

利用 T 型開關壓力計及注射筒等裝置 測定氣體的通孔擴散

許賢富
臺中縣立沙鹿國民中學

壹、前言

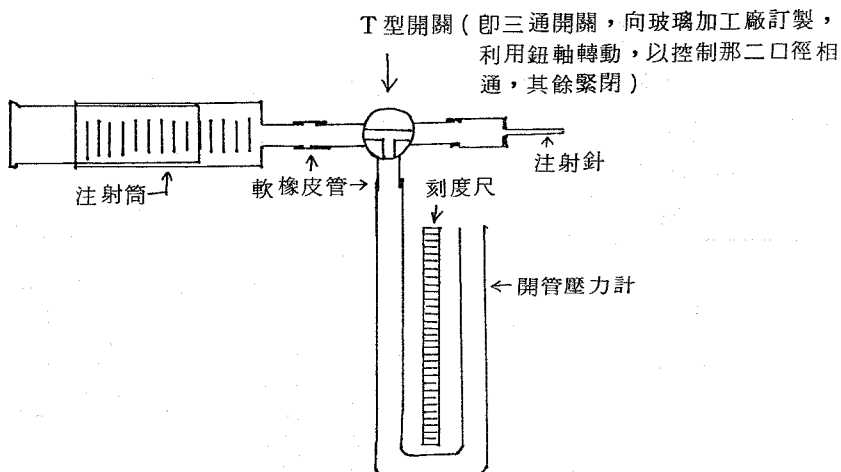
在國中理化課本第一冊實驗 6-3：「氣體的擴散」一節中，陳述了氨與氯化氫兩種氣體的自然擴散現象，由於擴散的速率不同，得知反應後之產物「白色煙霧狀」都比較靠近氯化氫這一邊。很顯然的，本實驗能夠進行的最大前題，乃在於產物必為有色氣體，才能做實驗觀察，如果該產物是無色透明的氣體，那又如何實驗呢？其次假若不藉氣體間的反應，有可能比較氣體的擴散速率嗎？（註：實驗 6-3 是利用 $\text{NH}_3(g) + \text{HCl}(g) \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}(s)$ 反應比較 $\text{NH}_3(g)$ 和 $\text{HCl}(g)$ 的擴散速率），為了探討這一連串的問題，而設計本實驗，加以求證。

貳、研究目的

本研究旨在利用 T 型開關、壓力計及注射筒等裝置，測定氣體的通孔擴散，藉此以了解氣體擴散速率與分子量間的關係，並盼研究結果能夠提供教師改進教學及設計課程之參考，同時提供國中生了解擴散的另一概念→通孔擴散。（註：國中課本所論及的擴散皆為自然擴散。）

參、實驗裝置

如圖一所示。



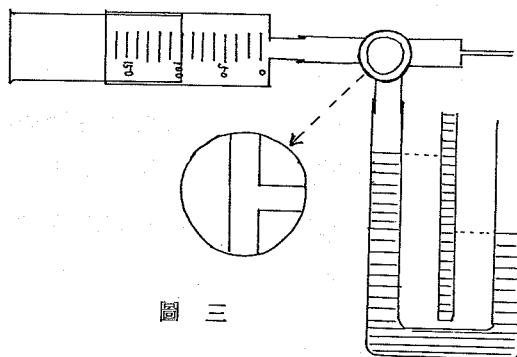
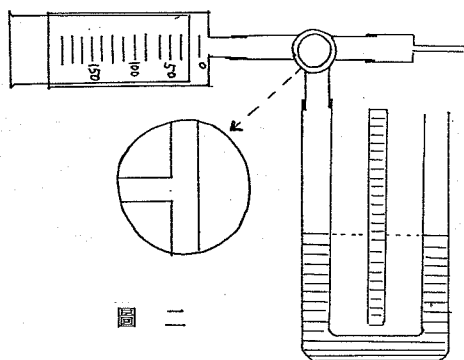
圖一：氣體通孔擴散實驗裝置圖

肆、實驗過程

一、測量空氣

1. 抽掉壓力計內的空氣

如圖二所示，將T型開關移至固定位置，使注射筒與壓力計相通（此時壓力計左右水銀柱等高），而壓力計及注射筒都不與右邊之注射針孔相通，以抽掉壓力計內的空氣，當注射筒的活塞向外拉時，壓力計內多餘的空氣即流入注射筒內，此時將T型開關控制如圖三的位置，以免空氣流入壓力計內（此時壓力計左右壓力差約 76 cmHg）。

