

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 地球科學科

030502

騰雲駕霧

學校名稱：臺北市立石牌國民中學

作者：  國二 溫博鈞  國二 鄭凱仁  國二 林士軒	指導老師：  黃泰日  張文華
---	-----------------------------

關鍵詞：絕熱膨脹、露點溫度、壓力變化

# 摘要

雲霧是一種很奇妙的東西，在自然界中總是變化萬千，給人一種神秘感。而為了揭開雲霧的神秘面紗，我們設計製作了一個可調整氣壓的寶特瓶，使用打氣筒將氣體打入瓶內至一定壓力後再釋放，模擬水蒸氣升到高空，壓力下降而產生「絕熱膨脹」現象。此時瓶內氣體對外界做功，當溫度降到「露點」時，便可從瓶內看到霧氣產生。

我們想藉此實驗來了解雲霧的形成，並探討當寶特瓶內外壓力差改變時，溫度會如何變化？所形成的雲霧有何不同？寶特瓶體積大小、放氣速度快慢、瓶內水氣多寡或其他揮發性液體，又會對雲霧造成什麼影響？經過一連串實驗後，讓我們了解了絕熱膨脹、露點溫度及飽和蒸氣壓等概念，也對自然界中變幻莫測的雲霧，有了更深一層的體認。

## 壹、研究動機

當自己疲累的時候，望向那點綴著幾朵白雲的藍天，總令人感到放鬆悠閒、心曠神怡。一日，當我仍這樣望向天空的時候，無意間，一個問題蹦進我的腦海：「雲，到底是怎麼形成的？」原以為只和空氣濕度以及溫度變化影響有關係，沒想到詢問了老師以後，才知道其實壓力也是影響成雲的因素！為了能夠更透徹的了解箇中的奧妙，於是找了幾個同伴，希望能設計實驗深入探討，以解決心中的疑惑，滿足我們的好奇心。

## 貳、研究目的

- 一、設計並製作可調整氣壓的寶特瓶
- 二、探討寶特瓶內外的壓力差與溫度變化的關係
- 三、探討寶特瓶容積大小與溫度變化及降溫時間的關係
- 四、探討壓力下降速度快慢與溫度變化的關係
- 五、觀察寶特瓶放氣後產生的霧氣，比較霧散的溫度
- 六、探討瓶內霧散的溫度與環境露點溫度的關係
- 七、利用充氣的寶特瓶降壓，測量環境的露點溫度
- 八、探討不同物質產生霧氣與水氣的差異
- 九、探討水氣多寡對霧氣生成的影響

## 參、研究設備及器材

寶特瓶（不同大小數個）、數位式電耦測溫計、腳踏車內胎的打氣嘴、打氣筒（附有壓力錶）、酒精燈、鑽子、快乾膠、量筒、光筆、鋼碗、冰塊、乙醇、丙酮、石灰乾燥劑、攝影機、照相機、電腦、PowerDVD 軟體、碼錶。

## 肆、研究過程或方法

### 一、設計並製作可調整氣壓的寶特瓶

(一) 將打氣嘴接上瓶蓋：

1. 準備一些自行車的內胎，用剪刀將內胎上的打氣嘴取下，並將氣嘴旁殘留的橡皮修整成圓形，使其面積比瓶蓋略小即可。
2. 點燃酒精燈，將鑽子烤至紅熱狀態，用其尖端在瓶蓋中央鑽一個洞，但必須控制洞口比氣嘴稍小一點點。



3. 熄滅酒精燈，並等瓶蓋冷卻後，再將打氣的氣嘴慢慢旋入瓶蓋上的洞中，氣嘴朝外，橡皮在內。

**注意：氣嘴轉入時有點緊，確保螺紋與瓶蓋密合，才不易漏氣，不可以用塞的！**



4. 熄滅酒精燈，並等瓶蓋冷卻後，再將打氣筒氣嘴慢慢旋入瓶蓋上的洞中，氣嘴朝外，橡皮在內。
5. 用快乾膠在氣嘴與瓶蓋的交接處塗一圈，可將縫隙填滿，並使其更加牢固。快乾膠乾燥後，將瓶蓋旋緊在寶特瓶上，以打氣筒檢驗其密閉性，即告完成。



(二) 將數位式溫度計的熱電耦線接上瓶蓋：

1. 鑽子烤至紅熱，並把前次加工好的瓶蓋再鑽一個小孔。  
**注意：熱電偶線非常細，鑽的孔不可過大！**
2. 再將熱電耦線穿入洞口，至適當長度（稍微留長一點，日後可做調整）後，使用快乾膠黏合補強。
3. 待其風乾後，用橡皮筋綑綁將熱電耦線調整成適當長度，將瓶蓋旋緊於寶特瓶上，再以打氣筒檢驗其密閉性，即大功告成。



## 二、探討寶特瓶內外的壓力差與溫度變化的關係

本次實驗使用 633mL 寶特瓶

### (一) 測量放氣口溫度

1. 取一支「充氣式」寶特瓶，將氣嘴前端的旋鈕鬆開，套上打氣筒的接頭，並且扣緊。



↑ 先將寶特瓶氣嘴前端的旋鈕鬆開



↑ 準備一支附有壓力計的打氣筒

2. 先測量室溫，待其數值穩定後記錄之。
3. 開始打入氣體，打氣筒上的壓力計可顯示打入氣體的壓力，當壓力計讀數達到 10 psi 隨即暫停。



4. 壓下旋鈕，將氣體放出，並以數位式測溫計測量氣嘴前端的溫度，記錄壓力計讀數與溫度變化。



5. 再持續打入氣體，分別測試壓力計讀數到達 20、30、40、50、60、70、80、90、100 psi 時，放氣後所產生的溫度變化。
6. 重複 4 次實驗步驟，取其平均值紀錄之。
7. 畫出壓力計讀數與放氣口溫度變化的關係圖，並探討造成此結果的原因。

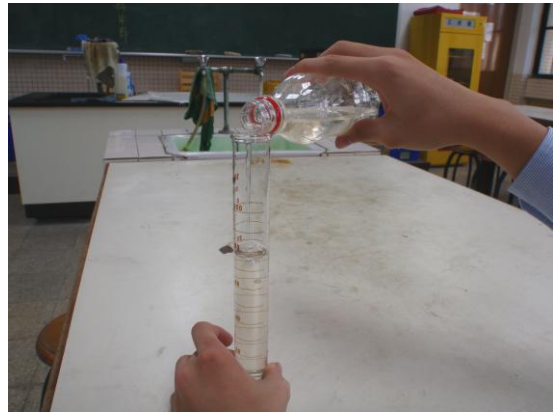
#### (二) 測量瓶內溫度

1. 重複前次實驗步驟 1~3。
2. 待瓶內溫度降至室溫後，再壓下旋鈕，將氣體放出，並記錄壓力計讀數及瓶內的溫度變化。
3. 重複前次實驗步驟 5~6（但也都要待其降至室溫）。
4. 畫出壓力計讀數與瓶內溫度變化的關係圖。

### 三、探討寶特瓶容積大小與溫度變化及降溫時間的關係

#### (一) 測量寶特瓶的容積

1. 準備三種不同大小的寶特瓶。
2. 用水裝滿寶特瓶，再倒入量筒中測量其體積。
3. 將其結果記錄之。



#### (二) 測量溫度變化及降溫時間

1. 以不同大小的寶特瓶，重複前次實驗的步驟。
2. 並在放氣後開始計時，測量降至最低溫(瓶內)時的所需時間。
3. 分別記錄每次測試的壓力計讀數與溫度（放氣口 & 瓶內）變化。
4. 畫出三支寶特瓶的壓力計讀數與溫度變化及時間關係圖，並比較三者的差異。再探討造成此結果的原因。



↑ 準備三種不同大小的寶特瓶



↑ 以不同的寶特瓶測試溫度變化

#### 四、探討壓力下降速度快慢與溫度變化的關係

本次實驗使用 633mL 寶特瓶

1. 將充氣式寶特瓶的旋鈕分別往內旋轉 2 圈、4 圈，以控制放氣速度的快慢。往內旋轉越多，放氣速度越慢。（6 圈即關閉）
2. 重複前兩次實驗的步驟 2~6。
3. 並比較其中的差異。



#### 五、觀察寶特瓶放氣後產生的霧氣，比較霧散的溫度

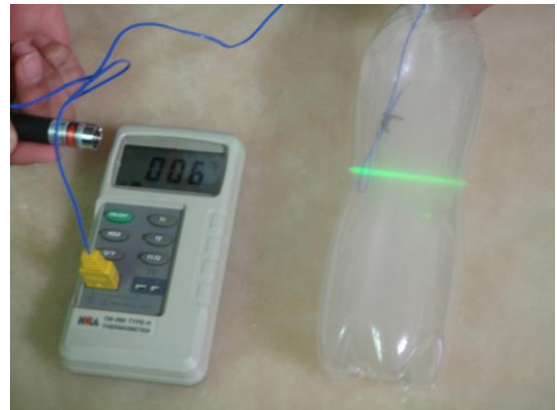
1. 進行上列的實驗。
2. 放氣時以光筆照射瓶內，利用水滴的反射現象（類似廷得耳效應）輔助觀察，較容易判斷霧氣的生成與消失。

觀測霧氣是否消散，最好是同一人，判斷標準較為一致。

3. 測量霧氣持續的時間，並以相機記錄雲霧的狀態。
4. 等霧氣完全消失後，將當時的溫度（瓶內的露點溫度）記錄之。
5. 比較不同條件之下，霧氣產生的多寡及持續時間和露點溫度有何關係，並且探討其中的原因。



