

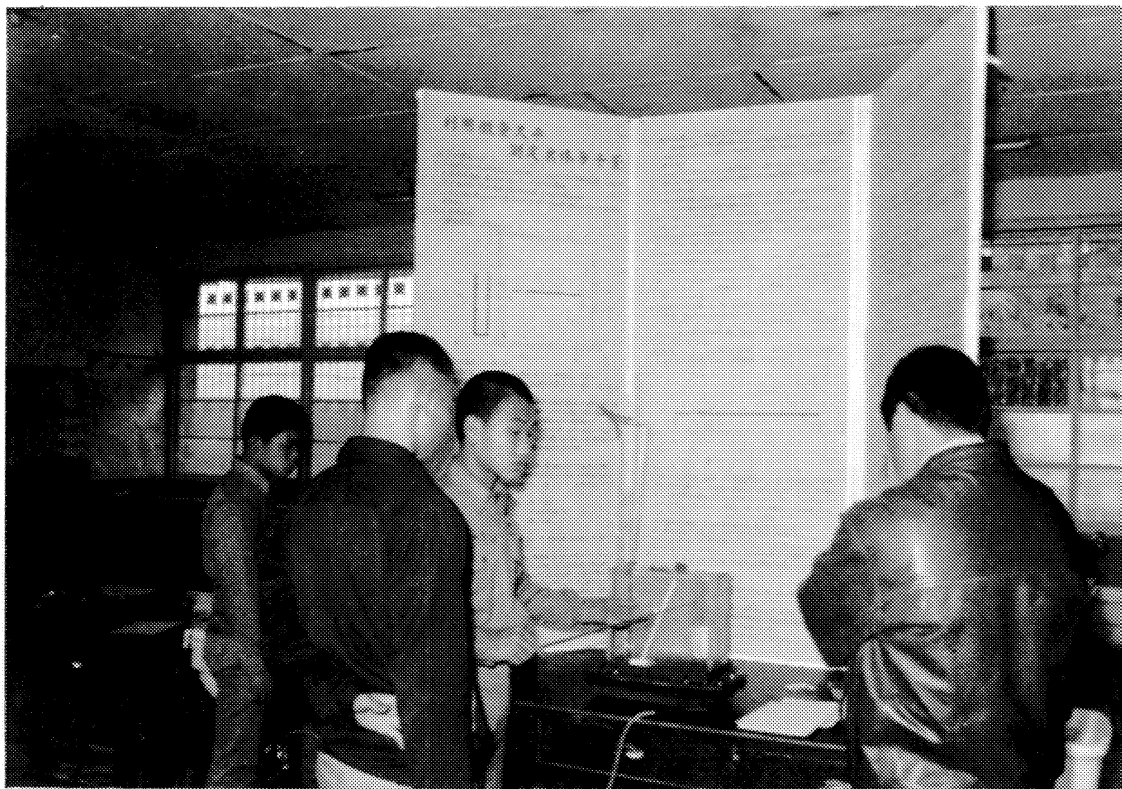
# 利用微量天平測定氣體分子量

## 國中學生組物理科第一名

高雄縣立阿蓮國民中學

作者：李世泉、白東興  
何福全

指導教師：李 暄、趙元賓



### 一、研究動機及目的

1. 物理課本教我們如何製造使用微量天平，當我們辛辛苦苦製造完成以後，却只能稱稱頭髮，實在有些大材小用，沒有實際的貢獻。
2. 化學課本教我們如何去測定氣體的分子量，可是測量的結果誤差太大。
3. 如果能用微量天平去測定氣體的分子量，相信一定比較準確。