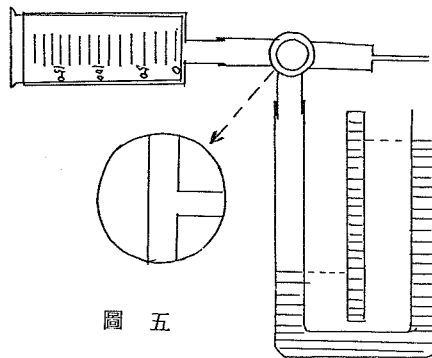
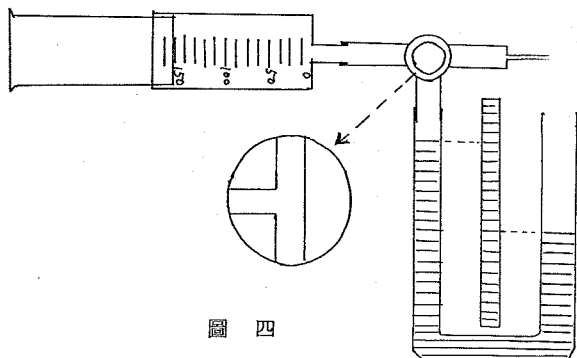


2. 使注射筒充氣

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，抽入空氣使剛好至 150 mL（或 100 mL、50 mL）記號處。

3. 使壓力計充氣

將T型開關與注射筒再連接如圖四所示，使注射筒中之空氣進入壓力計，即將注射筒內的空氣打入壓力計內，再將T型開關扭轉。如圖五所示。



4. 測量擴散時間

就圖五，將 T 型開關轉至使壓力計與注射針孔（在右邊）相通，再利用馬錶測量擴散時間，由打開開關算起至壓力計左右水銀柱等高止的時間即為擴散時間，前後重複測量 10 次，再求平均值。

二、測量氫氣

如同上法抽掉壓力計內的空氣，然後如圖六製備氫氣；即放 40 公克鋅於錐形瓶中，再由分液漏斗加 150 mL 的鹽酸，並使氣體發生器中的物質作用約 30 秒，以趕走錐形瓶內的空氣。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，即氫氣體之壓力會將氫氣壓入注射筒內，至超過 150 mL（或 100 mL、50 mL）刻度停止。移開注射筒趕出一部份氫氣，使至 150 mL（或 100 mL、50 mL）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壓力計，最後如圖五測量通過注射針孔之擴散時間。

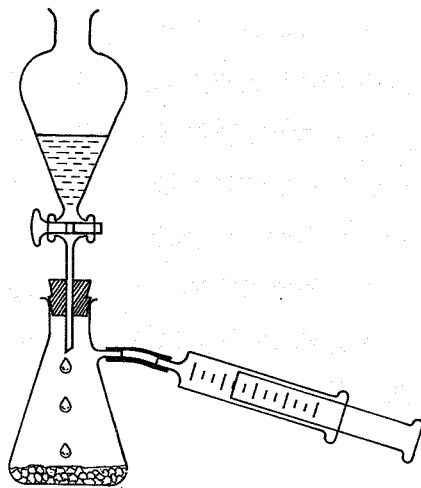


圖 六

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 200 mL 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作用，以產生氨，再依前法測量擴散時間。

五、測量氧氣

以雙氧水 200 mL 與 10 克二氧化錳作用以產生氧，再依前法測量擴散時間。

伍、實驗結果與討論

一、由實驗結果（表一）得知，五種不同氣體擴散的時間都不相同，以 $V = 150 \text{ mL}$ ， $S_D = 0.45 \text{ mm}$ 為例， $\text{AIR} = 54.0 \text{ sec}$ ， $\text{H}_2 = 14.1 \text{ sec}$ ， $\text{CO}_2 = 66.2 \text{ sec}$ ， $\text{NH}_3 = 44.4 \text{ sec}$ ， $\text{O}_2 = 56.5 \text{ sec}$ ，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。至於其他不同條件的實驗結果也都一樣。

二、不同氣體在不同細孔直徑的擴散與其擴散時間似成反比，因為發現細孔直徑愈大者，擴散時間愈短。

三、本實驗設計也可在壓力計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，很方便也很正確。

四、本實驗設計利用壓力計，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，故在測量及觀察方面都很科學。

五、本實驗裝置所有管子的部份必須盡量縮短，管徑儘量的減少，並且柔軟性要好，以減少管內空氣的量，避免過大的誤差，同時注射筒若能引有更大的容積如 200 mL，相信所得數據更接近正確值。

六、如果將實驗所得數據（表一）作適當的整理並作成圖七、圖八及圖九的座標圖形，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：

