

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

040205

氣體逸散實驗的改進

學校名稱：臺北縣私立東海高級中學

作者：	指導老師：
高二 趙子豪	邱智宏
高二 龔柏瑋	李博仁
高一 陳韋潔	
高一 簡峻擇	

關鍵詞：逸散 通孔擴散 格銳目擴散定律

摘要

使用便宜的塑膠針筒及一些簡易的實驗器材，便能創造出接近真空的實驗空間，重做格銳目的氣體逸散實驗，驗證擴散定律。此舉除了減少抽真空的設備，也能改善現行版本比較複雜的裝置，提高實驗的可行性及準確性。

由實驗結果得知，待測氣體透過愈細的針頭逸散，其實驗結果愈符合格銳目的擴散定律；待測氣體逸散至愈大的真空容器中，其實驗結果愈理想。將不同的待測氣體各 5mL，分別透過細針頭逸散至 50mL 的真空容器中，記錄其逸散所需的時間，並將逸散速率對分子量平方根的倒數做圖，其線性迴歸的 R^2 值能達到 0.95 以上。另外，經由實驗驗證單一氣體或混合氣體的逸散速率均合乎格銳目的擴散定律。因此未知氣體的分子量亦可經由本實驗求出逸散速率，再將其值在迴歸直線上做內插法以求出分子量。

利用實驗結果設計一示範實驗，能用眼睛直接比較分子量較大的氣體逸散速率較慢。

關鍵詞：逸散、通孔擴散、格銳目擴散定律、線性迴歸

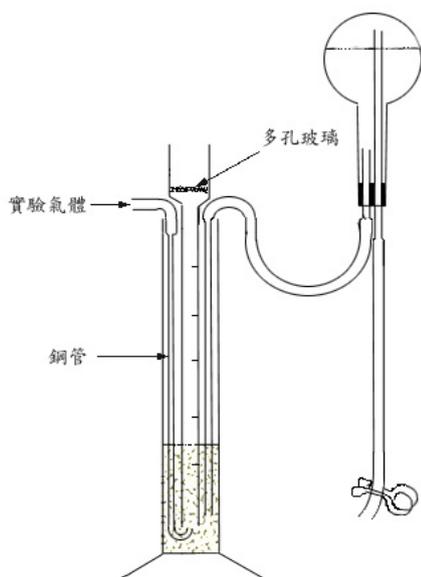
氣體逸散實驗的改進

壹、研究動機

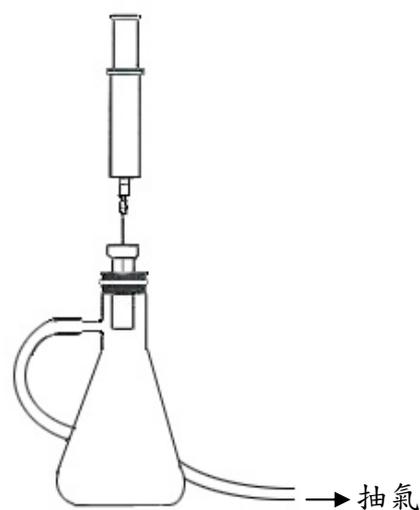
高二物質科學化學篇有關氣體性質的章節，曾談到格銳目(Graham)的擴散定律，即氣體的擴散(diffusion)或逸散(通孔擴散，effusion)速率和分子量的平方根成反比。舊版的課本搭配下列實驗以驗證該定律^{註1,2}：讓氯化氫和氨氣分別在玻璃管兩端擴散，待產生白色煙霧的氯化銨固體後，量測兩種氣體行經的距離及時間，分別計算出擴散速率以驗證該定律。唯該實驗經陳偉民等^{註3}的研究，認為格銳目擴散定律適用於氣體在多孔固體中的等壓擴散，以及通孔擴散兩種情況，NH₃與 HCl 在一條長管中的擴散實驗則不適用。因此 95 暫綱的新教材相繼改變不同的實驗以符合真實的情況^{註4,5}，但是新設計的實驗器材較為複雜，操作也較煩瑣，因此興起設計一個簡單可行的實驗，應用簡易的器材，便能驗證擴散定律。

貳、原理探討

格銳目提出擴散定律適用於(一)氣體於多孔固體中的擴散及(二)逸散(通孔擴散)，其當時進行實驗的設備類似於圖一及圖二。



圖一、氣體於多孔固體中的擴散實驗



圖二、通孔擴散實驗裝置圖

圖一為格銳目在 1833 年提出擴散定律時所做的實驗設備，其中不同的實驗氣體和空氣在等壓下透過多孔玻璃相互擴散，當實驗氣體的分子量比空氣小時，其擴散出管

外的速率應小於空氣擴散進來的速率，藉由調整左邊的圓形燒瓶可維持定壓，亦可量測出兩者相互擴散的體積差 (ΔV)，其擴散速率 (J) 的比值如下：

$$\frac{J_{gas}}{J_{air}} = \frac{V_{gas}}{V_{gas} + \Delta V} \quad (1)$$

其中， V_{gas} 為導入玻璃管定量之實驗氣體體積。依格銳目的實驗得知各氣體的擴散速率與其分子量的平方根成反比如式(2)式，其詳細的推導請對照參考資料 7。

$$\frac{J_{gas}}{J_{air}} = \frac{V_{gas}}{V_{gas} + \Delta V} = \sqrt{\frac{M_{air}}{M_{gas}}} \quad (2)$$

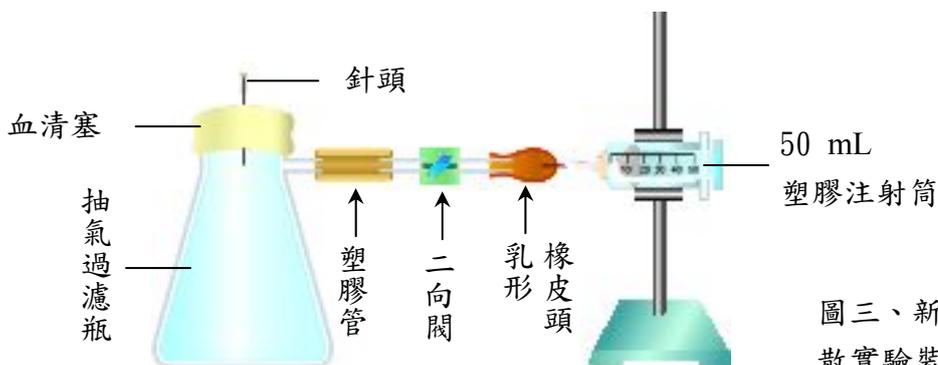
此實驗條件必須合乎擴散時兩邊的氣體無壓力差及必須氣體通過多孔固體，因此舊版長玻璃管的實驗條件和上述實驗不符，亦不適用式(2)的公式。

圖二為格銳目在 1846 年提出的逸散（通孔擴散）實驗，也與擴散絕不相同，圖二即為通孔擴散的裝備，實驗氣體由針孔逸散進入真空，經甘油潤滑後的注射筒壁自由滑動，可保持逸散過程中，注射筒內氣體之壓力一定。實驗結果顯示，在定壓時，一定體積的氣體逸散所需時間與氣體之分子量的平方根成正比。

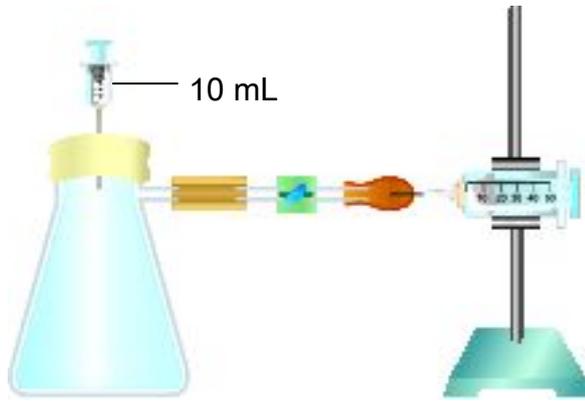
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}} \quad (3)$$

