

作品名稱：各版本「氣體逸散實驗」之分析比較與改良

壹、研究動機

有一次在校園中與高二的學長聊天，我們問他們：高二有沒有什麼比較有趣的化學實驗？學長說：逸散實驗還蠻有趣的！可是不太好做，而且做出來的數據也不太準確。後來，我們問了化學社團的指導老師，他說：由於教科書的開放，95 暫綱的逸散實驗有很多版本，而且都是新設計的實驗（舊教材以氯化氫和氨氣分別在玻璃管兩端擴散，等到產生白色煙霧狀的氯化銨固體後，再依兩種氣體行經的距離和所需時間，分別計算出其擴散速率）

老師的這段話引起了我們很大的興趣，我們想要探討「氣體逸散實驗」的原理，並找出各個版本的實驗誤差大小及其優缺點，並設法加以改良與創新。

貳、研究目的

- 一、比較不同氣體逸散的速率。
- 二、藉由實驗驗證氣體逸散的速率和其分子量的平方根的倒數成正比。
- 三、試做不同版本的「氣體逸散實驗」，並比較其優缺點和準確度。
- 四、嘗試改良不同版本的「氣體逸散實驗」，找出適合一般學校課堂實驗所使用，並可做出精確結果者。

參、研究設備及器材

二氧化碳、氧氣、氮氣、氨氣、氫氣鋼瓶 汽球 塑膠針筒（60 mL）
乳頭滴管 鐵架 鑷子 抽濾瓶 真空抽引機 三向閥 橡皮管
錐形瓶（250 mL） 碼表 橡皮塞 血清塞 本生燈 橡皮筋
注射針頭（18、20、21 號） 點滴注射帽 寶特瓶 塑膠袋
矽氧油 簽字筆 滴定管 衛生紙 毛細管（100 cm）
鐵鑽 針頭套 鑽孔機 熱熔膠 玻璃管（60 cm 及 90 cm）
光纖

肆、研究過程或方法

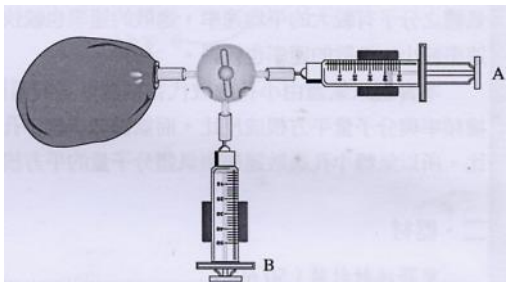
經由老師的協助，我們蒐集了市面上七個版本的高中化學（二上）教科書和『化學實驗活動手冊』。在整個寒假，我們嘗試將七個版本的「氣體逸散實驗」完整並謹慎地全部做過，以下我們將整個研究過程分述如下：

一、實驗 A

(一)原版

1.器材：三向閥、針筒、針頭(18 號)、熱熔膠、碼錶。

2.附圖及照片：



3.步驟：

- (1)將針頭以熱熔膠固定在三向閥上。
- (2)使用針筒 B 抽取待測氣體 40mL。
- (3)將針筒 A、B 分別插入三向閥以熱熔膠密封，此時三向閥為鎖住的狀態且針筒 A 內無任何空氣。
- (4)將針筒 A 拉柄拉出，此時針筒 A 內為真空狀態。
- (5)將三向閥打開兩針筒相通，以碼錶計時三秒鐘，計時結束同時關閉三向閥。
- (6)重複步驟(2)至(5)測量數次取平均值。

4.分析：

- (1)優點：
 - a.器材容易準備，實驗簡單易做。
 - b.實驗所需時間甚短。
 - c.氣體可持續重複使用。
- (2)缺點：
 - a.因針筒內為真空狀態，為了維持住活塞需費不少力氣。
 - b.熱熔膠氣密性不佳，時常會有漏氣之情形。
 - c.碼錶計時並不能確保每次氣體跑的時間相同。
 - d.以固定時間測量氣體逸散量，因針筒刻度不甚精準，故僅能以估計的方式得到數據。

(二)改良版

1.器材：三向閥、點滴注射帽、針筒、針頭(18 號、21 號)、鐵鑽、瓦斯爐、點火槍，滴定管、簽字筆、碼錶。

2.附圖及照片：



3.步驟：

- (1)以三向閥密封針筒，再以滴定管及簽字筆在針筒 A 上做刻度到 40 mL(最大精度 1 mL)
- (2)將鐵鑽加熱約三分鐘，並將針筒 A 拉柄拉出超過 40 mL 後在拉柄靠近針筒處鑽洞。
- (3)使用針筒 B 抽取待測氣體 40 mL。
- (4)將針筒 A、B 分別插入三向閥及其上的注射帽，此時三向閥為鎖住的狀態且針筒 A 內無任何空間。
- (5)將針筒 A 拉柄拉出，並在鑽洞處將鐵鑽插入，此時針筒 A 內為真空狀態。
- (6)將三向閥打開兩針筒相通，以碼錶計時三秒鐘，計時結束同時關閉三向閥。
- (7)重複步驟 3 至 6 測量數次取平均值