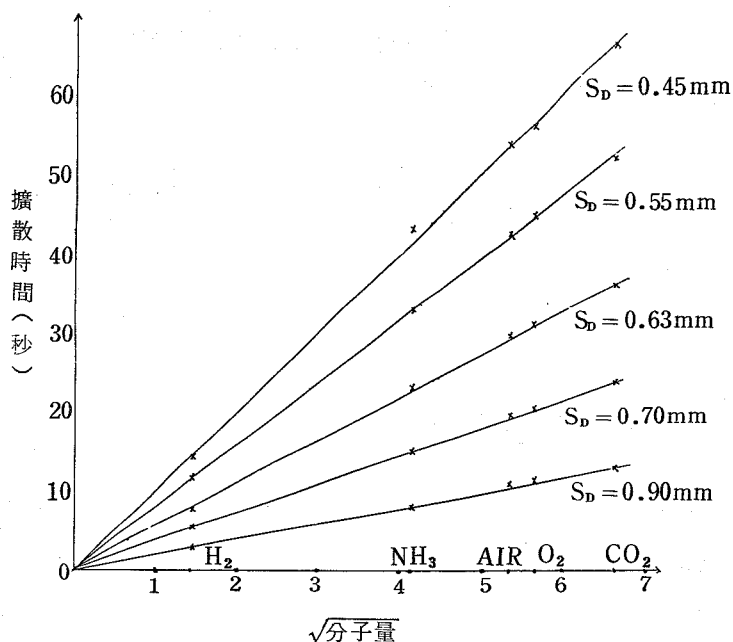
$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\sqrt{M_1}}{\sqrt{M_2}}$$

其中 t_1 、 t_2 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。

七、本實驗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如 H_2 平均上運動較快，因此會比較重的氣體分子如 CO_2 從細孔中擴散出去為快，短時間內經由小孔跑出容器



圖七：氣體體積 150mL 時擴散時間和分子量的平方根關係圖

表一 各種氣體擴散時間與其分子量平方根的比值表

氣體名稱	150						100						50					
	V (mL)																	
	S_D (mm)																	
AIR	t (sec)																	
	0.90	0.70	0.63	0.55	0.45		0.90	0.70	0.63	0.55	0.45		0.90	0.70	0.63	0.55	0.45	
	10.4	19.4	29.1	41.9	54.0		6.8	13.3	19.4	27.8	37.1		3.4	6.7	9.7	13.9	18.0	
	1.938	3.615	5.422	7.806	10.061		1.267	2.478	3.615	5.180	6.913		0.634	1.248	1.807	2.590	3.354	
	$t/\sqrt{M}$																	
	2.8	5.0	7.5	11.0	14.1		1.8	3.6	5.3	7.4	9.4		1.0	1.9	2.6	3.8	4.6	
H ₂																		
	1.980	3.536	5.304	7.780	9.972		1.273	2.546	3.749	5.233	6.648		0.707	1.344	1.839	2.687	3.253	
	$t/\sqrt{M}$																	
	12.7	23.8	35.6	51.3	66.2		8.3	16.2	23.6	34.2	44.4		4.3	8.3	11.7	17.2	22.1	
CO ₂																		
	1.914	3.588	5.367	7.734	9.980		1.251	2.442	3.558	5.156	6.694		0.648	1.251	1.764	2.593	3.332	
	$t/\sqrt{M}$																	
	8.0	14.6	22.3	31.9	44.4		5.2	10.2	14.6	21.2	27.5		2.6	5.1	7.3	10.5	13.8	
NH ₃																		
	1.940	3.541	5.409	7.737	10.769		1.261	2.474	3.541	5.142	6.670		0.631	1.237	1.770	2.547	3.347	
	$t/\sqrt{M}$																	
	10.9	20.3	30.5	43.8	56.5		7.1	13.9	20.4	29.4	37.7		3.6	6.8	10.3	14.6	18.9	
O ₂																		
	1.927	3.588	5.392	7.743	9.988		1.255	2.457	3.606	5.197	6.664		0.636	1.202	1.810	2.581	3.341	
	$t/\sqrt{M}$																	

註：V 表氣體的體積； S_D 表擴散時細孔直徑，即注射針孔直徑； t 表擴散時間。 $\sqrt{M}$ 表氣體分子量的平方根。

故 $\sqrt{AIR} = 5.367$ ， $\sqrt{H_2} = 1.414$ ， $\sqrt{CO_2} = 6.633$ ， $\sqrt{NH_3} = 4.123$ ， $\sqrt{O_2} = 5.657$ 。

外兩種氣體分子數目的比與其質量比的平方根倒數相等。因為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。故有下面的關係存在：

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{\frac{1}{t_1}}{\frac{1}{t_2}} = \frac{t_2}{t_1} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}}$$

