

氣體分子擴散的探討

高中組化學科第三名

台灣省立台南第二高級中學

作 者：鄭訓祥

指導教師：陳銘堯

一、研究動機

在高中實驗課程中，研究氣體分子擴散速率及距離對密度的關係，僅能在同溫、同壓下，控制長度一項變因，所以在課餘時間集合同學探討課本中有關影響擴散速率的因素，自行構想設計，並改良實驗裝置，以期達到我們求知的慾望。

二、研究目的

我們自行設計三組實驗：

第一組：(1)探討氣體粒子數及不同空氣的壓力對擴散時間的影響。
(2)驗證克拉罕定律，氣體分子擴散速率與其密度平方根成反比。

第二組：我們自製了熱敏微測儀及廣用指示線輔助來研究在不同的溫度下對氣體擴散的關係。

第三組：了解氣體在壓力改變後的擴散與時間的關係。

三、研究設備器材

器材：玻璃管（內部口徑 13 mm）30、60、90 cm 長各 3 支，50 ml 注射針筒，25 ml 注射針筒，附側試管，研鉢及杵，U型附側管，250 ml 燒杯、酒精燈、瓦斯噴燈、錐形瓶附側管、自製熱敏微測儀、500 ml 氣體發生瓶、溫度計、自製開口壓力計、分液漏斗、漏斗、活塞、棉花、試紙、馬錶、放大鏡、石綿心網、60 cm 長尺、15 cm 短尺、烘乾機、熱氣吹風機。

藥品：濃 $\text{HCl}_{(aq)}$ （濃度 12 M），濃 $\text{NH}_3_{(aq)}$ （濃度 30%） $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [無水]、 NH_4Cl 、濃 H_2SO_4 （濃度 98%以上）、 NaCl 、 CaO 、 CaCl_2 、冰塊、水銀。

四、文獻探討

1. 格銳目擴散定律
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}}$$

同溫、同壓

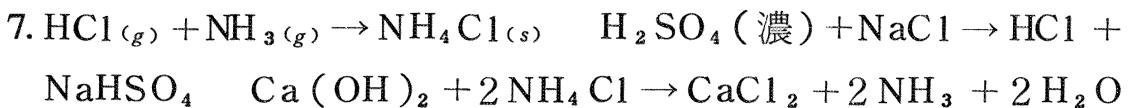
2. 理想氣體方程式：
$$P = \frac{n}{V} R T$$

3. 分子運動速率，擴散速率與分子運動速率成正比
$$V = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

4. 同溫，不同壓力
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{P_1}{P_2} \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}}$$

5. 波以耳定律
$$PV = K$$

6. 亞佛加厥定律：同溫同壓下，同體積的任何氣體，有相同的分子數。



五、實驗方法及過程

我們將實驗分為三組；第一組以研究有關格銳目定律，氣體粒子數目，壓力對氣體分子擴散運動的影響；其實驗過程裝備如下：

第一組實驗一

實驗步驟概略說明：以不同長度之玻璃管及不同的 $\text{NH}_3_{(aq)}$ 和 $\text{HCl}_{(aq)}$ 滴數，測量兩種氣體相向擴散的時間快慢，及是否影響至兩端距離的比值。（如附圖）

第一組實驗二

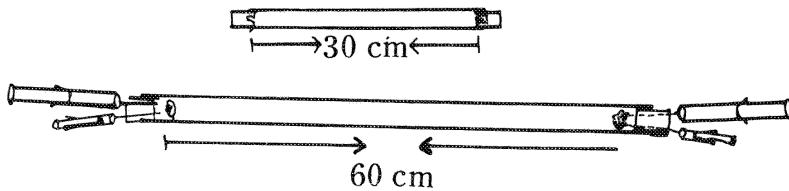
步驟：(1) 取長 60 cm，口徑 13 mm，管內體積 80 cm^3 ，兩端分別置一塊清潔乾燥之棉花、塞上活塞。

(2) 另取 50 ml 及 2.5 ml 的注射針筒各兩支，50 ml 大注

射針筒抽取 50 ml 空氣後插入並刺穿活塞，或穿過活塞後再抽出適量空氣（如圖二），利用波以耳定律 “ $P_1 V_1 = P_2 V_2$ ” 以控制玻璃管內為適當壓力。

(3) 再用兩把 2.5 ml 小注射筒各抽取 0.5 ml 之 $\text{HCl}_{(aq)}$ 及 $\text{NH}_3_{(aq)}$ 亦刺穿活塞以提供玻璃管內兩端棉花之 $\text{HCl}_{(aq)}$ 及 $\text{NH}_3_{(aq)}$