↑ 光筆



↑ 用光筆測試是否產生雲霧

## 六、探討瓶內霧散的溫度與環境露點溫度的關係

### (一) 測量環境的露點溫度：

1. 準備一個鋼碗，倒入少許水（常溫），並以數位式溫度計測量水溫。
2. 緩慢加入少許冰水，並不時地攪拌，觀察鋼碗外有無結霧，若沒有則重複此步驟。
3. 當鋼碗外一開始結霧，立刻讀取溫度計的溫度，此溫度非常接近「露點溫度」。
4. 測量室溫，查出室溫與露點溫度時的飽和水蒸氣壓，並計算相對溼度。

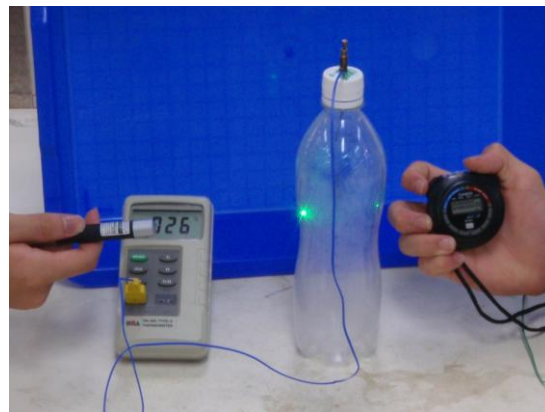


### (二) 比較瓶內霧散的溫度與環境露點溫度：

1. 將以上實驗中寶特瓶內霧散的溫度與環境露點溫度做比較。
2. 推算寶特瓶內霧散時的水蒸氣壓。

## 七、利用充氣的寶特瓶降壓，測量環境的露點溫度

1. 利用攝影機拍攝上列實驗五。



2. 利用PowerDVD軟體分析畫格，記錄放氣過程的時間與溫度，以及瓶內最低溫度與霧散去的溫度。
3. 畫出不同壓力放氣過程的溫度與時間關係圖，並標示出最低溫度與霧散溫度，比較其差異。
4. 比較多少氣壓放氣後，霧散去的溫度較接近露點溫度。



## 八、探討不同物質產生霧氣與水氣的差異

1. 用乙醇和丙酮等揮發性液體取代水，重複以上實驗。
2. 測量瓶內最低溫度，以及霧散的時間。
3. 與水做比較，並探討其原因。



## 九、探討水氣多寡對霧氣生成的影響

1. 在寶特瓶內注入石灰乾燥劑，以吸收瓶內的水氣含量，重複以上實驗。
2. 測量瓶內最低溫度，以及霧散的時間。
3. 與原本的空氣做比較，並探討其原因。



## 伍、研究結果

### 一、設計並製作可調整氣壓的寶特瓶



↑ 完成品

### 二、探討寶特瓶內外的壓力差與溫度變化的關係

#### (一) 測量放氣口溫度

1. 將「充氣式」寶特瓶內打入氣體的壓力計讀數與放氣口的溫度變化，記錄如下表：

本次實驗使用 633mL 寶特瓶

(室溫：22°C)

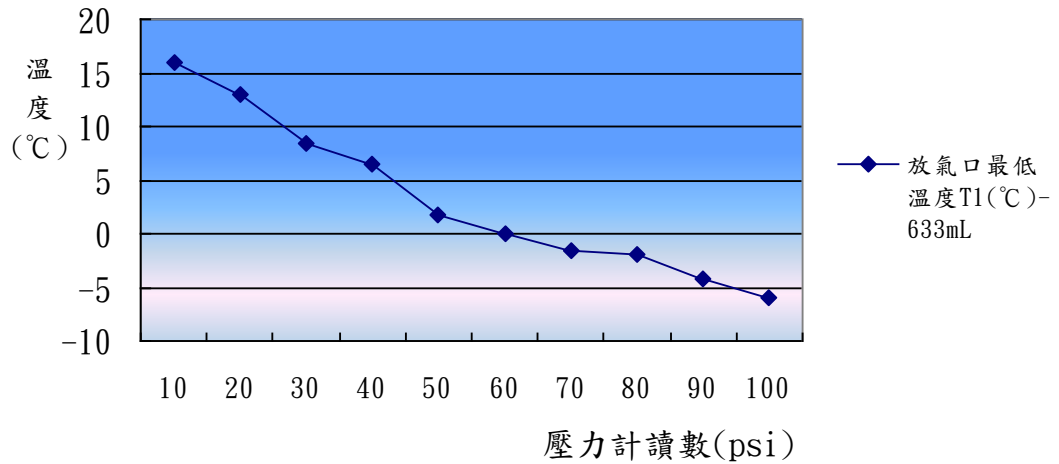
壓力計讀數 (psi)	放氣口最低溫度 T <sub>1</sub> (°C)	放氣口溫度變化 Δ T <sub>1</sub> (°C)
10	16.0	6.0
20	13.0	9.0
30	8.5	13.5
40	6.5	15.5
50	1.8	20.2
60	0	22.0
70	-1.5	23.5
80	-2.0	24.0
90	-4.3	26.3
100	-6.0	28.0

※ atm (大氣壓) 與 psi 的換算：

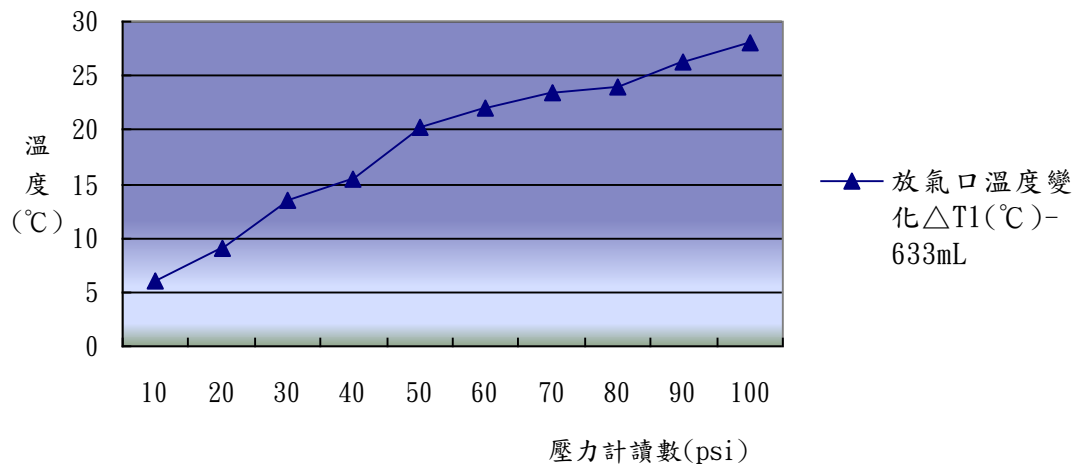
$$\text{psi} = \text{磅} / \text{英吋}^2 = 454 \text{ gw} / (2.54 \text{ cm})^2 = 70.37 \text{ gw/cm}^2$$

$$1 \text{ atm} = 1033.6 \text{ gw/cm}^2 = 14.69 \text{ psi}$$

2. 畫出壓力計讀數與放氣口最低溫度的關係圖：



3. 畫出壓力計讀數與放氣口溫度變化的關係圖：



4. 由圖表可知：當壓力下降越多，溫度會降至較低溫，即溫度變化較大。

5. 我們推測其結果是因「絕熱膨脹\*」的緣故，當氣體釋放時，瓶內氣體對外界做功，因而造成溫度下降。

(二) 測量瓶內溫度

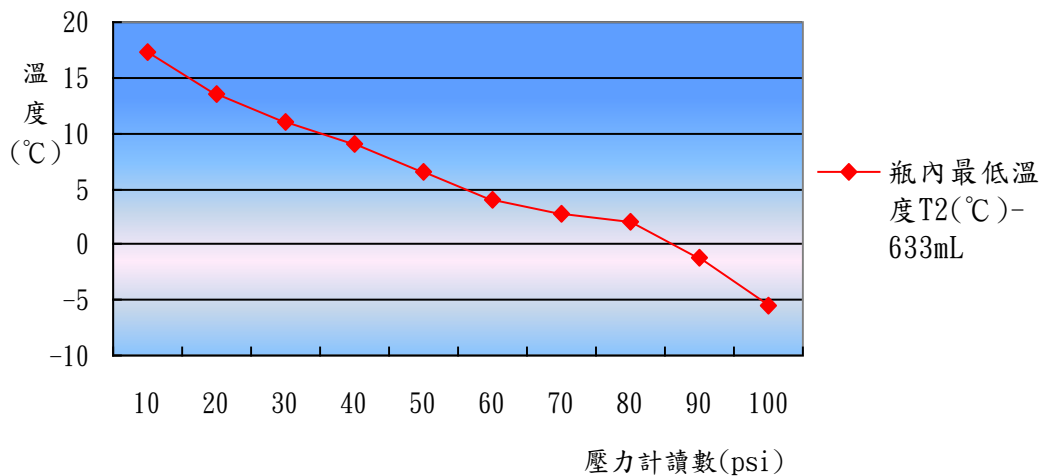
1. 將「充氣式」寶特瓶內打入氣體的壓力計讀數與瓶內的溫度變化，記錄如下表：

本次實驗使用 633mL 寶特瓶

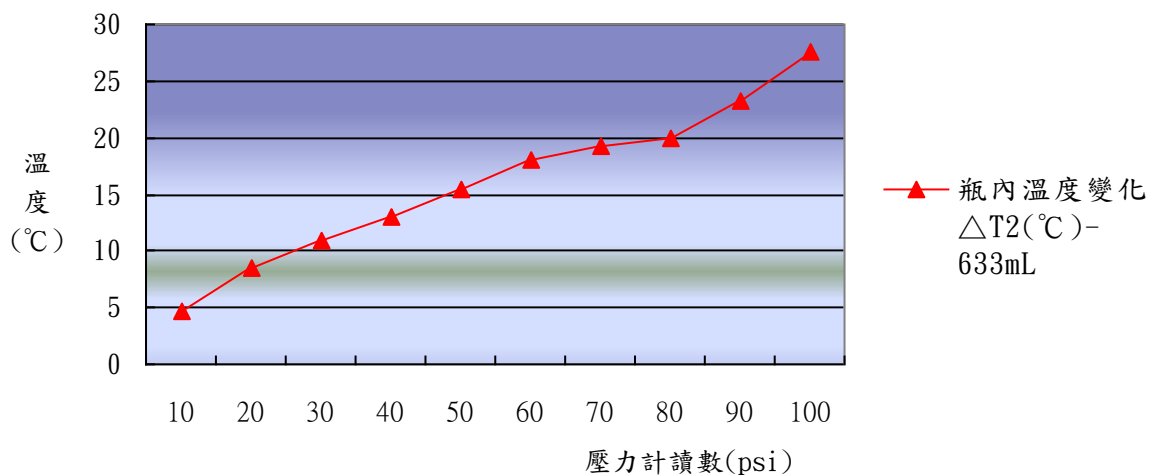
(室溫：22°C)

