

Chapter

10

氣體體積與溫度 關係的驗證

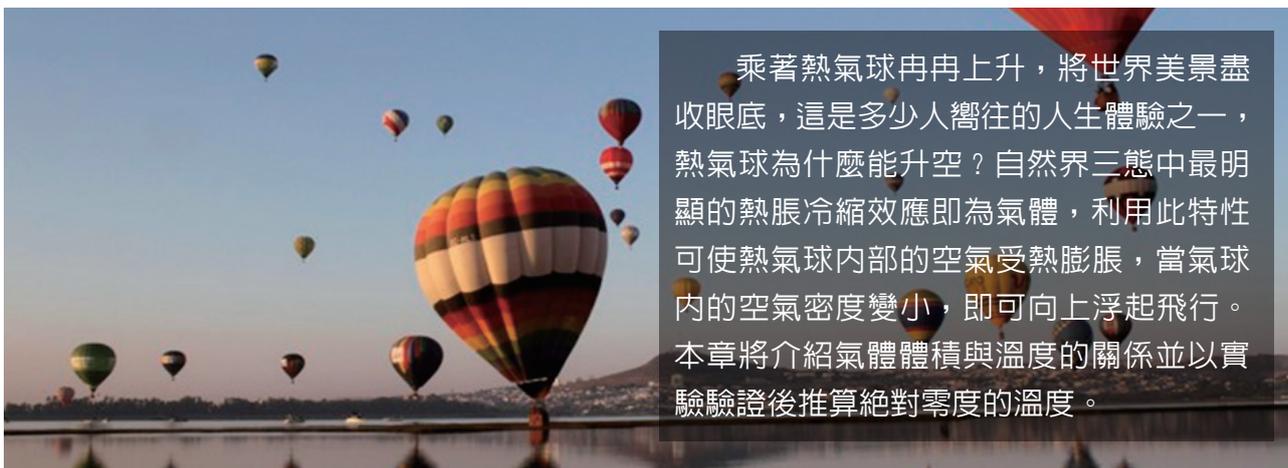
學習目標

1. 了解氣體體積與溫度的關係。
2. 認識查理定律的驗證方法。
3. 認識攝氏溫標與凱氏溫標的關係。
4. 認識線性回歸的方法。

授課節數 4

本章綱要

- 10-1 理論基礎
 1. 查理定律的驗證
 2. 攝氏溫標與凱氏溫標的關係
- 10-2 實習活動



乘著熱氣球冉冉上升，將世界美景盡收眼底，這是多少人嚮往的人生體驗之一，熱氣球為什麼能升空？自然界三態中最明顯的熱脹冷縮效應即為氣體，利用此特性可使熱氣球內部的空氣受熱膨脹，當氣球內的空氣密度變小，即可向上浮起飛行。本章將介紹氣體體積與溫度的關係並以實驗驗證後推算絕對零度的溫度。

10-1 理論基礎

查理定律的驗證

十八世紀前後，有不少科學家對氣體進行研究，發現許多的氣體特性，其中一位著名的學者是法國的科學家查理 (J. A. Charles, 1746-1823) (如圖 10-1 所示)，其於 1787 年做實驗，即定壓下，將定量的氫氣、氧氣、二氧化碳、空氣等氣體，自 0°C 加熱至 80°C，發現氣體的體積增加量皆相同。後來法國的物理學家給呂薩克 (J. L. Gay-Lussac, 1778-1850) (如圖 10-2 所示)，其於 1802 年深入查理的研究，發現定壓下，定量氣體每升高 1°C，體積增加量為 0°C 時體積的 1/273，此稱為**查理定律 (Charles's law)**，如公式 10-1 所示。



