

實驗九 理想氣體

實驗目的：

藉由理想氣體定律儀來驗證理想氣體方程式，進而求得空氣分子莫耳數 n 。

實驗儀器：

理想氣體定律儀，壓力感應器，溫度感應器，數位感應裝置，類比感應裝置，數位-類比轉接頭

實驗原理：

A. 理想氣體方程式

十七世紀時，波以耳(R. Boyle)發現當氣體溫度 T 固定時，氣體壓力 P 與氣體體積 V 乘積為定值，即

$$PV = \text{const.} \quad (\text{溫度不變}) \quad (1)$$

在等溫過程中，氣體壓力 P 與氣體體積 V 成反比關係，稱為波以耳定律。

而後，查理(J. Charles)與給呂薩克(J. Gay-Lussac)發現當氣體壓力 P 固定時，低密度的氣體體積 V 與攝氏溫度 t 關係如下所示

$$V = V_0 \left(1 + \frac{t}{273.15} \right) \quad (2)$$

(2)式中 V_0 為 0°C 時氣體體積。即當氣體壓力 P 不變時，氣體溫度每升高(或降低) 1°C 時，氣體體積增加(或減少)量為 V_0 的 $\frac{1}{273.15}$ 倍。

在國際公制中，溫度的單位為克爾文(Kelvin, K)，又稱絕對溫度。絕對溫度不僅是溫度單位，亦為熱力學的主要參數之一。絕對溫度 T 與攝氏溫度 t 的關係如下所示

$$T = 273.15 + t \quad (3)$$

由公式(3)可知，當攝氏溫度為 0°C 時，所對應的絕對溫度為 273.15 K ；攝氏溫度為 -273.15°C 時，所對應的絕對溫度為 0 K ，又稱絕對零度。

假設 $T_0 = 273.15 \text{ K}$ ，則可將(2)式改寫成

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} = \text{const.} \quad (3)$$


結合(1)式與(3)式，則氣體分子必滿足下述關係式，即稱為理想氣體方程式。

$$\frac{PV}{T} = \text{const.} \quad (4)$$

理想氣體的條件為分子不佔有體積、分子間無吸引力且無交互作用之氣體。若氣體之分子量小且在高溫低壓的狀況下，則此氣體的性質越接近理想氣體。

B. 氣體分子莫耳數

由理想氣體方程式可知，在標準狀態下氣體溫度 $T_0 = 273.15 \text{ K}$ ，且一莫耳氣體壓力 $P_0 = 1 \text{ atm}$ ，氣體體積 $V = 22.4 \text{ L}$ 。代入公式(4)，即可推得氣體常數 R


$$\begin{aligned} R &= \frac{P_0 V_0}{n T_0} = \frac{(1 \text{ atm})(22.4 \text{ L})}{(1 \text{ mol})(273.15 \text{ K})} \\ &= 0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \\ &= 8.31 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 8.31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \end{aligned}$$

承上， n 莫耳氣體其氣體方程式可表示為

$$\begin{aligned} PV &= nRT \\ \Rightarrow V &= nR \frac{T}{P} \end{aligned}$$

即在氣體體積 $V(\text{mL})$ 與 絕對溫度 T /氣體壓力 $P(\text{K/kPa})$ 關係圖中，即可由斜率 (slope) nR 計算氣體分子莫耳數 n 。

