3	35.8	34.4	0.515	-5.413	-0.853	-1.944	-3.398	-5.556	-0.690	-9.020					
20	57	35.6	44.3	33.8	35	36.1	45.8	36.3	34.6	0.460	-6.012	-0.910	-1.944	-3.398	-6.176	-0.958	-9.125					
21	60	35.7	46.2	34.1	35	36.2	47.9	36.9	34.7	0.405	-6.791	-1.081	-1.944	-3.450	-7.007	-1.275	-9.178					
22	63	35.8	47.6	34.4	35	36.2	49.9	37	34.7	0.351	-7.343	-1.250	-1.944	-3.450	-7.761	-1.327	-9.178					
23	66	35.9	48.8	34.7	35.1	36.3	51.3	37.6	34.7	0.296	-7.801	-1.417	-1.999	-3.502	-8.268	-1.636	-9.178					
24	69	36	50	35	35.1	36.3	53	38.9	34.7	0.242	-8.246	-1.583	-1.999	-3.502	-8.863	-2.288	-9.178					
25	72	36.1	50.9	34.6	35	36.5	54.4	38.2	34.7	0.188	-8.572	-1.362	-1.944	-3.606	-9.337	-1.940	-9.178					
26	75	36.2	51.8	35.2	35	36.6	55.6	38.4	34.7	0.134	-8.892	-1.693	-1.944	-3.658	-9.733	-2.041	-9.178					
27	78	36.3	51.9	35.4	35	36.8	54.7	38.4	34.7	0.080	-8.927	-1.802	-1.944	-3.761	-9.437	-2.041	-9.178					
28	81	36.4	50	35.1	35	36.9	53.3	37.7	34.8	0.027	-8.246	-1.638	-1.944	-3.813	-8.966	-1.687	-9.230					
29	84	36.4	49.3	35.1	35	36.9	52	37.5	34.8	0.027	-7.988	-1.638	-1.944	-3.813	-8.516	-1.585	-9.230					
30	87	36.4	47.8	35.1	35	36.9	51.5	34.4	34.7	0.027	-7.420	-1.638	-1.944	-3.813	-8.339	0.085	-9.178					
31	90	36.5	46.9	35	35	37	50.6	37.3	34.7	-0.027	-7.069	-1.583	-1.944	-3.864	-8.016	-1.482	-9.178					
32	93	36.4	46.4	34.5	35	37	49.5	37	34.7	0.027	-6.871	-1.306	-1.944	-3.864	-7.613	-1.327	-9.178					
33	96	36.5	45.8	34.8	35	37.1	48.5	36.9	34.7	-0.027	-6.630	-1.473	-1.944	-3.915	-7.237	-1.275	-9.178					
34	99	36.5	45.2	34.3	35	37.1	47.5	36.7	34.7	-0.027	-6.386	-1.194	-1.944	-3.915	-6.852	-1.170	-9.178					
35	102	36.5	44.8	33.9	35	37.1	46.8	36.6	34.7	-0.027	-6.221	-0.968	-1.944	-3.915	-6.577	-1.117	-9.178					
36	105	36.5	44.3	34.3	35	37.2	46.1	35.4	34.7	-0.027	-6.012	-1.194	-1.944	-3.966	-6.298	-0.472	-9.178					
37	108	36.5	44.4	34.3	35	37.2	46	35.7	34.7	-0.027	-6.054	-1.194	-1.944	-3.966	-6.257	-0.636	-9.178					
38	111	36.7	46.2	34.7	35	37.5	47.8	36.3	34.7	-0.133	-6.791	-1.417	-1.944	-4.118	-6.969	-0.958	-9.178					
39	114	37	48	35	35	37.9	50	36.9	34.7	-0.291	-7.497	-1.583	-1.944	-4.318	-7.797	-1.275	-9.178					
40	117	37.2	49.2	35.4	35	38.3	51.2	37.3	34.7	-0.396	-7.950	-1.802	-1.944	-4.516	-8.232	-1.482	-9.178					
41	120	37.6	49.8	35.8	35	38.8	53.9	36.7	34.7	-0.603	-8.173	-2.017	-1.944	-4.759	-9.170	-1.170	-9.178					
42	123	37.8	51.3	35.9	35	39.3	55.3	36.9	34.7	-0.706	-8.715	-2.071	-1.944	-5.000	-9.635	-1.275	-9.178					
43	126	38.1	52.5	35.8	35	39.5	56.6	37.4	34.7	-0.859	-9.136	-2.017	-1.944	-5.095	-10.055	-1.534	-9.178					
44	129	38.3	53.3	35.7	35	40.2	57.1	37.5	34.8	-0.960	-9.411	-1.963	-1.944	-5.424	-10.214	-1.585	-9.230					
45	132	38.4	52	36.4	35.1	40.6	54.7	37.4	34.8	-1.010	-8.962	-2.335	-1.999	-5.609	-9.437	-1.534	-9.230					
46	135	38.6	50.9	36.4	35.2	40.8	53.1	37.2	34.9	-1.111	-8.572	-2.335										



	實驗日	2/8	氣溫	15.9℃	濕度	62%	氣壓1010Hpa		R0(k)	R0(k)	R0(k)	R0(k)	R0(k)	R0(k)
	冰箱編號1		冰箱溫控設定	強冷					36.45	31.65	32.25	30.25	33.1	34.55
	實驗人員		作者A						電阻#1	電阻#8	電阻#3	電阻#4	電阻#5	電阻#6
項次	時間	電阻#1	電阻#8	電阻#3	電阻#4	電阻#5	電阻#6	備註	溫度C	溫度C	溫度C	溫度C	溫度C	溫度C
1	0	15.7	14.6	14.5	3	6.1	2.7	初溫	17.437	15.935	16.495	53.836	37.422	60.619
2	3	21.6	35.7	17.4	4.7	18.2	4.1		10.576	-2.323	12.560	41.776	12.157	48.906
3	6	22.7	40.7	19.4	6.1	21.8	5.2		9.537	-4.808	10.262	35.173	8.376	42.602
4	9	25.9	46	21.9	7.8	27.3	6.7		6.815	-7.087	7.745	29.195	3.801	36.145
5	12	29.3	50.4	24.4	9.6	31.6	8.2		4.316	-8.763	5.538	24.324	0.905	31.185
6	15	36.2	55.7	26.7	11.7	36.5	10.1		0.134	-10.573	3.725	19.827	-1.890	26.232
7	18	35.5	60.9	31.6	14.1	39.4	12		0.515	-12.168	0.397	15.708	-3.349	22.256
8	21	36.3	62.3	33.8	17.2	44.9	14.5		0.080	-12.571	-0.910	11.447	-5.807	18.010
9	24	36.4	61.9	34.3	19.7	46.3	16.7		0.027	-12.457	-1.194	8.609	-6.378	14.920
10	27	36.3	58.4	34.1	22.4	42.7	19.1		0.080	-11.422	-1.081	5.974	-4.867	12.043
11	30	36.3	55.7	34	24.1	43.4	20.6		0.080	-10.573	-1.024	4.496	-5.172	10.448
12	33	36.4	54.3	33.9	26.3	46.2	22.5		0.027	-10.115	-0.968	2.750	-6.338	8.609
13	36	36.7	53.3	33.2	29.3	54.4	24.9		-0.133	-9.779	-0.564	0.622	-9.337	6.526
14	39	37.8	60.4	33.2	34.3	69.2	31.8		-0.706	-12.022	-0.564	-2.423	-13.634	1.624
15	42	38.2	62	33.2	36.6	73.2	33.5		-0.909	-12.486	-0.564	-3.658	-14.617	0.602
16	45	38.7	62.4	33.3	37	75.2	33.6		-1.161	-12.600	-0.622	-3.864	-15.086	0.544

Figure 10 consists of six line graphs arranged in a 3x2 grid, showing the temperature change of various materials over time. The y-axis for all graphs is temperature in degrees Celsius (溫度(°C)), and the x-axis is time in minutes (時間(min)).