▲圖 10-1 查理



▲圖 10-2 給呂薩克

$$V = V_{0^{\circ}\text{C}} + V_{0^{\circ}\text{C}} \times \frac{t}{273}$$

V：某溫度下的氣體體積
 $V_{0^{\circ}\text{C}}$ ：0°C 時的氣體體積
 t：攝氏溫度

公式 10-1

可將上式整理，如公式 10-2 所示。

$$\frac{V}{V_{0^{\circ}\text{C}}} = \frac{273+t}{273}$$

V：某溫度下的氣體體積
 $V_{0^{\circ}\text{C}}$ ：0°C 時的氣體體積
 t：攝氏溫度

公式 10-2

不同溫度下的氣體體積，如公式 10-3 所示。

$$\frac{V_1}{V_{0^{\circ}\text{C}}} = \frac{273+t_1}{273}$$

$$\frac{V_2}{V_{0^{\circ}\text{C}}} = \frac{273+t_2}{273}$$

V_1 ：初溫度下的氣體體積
 V_2 ：末溫度下的氣體體積
 $V_{0^{\circ}\text{C}}$ ：0°C 時的氣體體積
 t_1 ：初狀態的攝氏溫度
 t_2 ：末狀態的攝氏溫度

公式 10-3

可以整理出不同溫度下的氣體體積關係，如公式 10-4 所示。

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{273+t_1}{273+t_2}$$

V_1 ：初溫度下的氣體體積
 V_2 ：末溫度下的氣體體積
 t_1 ：初狀態的攝氏溫度
 t_2 ：末狀態的攝氏溫度

公式 10-4

☛ 攝氏溫標與凱氏溫標的關係

由前述氣體的特性研究推論，當氣體冷卻至 -273°C ，其體積為零，由於氣體體積不可能為負值，故 -273°C (或 -273.15°C) 為理論上的最低溫度，稱為**絕對零度 (absolute zero)**。1848 年，克耳文 (William Thomson, 1st Baron Kelvin, 1824-1907) 定義新的溫標，將此絕對零度作為零點，此溫標稱為**凱氏溫標 (Kelvin scale)** 或**熱力學溫標 (thermodynamic temperature scale)**，單位名稱稱為「克耳文 (kelvin)」，單位符號“K”。攝氏溫標與凱氏溫標的關係，如公式 10-5 所示。

$$T = 273.15 + t$$

t ：攝氏溫度 [$^{\circ}\text{C}$]
 T ：凱氏溫度 [K]

公式 10-5

若以凱氏溫標代入公式 10-4，則查理定律可表示成定壓時，定量氣體的體積與絕對溫度成正比，如公式 10-6 所示。

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

V_1 ：初溫度下的氣體體積
 V_2 ：末溫度下的氣體體積
 T_1 ：初狀態的凱氏溫度
 T_2 ：末狀態的凱氏溫度

公式 10-6

本實驗將測量空氣在數組不同攝氏溫度下的體積值，並對這些數據進行**線性迴歸 (linear regression)**，求出空氣溫度與體積的線性關係後，可以**判定係數 (coefficient of determination, R^2)** 或**相關係數 (correlation coefficient, r)** 檢視其線性關係的強度，在簡單線性迴歸分析中，判定係數恰為相關係數的平方，亦即 $R^2 = r^2$ 。判定係數會介於 0 ~ 1 之間，若為 1 表示線性關係強、若為 0 則表示線性關係弱。

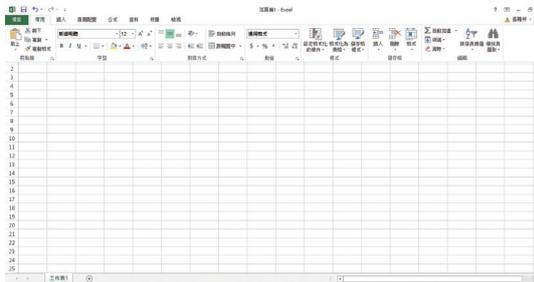
以外插法代入該直線方程式求得體積為零時的氣體攝氏溫度，此溫度即為絕對零度，故可得攝氏溫標與凱氏溫標的關係 (如公式 10-5)。現在以某學生實驗數據為例 (如表 10-1 所示)，將溫度設為 x 軸、體積設為 y 軸，分別利用 excel 程式與工程計算機進行線性迴歸，可得出與公式 10-1 相似的線性方程式「 $y = 0.6806x + 182.47$ 」。當體積為零時，即令 $y = 0$ 代入擬合的直線方程式中，可得 $x = -268.1$ ，故由此實驗數據推論絕對零度為 -268.1°C 。詳細線性迴歸操作方法介紹如下。

