

# 浮沈子與擴散

國中組化學科第一名

臺南市安平國中

作者：洪曼馨

指導教師：鄧明聖、黃友春

## 一、研究動機

理化課本6-3，6-4提供了簡易的實驗來說明擴散運動。但我們也從觀察中發現了下列疑惑：(一)紫紅色的 $\text{KMnO}_4$  溶液加入水中，究竟是由於重力（密度大）下沈擾動而擴散，還是由於分子的「布朗運動」而自由擴散？我曾把 $\text{KMnO}_4$  置於下層，再緩緩加入水，結果隔了一天仍無法擴散完全。這和以課本作法所得時間相去太遠。(二)有很多果汁使用前必須搖一搖，足見溶液梯度可存在甚久，不易擴散(三)當 $\text{KMnO}_4$  變淡是否代表擴散之終點？擴散速率如何去定量和比較？(四)當鹽溶液為無色時，有無簡易的方法可觀察並定量擴散現象？(五)液體的擴散機制和氣體擴散有何異同？為何跌打膏藥溶劑的選擇非常重要？

我決定利用本校學長所發展出一系列的分析方法，設計適合的實驗器材，以解答心中的疑惑。

## 二、研究目的

- (一)利用「浮沈子」來探討各種金屬鹽類擴散的變因。
- (二)利用不同溶劑來探討為何跌打藥膏，所用溶劑非常重要。
- (三)利用改良的「注射筒浮沈子」來探討不溶性氣體的擴散，以比較氣體液體擴散的差異。
- (四)利用及壓力感測器來看 $\text{NH}_3$  及 $\text{HCl}$  之擴散及反應。

## 三、研究設備及器材

1. 自製液體擴散用浮沈子（見裝置圖(一)）。
2. 氣體製備用玻璃注射筒，T型管及三向閥（見裝製圖(二)）
3. 自製氣體壓力感測器線路及裝置（見裝置圖(三)及裝置圖(四)）
4. 各種金屬鹽類及製備氣體所需藥品
5. 自製「注射筒浮沈子」（見裝製圖(五)）

## 四、研究過程及方法

〔實驗一〕：液體擴散

(一)常溫 (30°C) 下

1. 取各種金屬鹽溶液 (1M) 裝滿浮沈子中，並壓入吸管頭，使管內無氣泡，再取前15分鐘浮標上浮高度。

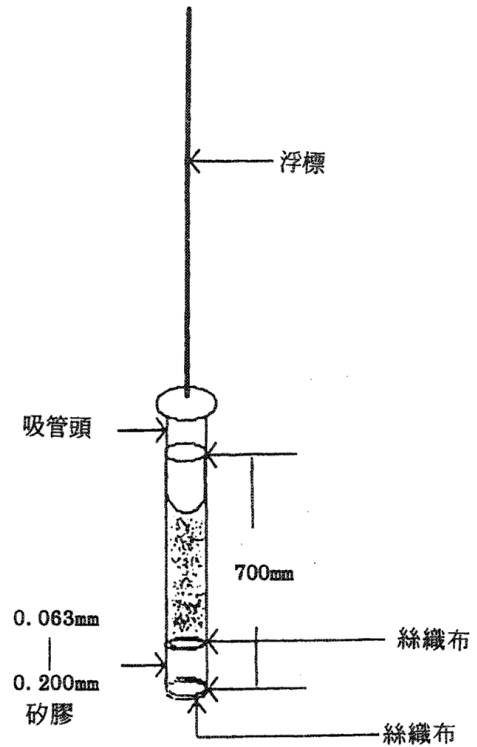
如裝置圖(-)

2. 結果：

H：上浮高度差 (公分)

M：鹽的分子量

t：量取最初時間 (秒)



表(-)

H	1	2	3	4	5	平均	t	H/Mt
LiCl	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	900	$7.9 \times 10^{-6}$
NaCl	0.65	0.65	0.60	0.70	0.70	0.66	900	$1.3 \times 10^{-5}$
KCl	1.10	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	900	$1.5 \times 10^{-5}$
MgCl <sub>2</sub>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	900	$1.2 \times 10^{-5}$
CaCl <sub>2</sub>	1.30	1.20	1.30	1.30	1.30	1.28	900	$1.3 \times 10^{-5}$
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1.30	1.10	1.10	1.00	1.00	1.10	120	$4.8 \times 10^{-5}$
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	3.00	3.00	3.00	3.00	2.95	2.99	120	$7.9 \times 10^{-6}$

