

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030102

「度」、「度」為營---密謀計

水的密度變化 VS 簡易溫度計的設計

學校名稱：桃園縣立慈文國民中學

作者： 國一 許孝謙 國一 江明騫	指導老師： 林孟忻
-------------------------	--------------

關鍵詞：(水)密度、浮力、伽利略溫度計

摘要

首先我們討論純水的溫度-密度關係，發現在 20~50°C 間溫度越大密度越小，並且近似於線性關係。再者，藉由討論**伽利略溫度計**的原理，嘗試利用周遭素材自製該溫度計。

然而，在這樣的溫度範圍之中，純水對於溫度相當不敏感，以至於利用純水製造伽利略溫度計有一定的難度，所以我們討論下列兩點：

1. 溫度標示球的設計。
2. 不同溶質的水溶液其溫度－密度關係。

由設計溫度標示球，我們發現伽利略溫度計若要靈敏，其密度必須極接近水溶液的密度，並且形狀必須盡量呈現下廣上窄。

而當我們測量不同物質其水溶液溫度－密度關係，我們分別比較食鹽水、尿素與酒精，經比較結果發現三個溶液的靈敏度分別為：**食鹽水溶液 > 尿素水溶液 > 酒精水溶液**，完全符合我們的推測。

壹、研究動機：

記得在國小時，老師和我們介紹各種溫度計：酒精溫度計、水銀溫度計、電子溫度計。當時，我們非常好奇其所包含的原理。上了國中之後，才接觸到自然與理化部分，得知酒精溫度計、水銀溫度計是靠熱膨脹，膨脹球內酒精、水銀即在細管中上昇至一定高度，再讀取度數。上網查資料時發現了利用密度改變而表現溫度的伽利略溫度計，由於我們對這兩種主題十分的有興趣，所以我們便研究這兩個部分，熱膨脹以及伽利略溫度計。

貳、研究目的與原理討論：

一、研究目的：

(一)尋找出水與空氣的密度變化在相同條件下有何不同？

(二)探討水在不同的溫度之下的膨脹率是否相同？

(三)探討不同溶質對水的密度改變是否有影響？

1.分別以 10%、20%、25%的食鹽水溶液探討密度的變化。

2.分別以 95%乙醇 30 毫升與 60 毫升加蒸餾水至 300 毫升，探討乙醇溶液的密度變化。

3.分別以 10%、20%、25%的尿素水溶液探討密度的變化。

(四)根據以上所討論的結果推測伽利略溫度計的製作原理與方法。

(五)利用週遭可得物品設計出簡易伽利略溫度計。

二、原理討論：

(一)物質的密度定義是單位體積(cm^3)下的質量(g)，即是：

$$\text{密度}(D) = \frac{\text{質量}(g)}{\text{體積}(\text{cm}^3)}$$

既然密度與體積有關，然而體積又會受溫度影響，因此密度當然也會受溫度影響。
(質量並不因溫度改變而改變)

(二)浮力的定義與計算：

物體在液體中的重量會減輕，因為液體給物體一個向上的作用力，稱為浮力。

換言之，浮力的大小就是物體所減輕的重量。

浮力的計算公式：

浮力（公克重）＝物體在液體或氣體中的體積（立方公分）×
液體或氣體的密度（公克重／立方公分或公克／
立方公分）。

即可表示為： $B = V \times d$

根據以上的公式，我們可以說浮力就是：

浮力 = 物體在液體或氣體中所排開的液體或氣體重

再者，物體的沉與浮，其實是與該物體本身的密度有關，而與其重量並沒有直接的關係。

換言之，只要該物質比流體(液體或是氣體)的密度大就會沉於流體中。反之，該物質比流體(液體或是氣體)的密度小就浮於流體上，假若兩者接近甚至相同，則該物質必可沉浮於該流體的任何一處中。

(三)雖然物質大都是熱漲冷縮，但水卻是在 0~4°C 之間會熱縮冷漲，在 0~4°C 之外，才會熱漲冷縮。設想其原因，極有可能是因為水本身具有氫鍵的關係。

如果這種推論正確，那麼如果破壞水分子的氫鍵應該可以加大水的膨脹率。

換言之，破壞水分子的氫鍵應該可以加大水的密度變化率。例如，可溶性的離子化合物氯化鈉等。

反之，如果加入的溶劑是會與水發生氫鍵，則密度變化應該介於是純水與食鹽水溶液之間，也就是體積膨脹百分比，會大於純水但小於食鹽水溶液。例如，尿素分子化合物等。

(四)氣體膨脹原理－查理·給呂薩克定律

即是氣體的體積與溫度關係

在定壓時，定量氣體的體積與絕對溫度(用 T 表示)成正比。

$$\text{即 } \frac{V}{T} = \text{常數} \quad \text{或} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

更深入的研究而求得氣體的膨脹率，其規則性如下：

在定壓定量時，任何理想氣體每上升 1°C 則體積增加其在 0°C 時的 1/273；或其在 10°C 時的 1/(273+10)此稱為**查理定律**。以數學式可表示為：

$$V_t = V_0 + \frac{V_0}{273.15} \times t = V_0 \left(1 + \frac{t}{273.15}\right) \quad \text{或}$$
$$V_t = V_{10} + \frac{V_{10}}{273.15 + 10} \times t = V_{10} \left(1 + \frac{t}{273.15 + 10}\right)$$

換言之，在任何溫度之下理想氣體每上升 1°C，其體積的**增加量**均相等，但溫度越低者其**膨脹率**卻越高。

參、研究器材：

器材部分：

- 一、三腳架、石棉心網、酒精燈、打火機。
- 二、鑽孔器、剪刀、美工刀、雙面膠、硬紙卡(20x5cm)三十張。
- 三、粗細玻璃管各四支(直徑分別為 0.58 公分與 0.28 公分)。
- 四、250 毫升錐形瓶四支。
- 五、試管：大(25x1.4cm)、中(20x1.4cm)、小(20x1.0cm)各五支。
- 六、適當大小橡膠塞各數個。
- 七、燒杯：大(1000ml)、中(500ml)、小(300ml)各三~五個。
- 八、滴管、玻棒、鑷子、刮杓各數支。
- 九、熱熔槍(含熱溶膠)、電子游標尺、電子磅秤各一支。
- 十、電子溫度計三支。
- 十一、塑膠 BB 彈一桶。
- 十二、5ml 與 10ml 玻璃瓶各 8 個。



