

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

040117

彭巴效應 (Mpemba effect) 的研究及探討

國立金門高級中學

作者姓名：

高二 盧俊良 高二 陳嘉弘 高二 李卓豪
高二 張婉吟

指導老師：

王振職 陳學宏

彭巴效應 (Mpemba effect) 的研究及探討

壹、摘要：

牛頓冷卻定律為何不能解釋「高溫的水會比冷水容易結冰」?此一現象又是什麼因素所造成的呢？

- 一、氣體溶解度對「彭巴效應」的影響。
- 二、「熱頂效應」對「彭巴效應」的影響。
- 三、蒸發對「彭巴效應」的影響。
- 四、冰晶與結冰的關係。
- 五、不同的水質與不同溫度的變化。
- 六、不同濃度的鹽水的下降溫度。

在多次的實驗過後，我們似乎已經找出了結冰最快的「途徑」了！

貳、研究動機：

- 一、大家都知道，水是我們生活中最不可缺少的物質，它幫助我們生物體內的新陳代謝，而純水在 4°C 的密度是 1g/cm^3 ，在 1 大氣壓下沸點是 100°C、凝固點是 0°C，水在我們周圍的循環變化看似簡單，但其實它裡面的內容可非常豐富。
- 二、有一次，從圖書館借閱的「科學研習」月刊，看到目錄上寫著「彭巴效應」這個主題，引起了我們的好奇（難道它跟彭巴草原有關係嗎？）心中也充滿了疑惑？看完那篇報導後，我就決定找個機會，好好的把它深入研究一番。
- 三、與學校老師討論過後，老師提供了我們幾個可以去深入研究的方向，但是因為「彭巴效應」是近幾十年來才剛被發現的效應，老師他並沒有聽說過這個名詞，更何況是我們呢？雖然如此，我們還是抱持著研究的精神，決心把它做出個所以然。
- 四、溶液，最常見的三物態之一，而水更是最常見的溶劑，極性溶液的水，是一般人認為最爲簡單又最了解的溶液，然而，水卻不是想像中的簡單。物理課本中（南一版）的「熱學」章節裡，提到了水的熔點、沸點；化學課本中（龍騰版）的「溶液」章節裡，談到很多溶液的特性，其中又以對水的介紹爲最多。有一天，在課堂上神遊時，聯想到了有關水的最新研究「彭巴效應」，在尋求無解的情況之下，才想試著親手找出答案！

參、研究目的：

- 一、探討氣體溶解度對「彭巴效應」的影響。
- 二、探討「熱頂效應」對「彭巴效應」的影響。
- 三、探討蒸發對「彭巴效應」的影響。
- 四、探討冰晶與結冰的關係。
- 五、探討不同的水質與不同溫度的變化。
- 六、探討不同濃度的鹽水的下降溫度。

肆、研究設備及器材：

蒸餾水、自來水、礦泉水、雨水、水銀溫度計、酒精溫度計、燒杯、本生燈、陶瓷纖維網、三腳架、量筒、滴管、試管、試管架、電冰箱、碎冰機、蒸餾水製造機、食鹽、冰塊、軟木塞。

伍、研究過程或方法：

一、文獻探討：

(一) 彭巴效應的歷史：在一般認知上，熱水比冷水更快結冰，這種現象違反了直覺，甚至連很多的科學家也感到驚訝。但它的確是存在。1969年，由坦桑尼亞的一個名叫彭巴的學生引入到現代科學。事實上，熱水比冷水更快結冰的事實已被知道了很多個世紀。最早提到此一現象的數據，可追溯到公元前300年的亞里斯多德。由於歐洲物理學家努力去追尋熱理論，此現象在後來的中古時代也被討論到。但在20世紀前，此現象只被視為民間傳說。直到1969年，才由彭巴再次在科學界提出。自此之後，很多實驗證實了彭巴效應的存在，但現在並沒有一個唯一的解釋！

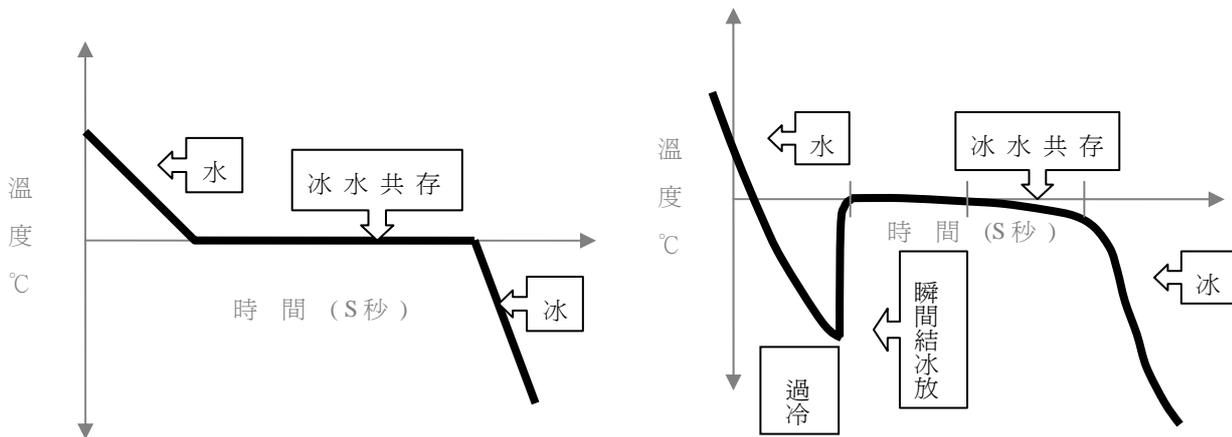
(二) 彭巴效應可能的原因：在一名加州大學物理系教授的論文中，曾經就此效應，詳細的加以討論，最後歸結出幾個重要結論。

1、蒸發：熱水冷卻的過程中，會因蒸發而失去質量。質量較少，則液體先去較少的熱就冷卻，也就冷卻得較快。用這個解釋，熱水就會首先結冰，只是因為它將較少的水結成冰。如果水只是透過蒸發來冷卻，和溫度分佈維持均勻，那麼，熱水會先結冰。

2、氣體溶解度：熱水中的氣體溶解被逐出，改變了水的一些性質。氣體溶解的缺乏可能會改變水的傳熱能力，或改變令單位質量的水結冰所需的熱量，又或改變熔點。熱水比冷水留住較少氣體溶解是對的，沸水趕走了大部分的氣體溶解。

3、過冷：過冷現象發生在，當水不在 0°C ，而在更低的溫度才結冰。過冷的發生，

是因為「水在 0°C 時結冰」是關於水的最低能量狀態的陳述——在低於 0°C，水分子「想」排列成冰晶體。意味著，它們要停止像液態時那樣，隨機地嗡嗡亂飛，而代之以有秩序的固態晶格。然而，它們不知道怎樣去排列，而需要少量不規則的物體或成核位置去告知它們。有時，當水被降到 0°C 以下，它還看不到成核位置，這時，水就低於 0°C 而沒有結冰。這種現象並不罕見。有一個實驗發現將熱水冷卻，只是過冷少許（大約 -2°C），但冷水會過冷較多（大約 -8°C）。



<水在放熱過程中理想的溫度變化>

<過冷效應想像圖>

4、對流：對流傳熱是流體各部分質點發生宏觀的相對位移所產生的對流運動來傳遞熱量的過程。而彭巴效應所牽涉到對流方面的問題，恰好可以用牛頓冷卻定律來加以探討。 $Q = aA \Delta T$ 為對流傳熱的基本方程式，其中提到 a 導熱係數以及 ΔT 溫度的梯度變化都跟 Q 傳導速度有很大的關連，而傳導係數 a 表示當流體與壁面間的溫度差為 1K 時，單位時間通過單位傳熱面積所能傳遞的熱量，這方面是我們無法去實驗的，但是其中所提到的溫度的梯度給了我們實驗的靈感。

二、實驗過程：

- (一) 準備器材：準備不同種類的水，統一所有的試管及溫度計。
- (二) 把冰塊與食鹽以 6：1 的方式做成冷劑，並裝於同樣大小的燒杯。
- (三) 校正溫度計：以蒸餾水做成的冰塊，再將冰塊磨成冰沙，並選取讀數較正確的溫度計（0°C）。
- (四) 選擇室溫比較穩定的天氣進行實驗。
- (五) 實驗方法：採用科學實驗所用的「控制變因法」。
- (六) 實驗數據：每項實驗都有三組數據，取得平均值後，再選擇其一與平均值最相近之數據。