- Top Left Graph:** Shows temperature change from 0 to 200 minutes for materials CI, CO, CM, HI, HO, and HM. The y-axis ranges from -20 to 60. All materials show a rapid initial temperature drop, stabilizing between 0 and 10°C after approximately 40 minutes.
- Top Right Graph:** Shows temperature change from 0 to 200 minutes for materials CO and HO. The y-axis ranges from -25 to 15. Both materials show a rapid initial temperature drop, with CO stabilizing around -10°C and HO around -5°C after approximately 40 minutes.
- Middle Left Graph:** Shows temperature change from 0 to 80 minutes for materials CI, CM, HI, and HM. The y-axis ranges from -5 to 5. All materials show a rapid initial temperature drop, stabilizing between -1 and 1°C after approximately 40 minutes.
- Middle Right Graph:** Shows temperature change from 0 to 200 minutes for materials CI, CM, HI, and HM. The y-axis ranges from -5 to 5. All materials show a rapid initial temperature drop, stabilizing between -1 and 1°C after approximately 40 minutes.
- Bottom Graph:** Shows temperature change from 155 to 165 minutes for materials CI, CO, CM, HI, HO, and HM. The y-axis ranges from -45 to -5. All materials show a rapid initial temperature drop, stabilizing between -10 and -15°C after approximately 160 minutes.

實驗日	2/9	氣溫	16.1℃	濕度62%	R0(k)	R0(k)	B=	
冰箱編號 2		冰箱溫控設定	強冷		29.50	36.2	3830	
實驗人員		作者A	氣壓1010Hpa		電阻#1	電阻#4		
項次	時間	電阻#A	電阻#B	備註	溫度C	溫度C		
1	0	1.6	16.5	初溫	71.582	16.196		
2	3	5.3	20.7		38.063	11.328		
3	6	6.3	21.4		33.757	10.627		
4	9	7.6	22.4		29.216	9.671		
5	12	9	23.2		25.237	8.941		
6	15	12.7	25		17.448	7.399		
7	18	14.4	25.7		14.707	6.833		
8	21	16.1	26.3		12.316	6.362		
9	24	17.2	26.8		10.918	5.979		
10	27	26.4	28.5		2.178	4.734		
11	30	27	29		1.734	4.385		
12	33	28.9	31		0.400	3.051		
13	36	30.4	32.2		-0.584	2.298		
14	39	35.4	32.8		-3.502	1.933		
15	42	35.5	32.7		-3.556	1.993		
16	45	36.6	33		-4.133	1.813		
17	48	38	33.6		-4.840	1.458		

溫度(°C)

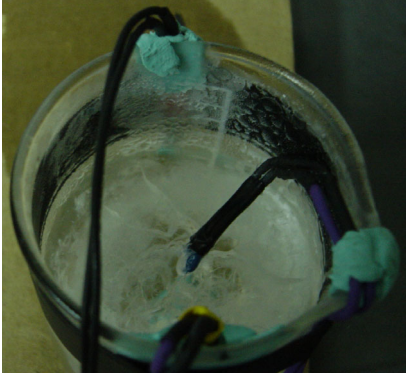
時間(min)

#1

#4

三、研究結果與討論

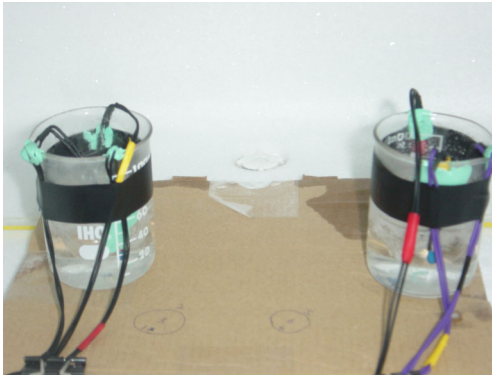
(一) 結果：數據下頁開始



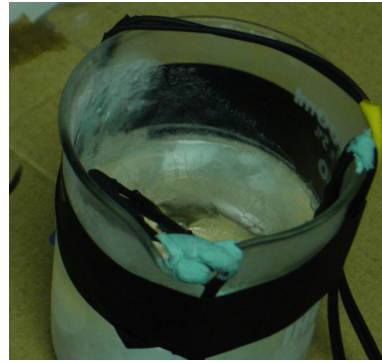
A-1 熱水結冰情形俯照



A-2 冷水結冰情形俯照



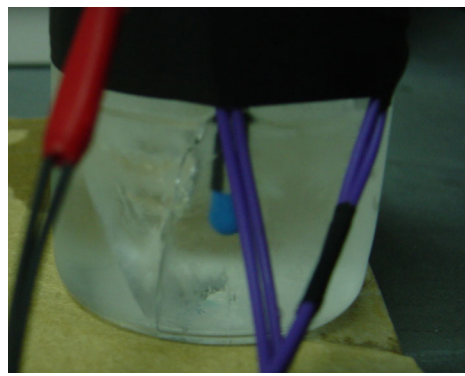
A-3 冰箱內實驗情形拍攝(開始結冰)



