

【2021 劑場科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中（職）組 成果報告表單

題目名稱： 熱極生冰-彭巴效應探討
一、摘要：
本研究目的是探討彭巴效應及降溫速度，在不同變因下發生的狀況。研究方法是將兩個不同初溫的溶液，插入溫度計，並放置冰箱內，觀察其同一溫度範圍內的時間變化及降溫速率。結果發現：初溫較高的熱水的降溫速率大於初溫較低的冷水的降溫速率，也就是彭巴效應是真實存在的。若抑止水蒸發或使用不同溶液，則彭巴效應不會發生，可得知蒸發為彭巴效應發生主要原因之一、水的特性也可能為彭巴效應發生之因素。建議未來研究可加廣研究彭巴效應的應用，像核電廠排放的熱水冷卻及電子產品的散熱，期望能使降溫達到最快速。
二、探究題目與動機
熱水會比冷水較快結冰，這個看似不合常理的現象，我們抱持著懷疑。彭巴效應在現今研究中，不論是結冰的定義還是降溫的方式，都受到許多的爭議。造成彭巴效應的因素有哪些？只有水才會發生這種現象嗎？水量是否會影響此現象發生？我們希望能探究初始溫度與降溫速率的關聯，並且釐清彭巴效應發生的原因。
三、探究目的與假設
(一) 驗證水的彭巴效應存在與否 (二) 探討蒸發與彭巴效應之關聯性 (三) 探討食鹽水之彭巴效應現象
四、探究方法與驗證步驟
● 實驗方法: (一) 驗證水的彭巴效應存在與否: 此實驗針對彭巴效應使否發生作為探討，水量為操縱變因。 蒸餾水加熱至特定溫度，裝入容器，並插入溫度計，放進冰箱。一開始將燒杯當實驗容器測量，遇到了燒杯因水降溫結冰體積膨脹而破裂的狀況(如圖一)，導致實驗誤差。改為使用塑膠杯為實驗容器，但因塑膠杯的擺放位置不同，導致距離冰箱出風口遠近影響實驗結果(如圖二)。最後以試管作為容器，並一致放於冰箱的出風口處(如圖三)。 因為溫度計探測頭若接觸到容器壁面，會導致實驗誤差，所以我們自製能夠架在冰箱內的木板或用膠帶固定溫度計在冰箱上，使溫度計能夠懸空於容器中央，不會碰到容器壁面，以利測量(如圖三)。 數據取相同溫度範圍(20°C~0°C)內，觀察不同初溫到零度的時間變化及降溫的斜率。斜率值越大，降溫速率越快。



(圖一)燒杯破裂



(圖二)使用塑膠杯作為容器之實驗裝置



(圖三)使用試管為容器之實驗裝置並以木架子放置溫度計

(二) 探討蒸發與彭巴效應之關聯性: 此實驗針對蒸發因素是否影響彭巴效應發生作為探討, 蒸發作用為操縱變因。

為了讓容器能完全密封, 抑止容液蒸發作用, 最初我們將試管倒放並在試管上製作與溫度計直徑相同的孔洞(如圖四), 結果試管因水降溫結冰體積膨脹而破裂(如圖五), 導致實驗誤差。因此最後我們將針筒的孔洞製作成與溫度計直徑相同, 使溫度計放入水中測量水溫時能剛好密封針筒孔洞, 以阻止水分蒸發。並且利用活塞, 避免水在冷卻、結冰時, 水的體積膨脹導致容器破裂(如圖六、圖七)。

數據取相同溫度範圍($20^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$)內, 觀察不同初溫到零度的時間變化及降溫的斜率。斜率值越大, 降溫速率越快。



(圖四)使用倒放的試管作為容器之實驗裝置



(圖五)試管破裂



(圖六、七)使用針筒作為測量容器之實驗裝置

(三) 探討食鹽水之彭巴效應現象: 此實驗針對食鹽水是否使彭巴效應發生作為探討, 食鹽水溶液為操縱變因。

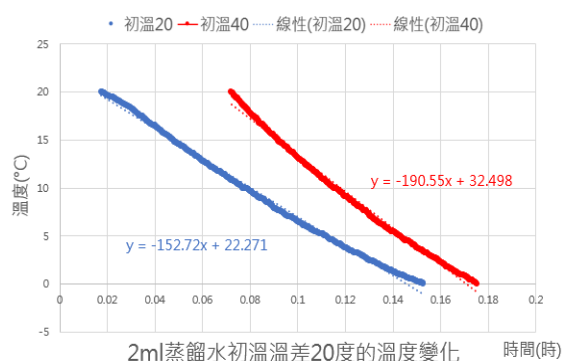
調配 1M 的食鹽水並加熱至特定溫度, 裝入容器, 並插入溫度計, 放進冰箱。溫度計固定於冰箱上, 且其探測頭懸空至容器中央。