3. 討論

(1) 擴散出去的鹽重 = 浮沈子減少重 = 浮沈子浮力減少量 = 體積上浮量 × 水密度

(2) 體積上浮量正比於上浮高度 (H)

(3) 平均擴散速率 =  $\frac{\text{擴散出去的重}}{\text{分子量} \times \text{時間}} \propto H/Mt$

(4)在常溫下，質量小者擴散慢，且前1小時內幾乎速率沒有改變，但Pb及Zn速率衰減快。

(5)常溫下，質量相近者，價數大者擴散略為減少。

(二)溫度升高後的液體擴散

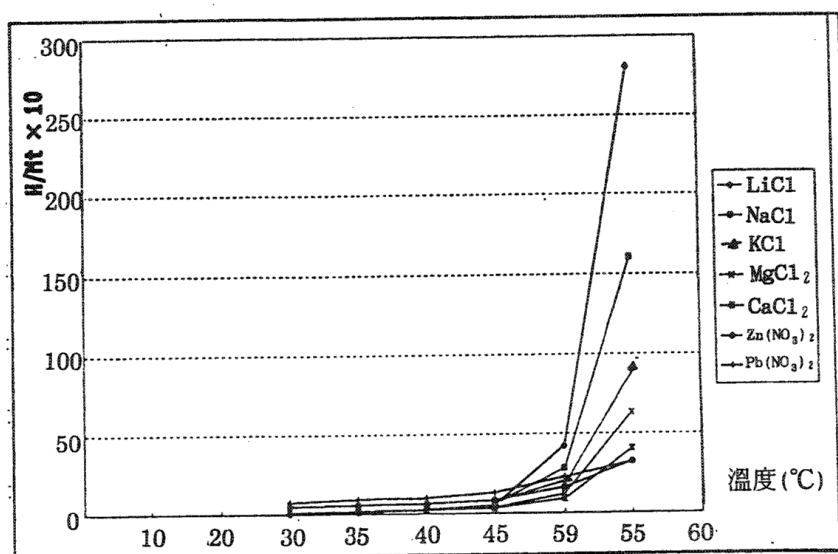
1.取常溫下最初15分鐘上升高度，計取所需時間。並且改變水槽及鹽溶液溫度至所設定溫度（55°C、50°C、45°C、40°C、35°C）

2.結果：

ㄅ. 溫度—H/Mt

表(二)

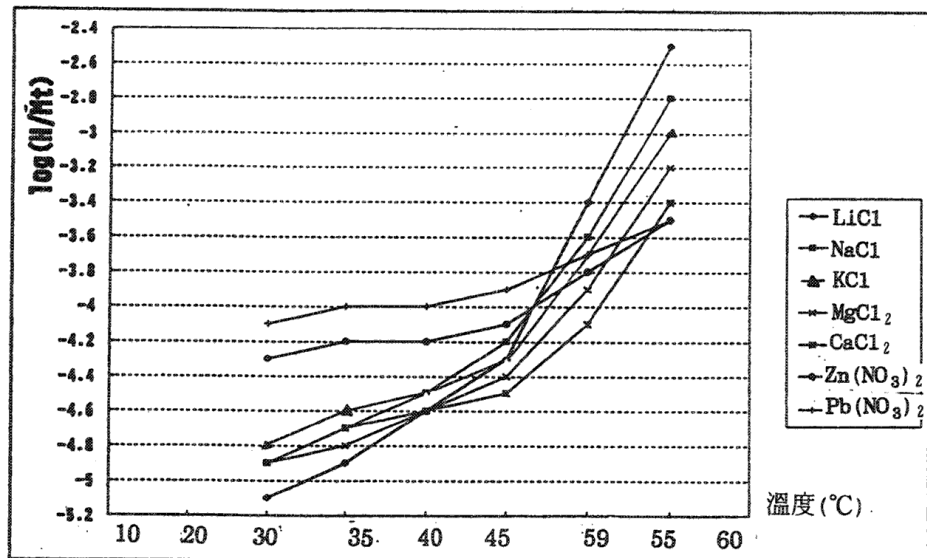
鹽 H/Mt 溫度	LiCl	NaCl	KCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	Zn(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
30°C	$7.9 \times 10^{-6}$	$1.3 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^{-5}$	$4.8 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$
35°C	$1.3 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-5}$	$2.5 \times 10^{-5}$	$1.7 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	$9.1 \times 10^{-5}$
40°C	$2.4 \times 10^{-5}$	$3.2 \times 10^{-5}$	$3.1 \times 10^{-5}$	$2.4 \times 10^{-5}$	$2.5 \times 10^{-5}$	$6.2 \times 10^{-5}$	$9.8 \times 10^{-5}$
45°C	$5.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	$5.4 \times 10^{-5}$	$4.0 \times 10^{-5}$	$3.2 \times 10^{-5}$	$7.9 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^{-4}$
50°C	$4.2 \times 10^{-4}$	$2.8 \times 10^{-4}$	$1.8 \times 10^{-4}$	$1.2 \times 10^{-4}$	$8.9 \times 10^{-5}$	$1.6 \times 10^{-4}$	$2.2 \times 10^{-4}$
55°C	$2.8 \times 10^{-3}$	$1.6 \times 10^{-3}$	$9.2 \times 10^{-4}$	$6.3 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$	$3.2 \times 10^{-4}$	$3.2 \times 10^{-4}$