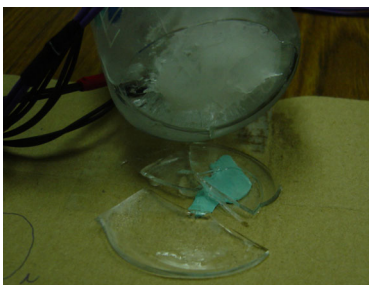
A-4 冷水開始結冰



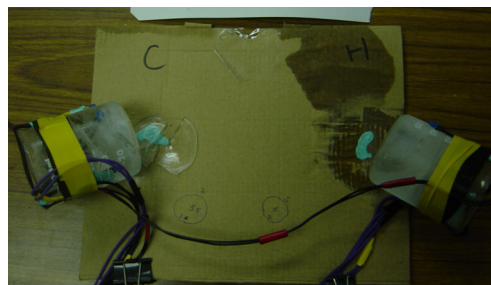
B-1 熱水結冰後，燒杯底部情形近照



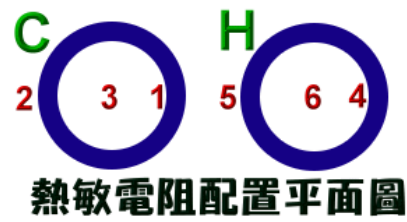
C-1 熱水結冰後，杯壁出現裂痕



D-1 冷水燒杯破裂情形



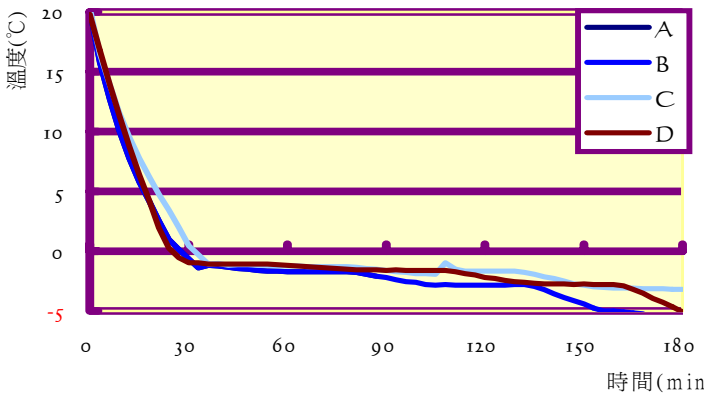
D-2 結冰體積膨脹，導致燒杯底部破裂



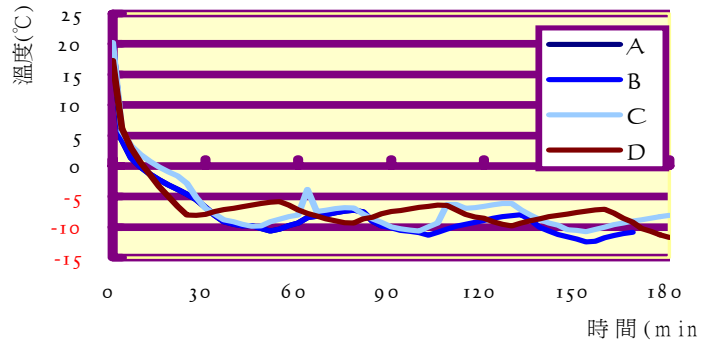
(二) 分析

1. 各電阻在不同初溫下進行彭巴效應的比較

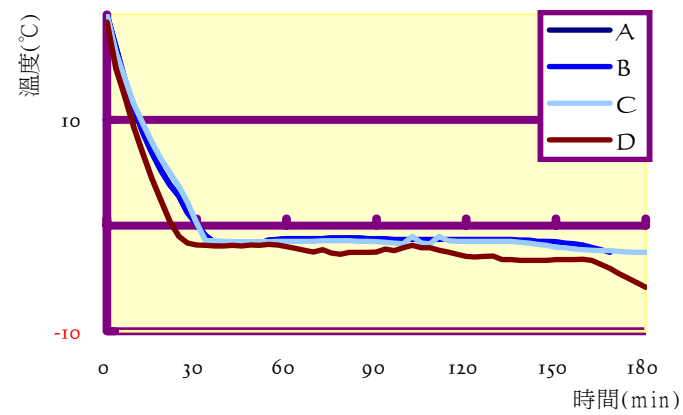
電阻1



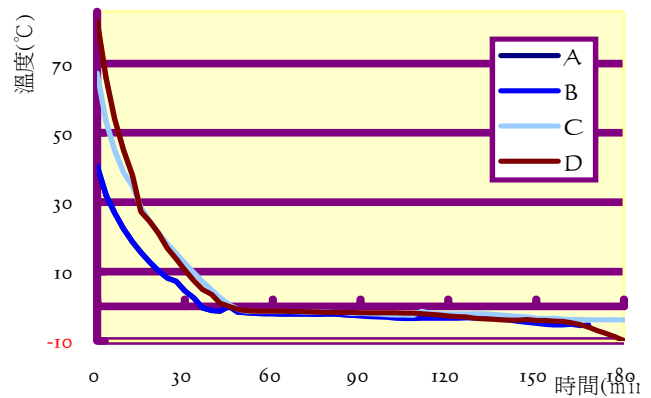
電阻2



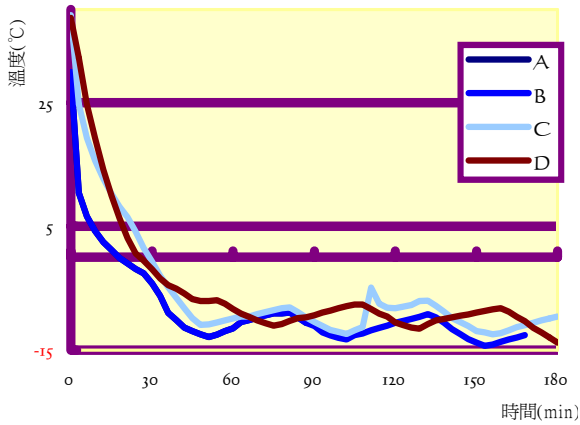
電阻3



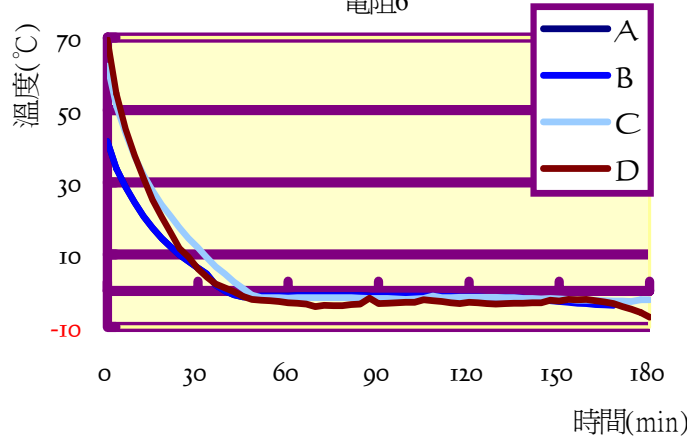
電阻4



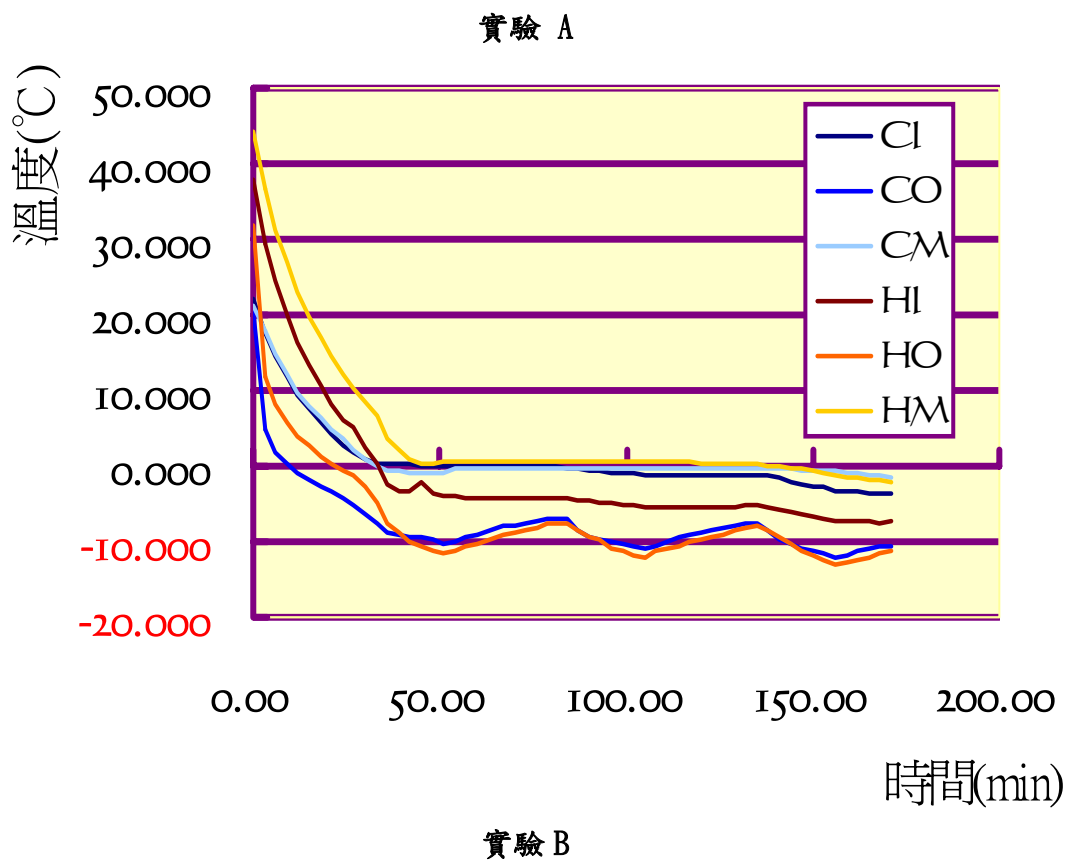
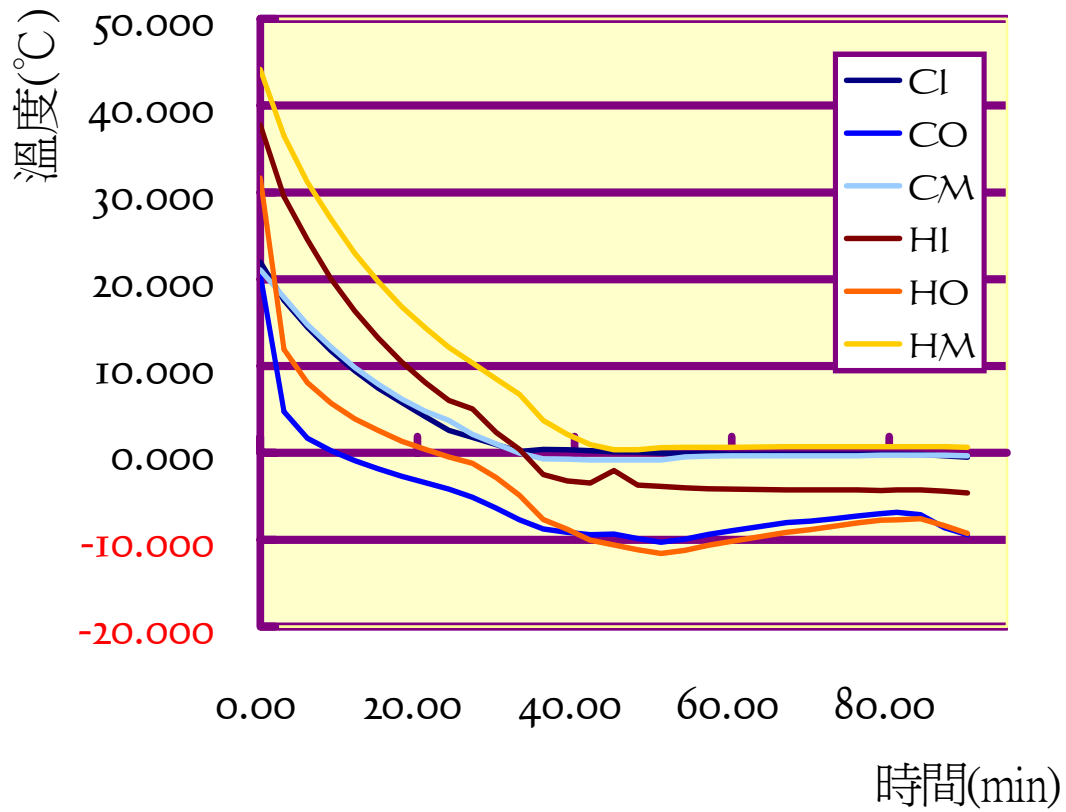
電阻5

