

# 氣體擴散實驗的進一步探討：自然擴散v. s通孔擴散

## 國中組化學科第二名

台中縣立沙鹿國民中學

作者：沈煥庭、王禎薇、劉尚儒、許賀竣

指導教師：許賢富、王裕燦

## 第一部份：氣體的自然擴散實驗

### 一、研究動機

在國中理化課本第一冊，實驗6-3：「氣體的擴散」一節中，陳述了氨與氯化氫兩種氣體的自然擴散現象，由於擴散速率不同，故其反應後之產物氯化銨比較靠近氯化氫一邊，但經過多次，多組的實驗所得結果不盡相同，即氯化銨所產生的位置，有的很靠近氯化氫這一端，有的卻較靠近玻璃管中央，其原因如何？是否與實驗所用玻璃管徑有關？長短有關？甚至於是否與鹽酸或氨水的濃度或使用量有關？爲了了解這些問題，我們作了以下的實驗。

### 二、研究目的

- (一)探討玻璃管口徑及長度對實驗效果及擴散速率的影響。
- (二)了解濃鹽酸、濃氨水取量之多寡對實驗準確性的影響。
- (三)找尋最佳反應條件。

### 三、實驗器材

- (一)兩端開口玻璃管內徑0.8cm、1.3cm、1.7cm，長度30cm二支。
- (二)兩端開口玻璃管內徑0.8cm、1.3cm、1.7cm，長度60cm二支。
- (三)兩端開口玻璃管內徑0.8cm、1.3cm、1.7cm，長度90cm二支。
- (四)吸管、馬錶、棉花、中心有凹洞橡皮塞、大頭針、濃氨水28%、濃鹽酸35%。

### 四、實驗過程

- (一)先將兩小團脫脂棉花用大頭針分別釘在兩個橡皮塞的中心凹洞內，將橡皮塞分置在玻璃管（內徑1.7cm、長度90cm）兩端開口處，然後以各裝有濃氨水和濃鹽酸的滴管分別在兩管口處的棉花上，同時滴下0.5ml，迅速將橡皮塞塞緊管口，並計時，觀察管內變化，當有白煙產生時，立即停止計時，並記下所需時間，

再利用刻度尺測量白色煙霧的產生位置離管口徑兩端各為多少公分？

(二)改用管長60cm及30cm，內徑都是1.7cm的玻璃管，如同步驟(一)實驗，並記下其結果。

(三)改用內徑1.3cm，長度分別為90cm、60cm、30cm的玻璃管，如同步驟(一)實驗，並記下其結果。

(四)改用內徑0.8cm，長度分別為90cm、60cm、30cm的玻璃管，如同步驟(一)實驗，並記下其結果。

(五)改用內徑0.8cm，長度60cm的玻璃管，並依下列所設條件進行同步驟(一)的實驗。

A組：濃鹽酸用量為0.2ml，而濃氨水用量分別為0.2ml、0.5ml及1.0ml。

B組：濃氨水用量為0.2ml，而濃鹽酸用量分別為0.5ml、1.0ml、1.5ml及2.0ml。

## 五、實驗結果與討論

(一)步驟(一)及步驟(二)的結果(省略)，其結果討論如下：

1. 玻璃管內所產生 $\text{NH}_4\text{Cl(s)}$ 的白色煙霧較寬且淡，不甚明顯，不利於觀察。

2. 依據葛拉罕擴散定律： $\text{NH}_3(\text{g})$ 與 $\text{HCl}(\text{g})$ 擴散速率之比的理論值應為

$$\frac{R_{\text{NH}_3(\text{g})}}{R_{\text{HCl}(\text{g})}} = \frac{\sqrt{\text{HCl 分子量}}}{\sqrt{\text{NH}_3 \text{分子量}}} = \frac{\sqrt{36.5}}{\sqrt{17}} = \frac{6.0415}{4.1231} = 1.4653$$