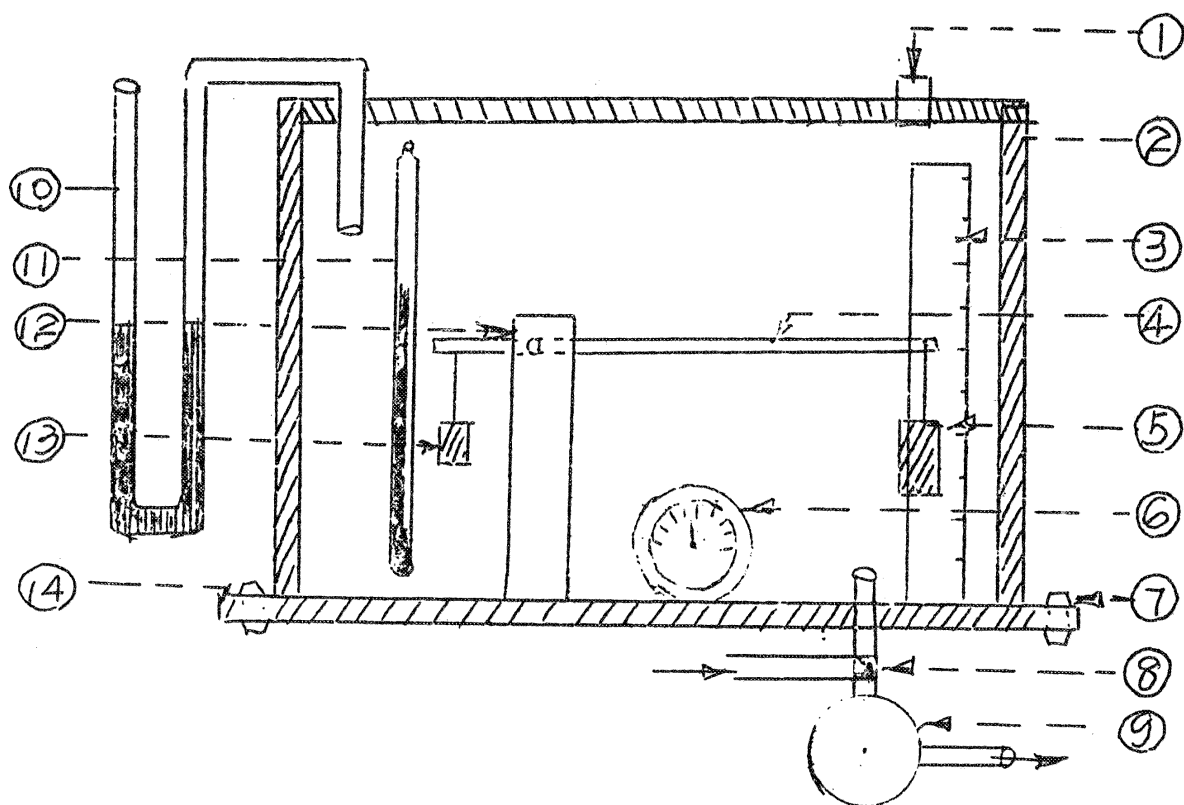
雖然測定氣體分子量還有其他很多精密的儀器，但是我們的目的是在藉微量天平的研究，進而對槓桿原理。浮體原理。波以耳定律。查理定律。密度定義。亞佛加厥學說。大氣壓力原理等相關理論，得以實際的觀察。操作和運用，建立我們的物理學基礎。

## 二、原理依據

1. 利用槓桿原理（施力×施力臂＝抗力×抗力臂）可以測定微小的質量。我們就按照物理課本所教的方法製造成微量天平，再用小碼放在載物台上，微量天平就會傾斜，把傾斜的高度換算成質量值，這樣我們就可以測量微小的氣體質量了。
2. 依據浮體原理，可以求氣體的密度，氣體對物體的浮力＝氣體的密度×物體的體積，當我們把微量天平放進一個密閉的壓克力箱中（如圖一），用一塊普麗龍掛在天平的長端，作為不變的物體，在短端也掛一塊普麗龍，不過裝了很多鐵釘在裡面，使天平保持平衡。因為不同的氣體，有不同的密度，所以只要箱內的氣體改變，就對普麗龍產生不同的浮力，天平的傾斜高度就會改變，根據高度的改變量就可以換算成質量，進而求出箱內氣體的密度。
3. 依據波以耳查理定律  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$  可以把實驗時的氣體體積換算成氣體在標準狀況（0°C，76 cm-Hg）下的體積，進而可求得在標準狀況時的密度。
4. 依據亞佛加厥學說可以求得氣體的分子量。因為任何氣體在標準狀況下，一克分子的體積都是 22.4 升，所以氣體的密度＝ $\frac{\text{質量}}{\text{體積}} = \frac{\text{分子量}(k)}{22.4 \text{ (升)}}$ 。