此一結論適用的情況為定壓之氣體向真空逸散，雖然擴散與通孔擴散均得到擴散速率與氣體分子量平方根成反比的結果，但是其實驗方法與理論依據完全不同。

新版的實驗採取和圖二相似的原理，但實驗裝置如圖三、圖四，詳細的實驗原理及步驟，請參閱參考資料 5。由圖中可以看出實驗器材的接點很多，實驗時稍一不慎，便容易造成誤差，加上實驗一開始，利用右側針筒抽拉所造成的負壓，和圖二格銳目實驗裝置不斷抽氣的真空狀態也有很大的差距。另外針孔的大小；逸散氣體的量、溫度；負壓的大小等對逸散速率的影響，均無詳細的探討，因此特進行本實驗的研究。



圖三、新版化學課本逸散實驗裝置圖。



圖四、利用右側針筒抽出錐形瓶的空氣，造成負壓的環境。測量左邊針筒逸散 10mL 氣體至抽氣過濾瓶所需要的時間。

參、研究目的

1. 設計一簡單、易以操作的氣體逸散實驗，以驗證格銳目的擴散定律。
2. 探討氣體逸散時，針孔的大小對逸散速率的影響。
3. 探討氣體逸散時，環境負壓對逸速率的影響。
4. 探討氣體逸散時，溫度對逸散速率的影響。

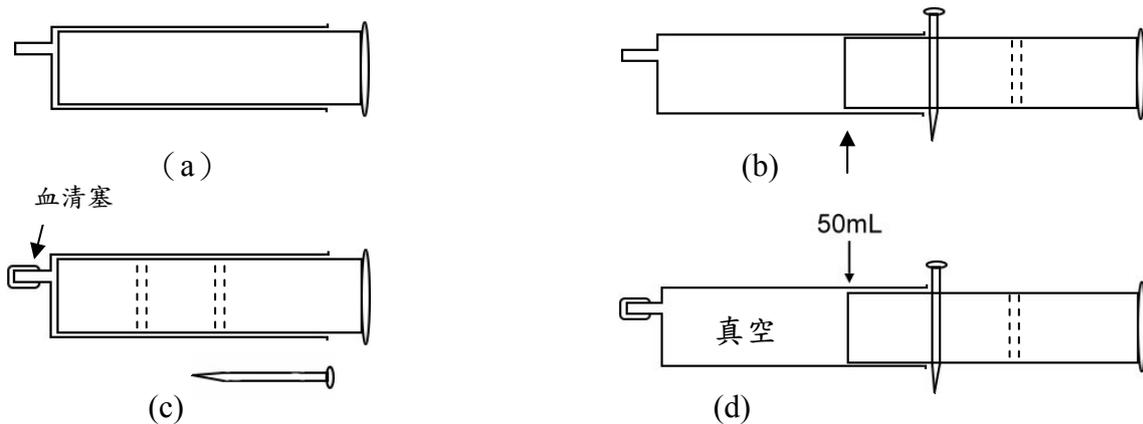
肆、研究設備及器材

50 mL 塑膠針筒、25mL 塑膠或玻璃針筒、粗針頭(內徑 1.1mm)、中針頭(內徑 0.65mm)、細針頭(內徑 0.45mm)、血清塞、蠟紙(parafilm)、汽球、二向閥、三向閥、碼錶、250mL 的抽氣過濾瓶、氫氣、氫氣、氮氣、氧氣鋼瓶、鐵釘、乳形橡皮頭。

伍、研究過程

1. 簡易地製備一個幾近真空的空間

將塑膠針筒的推桿拉至 25 或 50mL 處，加熱鐵釘後插入膠膠推桿，如圖五(b)。拉出鐵釘，將針筒推上緊閉，套上密合的血清塞如圖五(c)。此時用力將推桿拉至 25 或 50mL 處，將鐵釘插回，以防止大氣壓力將推桿壓回，便能製備一個幾近真空的環境。



圖五(a)密合的塑膠針筒

(b)將推桿拉至 50mL 處，將鐵釘插入推桿

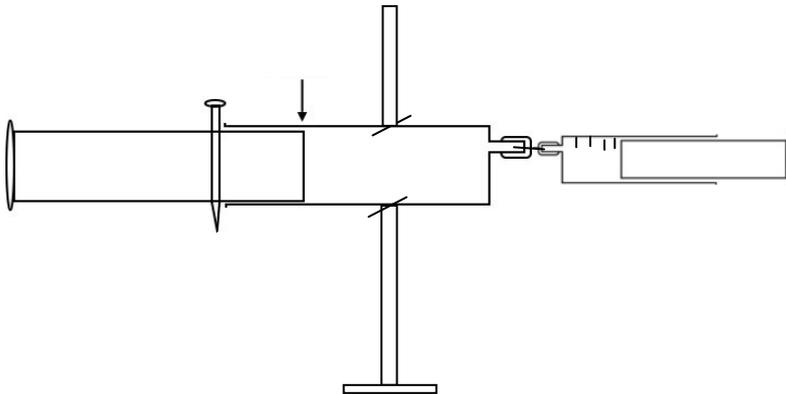
(c)抽出鐵釘，於出口套上血清塞

(d)用力拉開推桿至 50mL 處，鐵釘插入推桿

2. 進行逸散實驗

將待測氣體由鋼瓶裝填至汽球中，使用另一塑膠針筒由汽球抽取固定量的氣體後，將其針頭插入步驟一所述塑膠針筒的血清塞內，如圖六所示。當氣體開始逸散至某個刻度時，開始按下碼錶紀錄逸散固定體積，所需的時間。改變下列四項變因，記錄實驗結果：

- (一) 改變針頭內徑的大小。
- (二) 改變逸散氣體的體積。
- (三) 改變塑膠針筒內真空容器的體積。
- (四) 改變待測氣體的溫度。



圖六、氣體逸散實驗裝置示意圖

陸、 實驗照片



照片一、左圖為本實驗的基本器材，右圖靠左的針筒推桿已使用鐵釘插孔，並用血清塞將出口套緊，靠右針筒的針頭接合部分已使用蠟紙密封。



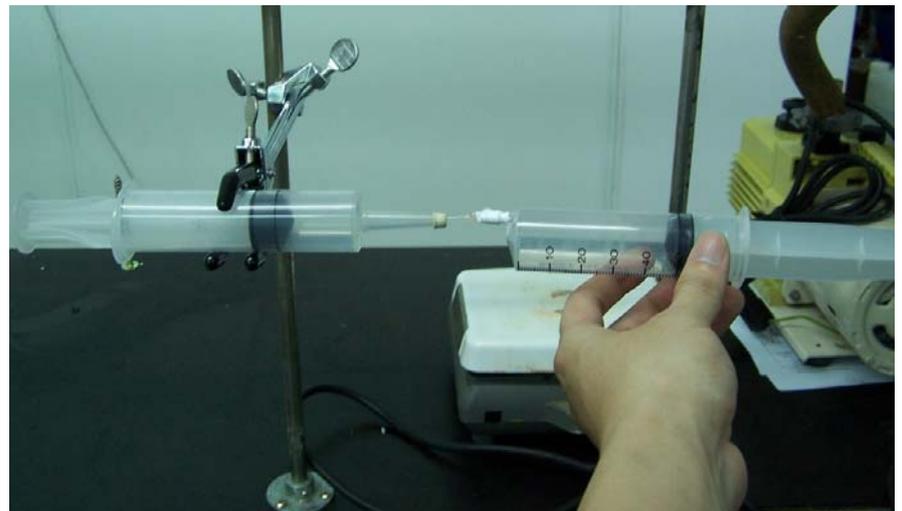
照片二、用力拉出推桿，插入鐵釘，使推桿卡住，藉以製備幾近真空的空間，左邊為 25mL、右邊為 50mL 的空間。