而本實驗所得數據分別為2.6285、2.0205、1.8575相差甚大，也說是說產物非常靠近 $\text{HCl}(\text{g})$ 的一端，容易造成學生誤解。

3. 由實驗數據顯示，實驗所用玻璃管內徑大時，長度愈短，結果較能接近理論值。

(二)步驟(三)的實驗結果(略)，其結果的討論如下：

由實驗數據顯示， $\text{NH}_3(\text{g})$ 與 $\text{HCl}(\text{g})$ 擴散之比值分別為2.0712、1.8086、1.7934與理論值1.4653仍相去甚遠，但已接近不少。此也正說明了管內徑大小會影響擴散速率。

(三)步驟(四)的實驗結果(略)，其結果的討論如下：

1. 因為玻璃較細，產生白色煙霧較為明顯且易於觀察，由此可知課本實驗所用玻璃管長60cm，口徑2cm，並不是最理想。

2.  $\text{NH}_3(\text{g})$ 與 $\text{HCl}(\text{g})$ 的擴散速率之比值分別為1.5509、1.6108、1.6718比前面實驗所得數據更接近理論值1.4653，而且不同長度的擴散速率前後結果亦較為一致。

3. 玻璃管愈長，實驗結果愈較近理論值，但實驗時間較長。

(四)步驟(五)的實驗結果(略)，其結果的討論如下：

1. 當HCl的用量固定不變時，NH<sub>4</sub>OH的用量增加時，所測出來的擴散速率比值誤差愈大。
2. 當NH<sub>4</sub>OH的用量固定不變時，而HCl的用量逐漸增加時，所測得的擴散比值準確度增大。
3. 由以上二點討論得知，NH<sub>4</sub>OH與HCl溶液使用量的多寡可影響氣體逸出的量，而使得玻璃管兩端分壓不同，從實驗數據得知，HCl(aq)溶液所產生的HCl(g)分壓較小，故使用量要較多，而NH<sub>4</sub>OH(aq)溶液所產生的NH<sub>3</sub>(g)分壓較大，故使用量可少些。

## 六、結 論

- (一) HCl(g)，NH<sub>3</sub>(g)兩種氣體的擴散速率，不管在何種狀態下，NH<sub>3</sub>(g)擴散速率皆比HCl(g)的擴散速率快，而且產物NH<sub>4</sub>Cl(s)是一種白色煙霧的固體微粒。
- (二) 在作NH<sub>3</sub>(g)與HCl(g)的擴散實驗時，玻璃管長度最好選擇60cm長，即可省時又準確。
- (三) 玻璃管口徑之選擇應小於1cm，而非課本所提的2cm口徑。若能以口徑0.8cm的材料來進行實驗，效果更好，因產生白色煙霧時最明顯而且易於觀察。
- (四) 由於HCl氣體逸出所造成的分壓，小於NH<sub>3</sub>氣體逸出所造成的分壓，而由實驗結果得知，卻使兩端分壓相同，增加準確性，在取量時應特別注意兩者的比例，由實驗數據分析，HCl的用量最好是NH<sub>4</sub>OH的用量之8-10倍間。

## 第二部份：氣體的通孔擴散實驗

### 一、研究動機

從前篇引伸自理化課本的「自然擴散」實驗中，其實驗過程有個最大的限制，即產物必為有色的氣體，如此才能觀察記錄，如果產物是無色透明的氣體，那又如何測定呢？另外還有一個問題值得探討的是，假若不藉著氣體間的反應（上篇是利用NH<sub>3</sub>(g)+HCl(g)→NH<sub>4</sub>Cl(s)反應以比較NH<sub>3</sub>(g)及HCl(g)的擴散速率），有可能比較氣體間的擴散速率嗎？爲了探討這一連串的問題，我們又在老師的指導下，設計了以下的「通孔擴散」實驗，加以求證。