陸、研究結果：

(一) 探討氣體溶解度對「彭巴效應」的影響。

1、搖晃試管與未搖晃試管的溫度及結冰的差異。

控制變因：水量 15mL、冷劑-18°C、水之初始溫度 26°C、相同試管。

改變變因：水中氣體量的多寡。

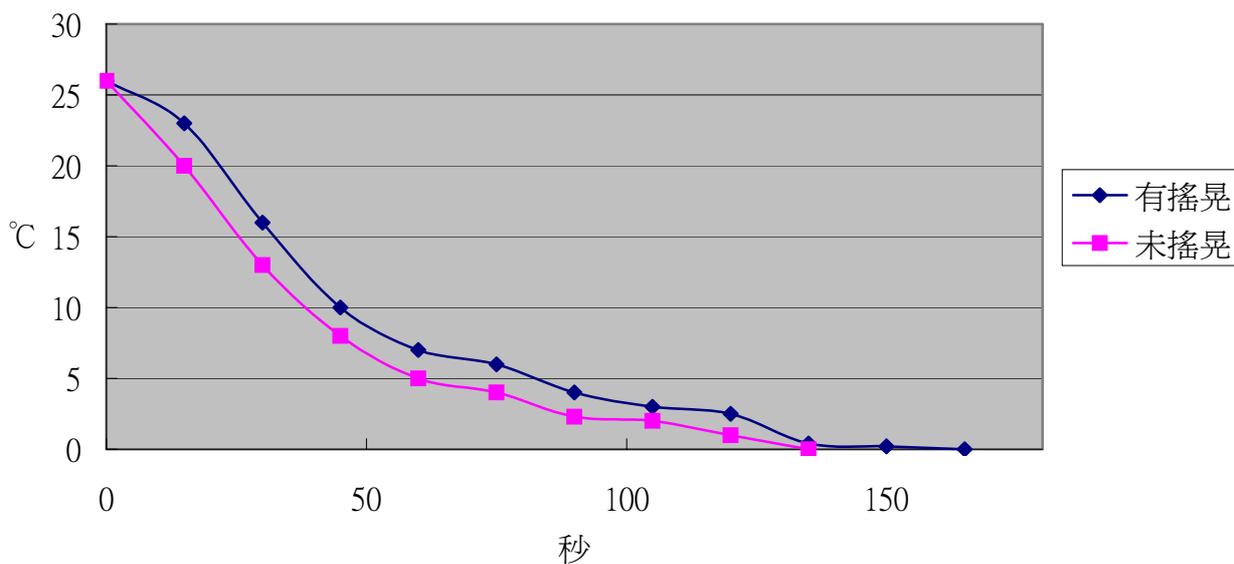
實驗原因：搖晃試管會增加水中溶解的氣體，以觀察氣體溶解度對此實驗的影響。

(表 一)

	有搖晃	未搖晃
0 秒	26	26
15 秒	23	20
30 秒	16	13
45 秒	10	8
60 秒	7	5
75 秒	6	4
90 秒	4	2.3
105 秒	3	2
120 秒	2.5	1
135 秒	0.4	0
150 秒	0.2	
165 秒	0	

(圖 一)

蒸餾水



解析：(1) 用蒸餾水係表示水中並未含有空氣以外其他雜質。

(2) 經過搖晃之試管，其中所含溶解氣體較多。

(3) 由相同的初始溫度開始操作，溶解氣體較多(有搖晃)時，其抵達 0°C 時之時間比較慢。

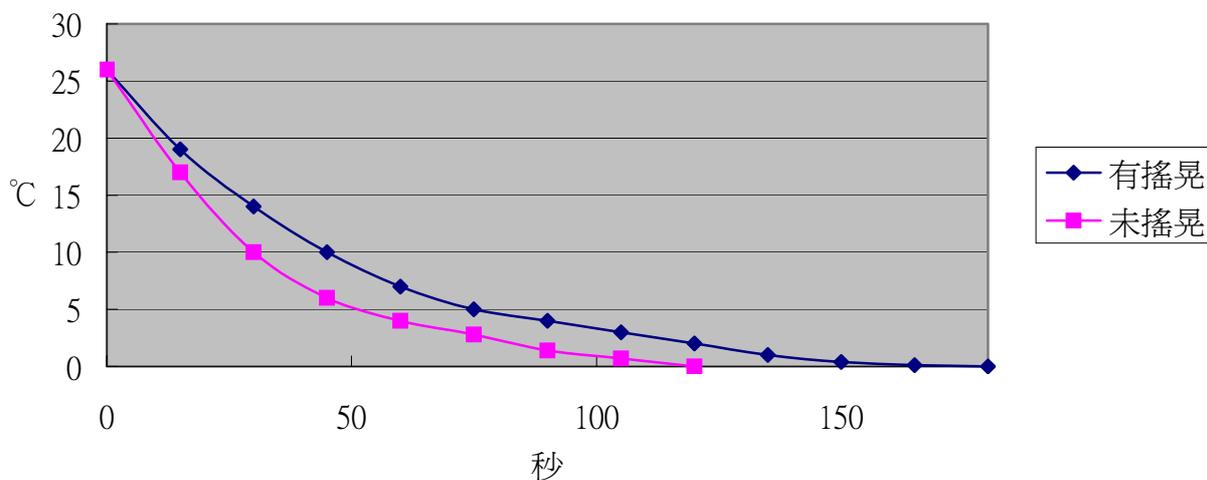
(4) 由曲線圖知開始降低溫度時，單位時間之溫度變化比較快，而在趨近 0°C 時，其單位時間內的溫度變化小，也就是說越接近 0°C 時，其變化較不容易。

(表 二)

	有搖晃	未搖晃
0 秒	26	26
15 秒	19	17
30 秒	14	10
45 秒	10	6
60 秒	7	4
75 秒	5	2.8
90 秒	4	1.4
105 秒	3	0.7
120 秒	2	0
135 秒	1	
150 秒	0.4	
165 秒	0.1	
180 秒	0	

(圖 二)

自來水



解析：(1) 使用自來水是表示水中除含有空氣外，尚包含其他雜質。

(2) 由相同的初始溫度開始操作，未搖晃者比較先抵達 0°C，而且發現到達的速率快很多。

(3) 未搖晃者很快到達 0°C，但剛搖晃者須經過一段較長的時間，平緩慢慢到達 0°C，單位時間之溫度變化相當小。

2、探討不同溫度所釋出不同程度之溶解氣體與「彭巴效應」的關係。

控制變因：水量 15mL、冷劑-18°C、相同試管。

改變變因：釋放出不同程度之溶解氣體與「彭巴效應」的關係。

實驗原因：將等量的水加熱至不同溫度，所釋出來的溶解氣體量也會不同。

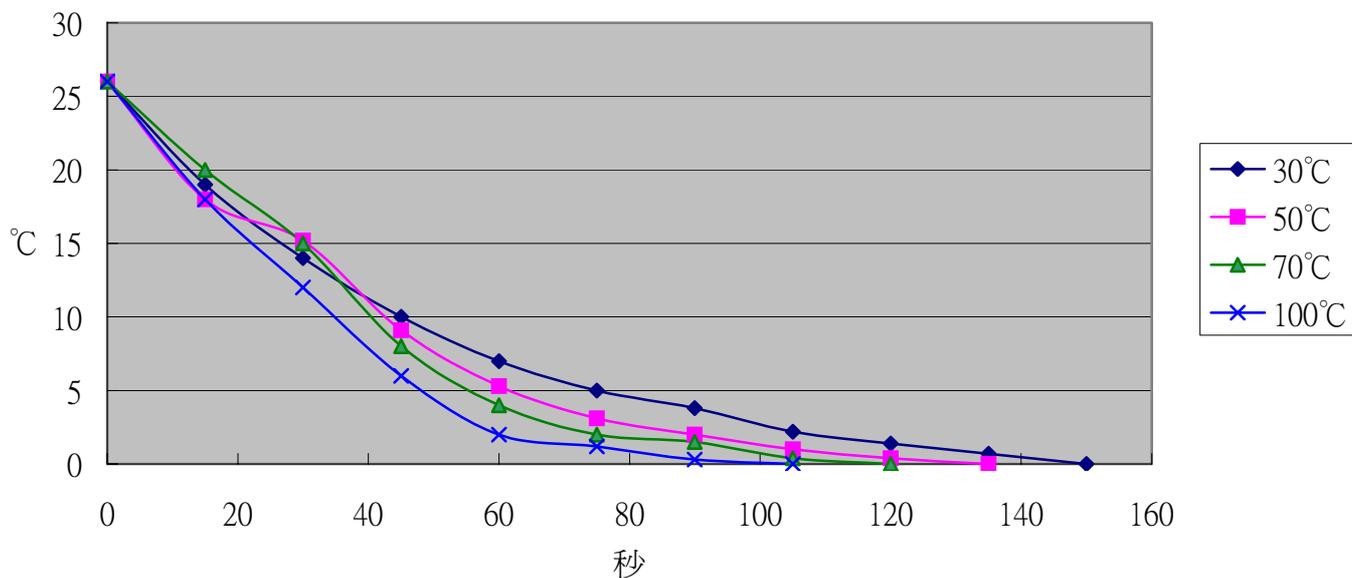
(表三)