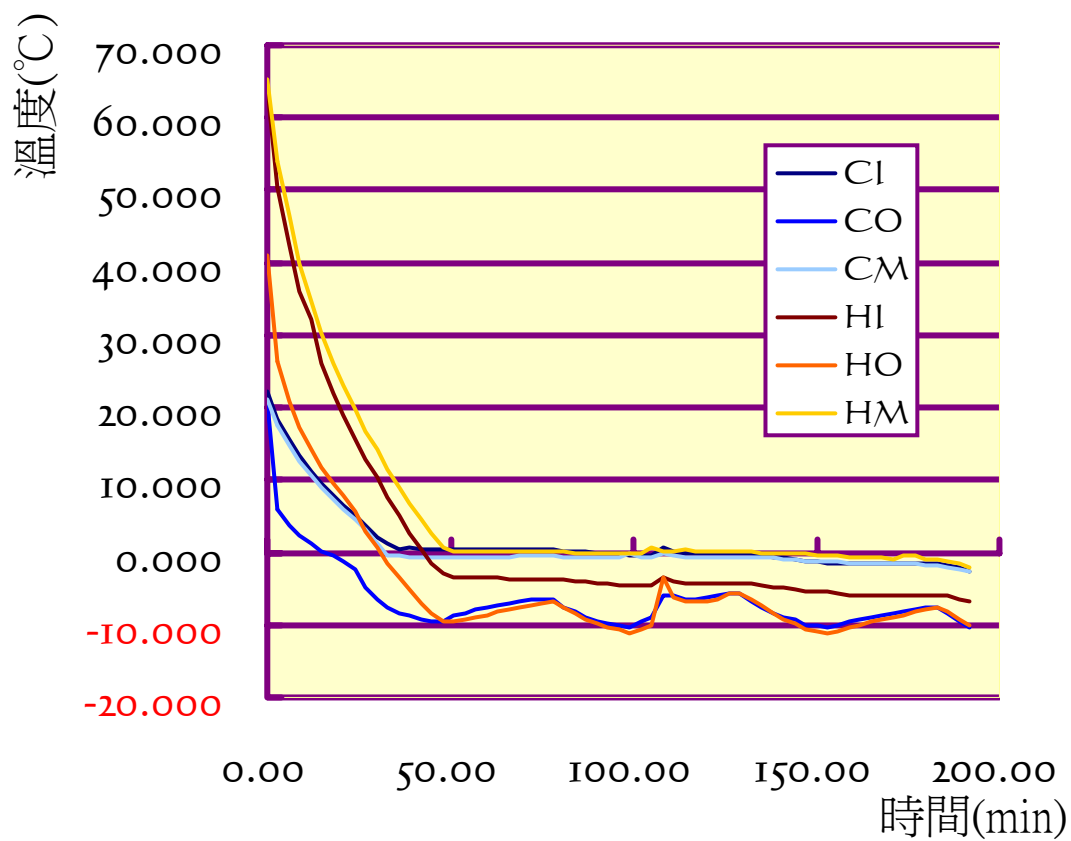


電阻6

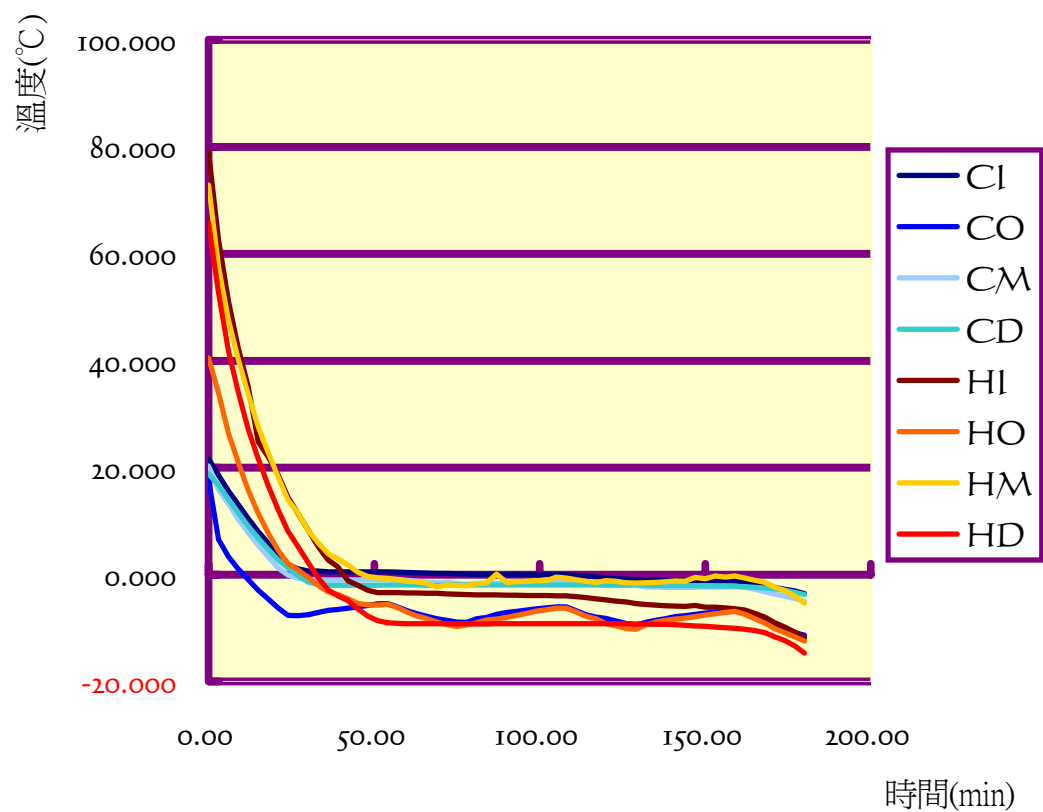


2. 各實驗圖表





實驗 C



實驗 D

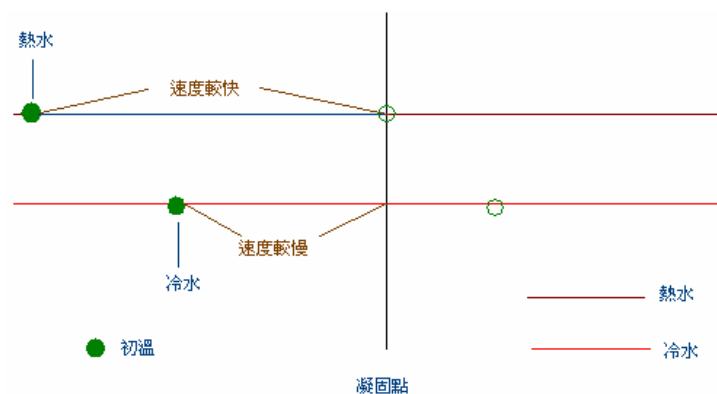
(三) 討論

1. 本實驗中的冷水係指初溫較低的水，而熱水則係指初溫較高者
2. 本實驗中所指熱水比冷水先結冰，主要是指「完全結冰」
3. 由實驗中可以發現水可能會因為溫差的關係而影響到彭巴效應的成立。根據資料：當兩者溫差太大(ex：0℃ & 99℃)，彭巴效應在此時便不成立。(本次實驗所證有效溫差：20 – 60℃)
4. 經資料查詢及實驗後，推論不同溫差的水之所以會影響到彭巴效應的成立，有可能是因為過冷現象的發生。
5. 過冷就是指當水在 0 度以下時將仍以冷水型態出現(但假若時間過長，將仍會結冰，且結冰時水會回升到 0℃)。主要理論如下：
 - (1)過冷度越高時越不易維持液態水的存在
 - (2)過冷的液態水可能在短時間內不易結冰(若時間過長，將仍會結冰)
 - (3)發生條件較嚴苛：反應中不可有些微晃動或震動

經討論後推論(可參考下圖)：當兩異溫的水在同環境同時開始冷卻，熱水在冷卻時由於溫度與環境溫度差異較大，使其對流旺盛而散失較多熱能，因此冷卻的速度較快，冷水反之。此推論主要假設由於熱水與環境溫差大，對流旺盛，散熱較快，所以降溫速度快，減小了冷熱水之間溫度的差距；而冷水在熱水散熱的同時，已經降溫至 0℃，但是並沒有在 0℃ 處做長時間的停留，而是緩慢的繼續下降，此時正進行過冷的反應，所以仍為液態水的型態；此時的熱水由於降溫速度快，此時已到達冰點並開始結冰(熱水比冷水少發生過冷)。

a. 根據電阻 4 的異初溫數據及圖表(下頁)可發現，B(初溫 40℃)者在項次 13(36 分鐘)時，降溫至 0℃，但是 B 並沒有維持在 0℃ 左右，而是繼續緩慢的下降，因此推斷當時的 B 正在進行過冷效應。

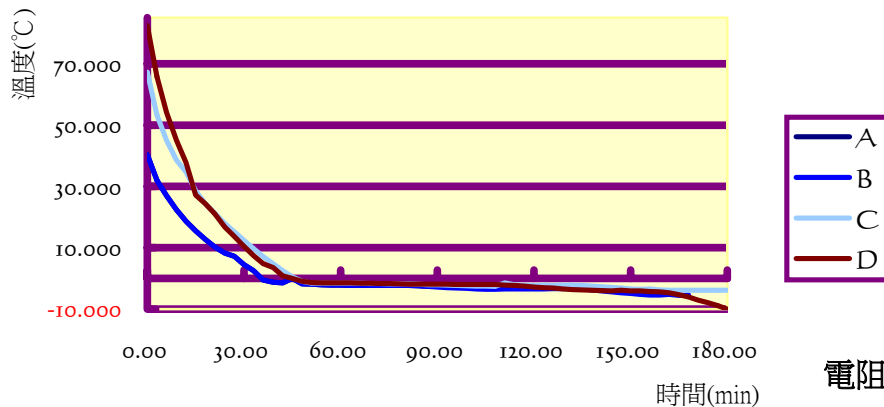