4.分析：

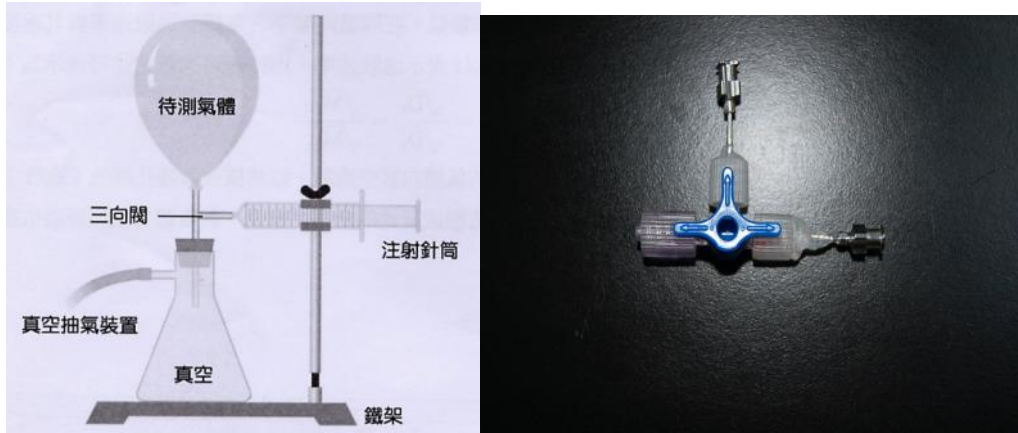
- 優點：
- a.器材容易準備，實驗簡單易做。
 - b.實驗所需時間甚短。
 - c.氣體可持續重複使用。
 - d.氣密程度甚佳。
 - e.以鐵鑽固定活塞的方式較原版省力。
- 缺點：
- a.因針筒內為真空狀態，為了維持住拉柄以方便插入扁鑽，做多次實驗仍需費不少力氣。
 - b.碼錶計時並不能確保每次氣體跑的時間相同。
 - c.以固定時間測量氣體逸散量因針筒刻度不甚精準，雖重新刻畫刻度，但還是存在有誤差。
 - d.打開三向閥瞬間，通道由窄到寬，並非固定大小之通路。

二、實驗 B

(一) 原版

- 1 器材：針筒、針頭(21 號)、橡皮塞、玻璃管、抽濾瓶、鑽孔機、點滴注射帽、三向閥、氣球、橡皮筋、碼錶、橡皮管

2 附圖及照片：



3.步驟：

- (1) 使用鑽孔機在橡皮塞上鑽一小孔 (以能使玻璃管穿過為主)。
- (2) 將點滴注射帽及氣球用橡皮筋固定在三向閥上，並以橡皮管連接玻璃管。
- (3) 將橡皮塞塞入抽濾瓶，檢查有無發生漏氣的情況。
- (4) 將針筒插入注射帽後轉開三向閥使其與氣球相通，抽氣 40 mL。
- (5) 關閉三向閥，開始抽氣。
- (6) 停止抽氣後，轉開三向閥，同時開始計時。
- (7) 重複步驟(4)至(6)，取平均值。

4.分析：

優點：

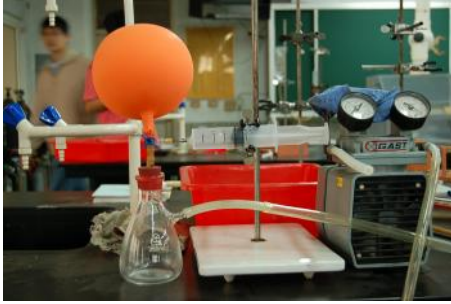
- a. 以抽濾瓶製造真空環境，相較於上一實驗(A)較為省力、方便，且真空的可信度較高。
- b. 相較於上一實驗(A)，並無計時的誤差，相較之下會較準確。

缺點

- a. 抽濾時間定不固定，上一趟實驗的氣體可能殘留再抽濾瓶內，影響逸散速率。
- b. 整體構造複雜，接點數相當多，漏氣的可能頗大。
- c. 針筒存在有摩擦力的問題，會影響逸散速率。