	30°C	50°C	70°C	100°C
0 秒	26	26	26	26
15 秒	19	18	20	18
30 秒	14	15.2	15	12
45 秒	10	9.1	8	6
60 秒	7	5.3	4	2
75 秒	5	3.1	2	1.2
90 秒	3.8	2	1.5	0.3
105 秒	2.2	1	0.4	0
120 秒	1.4	0.4	0	
135 秒	0.7	0		
150 秒	0			

備註：蒸餾水 單位：°C

(圖三)

蒸餾水



解 析：(1) 蒸餾水表示未含其他雜質。

(2) 起始溫度較高者，表示溶解氣體的含量被釋出而減少。

(3) 四種起始溫度，發現溫度高者其抵達 0°C 並不相同。

(4) 起始溫度越高者，較快抵達 0°C。

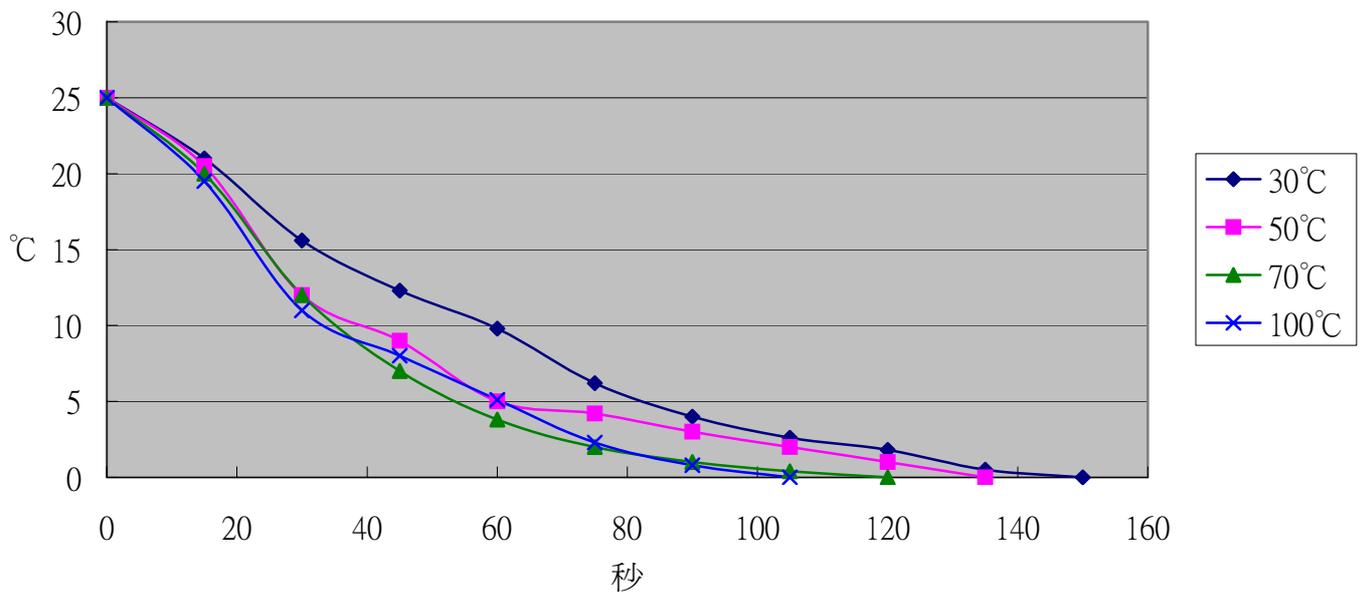
(5) 四種起始溫度的單位時間，溫度變化很接近。

(表 四)

	30°C	50°C	70°C	100°C
0 秒	25	25	25	25
15 秒	21	20.5	20	19.5
30 秒	15.6	12	12	11
45 秒	12.3	9	7	8
60 秒	9.8	5	3.8	5.1
75 秒	6.2	4.2	2	2.3
90 秒	4	3	1	0.8
105 秒	2.6	2	0.4	0
120 秒	1.8	1	0	
135 秒	0.5	0		
150 秒	0			
備 註：自 來 水		單 位：°C		

(圖 四)

自來水



解析：(1) 自來水用於表示會含有其他雜質。

(2) 四種起始溫度與使用蒸餾水，而其結果與其有相似曲線。

(3) 圖三圖四很接近，表示有雜質與否影響的效果，其實不明顯。

(二) 探討「熱頂效應」對「彭巴效應」所產生的影響。

控制變因：水量 75mL、冷劑-18°C、水之初始溫度 24.5°C、相同試管。

改變變因：在同一個試管內以不同高度測其溫度。

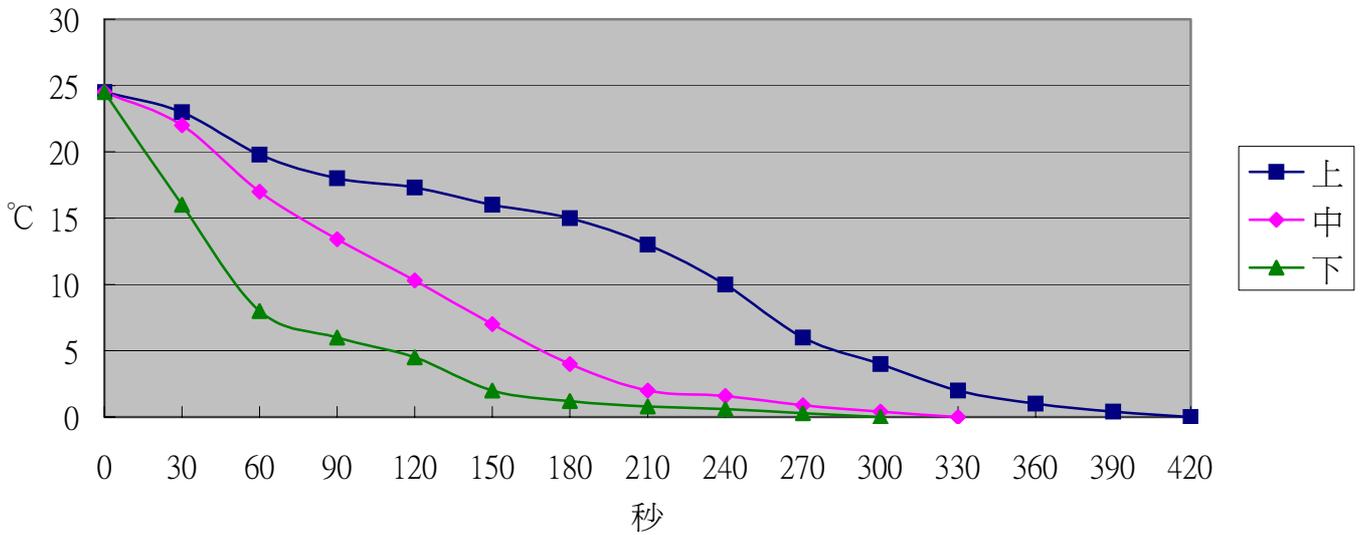
實驗原因：在現有的文獻資料中，得知其中的「熱頂效應」可能影響「彭巴效應」。

(表五)

	上	中	下	上中溫度差	中下溫度差
0 秒	24.5	24.5	24.5	0	0
30 秒	23	22	16	1	6
60 秒	19.8	17	8	2.8	9
90 秒	18	13.4	6	4.6	7.4
120 秒	17.3	10.3	4.5	7	5.8
150 秒	16	7	2	9	5
180 秒	15	4	1.2	11	2.8
210 秒	13	2	0.8	11	1.2
240 秒	10	1.6	0.6	8.4	1
270 秒	6	0.9	0.3	5.1	0.6
300 秒	4	0.4	0	3.6	0.4
330 秒	2	0		2	0
360 秒	1			1	
390 秒	0.4			0.4	
420 秒	0			0	
備註：蒸餾水				單位：°C	

