中華民國第54屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組　物理科

佳作

030108

善變的水

學校名稱：澎湖縣立西嶼國民中學

作者：	指導老師：
國二 謝亞宸 國二 洪翊豪 國二 莊育恩	夏志鍊

關鍵詞：水、密度、對流

摘要

我們的實驗首先對水的溫度與體積、密度之間的變化關係作印證。接著以兩種降溫的方式作觀察，第一種是從水面冷卻(模仿自然界，冷空氣在湖面使湖水降溫)，紀錄水在降溫過程時，上層水與水底的溫度變化，從而了解水體內部的對流過程。第二種是從水底冷卻，再紀錄水面與水底的溫度變化，並比較與第一種冷卻方式的差異。最後再以簡單且實際可觀察到的實驗來證實水的對流過程。

壹、研究動機

八年級上學期，自然課上到水的三態變化時，老師說室溫水在降溫過程中，一開始體積會縮小，密度變大，也就是體積隨降溫而縮小。但是當水溫降到 4℃以下時，體積反而會隨降溫而變大，此時變化與平常的熱脹冷縮現象相反。同時也因為這種反常現象，導致自然界中的湖水在結冰時，不是從水底部結冰，而是從湖水表面開始結冰，水底可常保約 4℃的液態水，提供水中生物的活動。我們對水這奇特的能力感到好奇，更對水在降溫到結冰的過程中如何垂直流動(對流)深感興趣。

貳、研究目的

一、印證水的體積、密度與溫度的變化關係

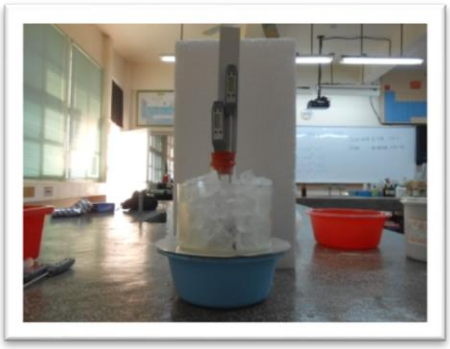
二、了解不同的降溫方式對水降溫的影響

三、了解水對流發生時，水體內部的流動現象

參、研究設備及器材

一、一般器材：(6mm)細玻璃、橡皮塞、錐形瓶(250ml 和 500ml)、碼表、鐵片(攪拌用)、滴管、粗試管、細試管、紅墨水

二、主要器材：

電子溫度計	溫度計與錐形瓶合體
上方冷卻系統 (錐形瓶放入藍色桶內，但藍色桶內無冰塊，只有瓶子上半部被冰塊包圍)	下方冷卻系統 (錐形瓶放入冰桶內，上半部在桶外，因此只有下半部被冷卻)
	

肆、研究過程與結果

一、測量水的體積與密度如何隨溫度變化(實驗一)

（一） 步驟

1. 準備如圖的裝置，放入上、下兩支溫度計、細玻璃管、攪拌的鐵片。

2. 將裝置(250ml 的錐形瓶)放入冰水中，過程中不斷拉動瓶內的攪拌裝置，使瓶內的水溫接近相同。

3. 每 1 分鐘紀錄水溫與細管內的水面高度(用來換算水的體積)

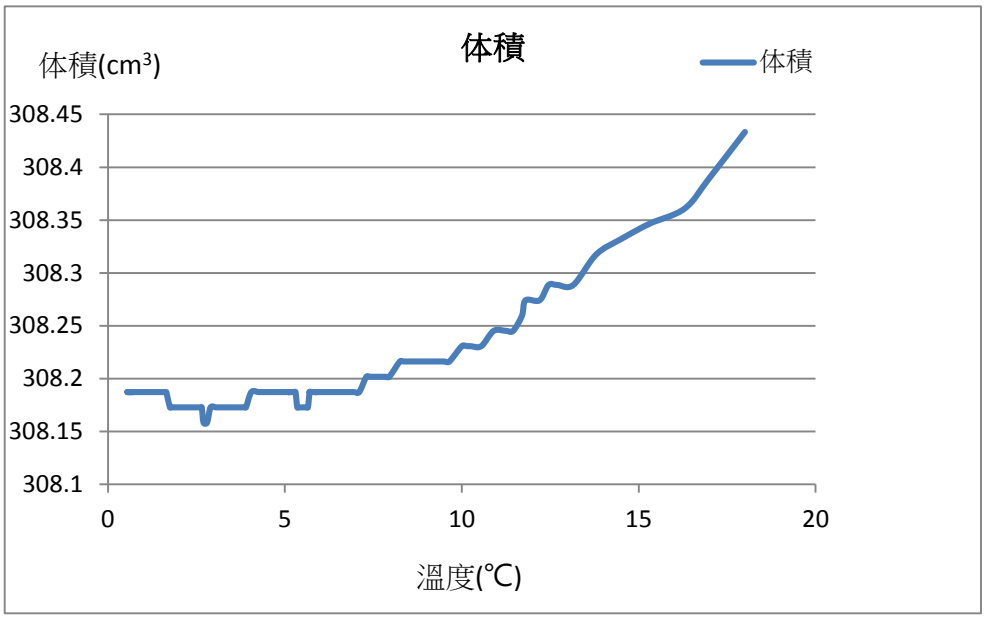
4. 換算公式：以水的初溫 10℃為例 (細管內水面上升 1 mm 相當於體積增加 0.01448cm^3)