▼表 10-1 氣體體積與溫度的關係

溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	25	35	45	55	65	75
體積 (mL)	200.00	205.80	213.00	219.80	226.60	233.80

一、利用 Excel 進行線性迴歸

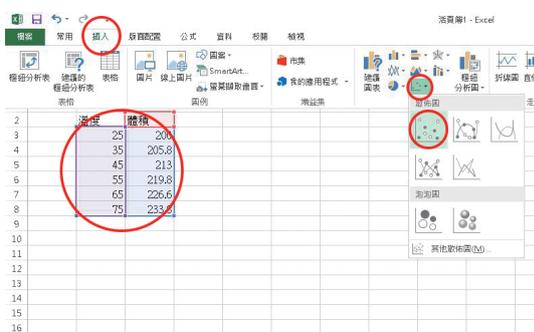
1. 以電腦打開 excel 程式，以 excel 2013 為例 (如圖 10-3 所示)。
2. 輸入實驗數據，溫度為 x 軸、體積為 y 軸 (如圖 10-4 所示)。
3. 用滑鼠將所有數據點選反白後，點選上方「插入」功能下的「散佈圖」選項 (如圖 10-5 所示)。
4. 出現數據圖形後，點選圖形外框，移動圖形使其不與數據重疊 (如圖 10-6 所示)。
5. 點選數據圖形中一個數據點，按右鍵，選擇「加上趨勢線」(如圖 10-7 所示)。
6. 出現對話框後，點選 3 個功能，即線性、圖表上顯示公式、圖表上顯示 R 平方值 (如圖 10-8 所示)。
7. 到此為止，已完成線性迴歸，可看到圖中顯示線性方程式，若欲使圖更完善，可視需要進行下列動作。
 - (1) 關閉對話框，在「圖名」處輸入圖名資料 (如圖 10-9 所示)。
 - (2) 按壓一次圖形框，再點選上方「圖表工具」下的「版面配置」功能，選擇「座標軸標題」，以輸入 X 軸與 Y 軸的軸名 (如圖 10-10 所示)。



