

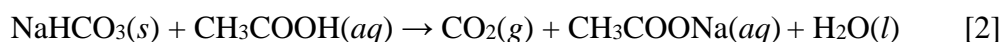
# 微量化學實驗：亞佛加厥定律的微量實驗

## ■ 原理和概念

亞佛加厥 (Amedeo Avogadro, 1776-1856) 於 1811 年提出亞佛加厥假說 (Avogadro's hypothesis)。其假說認為：在同溫同壓下，同體積的兩個氣體有相同的分子數。亞佛加厥定律係由亞佛加厥假說演變而來<sup>[1]</sup>，亞佛加厥定律描述為：在恆定的溫度和壓力下，氣體的體積與分子數 (或莫耳數) 成正比。在數學上，此定律表示為：體積 ( $V$ ) = 常數 ( $K$ ) × 莫耳數 ( $n$ ) 或體積與莫耳數為定值<sup>[1,2]</sup>，如式[1]所示。

$$V \propto n \text{ 或是 } \frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} \quad [1]$$

本實驗設計一個密閉容器，在定溫定壓下，加入：(一) 0.010 ~ 0.10 g 不同重量的小蘇打粉 ( $\text{NaHCO}_3$ ) 作為限量試劑。(二) 加入 5.0 mL 固定體積的食用醋 (含  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) 作為過量試劑。混合後發生化學反應而產生  $\text{CO}_2$  氣體，如式[2]所示：



根據式[2]得知，碳酸氫鈉 ( $\text{NaHCO}_3$ ) 的反應係數與二氧化碳 ( $\text{CO}_2$ ) 的反應係數相同，因此使用的碳酸氫鈉莫耳數等於產生的二氧化碳莫耳數。

本實驗設計的亞佛加厥定律之定量實驗係以針筒和氣球製組合成一個反應產生氣體的密閉系統，並以食用醋及小蘇打粉作為產生的氣體來源，此二物質為沒有毒性的常用食品，且反應不會發生危險。



圖一：亞佛加厥定律的定量實驗裝置

根據亞佛加厥定律係指在同溫和同壓 (同  $T$ 、 $P$ ) 時，同體積的氣體含有相等數目的分子，亦即氣體的體積與莫耳數成正比，如式[1]所示：

$$V \propto n \text{ 或是 } \frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} \quad [1]$$

在一支大型針筒內，含  $V_i$  的氣體體積，先用一支中型針筒注入特定體積的氫氧化鈉溶液  $V_{sb}$ ，其含  $n_{sb}$  毫莫耳數。再使用一支小型針筒，透過針頭，注入過量的體積為  $V_{ac}$  的食用醋到密閉系統中，立即發生反應，產生二氧化碳氣體，使密閉系統的體積變為  $V_f$ 。然後，補償針筒內部的摩擦力所造成的體積差  $V_{fri}$ ，可計算得知產生二氧化碳氣體的實際體積  $V_{CO_2}$ ，計算如式 [2] 所示：

$$\begin{aligned} \text{產生二氧化碳的實際體積 ( } V_{CO_2} \text{ )} = & \\ \text{產生氣體後的刻度體積 ( } V_f \text{ )} - \text{原先預留 15.0 mL ( } V_i \text{ )} + \text{注入碳酸氫鈉溶液的體積 ( } V_{sb} \text{ )} & \\ - \text{注入食用醋的 5.0 mL ( } V_{ac} \text{ )} + \text{針筒內部在停留處的摩擦力所造成的體積差 ( } V_{fri} \text{ )} & \quad [2] \end{aligned}$$

再來，重複上述的實驗，取不同重量的小蘇打粉，進行各次試驗。經過數據收集和處理，得知其產生氣體的毫莫耳數與其體積之關係是否呈現成正比，以及產生二氧化碳毫莫耳數乘以體積之關係是否為定值，以判定這些結果是否符合亞佛加厥定律。

## ■ 藥品與器材

塑膠注射針筒（50 mL, 25 mL 或 10 mL, 5 mL，後兩者含針頭）各一支、小蘇打粉（碳酸氫鈉）1.0 g、食用醋 50 mL、小型氣球 2~4 個、攜帶式電子天平（精稱到 0.01 g）一台、廚房用量杯（100 mL）、塑膠杯（或試飲杯）1 個，如圖二所示。