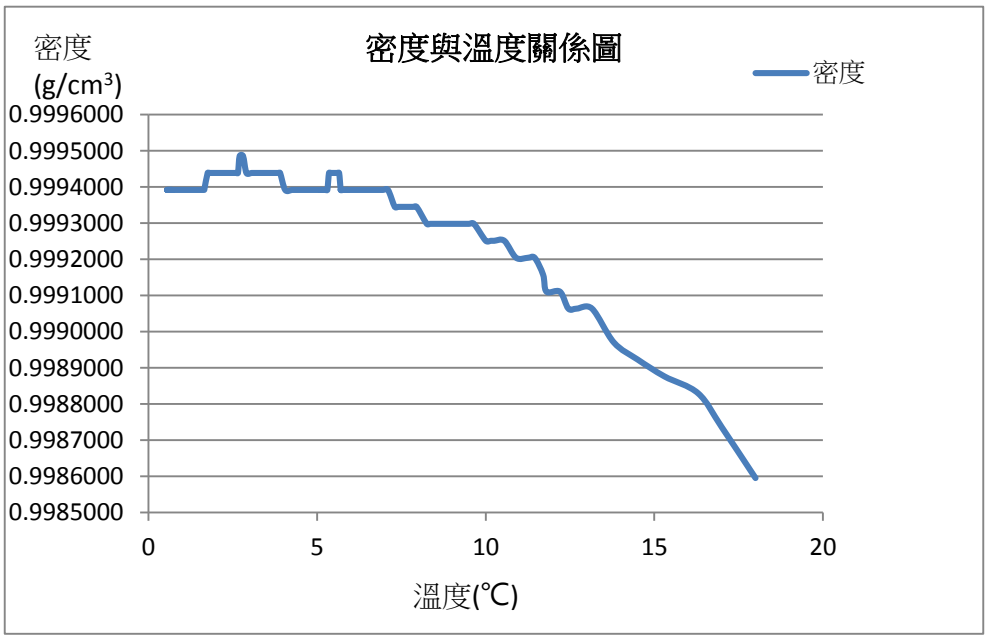
水的體積＝水質量×10℃時密度＋細管內水面上升高度(mm)×0.01448

5. 換成 500ml 的錐形瓶，重複上述步驟。

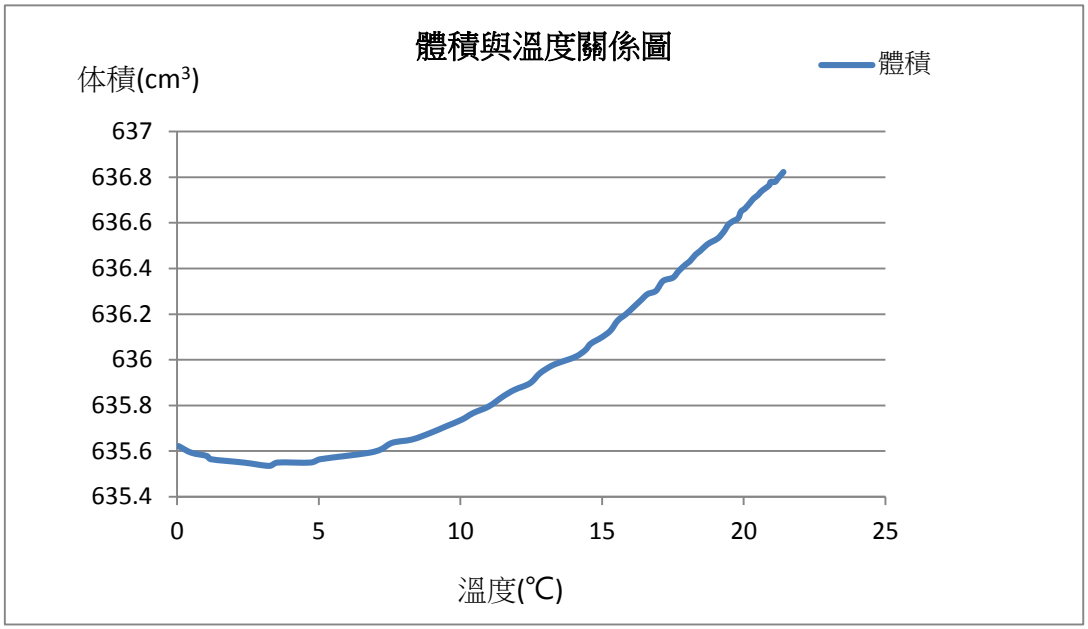
（二） 結果

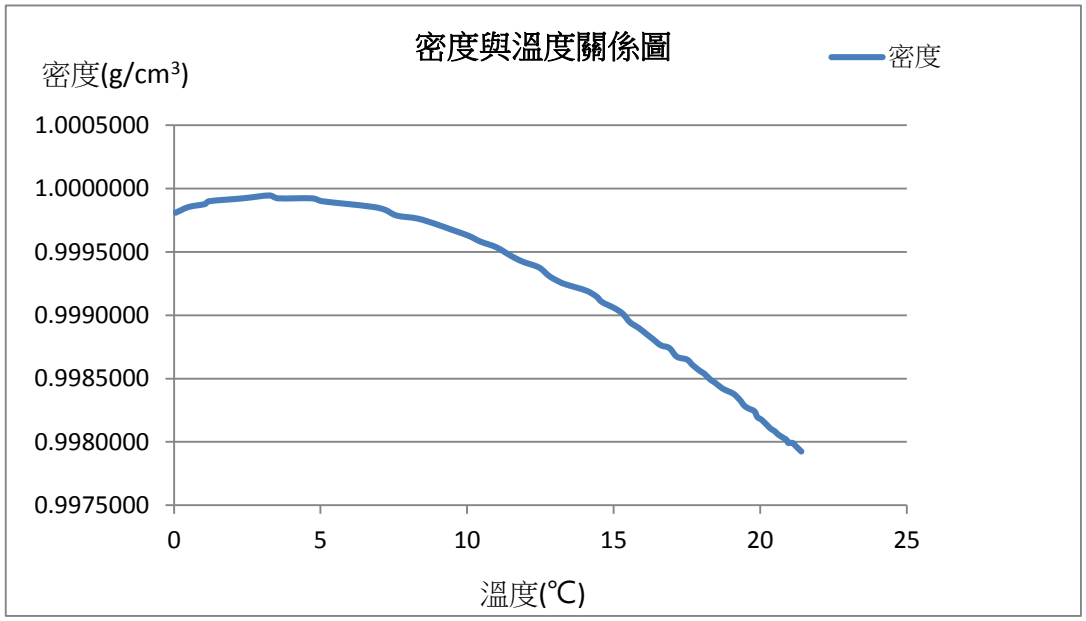
1. 水質量=308.0 公克





2. 水質量=635.5 公克

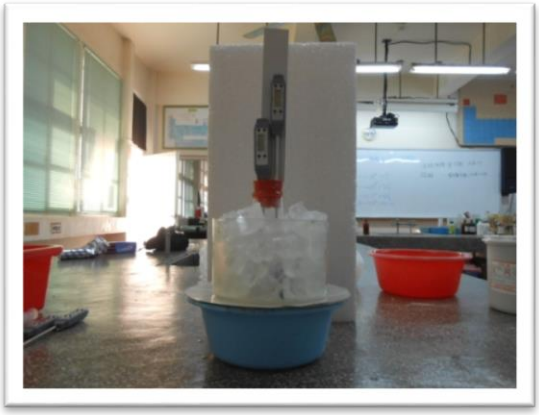