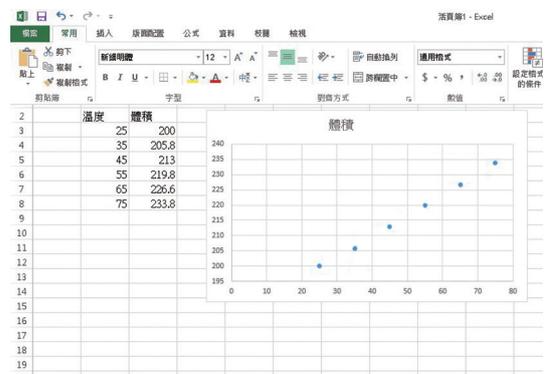
▲圖 10-3 開啟 excel

	溫度	體積
2		
3	25	200
4	35	205.8
5	45	213
6	55	219.8
7	65	226.6
8	75	233.8
9		

▲圖 10-4 輸入數據



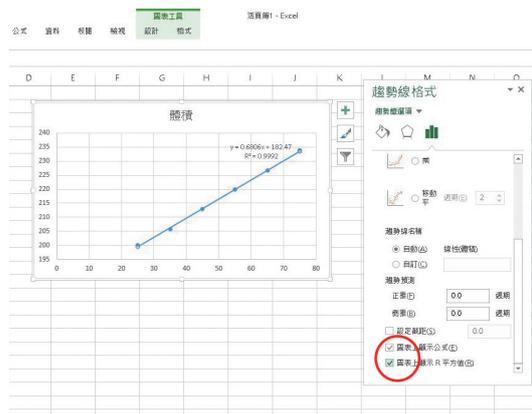
▲圖 10-5 將數據點選反白後，插入「散佈圖」



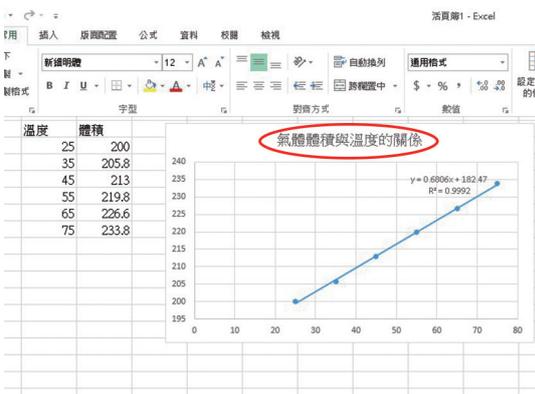
▲圖 10-6 移動圖形使其不與數據重疊



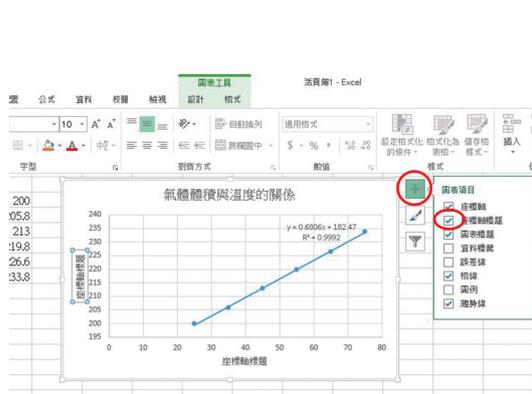
▲圖 10-7 選擇「加上趨勢線」



▲圖 10-8 點選對話框功能



▲圖 10-9 在「圖名」處輸入圖名資料



▲圖 10-10 輸入 X 軸與 Y 軸的軸名

二、利用工程計算機進行線性迴歸 (以 CASIO fx-350ES 為例)

1. 按下 SHIFT 9 3 $=$ AC ，清除記憶體。
2. 按下 MODE 2 2 ，填入實驗數據。
3. 輸入 x (溫度)、y (體積) 數據，如表 10-2 所示。

▼表 10-2 計算機的數據填入方式

	X	y
1	25	200.00
2	35	205.80
3	45	213.00
4	55	219.80
5	65	226.60
6	75	233.80

4. 按下 AC SHIFT 1 5 ，獲取統計數值。
 - (1) 按下 1 $=$ ，獲取迴歸係數 A，即截距。
 - (2) 按下 2 $=$ ，獲取迴歸係數 B，即斜率。
 - (3) 按下 3 $=$ ，獲取迴歸係數 r，即相關係數。
5. 按下 0 SHIFT 1 5 4 $=$ ，求得絕對零度之攝氏溫度。

三、利用工程計算機進行線性迴歸 (以 CASIO fx-991ES 為例)

1. 按下 SHIFT 9 3 $=$ AC ，清除記憶體。

- 按下 $\boxed{\text{MODE}} \boxed{3} \boxed{2}$ ，填入實驗數據。
- 輸入 x (溫度)、 y (體積) 數據，如表 10-3 所示。

▼表 10-3 計算機的數據填入方式

	X	y
1	25	200.00
2	35	205.80
3	45	213.00
4	55	219.80
5	65	226.60
6	75	233.80

- 按下 $\boxed{\text{AC}} \boxed{\text{SHIFT}} \boxed{1} \boxed{7}$ ，獲取統計數值。
 - 按下 $\boxed{1} \boxed{=}$ ，獲取迴歸係數 A，即截距。
 - 按下 $\boxed{2} \boxed{=}$ ，獲取迴歸係數 B，即斜率。
 - 按下 $\boxed{3} \boxed{=}$ ，獲取迴歸係數 r，即相關係數。
- 按下 $\boxed{0} \boxed{\text{SHIFT}} \boxed{1} \boxed{7} \boxed{4} \boxed{=}$ ，求得絕對零度之攝氏溫度。
- 其他型號計算機請參閱該型號之說明書。