壓力計讀數 (psi)	瓶內最低溫度 T <sub>2</sub> (°C)	瓶內溫度變化 $\Delta T_2$ (°C)
10	17.3	4.7
20	13.5	8.5
30	11.0	11.0
40	9.0	13.0
50	6.5	15.5
60	4.0	18.0
70	2.8	19.2
80	1.3	20.7
90	-1.3	23.3
100	-5.5	27.5

2. 畫出壓力計讀數與瓶內最低溫度的關係圖：



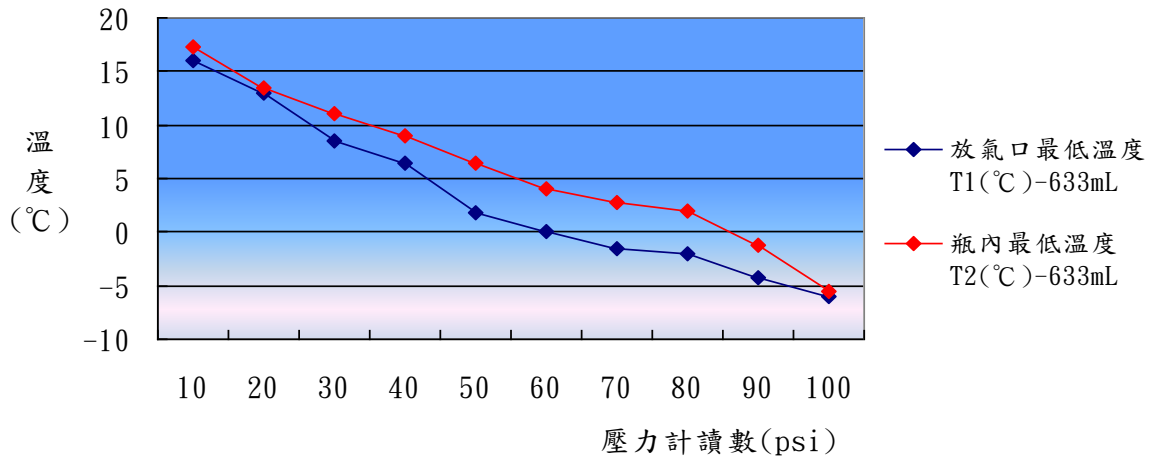
3. 畫出壓力計讀數與瓶內溫度變化的關係圖：



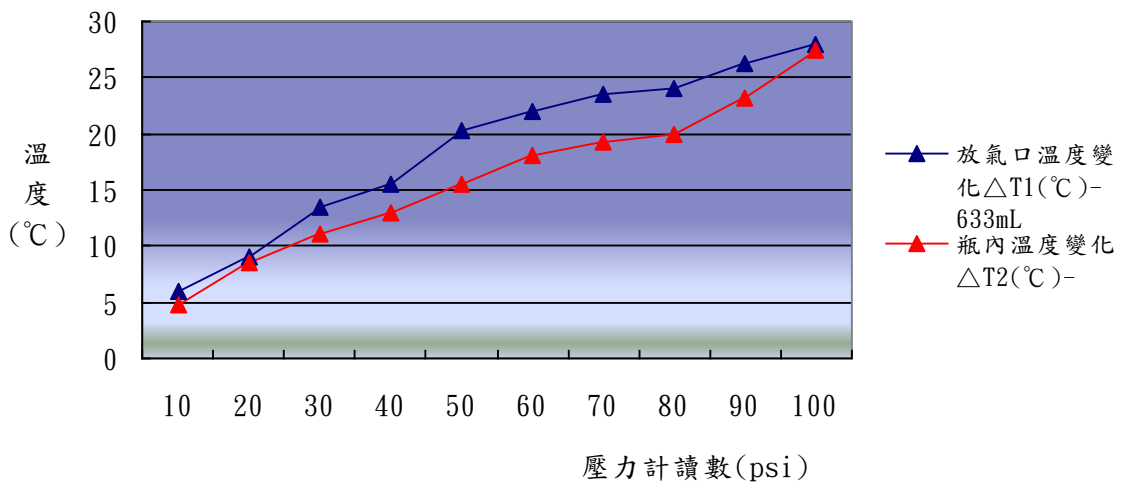
- 實驗結果與放氣口的溫度變化相似，壓力下降越多，所造成的溫度變化較大（變低）。
- 由於測量放氣口溫度時容易受到外界的影響，因此我們認為瓶內的溫度較為準確。

(三) 比較放氣口溫度及瓶內溫度的差異：

- 畫出壓力計讀數與放氣口及瓶內最低溫度比較圖：



- 畫出壓力計讀數與放氣口及瓶內最低溫度比較圖：



- 從數據比較可知：容積 633mL 的寶特瓶，測得放氣口及瓶內最低溫度，皆隨壓力變化越大，而有越來越低的趨勢。
- 比較兩者的溫度，放氣口的最低溫都較瓶內為低。

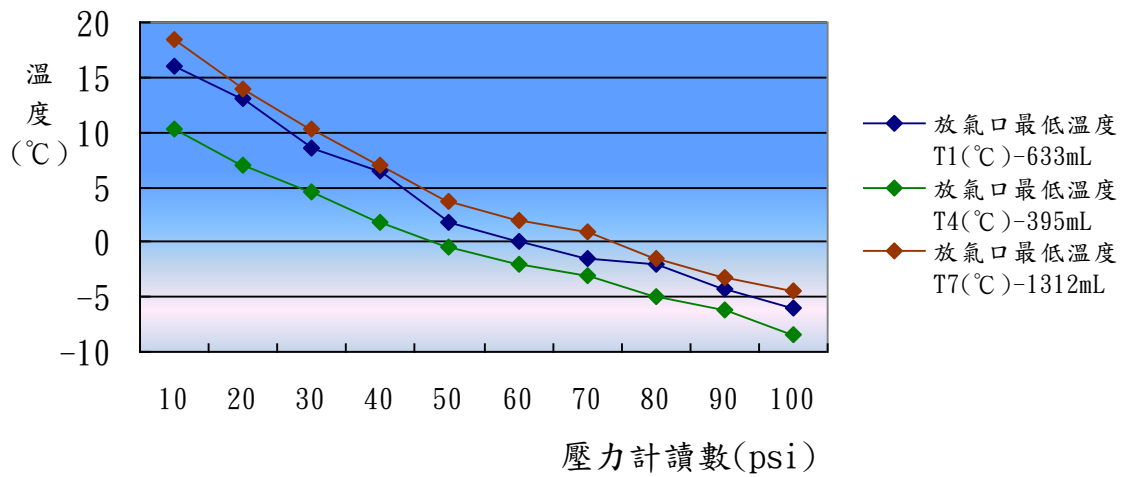
### 三、探討寶特瓶容積大小與溫度變化及降溫時間的關係

1. 在不同體積的寶特瓶內打入氣體，並將其壓力計讀數與測量放氣口的最低溫度及溫度變化，記錄如下表：  
(室溫：22°C)

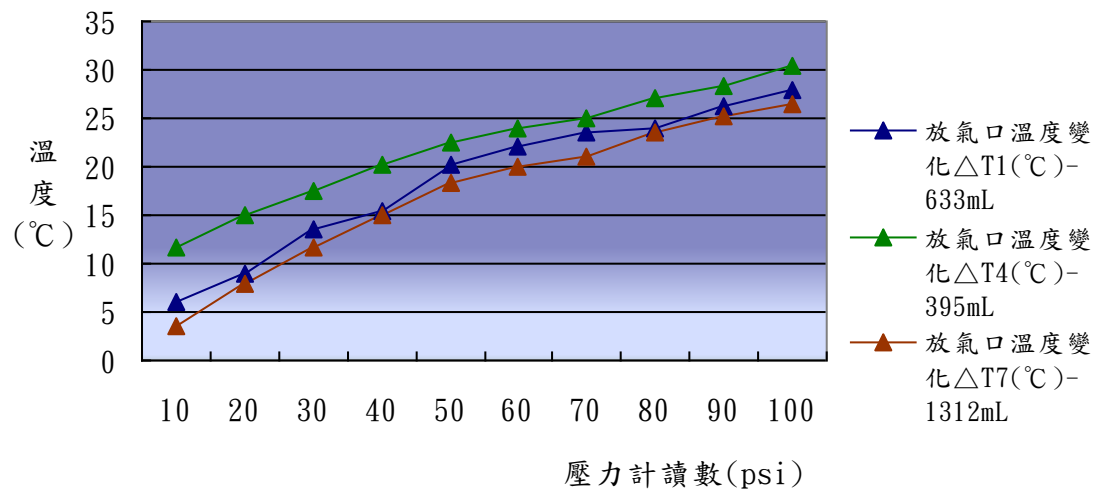
壓力計讀數 (psi)	放氣口最低溫度 T4 (°C) (395mL 寶特瓶)	放氣口最低溫度 T1 (°C) (633mL 寶特瓶)	放氣口最低溫度 T7 (°C) (1312mL 寶特瓶)
10	10.3	16.0	18.5
20	7.0	13.0	14.0
30	4.5	8.5	10.3
40	1.8	6.5	7.0
50	-0.5	1.8	3.8
60	-2.0	0	2.0
70	-3.0	-1.5	1.0
80	-5.0	-2.0	-1.5
90	-6.3	-4.3	-3.3
100	-8.5	-6.0	-4.5