b. 根據實驗結果 C/電阻 1/項次 12~44 的溫度數據，可發現從項次 12-36 的溫度變化十分規律的逐漸下降，但在項次 37 的地方，突然由 -2℃ 降回 0.96℃，這可能是突然受到意外震動影響，造成過冷效應的終止，所以溫度立刻回到 0℃ 左右，而周圍壁面的溫度也受到影響，溫度上升。由此發現冷水正在進行過冷效應，但受到外力影響而終止的現象。



6. 由實驗結果 D/電阻 7 與電阻 8 的比較中發現，雖然在一開始(#7 項次 16)時，冷水先行結冰，但是熱水(項次 43)較冷水(項次 44)早完全結冰。

針對此發現可證實蒸發的推論，由於熱水的溫差與環境較大，因此蒸發較冷水旺盛，在蒸發旺盛的情況下，剩下較少的水，因此在結冰的過程中，只需結較少的冰量，因此速度會叫冷水快。(但因為質量所差異並不大，因此時間上差異較小)

7. 由電阻 4 的異初溫圖表比較發現(如下表)「初溫越高者在相同時空下，溫度的變化就會越大」由下圖表中可發現，在 120 分鐘時，初溫較高的 D 超越 C。這可能是因為溫度較高的水對流較旺盛，故冷卻速度較快，溫度變化就會較大。
8. 由電阻 4 的異初溫表格及圖表中亦可發現，D(初溫 80°C)者比 C(初溫 60°C)，較早開始結冰(也較早完全結冰)。



電阻 4 的異初溫圖表

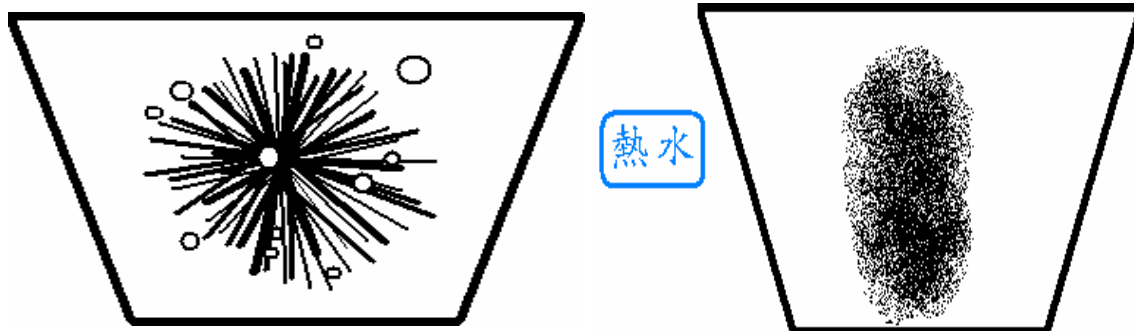
9. 由上圖表中，可以了解熱水的溫度冷卻曲線，並不會單純照著冷水的冷卻取線走，而是在相同溫度範圍內，以較快的速度下降(D 的斜率較大)。
10. 經實驗中觀察(下圖 1。2)發現(符合彭巴效應時成立條件時，冷熱水各自結冰之後，其冰體之內部形狀有異，冷水冰體內部形狀為海膽狀，熱水冰體形狀則為蠶繭狀。有形狀之部位為尚未結冰之氣體分子，由此可證實「氣體溶解度」的推論：此種冰體內部形狀差異可能是由於熱水中溶解氣體較少(已知：高溫的水溶解氣體較低溫的水少)，故因此在冰體結構上呈現蠶繭狀(含氣體區域小)。熱水較冷水快完全結冰，則是由於熱水中所含氣體少(氣體不易傳導，影響散熱)，因此在完全結冰上會較冷水快。