(4) 以 50 ml 的大注射筒，緩緩加壓或抽取空氣降壓後立即拔離活塞（如圖）



(5) 小注射筒同時提供 HCl 及 NH_3 並用馬錶計時。

(6) 紀錄白霧 NH_4Cl 產生時間及距兩端的距離。

舉例：計算過程 $P_1 V_1 = P_2 V_2$ （小數四捨五入）

$$0.4 \text{ atm} \quad 80 \times 1 = 0.4 \times V_2, \quad V_2 = 200$$

$$200 - 80 = 120 \text{ (抽出 } 120 \text{ ml 空氣)}$$

$$1.8 \text{ atm} \quad (80 + 70) \times 1 = 1.8 \times V_2, \quad V_2 = 83$$

$$, 150 - 83 = 67 \text{ (壓入 } 67 \text{ ml 之空氣)}$$

第一組 實驗(一)

在第一組實驗一，主要是在控制壓力（1大氣壓）及溫度（室溫 24°C ）兩項變因，以不同的長度，氣體粒子數來探討其對氣體擴散的影響，實驗數據如下：

第一組 實驗(二)

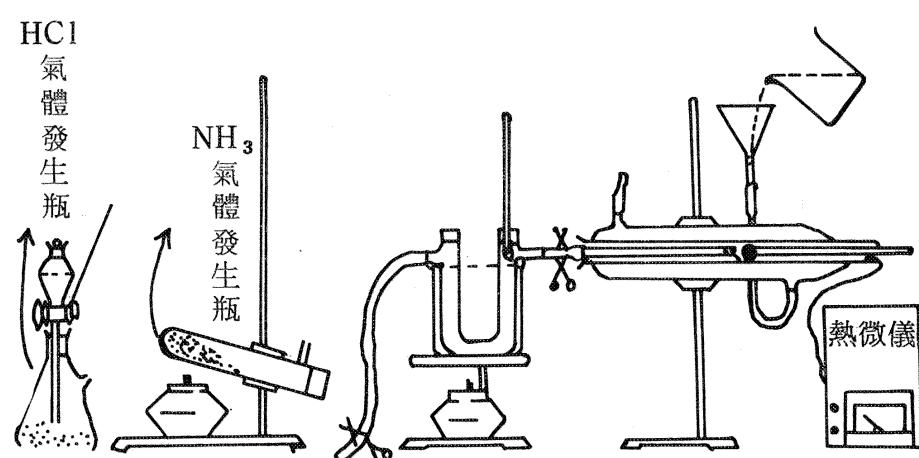
在此實驗中，在同一長度、溫度的狀況下，以不同的空氣壓力（ 0.4 atm 、 0.6 atm 、 0.8 atm 、 1.2 atm 、 1.4 atm 、 1.6 atm 、 1.8 atm ）研究 $\text{HCl}_{(g)}$ 和 $\text{NH}_3_{(g)}$ 在這些空氣壓力下，擴散的時間和距離變化，數據亦如下：

第一組實驗一 表一

30 cm 滴數	平均 時間 (秒)	平均 比值	60 cm 滴數	平均 時間 (秒)	平均 比值	90 cm 滴數	平均 時間	平均 比值
3	60	1.758	3	331.5	1.584	3	562	1.662
6	54	1.707	6	313	1.607	6	548	1.702
9	53	1.584	9	306.5	1.573	9	540	1.701
3	50	1.508	13	300.5	1.583	13	527	1.624

第一組實驗二 表二

壓力 atm 項 目	0.4	0.6	0.8	1.2	1.4	1.6	1.8
時 間 (秒)	65.7	142.2	165.0	193.4	238.3	306.1	329.3
距 HC1 端 之長 (cm)	16.8	18.8	20.6	21.3	19.4	19.1	17.2
距 NH ₃ 端 之長 (cm)	43.2	41.2	39.4	38.7	40.6	40.9	42.8
兩端距離 長比值	2.5727	2.1927	1.9050	1.8158	2.0871	2.1343	2.4698



第二組實驗

實驗設計約略過程：以氣體發生瓶分別製造 $\text{NH}_3(g)$ 和 $\text{HCl}(g)$ 導入附側 U型管中，在 U型管中控制適當的溫度放出氣體在控溫後之冷凝管中使其擴散，以自製廣用試線和熱敏微測儀，測定擴散時間，研究溫度對擴散的影響。（如上頁附圖）