藥品部分：

- 一、食鹽一包。
- 二、95%藥用酒精兩瓶。
- 三、試藥級尿素一瓶。
- 四、鐵粉、鋅粉、銅粉各一瓶。
- 五、紅、藍墨汁各一瓶。



肆、研究過程與方法：

一、尋找出水與空氣的密度變化在相同條件下有何不同？

實驗步驟：

(一)預備實驗－實驗儀器的設計

- 1.取兩個適當大小之橡膠塞，並利用鑽孔器，各鑽出兩個大小適當的孔洞。
(如圖 1 所示)
- 2.將粗細不同的玻璃管，分別插入橡膠塞內約 8 公分，再分別將兩支電子溫度計插入橡膠塞內約 8 公分。
- 3.最後，再以熱熔槍將玻璃管與電子溫度計，完全封住，並測試至完全密不透氣為止，此步驟非常重要，是影響所有實驗成功與否的主要關鍵之一。
(如圖 2 所示)

【註】：粗細不同的玻璃管，其直徑分別為 0.58 公分與 0.28 公分。(如圖 3 所示)



【圖 1】利用鑽孔器，鑽出兩個大小適當的孔洞



【圖 2】熱熔槍將玻璃管與電子溫度計完全封住



【圖 3】粗細不同的玻璃管的管徑

(二)控制變因實驗－實驗數據的收集

1.錐形瓶中無空氣－探討純水的密度變化與溫度的關係

- (1) 取約 300ml 蒸餾水，加入少許的藍色墨汁，使其易於觀察。
- (2) 加入錐形瓶中約 260ml，然後將(一)預備實驗－設置好的玻璃管與電子溫度計，輕輕壓入錐形瓶。
- (3) 步驟 2.須注意盡量避免空氣殘餘在錐形瓶中，以免影響實驗的準確性。
(如圖 4 所示)
- (4) 再以雙面膠將硬紙卡緊貼住玻璃管，以方便做實驗紀錄。(如圖 5 所示)
- (5) 觀察體積變化或是密度變化時，我們從經驗中得知，應該是先加熱到某高溫，再讓其降溫，紀錄體積下降量較為方便可行。
- (6) 每降一度以筆先做記號，再以游標尺量出高度並記錄。
(如圖 6a、6b 所示)
- (7) 分別觀測 21~30°C、31~40°C、41~50°C 等三個區間，每一區間溫度變化均做五次，求其平均值，以減少實驗誤差。(如圖 7a 示)

【註】：藍色墨汁僅需加入 1~2 滴即可，以免影響純水的性質太大。

2.錐形瓶中有空氣－探討氣體的密度變化與溫度的關係

(1)除僅在錐形瓶中加入約 230ml 藍色蒸餾水，留下約 30ml 的空氣柱。

(如圖 4 所示)

(2)其餘操作均與上述相同。

(3)要特別注意的是，空氣的膨脹量雖然可以利用有空氣(約 30ml)的總膨脹量減去無空氣的膨脹量求得，但所得之數據只是 30ml 空氣的膨脹量。



【圖 4】盡量避免空氣殘餘在錐形瓶中



【圖 5】以雙面膠將硬紙卡緊貼住玻璃管



【圖 6a】



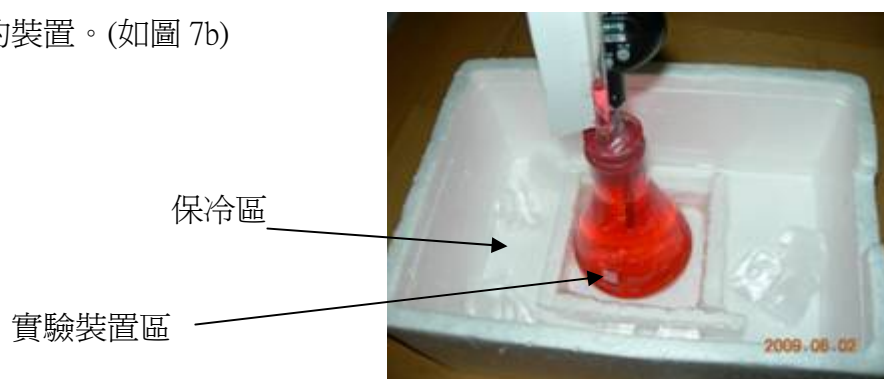
【圖 6b】

每降一度以筆先做記號



【圖 7a】以游標尺量出高度並記錄

(3)由於在低溫實驗中，環境溫度使其難以進行(溫度難以下降)，所以我們設置以下的裝置。(如圖 7b)



【圖 7b】保冷裝置

二、探討不同溶質對水的密度改變是否有影響？

實驗步驟

(一) 溶質種類：可溶性離子化合物－食鹽

1. 以食鹽分別配製成 10%、20%、25% 的水溶液。
2. 測量溫度區間選定在 31°C~40°C，探討體積與密度的變化。

【註】：1.食鹽在常溫下的飽和溶解度約在 30%，故最高濃度以 25% 測試實驗較為恰當。

2.由於在前一項一、的實驗中，我們已經得到初步的結論：

水在不同的溫度之下的膨脹率幾乎是相同的。因此，我們僅需測量某一固定溫度區間，即可得到相同的結果與結論。

(二) 溶質種類：揮發性共價分子化合物－乙醇(95%)

1. 分別以 95%乙醇 35 毫升、65 毫升與 95 毫升加蒸餾水至 300 毫升，配製成接近 10%、20%、25%的水溶液。
2. 測量溫度區間選定在 31°C~40°C，探討體積與密度的變化。

(三) 溶質種類：可溶性共價分子固體化合物－尿素

3. 以尿素分別配製成 10%、20%、25%的水溶液。
4. 測量溫度區間選定在 31°C~40°C，探討體積與密度的變化。

三、利用週遭可得物品設計出簡易伽利略溫度計

(一) 首先，我們根據前兩項實驗所討論的結果(見陸、討論之四、五兩項)，推測伽利略溫度計的製作原理與方法如下：

1.水溶液部份：

理論上盡量採用密度隨溫度成規則性且變化大的溶液，因此我們認為採用可溶性離子化合物－食鹽的水溶液最為方便。原因待五、研究結果以及六、討論再做詳述。

2.沉浮標示物部份：

理論上應該選取或製作與純水或水溶液密度接近的沉浮示物，所以大致上可分成以下兩類：

(1)測試週遭可取得物品：

①小型中空金屬鋁管(外圍與內圈直徑各約 0.4；0.3 公分)(如圖 8 所示)

剪成適當大小，將中空部分加大，以便降低密度，已知鋁的密度為 2.7 克/立方公分(g/cm^3)，因此大約要將鋁的體積增大近三倍，再以熱熔膠將兩端封住調整重量與密度。

②市售小玻璃瓶，約 5 cc與 10 cc大小。

直接在小玻璃瓶中加入有色墨水溶液，利用針筒增減以調整重量與密度。(如圖 9 所示)