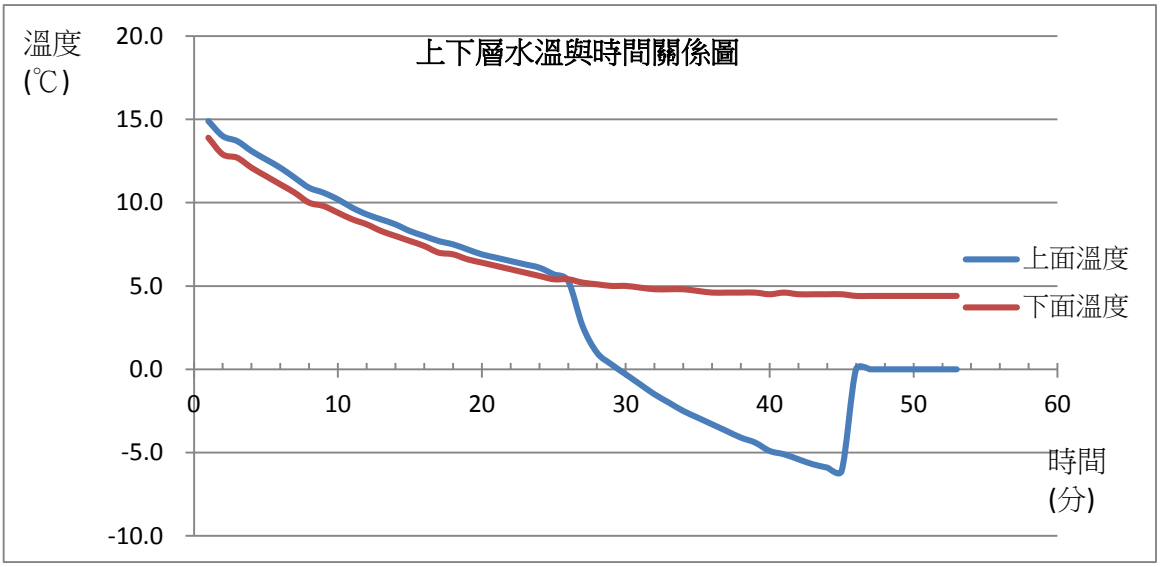
二、利用上方冷卻的裝置來觀察降溫過程中的溫度變化(實驗二)

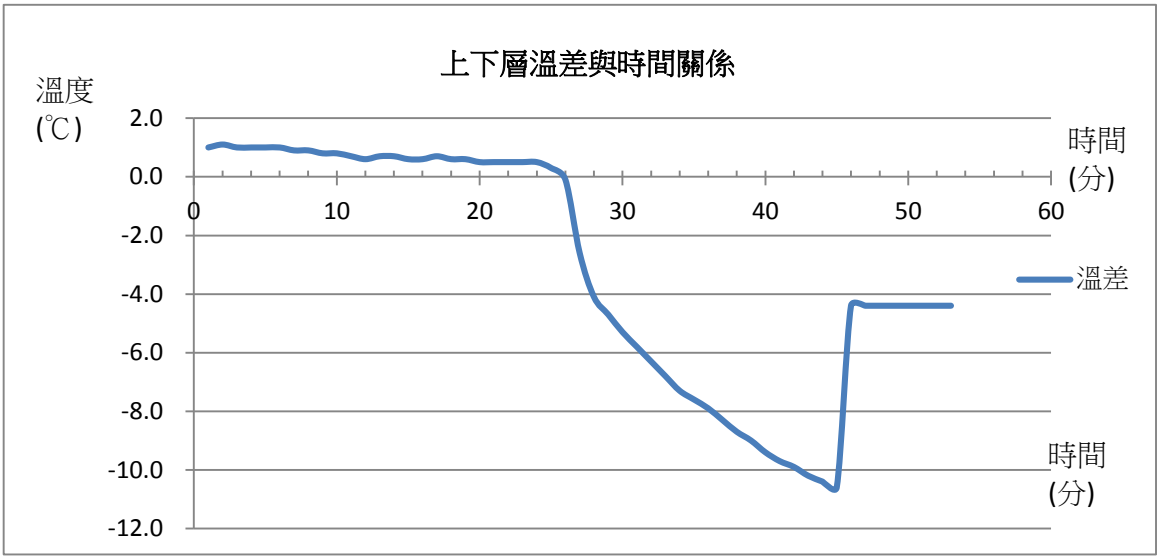
（一） 步驟

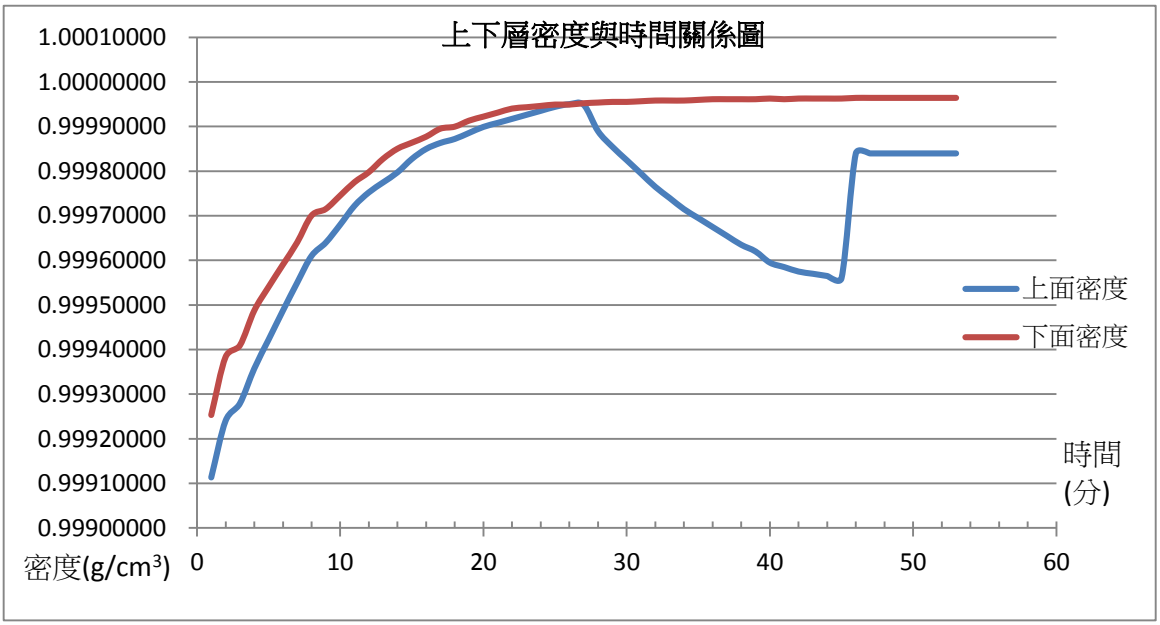
1. 準備如圖的裝置，此裝置可以藉由包圍在錐形瓶上半部的冷劑(冰加鹽)來冷卻上半部的水。
2. 每一分鐘，紀錄上下兩支溫度計的水溫，同時紀錄水的體積(細管中的水面高)。
3. 降溫過程中不拉動攪拌裝置，讓錐形瓶內的水自己對流。