■ (—)

表(三)

鹽 H/Mt 溫度	鹽						
	LiCl	NaCl	KCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
30°C	-5.1	-4.9	-4.8	-4.9	-4.9	-4.3	-4.1
35°C	-4.9	-4.7	-4.6	-4.8	-4.7	-4.2	-4.0
40°C	-4.6	-4.5	-4.5	-4.6	-4.6	-4.2	-4.0
45°C	-4.3	-4.2	-4.3	-4.4	-4.5	-4.1	-3.9
50°C	-3.4	-3.6	-3.7	-3.9	-4.1	-3.8	-3.7
55°C	-2.5	-2.8	-3.0	-3.2	-3.4	-3.5	-3.5



■ (二)

### 3. 討論

(1) MgCl<sub>2</sub> , CaCl<sub>2</sub> ; LiCl , NaCl , KCl 同樣價數下高溫時，質量低者，擴散速率變化特別明顯。

(2) 不同價數，同一週期如 KCl 及 CaCl<sub>2</sub> ，一價的在 30°C ~ 50°C，其  $\log H/Mt$  較接近直線，而 CaCl<sub>2</sub> 較彎曲，在高溫時改變較明顯。

(3) 質量越大，價數較小者其  $\log H/Mt$  較接近直線，和氣體行為較接近。其中 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 分子量 331.20、其  $\log H/Mt$  幾乎已成直線，所受溫度影響較小。

(二) 在 20% (V/V) 的酒精溶液中觀察金屬鹽的擴散

1. 勻配製體積百分率濃度20%的酒精水溶液，當溶劑配成1M金屬鹽溶液。

又以30°C水中擴散15分鐘上升高度為計時終點

2. 結果：各種鹽在30°C下擴散時間及H/Mt (表四)

種類	次數					平均	H/Mt	絕對酒精
	1	2	3	4	5			
LiCl	222.0	228.0	205.0	202.0	215.0	215.0	$3.3 \times 10^{-5}$	可溶
NaCl	54.0	50.0	51.0	52.0	53.0	52.0	$2.2 \times 10^{-4}$	難溶
KCl	217.0	237.0	221.0	238.0	248.0	232.0	$5.8 \times 10^{-5}$	微溶
MgCl <sub>2</sub>	263.0	272.0	305.0	292.0	275.0	281.4	$3.7 \times 10^{-5}$	可溶
CaCl <sub>2</sub>	306.0	326.0	312.0	336.0	338.0	323.6	$3.6 \times 10^{-5}$	非常易溶
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	119.0	119.0	107.0	109.0	119.0	114.6	$5.1 \times 10^{-5}$	非常易溶
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	/	/	/	/	/	/	/	不溶

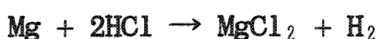
3. 討論：

- (1) 在絕對酒精中非常易溶者，其擴散速率增加有限。
- (2) 在絕對酒精中可溶者，其擴散速率增加3~4倍。
- (3) 在絕對酒精中難溶者，其擴散速率增加很大如增加17倍。
- (4) 另 (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 在20 (V/V) 酒精中無法溶解至1M，故無法比較。
- (5) 關於其它溶劑及不同溶劑百分比之影響，由於時間關係希望以後繼續探討。