冷水之內部冰體



熱水之內部冰體



冷水冰體示意結構圖

熱水冰體示意結構圖

11. 將上一點所述之冰體放溶化時，可發現原有形狀之處，會有氣泡冒出，推測其為凝固時溶於液體中之氣體。
12. 由觀察中發現，當液體剛開始結冰時，會從內杯緣開始結冰，之後同時向杯底以及液面中心結冰。剛開始向液面中心結冰時，會產生一些碎片狀的薄冰，浮於水面上；經由資料查詢後發現，這是可能因為杯體將低溫傳給杯中液體，故由內杯緣開始結冰。
13. 使用近似公式，將電阻值換算至溫度

$$R_t / R_0 = e^{B(1/T(K) - 1/273)}$$

$$\ln (R_t / R_0) = e^{B(1/T(K) - 1/273)} \ln e$$

$$[\ln (R_t / R_0)] / B = (1/T(K) - 1/273)$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = \{1/273 + [\ln (R_t / R_0)] / B\}^{-1} - 273$$

R_t	$T^{\circ}\text{C}$ 時的電阻值
R_0	0°C 時的電阻值
B	熱敏電阻之常數(廠商提供)
\ln	自然對數(取代 10°)

14. 根據電阻 6 的圖表及數據比較，熱水比冷水先結冰(絕對時間)，D(初溫 70°C)和 C(初溫 60°C)，D 比 C 先結冰，且 D 也比 C 先完全結冰
15. 根據電阻 4 的圖表及數據比較，熱水比冷水先結冰(絕對時間)，D(初溫 80°C)和 C(初溫 60°C)，D 比 C 先結冰，且 D 也比 C 先完全結冰；A 和 B 雖然比 D 早到達 0°C ，但是卻並沒有在 0°C 停留(沒有進行結冰)，而是繼續下降。
16. 彭巴效應常見失敗原因：
 - (1) 冷水擺放於冷卻風扇正前方，所以冷水直接受到冷卻
→ 實驗放置於較靠近外面處，冷卻的外在環境條件冷熱水要相同。
 - (2) 經常打開冰箱查看，導致震動(過冷終止)，及冰箱的冷度不足(室溫熱平衡)→ 盡量不要在實驗中打開冷凍庫，若要辨識結冰時間可使用熱敏電阻進行實驗，或在冷凍庫中裝設小型數位攝影器具(耐低溫)。
 - (3) 實驗所使用的水質過純，缺乏凝結核，很難結冰
→ 避免使用煮沸後冷卻得水，或是蒸餾水進行實驗。
 - (4) 水中含有澱粉之類的物質，會使該溶液變得較容易結冰
→ 家庭實驗容器請記得清洗乾淨。

(5) 冷熱水溫度差異過大，如：99℃與 1℃

→建議使用溫差為 20℃，實驗成功率較高。

(6) 直接放在冷凍庫置物台，因為通常上面有結霜，將會影響到實驗體的散熱系統→建議在下方墊一個絕熱材質的隔層，或厚紙版也可以。

17. 彭巴效應新舊實驗比較：

	舊	新
測溫方式	水銀、酒精溫度計	NTC 熱敏電阻
相同	使用燒杯，分層計溫，定時計溫	
缺點	科學性不足(目視法缺乏明確定義)，耗費時間，使用酒精溫度計須一直開關冰箱測量溫度，造成環境變因	程序複雜，需要校正換算工作
優點	適用於一般家庭實驗，簡易操作，器材易取得	數據準確，結冰的科學定義明確，實驗成功率較高

18. NTC 負溫度係數熱敏電阻與傳統水銀溫度計的比較

	膨脹式溫度計(水銀) mercury-in-glass thermometer	負溫度係數熱敏電阻 NTC thermistors
測溫原理	當熱能自外傳進去時，溫度計底端之球內的水銀，會因為熱漲冷縮而在毛細管中上升	熱敏電阻的阻值隨溫度的升高而減少；隨溫度之降低而增加，測量當時電阻，即能間接求得溫度
優點	1. 價格低廉，使用便利 2. 無需進行複雜的各種校正	1. 溫度測量準確高，測量範圍大 2. 低溫時準確度比熱電偶高
缺點	1. 測量準確度差、範圍小 2. 膨脹係數隨溫度有些微變化	1. 需使用電錶、前置作業較繁多(焊接、接線) 2. 電阻與溫度不成線性關係(需做溫度補償工作)
溫度	可直接看出(-39℃到 365℃)	可用近似公式計算出 R/R25

19. 簡易彭巴效應實驗(由上一階段實驗中歸納得此)

組別	內 容	組別	內 容
1	水 95℃、100 ml	9	水 50℃、100ml，25g 太白粉
2	水 90℃、100ml	10	水 50℃、100 ml，50g 太白粉
3	水 80℃、100ml	11	水 22℃、100ml(自來水)
4	水 75℃、100ml	12	水 50℃、100ml，原密封加蓋
5	水 50℃、100ml	13	水 30℃、100 ml；原密封加蓋
6	水 30℃、100ml	14	水 50℃、100 ml；上方加 PE 袋
7	水 22℃、100ml	15	水 40℃、100 ml；上方加 PE 袋
8	水 10℃、100 ml	16	水 50℃、100 ml；以寶麗龍盒裝

(1) 器材

- 一、透明玻璃杯 x4 (容量 100c.c.)
- 二、水(冷水，熱水)
- 三、澱粉(太白粉)

- 四、小型寶麗龍盒 x2
- 五、橡皮筋若干
- 六、PE 袋數個
- 七、木筷一雙

(2) 步驟

- 一、將實驗材料依上表分組，並分別在杯中盛入 50ml 後，依組別內容進行固定 PE 袋/盒裝…等前置作業
 - 二、將其放入冰箱冷凍庫(計時開始)
 - 三、在上表的指定組別中加入按量太白粉(澱粉)
 - 四、進行觀察動作：(按表格所制定測量時間)
 - (一) 測量溫度(按表格所制定測量時間)
 - (二) 用木筷測試結冰情形
 - (四)待實驗完成後，將結冰體泡入熱水，觀察其結構
20. 彭巴效應的家用實驗：使用一般常用的免洗碗和紙杯，即可完成簡單的彭巴實驗容器。其後在紙杯內加水約 50ml，溫度可自行調整(建議溫差為 20°C)，最後將實驗器具置於冷凍庫中(免洗碗已是隔熱層)，大約 2 個小時即可進行觀察。

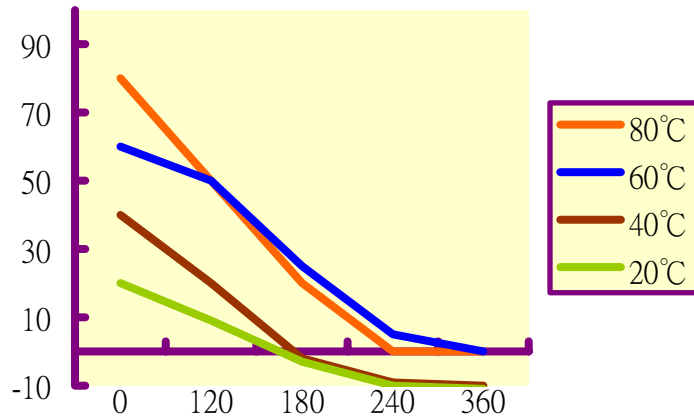


圖 7 冰箱中之實驗配置

四、結論與應用

(一) 結論

1. 利用熱敏電阻進行彭巴效應,確立了彭巴效應的存在,並可重複實驗,以及準確的測出結冰的初末時間
2. $80^{\circ}\text{C} > 60^{\circ}\text{C}$ 的影響主因是因為氣體溶解以及蒸發
3. $80^{\circ}\text{C} > 60^{\circ}\text{C} > 40^{\circ}\text{C}$ 的影響主因是因為過冷效應
4. 根據 3、4 點,可以確立彭巴效應並非由於單方面因素而形成,而是由於多重原因造成
5. 過冷推論:冷水比熱水更容易(且明顯)發生過冷,因此較不易結冰
6. 氣體溶解推論:冷水中溶解較熱水多的氣體,因此較不易結冰
7. 推論中,蒸發、氣體溶解、過冷效應,確定為造成彭巴效應的原因。
8. 經濟冷卻結冰的初溫範圍:約在 $78\sim 82^{\circ}\text{C}$ 之間
9. 新建立的有效彭巴效應實驗溫差範圍為 60°C (推翻上次實驗)