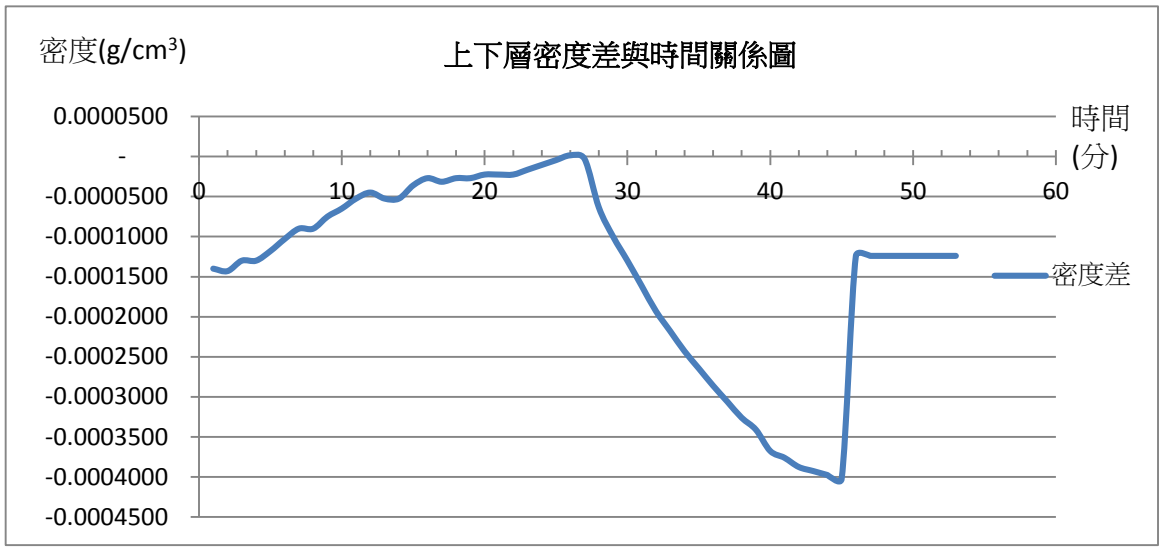


（二） 結果：


上下層水溫與時間關係圖
溫度
(℃)
20.0
15.0
10.0
5.0
0.0
-5.0
-10.0
0
10
20
30
40
50
60
時間
(分)
上面溫度
下面溫度


上下層溫差與時間關係
溫度
(℃)
2.0
0.0
-2.0
-4.0
-6.0
-8.0
-10.0
-12.0
0
10
20
30
40
50
60
時間
(分)
溫差
時間
(分)


上下層密度與時間關係圖
1.00010000
1.00000000
0.99990000
0.99980000
0.99970000
0.99960000
0.99950000
0.99940000
0.99930000
0.99920000
0.99910000
0.99900000
密度(g/cm³)
0
10
20
30
40
50
60
時間
(分)
上面密度
下面密度