圖二：亞佛加厥定律的定性實驗需用藥品和器材

## ■ 實驗步驟

### 一、評估針筒內部的摩擦力效應

1. 一支 50 mL 的大型針筒，移動推拉桿到 50.0 mL 的刻度線，如圖三左所示，用力擠壓動推拉桿，然後放開，推拉桿會自動地往外移動，當停止時，紀錄其刻度，如圖三右所示。這兩體積刻度差被視為針筒內部在停留處的摩擦力所造成的體積差。



圖三：先移動推拉桿到固定的刻度線（左）；再用力擠壓推拉桿（右）

2. 重複上述步驟，移動推拉桿分別到 40.0 mL、30.0 mL、20.0 mL 及 10.0 mL 的刻度線，紀錄其停止時的刻度。

## 二、定量實驗步驟

1. 配製碳酸氫鈉溶液：用攜帶式電子天平，透過一支吸管取藥，稱取 1.00 g 小蘇打粉（碳酸氫鈉），放入 100 mL 的廚房用量杯中，加入飲用水，邊加入邊用吸管攪拌均勻，直到 100 mL 的刻度線。【此處碳酸氫鈉溶液的濃度為 0.010 g/mL】
2. 磨平針頭：取兩支注射針頭，先用剪刀減掉其尖端，然後用粗砂紙磨平針頭；針頭亦可直接在砂紙上磨平。
3. 取一支 5.0 mL 的小型針筒附磨平的針頭，慢慢地吸取 5.0 mL 的食用醋，備用。若針筒內含有氣泡，則持針頭朝上，用手指輕敲針筒促使氣泡移到上方，再排除氣泡。
4. 取一支 25.0 mL（或 10 mL）的中型針筒附磨平的針頭，慢慢地吸取 1.0 mL 的碳酸氫鈉溶液。若針筒內含有氣泡，則持針頭朝上，用手指輕敲針筒促使氣泡移到上方，再排除氣泡。
5. 取一支 50.0 mL 的大型針筒，移動推拉桿到 15.0 mL 的刻度處，手持針筒使開口朝上。插入中型針筒的針頭到大型針筒的開口，注入 1.0 mL 的碳酸氫鈉溶液，如圖四左所示。然後，用小氣球套住大型針筒的開口處，作為密閉系統的封口之用。套住的小氣球的長度不宜過多，約 1 公分長度即可，轉折小氣球到針筒開口端的測邊，如圖四右所示。



圖四：碳酸氫鈉溶液（左）；套住小氣球在針筒的開口處（右）

6. 然後，插入小型針筒的針頭到大型針筒的開口內，快速地注入 5.0 mL 的食用醋，如圖五左所示。注入完畢，立即拔出針頭，並且用大拇指緊壓開口，形成一個密閉系統，如圖五右所示。



圖四：準備注入食用醋（左）；注入完畢用大拇指緊壓開口（右）

7. 搖動大型針筒，促使食用醋的醋酸與碳酸氫鈉反應，直到推拉桿不再移動，紀錄其刻度。
8. 排除大型針筒內的溶液，並用飲用水清洗乾淨。
9. 重複步驟 3-8，碳酸氫鈉溶液的用量分別由 1.0 mL 改為 2.0 mL、3.0 mL、4.0 mL、5.0 mL、6.0 mL、7.0 mL、8.0 mL、9.0 mL 及 10.0 mL，並分別記錄其最後刻度。
10. 產生二氧化碳的實際體積 ( $V_{CO_2}$ ) = 產生氣體後的刻度體積 ( $V_f$ ) - 原先預留 15.0 mL ( $V_i$ ) + 注入碳酸氫鈉溶液的體積 ( $V_{sb}$ ) - 注入食用醋的 5.0 mL ( $V_{ac}$ ) + 針筒內部在停留處的摩擦力所造成的體積差 ( $V_{fri}$ )