照片三、使用氣球及二向閥裝填不同的待測氣體，左邊為氫氣，右邊為氬氣。



照片四、將固定量的待測氣體由氣球抽取至針筒中。



照片五、將針頭插至血清塞內，待左邊針筒的氣體逸散一定量後開始按碼錶計時，測量固定量之氣體逸散至真空容器中所需的時間

柒、研究結果與討論

實驗一、試做新版課本的逸散實驗

- 一、按照圖三所示，架設實驗裝置，並以蠟紙封住各個可能漏氣的連接處（如針頭與針筒、塑膠管與玻璃、二向閥與塑膠管、橡皮頭與二向閥、橡皮頭與針頭）。
- 二、轉動二向閥，使抽氣過濾瓶與 50 mL 塑膠注射針筒相通。
- 三、反覆推拉塑膠針筒數次，使二向閥兩側空間壓力平衡後，再將針筒推至 0 mL 處。
- 四、拔出血清塞上的針頭，將右邊 50 mL 塑膠針筒緩慢拉至 50 mL 處，關閉二向閥，使抽氣過濾瓶呈負壓狀態。
- 五、使用另一隻針筒裝入待測氣體後，插入抽氣過濾瓶的血清塞內如圖四，按下碼錶開始計時，待逸散出氣體 5mL 後停止計時。實驗結果彙整如表一。

表一、進行新版課本逸散實驗，針筒內的氣體透過細針頭逸散 5mL 所需的時間及速率（逸散至呈負壓的抽氣過濾瓶，96.01.03，T=24°C，P=756mmHg）

項目	H ₂	速率 (mL/sec)	air	速率 (mL/sec)	Ar	速率 (mL/sec)
1	3.64	1.37	4.79	1.04	5.73	0.87
2	4.32	1.16	4.73	1.06	5.70	0.88
3	4.13	1.21	5.85	0.85	5.51	0.91
4	4.51	1.11	6.04	0.83	5.92	0.84
5	4.10	1.22	6.54	0.76	6.20	0.81
6	5.67	0.88	5.14	0.97	6.05	0.83
7	5.01	1.00	4.79	1.04	6.52	0.77
8	4.20	1.19	4.88	1.02	6.34	0.79
平均		1.14		0.95		0.84

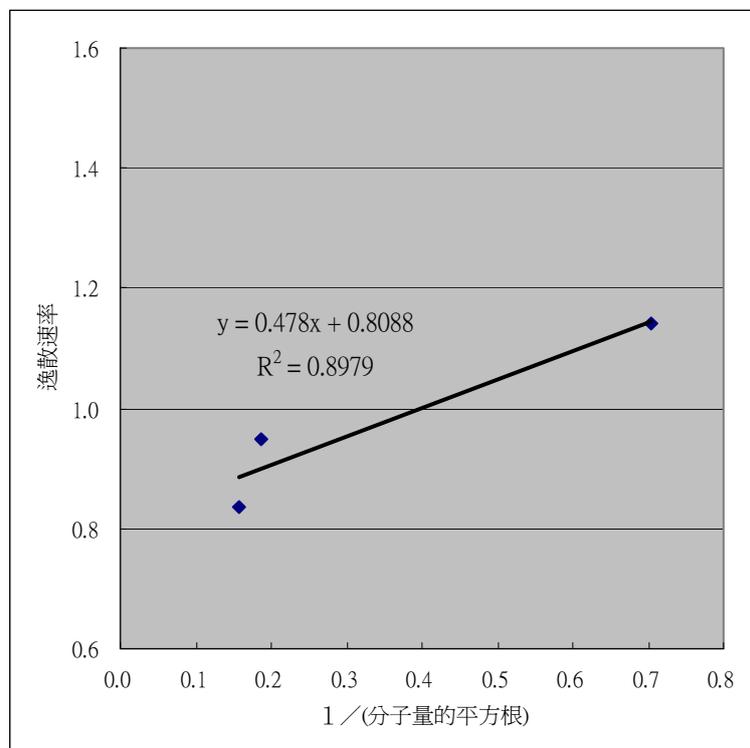
◎討論

- 一、使用細針頭逸散 5mL 時的數據如表一，每種氣體各做八次實驗，將各組的數據平均彙整成表二。

表二、氣體分子量與逸散速率彙整表

項目	M (分子量)	x 軸 (1/√M)	y 軸 (mL/sec)
H ₂	2.02	0.70	1.14
Air	28.80	0.19	0.95
Ar	39.95	0.16	0.84

- 二、由表二可以看出H₂、 air、 Ar的平均逸散速率分別為 1.14、0.95、0.84mL/sec，大致合乎分子量愈大，逸散速率愈慢的結果。將表二中分子量平方根的倒數對逸散速率作圖，並加上線性迴歸所得結果如圖七。由圖中顯示其線性迴歸的R² 值為 0.8979，尚合乎格銳目的擴散定律。
- 三、新版的實驗雖可以做出合乎擴散定律的結果，但是對於下列變因均未列入考慮：
(一)針頭內徑大小對逸散速率的影響。(二)氣體體積逸散多寡對逸散速率的影響。(三)負壓大小對逸散速率的影響。(四)氣體溫度對逸散速率的影響。另外，本實驗的裝置較複雜，接口多容易漏氣，稍一不慎便會影響實驗結果，因此特別設計下列各實驗加以改良。
- 四、本實驗只測試三種氣體，分子量的差別均很大，即使有些誤差亦不易察覺，因此後續的實驗均增加 N₂ 及 O₂ 二種氣體。



圖七、氣體分子量與逸散速率的關係圖

(透過細針頭逸散 5mL 氣體至 250mL 的抽氣過濾瓶)

實驗二、粗、中、細針頭(即通孔)對氣體逸散速率的比較

- 一、利用圖六的裝置進行逸散實驗，使用 H₂、N₂、air、O₂、Ar 等五種氣體。
- 二、將塞有血清塞的塑膠針筒抽至 25mL 處，插入鐵釘，製造出 25mL 的真空環境。
裝有待測氣體的針筒插入血清塞後，等氣體逸散 5mL 後，按下碼錶開始計時，待逸散出氣體 5mL 及 10mL 時各記錄一次時間
- 三、使用粗、中、細三種不同的針頭(內徑分別為 1.1mm、0.65mm、0.45mm)，進行上述實驗。使用中針頭的實驗結果如表三、表四。
- 四、使用細針頭的結果如表五、表六。

表三、針筒內的氣體透過「中」針頭逸散 5mL 所需的時間及速率

(逸散至 25mL 的真空容器中，96.01.07，T=20°C，P=763mmHg)

項目	H ₂	速率 (mL/sec)	N ₂	速率 (mL/sec)	Air	速率 (mL/sec)	O ₂	速率 (mL/sec)	Ar	速率 (mL/sec)
1	0.35	14.29	0.45	11.11	0.61	8.20	0.61	8.20	0.51	9.80
2	0.30	16.67	0.45	11.11	0.51	9.80	0.55	9.09	0.57	8.77
3	0.29	17.24	0.54	9.26	0.54	9.26	0.54	9.26	0.58	8.62
4	0.32	15.63	0.61	8.20	0.57	8.77	0.58	8.62	0.51	9.80
5	0.29	17.24	0.51	9.80	0.51	9.80	0.60	8.33	0.69	7.25
6	0.36	13.89	0.60	8.33	0.55	9.09	0.58	8.62	0.51	9.80
7	0.30	16.67	0.48	10.42	0.51	9.80	0.51	9.80	0.57	8.77
8	0.29	17.24	0.45	11.11	0.61	8.20	0.54	9.26	0.55	9.09
平均		16.11		9.92		9.12		8.90		8.99