壓力計讀數 (psi)	放氣口溫度變化 $\Delta T4$ (°C) (395mL 寶特瓶)	放氣口溫度變化 $\Delta T1$ (°C) (633mL 寶特瓶)	放氣口溫度變化 $\Delta T7$ (°C) (1312mL 寶特瓶)
10	11.7	6.0	3.5
20	15.0	9.0	8.0
30	17.5	13.5	11.7
40	20.2	15.5	15.0
50	22.5	20.2	18.2
60	24.0	22.0	20.0
70	25.0	23.5	21.0
80	27.0	24.0	23.5
90	28.3	26.3	25.3
100	30.5	28.0	26.5

2. 畫出不同體積寶特瓶的壓力計讀數與放氣口最低溫度比較關係圖：



3. 畫出不同體積寶特瓶的壓力計讀數與放氣口溫度變化比較關係圖：



4. 由實驗可得以下結果：

- (1) 各個不同容積的寶特瓶，都是較高壓釋放時產生較低溫。
- (2) 比較放氣口的溫度變化，體積小的寶特瓶，比體積大的寶特瓶明顯，小的最低溫可達  $-8.5^{\circ}\text{C}$ ，大的則只有  $-4.5^{\circ}\text{C}$ 。

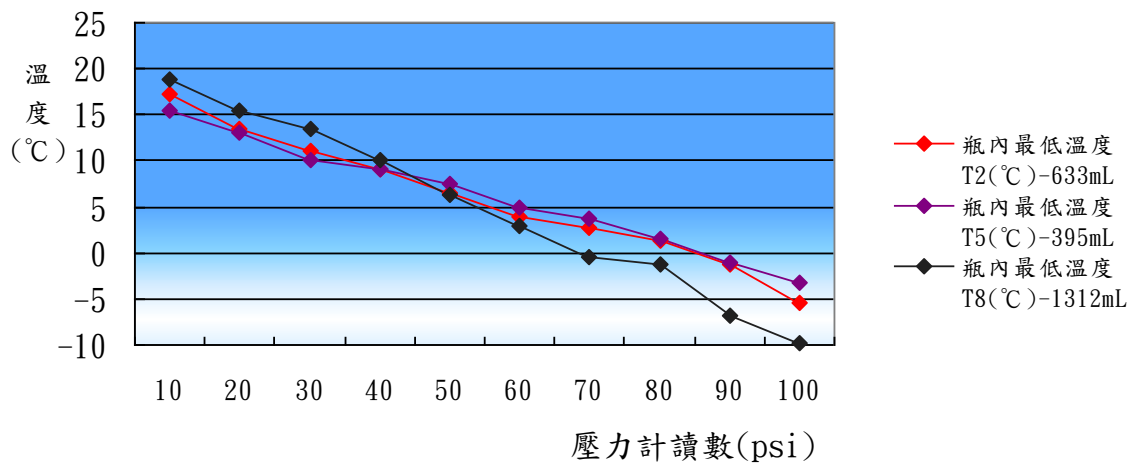
5. 在不同體積的寶特瓶內打入氣體，並將其壓力計讀數與測量瓶內的最低溫度及溫度變化，記錄如下表：  
(室溫：22°C)

壓力計讀數 (psi)	瓶內最低溫度 T <sub>5</sub> (°C) (395mL 寶特瓶)	瓶內最低溫度 T <sub>2</sub> (°C) (633mL 寶特瓶)	瓶內最低溫度 T <sub>8</sub> (°C) (1312mL 寶特瓶)
10	15.5	17.3	18.8
20	13.0	13.5	15.5
30	10.0	11.0	13.5
40	9.0	9.0	10.0
50	7.5	6.5	6.3
60	5.0	4.0	3.0
70	3.8	2.8	-0.5
80	1.5	1.3	-1.3
90	-1.0	-1.3	-6.8
100	-3.3	-5.5	-9.8

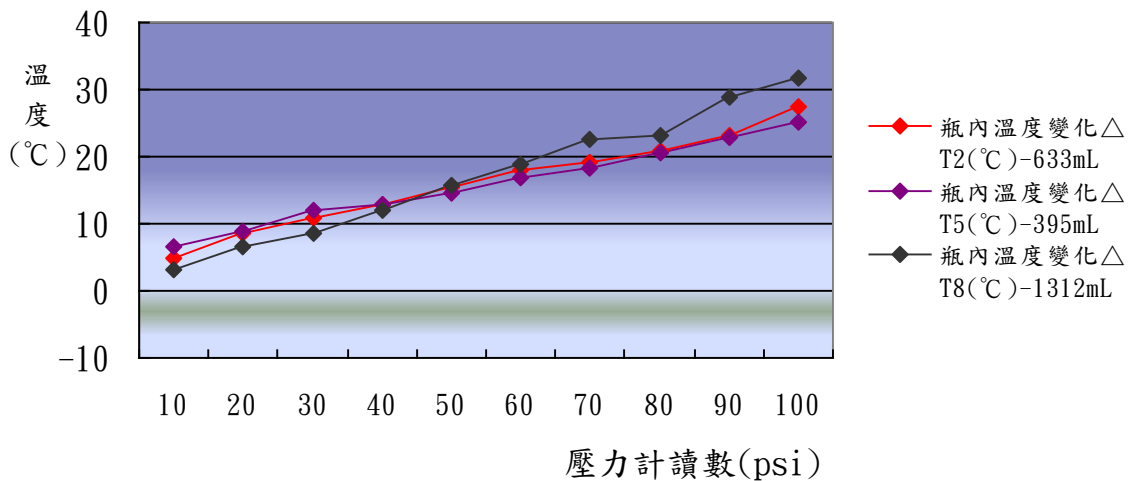
壓力計讀數 (psi)	瓶內溫度變化 $\Delta T_5$ (°C) (395mL 寶特瓶)	瓶內溫度變化 $\Delta T_2$ (°C) (633mL 寶特瓶)	瓶內溫度變化 $\Delta T_8$ (°C) (1312mL 寶特瓶)
10	6.5	4.7	3.2
20	9.0	8.5	6.5
30	12.0	11.0	8.5
40	13.0	13.0	12.0
50	14.5	15.5	15.7
60	17.0	18.0	19.0
70	18.2	19.2	22.5
80	20.5	20.7	23.3
90	23.0	23.3	28.8
100	25.3	27.5	31.8



6. 畫出不同體積寶特瓶的壓力計讀數與瓶內最低溫度比較關係圖：



7. 畫出不同體積寶特瓶的壓力計讀數與瓶內溫度變化比較關係圖：



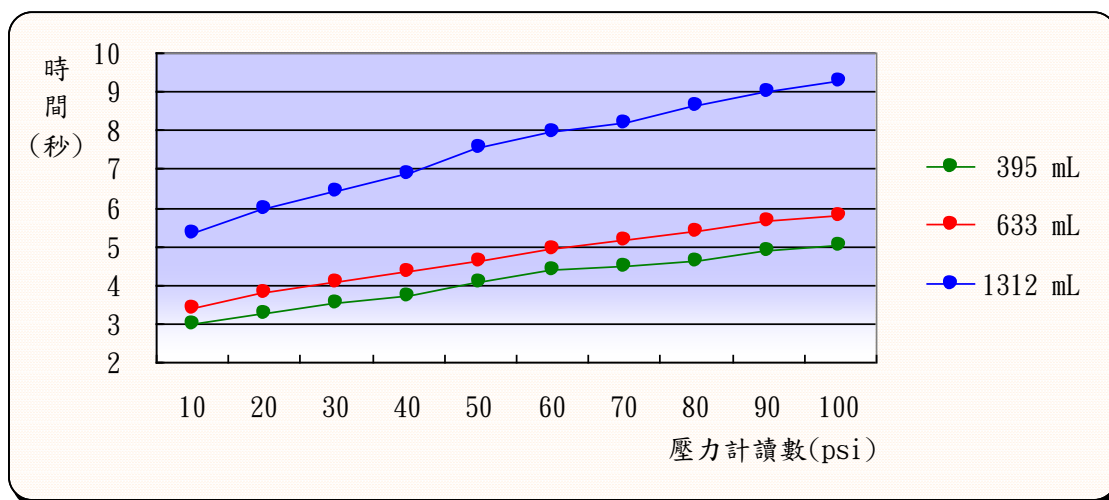
8. 由實驗數據分析發現：

- (1) 體積較小的寶特瓶，在較低壓（未達 40 psi）時，瓶內溫度較低。
- (2) 三者溫度差不多的時後大約是壓力 40~50 psi。
- (3) 體積較大的寶特瓶，在高壓（超過 50 psi）時，瓶內溫度較低。

9. 在不同體積的寶特瓶內打入氣體，並將其壓力計讀數與瓶內溫度降至最低時所需時間，記錄如下表：

壓力計讀數 (psi)	降到最低溫時所需時間(秒)-633mL	降到最低溫時所需時間(秒)-395mL	降到最低溫時所需時間(秒)-1312mL
10	3.41	2.98	5.34
20	3.82	3.25	5.97
30	4.07	3.55	6.43
40	4.33	3.71	6.88
50	4.61	4.10	7.56
60	4.95	4.38	7.97
70	5.17	4.47	8.20
80	5.41	4.64	8.65
90	5.65	4.89	9.00
100	5.80	5.01	9.26