[ 實驗二 ] 不溶於水的擴散

(一) 氣體之製備：

1. 氫氣的備製：參考裝置圖(二)



勺. A筒裝鎂帶及水，並使沒有氣泡

又. B筒裝2M HCl溶液。

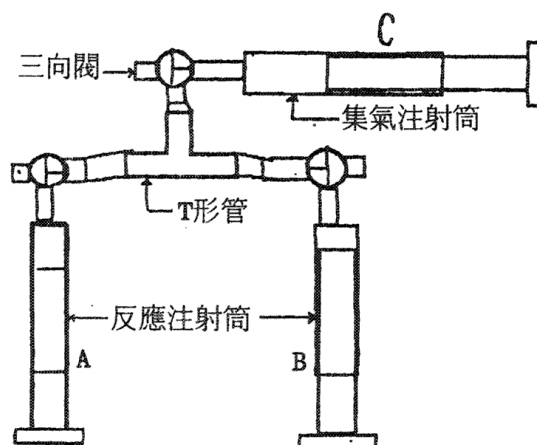
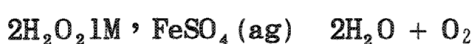
冂. C筒推至底部使無氣體。

冃. 調整三向閥，使B通T型管，

而C筒之三向閥通大氣。

勿. 推B筒使A. B反應，生成H<sub>2</sub>，再關閉C之三向閥使通C筒開始收集

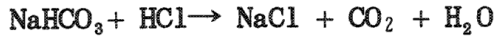
2. 氧氣的製備



裝置圖(二)

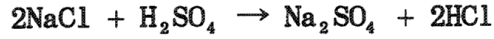
步驟同1, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>在A筒, FeSO<sub>4</sub> 在B筒

3. 二氧化碳的製備



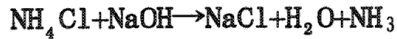
飽和NaHCO<sub>3</sub> 在A筒, 在2MHCl在B筒

4. 氯化氫製備

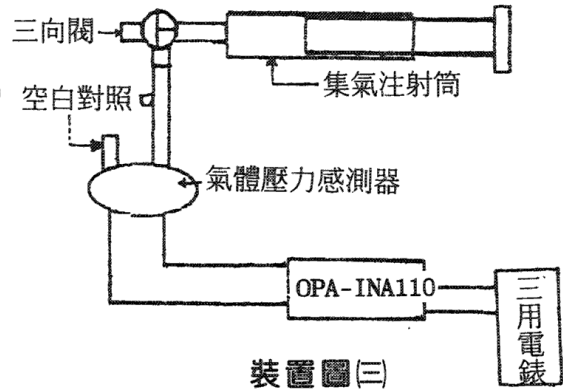


A筒置NaCl晶體; B筒裝濃硫酸

5. 氨氣裝備



A筒置NH<sub>4</sub>Cl晶體粉末; B筒裝8M NaOH



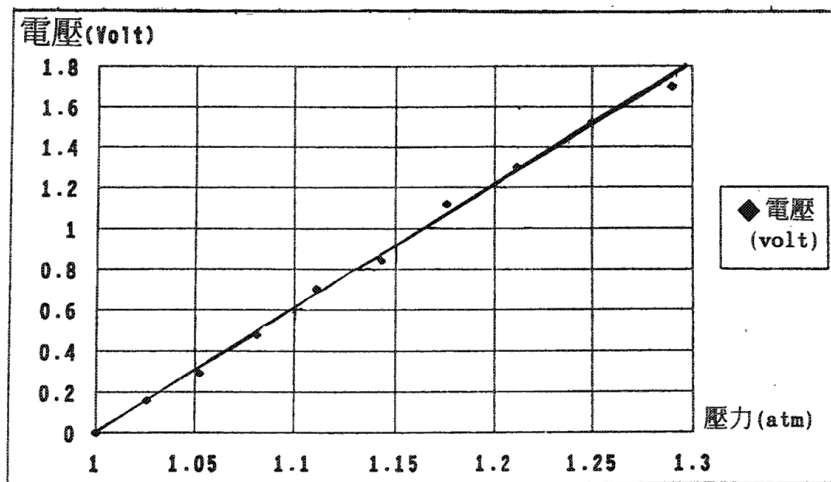
裝置圖(三)