### 二、研究目的

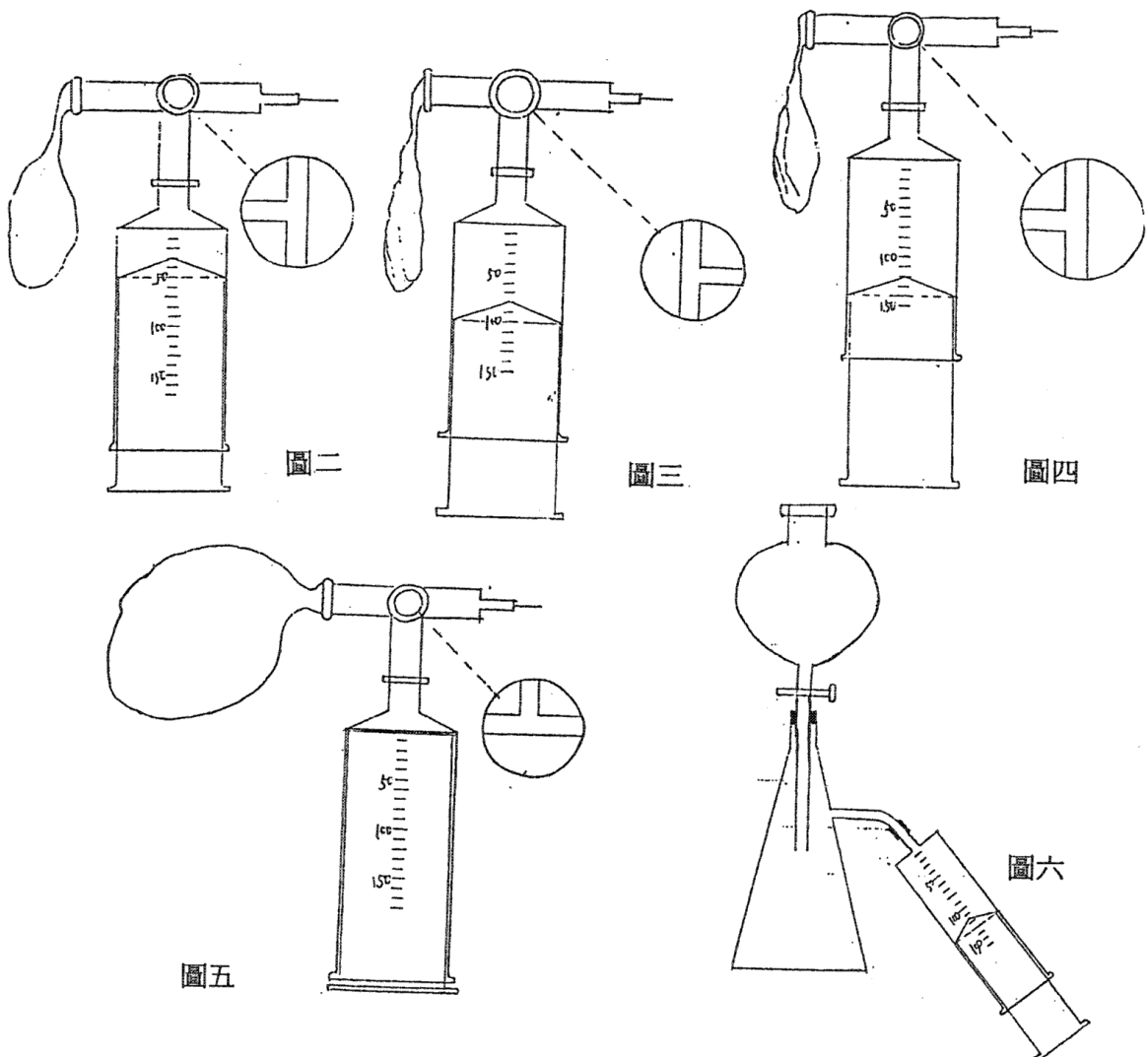
- (一) 觀察各種氣體的擴散現象，證實氣體分子可以自由運動。
- (二) 利用簡易裝置，測量氣體擴散所需時間。