表四、針筒內的氣體透過「中」針頭逸散 10mL 所需的時間及速率

(逸散至 25mL 的真空容器中，96.01.07，T=20°C，P=763mmHg)

項目	H ₂	速率 (mL/sec)	N ₂	速率 (mL/sec)	Air	速率 (mL/sec)	O ₂	速率 (mL/sec)	Ar	速率 (mL/sec)
1	0.56	17.86	1.15	8.70	1.25	8.00	1.34	7.46	1.31	7.63
2	0.53	18.87	1.22	8.20	1.22	8.20	1.19	8.40	1.31	7.63
3	0.50	20.00	1.25	8.00	1.28	7.81	1.31	7.63	1.35	7.41
4	0.54	18.52	1.28	7.81	1.25	8.00	1.13	8.85	1.34	7.46
5	0.53	18.87	1.19	8.40	1.18	8.47	1.28	7.81	1.43	6.99
6	0.59	16.95	1.28	7.81	1.16	8.62	1.25	8.00	1.40	7.14
7	0.53	18.87	1.16	8.62	1.19	8.40	1.10	9.09	1.32	7.58
8	0.53	18.87	1.22	8.20	1.29	7.75	1.25	8.00	1.37	7.30
平均		18.60		8.22		8.16		8.16		7.39

表五、針筒內的氣體透過「細」針頭逸散 5mL 所需的時間及速率

(逸散至 25mL 的真空容器中，96.01.08，T=20°C，P=765mmHg)

項目	H ₂	速率 (mL/sec)	N ₂	速率 (mL/sec)	Air	速率 (mL/sec)	O ₂	速率 (mL/sec)	Ar	速率 (mL/sec)
1	0.48	10.42	1.01	4.95	1.11	4.50	1.08	4.63	1.11	4.50
2	0.51	9.80	0.92	5.43	1.01	4.95	1.08	4.63	1.11	4.50
3	0.51	9.80	0.98	5.10	1.02	4.90	1.14	4.39	1.10	4.55
4	0.54	9.26	1.07	4.67	1.04	4.81	1.14	4.39	1.14	4.39
5	0.45	11.11	1.10	4.55	0.91	5.49	1.10	4.55	1.11	4.50
6	0.51	9.80	1.11	4.50	0.98	5.10	1.08	4.63	1.20	4.17
7	0.51	9.80	1.07	4.67	1.01	4.95	1.08	4.63	1.13	4.42
8	0.54	9.26	1.07	4.67	1.05	4.76	1.17	4.27	1.14	4.39
平均		9.91		4.82		4.93		4.51		4.43

表六、針筒內的氣體透過「細」針頭逸散 10mL 所需的時間及速率

(逸散至 25mL 的真空容器中，96.01.08，T=20°C，P=765mmHg)

項目	H ₂	速率 (mL/sec)	N ₂	速率 (mL/sec)	Air	速率 (mL/sec)	O ₂	速率 (mL/sec)	Ar	速率 (mL/sec)
1	1.03	9.71	2.22	4.50	2.29	4.37	2.38	4.20	2.53	3.95
2	1.00	10.00	2.03	4.93	2.16	4.63	2.41	4.15	2.53	3.95
3	1.03	9.71	2.09	4.78	2.10	4.76	2.40	4.17	2.47	4.05
4	1.06	9.43	2.29	4.37	2.22	4.50	2.37	4.22	2.41	4.15
5	0.97	10.31	2.37	4.22	2.03	4.93	2.28	4.39	2.47	4.05
6	1.00	10.00	2.37	4.22	2.18	4.59	2.34	4.27	2.53	3.95
7	1.03	9.71	2.31	4.33	2.18	4.59	2.38	4.20	2.50	4.00
8	1.060	9.43	2.28	4.39	2.25	4.44	2.41	4.15	2.47	4.05
平均		9.79		4.47		4.60		4.22		4.02

◎ 討論

- 一、使用「粗」針頭進行實驗時，由於氣體逸散的速度太快，以手按碼錶產生的人為誤差很大，無法收集有效的數據，因此後續的實驗均改用中或細針頭進行。另外，為使各實驗的計時能有較充裕的準備時間，目前的實驗均先將實驗氣體逸散 5mL 後才開始計時。
- 二、使用「中」針頭逸散 5mL 和 10mL 時的數據分別如表三和表四，每種氣體各做八次實驗，將各組的數據平均彙整成表七、表八。
- 三、將表七、表八中分子量平方根的倒數對逸散速率作圖，並加上線性迴歸所得的結果如圖八、圖九。

表七、氣體分子量與逸散速率彙整表

(透過中針頭逸散 5mL 至 25mL 的真空容器中)

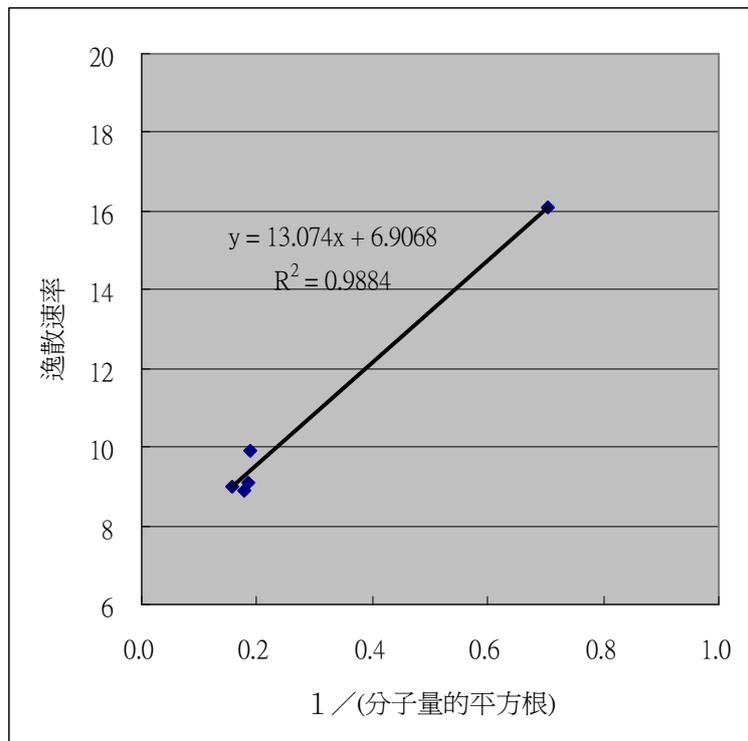
項目	M (分子量)	x 軸 ($1/\sqrt{M}$)	y 軸 (mL/sec)
H ₂	2.02	0.70	16.11
N ₂	28.02	0.19	9.92
air	28.80	0.19	9.12
O ₂	32.00	0.18	8.90
Ar	39.95	0.16	8.99

表八、氣體分子量與逸散速率彙整表

(透過中針頭逸散 10mL 至 25mL 的真空容器中)