10. 畫出三種不同體積寶特瓶的壓力計讀數與瓶內最低溫度及其溫度變化的關係圖：



#### 四、探討壓力下降速度快慢與溫度變化的關係

1. 將寶特瓶內打入氣體，再以不同速度放氣，並將其壓力計讀數與最低溫度（瓶內）及溫度變化，記錄如下表：

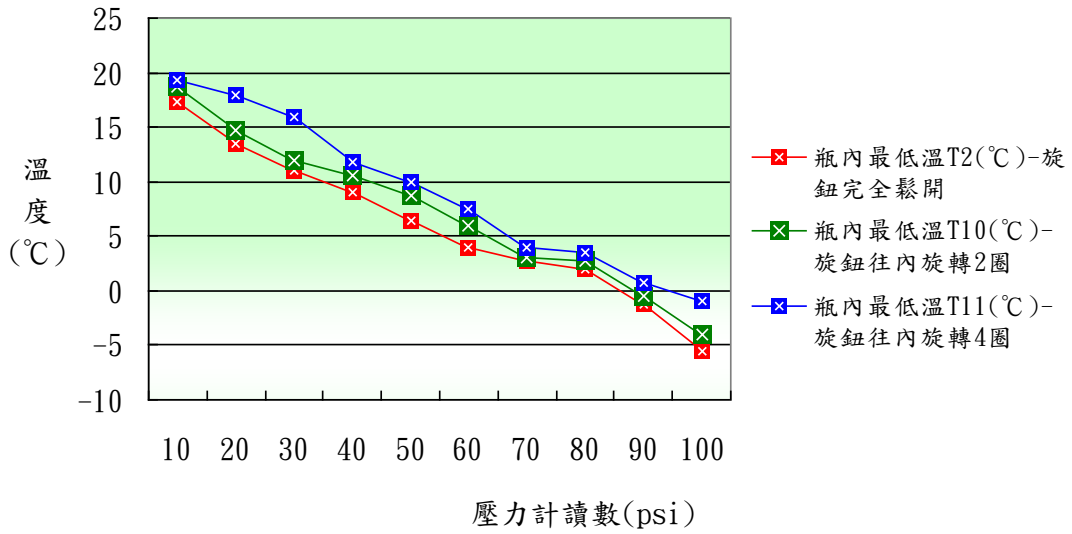
本次實驗使用 633 mL 寶特瓶

(室溫：22°C)

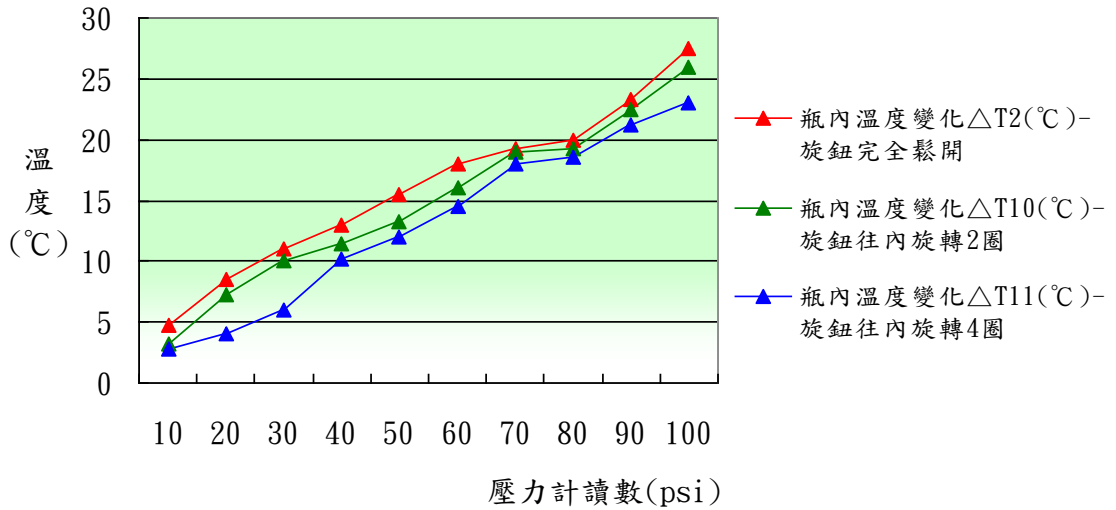
壓力計讀數 (psi)	瓶內最低溫 T <sub>2</sub> (°C) (旋鈕完全鬆開)	瓶內最低溫 T <sub>10</sub> (°C) (旋鈕往內轉 2 圈)	瓶內最低溫 T <sub>11</sub> (°C) (旋鈕往內轉 4 圈)
10	17.3	18.8	19.3
20	13.5	14.8	18.0
30	11.0	12.0	16.0
40	9.0	10.5	11.8
50	6.5	8.8	10.0
60	4.0	6.0	7.5
70	2.8	3.0	4.0
80	1.3	2.8	3.5
90	-1.3	-0.5	0.8
100	-5.5	-4.0	-1.0

壓力計讀數 (psi)	溫度變化 Δ T <sub>2</sub> (°C) (旋鈕完全鬆開)	溫度變化 Δ T <sub>10</sub> (°C) (旋鈕往內轉 2 圈)	溫度變化 Δ T <sub>11</sub> (°C) (旋鈕往內轉 4 圈)
10	4.7	3.2	2.7
20	8.5	7.2	4.0
30	11.0	10.0	6.0
40	13.0	11.5	10.2
50	15.5	13.2	12.0
60	18.0	16.0	14.5
70	19.2	19.0	18.0
80	20.7	19.2	18.5
90	23.3	23.5	21.2
100	27.5	26.0	23.0

2. 畫出不同放氣速度下的壓力計讀數與瓶內最低溫比較關係圖：



3. 畫出不同放氣速度下的壓力計讀數與瓶內溫度變化比較關係圖：



## 五、觀察寶特瓶放氣後產生的霧氣，比較霧散的溫度

1. 觀察以上實驗，放氣後瓶內所產生的霧氣，並以照片記錄如下：



↑ 打到較高壓時釋放



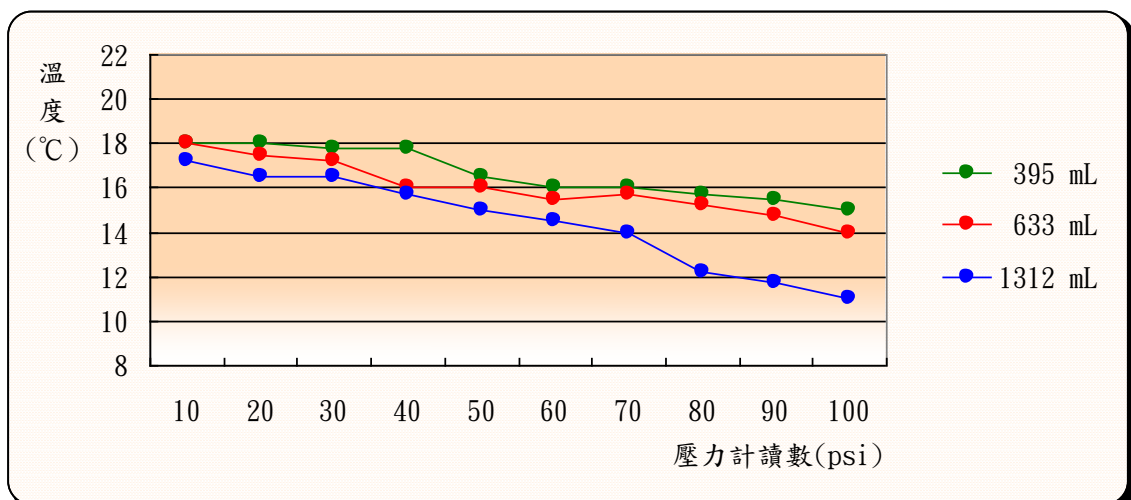
↑ 打到較低壓時釋放

從圖中明顯看出，打到較高壓時釋放，瓶內所產生的霧氣比較多。

2. 比較各次實驗中雲霧消散時的溫度，以圖表記錄如下：

壓力計讀數 (psi)	霧散時的溫度 T <sub>6</sub> (°C)-395mL	霧散時的溫度 T <sub>3</sub> (°C)-633mL	霧散時的溫度 T <sub>9</sub> (°C)-1312mL
10	18.0	18.0	17.3
20	18.0	17.5	16.5
30	17.8	17.3	16.5
40	17.8	16.0	15.8
50	16.5	16.0	15.0
60	16.0	15.5	14.5
70	16.0	15.8	14.0
80	15.8	15.3	12.3
90	15.5	14.8	11.8
100	15.0	14.0	11.0

3. 畫出不同體積寶特瓶的壓力計讀數與其霧散時的溫度比較關係圖：



## 六、探討瓶內霧散的溫度與環境露點溫度的關係





1. 實驗當天室溫：22℃，飽和水蒸氣壓\*：19.487 mm-Hg。
2. 緩慢加入冰水，鋼碗開始結霧的溫度：18℃，實際水蒸氣壓：15.099 mm-Hg。
3. 相對溼度 = 實際水蒸氣壓 / 飽和水蒸氣壓 = 15.099 / 19.487 = 77.482%  
環境露點溫度接近 18℃。