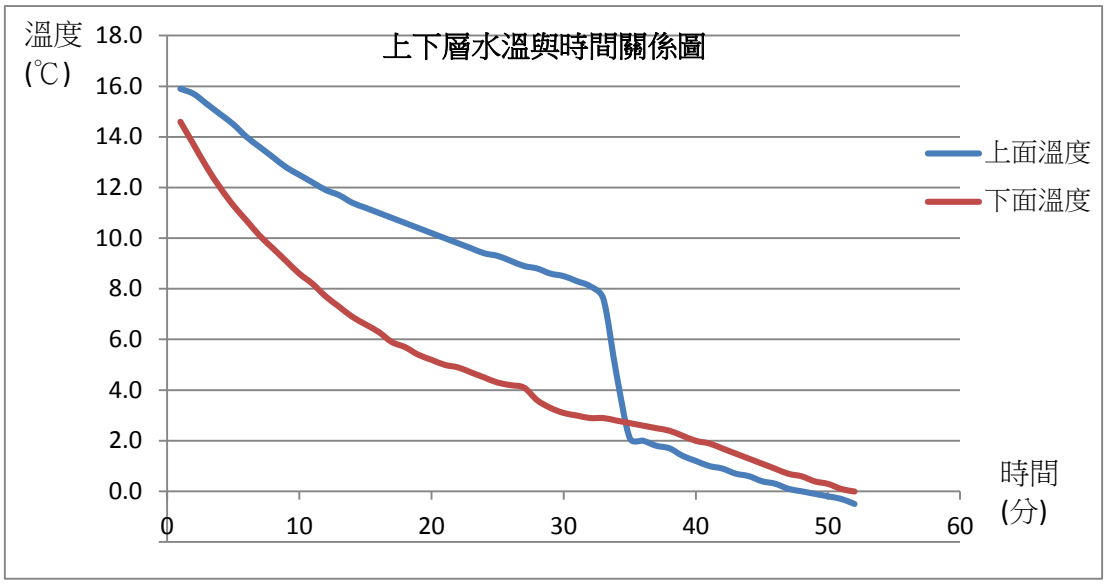


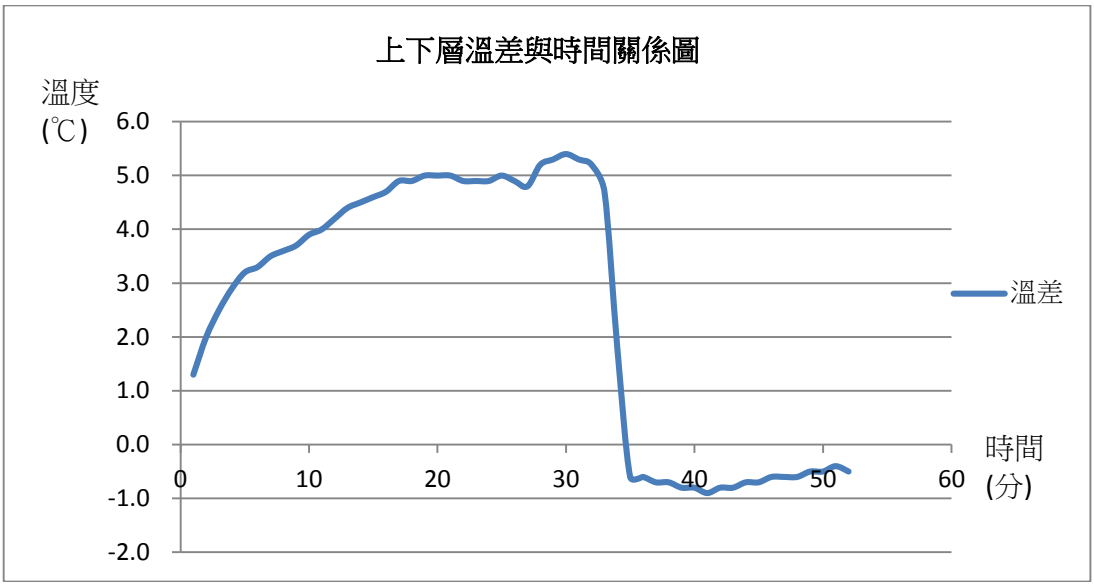
三、利用下方冷卻的裝置來觀察降溫過程中的溫度變化(實驗三)

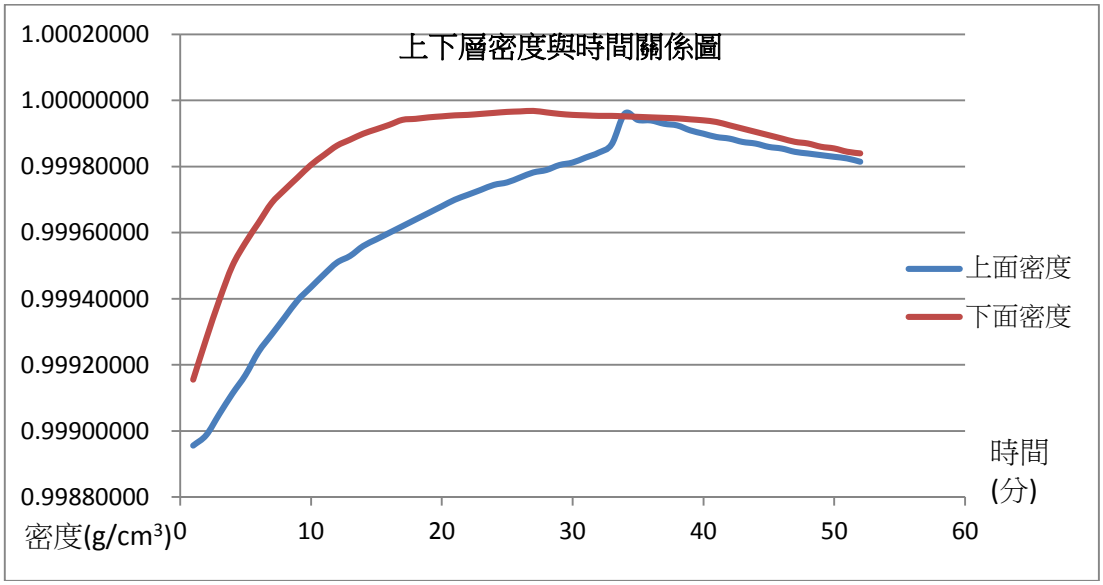
（一） 步驟

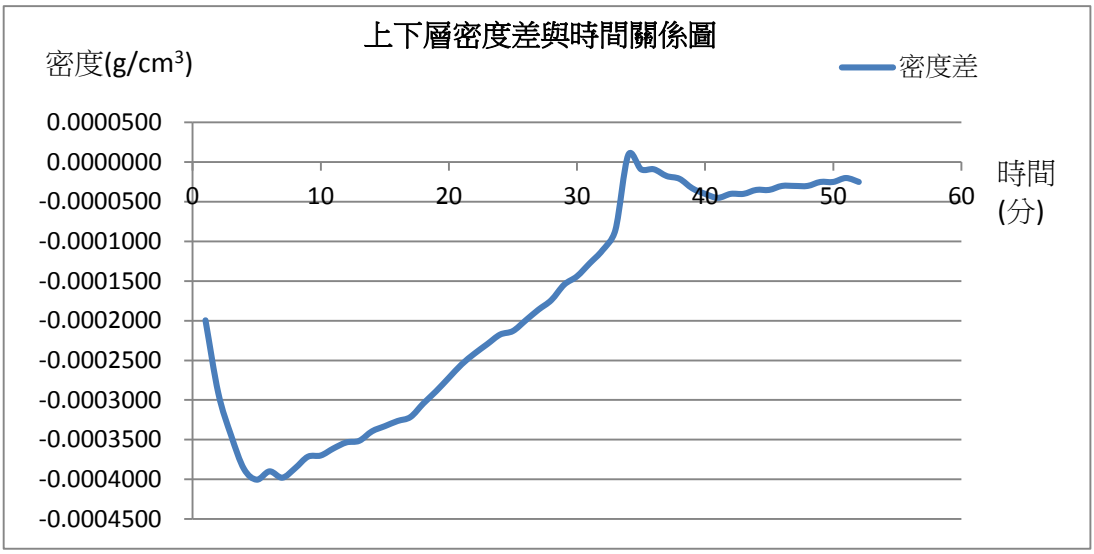
1. 準備如圖的裝置，此裝置可以藉由冰桶將錐形瓶下半部的水降溫。
2. 每一分鐘，紀錄上下兩支溫度計的水溫，同時紀錄水的體積(細管中的水面高)。
3. 降溫過程中不拉動攪拌裝置，讓錐形瓶內的水自己對流。

（二） 結果：


上下層水溫與時間關係圖
溫度
(℃)
18.0
16.0
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
0
10
20
30
40
50
60
時間
(分)
上面溫度
下面溫度


上下層溫差與時間關係圖
溫度
(℃)
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
-1.0
-2.0
0
10
20
30
40
50
60
時間
(分)
溫差


上下層密度與時間關係圖
1.00020000
1.00000000
0.99980000
0.99960000
0.99940000
0.99920000
0.99900000
0.99880000
密度(g/cm³)
0
10
20
30
40
50
60
時間
(分)
上面密度
下面密度



四、利用紅墨水來呈現降溫過程中的水流動(實驗四)

