

實驗六 分子量的測定

一、目的

學習理想氣體定律方程式的推導，並運用於氣體分子量測定。



圖 6-1 隔水加熱



圖 6-2 大氣壓力計



圖 6-3 器材先秤重

二、原理

物質分成三態：固態(solid state)、液態(liquid state)和氣態(gas state)。隨著溫度與壓力的變化，三態可互相轉變。在週期表中， F_2 、 Cl_2 、 O_2 、 N_2 及鈍氣在常溫常壓下為氣態。氣體分子彼此間的距離相當大，具有膨脹性(expansion)、壓縮性(compression)、擴散性(diffusion)及液化(liquefying)等特性。

西元 1662 年，義大利科學家波以耳(Robert Boyle, 1627-1691)用一端密封的 J 型管，注入汞液體後，觀察密封端所鎖住的氣體體積與壓力的關係，實驗結果為定溫下，定量氣體的壓力(P)與體積成反比，此即為波以耳定律(Boyle's law)，以數學方程式表示為：

$$(PV = k_1)_{T, n}, \text{ at constant temperature and amount.}$$

西元 1787 年、法國物理學家查理(Jacques Charles, 1746-1823)在氣球中裝入氫氣、觀察溫度與充滿氣體的氣球體積的關係、得到的實驗結果為一定壓力下，定量氣體的體積與絕對溫度(absolute temperature, $K = 273.15 + ^\circ C$)成正比，此即查理定律(Charles's law)，數學式表示成：

$$\left(\frac{V}{T} = k_2 \right)_{P, n} \text{ 或 } V = k_2 \times T, \text{ at constant P and n.}$$

1811 年義大利物理化學家亞佛加厥(Amedeo Avogadro, 1776-1865)提出一重要假說。同溫同壓下，同體積的任何氣體均含有相同數的分子，稱之為亞佛加厥定律(Avogadro's law)，數學式可表示成：

$$\left(\frac{V}{n} = k_3 \right)_{T, P} \text{ 或 } V = k_3 \times n, \text{ at constant T and P.}$$

將描述氣體的三種定律合併考量得到

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Boyle's law : } V = \frac{k_1}{P}, \text{ at constant } T \text{ and } n \\ \text{Charles's law : } V = k_2 \times T, \text{ at constant } P \text{ and } n \\ \text{Avogadro's law : } V = k_3 \times n, \text{ at constant } T \text{ and } P \end{array} \right.$$

得到的理想氣體方定律方程式(idea gas law)：

$$PV = nRT$$

P：壓力，V：體積，n：莫耳數，R：氣體常數，T：絕對溫度(K)

一莫耳氣體，在一大氣壓、0 °C 的標準狀態下(standard state)，氣體的體積為 22.414 L。方程式中的 R 值為 0.08206 L atm/mol K 或 8.314 Joule/mol K 或 1.987 cal/mol K。

本實驗利用隔水加熱法將覆蓋著鋁箔紙(刺了小洞)內裝有揮發性液體的錐形瓶加熱到此液體的沸點之上，待其完全汽化充滿整個錐形瓶時，紀錄水溫及實驗室的壓力(需校正)，拿出錐形瓶待冷卻降溫後，秤量充滿整個錐形瓶中的氣體

冷凝成液體時此液體的重量，代入 $PV = nRT = \frac{W_{\text{液體重}}}{M_{\text{液體分子量}}} RT$ ，求得此物

質的分子量。最重要的根據原理是將此汽化後的氣體當作是理想氣體。

三、藥品

1. 待側液：以量筒取 2 mL/每次 × 3。

丙酮(Acetone, CH_3COCH_3)，酒精(Alcohol, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)，甲醇(Methyl alcohol, CH_3OH)

四、器材

A. 抽屜拿出：

1. 錐形瓶：125 mL
2. 燒杯：500 mL
3. 溫度計

B. 助教發配，實驗後歸還：

1. 橡皮筋
2. 毛細管

C. 其他器材：

1. 大氣壓力計(使用及較正說明附於後頁)
2. 鋁箔紙

※大氣壓力計使用說明

1. 讀取溫度計，至小數點下第一位並紀錄之。
2. 旋轉底端螺絲，直至底端水銀面與象牙尖恰好接觸。
3. 轉動上螺絲，使副尺底端與水銀凸面切齊，在眼睛與水銀面保持水平的狀態下讀取刻度，副尺與主刻度尺相切齊的第一位數為小數以下第一位的值，紀錄之。
4. 旋轉底端螺絲，直至底端水銀面與象牙尖離 1 mm 以上(務必做到)。
5. 將紀錄的溫度及壓力值(P_{obs})代入下列修正表得到 Δ 值，以內插法求之，由 $P_{\text{torr}} = P_{\text{obs}} - \Delta$ ，即可求出 P_{torr} 。