飽和蒸氣壓力表

溫度 (°C)	飽和蒸氣壓 (毫米汞柱)	溫度 (°C)	飽和蒸氣壓 (毫米汞柱)	溫度 (°C)	飽和蒸氣壓 (毫米汞柱)	溫度 (°C)	飽和蒸氣壓 (毫米汞柱)	溫度 (°C)	飽和蒸氣壓 (毫米汞柱)
15.0	12.251	27.5	26.957	40.0	54.818	52.5	105.562	65.0	193.667
15.5	12.725	28.0	27.764	40.5	56.330	53.0	108.252	65.5	198.240
16.0	13.000	28.5	28.594	41.0	57.879	53.5	111.002	66.0	202.908
16.5	13.675	29.0	29.444	41.5	59.465	54.0	113.814	66.5	207.671
17.0	14.150	29.5	30.318	42.0	61.090	54.5	116.688	67.0	212.532
17.5	14.624	30.0	31.214	42.5	62.754	55.0	119.625	67.5	217.492
18.0	15.099	30.5	32.134	43.0	64.457	55.5	122.627	68.0	222.552
18.5	15.574	31.0	33.078	43.5	66.202	56.0	125.695	68.5	227.715
19.0	16.049	31.5	34.046	44.0	67.987	56.5	128.830	69.0	232.982
19.5	16.526	32.0	35.039	44.5	69.818	57.0	132.033	69.5	238.355
20.0	16.998	32.5	36.057	45.0	71.685	57.5	135.306	70.0	243.836
20.5	17.620	33.0	37.102	45.5	73.602	58.0	138.650	70.5	249.426
21.0	18.243	33.5	38.174	46.0	75.562	58.5	142.066	71.0	255.126
21.5	18.865	34.0	39.273	46.5	77.568	59.0	145.555	71.5	260.942
22.0	19.487	34.5	40.399	47.0	79.621	59.5	149.119	72.0	266.872
22.5	20.111	35.0	41.555	47.5	81.721	60.0	152.760	72.5	272.919
23.0	20.733	35.5	42.739	48.0	83.870	60.5	156.478	73.0	279.085
23.5	21.356	36.0	43.953	48.5	86.069	61.0	160.274	73.5	285.372
24.0	21.978	36.5	45.198	49.0	88.318	61.5	164.152	74.0	291.781
24.5	22.601	37.0	46.474	49.5	90.618	62.0	168.111	75.0	304.977
25.0	23.223	37.5	47.781	50.0	92.972	62.5	172.153	76.0	318.689
25.5	23.931	38.0	49.121	50.5	95.378	63.0	176.280	77.0	332.934
26.0	24.657	38.5	50.493	51.0	97.840	63.5	180.494	78.0	347.729
26.5	25.404	39.0	51.900	51.5	100.357	64.0	184.795	79.0	363.092
27.0	26.170	39.5	53.341	52.0	102.930	64.5	189.185	80.0	379.04

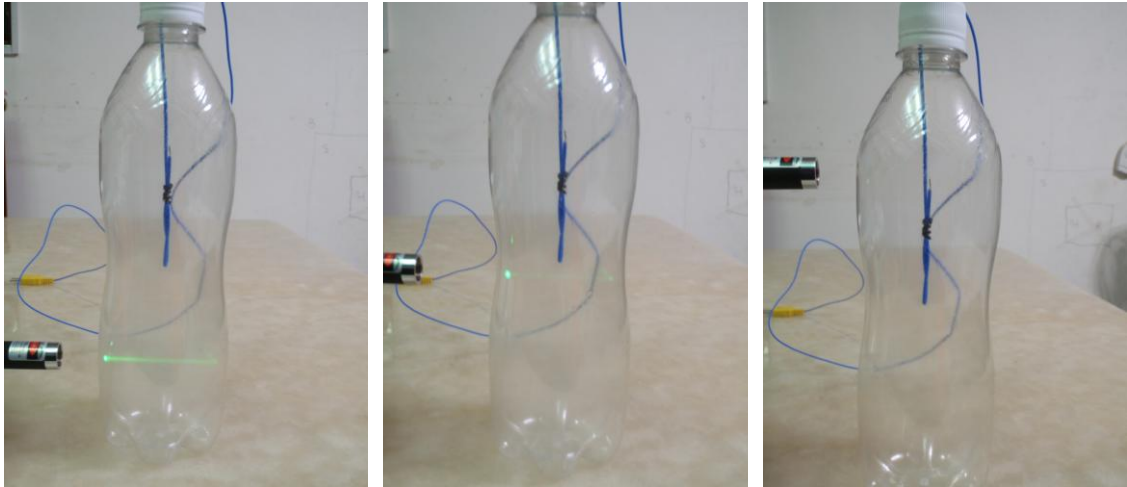
資料來源：[http://www.kson.com.tw/chinese/study\\_24-8.htm](http://www.kson.com.tw/chinese/study_24-8.htm)

4. 絕熱膨脹下，從起霧到霧散去的過程如下：

	
<p>高壓等待降至室溫的過程，瓶內已產生霧氣，因打氣時增加寶特瓶內的水蒸氣壓，當瓶內溫度下降至該蒸氣壓所對應的露點溫度時開始起霧。</p>	<p>待回到室溫瓶內霧氣消散後，開始釋放氣體，此時溫度突然下降，霧氣最濃，由光筆照射反射水氣微滴的光束，更能明顯分辨。</p>
	
<p>降到最低溫時，霧氣並不是最濃的，因水蒸氣隨著高壓的氣體衝出瓶外，此時水的蒸氣壓降低，但溫度亦低，仍達到飽和狀態。(圖中溫度顯示-5°C)</p>	<p>溫度逐漸回升，但瓶壁上殘存的水滴也在蒸發，但補充速度緩慢，當溫度上升到露點溫度之上，霧氣便開始消散，但會延遲數秒鐘，造成誤差。</p>

- 霧散去的溫度會低於（或接近）環境的露點溫度。寶特瓶打到較低壓時釋放，霧散去的溫度會較接近環境的露點溫度，打到較高壓時釋放，霧散時溫度較低。
- 體積較小寶特瓶，霧散去時的溫度變化較不明顯，而體積較大的寶特瓶有較明顯的差異。

7. 放氣後瓶內溫度在達到最低溫前，霧氣的流動方向是由下往上，而到達最低溫後水氣就開始沉降，因此可以看出寶特瓶下層的霧氣較濃（左下圖），持續的也較久，若把瓶身倒放時也相同。可推知霧氣密度較空氣大，因此沉在下層。



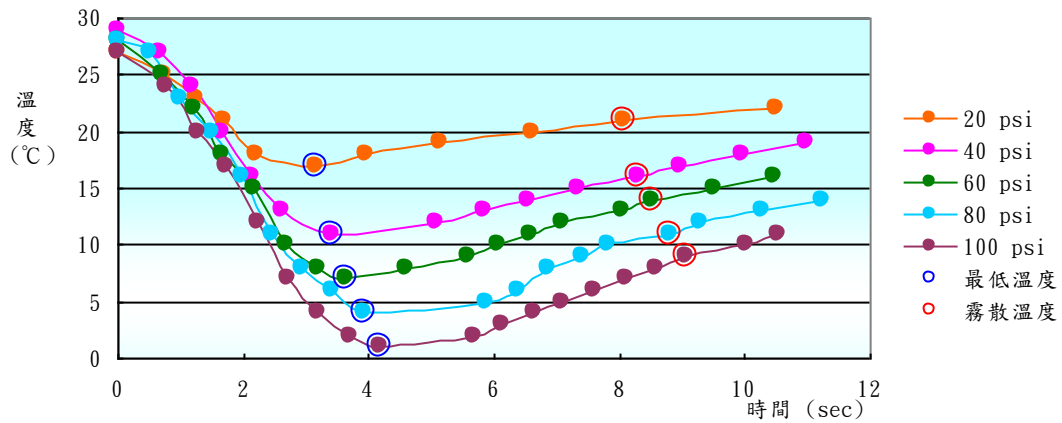
### 七、利用充氣的寶特瓶降壓，測量環境的露點溫度

1. 利用 PowerDVD 軟體分析拍攝影片之畫格（每秒 30 張），記錄放氣過程的時間與溫度，以及瓶內最低溫度（藍色）與霧散去的溫度（紅色）。

20 psi		40 psi		60 psi		80 psi		100 psi	
溫度	時間	溫度	時間	溫度	時間	溫度	時間	溫度	時間
27	0	29	0	28	0	28	0	27	0
25	0.73	27	0.67	25	0.70	27	0.50	24	0.77
23	1.23	24	1.17	22	1.20	23	1.00	20	1.27
21	1.70	20	1.67	18	1.67	20	1.50	17	1.73
18	2.20	16	2.13	15	2.17	16	1.97	12	2.23
17	3.17	13	2.63	10	2.67	11	2.47	7	2.70
18	3.97	11	3.40	8	3.20	8	2.93	4	3.20
19	5.13	12	5.07	7	3.63	6	3.43	2	3.70
20	6.60	13	5.83	8	4.60	4	3.93	1	4.17
21	8.07	14	6.53	9	5.57	5	5.87	2	5.67
22	10.50	15	7.33	10	6.07	6	6.37	3	6.13
		16	8.30	11	6.57	8	6.87	4	6.63
		17	8.97	12	7.07	9	7.40	5	7.10
		18	9.97	13	8.03	10	7.83	6	7.60
		19	10.97	14	8.53	11	8.80	7	8.10
				15	9.50	12	9.30	8	8.57
				16	10.47	13	10.27	9	9.07
						14	11.23	10	10.03
								11	10.53



2. 畫出不同壓力放氣過程的溫度與時間關係圖，並標示出最低溫度與霧散溫度。



3. 實驗當天室溫：28°C，鋼碗開始結霧溫度：22°C。(與實驗五不同一天)