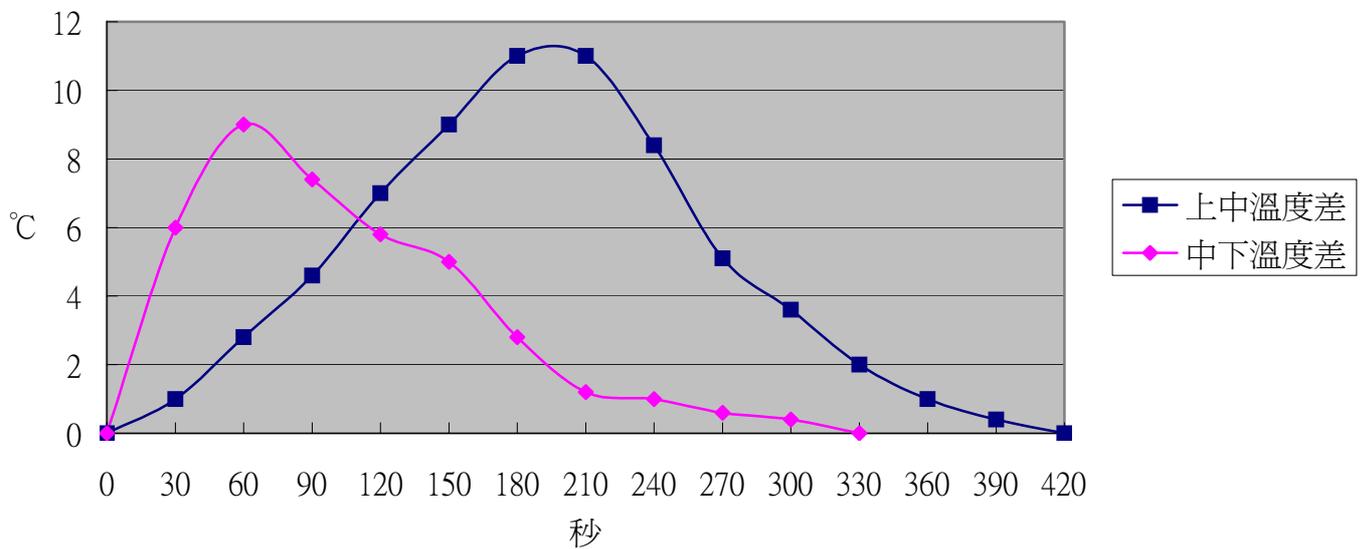
(圖五之一)

熱頂效應-蒸餾水



(圖五之二)

熱頂效應-蒸餾水溫度差



解析：(1) 由實驗知，上中下三層中，以下層最先抵達 0°C。

(2) 由曲線圖知，上中層與初始溫度及接近 0°C 附近，溫度差較小，但在中間地帶溫度差特別大。

(3) 由曲線圖知，中下層在起始溫度附近，溫度差較大，但接近 0°C 時，溫度差幾乎為 0°C。

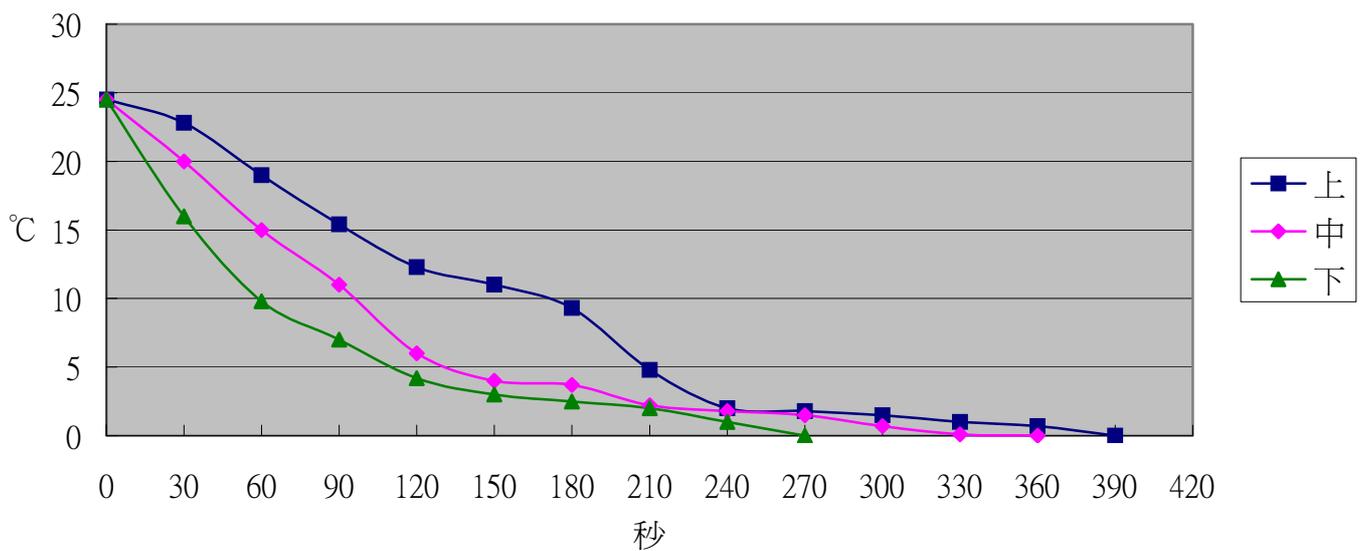
(表六)

	上	中	下	上中溫度差	中下溫度差
0 秒	24.5	24.5	24.5	0	0
30 秒	22.8	20	16	2.8	4
60 秒	19	15	9.8	4	5.2
90 秒	15.4	11	7	4.4	4
120 秒	12.3	6	4.2	6.3	1.8
150 秒	11	4	3	7	1
180 秒	9.3	3.7	2.5	5.6	1.2
210 秒	4.8	2.2	2	2.6	0.2
240 秒	2	1.8	1	0.2	0.8
270 秒	1.8	1.5	0	0.3	1.5
300 秒	1.5	0.7		0.8	0.7
330 秒	1	0.1		0.9	0.1
360 秒	0.7	0		0.7	0
390 秒	0			0	
420 秒					

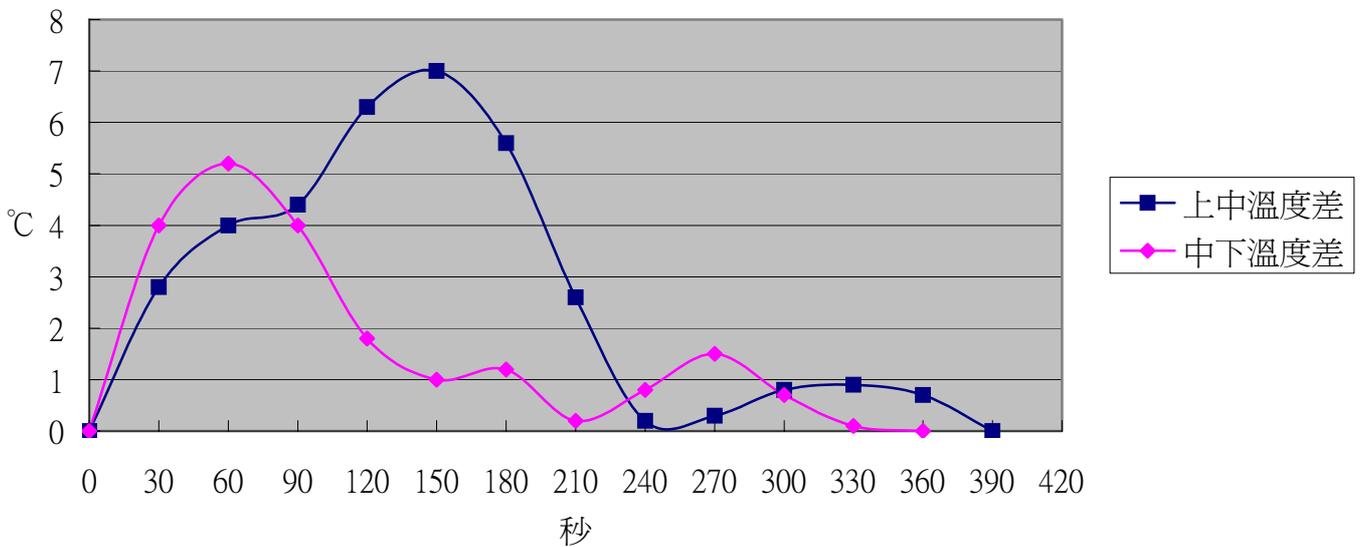
備註：自來水 單位：℃

(圖六之一)

熱頂效應-自來水



熱頂效應-自來水溫度差



解析：(1) 使用自來水實驗，其結果與使用蒸餾水結果相似，使用自來水實驗，其上中層，中下層與其使冷卻的溫度差，也與使用蒸餾水者相似，但上中層，中下層，在溫度差上出現起伏現象，比之前圖五有很大不同，惟目前尚未研討其原因！