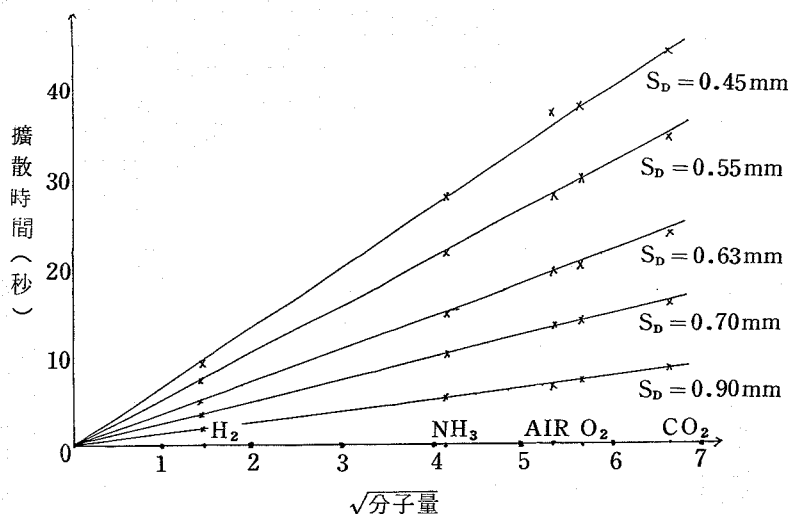
其中 n_1, n_2 表兩種氣體擴散至容器外的分子數； R_1, R_2 表兩種氣體之擴散速率； t_1, t_2 表兩種氣體之擴散時間； M_1, M_2 表兩種氣體之分子量。

陸、結 論

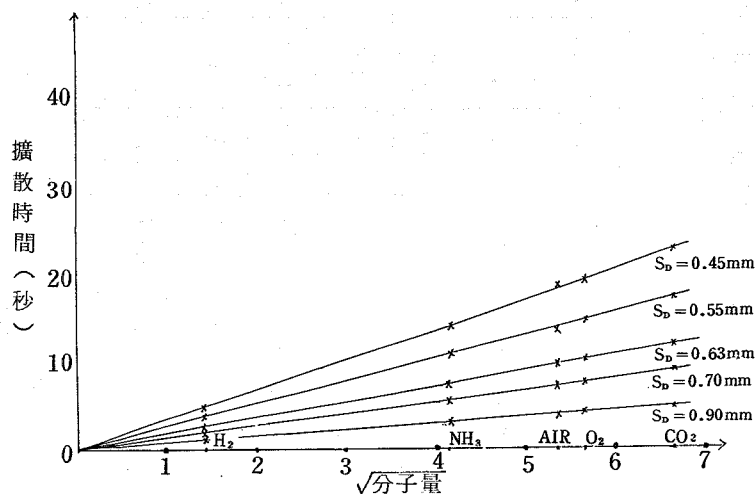
一、本實驗設計材料雖部份是訂製的，但裝置簡單而且經濟，同時實驗過程又能達成多項教學目標，故可當作氣體擴散補充教材之用。

二、五種氣體的通孔擴散時間之比較為：二氧化碳 > 氧 > 空氣 > 氨 > 氫。

三、氣體的通孔擴散時間和它的分子量平方根成正比。故可根據此關係式求出另一未知氣體的分子量。其公式如下：



圖八：氣體體積 100mL 時擴散時間和分子量的平方根關係圖



圖九：氣體體積 50 mL 時擴散時間和分子量的平方根關係圖

(下接第 50 頁)

提出意見交換並協助培養傳承參與國際數學競賽的活動經驗，始能作好充分的準備，辦好難得一次的國際數學競賽活動，並獲致多方面有利的影響。

七、參考資料

1. 顏啓麟、劉豐哲、陳昭地 (民 80 年)，一九九一年第三十二屆國際數學奧林匹亞年會，科學教育月刊，142 期 (80 年 9 月)，8 ~ 12。
2. 趙金祁等 (民 81 年)，中華民國參加一九九二年第三十三屆國際數學奧林匹亞競賽報告，科學教育月刊，152 期 (81 年 9 月)，24 ~ 32。
3. 吳清基等 (民 82 年)，中華民國參加一九九三年第三十四屆國際數學奧林匹亞競賽報告，科學教育月刊，163 期 (82 年 10 月)，37 ~ 47。
4. 陳昭地等，一九九四年第三十五屆國際數學奧林匹亞競賽試題解答評析，刊於本刊。
5. 35th IMO 資訊 (July 8-20, 1994, Hong-Kong)。
6. IMO 1994 Contest Results (1994 IMO Jury Committee)。

(上承第 26 頁)

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

t_1, t_2 表示氣體 1 及氣體 2 的通孔擴散時間。

M_1 表已知氣體 1 的分子量。

M_2 表未知氣體 2 的分子量。

參考資料

1. 林濤、黃曙平合譯 基本物理學 新陸書局 上册 p. 421-427。
2. 陳國成著 參考化學 大中國圖書 上册 p. 139-142。
3. 國中理化教師示範實驗 臺灣師大化學研究所 p. 67-69。
4. 科學教育 國立臺灣師大科教中心 第 29 期 p. 49-51。
5. 高中化學 國立臺灣師大科教中心主編 第一冊 p. 57-64。