（一） 步驟

1. 準備三種紅色素水：

A:30 毫升的水+1 滴紅墨水(再冷卻至約 5℃)。

B:30 毫升的水+3 滴紅墨水(再冷卻至約 5℃)。

C:30 毫升的水+5 滴紅墨水(再冷卻至約 5℃)。

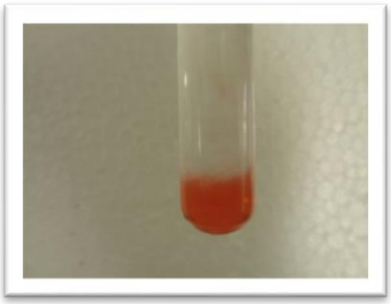
2. 將加有色素的水以滴管放入大試管底部，形成上、下分層的水(如上圖)。

3. 再將粗試管放入冰水中冷卻，觀察試管內上、下層水的變化。

4. 將粗試管換成細試管，重複上述步驟。

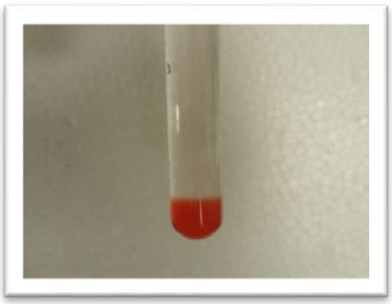
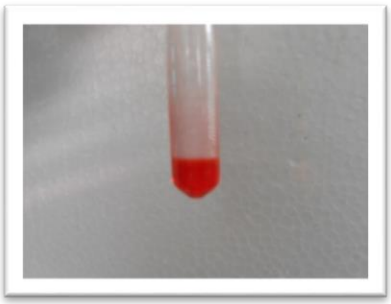
（二） 結果

1. 粗試管：

加 A 色素水	加 B 色素水	加 C 色素水
		

將試管放入 5℃的冷水中	將試管放入 5℃的冷水中	將試管放入 5℃的冷水中

2. 細試管：

加 A 色素水	加 B 色素水	加 C 色素水
		
將試管放入 5℃的冷水中	將試管放入 5℃的冷水中	將試管放入 5℃的冷水中

伍、討論

一、討論在實驗一中所測得密度曲線與課本上的圖的差異原因

因為此實驗的目的是想將課本上的水密度與溫度關係曲線作印證，所以我們不讓錐形瓶中的上下層水有溫差影響測量數據，我們以一個帶有鐵片的重物當攪拌器，使上下溫度計所測得溫度接近一致。

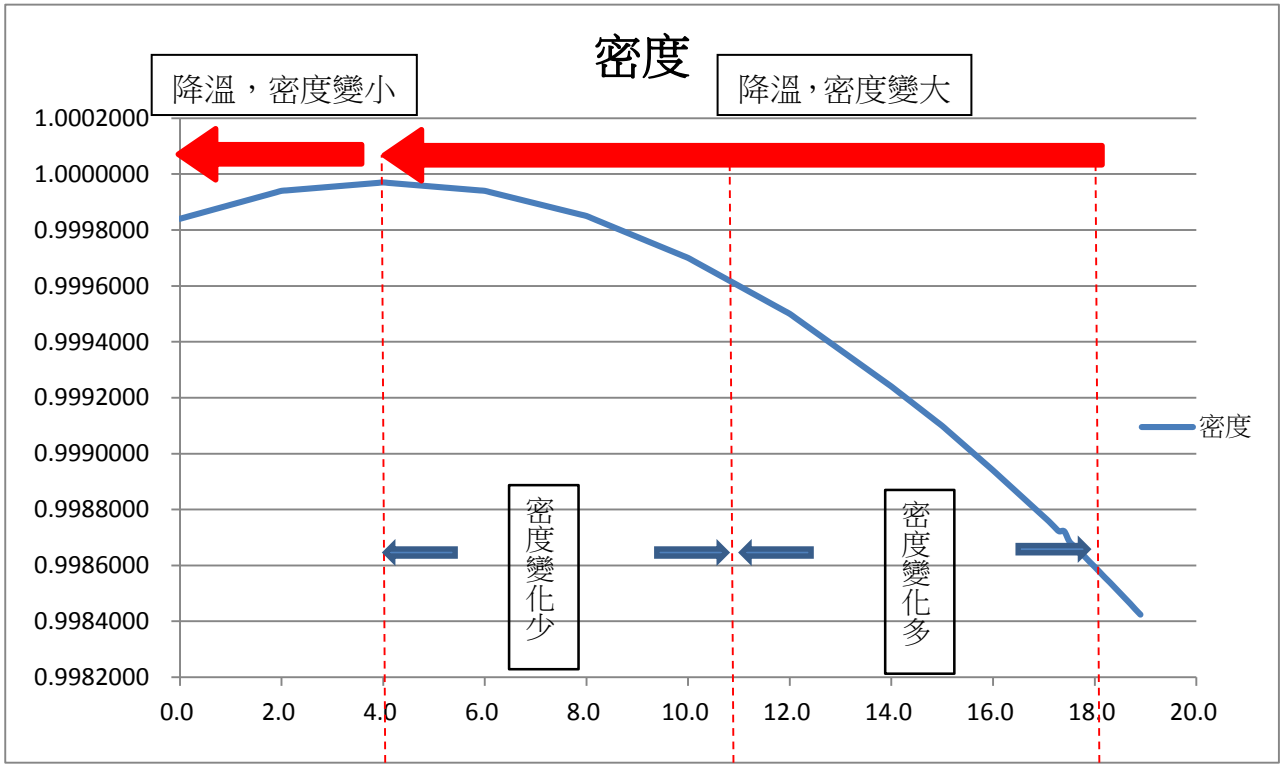
從兩個不同水質量的實驗中，我們發現以我們的實驗設備準確度來說，當水質量愈大時，實驗測得數據所畫出來的曲線，才會愈接近課本的曲線(與課本密度比較時，水質量 308 公克時：密度誤差 0.05%、水質量 635.5 公克時:密度誤差 0.01%)。**我們認為這是因為質量大的水，**

隨降溫造成的體積變化會較大，我們的測量工具才能測得此變化，若質量太小，體積變化會太少，我們的測量工具無法顯示此變化。尤其是當水溫接近 4℃時，體積隨溫度變化帶來的改變愈少，愈不容易測得體積變化。

以下是我們從這個實驗所得到的心得：

水溫在 4℃以上時	水溫在 4℃以下時	水溫接近 2~6 附近時
愈冷的水，密度愈大	愈冷的水，密度愈小	不管升溫、降溫，密度變化都很小，因為密度-溫度這條線是一條愈接近 4℃愈平緩的曲線