(二) 氣體壓力感測器的校正; 圖(三)及圖(八)

1. 在集氣筒中抽取空氣, 並使三向閥通大氣。
2. 調整可變電阻, 使輸出為零 (零為調整)
3. 推入注射筒, 使體積減少39, 38……至31ml
4. 計錄輸出電壓。
5. 結果:

表(五)

V(ml)	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31
P(atm)	1	1.026	1.052	1.081	1.111	1.143	1.176	1.212	1.250	1.290
Vout (伏特)	0	0.160	0.290	0.480	0.700	0.840	1.112	1.300	1.520	1.700



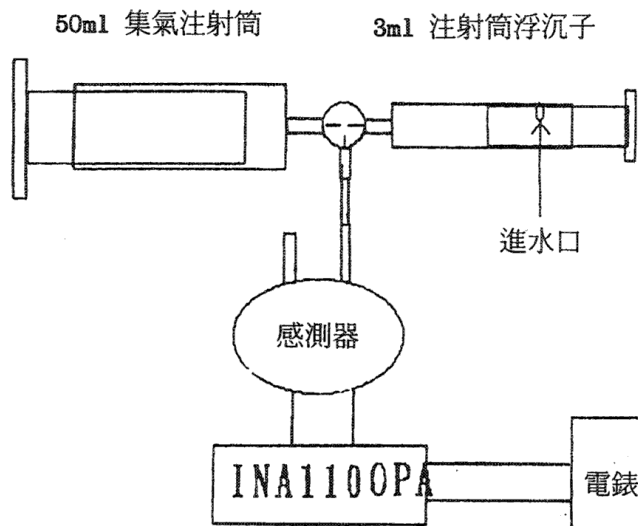
6. 討論：

- (1)輸出電壓和壓力成正比，其比值為 $v/p = 6.4$ 伏特/atm
- (2)在調整 jumper 使 OPA 放大倍率 100 倍時，線性範圍約在 8 伏特，即可測量至  $\pm 2$  atm 左右
- (3)在實作時，由於三向閥無法完全密合，故在高壓區通常不準。

(三)氣體裝筒校正：見裝置

圖(四)

1. 把 50ml 集氣注射筒接上三向閥，三向閥另兩端一邊接 OPA 高壓口，一端接 3ml 「注射筒浮沈子」。
2. 一手壓「注射筒浮沈子」之進水口，並吸入氣體，注意  $V_{out}$  需維持為零，則所注入氣體為大氣壓力。



裝置圖(四)

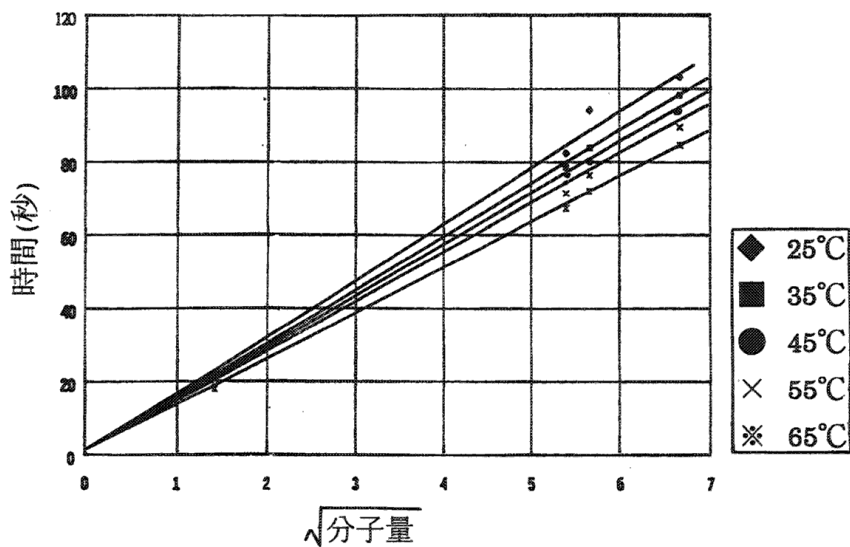
(四)氣體之擴散：見裝置圖

(五)