## 三、研究設備器材

1. 自製設備器材：如圖(一)



圖(一)

說明：

①砝碼進出口及橡皮塞。

②壓克力箱用透明壓克力 (Acry) 製成，厚 1.6 cm，抗壓力在  $1 \frac{\text{kg W}}{\text{cm}^2}$  以上。

③高度標尺：前後二支尺，透明，當天平尖端指針與二尺的刻度在一個平面上時，就是標準的高度了。

④微量天平：用吸管製成，以縫衣針作為轉軸。兩端掛普麗龍。長端普麗龍體積為  $100 \text{ cm}^3$ ，質量為  $0.320 \text{ g}$ 。短端體積為  $10 \text{ cm}^3$  的普麗龍內裝入鐵釘，使其質量為  $7.320 \text{ g}$ 。吸管長端為  $20.00 \text{ cm}$ ，短端為  $2.00 \text{ cm}$ ，按照槓桿定律  $0.732 \text{ g} \times 20.00 \text{ cm} = 7.320 \text{ g} \times 2.00 \text{ cm}$  天平仍應水平平衡。此時如果氣體的密度改變了，則  $100 \text{ cm}^3$  的浮力變化，必為  $100 \text{ cm}^3$  的變化的 10 倍，再經槓桿長的 10 倍，使最後的變化擴大了 100 倍，更精密地顯示出浮力的變化。

⑤⑬普麗龍。

⑥無液氣壓計：放在箱外爲了計算方便，我們一律先抽出一半的空氣後，再灌進一半的待測氣體。這樣  $100 \text{ cm}^3$  的普麗龍在空氣中的浮力  $B_1$  和在一半的某氣體中浮力  $B_2$  的關係爲