【圖 8】小型中空金屬鋁管



【圖 9】利用針筒直接在小玻璃瓶中
加入有色墨水溶液

③市售塑膠小 B.B.彈。

步驟 1.準備約 15°C 與 40°C 的兩杯溫度不同的蒸餾水或食鹽水。

步驟 2.將約 20 顆小 B.B.彈倒入 15°C 的蒸餾水或食鹽水中，將可以浮在蒸餾水或食鹽水上的小 B.B.彈以鑷子，夾起後改放入 40°C 的蒸餾水或食鹽水中。

步驟 3.待約十秒溫度平衡後，再以鑷子夾出沉入杯底的小 B.B.彈。

(如圖 10a、10b 所示)

【註】：盡量避免以手或其他不潔物接觸到溶液，以免影響密度的穩定。

步驟 4.保留這些密度接近 1(以蒸餾水測試)的小 B.B.彈，並再以冷熱不同的溫度，找尋出可以在各區間溫度穩定浮在中間的各小 B.B.彈。

步驟 5.將步驟 4.的小 B.B.彈著色或標號分開保存，待數量足夠後放入蒸餾水或食鹽水中，即可做成簡易型的伽利略溫度計。(如圖 11a、11b 所示)



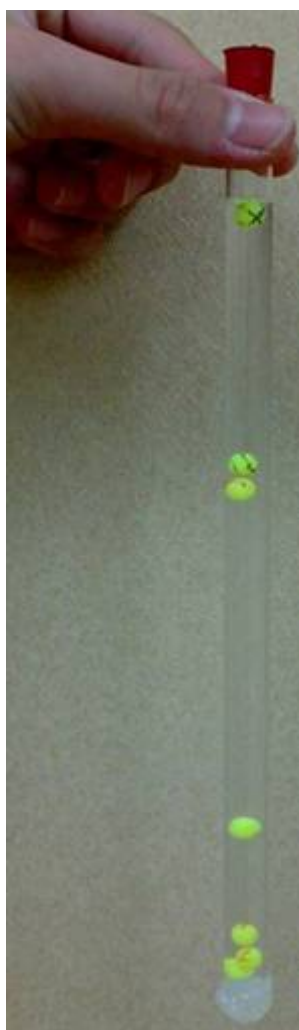
【圖 10a】可以浮在 15°C 蒸餾水或食鹽水上的小 B.B.彈



【圖 10b】溫度平衡後，再以鑷子夾出沉入 40°C 杯底小 B.B.彈



【圖 11a】將小 B.B.彈著色或標號分開保存



B.B.彈試管純水型



B.B.彈玻璃管食鹽水型

【圖 11b】

(2)根據理論自行動手製作沉浮標示物：

首先，調製不同溫度的蒸餾水或其他水溶液，做為測試沉浮標示物之用。

①直接利用快速膠水將銅粉黏著於小 B.B.彈上，以便調整至適當的密度，使

其在特定的溫度中可以浮在所選定的溶液之中。

其餘步驟同上步驟 3.~步驟 5.。(圖 12a 所示)

【註】：選擇銅粉均比選用鐵粉或鋅粉來的穩定。因為後兩者會生鏽，進而影響密度的穩定。

②利用銅片或是鉛片，直接以熱熔膠將其封住做成混合物狀，再利用增減熱熔膠的量，調製出適當密度的沉浮標示物。(如圖 12b 所示)



【圖 12a】 利用快速膠水將銅粉黏著於小 B.B.彈上



【圖 12b】

(3)改良市售小玻璃瓶製作大型沉浮標示物：

由於市售小玻璃瓶所附帶的軟木塞塞子，很容易吸收水份而造成整體密度無法固定。因此我們利用橡膠塞子自製成大小適中且不吸水的塞子(如圖 13a、b 所示)，一舉解決了密度無法固定的問題，同時在於瓶中置入金屬粉或是有色液體，再做適當的調節，便可得相當準確的自製伽利略溫度計標示物。(如圖 13c、d 所示)。將做完成的自製伽利略溫度計標示物放入試管中。(如圖 13e 所示)。



【圖 13a】 製作自製塞子



【圖 13b】 完成自製塞子



【圖 13c】放入金屬



【圖 13d】完成之標示物



【圖 13e】完成之溫度計

(4)將鋁片剪成有針狀的牌子，並將指示牌插入橡皮塞(如圖 13f)溫度標示於金屬片上。即完成另一種伽利略溫度計的標示物(如圖 13g)。



【圖 13f】將指示牌插入橡皮塞



【圖 13g】伽利略溫度計的標示物

伍、研究結果：

一、尋找出水與空氣的密度或體積變化在相同條件下有何不同？

分別觀測 21~30°C、31~40°C、41~50°C 等三個區間，每一區間溫度變化均做五次，求其平均值，以減少實驗誤差。

(一)首先以 31~40°C 區間溫度作為探討基礎，21~30°C 與 41~50°C 等兩個區間，僅列出細管 31~40°C 無空氣的數據，其餘則以平均總表格，做一整體分析，以免造成數據數量過於龐大。

1. 錐形瓶中僅有純水但無空氣，且以直徑為 0.28 公分的細玻璃管做為測量依據，測量溫度為 31~40°C 分別做五次，所得數據如下：

表 1：H₂O 細管 (直徑 0.28) 無空氣 cm³ pi:3.14

第一次

溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	密度
start 31C	0	0	0	260.000	260	1.00000
31.0~32.0	1.400	1.400	0.086	260.086	260	0.99967
32.0~33.0	2.700	1.300	0.080	260.166	260	0.99937
33.0~34.0	3.670	0.970	0.059	260.225	260	0.99914
34.0~35.0	4.870	1.200	0.070	260.295	260	0.99887
35.0~36.0	5.810	0.940	0.057	260.352	260	0.99865
36.0~37.0	6.810	1.000	0.0610	260.413	260	0.99841
37.0~38.0	8.210	1.400	0.086	260.499	260	0.99808
38.0~39.0	9.510	1.300	0.080	260.579	260	0.99778

第二次

溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	密度
start 31C	0	0	0	260.000	260	1.00000
31.0~32.0	1.300	1.300	0.080	260.080	260	0.99969
32.0~33.0	2.500	1.200	0.070	260.150	260	0.99942
33.0-34.0	3.460	0.960	0.050	260.200	260	0.99923
34.0-35.0	4.660	1.200	0.070	260.270	260	0.99896
35.0-36.0	5.760	1.100	0.067	260.337	260	0.99871
36.0-37.0	7.060	1.300	0.080	260.417	260	0.99840
37.0-38.0	8.260	1.200	0.070	260.487	260	0.99813
38.0-39.0	9.560	1.300	0.080	260.567	260	0.99782