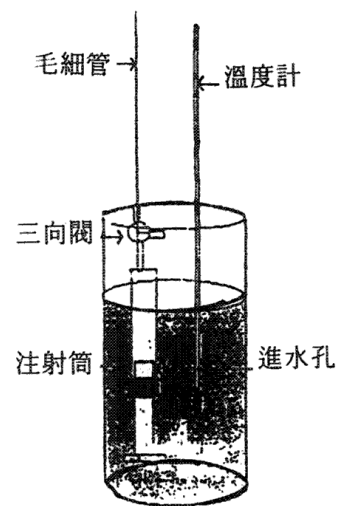
1. 選取空氣  $CO_2$ 、 $O_2$  及  $H_2$  置於「注射筒浮沈子」置入水槽中，即開始計時，當水注滿筒中，則停止計時。注意操作中避免使水進入毛細管中，以免阻塞氣體之擴散。且水槽水位需維持固定，即可控制進水口壓力。
2. 改變水槽溫度為  $25^\circ C$ 、 $35^\circ C$ 、 $45^\circ C$ 、 $55^\circ C$ 、 $65^\circ C$ 、各操作記錄。
3. 結果：

ㄅ. 數據表

氣體	溫度				
	25°C	35°C	45°C	55°C	65°C
空氣	82.50	78.50	74.80	71.40	67.50
$H_2$	22.05	20.98	20.00	19.08	18.04
$O_2$	94.29	83.92	79.96	76.33	72.16
$CO_2$	103.4	98.40	93.77	89.54	84.65



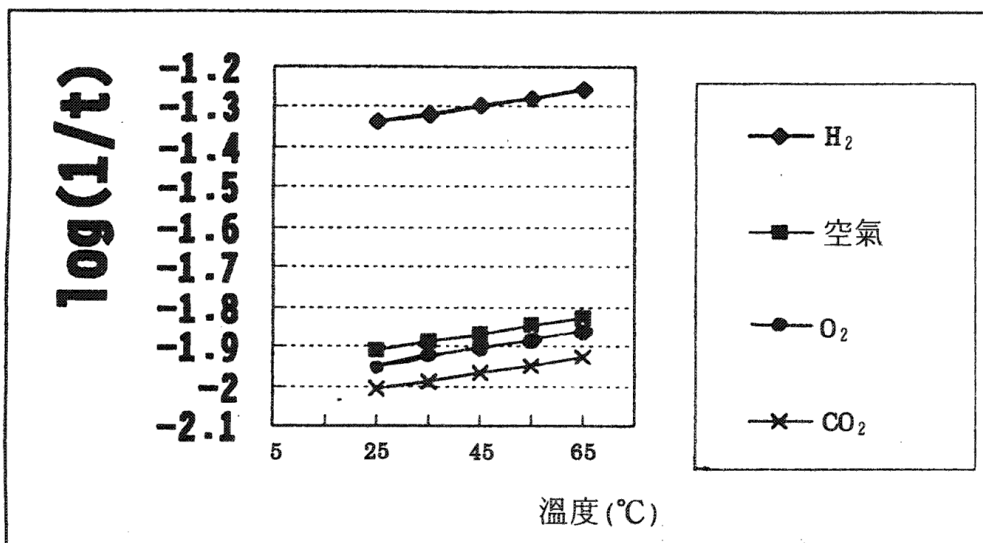
■ (四)



裝置圖(五)

4. 討論：

- (1) 質量越小，擴散速率較快；溫度上升速率變快。
- (2) 以  $\log 1/t - T^\circ\text{C}$  圖來看，幾乎成直線關係。
- (3) 在高溫時可能壓力變大擴散速率有偏快現象。