$$B_2 = B_1 + \Delta B$$

$\Delta B$  爲浮力差，可以從③上的高度差換算出來。

⑦底面封閉螺絲。

⑧三通管。

⑨抽氣機。

⑩水銀開口壓力計。

⑪溫度計。

⑫U型架。

⑭底板。

2. 準確體積普麗龍小塊的割切法：測出大塊普麗龍的密度，再用

密度公式， $\text{體積} = \frac{\text{質量}}{\text{密度}}$ ，只要在天平上稱出一小塊普麗龍的質

量，就可以知道它的體積了。然後再用重錘排水法來驗證它。

3. 操作方法：

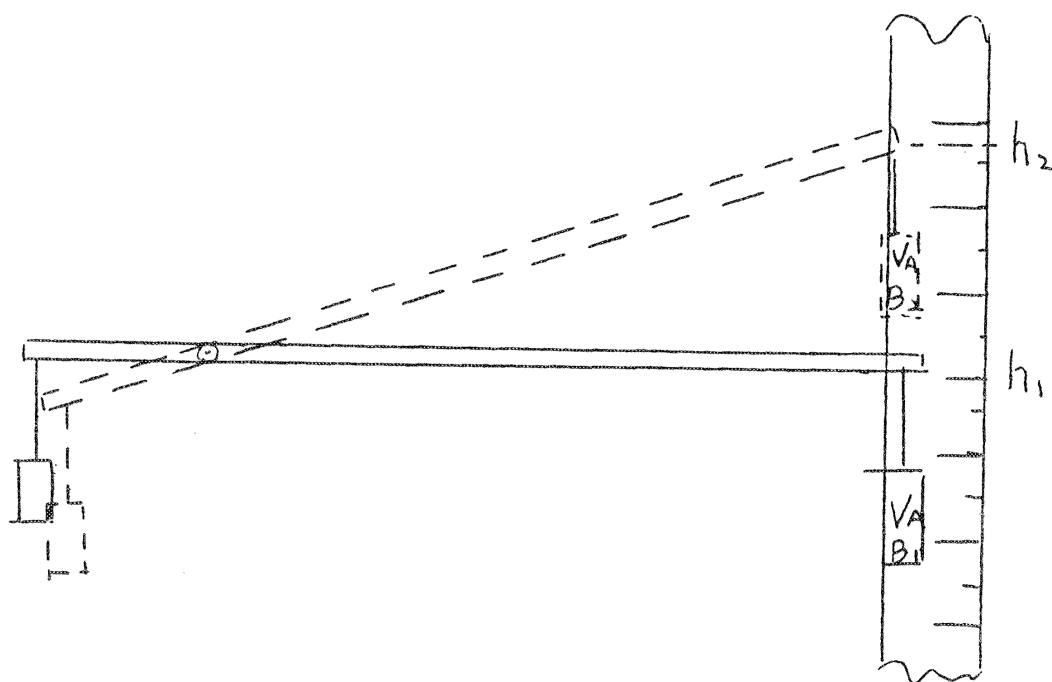
(1) 參閱圖(一)，打開①橡皮塞，使箱內的氣壓和溫度與當時的空氣一致，並記下氣壓和溫度。

(2) 塞住①塞，記下圖(二)中的  $h_1$ 。(  $h_1$  在空氣中的標尺高度)。

(3) 開動抽氣機⑨，當水銀壓力計⑩兩邊的汞柱差恰爲無液氣壓計⑥的一半時停止抽氣。此時天平的長端下降。

(4) 慢慢灌進氧氣，使箱內的壓力回復到無液氣壓計的數值，也就是水銀壓力計的兩邊等高。此時天平的長端上昇到  $h_2$ 。

(5) 計算實例：如圖(二)測定氧分子量時的情形



圖(二)測定氧分子量的情形

說明：

- (1) 天平右端普麗龍 A 的體積為  $100 \text{ cm}^3 = 0.1 \text{ 升}$ 。
- (2)  $h_1$  為在空氣中時天平右端的高度， $h_2$  為換入一半的氧時天平的高度，兩者差  $0.58 \text{ cm}$ 。（多次實驗的平均值）
- (3) 實驗時的氣溫  $19^\circ\text{C}$ ，氣壓  $76 \text{ cm-Hg}$ 。

設： $V_A$ ：普麗龍的體積為  $100 \text{ cm}^3$

$V_1$ ：標準狀況時的氣體體積

$V_2$ ：實驗時的氣體體積

$P_1$ ：標準狀況時氣體（ $76 \text{ cm-Hg}$ ）

$P_2$ ：實驗時的氣壓（ $76 \text{ cm-Hg}$ ）

$T_1$ ：標準狀況時的絕對溫度（ $273^\circ\text{C}$ ）

$T_2$ ：實驗時的絕對溫度（ $292^\circ\text{C}$ ）

$B_1$ ：空氣的浮力

$B_2$ ：一半空氣，一半氧時的浮力

$da$ ：空氣在標準狀況時的密度，根據化學課本等於  $1.293 \text{ g e}$

$dx$ ：一半空氣，一半氧時的氣體密度

do: 實驗時氧的密度

m: 標準狀況時 1 升空氣的質量

ㄨ 求標尺上每公分高度差相當於多少質量逐次把 10 mg 砝碼三個放在 A 物體上，經過六組同學的實驗，求其平均值為  $1.2 \times 10^{-2}$  (g/cm) (微量天平實驗，可求證槓桿定律)。

□ 求一半氧一半空氣對全空氣的浮力差  $\Delta B$  (浮體原理的運用)  $\Delta B = B_2 - B_1 = (k_2 - k_1) \times 1.2 \times 10^{-2} = 0.60 \times 1.2 \times 10^{-2} = 0.0072$  (g)

ㄗ 求實驗時空氣的密度  $L_a$ : 根據波以耳查理定律

$$\frac{76 \times 1 \text{ (升)}}{273} = \frac{76 \times V_2}{273 + 19} \quad \therefore V_2 = 1.0696 \text{ 升}$$