4. 綜合以上實驗：

(1)實驗五：寶特瓶打氣到 10 psi 與 20 psi 後放氣，霧散去的溫度為 18°C，鋼碗開始結霧溫度為 18°C。

(2)實驗七：寶特瓶打氣到 20 psi 後放氣，霧散去的溫度為 21°C，鋼碗開始結霧溫度為 22°C。

5. 以飽和水蒸氣壓與溫度的關係圖說明：

(1)環境的溫度與水蒸氣壓，如 A 點。

(2)當寶特瓶打氣後，溫度和水蒸氣壓皆升高，如 B 點。

※藍色線較紅色線高壓。

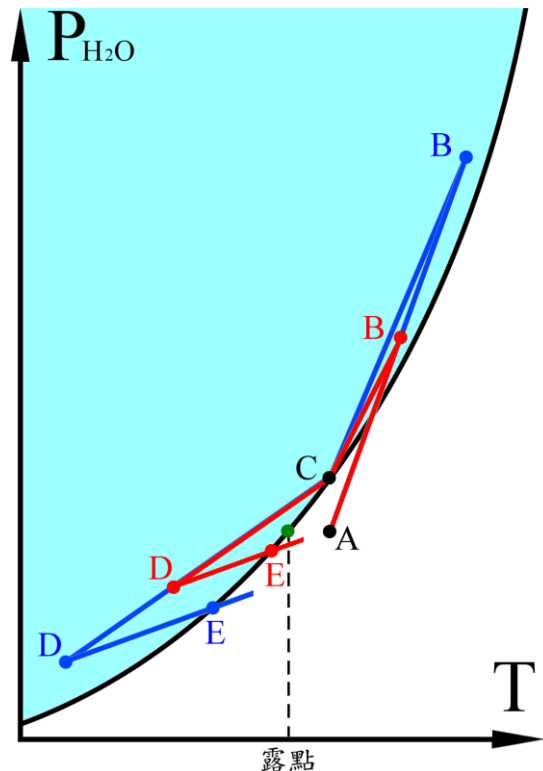
(3)等待溫度降為室溫，水蒸氣凝結於瓶壁，霧氣逐漸消散，如 C 點。

(4)放氣後氣體衝出，水蒸氣壓與溫度驟降，並產生霧氣，如 D 點。

(5)待溫度回升，瓶壁凝結的水滴蒸發，水蒸氣壓上升，霧氣逐漸消散，如 E 點。

(6)低壓放氣後，霧散去的溫度 (E 點) 較接近露點溫度 (綠色點)。

※但太低壓放氣，霧散去的溫度會略高於露點溫度。

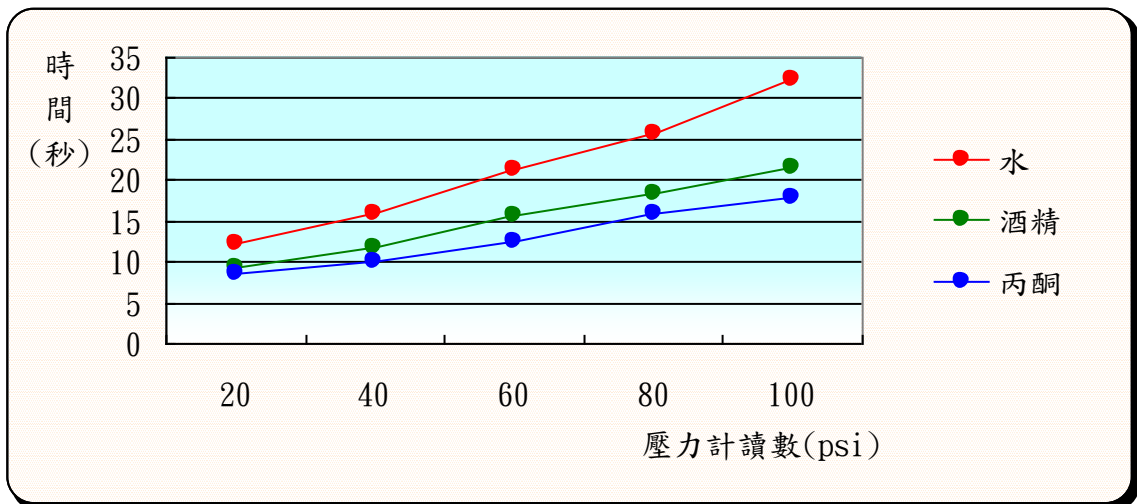
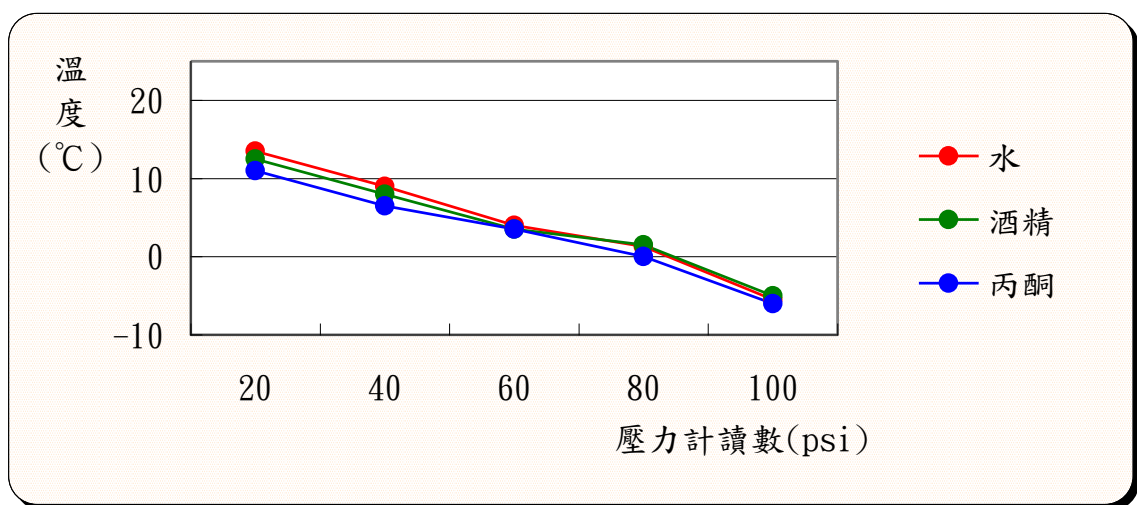


6. 我們發現：寶特瓶打氣到 10 psi~20 psi 後放氣，霧散去的溫度非常接近露點溫度。此方法可作為測量露點溫度簡易方法，且非常方便迅速 (放氣後約 10 秒即可測得)，較鋼碗加冰水待露珠凝結方便許多。

## 八、探討不同物質產生霧氣與水氣的差異

1. 用酒精和丙酮代替水，測量瓶內最低溫度及霧散的時間，如下表：

壓力計讀數 (psi)	水		酒精		丙酮	
	瓶內最低溫 (°C)	霧散去時間 (秒)	瓶內最低溫 (°C)	霧散去時間 (秒)	瓶內最低溫 (°C)	霧散去時間 (秒)
20	13.5	12.2	12.5	9.3	11.0	8.5
40	9.0	15.8	8.0	11.7	6.5	10.0
60	4.0	21.3	3.5	15.6	3.5	12.5
80	1.3	25.7	1.5	18.3	0	15.9
100	-5.5	32.4	-5.0	21.5	-6.0	17.8

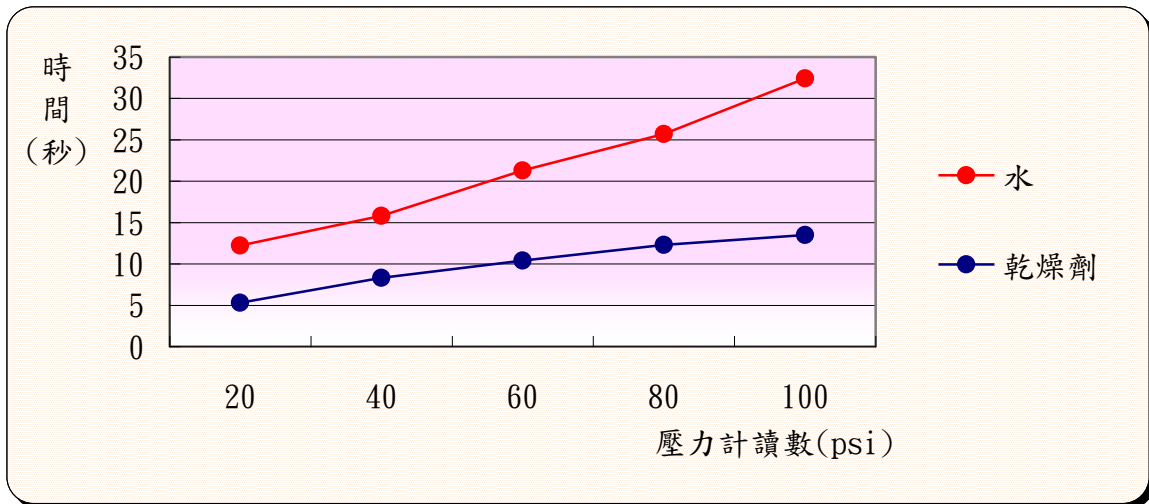
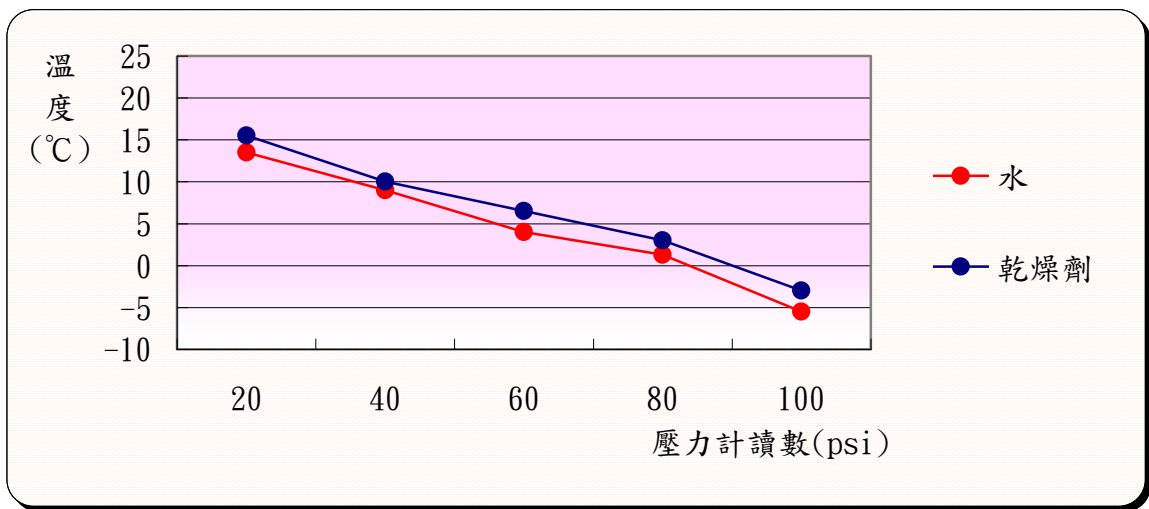