第二組實驗

在第二組實驗裏，主要研討氣體在不同溫度裏，對擴散速率的影響。其實驗數據如下：

表三（平均表）

溫度 °C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C
溫度 °K	293°K	303°K	313°K	323°K	333°K	343°K
時間(秒) 項 目	時間	時間	時間	時間	時間	時間
HC1氣體擴散	90.38	87.5	86.96	86.56	84.56	83.50
NH ₃ 氣體擴散	61.18	60.88	59.62	59.38	58.48	58.08

第三組實驗

實驗步驟概略說明：兩個附側管錐形瓶，以氣體發生瓶分別導入 $\text{HCl}(g)$ 和 $\text{NH}_3(g)$ ，排掉錐形瓶內部空氣，並使兩錐形瓶內部氣壓大於 1 atm，以自製開口壓力計調整兩錐形瓶內部氣體壓力相同，放開兩錐形瓶間所鍵結之鋼夾，觀察其反應；並紀錄時間。（如下頁附圖）

第三組實驗 表四（平均表）

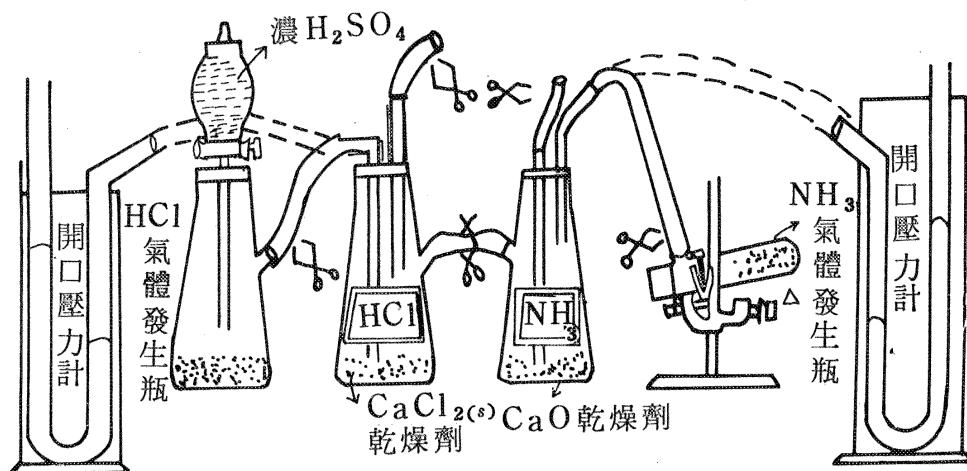
壓力變化 10 釐米汞柱擴 散的時間	800 ↓ 790	790 ↓ 780	780 ↓ 770	770 ↓ 760	760 ↓ 750	750 ↓ 740	740 ↓ 730	730 ↓ 720
	2	3.3	4.3	8	11	29	43.3	81.6