第三次

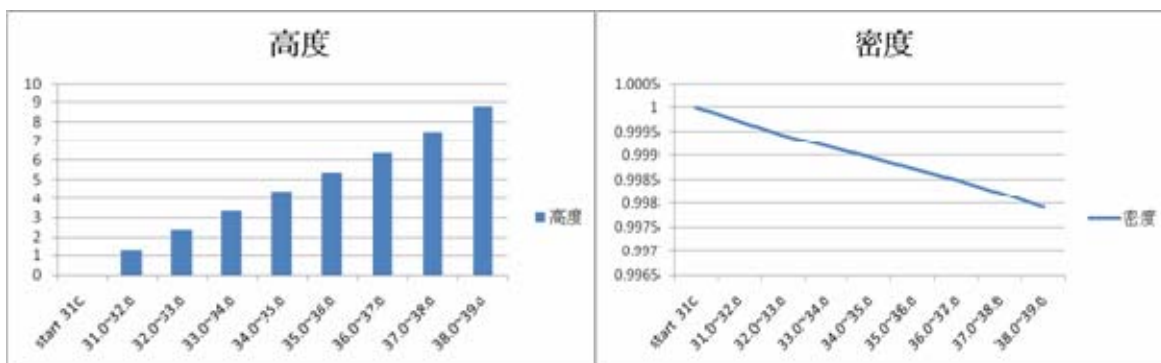
溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	密度
start 31C	0	0	0	260.000	260	1.00000

31.0~32.0	1.100	1.100	0.067	260.067	260	0.99955
32.0~33.0	2.400	1.300	0.080	260.147	260	0.99922
33.0~34.0	3.800	1.400	0.086	260.233	260	0.99891
34.0~35.0	4.960	1.160	0.071	260.304	260	0.99864
35.0~36.0	5.920	0.960	0.059	260.363	260	0.99833
36.0~37.0	6.920	1.000	0.061	260.424	260	0.99801
37.0~38.0	8.120	1.200	0.070	260.494	260	0.99763
38.0~39.0	9.420	1.300	0.080	260.574	260	0.99735
第四次						
溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	密度
start 31C	0	0	0	260.000	260	1.00000
31.0~32.0	1.100	1.100	0.067	260.067	260	0.99973
32.0~33.0	2.184	1.084	0.066	260.134	260	0.99948
33.0~34.0	3.175	0.991	0.060	260.195	260	0.99924
34.0~35.0	4.048	0.873	0.053	260.249	260	0.99904
35.0~36.0	5.123	1.105	0.068	260.317	260	0.99878
36.0~37.0	6.123	0.970	0.059	260.376	260	0.99855
37.0~38.0	7.008	0.885	0.054	260.431	260	0.99834
第五次						
溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	密度
start 31C	0	0	0	260.000	260	1.00000
31.0~32.0	1.276	1.276	0.078	260.078	260	0.99969
32.0~33.0	2.227	0.951	0.058	260.137	260	0.99947
33.0~34.0	3.099	0.872	0.053	260.190	260	0.99926
34.0~35.0	4.028	0.929	0.057	260.247	260	0.99904
35.0~36.0	4.919	0.891	0.054	260.302	260	0.99883
36.0~37.0	5.749	0.830	0.051	260.353	260	0.99864
37.0~38.0	6.686	0.937	0.057	260.411	260	0.99841

(2) 將以上五次的實驗數據以同一溫度範圍之高度差平均，剩下的由演算得知並得到下表。

溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	溫度	密度
start 31C	0	0	0	260.000	260	start 31C	1
31.0~32.0	1.235	1.235	0.076	260.076	260	31.0~32.0	0.99970
32.0~33.0	2.382	1.147	0.070	260.146	260	32.0~33.0	0.99943
33.0~34.0	3.526	1.144	0.070	260.217	260	33.0~34.0	0.99916
34.0~35.0	4.738	1.212	0.074	260.291	260	34.0~35.0	0.99888
35.0~36.0	5.880	1.142	0.070	260.361	260	35.0~36.0	0.99861

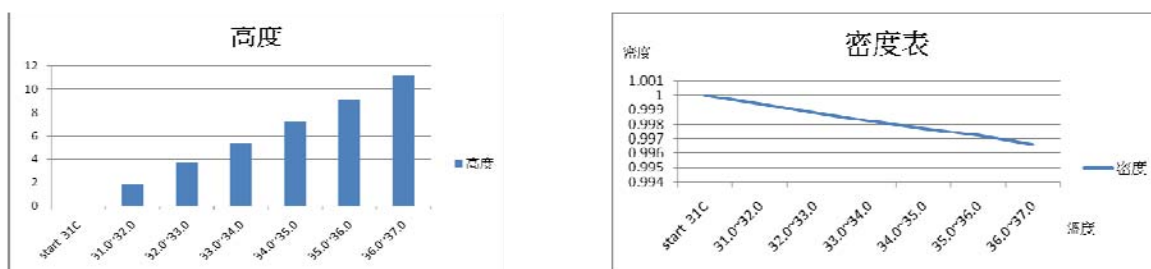
36.0~37.0	7.100	1.220	0.075	260.436	260	36.0~37.0	0.99832
37.0~38.0	8.224	1.124	0.069	260.506	260	37.0~38.0	0.99805
38.0~39.0	9.524	1.300	0.080	260.586	260	38.0~39.0	0.99775
平均值			0.0732				



2 錐形瓶中有純水約 230ml 與空氣 30ml，仍以直徑為 0.28 公分的細玻璃管做為測量依據，分別做五次，並將數據平均得下表：

表 2：H₂O 細管(直徑 0.28)有空氣 cm³ pi:3.14

溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	溫度	密度
start 31C	0	0	0	229.000	229	start 31C	1.00000
31.0~32.0	1.830	1.830	0.112	229.112	229	31.0~32.0	0.99950
32.0~33.0	3.723	1.893	0.116	229.229	229	32.0~33.0	0.99900
33.0~34.0	5.418	1.695	0.104	229.333	229	33.0~34.0	0.99854
34.0~35.0	7.292	1.874	0.115	229.448	229	34.0~35.0	0.99804
35.0~36.0	9.161	1.869	0.115	229.563	229	35.0~36.0	0.99754
36.0~37.0	11.146	1.985	0.122	229.686	229	36.0~37.0	0.99701
平均值			0.1143				