以下是我們根據網路上獲得的數據，所作的溫度-密度曲線圖。



二、討論不同的冷卻方式對水降溫過程的影響。

（一） 上方冷卻

1. **觀察到的現象：**

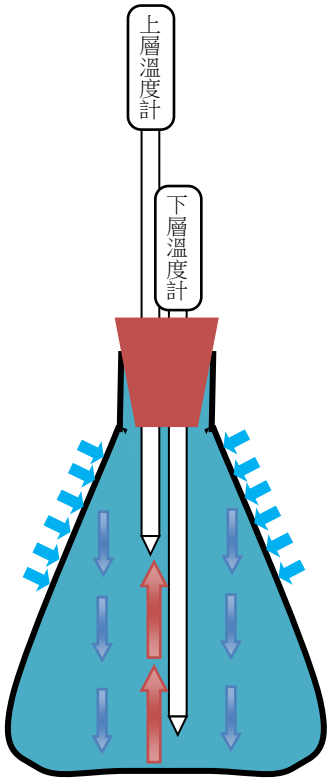
錐形瓶上層的水沒有因上方冷卻而比較冷，反而比下方略高，且發現上下兩支溫度計的溫差不大，一直維持在 1℃內，為什麼?

我們的解釋：

首先，我們的兩隻溫度計，測的分別是：

1．上層溫度計測錐形瓶上層中心的水溫

2．下層溫度計測錐形瓶下層中心的水溫



基於『上層水密度大於下層水密度時，就會發生對流』這個概念，錐形瓶上半部接近瓶壁的水因冷劑冷卻，水溫下降，密度變大，而沉入瓶底，底部較高溫的水再上升，因此造成底部的水較早冷卻，而上層水反而較晚冷卻。但因為對流現象一直發生，所以上下溫度不會相差太大。(**對流時，使上下水溫相近**)

2. **觀察到的現象**：

第 25 分~27 分鐘的時候，發現上層的水溫忽然急劇下降，而下層的水溫維持在 4~5℃左右，為什麼?

我們的解釋：

上層的水溫降到 4℃以下時，密度比下層的水小，此時上層的水無法下沉進行對流了，因此上層水的水溫就快速下降，而底部的水也因無冷水下來而保持在約 4~5℃。

(**無法對流時，上層降溫，下層恆溫，使上、下層水的溫差逐漸加大**)

3. **觀察到的現象**：

上層的水一直降溫，但並沒有在 0℃結冰，水溫一直降到約-6℃左右才開始結冰，且水溫突然從-6℃急升到 0℃，為什麼?

我們的解釋：

經我們詢問指導老師，老師說水溫降到 0℃不結冰且持續降溫的現象稱為過冷，等到結冰的條件具備後，才會看到水忽然快速結冰。且因為水結成冰是放熱的過程，放出的熱使周圍未結冰的水快速升溫，最後回到 0℃的冰水共存狀態。

我們覺得『過冷』是一個相當有趣的現象，但因這個主題與我們這次的主要題目不太相關，且聽老師說已有人作過類似的題目，所以我們在此不再作相關的討論。

（二） 下方冷卻

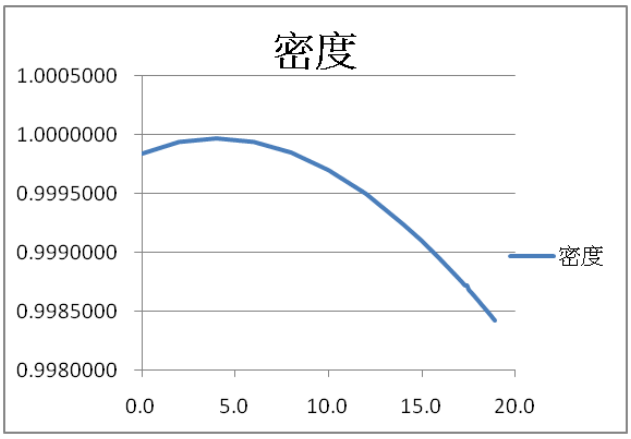
1. **觀察到的現象**：

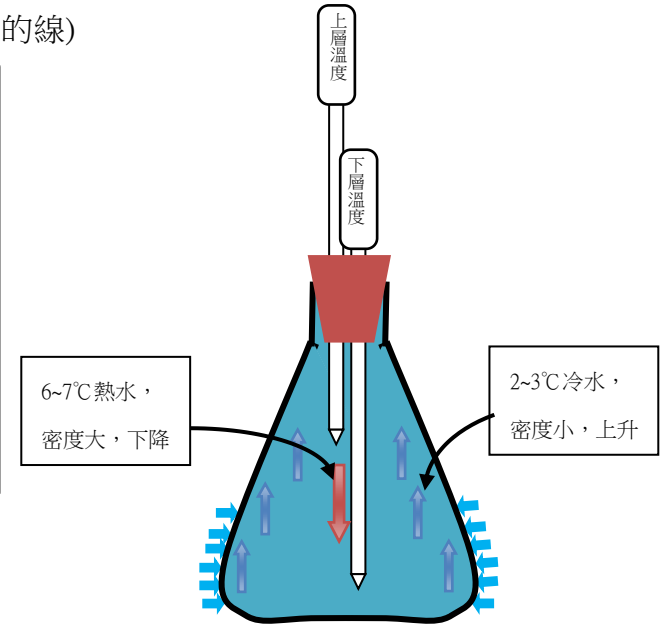
在第 35 分鐘前，下層的水溫如預期那樣快速降溫，而上層的水也相對緩慢地降溫，當兩者溫差逐漸拉大時，密度差卻沒有因此加大，反而愈來愈小，為什麼?

我們的解釋：

因為下方冷卻的關係，使下層的水比上層冷，導致下層的水密度較大，對流無法發生，密度大的冷水一直停留在下層持續冷卻，所以下層的水溫降得快，而上層水溫降得慢，因溫差變大。(無法對流時，下層降溫快，上層降溫慢，溫差逐漸加大)

參考水溫與密度的關係圖後，我們發現密度差沒有跟著變大、反而變小的原因：『**當下層的水溫降到 10℃以下後，隨著降溫帶來的密度變化愈來愈少(密度的上升量小)，而此時上層的水正處於 13~14℃的降溫期(密度的上升量相對較多)，所以上、下層水的密度差反而變小。**』(降溫時，水密度的上升曲線是一條逐漸趨緩的線)





2. **觀察到的現象：**

第 35 分鐘後，原先較高溫的上層水，忽然快速降溫，最後甚至比下層的水冷，為什麼?