(三) 探討蒸發是否影響「彭巴效應」。

控制變因：水量 15mL、冷劑-18°C、水之初始溫度 25°C、相同試管。

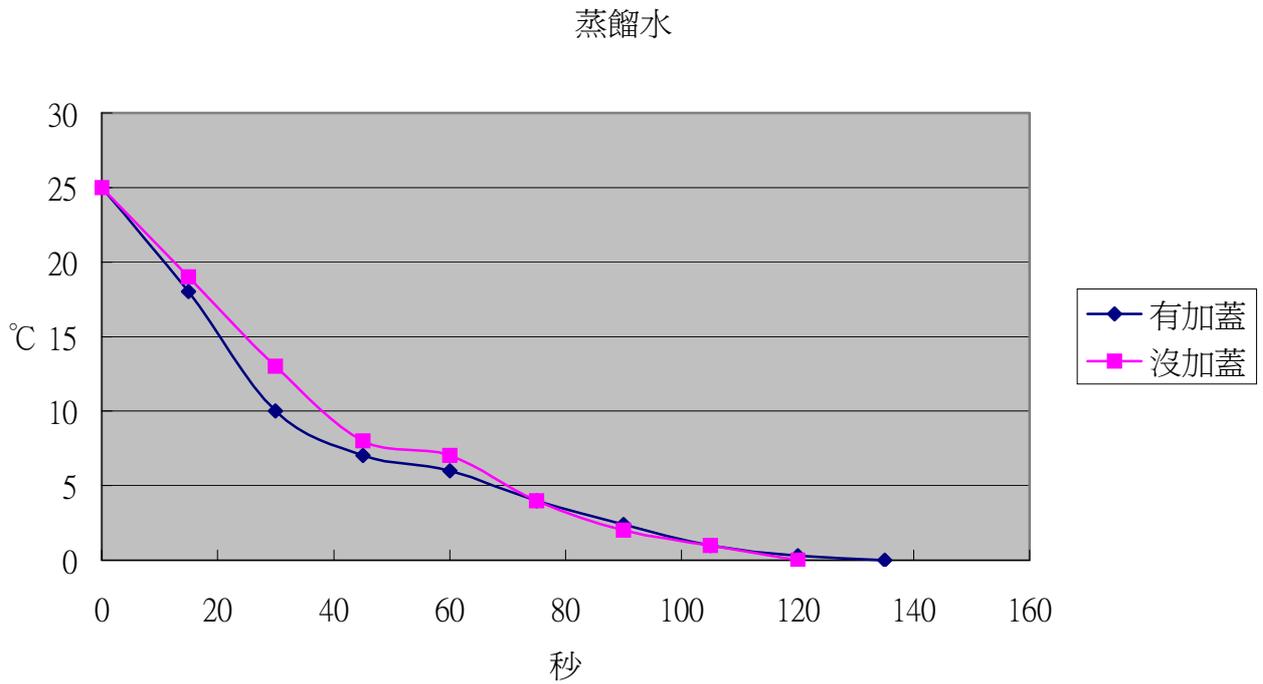
改變變因：在結冰的過程中，有加蓋與沒加蓋的差異。

實驗原因：在降溫、結冰的過程中，蒸發是否影響「彭巴效應」以及降溫速度。

(表七)

	有加蓋	沒加蓋
0 秒	25	25
15 秒	18	19
30 秒	10	13
45 秒	7	8
60 秒	6	7
75 秒	4	4
90 秒	2.4	2
105 秒	1	1
120 秒	0.3	0
135 秒	0	
備註：蒸餾水	單位：°C	

(圖七)



解 析：(1) 有加蓋表示不考慮其蒸發因素，沒加蓋表示考慮其蒸發因素。
 (2) 由實驗結果之曲線知，加不加蓋對現有實驗的數據無明顯差異。

(四) 探討不同水質與不同溫度的變化。

控制變因：水量 15mL、冷劑-18°C、相同試管。

改變變因：不同水質與不同溫度的變化。

實驗原因：探討水質是否會影響彭巴效應。

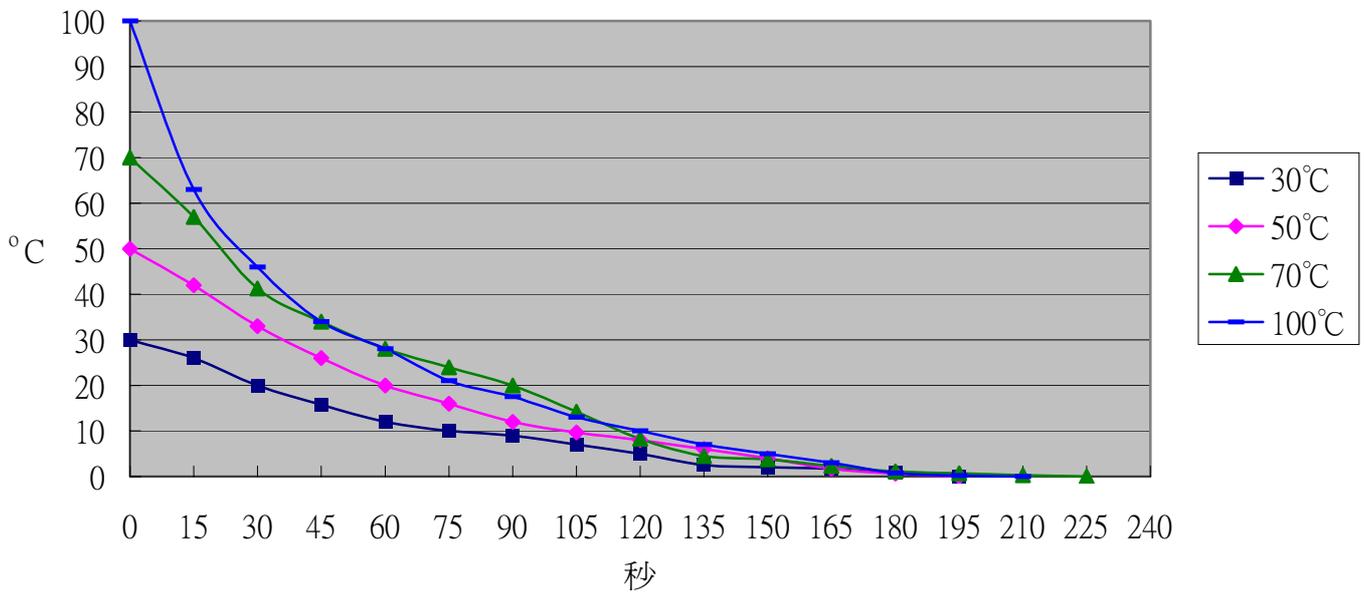
(表八)

	30°C	50°C	70°C	100°C
0 秒	30	50	70	100
15 秒	26	42	57	63
30 秒	20	33	41.3	46
45 秒	15.8	26	34	34
60 秒	12	20	28	28
75 秒	10	16	24	21
90 秒	9	12	20	17.5
105 秒	7	9.7	14.2	13
120 秒	5	8	8.3	10

135 秒	2.5	6	4.5	7
150 秒	2	4	3.8	5
165 秒	1.7	1.7	2.3	3
180 秒	0.8	0.6	1.1	0.8
195 秒	0	0	0.7	0.2
210 秒			0.3	0
225 秒			0	
備註：蒸餾水				單位：°C

(圖八)

蒸餾水



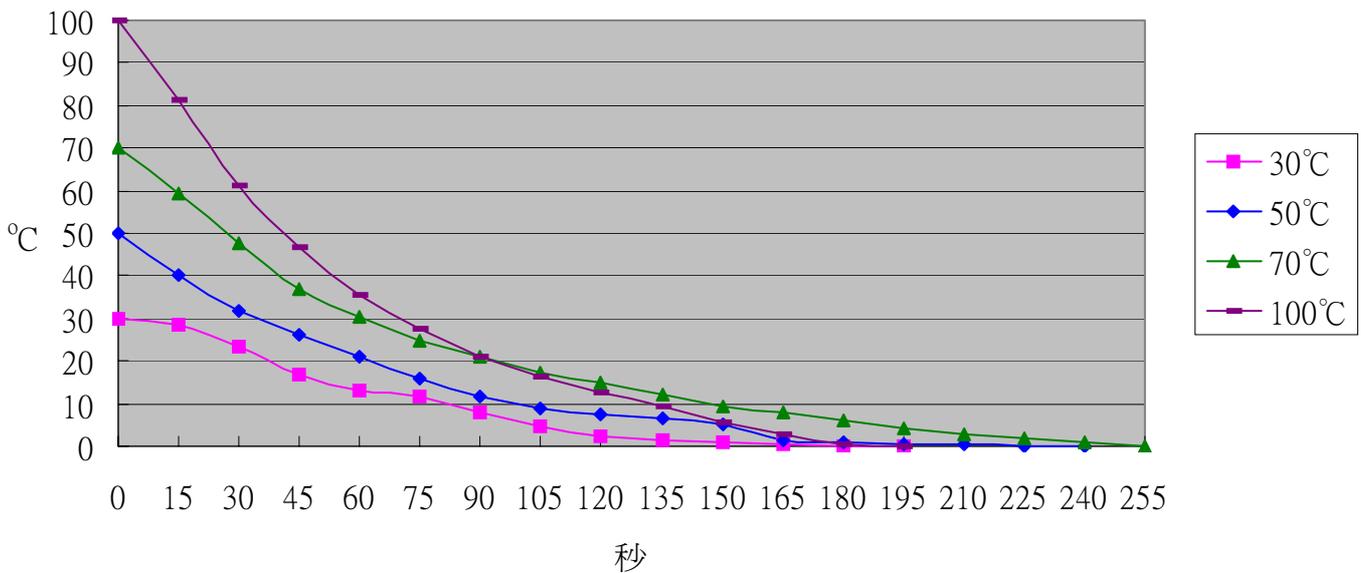
(表九)