簡易示意圖

(二) 應用

1. 提供給未來實驗用的實驗技術
2. 一般家庭冷卻物品時, 快速冷卻, 節省時間
3. 冰淇淋工業的應用: 利用「未冷卻之冰淇淋原料溶液比已冷卻者凝固的快」, 減少加工時間, 提高生產效率
4. 結冰的經濟初溫範圍, 提供往後各領域使用(但須在深入測量細部溫度)

(A.文獻：中文、英文、原文、期刊；參考資料 B.彭巴歷史年表 C.補充資料：對手資料)

A · 文獻

(一) 中文文獻

標題	上海三名女中學生破解世界性疑題姆潘巴		
內文節錄	姆潘巴現象是世界物理界知名度很高的一道疑題，本市 3 名女中學生通過 100 多次實驗，近日將邀請有關專家對這一實驗課題進行評審鑑定。去年 11 月起，本市 3 名女中學生——庾順禧、叶莎莎和董佳雯，開始研究姆潘巴現象。4 個月來，她們利用糖、清水、牛奶、淀粉、冰淇淋等多種材料，採用先進的多點自動測溫記錄儀，在記錄了上萬個數據後進行多因素分析，最後得出結論：在同質同量同外部溫度環境的情況下，熱液體比冷液體先結冰是不可能的，並提出了引起誤解的三種可能。她們認為，只有當冰箱有溫差、牛奶含糖量不同或糖沒有溶解、含有較多淀粉等非液體成分時，姆潘巴現象才有可能發生。		
出處	新絲路新聞 2005 年 3 月 5 日報導	作者	不詳
標題	牛頓冷卻定律		
內文節錄	關於物體的冷卻，牛頓有下面的觀察：「一冷卻體之冷卻速率與『該物溫度及室溫之溫差』成正比」。令此物之溫度為 $T(t)$ ，在 $t=t_0$ 時之溫度為 T_0 ，又室溫為 H ，則牛頓冷卻定律為 $T'(t) = -\alpha(T(t) - H)$ 其中 $\alpha > 0$ 為與該物體有關之常數。注意， $-\alpha$ 之負號表示當物溫高於室溫時，物溫會下降=冷卻。		
出處	http://episte.math.ntu.edu.tw/applications/ap_cooling/	作者	翁秉仁
標題	冰箱的注意事項		
內文節錄	冰箱中放置食物，食物會放出熱能，使其內空氣溫度上升，造成其中央空調系統的壓縮機為了要使其環境溫度降低而運轉(消耗電、能量)。由於結冰從水將溫至零度才開始，若把溫度較高的熱水放進冰箱，冰箱內的溫度會被那個熱水所提高，因而需更久的時間才能降溫，所以冰箱中最好不要直接放進溫熱的湯或水。這會使冰箱溫度升高，使裡頭的食物保鮮變差。		
出處	大眾刊物 / 家庭貼心小語之類專欄	作者	不詳
標題	有關彭巴效應的討論以及相關實驗圖表		
出處	http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=10378&forum=2&3	作者	台師大物理系討論版
書名	物理馬戲團 II → 介紹彭巴的小故事	作者	沃克著 / 天下遠見
篇名	第 43 期 彭巴效應之相關專題介紹	作者	科教館出刊
書名	2 上翰林版 自然與生活科技課本 (第二章物質與能和第五章熱能)		

(二) 英文文獻

文章標題	內容	作者
Hot Water Freezes before Cold (http://hk.geocities.com/hokinghon/hot_water.htm)	1.一般認為冷水較快結冰之論點 2.Mpemba 效應之歷史 3.各成因(機制)推論之詳細解釋 4.參考資料及文獻	Monwhea Jeng (Momo)
Mpemba Effect (網路資料)	Mpemba 效應之起源、各派推論	Wikipedia
Modeling The Mpemba Effect	1. Mpemba 的熱電偶實驗 2. 各種理論的公式套入，解釋	Math Freezing Team

(三) 原文之歷史文獻

1. 相關機制推論

刊物名稱	年代	作者	出處
自然對流作用的一項實驗性研究對向下結冰的純淨的水	1988	R.A. Brewster、B. Gebhart,	J. Heat Mass Trans / 卷 31
非職業科學家	1971		科學美國人/卷 237
致冷機制	1979		Phys. Educ / 卷 14
冷卻	1969	Mpemba、Osborne	物理教育 / 卷 4
致冷機制	1979	I. Firth	Phys. Educ / 卷 6
結冰 熱和冷水	1969	Kell	美國學報 / 5 月號
結冰水溶液包含氣體	1988	B. Wojciechowski	Cryst.皇家經濟學會 Technol. /卷 23
結冰超冷的水	1991	J. Elsner	分子結構 / 卷 250
對結冰液體進行調查	1969	Ahtee	Phys. Educ / 卷 4
熱量對流作用之於冰的形成	1971	Tankin、R. Farhadieh	J. Heat Mass Trans /卷 14
頭腦在冰	1979	Osborne	Phys. Educ / 卷 14
Supercooling 和 Mpemba 作用： 當熱水比冷水更快結凍	1995	D. Auerbach	美國學報 /10 月號

2. 關於 Mpemba 作用的論述

新 科 學 家 (雜誌)			
卷數	年代	日期	頁數
42	1969	6 / 5	515 / 6 - 665
43	1969	7 / 10	9 - 88 / 9 - 158
44	1969	9 / 25	205 / 662

(四) 參考資料

標 題	使用內容	網址
工業測溫方式	1. 膨脹式溫度優缺點 2. 電阻式溫度計優缺點	http://content.edu.tw/vocation/chemical_engineering/tp_ss/content-wa/wchm3/wpage3-1.htm

B · 彭巴歷史年表

西元年	事件	發表者	論述內容
B.C 300	最早的傳說	亞里斯多德	「先前被加熱過的水，有助於它更快地結冰。因此當人們想去冷卻熱水，他們會先放它在太陽下...」
1461	證實傳說	Giovanni Marliani	4OZ 沸水，和 4OZ 常溫的水，分別置於兩個小容器內，一同放置冬天的屋外，發現沸水先結冰；但他無法解釋此現象。
1620	理論	培根	「水輕微加熱後，比冷水更容易結冰。」
-----	理論	笛卡兒	「經驗顯示，放在火上一段時間的水，比其他水更快地結冰。」
1963	Mpemba 提出發現	Mpemba	在學校製作雪糕(Ice cream)，過程中混合沸騰的牛奶和糖。他未等牛奶冷卻，直接將其放入冷凍庫，結果發現其比其他同學的更早凝固。因他提出發現，此後命名為 Mpemba 效應。
1963	證實發現	Osborne	叫一位年輕的技術員去證實 Mpemba 的聲稱，在變因只有兩杯水初溫不同之情形下進行實驗。技術員回報：熱水首先結冰。
1969	蒸發為成因之推論	Kell	獨立發表一篇有關熱水比冷水先結冰的文章。 Kell 表示：若假設水最初是透過蒸發來冷卻、維持均勻的溫度，則熱水會失去足夠質量而先結冰。
1969	排除蒸發論	Osborne	測量 Kell 實驗中熱水失去的質量，發現蒸發不足以解釋—後來的實驗採用密封容器，排除蒸發影響後仍發現熱水先結冰。
2004	聲稱破解	葉莎莎、庾順禧、董佳雯	2004 始作實驗，2005 年發表”已破解 Mpemba 效應”。結論：同質同量同外部溫度之環境下，Mpemba 效應不可能出現(即熱水不可能比冷水先結冰)。認為其發生是因三種可能誤差： 1. 冰箱內溫度不均勻：若 Mpemba 將未冷卻冰淇淋放在冷卻管附近，甚至與冷卻管接觸到，將會比已冷卻者先凝固。 2. 若 Mpemba 不喜歡吃甜而在冰淇淋中少放了糖、或攪拌時未攪拌均勻，使糖粒沉澱，實驗證明會導致較快凝固。 3. 其冰淇淋中除了牛奶及糖之外，還加入了澱粉類物質，在其牛奶及糖較少的狀況下，使其較快凝固。
2005	整體概念，實驗佐證	丘雅鈺、陳馨、湯筱芸	2005 年開始作實驗，將此歷史上對此效應提出的論述結果作整理及驗證，並提出解釋冷卻速度的推論；經由實驗暫時推翻葉莎莎等人之論點，並以實驗證明 Mpemba 效應之存在。 將 Mpemba 效應重新搬回物理世界，並將其相關資料整理成完整文論，另提出實驗過程技巧之探討，提供後續研究者參考。
		丘雅鈺	歸納整理出一套研究彭巴效應的完整實驗手法。並驗證過冷與蒸發推論。 整理出一套可普及於民間的彭巴效應家庭實驗方法。