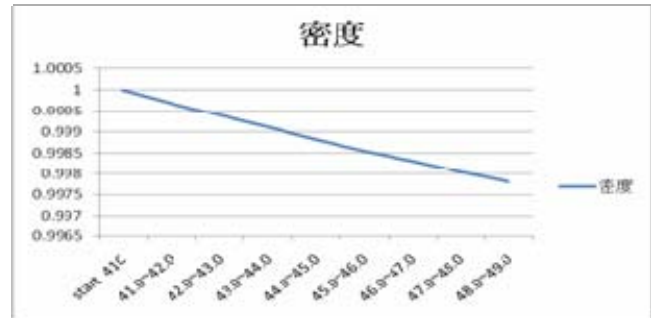
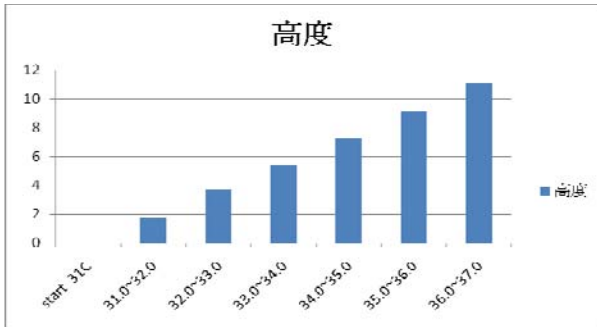


3. 錐形瓶中僅有純水但無空氣，且以直徑為 0.28 公分的細玻璃管做為測量依據，測量溫度為 41~46℃ 分別做五次，並將數據平均得下表：

表 3：H₂O 細管 無空氣 測量溫度為 41~46℃

溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	溫度	密度
start 41C	0	0	0	270.000	270	start 41C	1.00000

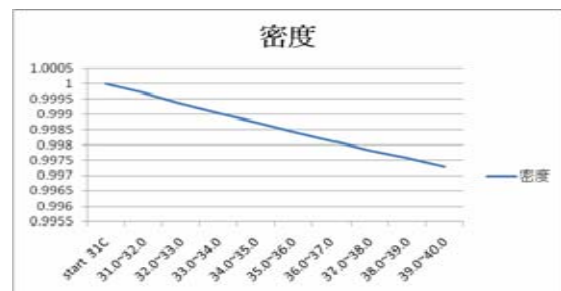
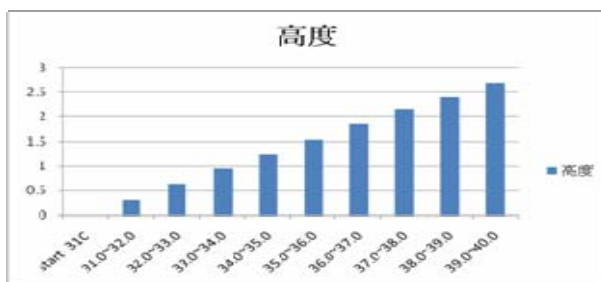
41.0~42.0	1.392	1.392	0.085	270.085	270	41.0~42.0	0.99968
42.0~43.0	2.639	1.247	0.076	270.162	270	42.0~43.0	0.99939
43.0~44.0	3.924	1.285	0.079	270.241	270	43.0~44.0	0.99910
44.0~45.0	5.194	1.270	0.078	270.319	270	44.0~45.0	0.99881
45.0~46.0	6.413	1.219	0.075	270.394	270	45.0~46.0	0.99854
46.0~47.0	7.471	1.058	0.065	270.459	270	46.0~47.0	0.99830
47.0~48.0	8.631	1.160	0.071	270.531	270	47.0~48.0	0.99803
48.0~49.0	9.653	1.022	0.062	270.594	270	48.0~49.0	0.99780
平均值			0.0742				



4. 錐形瓶中僅有純水無空氣，改以直徑為 0.58 公分的粗玻璃管做為測量依據，分別做五次，並將數據平均得下表：

表 4: H₂O 粗管 無空氣

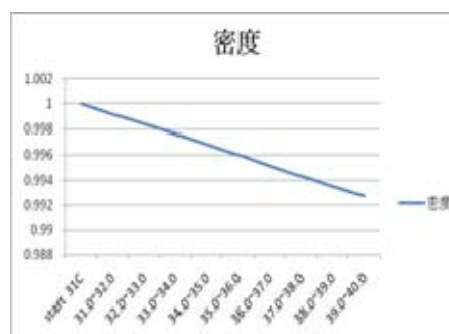
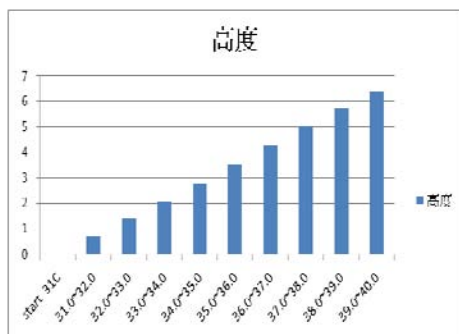
溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	溫度	密度
start 31C	0	0	0	257.000	257	start 31C	1
31.0~32.0	0.297	0.297	0.077	257.077	257	31.0~32.0	0.99969
32.0~33.0	0.633	0.336	0.087	257.165	257	32.0~33.0	0.99935
33.0~34.0	0.953	0.320	0.083	257.248	257	33.0~34.0	0.99903
34.0~35.0	1.239	0.285	0.074	257.323	257	34.0~35.0	0.99874
35.0~36.0	1.540	0.301	0.078	257.401	257	35.0~36.0	0.99844
36.0~37.0	1.842	0.301	0.078	257.480	257	36.0~37.0	0.99813
37.0~38.0	2.144	0.302	0.078	257.559	257	37.0~38.0	0.99782
38.0~39.0	2.398	0.253	0.066	257.625	257	38.0~39.0	0.99757
39.0~40.0	2.686	0.287	0.075	257.700	257	39.0~40.0	0.99728
平均值			0.0778				



5. 錐形瓶中有純水約 230ml 與空氣 30ml，仍改以直徑為 0.58 公分的粗玻璃管
做為測量依據，分別做五次，並將數據平均得下表：

表 5：H₂O 粗管 有空氣

溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	溫度	密度
start 31C	0	0	0	229.000	229	start 31C	1.00000
31.0~32.0	0.705	0.705	0.183	229.183	229	31.0~32.0	0.99919
32.0~33.0	1.404	0.699	0.182	229.366	229	32.0~33.0	0.99840
33.0~34.0	2.057	0.653	0.170	229.536	229	33.0~34.0	0.99766
34.0~35.0	2.757	0.700	0.182	229.718	229	34.0~35.0	0.99687
35.0~36.0	3.525	0.768	0.200	229.919	229	35.0~36.0	0.99607
36.0~37.0	4.286	0.761	0.198	230.117	229	36.0~37.0	0.99514
37.0~38.0	5.022	0.736	0.191	230.309	229	37.0~38.0	0.99431
38.0~39.0	5.728	0.706	0.184	230.493	229	38.0~39.0	0.99354
39.0~40.0	6.402	0.674	0.175	230.669	229	39.0~40.0	0.99276
平均值			0.1854				