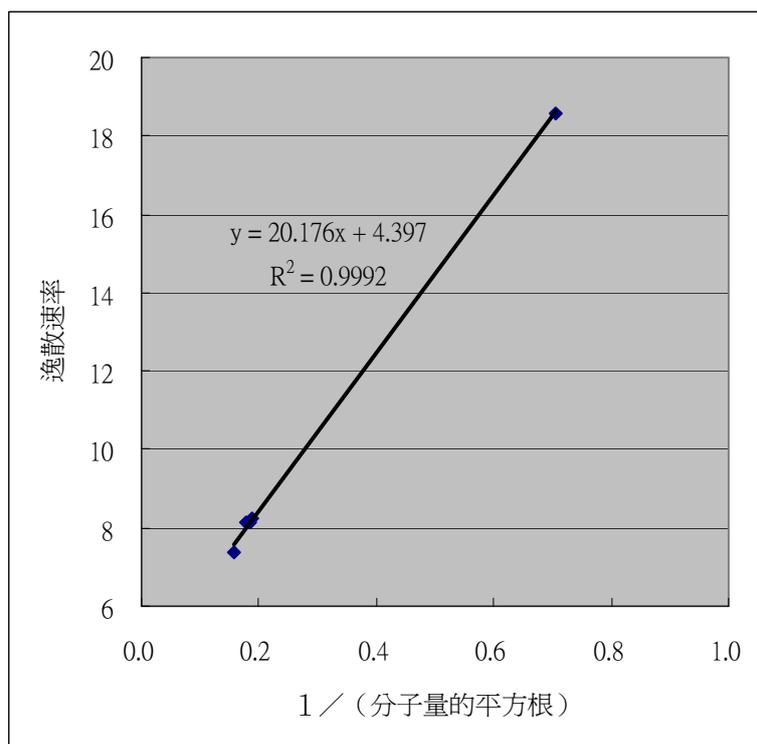
項目	M (分子量)	x 軸 ($1/\sqrt{M}$)	y 軸 (mL/sec)
H ₂	2.02	0.70	18.60
N ₂	28.02	0.19	8.22
air	28.80	0.19	8.16
O ₂	32.00	0.18	8.16
Ar	39.95	0.16	7.39

- 四、由表七可看出各氣體的逸散速率由快到慢的順序為 H₂ > N₂ > air > Ar > O₂ (16.11 > 9.92 > 9.12 > 8.99 > 8.90)，和分子量平方根大小成反比的順序並不相符 (分子量大小：H₂ < N₂ < air < O₂ < Ar)，Ar 和 O₂ 之間出現誤差。
- 五、表八也可看出各氣體的逸散速率由快到慢的順序，和分子量平方根大小成反比的順序也不相符，air 和 O₂ 兩者的逸散速率居然相同為 8.16 mL/sec。
- 六、由圖八、圖九發現兩者線性迴歸的 R² 值均已達到 0.98 以上，但是其斜率卻差別很多，分別為 13.074 及 20.176。代表逸散 5mL 或 10mL 時兩者沒有一致性。



圖八、氣體分子量與逸散速率的關係圖

(透過中針頭逸散 5mL 氣體至 25mL 的真空容器中)



圖九、氣體分子量與逸散速率的關係圖
(透過中針頭逸散 10mL 氣體至 25mL 的真空容器中)

- 七、改用細針所做逸散氣體 5mL 和 10mL 時的數據分別如表五和表六，每種氣體各做八次實驗，將各組的數據平均彙整成表九、表十。
- 八、由表五、表六可以看出使用「細」針頭，擴散相同體積的氣體所需的時間均比「中」針頭的表三、表四來得長，例如表五中氫氣和氮氣逸散 5mL 所需的時間大約為 0.5 秒和 1 秒。相對應的氣體在表三中則約為 0.3 秒和 0.5 秒。

表九、氣體分子量與逸散速率彙整表
(透過細針頭逸散 5mL 氣體至 25mL 的真空容器中)

項目	M (分子量)	x 軸 (1/√M)	y 軸 (mL/sec)
H ₂	2.02	0.704	9.91
N ₂	28.02	0.189	4.82
air	28.80	0.186	4.93
O ₂	32.00	0.177	4.51
Ar	39.95	0.158	4.43

表十、氣體分子量與逸散速率彙整表
(透過細針頭逸散 10mL 氣體至 25mL 的真空容器中)

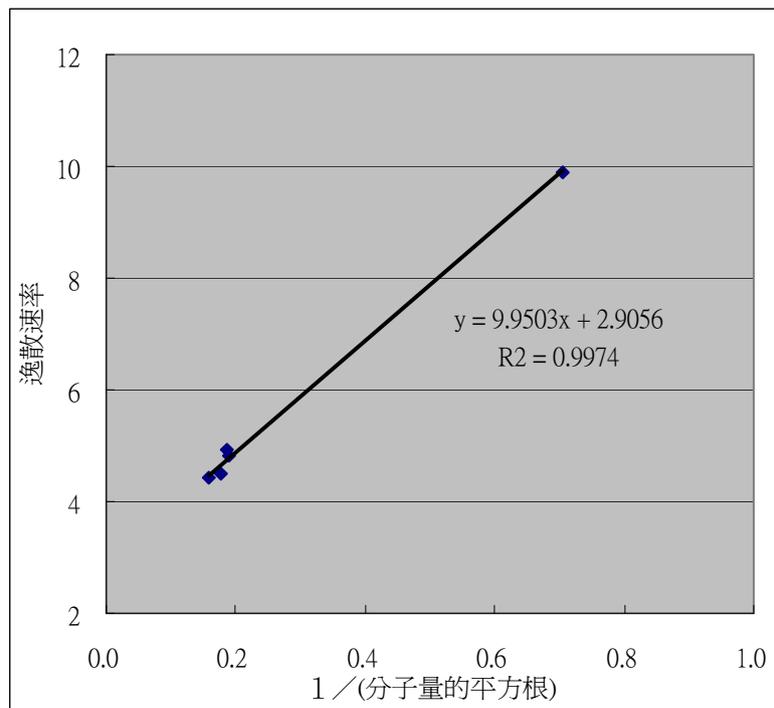
項目	M (分子量)	x 軸 (1/√M)	y 軸 (mL/sec)
H ₂	2.02	0.704	9.79
N ₂	28.02	0.189	4.47
air	28.80	0.186	4.60
O ₂	32.00	0.177	4.22
Ar	39.95	0.158	4.02

- 九、由表九、表十中可看出各氣體的逸散速率由快到慢的順序，和分子量平方根倒數大小成正比的順序也不相符，air 和 N₂ 兩者均出現反常。但其一致性較高，都是空氣逸散的速度比氮氣快。若按空氣的組成估計，氮氣和氧氣的體積比為 4:1，其平均分子量應為 28.8，但是各地的濕度不同，應該會有一些影響。如果去除空氣，則各組的數據在定性上，氣體的逸散速率和其分子量的平方根成相反的順序

便完全符合。

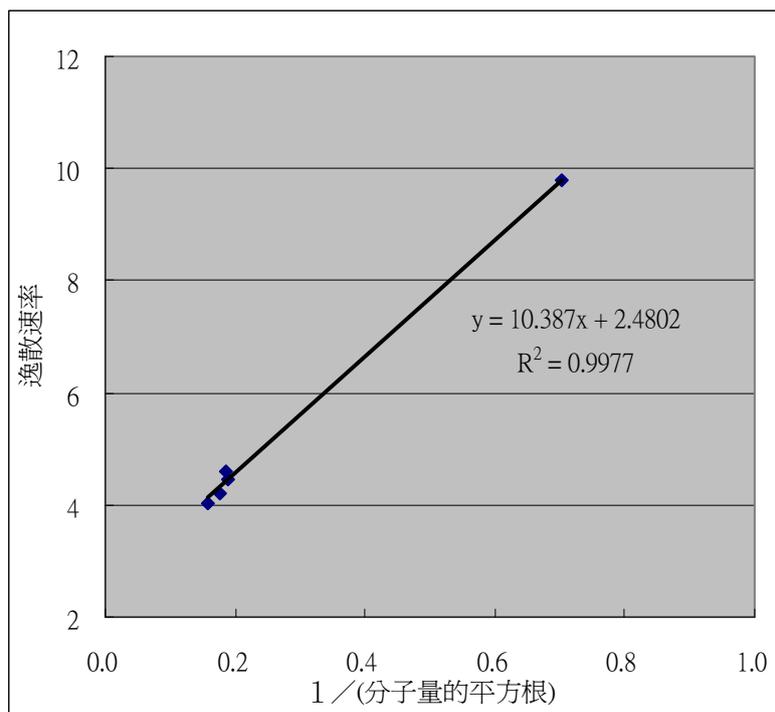
十、由圖十、圖十一發現兩者線性迴歸的 R^2 值大約相同為0.99 以上。代表測量 5mL 或 10mL 的逸散體積並沒有顯著的差異，但均比使用「中」針頭的效果好。而且其斜率也有一致性，分別為9.95 及 10.38，兩者相差小於 5%。