$$n = \frac{\text{slope}}{8.31} \times 10^{-3} (\text{mol})$$

注意事項：

1. 為防止儀器損壞，下壓活塞時，應以一手緊握理想氣體定律儀，另一手再以適當的力道迅速下壓活塞。

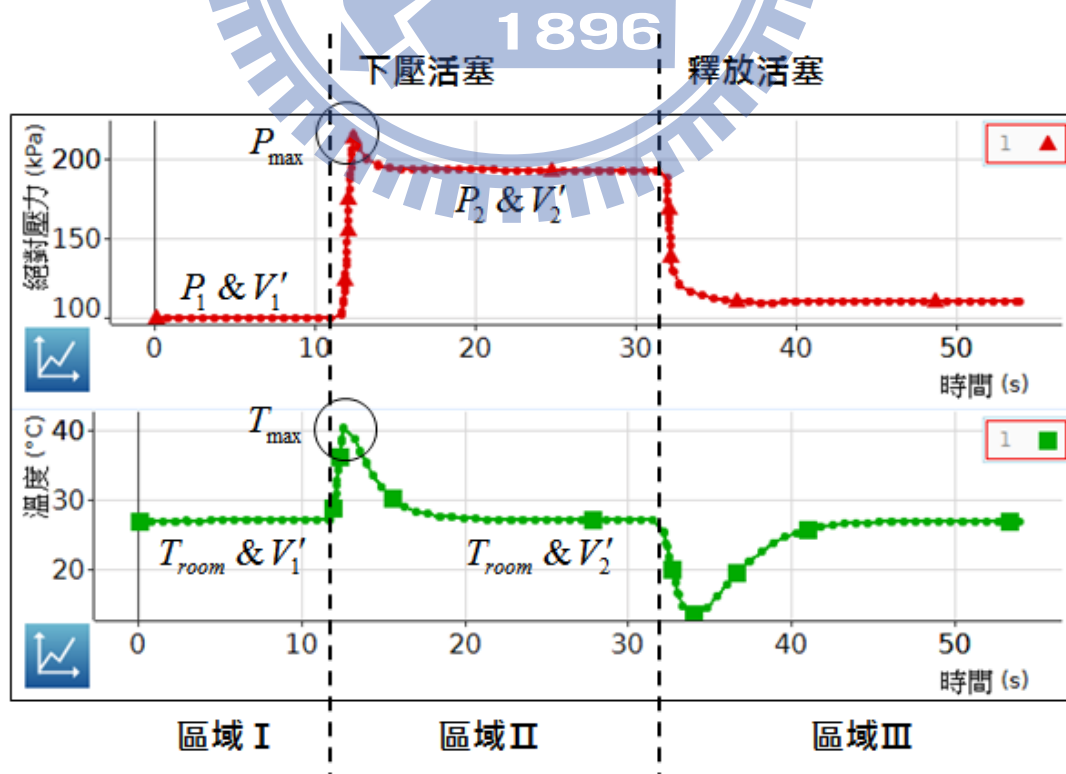
實驗步驟：

A. 驗證理想氣體方程式

1. 於理想氣體定律儀未連接任何感應器前，將活塞下壓至最底部。記錄此時空氣柱體積為 V_2 ，即活塞下緣(黑色橡皮圈)所對應刻度。
2. 將理想氣體定律於活塞向上拉，使空氣柱體積為 V_1 約 35.0 -40.0 mL 後，再依序連接壓力與溫度感應器。
3. 依軟體操作說明書設定相關參數與關係圖。
4. 啟動軟體開始擷取數據，同時觀察『絕對壓力-時間』與『溫度-時間』關係曲線變化約 10 秒。(如圖一，區域 I)
5. 以一手緊握理想氣體定律儀，另一手以適當力道快速下壓活塞至氣體定律儀最底部且 **壓住不放**。

[註] 此時，理想氣體定律儀內部空氣柱體積為 V_2 。

6. 觀察『絕對壓力-時間』關係圖，空氣壓力會由 P_1 會迅速上升至某一極大壓力 P_{max} 後，再往下降至穩定壓力 P_2 。(圖一，區域 II)
7. 觀察『溫度-時間』關係圖，空氣溫度會由室溫 T_{room} 迅速上升至某一極大溫度 T_{max} 後，再往下降至室溫 T_{room} 。(圖一，區域 II)
8. 承上，待兩關係圖表內曲線變化皆趨於穩定約 10 秒後再釋放活塞。(圖一，區域 III)。
9. 釋放活塞後，再觀察『絕對壓力-時間』與『溫度-時間』關係圖，當空氣壓力 P 與溫度 T 趨於穩定約 10 秒後，再停止擷取數據。



圖一 『絕對壓力-時間』與『溫度-時間』關係圖 I

(a) 定溫下量測透明塑膠管體積 V_0

1. 對照圖一，分別記錄下壓活塞前(區域 I)與下壓活塞至底後(區域 II)，空氣壓力 P_1 、 P_2 與空氣柱體積 V_1 、 V_2 。
2. 依據理想氣體方程式 $P_1V_1' = P_2V_2'$ ，計算透明塑膠管體積 V_0 。