二、探討不同溶質對水的密度改變是否有影響？

(1) 分別以 10%、20%、25% 的食鹽水溶液探討密度的變化。分別做五次，並將數據平均得下表：

表 6：NaCl 10% 細管 無空氣

溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	溫度	密度
start 41C	0	0	0	265	283.02	start 41C	1.06800
41.0~42.0	1.560	1.728	0.106	265.106	283.02	41.0~42.0	1.06757
42.0~43.0	3.345	1.762	0.108	265.214	283.02	42.0~43.0	1.06713
43.0~44.0	5.155	1.936	0.119	265.333	283.02	43.0~44.0	1.06665
44.0~45.0	6.925	1.869	0.115	265.448	283.02	44.0~45.0	1.06619
45.0~46.0	8.725	1.838	0.113	265.562	283.02	45.0~46.0	1.06573
46.0~47.0	10.275	1.812	0.111	265.673	283.02	46.0~47.0	1.06529

47.0~48.0	11.750	1.475	0.090	265.764	283.02	47.0~48.0	1.06492
48.0~49.0	13.090	1.340	0.082	265.846	283.02	48.0~49.0	1.06459
49.0~50.0	14.595	1.505	0.092	265.939	283.02	49.0~50.0	1.06422
平均值			0.1043				

表 7: NaCl 20% 細管 無空氣

溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	溫度	密度
start 41.0	0	0	0	259	288.3188	Start 41.0	1.11320
41.0~42.0	2.110	2.110	0.129	259.129	288.3188	41.0~42.0	1.11264
42.0~43.0	4.156	2.046	0.125	259.255	288.3188	42.0~43.0	1.11210
43.0~44.0	6.179	2.023	0.124	259.380	288.3188	43.0~44.0	1.11156
44.0~45.0	8.191	2.012	0.123	259.504	288.3188	44.0~45.0	1.11103
45.0~46.0	10.210	2.024	0.124	259.628	288.3188	45.0~46.0	1.11050
46.0~47.0	12.170	1.956	0.120	259.749	288.3188	46.0~47.0	1.10998
47.0~48.0	14.100	1.929	0.118	259.867	288.3188	47.0~48.0	1.10948
48.0~49.0	15.958	1.858	0.114	259.982	288.3188	48.0~49.0	1.10899
49.0~50.0	17.884	1.926	0.118	260.100	288.3188	49.0~50.0	1.10848
平均值			0.1222				

表 8: NaCl 25% 細管 無空氣

溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	溫度	密度
start 41.0	0	0	0	261.5	304.2814	start 41.0	1.16360
41.0~42.0	2.121	2.121	0.130	261.630	304.2814	41.0~42.0	1.16301
42.0~43.0	4.228	2.107	0.129	261.760	304.2814	42.0~43.0	1.16244
43.0~44.0	6.375	2.147	0.132	261.892	304.2814	43.0~44.0	1.16185
44.0~45.0	8.375	2.000	0.123	262.015	304.2814	44.0~45.0	1.16131
平均值			0.1288				

(2)分別以 95%乙醇 30 毫升、60 毫升與 90 毫升加蒸餾水至 300 毫升，探討乙醇溶液的密度變化。分別做五次，並將數據平均得下表：

表 9: 乙醇 10% 細管 無空氣

溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	溫度	密度
start 31C	0	0	0	264.522	256.202	Start 31C	0.96854
31.0~32.0	1.006	1.006	0.061	264.583	256.202	31.0~32.0	0.96832
32.0~33.0	1.938	0.932	0.057	264.641	256.202	32.0~33.0	0.96811
33.0~34.0	2.835	0.897	0.055	264.696	256.202	33.0~34.0	0.96790
34.0~35.0	3.855	1.020	0.062	264.759	256.202	34.0~35.0	0.96767
35.0~36.0	4.879	1.024	0.063	264.822	256.202	35.0~36.0	0.96744
36.0~37.0	6.001	1.122	0.069	264.891	256.202	36.0~37.0	0.96719

37.0~38.0	7.022	1.021	0.062	264.954	256.202	37.0~38.0	0.96696
38.0~39.0	8.115	1.093	0.067	265.021	256.202	38.0~39.0	0.96672
39.0~40.0	9.125	1.010	0.062	265.083	256.202	39.0~40.0	0.96649
40.0~41.0	10.238	1.113	0.068	265.152	256.202	40.0~41.0	0.96624
41.0~42.0	11.279	1.041	0.064	265.216	256.202	41.0~42.0	0.96601
42.0~43.0	12.290	1.011	0.062	265.278	256.202	42.0~43.0	0.96578
43.0~44.0	13.208	0.918	0.056	265.334	256.202	43.0~44.0	0.96557
44.0~45.0	14.018	0.810	0.049	265.384	256.202	44.0~45.0	0.96539
平均值			0.0613				

表 10：乙醇 20% 細管 無空氣

溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	溫度	密度
start 35.0	0	0	0	256.574	247.234	start 35.0	0.96359
35.0~36.0	1.443	1.443	0.088	256.662	247.234	35.0~36.0	0.96326
36.0~37.0	2.948	1.505	0.092	256.755	247.234	36.0~37.0	0.96291
37.0~38.0	4.473	1.525	0.093	256.849	247.234	37.0~38.0	0.96256
38.0~39.0	6.025	1.552	0.095	256.944	247.234	38.0~39.0	0.96220
39.0~40.0	7.564	1.539	0.094	257.039	247.234	39.0~40.0	0.96185
40.0~41.0	9.083	1.519	0.093	257.133	247.234	40.0~41.0	0.96150
41.0~42.0	10.560	1.477	0.090	257.224	247.234	41.0~42.0	0.96116
42.0~43.0	12.085	1.525	0.093	257.317	247.234	42.0~43.0	0.96081
43.0~44.0	13.371	1.286	0.079	257.397	247.234	43.0~44.0	0.96051
平均值			0.0914				

表 11：乙醇 25% 細管 無空氣

溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	溫度	密度
start 34.0	0	0	0	261.500	248.7388	start 34.0	0.95120
34.0~35.0	2.017	2.017	0.124	261.624	248.7388	34.0~35.0	0.95074
35.0~36.0	3.916	1.899	0.116	261.741	248.7388	35.0~36.0	0.95032
36.0~37.0	6.096	2.180	0.134	261.875	248.7388	36.0~37.0	0.94983
37.0~38.0	8.035	1.939	0.119	261.994	248.7388	37.0~38.0	0.94940
38.0~39.0	10.038	2.003	0.123	262.117	248.7388	38.0~39.0	0.94895
39.0~40.0	11.978	1.940	0.119	262.237	248.7388	39.0~40.0	0.94852
40.0~41.0	13.882	1.904	0.117	262.354	248.7388	40.0~41.0	0.94810
41.0~42.0	15.742	1.860	0.114	262.468	248.7388	41.0~42.0	0.94768
平均值			0.1211				