C.補充資料：對手資料、機制節錄

(一)資料一：『上海女高中生研究 Mpemba 在當地獲獎』

第一用，做**實驗容器**。走進工作室，好幾隻空的“三色杯(O 美冰淇淋)”零亂地散落在桌子上，顯眼的同時還散發出淡淡的奶香。“這幾個月裏每天都和‘三色杯(O 美冰淇淋)’打交道，估計以後再也吃不下了。”葉莎莎說。除了體積略顯龐大的“三色杯(O 美冰淇淋)”外，小一號的冰淇淋杯子也很受歡迎。

第二用，做**液體原料**。因為彭巴是在做冰淇淋的時候發現問題的。為了充分接近當時的操作條件，用冰淇淋來做實驗理所當然。但誰也沒做過冰淇淋，需要哪些原材料呢？最簡單的辦法就是買來現成的冰淇淋，等它**融化之後就能迴圈利用**了。價錢實惠的“三色杯(O 美冰淇淋)”便“脫穎而出”。

第三用，**突破瓶頸**。雖然實驗表明是否加糖和加糖後是否攪拌都會對液體冰點產生影響，從而改變其結冰速度。但糖對液體結冰的干擾程度還不夠明顯，直到“**澱粉**”這個重要變數的出現。發現澱粉也多虧了“三色杯(O 美冰淇淋)”。由於同樣溫度同樣重量的冰淇淋總比純牛奶先結冰。偶然的機會，她們在“三色杯(O 美冰淇淋)”的配料說明中看到了“澱粉”，試了以後茅塞頓開：原來正是**澱粉的存在大大加快了液體結冰的速度**。

→**她們推論點：同質同量同外部溫度環境的情況下，彭巴現象不會出現，不可能熱的液體先結冰。**

→她們提出對彭巴效應的否定：

1. 冰箱溫度並不均勻，如果彭巴將其冰盒正巧放在冷卻管附近，甚至與冷卻管相接觸，完全有可能熱牛奶比冷牛奶先結冰；
2. 如果彭巴不喜歡吃甜，在冰淇淋中少放了糖，或者因為匆忙沒來得及攪拌、糖粒沉在盒底形成固體，實驗證明可先結冰；
3. 彭巴自製的冰淇淋中不僅牛奶加糖，還加入了澱粉類物質，在其少放糖、少放牛奶時會先結冰。

→**對此研究的看法：**經過一番詳細閱讀與思考，我承認她們(因為國家與學校的支持)擁有比我先進高檔且數量龐大許多的研究設備、擁有比我更輝煌的戰績、且進行了艱苦且為期不短的深入研究，但是，對於她們的結論『同質同量同外部溫度環境的情況下，姆潘巴現象不會出現，不可能熱的液體先結冰』，我無法苟同，這與我所見事實相違背。

(二)資料二：「『高溫』不勝寒」-----第 38 屆北市科展物理組作品 入選獎 石牌國中

動機：看到相關文章引起興趣，後與老師一同設計並進行實驗。

目的：

1. 了解是否在任何狀況下，熱水都比冷水先結冰
2. 探討「熱水比冷水先結冰」的影響變因
3. 由實驗過程中。了解溫度與熱量的關係

結論：

1. 水冷卻時，水體內部的熱對流現象，是主因。4℃，高溫的水密度較小，亦往上流動，使熱量迅速排出。

推 論

前言：由於本效應在目前科學界仍處於一個謎樣的階段,故作者將蒐集來的資料(國內外)進行修正後推論,其中也有作者自己提出的新論

點

推論重心：水結冰所花的時間的長短，對實驗設計中的很多因素，都是很敏感的。因此在控制變因上要盡量精準。

一、推論一：氣體溶解度下降與上升

水加熱到高溫時，對氣體的溶解度下降;將熱水放入冷凍庫中時，因環境溫度下降，對氣體的溶解度上升，也就是說，能吸收並容納比冷水更多的冷空氣分子，因而降溫較快。

二、推論二：對流，由於冷卻，水會形成對流，和不均勻的溫度分佈。溫度上升，水的密度就會下降，所以水的表面比水底部熱——叫「熱頂」。假設水主要透過表面失熱，那麼，「熱頂」的水失熱會比溫度均勻的快。當熱水冷卻到冷水的初溫時，它會有一熱頂，因此與平均溫度相同，但溫度均勻的水相比，它的冷卻速率會較快。冷水在低溫時，表面會先結冰，阻礙熱對流與傳導，熱水不會。

三、推論三：假設-----兩者之間溫差不能大於 50 度

四、推論四：在冰箱中，水需放熱才能結冰;因熱水在冰箱裡放熱較快(本身的熱容量多)，故較易結冰。

五、推論五：只有當冰箱有溫差、牛奶含糖量不同或糖沒有溶解、含較多有澱粉等非液體成分時，Mpemba 現象才有可能發生。

六、推論六：反駁一般推論,按照常理 30° C 的水降溫至結冰要花 10 分鐘，70° C 的水必須先花一段時間，降至 30° C，然後再花 10 分鐘降溫至結冰。但是這種證明錯在，它暗中假設了水的結冰只受平均溫度影響。但事實上，除了平均溫度，其他因素也很重要。一杯初始溫度均勻，70° C 的水，冷卻到平均溫度為 30° C 的水，水已發生了改變，不同於那杯初始溫度均勻，30° C 的水。一杯初始溫度均勻，70° C 的水有較少質量，較少的溶解氣體和對流，造成溫度分佈不均。這些因素亦會改變冰箱內，容器周圍的環境。所以由此可知再進行彭巴效應時,環境及其他變因的控制是十分重要的,因為彭巴效應只有在一定的情況下才會發生。

七、推論七：[蒸發](#)，熱水比冷水易蒸發，會帶走汽化熱，使剩下的水更容易結冰(質量較少)。

若假設水只透過蒸發去失熱，理論計算能顯示蒸發能解釋 Mpemba 效應。目前針對這一個推論,有很多科學家聲稱，單是蒸發，不足以解釋他們所做的實驗。

八、推論八：[周圍的事物](#),也就是說冷水在低溫時，容器上易結霜，阻礙熱傳導，熱水不會。

九、推論九：[溶解氣體](#)，冷水中溶了較多的氣體如氧、二氧化碳等，使水的凝固點下降，但熱水中溶解的氣體較少，沒有這個問題。或者令它較易形成對流（因而令它較易冷卻），或減少令單位質量的水結冰所需的熱量。有一些實驗支持這種解釋，但沒有理論計算的支持。

評語

本件作品重現彭巴效應，再次確認較熱溶液較快達到冰點的現象。實驗上能利用熱電阻進行溫度量測，改進實驗精確度，但在實驗環境的控制上，尚有許多實驗上未能較精確控制的缺失，雖能推論出過冷、蒸發、溶解均是效應機制，但應設計實驗，能主控單一變因，再討論各效應的主控程度，以能對應習知效應能進一步了解。