[註] $V_1' = V_1 + V_0$ 、 $V_2' = V_2 + V_0$

(b) 驗證理想氣體定律

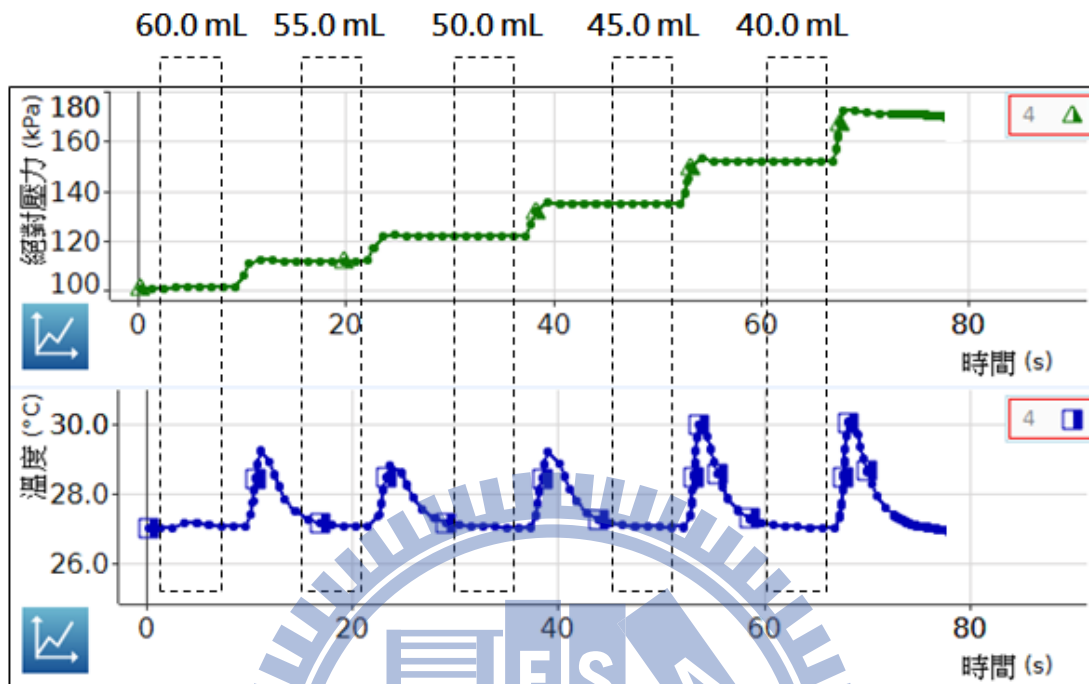
1. 對照圖一，分別記錄下壓活塞前(區域 I)，空氣壓力 P_1 、空氣體積 V_1' (含空氣柱體積 V_1 與塑膠管體積 V_0) 與空氣溫度 T_{room} 。
2. 承上，分別記錄下壓活塞後，空氣壓力極大值 P_{max} 、空氣體積 V_2' (含空氣柱體積 V_2 與塑膠管體積 V_0) 與空氣溫度極大值 T_{max} 。
3. 由理想氣體方程式，計算 $\frac{P_1V_1'}{T_{room}}$ 及 $\frac{P_{max}V_2'}{T_{max}}$ ，並計算百分誤差。

$$\text{Percent Difference} = \frac{\left| \frac{P_{max}V_2'}{T_{max}} - \frac{P_1V_1'}{T_{room}} \right|}{\frac{P_1V_1'}{T_{room}}} \times 100 (\%)$$

B. 驗證氣體分子莫耳數 n

1. 於理想氣體定律儀未連接任何感應器前，將理想氣體定律於活塞向上拉，使內部空氣柱體積為 60.0 mL，再依序連接壓力與溫度感應器。
2. 依軟體操作說明書設定相關參數與關係圖。
3. 啟動軟體開始擷取數據，同時觀察『絕對壓力-時間』與『溫度-時間』關係曲線變化約 10 秒。
4. 以一手緊握氣體定律儀，另一手以適當力道快速下壓活塞，使內被空氣柱體積為 55.0 mL 且 **壓住不放**。
5. 觀察『絕對壓力-時間』關係圖，空氣壓力會由 P_1 會迅速上升至某一極大壓力 P_{max} 後，再下降並趨於穩定。
6. 觀察『溫度-時間』關係圖，空氣溫度會由室溫 T_{room} 迅速上升至某一極大溫度 T_{max} 後，再下降回至室溫 T_{room} 。
7. 承上，待兩關係圖內曲線變化皆趨於穩定約 10 秒後，重覆上述步驟。依序下壓活塞使內部空氣柱體積為 55.0 mL、50.0 mL、45.0 mL、40.0 mL 與 35.0 mL，空氣柱壓力與溫度，如圖二所示。
8. 當空氣壓力 P 與溫度 T 趨於穩定約 10 秒後，停止擷取數據。依序記錄空氣柱體積所對應壓力與溫度值，如圖二所示。
9. 作 $V - \frac{T}{P}$ 關係圖，再由線性迴歸線取得關係圖斜率 $slope$ 。

10. 計算空氣分子莫耳數 $n = \frac{slope}{8.31} \times 10^{-3}$ (mol)，並計算百分誤差。



圖二 『絕對壓力-時間』與『溫度-時間』關係圖 II

實驗問題：

1. 在圖一中，釋放活塞後，氣體溫度會先下降最終又回到室溫 T_{room} ，其原因為何？試說明之。
2. 在圖一中，下壓活塞後再經過一段時間後，氣體溫度會逐漸恢復至室溫 T_{room} ，而氣體壓力卻大於下壓活塞前，其原因為何？試說明之。