- (三) 了解各種氣體（氫、二氧化碳、氧、氨）的製造方法。
- (四) 證實有大氣壓力的存在。
- (五) 證明各種氣體的擴散速率並不相同。
- (六) 探討氣體擴散速率與氣體分子量的關係。

### 三、實驗器材

- (一) 氣球。
- (二) 注射筒。
- (三) 注射針（孔徑分別為0.90mm、0.70mm、0.63mm、0.55mm、0.45mm各一支）。
- (四) T型開關即三開口的開關（利用醫院注射的點滴裝置改裝）。
- (五) 橡皮軟管。
- (六) 夾子。
- (七) 馬錶。
- (八) 氣體發生器。
- (九) 橡皮塞。
- (十) 各種化學藥品包括稀鹽酸、大理石、鋅粒、雙氧水、氯化銨、熟石灰等。
- (十一) 凡士林。

### 四、實驗過程



## (一)測量空氣

### 1. 抽掉氣球內的空氣

如圖二所示，將T型開關移至固定位置，使注射筒與氣球相通，而氣球及注射筒都不與右邊之注射針孔相通，以抽掉氣球內的空氣。當注射筒的活塞向下拉時，氣球會變扁，而多餘之空氣流入注射筒內，此時將T型開關控制如圖三的位置，以免空氣流入壓扁的氣球內部。

### 2. 使注射筒充氣

要使注射筒充滿空氣，則將T型開關與注射筒分開，並將注射筒活塞外抽，抽入空氣剛好至150ml（或100ml、50ml）記號處。

### 3. 使氣球充氣

將T型開關與注射筒再連接，使注射筒中之空氣進入氣球如圖四所示，即將注射筒內的空氣打入氣球內。

### 4. 測量擴散時間

如圖五，將T型開關轉至使氣球與注射針孔（在右邊）相通，再利用馬錶測量擴散之時間，由打開開關算起至氣球向下落為止的時間即為擴散時間。重覆測量10次，再求平均值。

## (二)測量氫氣

如同上法壓扁氣球，使氣球內不含任何氣體。然後如圖六製備氫氣：放40克鋅於錐形瓶中，再由分液漏斗加入150ml的稀鹽酸，並使氣體發生器中的物質作用約30秒，以趕走錐形瓶內空氣。其次將注射筒自T型開關移開，並將注射筒內之空氣壓出。然後將注射筒如圖六，與氫氣發生器相接，則氫氣體之壓力會將氫氣壓入注射筒內，至超過150ml（或100ml、50ml）刻度停止。移開注射筒趕出一部份氫氣，使至150ml（或100ml、50ml）記號處，並將注射筒再與T型開關連接。如圖四將注射筒內之氫氣壓入氣球，最後如圖五測量通過注射孔之擴散時間。