*不同溫度及壓力下之 Δ 值

t °C	720 mmHg	740 mmHg	760 mmHg	780 mmHg	800 mmHg
16	1.88	1.93	1.90	2.03	2.09
17	1.99	2.05	2.10	2.16	2.22
18	2.11	2.17	2.23	2.29	2.35
19	2.23	2.29	2.35	2.41	2.48
20	2.34	2.41	2.47	2.54	2.60
21	2.46	2.53	2.60	2.67	2.73
22	2.58	2.65	2.72	2.79	2.86
23	2.69	2.77	2.84	2.92	2.99
24	2.81	2.89	2.97	3.05	3.12
25	2.93	3.01	3.09	3.17	3.25
26	3.04	3.13	3.21	3.30	3.38
27	3.16	3.25	3.34	3.42	3.51
28	3.28	3.37	3.46	3.55	3.64
29	3.39	3.49	3.58	3.68	3.77
30	3.51	3.61	3.71	3.80	3.90

※大氣壓力之校正

實際氣壓 = 觀測氣壓 - 校正因子

Ex :

溫度 \ 氣壓	760 mmHg	764.3 mmHg	780 mmHg
21.0 °C	2.60		2.67
21.5 °C	A (2.66)	C (校正因子)	B (2.73)
22.0 °C	2.72		2.79

A (760 mmHg)

$$\frac{22.0 - 21.5}{22.0 - 21.0} = \frac{2.72 - A}{2.72 - 2.60} \quad A = 2.66$$

B (780 mmHg)

$$\frac{22.0 - 21.5}{22.0 - 21.0} = \frac{2.79 - B}{2.79 - 2.67} \quad B = 2.73$$

C (21.5 °C)

$$\frac{780.0 - 764.3}{780.0 - 760.0} = \frac{2.73 - C}{2.73 - 2.66} \quad C = 2.68$$

校正前：觀測氣壓 = 764.3 mmHg

校正後：實際氣壓 = 764.3 - 2.68 = 761.6 mmHg

五、步驟

1. 500 mL 燒杯裝 2/3 滿的水，加熱到約 80 °C，保持固定溫度，燒杯中放置溫度計以利測量。
2. 乾淨且乾燥的 125 mL 錐形瓶連同約 5 cm² 的鋁箔紙和一條橡皮筋一起秤重，記錄到小數點第四位。
3. 錐形瓶中放入 2 mL 助教指定編號的待測液，用橡皮筋將鋁箔紙封於瓶口，以毛細管在鋁箔紙上戳一小孔。
4. 三角夾夾於錐形瓶頸端固定之！將其放入熱水中進行隔水加熱。
5. 水溫保持固定約 50 °C，觀察錐形瓶內液體直至完全汽化，沒有任何殘存。溫度計稍拿高勿接觸到燒杯底部，測量水浴溫度並紀錄之。
6. 將錐形瓶拿出冷卻。
7. 操作實驗室之大氣壓力計並記錄氣壓(後需校正)及室溫。
8. 拭乾錐形瓶外及鋁箔紙上的水滴再次秤量錐形瓶、鋁箔紙、橡皮筋及冷凝液體總重。
9. 錐形瓶拆除鋁箔紙及橡皮筋，裝滿水後倒入大量筒測量錐形瓶體積。
10. 算出液體重並代入 $PV = \frac{W}{M}RT$ ，得此液體之分子量。
11. 重複步驟 1~8，進行第二次、第三次實驗，算平均值。

六、數據與結果：

室溫 _____ °C	第一次	第二次	第三次
錐形瓶 + 鋁箔紙 + 橡皮筋重 (g)			
水浴溫度 273.15 + °C (K)			
校正前實驗室氣壓 (mmHg)			
校正後實驗室氣壓(mmHg) (校正法列於下頁的問題與討論)			
$\frac{\text{校正後實驗室氣壓(mmHg)}}{760.0 \text{ mmHg/atm}}$ (atm)			
錐形瓶+鋁箔紙+橡皮筋+冷凝液重(g)			
冷凝液重 (g)			
錐形瓶體積 (L)			
分子量 $M.W. = \frac{WRT}{PV}$ (g/mol)	(算式) = _____ = _____	(算式) = _____ = _____	(算式) = _____ = _____
平均分子量(實驗值)(g/mol)			
樣品化學式：_____			
樣品分子量(理論值)(g/mol)			
相對誤差% = $\frac{\text{實驗值} - \text{理論值}}{\text{理論值}} \times 100\%$	(算式) = _____ = _____ %		

七、問題與討論：

1. 由大氣壓力計所觀測的氣壓值及室溫計算出校正因子 C 及校正後的氣壓值。(依照資料中大氣壓力之校正作表及列式算出 A、B、C 值)

2.

- (a) 水浴溫度可否低於 55°C ？原因？

(b) 水浴溫度可否控制於沸騰，比較優缺點。

(c) 討論理想氣體的體積及彼此的作用力。

3.

(a) 何種狀態下(壓力、溫度)可將氣體視為理想氣體。

(b) 何種狀態下(壓力、溫度)需將氣體修正為真實氣體(real gas)。

4. 寫出凡得瓦真實氣體修正式(Van der Waals equation)。

八、實驗心得與討論：

誤差討論：

心得：