壓力 $\equiv \text{mmHg}$ 時間 $\equiv \text{秒}$

六、結果

第一組實驗

(一)由表一數據所繪成函數圖可知：



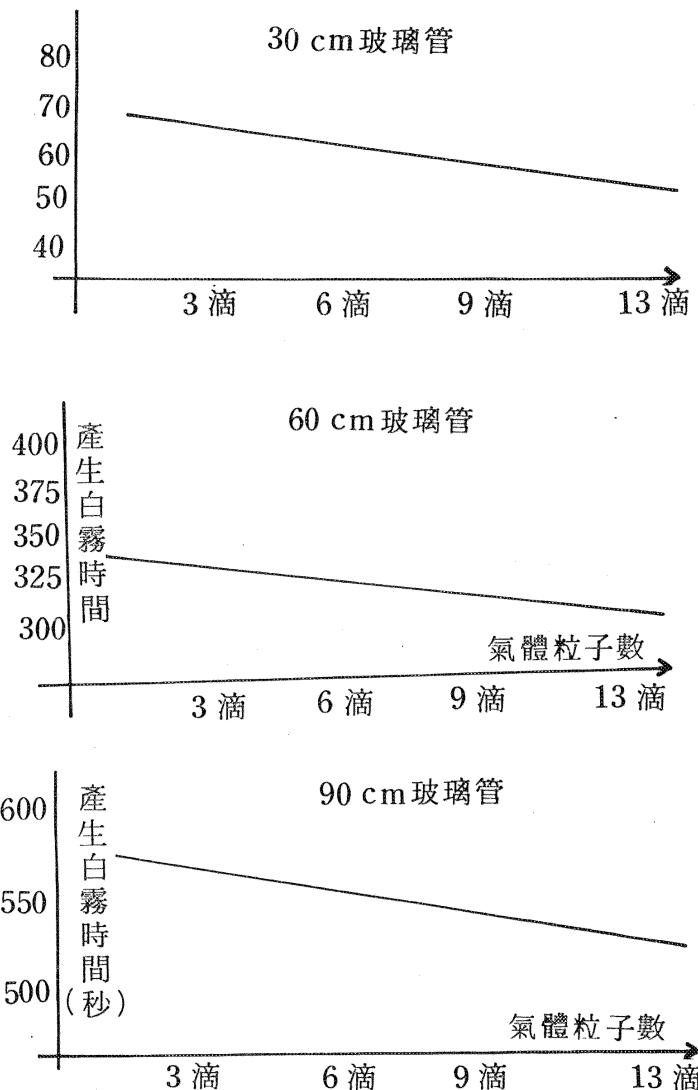
1. 滴在棉花球的滴數增加（即氣體粒子數），則發生白霧的時間愈快。

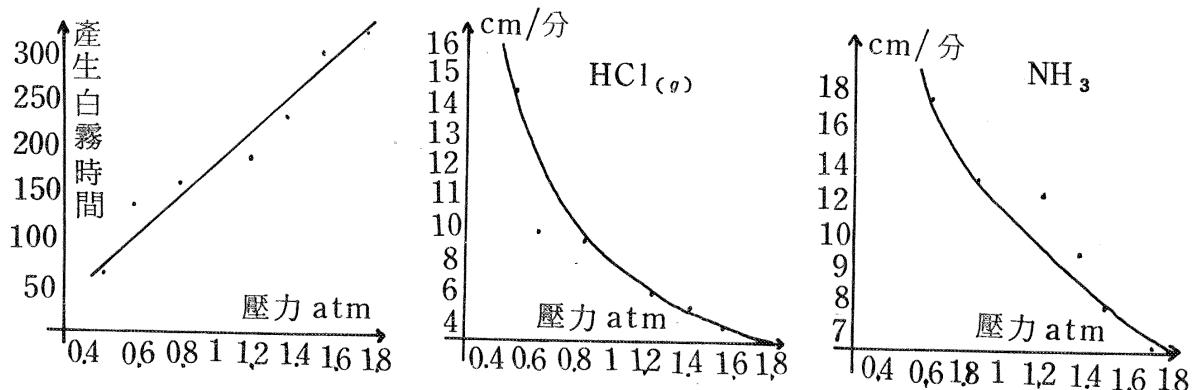
2. 不同玻璃管的長度並不影響擴散完成後，白霧到兩端距離的比值（即速率比），換句話說：擴散速率與玻璃管長度無關。

(二) 第一組 實驗二

玻璃管內部壓力愈大，擴散時間愈長，即環境（空氣中）壓力加大，空氣密度增加，氣體分子擁擠，粒子碰撞平均自由徑縮短，影響擴散時間所致。

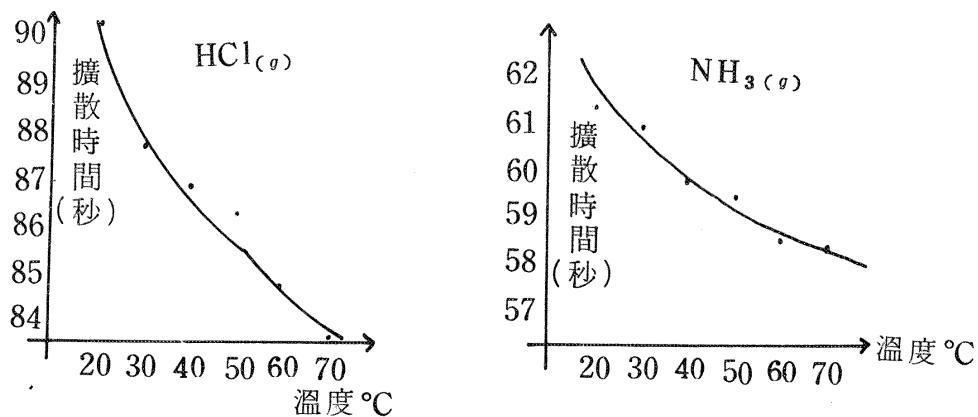
第二組 實驗：





氣體的溫度愈高則其擴散的時間愈短；氣體擴散的時間與氣體絕對溫度平方根成反比。

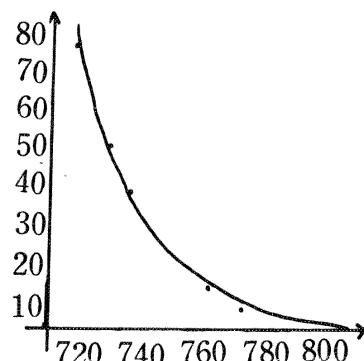
$$V = \sqrt{\frac{3RT}{M}}, \frac{3R}{M} \text{ 固定}, \therefore V \propto \sqrt{T}, S = Vt, V \propto \frac{1}{t} \therefore \frac{1}{t} \propto \sqrt{T}$$