## (三)測量二氧化碳

如同氫氣，但以100克大理石碎片代替鋅粒與200ml稀鹽酸作用，以產生二氧化碳，再依前法測量擴散時間。

## (四)測量氨氣

如同氫氣，但以100克氯化銨和100克熟石灰混合加熱代替鋅與稀鹽酸，以產生氨。再依前法測量擴散時間。

## (五)測量氧氣

以雙氧水200ml與10克二氧化錳作用產生氧，再依前法測量氧氣擴散所須時間。

## 五、實驗結果（略）

## 六、實驗討論

- (一)由實驗結果得知，五種不同氣體擴散的時間都不相同。以 $V = 150\text{ml}$ ，擴散針孔為 $0.45\text{mm}$ 管徑為例，空氣為 $54.0$ 秒， $\text{H}_2$ 為 $14.1$ 秒， $\text{CO}_2$ 為 $66.2$ 秒， $\text{NH}_3$ 為 $44.4$ 秒， $\text{O}_2$ 為 $56.5$ 秒，其中以氫氣擴散時間最短，其次分別為氨及空氣，而擴散時間最長的為氧和二氧化碳，其他不同條件的實驗亦都有相同的結果。
- (二)本實驗裝置所有管子的部份必須儘量縮短，管徑儘量的減小，並且柔軟性要好，以減少管內空氣的量，避免過大的誤差，同時注射管若能引用更大的容積如 $200\text{ml}$ 甚至 $500\text{ml}$ ，相信所得數據更接近準確性。
- (三)本實驗可在氣球充氣後將注射針孔浸入水中進行擴散實驗，作觀測方面的改良，如此接頭處有否漏氣，可一目了然，而且擴散終止時間也可藉著氣泡是否繼續生成而定之，很方便。
- (四)如果將氣球改換成壓力計，則本實驗的功能更可加大，可測知每次在擴散前的壓力是否相同，以及釋壓後的最後壓力是否都等於外面的大氣壓。
- (五)如果將實驗所得數據作適當的整理，並繪成擴散時間對分子量平方根的座標圖形，更可發現氣體的擴散時間和該氣體分子量的平方根成正比。即可將氣體的分子量與擴散時間以下列等式表示之：

$$\frac{t_1}{t_2} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} \quad t_1、t_2 \text{ 分別表示氣體1及氣體2的擴散時間}$$

$M_1、M_2$ 分別表示氣體1及氣體2的分子量。

- (六)本實驗之設計乃在一定溫度與壓力下，不同質量而於相同體積之容器中的等分子數目之氣體，其擴散時間之比較。（依據亞佛加厥學說，任何氣體在同溫同壓同體積下皆有相同的莫耳數或分子數）故知較輕的氣體分子平均上運動較快，因此會比較重的氣體分子擴散出去的快。短時間內經由小孔跑出容器外兩種氣體分子數目的比，與其質量比的平方根倒數相等。

∴擴散時間的倒數可視為擴散速率，而且擴散速率之比又等於氣體擴散至容器外分子數之比。

$$\therefore \frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1/t_1}{1/t_2} = \frac{t_2}{t_1} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

$n_1 n_2$ 代表兩種氣體擴散至容器外的分子數。

$V_1 V_2$ 代表兩種氣體的擴散速率。

$t_1 t_2$ 代表兩種氣體的擴散時間。

$M_1 M_2$ 代表兩種氣體的分子量。

## 七、結 論

(一)五種氣體的擴散時間之關係：二氧化碳>氧>空氣>氮>氫。

(二)氣體的擴散時間和它的分子量之平方根成正比。故可根據此關係式求出未知氣體的分子量，這也算是分子量的另一種解法，公式如下：

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\sqrt{M_1}}{\sqrt{M_2}}$$

$t_1, t_2$ 表示氣體1及氣體2之擴散時間。

$M_1$ 表已知氣體1的分子量。

$M_2$ 表未知氣體2的分子量。

(三)本實驗的設備材料都容易取得，裝置簡單而且經濟，同時實驗過程又能達成多項教學目標（參考研究目的所敘述），故值得當作補充教材之用。

## 八、參考資料

(一)國中理化課本 第一冊P127-129 國立編譯館。

(二)國中理化教師手冊 第一冊P172-191 國立編譯館。

(三)高中化學 第一冊P57-64 國立台灣師範大學科學教育中心主編。

(四)基本物理學 林清、黃曙平合譯 上冊P421-427 新陸書局印行。

## 評 語

優點：

- 1.本實驗為改進國中氣體擴散實驗缺點所設計實驗具有實驗教學改進的功能，相當有實用性。
- 2.本實驗裝置皆自行設計，原創性較高。
- 3.本實驗所設計的裝置相當精緻，精確性相當不錯。這對以後在教學上的推廣相當重要。

待改進地方：

氣球的大小及使用時間若能研究一下，可做為以後推廣時使應用者重要參考。