	30	50°C	70°C	100°C
0 秒	30	50	70	100
15 秒	28.5	40	59.5	81.5
30 秒	23.5	32	47.5	61
45 秒	17	26	37	46.5
60 秒	13	21	30.5	35.5
75 秒	11.5	16	25	27.5
90 秒	8	11.5	21	21
105 秒	4.5	9	17.5	16.3
120 秒	2.5	7.5	14.8	12.5

135 秒	1.5	6.5	12	9.2
150 秒	1	5	9.5	5.8
165 秒	0.6	1.5	7.8	3
180 秒	0.2	1	6	0.3
195 秒	0	0.5	4	0
210 秒		0.3	3	
225 秒		0.2	2	
240 秒		0	1	
255 秒			0	
備註：自來水		單位：℃		

(圖九)

自來水



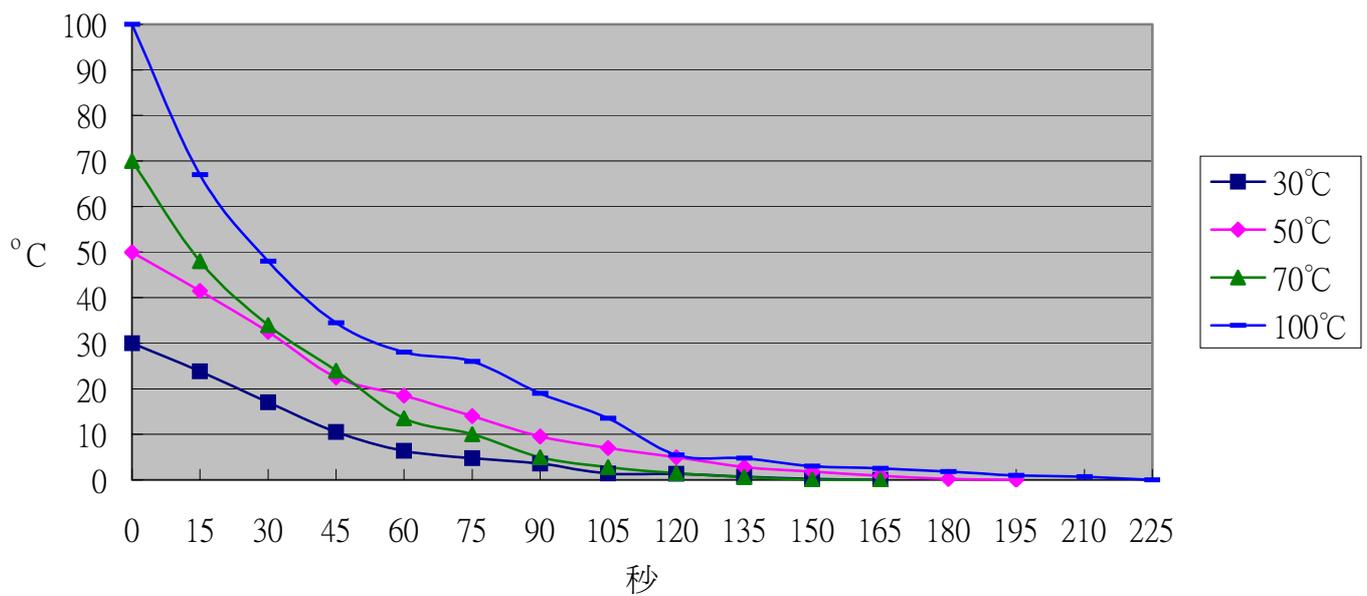
(表十)

	30℃	50℃	70℃	100℃
0 秒	30	50	70	100
15 秒	23.8	41.5	48	67
30 秒	17	32.5	34	48
45 秒	10.5	22.5	24	34.5
60 秒	6.4	18.5	13.5	28
75 秒	4.8	14	10	26
90 秒	3.6	9.5	5	19

105 秒	1.4	7	2.8	13.5
120 秒	1.3	5	1.5	5.5
135 秒	0.7	2.8	0.6	4.8
150 秒	0.2	1.8	0.1	3
165 秒	0	0.9	0	2.5
180 秒		0.2		1.8
195 秒		0		1
210 秒				0.7
225 秒				0
240 秒				
備註：雨水				單位：°C

(圖十)

雨水



(表十一)

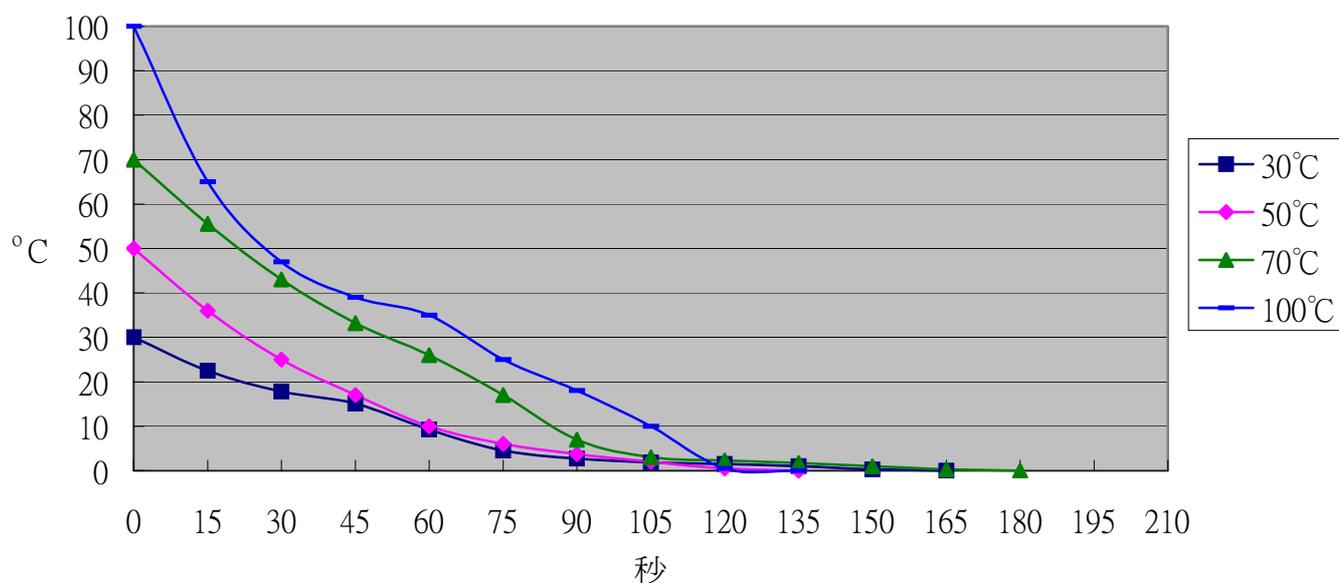
	30°C	50°C	70°C	100°C
0 秒	30	50	70	100
15 秒	22.5	36	55.5	65
30 秒	17.8	25	43	47
45 秒	15.1	17	33.2	39
60 秒	9.3	10	26	35
75 秒	4.5	6	17	25

90 秒	2.7	3.7	7	18
105 秒	1.9	2	3	10
120 秒	1.5	0.5	2.3	0.5
135 秒	1	0	1.7	0
150 秒	0.3		1	
165 秒	0		0.3	
180 秒			0	
195 秒				
210 秒				

備註：礦泉水 單位：℃

(圖十一)

礦泉水



- 解析：(1) 四種不同水質，蒸餾水，雨水，礦泉水，自來水，所得到的冷卻曲線接相似。
 (2) 蒸餾水、自來水、礦泉水三種水質，在初始溫度為 70°C 其冷卻過程中，均需較長時間才能抵達 0°C。
 (3) 四種水質，並未能得到高溫水比較容易到達 0°C 之規則。