第三組實驗

錐形瓶內氣體壓力愈大則反應的時間愈短表示擴散速率愈快。亦就是說：一開始反應時，時間最快，以後因為產生固體NH₄Cl，壓力降低，錐形內氣體粒子數減少而擴散時間隨著減慢。

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{P_1}{P_2} \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}}$$



七、討 論

- 在第一組實驗一中滴數從 3 滴 6 滴 9 滴到 13 滴實驗比值有隨滴數的增加而微量減少的變化現象，如 30 cm 玻璃管 3 滴比值為 1.758，6 滴 1.707，9 滴 1.584，13 滴為 1.508。又在 60 cm 玻璃管內 6 滴和 9 滴的比值及 90 cm 玻管內 6 滴、9 滴、13 滴的比值皆顯示滴數增加比值降低（實驗值愈近理論值）的現象。依據這些現象，我們查閱有關資料，共同討論的結果可能為在棉花的滴數多，則其接觸面積大，揮發速率快，氣體粒子數多，碰撞分率增加，減少比值偏差。
- 根據葛拉罕定律，兩氣體擴散速率和其密度平方根成反比例，又亞佛加德羅定律：氣體密度與其分子量成正比。於是

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt{d_2}}{\sqrt{d_1}} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}} \quad R : \text{擴散速率}, M : \text{分子量}$$

參考資料：在葛拉罕實驗中是兩種氣體在相同壓力的擴散，這種狀況和兩氣體在密度管內互相「向對方」擴散的情形不太一樣，因為會有小的局部壓力差產生，影響擴散速率〔以上這段話出自“大學普通化學”第 291 頁〕又第 297 頁中“氣體定律的偏差”對於氣體定律只應用於可稱為理想的氣體方為正確。這種氣體分子間沒有引力，分子本身也不佔任何空間，而真實氣體並不以完全理想的方式起作用，即其分子確實互相地吸引，且佔有空間。尤其在“壓力加大時，氣體分子被迫互相靠近，因而增加吸引的效力也增加分子本身所佔體積的比例”——由以上參考資料：葛拉罕 $\frac{NH_3}{HCl} = 1.4652$ 係 $NH_{3(g)}$ 和 $HCl_{(g)}$

兩種氣體在非密閉器中的擴散速率比值；與表一的密閉玻管內實驗所得比值比較，可能為“小而局部的壓力”對擴散速率影響所造成之偏差。

第一組實驗二 再從第一組實驗二比較壓力和偏差值的關係，由二中以一大氣壓點分開說明：在大於 1 atm 方面 1.2 atm 的偏差值最小以後壓力每上升 0.2 atm 則偏差值反面上升，而至 1.8 atm 偏差最大；在低於 1 atm 方面以 0.8 atm 偏差最小，以後壓力愈下降而偏差值反而上升，由這一點趨向看來，顯然空氣壓力和實驗偏差存

在著一種微妙關係。針對以上結果，我們請教了學校多位化學老師和成功大學化學科教授，共同討論此種關係，結果我們假設：在密閉器兩氣體互相向對方擴散的實驗中，玻璃管內有局部壓力會造成擴散速率的偏差；局部壓力愈大則偏差愈大，局部壓力愈小則偏差愈小。如此便可解釋第一組實驗二的實驗結果，如 1.2 atm 時由於接近 1 atm 壓力小故偏差小當至 1.8 atm 時偏差變大另外在小於 1 atm 方面 0.4 atm 局部壓力大所以偏差大而在 0.8 atm 時偏差又變小。

八、參考資料

1. 高級中學課程試用教材第一冊（國立編譯館）
2. 高級中學化學實驗手冊第一冊（國立編譯館）
3. Linus Pauling College Chemistry
4. General Chemistry Six Edition (Willion H. Nebergall)
5. 大學普通化學上冊（曉園出版社）
6. 化學辭典（Langis Handbook of Chemistry）

評 語

考慮到影響氣體擴散的可能因子，一一設計實驗探討是一很正確的做法，惟氣體的實驗不易，尤其定量實驗，宜以定性的討論，不要過度強調實驗數據。