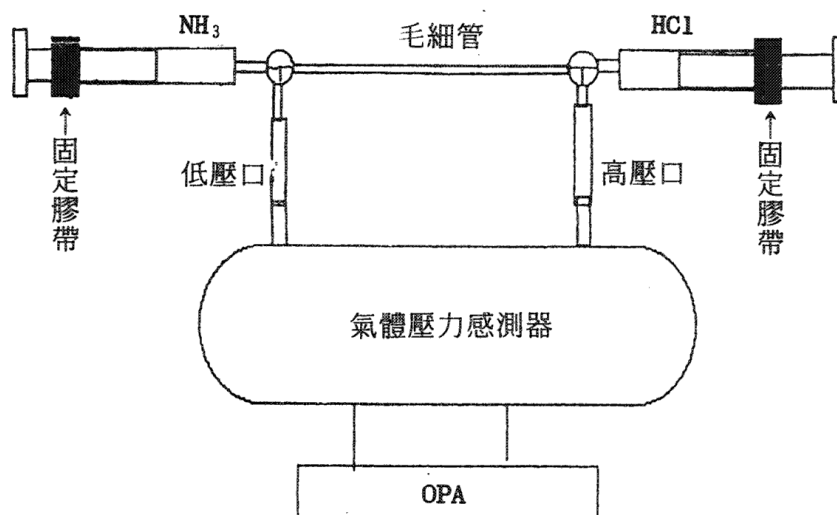
■ (五)



〔實驗三〕可溶性氣體 $\text{NH}_3$  及 $\text{HCl}$ 之擴散

(一)利用自製線路來證明 $\text{NH}_3$  及 $\text{HCl}$ 擴散快慢。

- 1.把 $\text{NH}_3$  裝在左側注射筒 (3ml) 其三向閥一邊通過毛細管，一邊通低壓口； $\text{HCl}$  左右側，其三向閥一邊通毛細管，一邊通高壓感測口。參考裝置圖(六)。



裝置圖 (六)

2.以開始有 $V_{out}$ 為時間終點。

3.結果58.4秒後有 $V_{out}$ 且為正值。

4.討論：

- (1)輸出電壓為正值，代表高壓口壓力較大，可見 $\text{NH}_3$  擴散較 $\text{HCl}$ 快，而使 $\text{NH}_3$  氣壓較 $\text{HCl}$ 低，在線路差動比較下而有正的輸出。
- (2)58.4秒比在空氣中擴散之預測值46.1秒慢，可見氣體擴散和另一種氣體有關，因 $\text{HCl}$ 之分子量較空氣大，造成 $\text{NH}_3$  擴散比在空氣中慢。

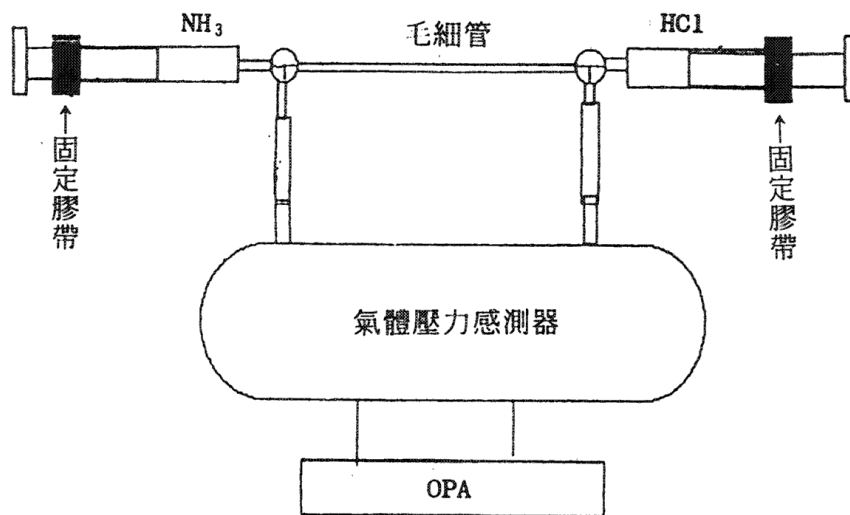
表(六)

溫度 $\log 1/T$ 氣體	25°C	35°C	45°C	55°C	65°C
空氣	-1.91	-1.89	-1.87	-1.85	-1.83
$\text{H}_2$	-1.34	-1.32	-1.30	-1.28	-1.26
$\text{O}_2$	-1.97	-1.92	-1.90	-1.88	-1.86
$\text{CO}_2$	-2.01	-1.99	-1.97	-1.95	-1.93

(二)利用自製線路來證明 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 不是空氣

1. 參考裝置圖(七)把 $\text{HCl}$ 氣體之三向閥通往感測器高壓口向上關閉。
2. 記錄輸出電壓及最低電壓。
3. 結果最低電壓為5.6伏特。
4. 討論：