10-2 實習活動

實驗目的

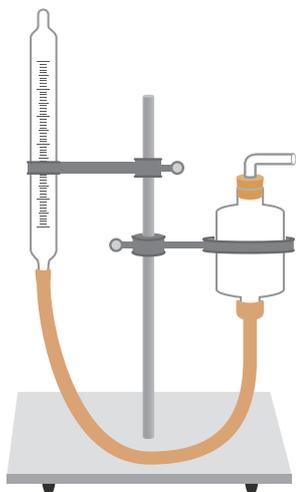
- 以實驗驗證查理定律。
- 能夠利用線性迴歸方法求得絕對零度。
- 能夠利用絕對零度求得攝氏溫標與凱氏溫標的關係。

器材藥品

名稱	規格	數量	名稱	規格	數量
鐵架	含鐵環	2 組	玻璃彎管	6 mm	2 個
滴定管夾		1 個	圓底燒瓶	100 mL	1 個
廣用夾		1 個	燒杯	500 mL	1 個
氣體量管	100 mL	1 支	陶瓷纖維網		1 個
水準瓶	100 mL	1 個	本生燈		1 個
橡皮管	2 m	1 條	擋風板		1 個
剪刀		1 個	量筒	100 mL	1 個
橡皮塞	配合水準瓶與圓底燒瓶大小	2 個	溫度計		1 支
鑽孔器		1 組			

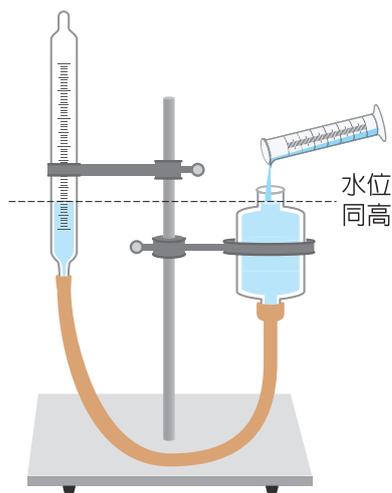
實驗步驟

步驟 1



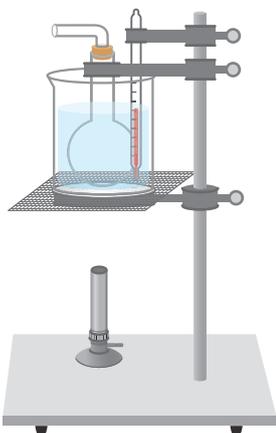
準備一鐵架，將氣體量管與水準瓶以橡皮管連接固定好，將水準瓶塞上附彎管的橡皮塞，橡皮塞高度約在氣體量管低處。

步驟 2



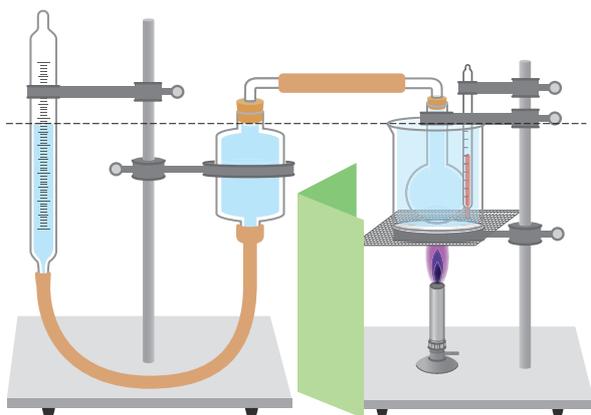
於水準瓶內加水至水位和氣體量管內水位等高，且水位盡量接近橡皮塞底部，再塞上附彎管的橡皮塞。