(五) 探討不同濃度的鹽水的下降溫度。

控制變因：水量 75mL、冷劑-18°C、水之初始溫度 19°C、相同試管。

改變變因：不同濃度的鹽水的下降溫度。

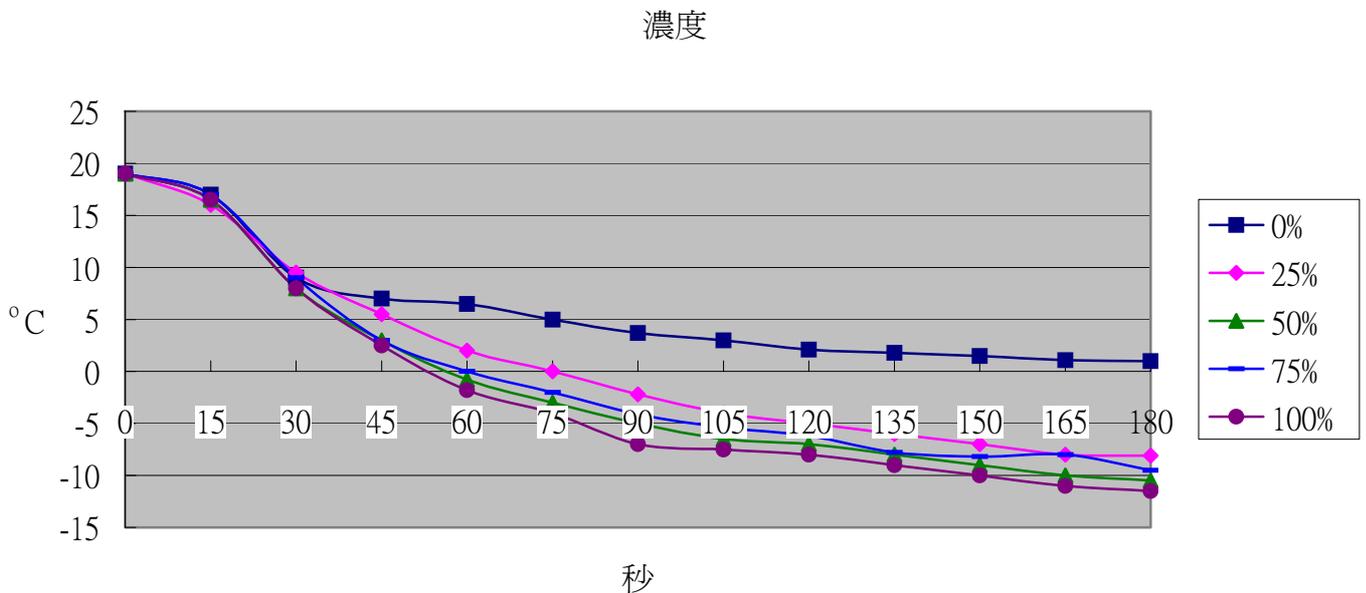
實驗原因：溶液的濃度是否影響到彭巴效應。

(表十二)

	0%	25%	50%	75%	100%
0 秒	19	19	19	19	19
15 秒	17	16	16.5	17	16.5
30 秒	9	9.5	8	9	8
45 秒	7	5.5	3	3	2.5
60 秒	6.5	2	-0.8	0	-1.8
75 秒	5	0	-3	-2	-4
90 秒	3.7	-2.2	-5	-4.1	-7
105 秒	3	-4	-6.5	-5.4	-7.5
120 秒	2.1	-5	-7	-6.2	-8
135 秒	1.8	-6	-8	-7.8	-9
150 秒	1.5	-7	-9	-8.2	-10
165 秒	1.1	-8	-10	-8	-11
180 秒	1	-8.1	-10.5	-9.5	-11.5

備註：蒸餾水 單位：°C

(圖十二)



- 解析：(1) 由實驗得知，濃度越大，其下降的溫度越多。
(2) 由於冷卻曲線發現，開始操作時溫度下降梯度較大。
(3) 趨近最低溫度，溫度下降梯度越小，越來越不會下降了。

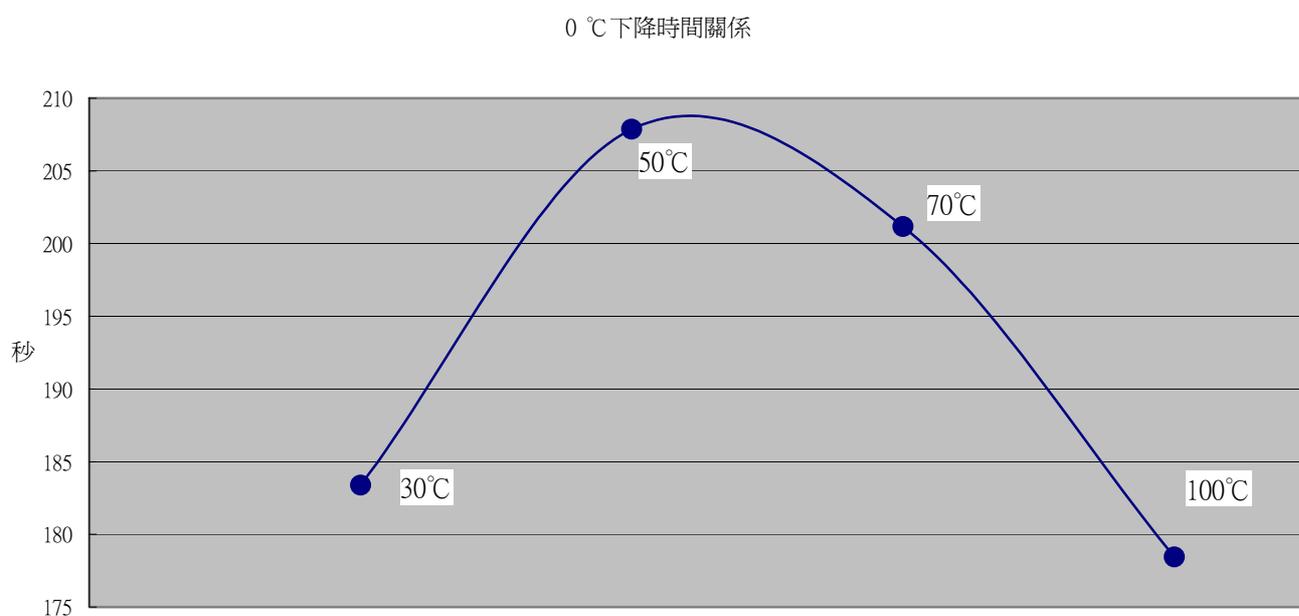
(六) 把所有資料到 0°C 的時間，整合做出平均值。
控制變因：水量 15mL、冷劑-18°C、相同試管。

(表十三)

溫度	秒
30°C	183.39
50°C	207.88
70°C	201.16
100°C	178.43

備註：所有種類的水下降到 0°C 的時間

(圖十三)



柒、討論：

- 一、 每次實驗，選用同種類的試管、準確的溫度計，而加熱是採取「隔水加熱法」以確保上下溫度一致，製作冷劑採取以 6：1 等份冰塊與食鹽混合，並把冰塊磨成冰沙狀態，以增加冰塊與試管的接觸面積，而每次實驗的接觸面積也會控制的較準確、一致，並把試管插入同高度減少誤差。
- 二、 最初時，是直接用一塊一塊的冰塊來做冷劑，但後來把這些冷劑放入燒杯時發現，燒杯中的空隙實在是太多了，而杯中的空氣也會影響到試管的溫度，因此改用冰