十一、為了讓按碼錶的時間較為充裕，以下的實驗均改從氣體已逸散 10mL 後開始計時，針頭方面也採用效果較佳的「細」針頭。



圖十、氣體分子量與逸散速率的關係圖

(透過細針頭逸散 5mL 氣體至 25mL 的真空容器中)



圖十一、氣體分子量與逸散速率的關係圖
(透過細針頭逸散 10mL 氣體至 25mL 的真空容器中)

實驗三、氣體逸散至 25mL 與 50mL 真空容器的速率比較

- 一、利用圖六的裝置進行逸散實驗，使用 H₂、N₂、air、O₂、Ar 等五種氣體。
- 二、和實驗二不同的是將塑膠針筒抽至 50mL 處，插入鐵釘，製造較大的真空環境。裝待測氣體的針筒插入血清塞後，等氣體已逸散 10mL 後，按下碼錶開始計時，再逸散 5mL 及 10mL 時各記錄一次時間。所得的結果如表十一、表十二。

表十一、針筒內的氣體透過「細」針頭逸散 5mL 所需的時間及速率
(逸散至 50mL 的真空容器中，96.01.13，T=19°C，P=767mmHg)

項目	H ₂	速率 (mL/sec)	N ₂	速率 (mL/sec)	air	速率 (mL/sec)	O ₂	速率 (mL/sec)	Ar	速率 (mL/sec)
1	0.45	11.11	0.95	5.26	0.98	5.10	0.98	5.10	1.14	4.39
2	0.51	9.80	0.92	5.43	0.89	5.62	1.01	4.95	1.11	4.50
3	0.48	10.42	0.85	5.88	0.95	5.26	0.94	5.32	1.13	4.42
4	0.42	11.90	0.86	5.81	0.94	5.32	1.04	4.81	1.14	4.39
5	0.42	11.90	0.92	5.43	0.92	5.43	0.97	5.15	1.11	4.50
6	0.42	11.90	0.95	5.26	0.95	5.26	1.01	4.95	1.11	4.50
7	0.48	10.42	0.86	5.81	0.92	5.43	1.02	4.90	1.10	4.55
平均		11.07		5.56		5.35		5.03		4.47

表十二、針筒內的氣體透過「細」針頭逸散 10mL 所需的時間及速率

(逸散至 50mL 的真空容器中，96.01.13，T=19°C，P=767mmHg)

項目	H ₂	速率 (mL/sec)	N ₂	速率 (mL/sec)	air	速率 (mL/sec)	O ₂	速率 (mL/sec)	Ar	速率 (mL/sec)
1	0.90	11.11	1.90	5.26	1.85	5.41	2.15	4.65	2.31	4.33
2	0.91	10.99	1.88	5.32	1.85	5.41	2.12	4.72	2.22	4.50
3	0.88	11.36	1.82	5.49	1.90	5.26	2.09	4.78	2.25	4.44
4	0.87	11.49	1.86	5.38	1.88	5.32	2.06	4.85	2.25	4.44
5	0.90	11.11	1.84	5.43	1.91	5.24	2.12	4.72	2.21	4.52
6	0.88	11.36	1.84	5.43	1.81	5.52	2.03	4.93	2.22	4.50
7	0.91	10.99	1.81	5.52	1.85	5.41	2.10	4.76	2.25	4.44
平均		11.20		5.41		5.37		4.77		4.46

◎討論

- 一、使用「細」針頭逸散 5mL 和 10mL 時的數據分別如表十一和表十二，每種氣體各做七次實驗，將各組的數據平均彙整成表十三、表十四。
- 二、將表十三、表十四中的分子量平方根的倒數對逸散速率作圖，並加上線性迴歸所得結果如圖十二、圖十三。
- 三、由表十三可看出各氣體的逸散速率由快到慢的順序為 H₂ > N₂ > air > O₂ > Ar (11.07 > 5.56 > 5.35 > 5.03)，和分子量平方根大小成反比的順序完全相符 (分子量：H₂ < N₂ < air < O₂ < Ar)，表十四中數據的情形也相同。可見使用 50mL 真空容器的實驗準確度比 25 mL 的情形改善很多，也更接近原先格銳目設計的實驗。

表十三、氣體分子量與逸散速率彙整表

(透過細針頭逸散 5mL 氣體至 50mL 的真空容器中)

項目	M (分子量)	x 軸 (1/√M)	y 軸 (mL/sec)
H ₂	2.02	0.704	11.07
N ₂	28.02	0.189	5.56
air	28.80	0.186	5.35
O ₂	32.00	0.177	5.03
Ar	39.95	0.158	4.47

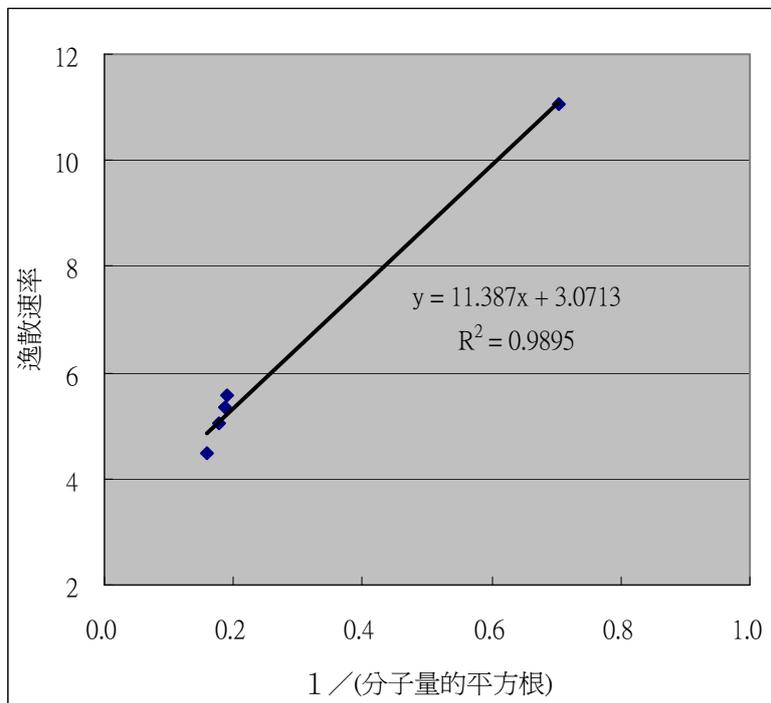
表十四、氣體分子量與逸散速率彙整表

(透過細針頭逸散 10mL 氣體至 50mL 的真空容器中)

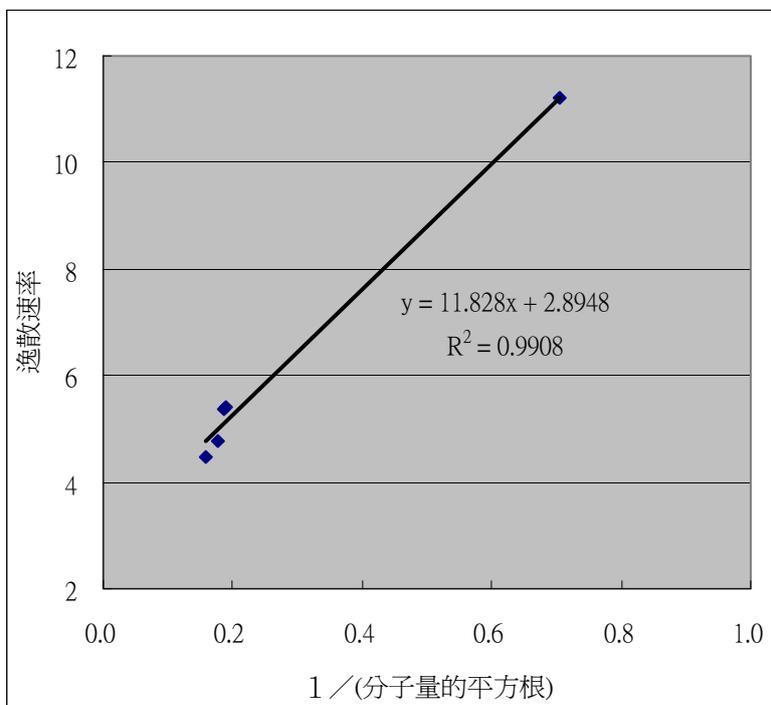
項目	M (分子量)	x 軸 (1/√M)	y 軸 (mL/sec)
H ₂	2.02	0.704	11.20
N ₂	28.02	0.189	5.41
air	28.80	0.186	5.37
O ₂	32.00	0.177	4.77
Ar	39.95	0.158	4.46