步驟 3



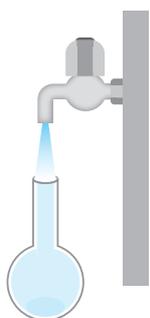
準備內部乾燥無水之圓底燒瓶固定在鐵架上，並置於 500 mL 燒杯內，將圓底燒瓶塞上附彎管的橡皮塞，並於 500 mL 燒杯內加水至橡皮塞底部。

步驟 4



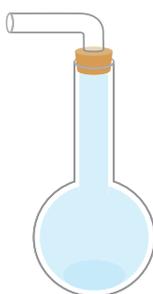
- (1) 準備橡皮管將水準瓶與圓底燒瓶的彎管接合，將擋風板置於中間以避免水準瓶受熱，記錄此時燒杯中水溫與氣體量管刻度。
- (2) 以本生燈將燒杯中的水加熱，使水溫上升約 10°C 後維持水溫並記錄，此時移動氣體量管，使管內水位和水準瓶內水位等高，再讀取氣體量管的刻度。
- (3) 重複上述步驟五次，每升溫約 10°C 便記錄水的溫度及氣體量管的刻度數。

步驟 5



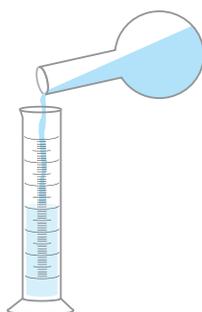
測量氣體試樣的初體積，即拆卸裝置後，將圓底燒瓶注滿水。

步驟 6



塞上附彎管的橡皮塞使多餘水溢出。

步驟 7



測量燒瓶內的水體積即氣體試樣的初體積。



充電小站

實驗注意事項

1. 水準瓶的水盡量加到接近滿，讓橡皮塞放入時，水位剛好到橡皮塞底部。
2. 圓底燒瓶一開始勿清洗，須保持瓶內乾燥。
3. 實驗過程中，若有水流到圓底燒瓶內需再重新操作一次。
4. 若加熱過程中溫度上升但水準瓶水位無下降，則表示有氣體溢出，須調整橡皮塞使其密合。
5. 接合水準瓶與圓底燒瓶的橡皮管應盡量短，避免影響氣體試樣的體積誤差。

實驗數據記錄與分析

1. 未加熱時之氣體溫度 (t_0) _____ °C、氣體初體積 (V_0) _____ mL
2. 加熱之溫度與氣體量管刻度

溫度 (°C)	氣體量管刻度 (mL)	氣體體積 (mL)	氣體體積比值 $\left(\frac{V_n}{V_0}\right)$	氣體溫度比值 $\left(\frac{273+t_n}{273+t_0}\right)$
$t_0 =$	$H_0 =$	$V_0 =$		
$t_1 =$	$H_1 =$	$V_1 = V_0 + (H_0 - H_1) =$		
$t_2 =$	$H_2 =$	$V_2 = V_1 + (H_1 - H_2) =$		
$t_3 =$	$H_3 =$	$V_3 = V_2 + (H_2 - H_3) =$		
$t_4 =$	$H_4 =$	$V_4 = V_3 + (H_3 - H_4) =$		
$t_5 =$	$H_5 =$	$V_5 = V_4 + (H_4 - H_5) =$		

3. 由氣體體積比值與氣體溫度比值關係是否可驗證查理定律？ _____ (是 / 否)
4. 設溫度為 x 軸，體積為 y 軸，利用計算機對實驗數據進行線性迴歸，得出 $y = A + Bx$
 - (1) $A =$ _____
 - (2) $B =$ _____
5. 由本實驗的線性迴歸結果，可知體積為 0 mL 時，攝氏溫度為 _____ °C
6. 由本實驗的數據可知攝氏溫標 (t) 與絕對溫標 (T) 的關係為： _____
7. 理論上攝氏溫標 (t) 與絕對溫標 (T) 的關係為： _____

問題與討論

1. 本實驗的過程中，氣體量管為何不密封起來？
2. 本實驗中的氣體試樣體積，為何待實驗完成後才測試？
3. 本實驗過程中，水準瓶與圓底燒瓶是如何接合？接合的器具有什麼應注意事項？
4. 本實驗過程中，為什麼要先調整使氣體量管液位與水準瓶液位等高，再讀取氣體量管刻度？
5. 什麼是查理定律？