(3)分別以 10%、20%、25%的尿素水溶液探討密度的變化。分別做五次，並將數據平均得下表：

表 12：尿素 10% 細管 無空氣

溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	溫度	密度
start 35.0	0	0	0	260.500	263.105	start 35.0	1.01000
35.0~36.0	1.380	1.380	0.084	260.584	263.105	35.0~36.0	1.00967
36.0~37.0	2.817	1.437	0.088	260.673	263.105	36.0~37.0	1.00932
37.0~38.0	4.199	1.382	0.085	260.758	263.105	37.0~38.0	1.00899
38.0~39.0	5.697	1.498	0.092	260.850	263.105	38.0~39.0	1.00864
39.0~40.0	7.274	1.577	0.097	260.947	263.105	39.0~40.0	1.00826
40.0~41.0	8.908	1.634	0.100	261.048	263.105	40.0~41.0	1.00787
41.0~42.0	10.289	1.381	0.084	261.133	263.105	41.0~42.0	1.00755
42.0~43.0	11.633	1.344	0.082	261.215	263.105	42.0~43.0	1.00723
43.0~44.0	13.048	1.415	0.087	261.303	263.105	43.0~44.0	1.00689
平均值			0.0892				

表 13：尿素 20% 細管 無空氣

溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	溫度	密度
start 40.0	0	0	0	260	268.32	start 40.0	1.03200
40.0~41.0	1.865	1.865	0.114	260.114	268.32	40.0~41.0	1.03154
41.0~42.0	3.881	2.016	0.124	260.238	268.32	41.0~42.0	1.03105
42.0~43.0	5.824	1.943	0.119	260.358	268.32	42.0~43.0	1.03057
43.0~44.0	7.825	2.001	0.123	260.481	268.32	43.0~44.0	1.03009
44.0~45.0	9.808	1.983	0.122	260.603	268.32	44.0~45.0	1.02961
45.0~46.0	12.118	2.310	0.142	260.745	268.32	45.0~46.0	1.02904
46.0~47.0	14.133	2.015	0.124	260.869	268.32	46.0~47.0	1.02855
平均值			0.1242				

表 14：尿素 25% 細管 無空氣

溫度	高度	高度差	膨脹體積	體積	質量	溫度	密度
start 41.0	0	0	0	258.000	271.416	start 41.0	1.05200
41.0~42.0	1.967	1.967	0.121	258.121	271.416	41.0~42.0	1.05150
42.0~43.0	3.934	1.967	0.121	258.242	271.416	42.0~43.0	1.05101
43.0~44.0	6.082	2.148	0.132	258.374	271.416	43.0~44.0	1.050476
44.0~45.0	8.284	2.202	0.135	258.509	271.416	44.0~45.0	1.049925
平均值			0.1274				

陸、討論

一、尋找出水與空氣的密度變化在相同條件下有何不同？

由於實驗數十分龐大，我們為了方便討論，將三個溫度區間，兩種管徑的玻璃管，無空氣之下純水膨脹與有空氣約 30 毫升的總膨脹量。歸納整理成以下的總表。

表 15：三個溫度區間之水與空氣體積與密度變化歸納整理

溫度範圍	21.0~31.0C		31.0~40.0C		41.0~50.0C	
	每上升 1°C 體積平均 增加量 ΔV	每上升 1°C 體積密度 下降量 ΔD	每上升 1°C 體積平均 增加量 ΔV	每上升 1°C 體積密度 下降量 ΔD	每上升 1°C 體積平均 增加量 ΔV	每上升 1°C 體積密度 下降量 ΔD
細管 無空氣	0.07152(a1)	0.00027(a2)	0.07362(a3)	0.00028(a4)	0.07426(a5)	0.00027(a6)
空氣膨脹	0.02330(b1)	✘	0.04106(b3)	✘	0.06826(b5)	✘
粗管 無空氣	0.05562(c1)	0.00021(c2)	0.07781(c3)	0.00030(c4)	0.08219(c5)	0.00031(c6)
空氣膨脹	0.06036(d1)	✘	0.10765(d3)	✘	0.13827(d5)	✘

【說明】：①0.07362cm³(a3)即是五、研究結果中表一總平均表格之膨脹體積的總平均。

②0.04106(b3)則是五、研究結果中表二總平均表格之膨脹體積的總平均扣除掉 0.07362(a3)。

(一)氣體或液體對溫度的膨脹敏感度何者較高？

1.乍看之下，在細管的實驗中空氣膨脹量(b3)似乎小於水的膨脹量(a3)，實際上若是換算成膨脹率，則可以發現每上升一度 C **空氣膨脹率**為 (0.04106÷30=0.0013=0.13%)，仍然大於每上升一度 C **純水的膨脹**(0.07362÷260=0.000283=0.028%)。

換言之，整體而言是**空氣膨脹率**在任何相同的情形下，均**大於液體膨脹率**。

【註】：**膨脹率=體積總膨脹量(ΔV)÷原有體積(V)**

2.我們同時發現一個有趣的現象，那就是使用粗管所測得的液體膨脹量與細管所測得的**液體膨脹量**，幾乎相差無幾，如：

a3 與 c3 相近；a5 與 c5 相近，a1 與 c1 相近，留待下面討論。

3.不過相較於液體膨脹量，對於**氣體膨脹量**而言，卻都是粗管所測得的較大，如：d1 大於 b1；d3 大於 b3；d5 大於 b5，無一例外。推測其原因極可能是因為細管的截面積較小，造成水柱所產生高度較大(見表一與表四的高度數據)，因此使得細管的水壓較大而造成空氣被壓縮，進而形成體積膨脹量較小。