體積由 1 升變成 1.0696 升，但質量仍未變。

$$\therefore d_a = \frac{m}{V} = \frac{1 \text{ (升)} \times 1.293 \text{ (g/升)}}{1.0696 \text{ (升)}} = 1.208 \text{ (g/升)}$$

(波以耳查理定律的運用)

ㄨ 求空氣的浮力 (浮體原理的運用)

$$B_1 = d_a V_a = 1.209 \text{ (g/升)} \times 0.1 \text{ (升)} = 0.1209 \text{ (g)}$$

ㄨ 求實驗時氧的密度: (混合氣體浮力的研究)

$$B = \frac{1}{2} d_a V_a + \frac{1}{2} d_0 V_a = \Delta B + B_1$$

$$\frac{1}{2} \times 1.209 \times 0.1 + \frac{1}{2} d_0 \times 0.1 = 0.0072 + 0.1209$$

$$\therefore d_0 = 1.353 \text{ g/e}$$

ㄨ 求氧分子量  $M$  (克分子體積的運用)

$$\frac{76 \times 22.4}{273} = \frac{76 \times V_2}{273 + 19} \quad \therefore V_2' = 23.96 \text{ 升/mole}$$

$$d_0 = \frac{M \text{ g/mole}}{23.96 \text{ 升/mole}} \quad \therefore M = 1.353 \times 23.96$$

$$= 32.42 \text{ (g/mole)}$$

(6) 其他氣體有關數值的求法與上同，於茲略。

#### 四、實驗結果：如表(一)

次數							
分子量	一	二	三	四	五	平均值	週期表值
氣體							
氧	31.69	31.71	32.18	31.68	32.11	31.87	32
氮	28.18	28.22	27.82	27.74	28.24	28.04	28
二氧化碳	36.85	36.67	36.65	36.82	36.67	36.73	44

#### 五、討 論

1. 氧氮的分子量都很接近週期表的標準值，很滿意，但是二氧化碳的誤差却很大，可能是由於二氧化碳的純度不夠，且容易溶於水中，使浮力不能達到預期的標準。
2. 氫易發生危險，氨太臭不想試它，氯有毒害不好惹它，所以都沒有做。
3. 空氣在標準狀況下的密度是  $1.293 \text{ g/e}$ ，以及克分子體積  $22.4$  升，都是有誤差的，本實驗都是以此值作為運算的基礎，也就必然地導進了誤差。
4. 天平長端固體體積是短端的  $10$  倍，臂長也是短臂的  $10$  倍，所以  $B_2$  有  $\frac{1}{100}$  的誤差，可忽略。
5. 最困難的遠是無液氣壓計不準確，水銀氣壓計又太笨重，不能運到現場參考，所得的數值當然也就有誤差了。
6. 在以上種種的誤差下，還能把氧、氮的分子量求證出來，已很令人安慰了。

#### 六、結 論

1. 在本實驗的計算實例中可以看出。  
(1) 可以實際地觀察到氣體的浮力，而且可以測量出浮力的大小。

- (2)可以驗證波以耳定律。
- (3)可以進一步求得氣體的密度。
- (4)再引申就可以求得氣體的分子量。

所以本作品在國中物理實驗時，可以因為學生年級的不同，作多層面的實驗儀器。

- 2.在整個實驗手續中，我們用到波以耳定律。查理定律、槓桿原理、浮體原理、密度定義、亞佛加厥學說、大氣壓力原理等，這些都是現行物理課本教我們的，所以是一個廣泛學習物理的好實驗。
- 3.所以不要小看了微量天平，只要發現它的用法，它的用途可大着呢？

評語：作者能綜合運用國中課本中知識和資料，測定一般認為較難測得的物理量，且在定量上亦頗中規矩，能以非貴重之儀器，技巧的運用了國中階層的知識獲致相當可信的定量結果，本作品在選題，實驗過程，實驗結果上都相當好。