- (1)由OPA校正曲線，每 $\text{atm}$ 可產生6.4伏特輸出，故5.6伏特代表注射筒內氣壓比大氣壓少 $0.875\text{atm}$
- (2)因為在定體積下，壓力和所含莫耳數成正比。若 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 為氣體，則氣體莫耳數減少頂多只能造成氣壓減為 $0.5\text{atm}$ 。
- (3)理論上，若完全反應則壓力應減少 $1\text{atm}$ ，但由於三向閥及接管無法完全密合，故無法達到理想。



裝置圖 (七)

## 五、討論及應用

1. 在常溫時，液體中鹽類的擴散，由本研究看出①質量大者擴散快②價數小者擴散快③溶劑分子間作用力小者（沸點低）的可使擴散變快（此點我仍需再多尋求實驗證據之支持）④溶劑對鹽的溶解度較小時擴散更快。以上幾點和氣體中的情形大異其趣，在氣體中由質量來決定快慢且成平方反比關係，可見取決於分子的動能來決定速度。另者，氣體對氣體之擴散也由彼此質量關係來決定（如 $\text{NH}_3$ 在 $\text{HCl}$ 比在空氣中預期為慢）

2. 在高溫時，液體中鹽類的擴散行爲開始和氣體的行爲接近爲質量小者擴散快。但由於我使用熱塑性「浮沈子」的材料無法觀察更高溫行爲。故材料的改善或可得到更有力的佐證。
3. 氣體受溫度的影響不如液體大，且其速率大致和絕對溫度的 $1/2 \sim 3/2$ 次方間成比例關係，可見其幾乎完全由動能變化來決定擴散速率。
4.  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  質量非常大，其溫度— $\log H/Mt$ 圖。非常接近氣體的溫度 $\log—1/t$ 圖。可見溶質質量遠較溶劑大者，受溶劑影響較小，而且受溫度影響也小。
5. 由於水分子之間作用力極強，鹽類離子很可能存在於水分子結構上不規則的「洞」中，而價數高者可使此「洞」層次更密實，唯有質量大者，才能衝破此溶劑分子的束縛。而當溫度上升破壞液體分子的結構，使結果因而和常溫時相反。此點可由溶劑的改變擴散得到佐證。
6. 查資料，得氧在空氣中擴散係數爲 $0.178\text{cm}^2/\text{s}$ 而 $\text{KCl}(1\text{M})$ 約爲 $1.89 \times 10^5\text{cm}^2/\text{s}$ ，約有 $10^4$ 倍差無故實際上，課本的實驗若把 $\text{KMnO}_4(\text{ag})$ 置於杯底需6小時以上才能觀察到明顯擴散。所以按課本作法滴入 $\text{KMnO}_4(\text{aq})$ 之力道，滴數及快慢都會使結果有相當差異，因其非「布朗」運動下擴散，而是液體因重力下沉所生液體攪動。
7. 跌打膏藥需用高揮發性（沸點低）的溶劑，即因其分子間作用力小，而使藥劑在皮膚上擴散滲透都較快；且最好加以熱敷。除可使毛孔張開，從化學眼光來講可能原因在此。

## 六、未來展望

1. 「浮沈子」的設計讓我得以輕易觀察到無色液體及氣體之擴散。希望能朝改良其材質，使能觀察到更多的溶劑，更大的溫度範圍，以求得更確實的結論。
2. 控制藥物釋離的機轉所牽涉到溫度及其分子間力量，溶離狀況及擴散速率，由於限於時間並未完全得到完美結論，而只有初步結果，下次應把這次未完成部分補足。

## 七、參考資料

1. 國中理化課本第一冊
2. 本校學長35、36屆全國科展電子線路作品
3. 第35屆全國科展化學科（注射針筒在理化實驗上的應用）

## 評 語

本件作者自行設計液體擴散用浮沈子實驗系統，此系統中利用氣體壓力感測器有效且精確偵測氣體擴散速率，此研究實際上改進了國中理化氣體擴散課本上的實驗，使氣體擴散實驗更精確，故本研究結果實際上可用來做氣體擴散實驗（理化）的參考教材之用，具有教學上的實用性，同時由研究過程可看出作者求真求精確的科學態度以及思路清晰，條理分明，值得獎勵。本作品對一個國中學生而言，是一個相當優秀具有創意的研究成果。