我們的解釋：

在第 35 分鐘時，**上層的水溫約 6~7℃，而下層的水溫約 2~3℃，此時上層水的密度正要上升至密度最大的皆段，而下層水的密度已過了最大期(4℃時)，正在下降。也就是說，此時上層的水密度變得較下層水密度來得大，所以對流發生了。**上層較熱但密度大的水快速下沉，而下層較冷但密度小的水上升，所以上層的溫度計測得這些上升的冷水時，顯示上層水快速降溫。(參考上右圖)

接著下層接近瓶壁的水因降溫，密度變小，不斷的浮到上層，使得上層水溫比反而比下層冷，但因此時處於對流的過程，所以上下水溫溫差不大。(對流時，使上下水溫相近)

三、實驗四結果探討

（一） **觀察到的現象：**

三支放入 5℃冷水中的大試管(水溫約 15℃)，底部的紅墨水皆在 30 秒內快速上升，且上升路線皆在試管的中心處，為什麼?

我們的解釋：

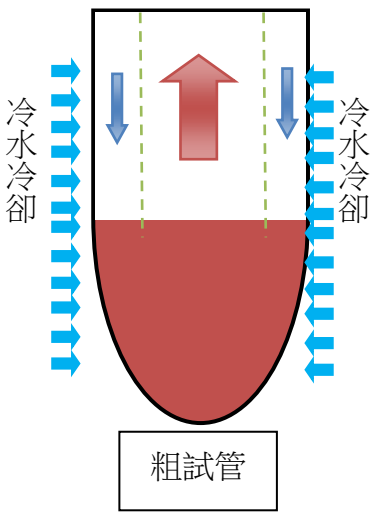
試管放在冷水中，因為接觸冷水的是試管壁，所以管壁附近的水降溫較快，密度快速變大，沿著管壁下沉入底部，所以底部的紅墨沿著試管中心上升。

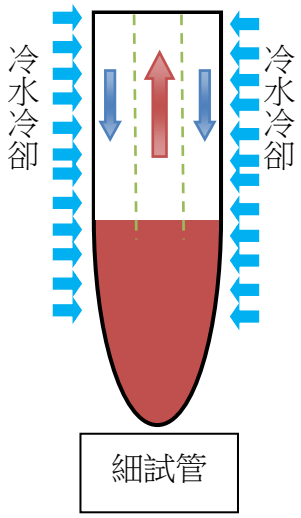
（二） **觀察到的現象：**

當我們使用不同粗細的試管時，發現粗試管底部的紅墨水幾乎全部都沿著試管中心上升，但細的試管卻只有一開始放入時有上升，最後還有部分會留在底部。且與粗試管的上升軌跡相較而言，細試管的上升的軌跡相對較細，為什麼?

我們的解釋：

粗試管內的水量較多，降溫時間相對較長，且試管中心與外圍的水溫較可能有溫差，粗試管中心的上升通道也較大，所以在管內的水溫達一致、對流停止前，紅墨水就完全上升了。而細試管的水量少，內外的溫差也小，上升通道也小，紅墨水上升較慢，當水溫達一致，停止對流時，紅墨水還未完全上升。





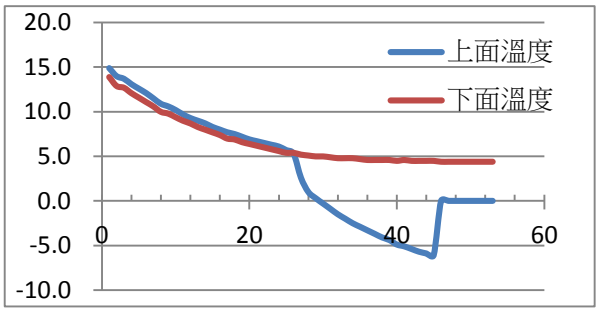
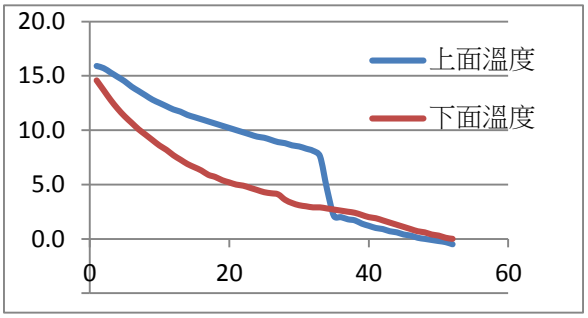
（三） **實驗四與實驗三的相關性：**

我們認為這個實驗可以佐證我們在實驗三中看到上層水溫度忽然快速下降現象，所做的推論：『**當上層熱水(約 6℃，密度大)下沉，下層接近瓶壁約 2℃的冷水(密度小)上升(如 13 頁右圖)，導致上層溫度計測得水溫快速下降。**』

陸、結論

一、若使用實驗室相關的設備測量水溫變化時的水體積或密度，要提高實驗的準確度，就要增加水的質量，但需注意水量大時，帶來的可能是各部位的溫度差異，為了減少這誤差 ，就要利用人工對流的方式，讓水中各部位儘量保持均溫，減少誤差。

二、兩種冷卻方式的比較

	上方冷卻	下方冷卻
溫度變化圖		
初期	對流發生，所以上下層溫度相近	對流不發生，上下層溫差變大
溫度發生突降	當下層水溫 4℃時， 對流停止 (因為密度最大的水在下層，上層的水因降溫，密度比較小) 造成： 上層水快速冷卻，下層水停止降溫(約 4℃) (由系統冷卻)	當下層水溫 2℃、上層水溫 6℃時， 對流發生 (因為下層水密度變小，上層水密度變大) 造成： 上層水快速冷卻，降至比下層略低的溫度 (因對流冷卻)
後期	下層水維持 4℃的恆溫狀態，上層水持續降溫，溫差變大。	上、下層水持續降溫，但溫度相近

三、雖然水溫對密度的改變不是非常大(水溫從 10℃降到 4℃，密度上升 0.0000239g/cm^3，改變幅度約 0.00239%)，但這一點點的差異所產生的對流是相當快速的，並不會因差異小而導致對流緩慢。

柒、參考資料及其他

1．水利署網站：水密度表

2．國中理化課本

【評語】030108

由上方及下方冷卻的測量裝置設計良好，解說也很清楚，對於異常現象可再進一步探討。

設計上可以跟教材結合，可以設計成教學實驗儀器。

可結合水的密度、溫度與對流的關係做為偵測水底溫度的方法，或加入鹽改變密度。