- 四、塑膠針筒抽出 50mL 真空容器所得的圖十二、圖十三中顯示，兩者線性迴歸的 R² 值大約相同，分別為 0.9895 和 0.9908。代表測量 5mL 或 10mL 的逸散體積並沒有顯著的差異。而且其斜率也有一致性，分別為 11.387 及 11.828，兩者相差小於 3.8%。
- 五、使用細針頭將待測氣體 5mL 逸散至 50 mL 的真空容器內，便能得到和格銳目擴

散定律相符的結果。至於逸散 5 mL 或 10mL 待測氣體似乎沒有顯著差異，但若
要逸散更多體積，由於塑膠針筒內的真空度變差，恐怕會使較後逸散出去氣體的
速率漸漸變慢而影響實驗結果。



圖十二、氣體分子量與逸散速率的關係圖
(透過細針頭逸散氣體 5mL 至 50mL 的真空容器中)



圖十三、氣體分子量與逸散速率的關係圖
(透過細針頭逸散氣體 10mL 至 50mL 的真空容器中)

實驗四、不同溫度下逸散速率的比較

- 一、利用圖六的裝置進行逸散實驗，使用 H₂、H₂+Ar (以體積比 1:1 混合)、air、Ar 等四種氣體。
- 二、裝待測氣體的針筒插入血清塞之前，先在 0°C 的水浴中擺放五分鐘。
- 三、將塑膠針筒抽至 50mL 處，插入鐵釘，製造 50mL 的真空環境。裝待測氣體的針筒插入血清塞之後，等氣體逸散 10mL 時後，按下碼錶開始計時，再逸散 5mL 時記錄時間，所得的結果如表十五。

表十五、針筒內的氣體透過細針頭逸散 5mL 所需的時間及速率

(逸散至 50mL 的真空容器中，96.02.14，T=0°C，P=767mmHg)

項目	H ₂	速率 (mL/sec)	H ₂ +Ar	速率 (mL/sec)	Air	速率 (mL/sec)	Ar	速率 (mL/sec)
1	0.59	8.47	0.98	5.10	1.26	3.97	1.57	3.18
2	0.61	8.20	1.04	4.81	1.27	3.94	1.51	3.31
3	0.60	8.33	1.06	4.72	1.21	4.13	1.52	3.29
4	0.60	8.33	0.98	5.10	1.28	3.91	1.54	3.25
5	0.61	8.20	1.01	4.95	1.29	3.88	1.60	3.13
6	0.64	7.81	1.04	4.81	1.23	4.07	1.54	3.25
7	0.64	7.81	0.98	5.10	1.20	4.17	1.48	3.38
8	0.61	8.20	1.01	4.95	1.20	4.17	1.54	3.25
平均		8.17		4.94		4.03		3.25

◎討論

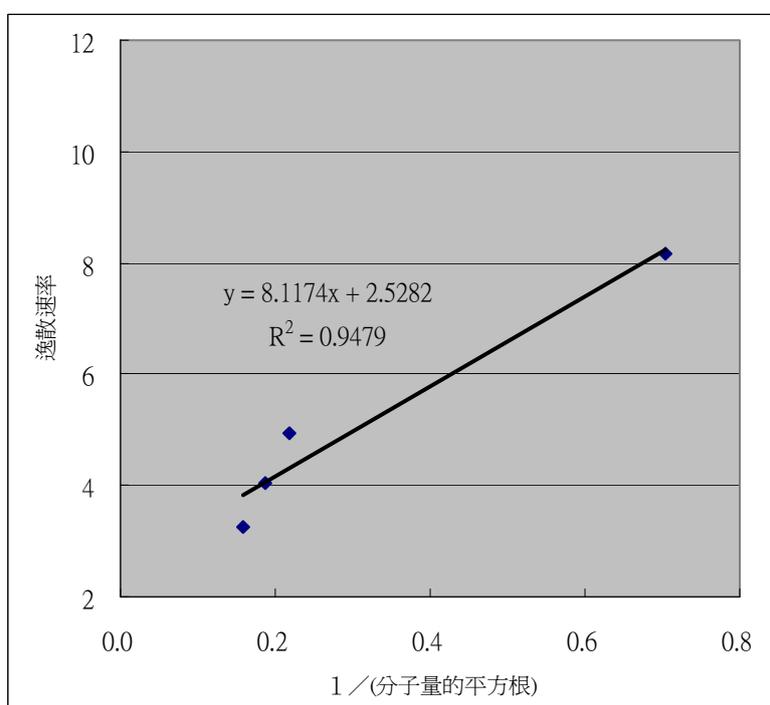
- 一、待測氣體於 0°C 下，透過「細」針頭逸散 5mL 至 50mL 的真空塑膠針筒中的數據如表十五，每種氣體各做八次實驗，將各組的數據平均彙整成表十六。
- 二、將表十六中分子量平方根的倒數對逸散速率作圖，並加上線性迴歸所得結果如圖十三。其中 H₂ 和 Ar 以體積 1:1 的混合氣體，其平均分子量以兩者各別分子量的平均值計算之，為 20.99 [(2.02+39.95)/2=20.99]。

表十六、氣體分子量與逸散速率彙整表

(透過細針頭逸散 5mL 氣體至 50mL 的真空容器中)

項目	M (分子量)	x 軸 (1/√M)	y 軸 (mL/sec)
H ₂	2.02	0.70	8.17
H ₂ +Ar	20.99	0.22	4.94
Air	28.80	0.19	4.03
Ar	39.95	0.16	3.25

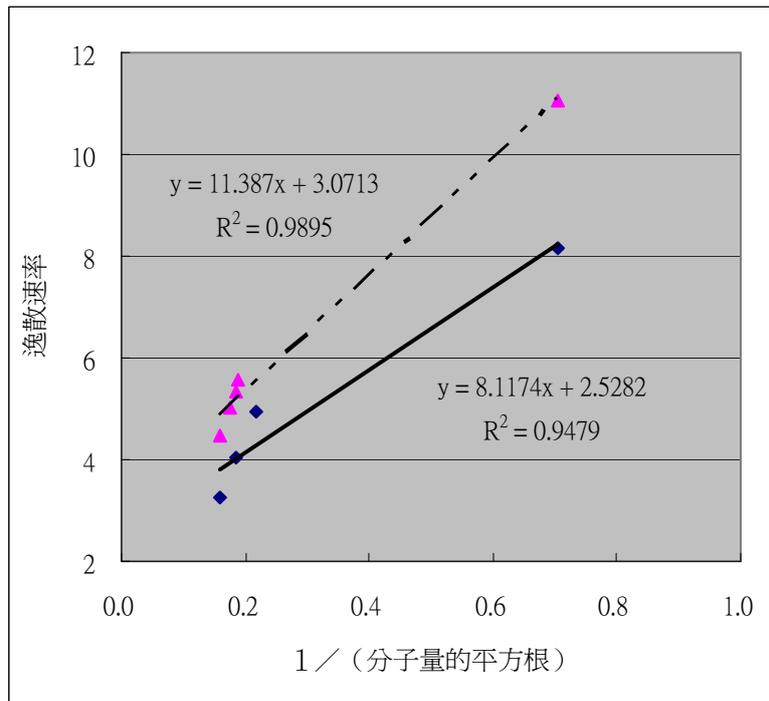
- 三、由表十六可看出各氣體的逸散速率由快到慢的順序為 $H_2 > H_2 + Ar > air > Ar$ ($8.17 > 4.94 > 4.03 > 3.25$)，和分子量平方根倒數大小成正比的順序完全相符 ($H_2 > H_2 + Ar > air > Ar$)。圖十三顯示實驗數據線性迴歸的 R^2 值達到0.9479，可見混合氣體的逸散速率亦和其平均分子量平方根的倒數成正比，合乎格銳目的擴散定律。
- 四、由表十六和表十四中相同氣體的比較中可看出，相同條件下溫度愈低時逸散的速率愈慢，例如氫氣在 $19^\circ C$ 時的逸散速率為 11.20 mL/sec ，而在 $0^\circ C$ 時下降為 8.17 mL/sec ，Ar則由 4.46 mL/sec 下降為 3.25 mL/sec 。依據氣體分子的平均速率(或稱方均根速率 $V_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$)，當溫度 T 愈低時，速率顯然愈慢。