重點整理

1. 定壓下，定量氣體每升高 1°C ，體積增加量為 0°C 時體積的 $1/273$ ，此稱為查理定律。
2. 「 -273.15°C 」為理論上的最低溫度，稱為絕對零度。
3. 攝氏溫標與凱氏溫標的關係，如下。

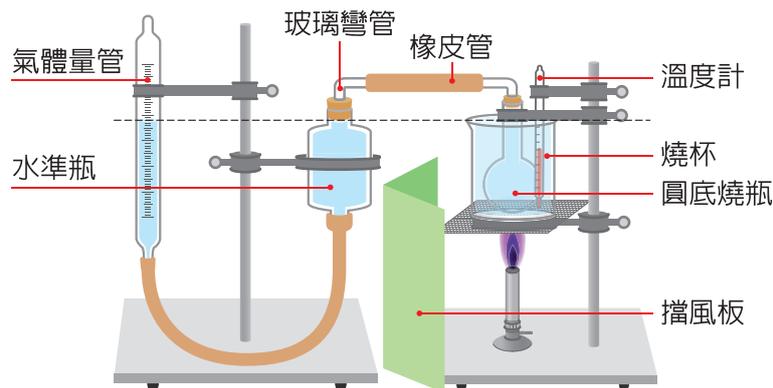
$$T = 273.15 + t$$

t：攝氏溫度 [$^{\circ}\text{C}$]

T：凱氏溫度 [K]



- () 1. 定壓時，定量氣體的體積與絕對溫度成正比，此為下列哪一個定律？
 (A) 波以耳定律 (B) 亞佛加厥定律 (C) 查理定律 (D) 黑斯定律
- () 2. 給呂薩克發現定壓下，定量氣體每升高 1°C ，體積增加量為某溫度下該氣體體積的 $1/273$ ，請問某溫度為？
 (A) 273°C (B) 0°C (C) 0°F (D) 0 K
- () 3. 理論上的最低溫度為？ (A) 0 K (B) -273 K (C) 0°C (D) 0°F
- () 4. 攝氏溫度為 273°C ，請問相當於多少的絕對溫度 (K)？
 (A) -273 K (B) 0 K (C) 100 K (D) 546 K
- () 5. 某氣體在 27°C 下的體積為 3 L ，請問該氣體降低到 -73°C ，則氣體體積變為多少？
 (A) 1 L (B) 1.5 L (C) 2 L (D) 2.5 L
- () 6. 進行線性迴歸時，判定係數的值愈接近多少，表示其線性關係愈強？
 (A) 0 (B) 1 (C) 20 (D) 100
- () 7. 測量氣體體積與溫度的關係時，其裝置如下圖。請問氣體試樣體積應以下列哪一個容器內體積計量？ (A) 橡皮管 (B) 氣體量管 (C) 水準瓶 (D) 圓底燒瓶



- () 8. 承上題，實驗過程中，下列哪兩個容器內的液位應保持等高？
 (A) 氣體量管與水準瓶 (B) 氣體量管與燒杯
 (C) 水準瓶與圓底燒瓶 (D) 以上容器內液位皆應等高
- () 9. 承上題，為了避免氣體試樣的熱量損失，下列何種情況不應該發生？
 (A) 燒杯內液位應高於圓底燒瓶瓶身 (B) 玻璃彎管應盡量短
 (C) 橡皮管應盡量短 (D) 玻璃彎管管徑應盡量大
- () 10. 承上題，關於本實驗的操作，下列敘述何者錯誤？
 (A) 擋風板主要功用為避免本生燈火焰熄滅
 (B) 隨著加熱時間的增加，氣體試樣體積漸增
 (C) 若加熱過程中溫度上升但水準瓶水位無下降，則表示有氣體溢出
 (D) 圓底燒瓶一開始勿清洗，應保持瓶內乾燥