數據取相同溫度範圍($20^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$)內, 觀察不同初溫到零度的時間變化及降溫的斜率。斜率值越大, 降溫速率越快。

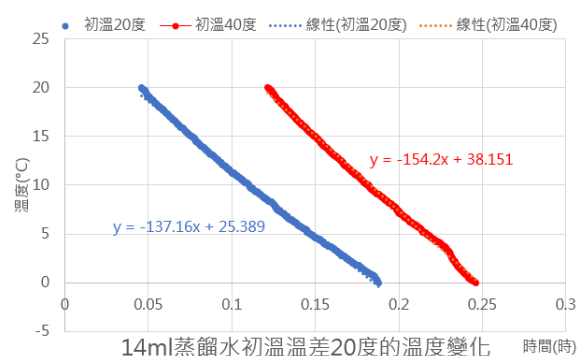
● 實驗結果:

(一) 驗證水的彭巴效應存在與否:不同水量(2ml、14ml)的蒸餾水在不同溫差下分別放置冰箱。

2ml 蒸餾水在不同溫差下的降溫變化				
高低溫差(°C)	10	20	30	40
高溫初溫(°C)	30	40	50	60
高溫到零度經過時間(時)	0.11	0.10	0.09	0.08
[A]高溫到零度時斜率	-180.76	-190.55	-213.62	-231.85
低溫初溫(°C)	20	20	20	20
低溫到零度經過時間(時)	0.12	0.13	0.11	0.11
[B]低溫到零度時斜率	-160.96	-152.72	-180.38	-183.01
[A]/[B]	1.12	1.24	1.18	1.26



14ml 蒸餾水在不同溫差下的降溫變化				
溫差(°C)	10	20	30	40
高溫初溫(°C)	30	40	50	60
高溫到零度經過時間(時)	0.20	0.12	0.19	0.25
[A]高溫到零度時斜率	-136.79	-154.20	-99.87	-148.84
低溫初溫(°C)	20	20	20	20
低溫到零度經過時間(時)	0.22	0.14	0.23	0.19
[B]低溫到零度時斜率	-133.91	-137.16	-83.51	-121.71
[A]/[B]	1.02	1.12	1.19	1.22



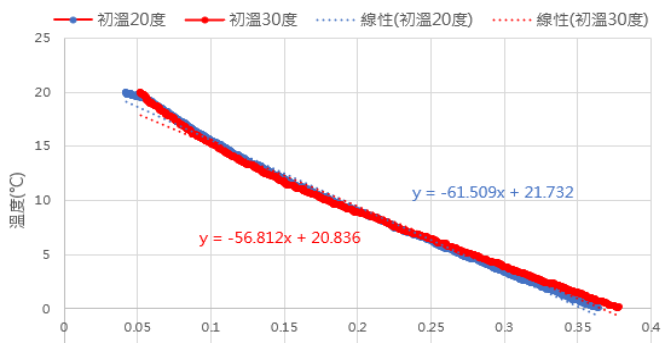
由實驗可知:

1. 高溫和低溫的降溫斜率比值大於 1，顯示高溫降溫速率均大於低溫降溫速率，故彭巴效應確實發生。
2. 水量不會影響彭巴效應發生。

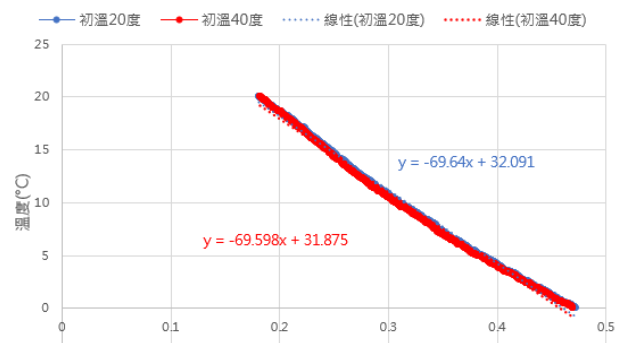
如此結果，可能是較高溫的水在降溫的過程中，會選擇更有效率的降溫方式，就像在山頂時可以選擇許多下山的方法，而選擇最快抵達山腳的捷徑。因此高溫的水才有機會降溫的比低溫的水還快。Emily Conover (2020)以玻璃珠代替水珠驗證彭巴效應，也驗證與說明同樣結果。