圖十三、氣體分子量與逸散速率的關係圖

($0^\circ C$ 時，透過細針頭逸散 5 mL 氣體至 50 mL 的真空容器中)

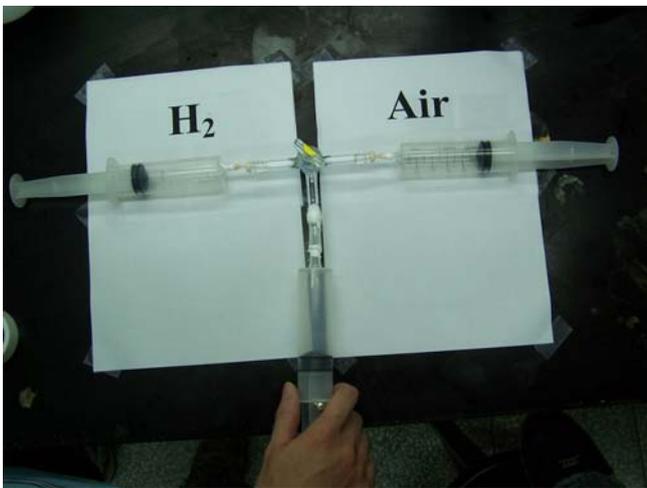
五、將圖十三(0°C)和圖十二(19°C)的圖形合併如圖十四，由圖中可看出上面虛線部分為 19°C，下面實線部分為 0°C 的兩條迴歸直線，當分子量相同時溫度高者逸散速率較快。但分子量愈小者下降愈多，其理由為：依據式中 $\Delta V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3R\Delta T}{M}}$ 當溫度相同下降 ΔT 時，分子量(M)愈小者 V_{rms} 的改變量愈大。因此氫氣的下降最多，所以圖形中的兩條直線，其右上的開口距離要比左下的大。



圖十四、不同溫度下氣體分子量與逸散速率的關係圖
(虛線部分為 19°C，實線部分為 0°C)

實驗五、定性示範實驗的設計

- 一、取一個三向閥，下端接一塑膠針筒，將三向閥的旋鈕關上，塑膠針筒抽拉出 50mL 的真空。取二隻塑膠針筒，分別裝入氫氣及空氣各 50mL 後，將氫氣針筒連接在三向閥左邊，空氣針筒連接於右邊，如照片六。
- 二、轉動三向閥，使三隻塑膠針筒彼此相通，如照片七所示。左、右兩隻針筒的氣體開始向真空針筒逸散。
- 三、氫氣針筒逸散的速率明顯地比空氣的快，由目視便可以直接觀察。約 4 秒鐘後，左邊針筒逸散出去的氫氣約為 35mL，而右邊空氣逸散出去的體積僅約為 13 mL，如照片八如所示。
- 四、利用上述裝置能讓大家直接由肉眼體會，分子量愈大的氣體逸散速率愈慢。如果要呈現有顏色的效果，左右針筒亦可使用碘蒸氣和空氣來做逸散的比較。



照片六、下方針筒抽 50mL 的真空，左、右兩隻針筒分別裝 50mL 的氫氣及空氣。



照片七、轉開三向閥，使三邊針筒均能相通，左、右兩隻針筒的氣體開始逸散。



照片八、轉開三向閥後，左邊氫氣逸散的速率遠比右邊的空氣快速。

捌、 結論

- 一、 使用便宜的 50 mL 塑膠針筒，加上一些構思，便能製備出 50 mL 接近真空的實驗環境。另外，只要準備一些血清塞、玻璃針筒等簡易器材便能重現格銳目的擴散實驗。除了減少抽真空的裝備，也能改善現行版本比較複雜的裝置，提高實驗的可行性及準確性。
- 二、 由實驗二的結果可知，待測氣體透過「細」針頭逸散的實驗結果比使用粗、中針頭理想，若按此推理，由於愈細的針頭應該愈接近理想的通孔擴散，實驗的結果也愈符合格銳目的擴散定律。
- 三、 由實驗三的結果可知，待測氣體透過「細」針頭逸散至 50 mL 的真空容器中，其實驗結果比逸散至 25 mL 的情形理想。若使用抽真空的裝備將逸散出來的氣體隨時抽掉，則實驗結果一定最準確。但使用 50 mL 真空容器，逸散 5 mL 的氣體便能達到完全符合逸散速率和分子量平方根的倒數成正比的要求，其線性迴歸的 R^2 值能達到 0.95 以上。逸散氣體的體積 10 mL 的實驗結果似乎和 5 mL 沒有顯著差異，但超過 10 mL 則無法預期是否仍能符合格銳目的擴散定律。
- 四、 經由實驗四的驗證，單一氣體或混合氣體的逸散速率均合乎銳目的擴散定律。因此未知氣體的分子量亦可經由逸散實驗求出其逸散速率，再將其值在迴歸直線上做內插法，便能求出分子量。
- 五、 由實驗四可知，在相同條件下溫度愈低時，氣體的逸散速率愈慢，而且分子量愈小者其逸散速率的下降量愈大。
- 六、 利用實驗結果設計一示範實驗，能用眼睛直接比較分子量較大的氣體逸散速率較慢。

玖、 參考資料

1. 國立編譯館，高級中學化學，民 87，59
2. 國立編譯館，高級中學化學實驗手冊（一），民 86，18
3. 陳偉民，牟中原，化學，2000，58，279
4. 南一書局，高中化學（二上），民 96，67
5. 南一書局，高級中學化學實驗手冊（二上），民 96，25
6. 詹耀宗，吳淑芬，化學，1999，57，4
7. Mason, E. A. & Kronstadt, B., *J. Chem. Educ.*, 1967, 44, 740
8. Evans R.B. & Love L. D., *J. Chem. Educ.*, 1969, 46, 423
9. Kirk, A. D. *J. Chem. Educ.*, 1967, 44, 745
10. Zumdhal, S. A, *Chemical Principles*, 3rd ed. Houghton Mifflin, 1999
11. 陳義裕，物理雙月刊，2005，27，808

【評語】 040205 氣體逸散實驗的改進

1. 本作品設計簡易實驗器材可以精確地驗證格銳母的擴定律。因此在實驗方法上有其創新之處。
2. 本作品的器材可以容易地創造出真實環境也以可固定擴散容積，有方便之處。但是，在量測擴散速率時是採用間接量測體積的變化，這一部份有可能是引起誤差的來源。
3. 實驗結果的速率關係圖只取了少數的幾個點就確立其線性，證據性不足。