- 沙來做冷劑。
- 三、一開始實驗的過程中，冷劑上下的溫差已影響到這個實驗，後來也準備了較大的容器並且將冰沙與食鹽攪拌均勻，而那放冷劑的燒杯，杯底也有一個排水孔，隨時把冷劑的水排出以減少水影響的誤差值。
 - 四、過了許多次的實驗，我們發現，熱水的確比冷水快先結冰，我們也看過很多次水結成冰的樣子，也發現了某些現象。因此，我們假設：水結成冰有許許多多條的「路徑」可以走，而水所選擇的路徑則會影響到它結冰時間的快慢。
 - 五、冷劑的優點：冷凍庫裡並無定溫質，而出風口也只有一個，因此迎風面試管的溫度較低、背風面試管的溫度較高，且經過循環溫度有稍微的誤差，而冷劑是一個單位系統，因此溫度也較一致。而冷劑也簡單製造、隨手都可以取得。
 - 六、我們把試管加熱至不同溫度，再將其溫度降溫至室溫時（實驗一），在結冰的過程中，溫度越高之試管內有些許的小氣泡，慢慢升至水面；溫度較低者，則試管內有大量的氣泡升至水面，且速度非常快。而氣泡少的又比氣泡多的先結成冰，此一現象，也許影響了「彭巴效應」。
 - 七、依照常理來說，水結冰都應該是由表面先結冰然後在逐漸向底部結冰，但是在實驗時，因為試管太小，而造成試管中的對流形成湍流以及冰與試管中的接觸力抵抗了冰的浮力，因此實驗大部分都是由底部先結冰。
 - 八、因為學校並沒有我們需要的儀器，因此過冷效應沒有辦法做，確實有點遺憾！日後如果有機會另外在加以研究。
 - 九、為了測試水中溶解氣體的量對此實驗的影響，我們將水分別加熱到不同的溫度後，再放置令其降至室溫，當我們將水加熱時，其溶解氣體所散逸的多寡，我們並無法測出。只能知道越高溫的水所散逸溶解氣體越多，水中溶解氣體越少。
 - 十、在第一個實驗（搖晃與否），我們如何確定兩隻搖晃程度是否一樣呢？我們固定這兩隻試管以上下搖晃三分鐘後馬上測之，減少誤差值。
 - 十一、熱頂效應對於每一種的試管的大小、形狀、玻璃的材質都所有影響，而我們做的實驗數據與其他人做的實驗數據也因此都不相同，所以我們選擇了一個大小適中的試管，並且每一次實驗都用同一隻，盡量減少誤差質。
 - 十二、我們探討彭巴效應對不同水質的影響，但是我們所選用的溶液當中，只有蒸餾水是純水，未含有雜質，剩下的其餘溶液皆非純水。在搬運途中，或者置放等待採樣做實驗的過程中，溶液中所含有的物質，會漸漸的沉澱，導致整個溶液內上下層的內含物比例不同。所以我們嘗試以過濾或搖晃兩種方式來解決這部份的誤差，然而我們所得出的溫度曲線，與未過濾或者未搖晃的溫度曲線大致相同，相差極為微小，礙於實驗器材的不足，我們無法取得更精確的實驗數據，所以溶液內含物比例不同的問題，雖然會造成影響，然而那卻是極度微小的差異，在我們的實驗中，僅做參考，不列入我們研究的方向。
 - 十三、金門離島對於基本的儀器是特別缺乏，因此我們在實驗時總是綁手綁腳的，還要顧慮到有沒有辦法做，我們也想盡了其他可以替代的辦法，因此用的都是最簡單

的器材，做出這些數據。也有許多實驗因此沒有做，是件十分可惜的事。

- 十四、曾經看過一段影片，在冰天雪地的一個地方，有人用了一杯接近沸騰的水與一杯溫度較低的水，分別灑向空中，神奇的事情發生了！那一杯熱水在空中瞬間化成了煙霧（其實是一片一片的碎冰）、而另一杯卻還是一灘水，此一現象也許是彭巴效應其一之原因。
- 十五、壓力影響了水結冰的溫度。依照實驗三（探討蒸發對「彭巴效應」的影響）可知，蒸發的量並不會影響彭巴效應（加蓋試管有些許的通風口）。另外實驗後得知，加蓋（完全密閉）即代表著試管內部有些許的蒸氣壓與未加蓋（無蒸氣壓）兩種結冰時間並無多大差異。因此，水結冰所產生的蒸氣壓十分微小，實驗中可以忽略不計。
- 十六、在我們實驗，平均每十次之中，就會出現有一次是「水瞬間結成冰」的現象（水瞬間從液態變成固態，擴散至整個試管，整隻試管都已經是冰了！），後來我們把試管內的冰取出來，發現那些冰是一片一片薄薄的碎冰，如果此時再把試管放回冷劑內，也許這就是結冰最快的途徑了！
- 十七、在做過了以上的實驗後，我們推測出影響彭巴效應的因素為，冰晶 > 過冷效應 > 熱頂效應 > 氣體溶解 > 蒸發。

捌、結論及研究結果：

- 一、由表一表二以及圖一圖二的兩種水質皆顯示：搖晃過，溶解氣體比未搖晃多出許多，無搖晃比有搖晃更快抵達 0°C，而自來水中本身雜質就比蒸餾水多，因此在有無搖晃的影響下兩者溫度下降就有明顯的差異。
- 二、由表三表四以及圖三圖四的實驗，可得知溶解氣體的多寡對抵達 0°C 之時間有很大的關係，100°C 所釋放出來的溶解氣體量較其他溫度為多，所以溶解氣體很少，也較快下降至 0°C，而 70°C 和 50°C 因釋出氣體比 100°C 較少，下降至 0°C 的時間需要花費比 100°C 較長的時間。
- 三、由表五表六以及圖五圖六的實驗，可得知「熱頂效應」底部的溫度小於中間及上面的溫度，而結冰的程度也是由底部先結冰，其次再由中間及下面逐漸的往上結冰而已，蒸餾水及自來水兩種水質來比較蒸餾水的「熱頂效應」也比較明顯，兩者的中下溫度差比上中溫度差要來的小，然而高峰也是中下溫度差比上中溫度差來的快。
- 四、由表七圖七來說蒸發對水結成冰影響可說是非常小、不太明顯，也代表了蒸發對「彭巴效應」並無直接明確的改變。
- 五、由實驗四可得知溫度下降的快慢與水的種類有些許的相關性，而大部分都是以 30°C、100°C 較快，但也是有些例外。如：雨水 100°C 就是最慢，所以水質影響「彭巴效應」應該不大。
- 六、由表十二圖十二可得知鹽水濃度越大其下降速率也就比較快，而 25%、50%、75%、

100% 間的差距不大，影響不了「彭巴效應」。

七、由圖十三，以整體平均值下降到 0°C 的時間來看， $100^{\circ}\text{C} < 30^{\circ}\text{C} < 70^{\circ}\text{C} < 50^{\circ}\text{C}$ 而其中 100°C 和 30°C 間差距較小； 70°C 和 50°C 差距較小。

玖、參考資料及其他：

- 一、科學研習（月刊）：第 43 卷第七期，中華民國 93 年 11 月，12~15 頁，金必耀
- 二、http://hk.geocities.com/hokinghon/hot_water.htm
- 三、<http://www.phy.ntnu.edu.tw/teacher/phydiscuss/messages/62.html>
- 四、<http://www.school-for-champions.com/SCIENCE/mpemba.htm>
- 五、全國科展第 43 屆國中組：過冷不結冰的水
- 六、高中基礎物理（南一版）：溫度與熱
- 七、高中物質科學物理篇（南一版）：熱學
- 八、高中化學（龍騰版）：溶液

特別感謝：

感謝兩位老師提供了許多寶貴的意見及方法，同時也十分感謝學校旁邊的「杯杯樂」冷飲店老闆娘熱情提供冰塊。

附錄：圖片

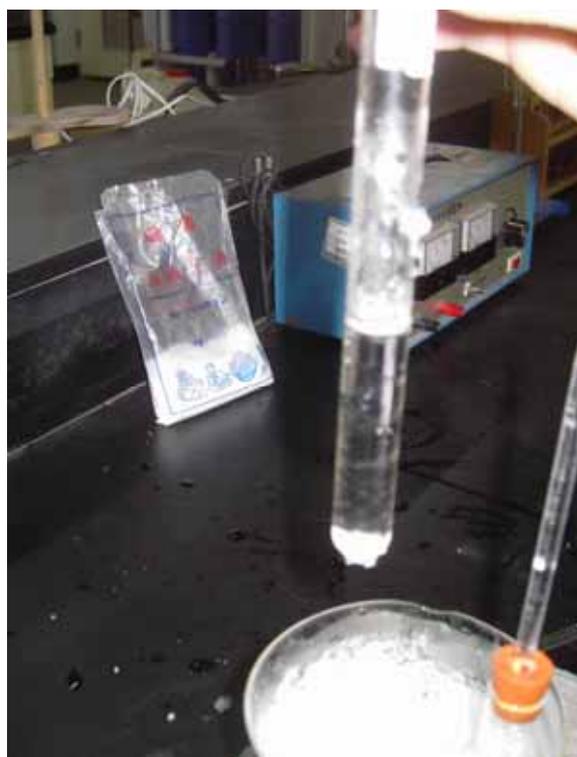
熱頂效應試管



結冰情況



結冰情況 (2)



結冰情況 (3)



結冰情況（4）



蒸餾水製造機



中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

高中組 物理科

040117

彭巴效應 (Mpemba effect) 的研究及探討

國立金門高級中學

評語：

1. 本實驗之題目選擇乃有趣物理現象，宜針對其發生物理機制從事實驗設計分析其發生之主要原因
2. 於探討前應參閱前有相關研究文獻，思惟分析不足或未解釋明白部份，加以改進，期能於研討實驗能得明確結論，並有進步性改進之創作意義。
3. 對本實驗結論，仍應精確數據分析，以客觀數據呈現比較之。