#### ■ 廢棄物處理和安全注意事項

- 本實驗使用的藥品小蘇打粉和食用醋均為家用食品，無毒性且無污染性，實驗完畢廢液可以倒入水槽，用自來水沖倒。

- 使用後的針筒和金屬針頭應該用清水清洗乾淨，並自然乾後妥善保存，回收再利用。若損壞不堪使用，則應該依照生化廢棄物規範集中處理，不可任意丟棄於一般垃圾桶中。

## ■ 結果與討論

日期：\_\_\_\_\_；時間：\_\_\_\_\_；組別：\_\_\_\_；學號：\_\_\_\_\_；姓名：\_\_\_\_\_

(一) 評估針筒內部的摩擦力效應，如表一所示。

表一：評估針筒內部摩擦力所造成的體積差之實驗數據

編號	1	2	3	4	5
針筒未擠壓的起始刻度 ( mL )					
針筒擠壓後的停留刻度 ( mL )					
兩者體積差異視為摩擦力效應 ( mL )					



圖五：針筒內部在各刻度處的摩擦力所造成的體積差

( 此處描述實驗討論 )

(二) 亞佛加厥定律的定量實驗的原始數據和數據處理，如表二所示。

碳酸氫鈉濃度 (  $C_{sb}$  )：\_\_\_\_\_ g/mL；碳酸氫鈉莫耳直量：84.0 g/mol；溫度：\_\_\_\_\_ °C

表二：亞佛加厥定律定量實驗的原始數據和數據處理

編號	1	2	3	4	5	6
碳酸氫鈉使用體積 $V_{sb}$ ( mL )						
碳酸氫鈉重量 $W_{sb}$ ( g )						
碳酸氫鈉毫莫耳數 $mn_{sb}$ ( mmol )						
二氧化碳毫莫耳數 $mn_{CO_2}$ ( mmol )						
注入食用醋體積 $V_{ac}$ ( mL )						
針筒內起始刻度 $V_i$ ( mL )						
針筒內最後刻度 $V_f$ ( mL )						
針筒內部摩擦力效應 $V_{fri}$ ( mL )						
二氧化碳產生體積 $V_{CO_2}$ ( mL ) *						
$V_{CO_2} / n_{CO_2}$ ( mL/mmol )						
編號	7	8	9	10	11	12
碳酸氫鈉使用體積 $V_{sb}$ ( mL )						
碳酸氫鈉重量 $W_{sb}$ ( g )						
碳酸氫鈉毫莫耳數 $mn_{sb}$ ( mmol )						
二氧化碳毫莫耳數 $mn_{CO_2}$ ( mmol )						
注入食用醋體積 $V_{ac}$ ( mL )						
針筒內起始刻度 $V_i$ ( mL )						
針筒內最後刻度 $V_f$ ( mL )						
針筒內部摩擦力效應 $V_{fri}$ ( mL )						
二氧化碳產生體積 $V_{CO_2}$ ( mL )						
$V_{CO_2} / n_{CO_2}$ ( mL/mmol ) *						

\*產生二氧化碳的實際體積(  $V_{CO_2}$  ) = 產生氣體後的刻度體積(  $V_f$  ) - 原先預留 15.0 mL(  $V_i$  ) + 注入碳酸氫鈉溶液的體積 (  $V_{sb}$  ) - 注入食用醋的 5.0 mL (  $V_{ac}$  ) + 針筒內部在停留處的摩擦力所造成的體積差 (  $V_{fri}$  )



圖五：二氧化碳毫莫耳數與其體積的關係

( 此處描述實驗討論 )



圖六：二氧化碳體積乘以毫莫耳數對其毫莫耳數作圖

( 此處描述實驗討論 )

(三) 計算產生二氧化碳的實際體積 ( 實驗值 ) 和理論值，並計算誤差百分比。

二氧化碳的實際體積 ( $V_{CO_2}$ ) ( 實驗值 ) = 產生氣體後的刻度體積 ( $V_f$ ) - 原先預留 15.0 mL ( $V_i$ ) + 注入碳酸氫鈉溶液的體積 ( $V_{sb}$ ) - 注入食用醋的 5.0 mL ( $V_{ac}$ ) + 針筒內部在停留處的摩擦力所造成的體積差 ( $V_{fri}$ )。

實驗設計：李錡峰、楊水平，國立彰化師範大學化學系

資料來源：《臺灣化學教育》( <http://chemed.chemistry.org.tw/> )，第十四期。