(二) 探討蒸發與彭巴效應之關聯性: 5ml 的蒸餾水在密封容器中不同溫差下分別放置冰箱。

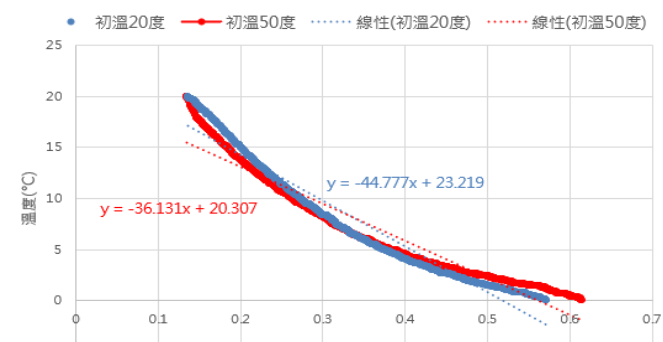
5ml 蒸餾水在密封容器中不同溫差下的降溫變化				
溫差(°C)	10	20	30	40
高溫初溫(°C)	30	40	50	60
高溫到零度經過時間(時)	0.32	0.28	0.48	0.17
[A]高溫到零度時斜率	-56.81	-69.59	-36.13	-122.87
低溫初溫(°C)	20	20	20	20
低溫到零度經過時間(時)	0.32	0.29	0.43	0.15
[B]低溫到零度時斜率	-61.50	-69.64	-44.77	-128.98
[A]/[B]	0.92	0.99	0.80	0.95



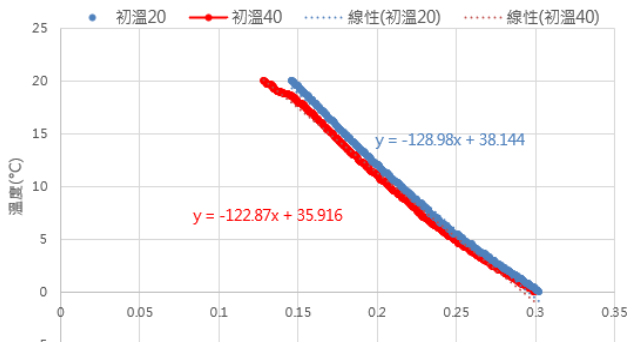
5ml蒸餾水初溫溫差10度在密封容器中的溫度變化 時間(時)



5ml蒸餾水初溫溫差20度在密封容器中的溫度變化 時間(時)



5ml蒸餾水初溫溫差30度在密封容器中的溫度變化 時間(時)



5ml蒸餾水初溫溫差40度在密封容器中的溫度變化 時間(時)

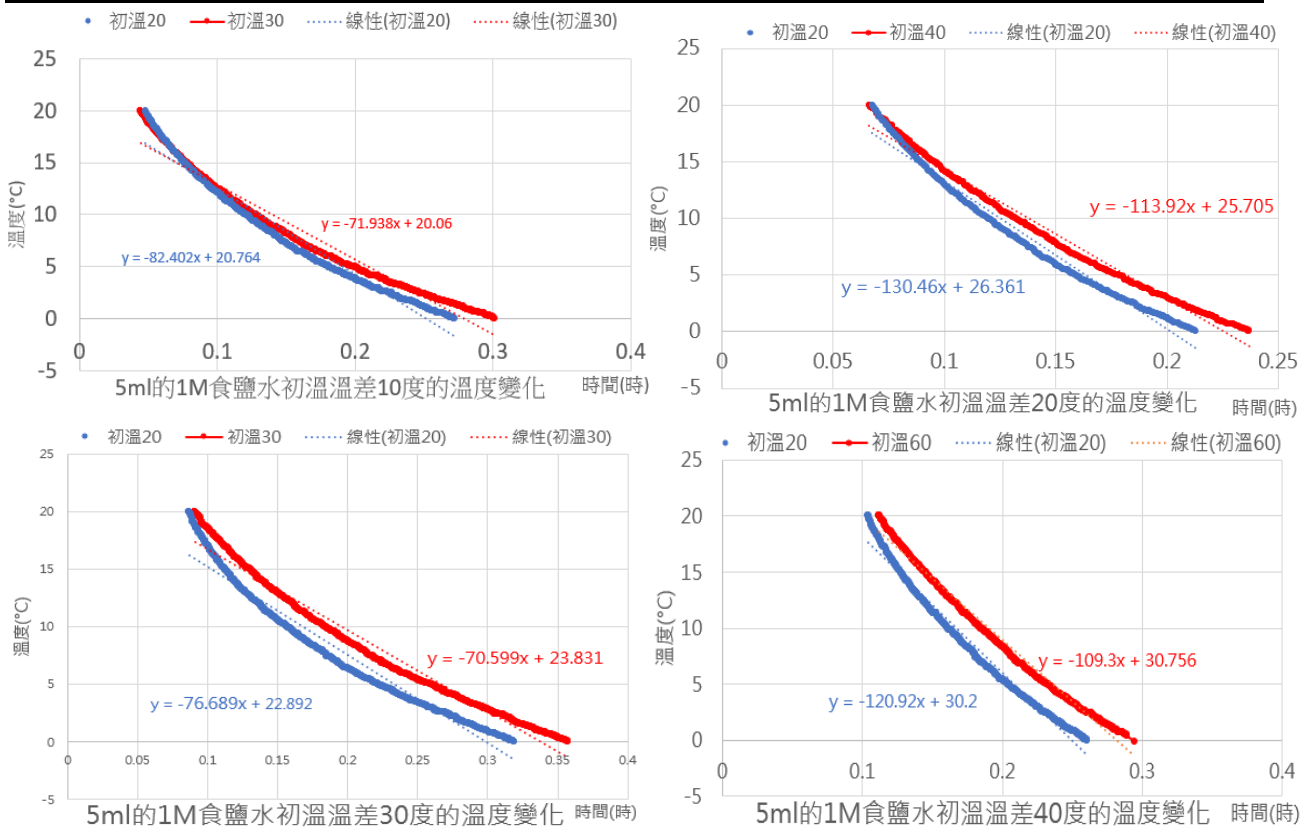
由實驗可知:

1. 不論初溫溫差差距，高溫降溫速率皆比低溫降溫速率還慢，沒有彭巴效應發生。
2. 蒸發現象確為彭巴效應發生的原因之一。

推測為溫度較高的水有較大的蒸發速率，會比較冷的水失去較多的液態水，而導致較少的水量更能快速降溫。所以當抑止蒸發，彭巴效應便不會發生，此結果與 David Auerbach (1994)研究發現相同。

(三) 探討食鹽水之彭巴效應現象:5ml 濃度為 1M 的食鹽水在不同溫差下降溫的狀況

5ml 濃度 1M 的食鹽水在不同溫差下的降溫變化				
溫差(°C)	10	20	30	40
高溫初溫(°C)	30	40	50	60
高溫到零度經過時間(時)	0.25	0.17	0.26	0.18
[A]高溫到零度時斜率	-71.93	-113.92	-70.59	-109.3
低溫初溫(°C)	20	20	20	20
低溫到零度經過時間(時)	0.22	0.14	0.23	0.15
[B]低溫到零度時斜率	-82.40	-130.46	-76.68	-120.92
[A]/[B]	0.87	0.87	0.92	0.90



由實驗可知:

1. 1M 食鹽水不論溫差高溫降溫速率皆比低溫降溫速率還慢，彭巴效應未發生。
2. 加入食鹽可能影響了水的物理性質，使彭巴效應未發生。

推測可能原因，水中多增加了食鹽分子所產生的離子，水分子間的關係改變，能量的結構改變了，因此影響了降溫的能量程序，致使水無法選擇有利的降溫方式，導致彭巴效應沒有發生或是不明顯。但此部分結果，仍需要更多研究進行驗證。

五、結論與生活應用

● 結論:

(一) 在相同溫度範圍(20°C~0°C)初溫較高的熱水的降溫斜率值大於初溫較低的冷水的降溫

斜率值，不論水量多寡，驗證彭巴效應是真實存在的。

(二) 在相同溫度範圍(20°C~0°C)，抑止溶液蒸發，可發現初溫較高的熱水的降溫斜率值沒有大於初溫較低的冷水的降溫斜率值，驗證蒸發是彭巴效應發生之原因。

(三) 在相同溫度範圍(20°C~0°C)，使用 1M 食鹽水，可發現初溫較高的溶液的降溫斜率值沒有大於初溫較低的溶液的降溫斜率值，驗證食鹽水中可能改變水的物理性質影響彭巴效應發生。

● 生活應用:

核電廠排放的熱水冷卻及電子產品的散熱，使降溫速率達到最快。

參考資料

許博硯(2008)。彭巴效應及水凝固之探討 A Study of the Mpemba Effect and Water Solidification。國立台灣科技大學機械工程系：碩士論文。

彭巴效應 - 跟著鄭大師玩科學。

David Auerbach. (1994). Supercooling and the Mpemba effect: When hot water freezes quicker than cold.

Emily Conover. (2020). A new experiment hints at how hot water can freeze faster than cold.

Lin Edwards. (2010). Mpemba effect: Why hot water can freeze faster than cold.

Tyrovolas, I. (2017). Explanation for the Mpemba Effect.