- 酒精與丙酮產生的霧氣都比水氣明顯（其中又以丙酮尤甚），且可以更明顯看出霧氣的流動方向。
- 我們認為應與物質的揮發性有關，揮發性越大的物質，產生霧氣會較明顯。
- 瓶內的最低溫，丙酮低於酒精，再低於水，但三者差異不大。

### 九、探討水氣多寡對霧氣生成的影響

1. 瓶內放置乾燥劑，打氣後靜置十分鐘後再實驗，測量瓶內最低溫度及霧散的時間，如下表：

壓力計讀數 (psi)	水		加石灰乾燥劑	
	瓶內最低溫(°C)	霧散去時間(秒)	瓶內最低溫(°C)	霧散去時間(秒)
20	13.5	12.2	15.5	5.3
40	9.0	15.8	10.0	8.3
60	4.0	21.3	6.5	10.4
80	1.3	25.7	3.0	12.3
100	-5.5	32.4	-3.0	13.5



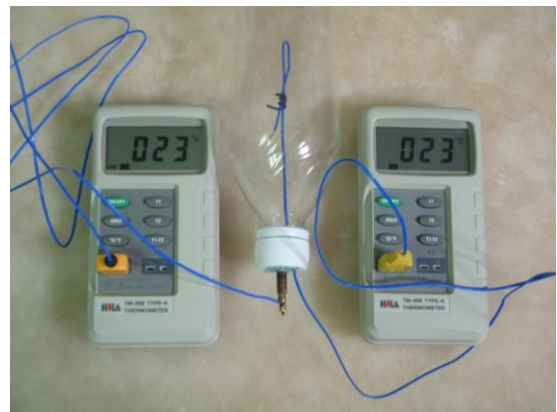
2. 放置乾燥劑後，產生的霧氣較原先實驗少，且較不明顯，持續時間也較短。
3. 瓶內的最低溫，較原先的實驗為高，但差異不大。

## 陸、討論

- 一、此實驗在設計製作充氣式寶特瓶時，在固定打氣嘴於寶特瓶蓋上，讓我們苦惱了很久。一開始鑽洞後本想用膠固定，但我們幾乎各種膠都試過了，快乾膠原本以為可以成功，但沒想到打到比較高壓時，氣嘴還是無法承受瓶內的壓力。後來我們才終於想到可以運用氣嘴上的螺紋，將氣嘴旋入瓶蓋後再用膠固定，如此一來，便可以將氣嘴牢牢固定於瓶蓋上了！
- 二、實驗中在「測量溫度」上，我們遇到了相當大的瓶頸，一開始曾使用「紅外線感應溫度計」測量瓶內的溫度，但實際上只測得表面溫度，想測出瓶內的溫度根本是異想天開，而測放氣口的溫度也因不易對準而常造成數值上的誤差。
- 三、後來找到「數位式感應溫度計」可方便測得放氣口的溫度，且電耦線可以深入瓶內測量其溫度變化。但其中也不免有些小缺失，像是用數位式測溫計測量放氣口溫度時，會因為每次擺放的位置有些微不同而產生誤差，因此我們只好多做幾次實驗並求其平均值。然而在固定電耦線至瓶內時，因為電耦線並不像氣嘴周圍有螺紋，而快乾膠又不易將電耦線及瓶蓋之間的縫隙完全填滿，在實驗時容易造成漏氣的情形，這點還有待加強。



↑ 只測得寶特瓶的表面溫度



↑ 測量放氣口溫度(左)及瓶內溫度(右)

- 四、在一開始觀察雲霧的時候，完全只能用照片及文字記錄，霧氣在何時不再產生，以及在何時消散，完全用肉眼觀測，所得出來的結果太過於主觀，也沒有辦法具體的呈現出數據及資料，後來想到運用光筆照射雲霧時所產生水滴的反射現象，才得以較客觀的測得雲霧消散與否，並輔以時間（秒數）記錄，才得到實驗結果的數據。
- 五、在做較高壓的實驗時，有時還未釋放氣體，只在待其降至室溫的過程就會產生霧氣，這是因為打氣時會增加寶特瓶內的水蒸氣壓，而當瓶內溫度下降至該蒸氣壓所對應到的露點溫度時，水蒸氣便會開始凝結，所以可以看到霧氣的產生。

## 柒、結論

### 一、探討寶特瓶內外的壓力差與溫度變化的關係

1. 把氣體打入寶特瓶，瓶內溫度會上升，是由於外界對瓶內做功的原因。
2. 當寶特瓶內外壓力差越大時，將瓶內氣體釋放後所造成的溫度變化也就越明顯。
3. 瓶內氣壓 100 psi 時，放氣口最低溫約可降到  $-6^{\circ}\text{C}$ ，瓶內最低溫約為  $-5.5^{\circ}\text{C}$ 。  
(室溫： $22^{\circ}\text{C}$ ，寶特瓶容積： $633\text{ mL}$ )

### 二、探討寶特瓶容積大小與溫度變化及降溫時間的關係

1. 寶特瓶容積越小，壓力下降所造成的放氣口溫度變化越明顯。  
室溫  $22^{\circ}\text{C}$  時， $395\text{ mL}$  寶特瓶放氣口最低溫可達  $-8.5^{\circ}\text{C}$ 。
2. 比較瓶內的溫度變化，則可以發現：
  - (1) 壓力未達 40 psi 時，容積較小的寶特瓶溫度變化較大。
  - (2) 壓力為 40~50psi 時，三種容積不同寶特瓶的溫度變化約略相等。
  - (3) 壓力超過 50 psi 時，容積較大的寶特瓶溫度變化較大。
3. 比較降到最低溫所需時間，打氣至越高壓所需時間越長。  
 $1312\text{ mL}$  寶特瓶  $>$   $633\text{ mL}$  寶特瓶  $>$   $395\text{ mL}$  寶特瓶。

### 三、探討壓力下降速度快慢與溫度變化的關係

當壓力下降速度越快時（旋轉圈數較少），瓶內溫度下降較為明顯。

### 四、觀察寶特瓶放氣後產生的霧氣，比較霧散的時間與溫度

1. 氣壓差越大時，產生的霧氣較濃，用光筆測試水滴的反射現象也相對明顯。
2. 放氣後瓶內溫度在達到最低溫前，霧氣的流動方向是由下往上，而到達最低溫後水氣就開始沉降，因此可看出寶特瓶下層的霧氣較明顯，持續也較久。若把瓶身倒放時也相同，可推知霧氣密度較空氣大，因此沉在下層。
3. 體積較小寶特瓶，霧散時溫度變化較不明顯，體積大的寶特瓶則有較大的差異。

### 五、利用充氣的寶特瓶降壓，測量環境的露點溫度

1. 較高壓放氣，霧散時溫度較低。低壓放氣後，霧散的溫度較接近露點溫度。  
但太低壓放氣，霧散去的溫度會略高於露點溫度。
2. 打氣到 10 psi~20 psi 後放氣，霧散去的溫度非常接近露點溫度。  
此方法可作為測量露點溫度簡易方法，非常方便迅速。

### 六、探討不同物質產生霧氣與水氣的差異

不論乙醇或丙酮，實驗結果皆與水氣類似，但乙醇與丙酮產生霧氣的現象比水氣明顯（其中又以丙酮尤甚），且可以更明顯看出霧氣的流動方向。

### 七、探討水氣多寡對霧氣生成的影響

放置乾燥劑一段時間後的寶特瓶，經實驗後所產生的霧氣較原先的寶特瓶為少，持續的時間也較短。

## 捌、參考資料

1. 飽和蒸氣壓－維基百科  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A5%B1%E5%92%8C%E8%92%B8%E6%B0%94%E5%8E%8B>
2. 露點－維基百科  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9C%B2%E7%82%B9>
3. 利用簡易器材測量露點溫度  
<http://eslab.chsh.chc.edu.tw/uploads/Main/249-53.pdf>
4. 溫濕度名詞解釋－飽和蒸氣壓表  
[http://www.kson.com.tw/chinese/study\\_24-8.htm](http://www.kson.com.tw/chinese/study_24-8.htm)
5. 游丕若（2002）。雲的奧秘－雲在物理運動特性上的形成方式。臺北縣：人人出版。

## 【評語】 030502

優點：利用簡單器材進行成雲實驗，具實用性。

缺點：寶特瓶具可塑性，無法控制體積。未考慮凝結核對成雲的影響。

建議：以玻璃瓶取代寶特瓶，進行實驗。增加露點測量之驗證與不確定性之分析。