二、探討水與空氣在不同的溫度之下的膨脹率是否相同？

(一)根據表 15 中的 a1、a3、a5、c1、c3、c5，等五個平均數字均非常相近可以得知，水的膨脹率似乎不受溫度影響而保持固定。

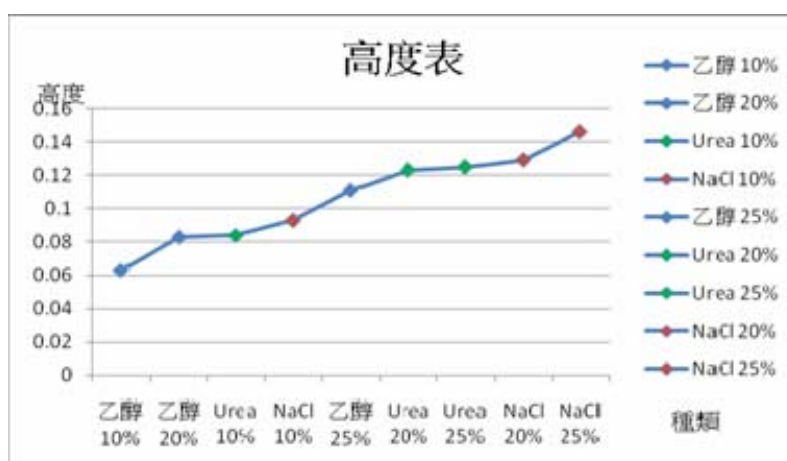
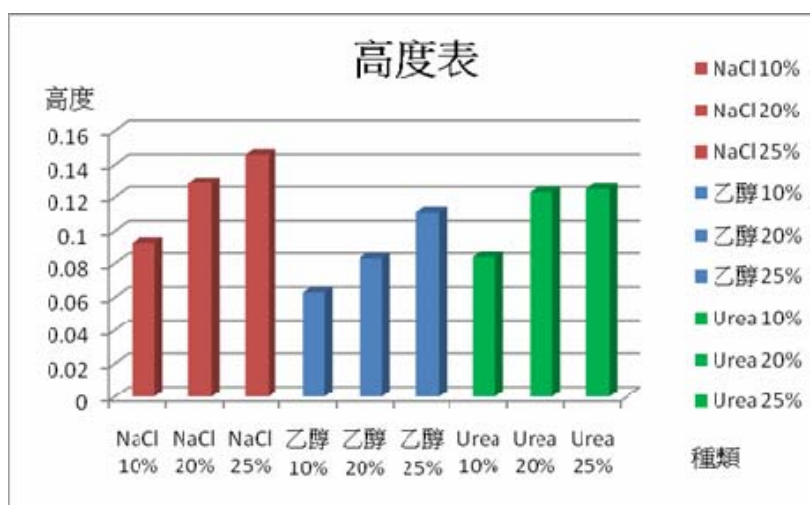
(二)但根據表 15 中的 b1、b3、b5 與 d1、d3、d5，卻均呈現隨溫度而遞增的趨勢。由此可以得知，空氣的膨脹率會受溫度影響而呈現出某一種正比關係。

三、相同溶質不同濃度對水的密度改變是否相同？

分別以食鹽、乙醇、尿素等三種水溶液，分別配製成重量百分率濃度(w%)各約為 10%、20%、25%。結果由表 6~表 14 中得知，三種水溶液的體積膨脹量均隨著濃度的增加而增加，也就是說濃度越高，則密度隨著溫度每升高 1℃，下降得越大。

四、不同溶質在相同的濃度之下對水的密度改變是否相同？

重量百分率濃度(w%)為無論是 10%、20%、25%之下，只要三者濃度保持相同，則水溶液的體積每升高 1℃的膨脹量大小均是：**食鹽溶液 > 尿素溶液 > 乙醇溶液**



【圖 15】食鹽、乙醇、尿素等三種水溶液的體積膨脹量變化圖

五、探究討論第四項結果:膨脹量大小均是：食鹽溶液>尿素溶液>乙醇溶液的原因。

- 1.首先我們得知水分子的膨脹，與他本身的氫鍵結構有關，換言之，氫鍵的數量越多則分子間的引力將會越大，因此將造成水分子較難膨脹。
- 2.水分子中若是加入可溶性的食鹽，則因為食鹽會與水分子形成水合離子而溶解在水中。然而，當水分子與食鹽形成越多的水合離子時，它本身的氫鍵便被破壞越多，如此一來，便因氫鍵的數量減少而造成食鹽水溶液中的水分子間的引力越小，水分子便較易膨脹了。
- 3.至於**尿素溶液大於乙醇溶液**的體積膨脹量，則主要原因根據實驗觀察與理論推測，應是前者可與水分子形成氫鍵的數量(三個氫鍵方向)大於後者(一個氫鍵方向)。另一原因則是前者的分子大小也比後者大許多。所以前者造成水溶液中的水分子與水分子間的引力減少較多，當然體積膨脹量便較後者大了。

六、根據以上所討論的結果推測伽利略溫度計的製作原理與方法。

詳見肆、研究過程與方法之第二~三項。

柒、結論

從一開始我們對於市售的伽利略溫度計的好奇，想尋求其中的原因，便開始投入這一趟漫長的物理熱膨脹與浮力理論探討之旅，過程中我們找尋國中課程中有關以上兩項的資料，發現到在國中課程中的熱與溫度一章中，有提到利用水的熱膨脹可以做出簡易的溫度計，然而在這個實驗中，幾乎所有的版本都沒提到以下幾項我們心中的疑問，那就是：

- 1.錐形瓶中若有空氣存在時，是否仍可以做為溫度計，甚至是效果會更理想？
- 2.假如我們不是使用純蒸餾水，而改加入不同溶質，甚至不同濃度時情形又會是如何？

然而，就在我們設計實驗探究以上兩個議題時，我們同時也想到，何不將起初對伽利略溫度計的好奇一併做結合，除了可以尋找出伽利略溫度計，內部液體可能是甚麼物質之外，我們還可以利用浮力理論親手設計出屬於我們自己的伽利略溫度計。

我們非常高興的是，我們不僅徹底的解決我們心中的兩大疑問，同時也確確實實的在老師的指導之下，花了約四個月的時間，獨自創新的設計出，不同於一般的伽利略溫度計，更難能可貴的是，我們親手 DIY 所做的伽利略溫度計，都是周邊垂手可得的物品，此外精準度，甚至比市售的伽利略溫度計還要好上一倍，因市售伽利略溫度計為 2°C 一格，我們的自製伽利略溫度計，則至少可以精準到 1°C 。

唯一遺憾是由於時間上的限制，我們其實還想到一個更有創意且更精準的設計溫度計的理論與方法，也就是，我們從實驗得知，氣體的膨脹率大於液體膨脹率，只是它並非如水溶液一般的是氣體的膨脹率似乎是與溫度有關，而非保持近似的固定值，不過，理論上應該還是可以利用氣體對溫度的膨脹敏感度較高的原理，設計出一個比伽利略溫度計更敏感、更精準的溫度計才對。

我們很希望能夠有機會再根據目前的基礎，繼續研究創新，期盼能夠在未來提出一套有關自製各式伽利略溫度計或氣體溫度計的理論基礎與標準製作流程，讓我們能夠將科學理論生活化。

捌、參考資料及其他

- (1)國中理化第一、二冊(康軒出版、南一出版、翰林出版)
- (2)觀念物理 第三冊 (天下文化)
- (3)師範大學物理系 [物理教學示範實驗教室網站](#) [物理問題討論區](#) (黃福坤)
- (4) 維基百科，自由的百科全書 <http://zh.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>

【評語】 030102

本研究討論純水的溫度-密度的關係，並以其得到之結果自製改進伽利略溫度計，以作品完整度而言相當不錯，但研究主題創意稍嫌不足，結論均在預測之中，應可在主題設計再下工夫。