(二) 改良版

1. 器材：針筒、針頭(21 號)、橡皮塞、玻璃管、抽濾瓶、鑽孔機、點滴注射帽、三向閥、氣球、橡皮筋、碼錶、橡皮管、真空吸引機、矽氧油。
2. 附圖及照片：



3. 步驟：

- (1) 步驟(1)至(3)同原版。
- (2) 以矽氧油潤滑活塞及針筒管壁。
- (3) 將針筒插入注射帽後轉開三向閥使其與氣球相通，抽氣 40mL，關閉三向閥。
- (4) 將抽濾瓶連接真空吸引機，開始抽氣。
- (5) 當壓力差達到 650mmHg 時(吸引機所能形成最大壓力差)停止抽氣，轉開三向閥，同時開始計時。
- (6) 重複步驟(3)至(5)，取平均值。

4. 分析：

優點：

- a.相較於原版，實驗的氣密性更佳。
- b.真空度較原版佳。
- c.潤滑能將摩擦力的影響降至最低。

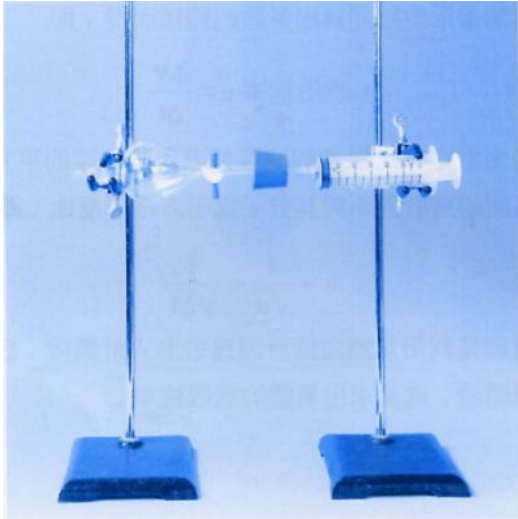
缺點：

- a.須注意潤滑效果的衰退(實際上約 10 趟實驗後會出現較顯著的差異)。
- b.若要使用多支針筒作實驗，應注意其潤滑程度差異所造成的實驗誤差。

三、實驗 C

(一)原版

- 1.器材：分液漏斗、橡皮塞、針筒、凡士林、氫氣、二氧化碳、氮氣、碼錶、針頭(18 號)。
- 2.附圖與照片：



3.步驟：

- (1)將分液漏斗、橡皮塞及針筒按圖組合。
- (2)於分液漏斗瓶口處，活栓觸及注射針筒活塞上，皆塗抹少許凡士林確定各處皆無漏氣現象。
- (3)將裝置平放架於鐵架上固定之後，將右端注射針筒推至 0 mL。
- (4)打開分液漏斗活栓使氣體鋼瓶之橡皮管伸入分液漏斗瓶底，通入待測氣體約一分鐘(注意氣體流量不應太小)迅速塞上蓋子。
- (5)將針筒拉柄拉出，此時針筒內為真空狀態。
- (6)將三向閥打開使兩針筒相通，以碼錶計時三秒鐘，計時結束同時關閉三向閥。
- (7)重複步驟(2)至(5)測量數次，取平均值。

4.分析：

優點：

- a.實驗簡單易做。
- b.實驗所需時間甚短。

缺點：

- a.因針筒內為真空狀態，為了維持住活塞需費不少力氣。
- b.凡士林氣密性不佳，時常會有漏氣之情形。
- c.碼錶計時並不能確保每次氣體跑的時間相同。
- d.以固定時間測量氣體逸散量，但因針筒刻度不甚精準，故僅能以估計的方式得到數據。
- e.氣體不可持續重複使用。
- f.蓋上分液漏斗的蓋子時，會有氣體逸散掉，易造成誤差。

四、實驗 D

(一) 原版

1. 器材：針筒、針頭(21 號)、橡皮塞、玻璃管、點滴注射帽、抽濾瓶、鑽孔機、三向閥、氣球、橡皮筋、碼錶。

2. 附圖與照片：



3. 步驟：

- (1) 使用鑽孔機在橡皮塞上鑽一小孔 (以能使玻璃管穿過為主)。
- (2) 將點滴注射帽從塑膠零件上取下裝在玻璃管上，再將玻璃管插入橡皮塞。
- (3) 將橡皮塞塞入抽濾瓶，檢查有無發生漏氣的情況。
- (4) 使用抽濾瓶抽氣。
- (5) 用針筒從氣球中抽取待測氣體 40m L。
- (6) 將針筒刺入注射帽，同時開始計時。
- (7) 重複步驟(4)至(6)，取平均值。

4. 分析：

優點：

- a 整體構造較另一實驗(B)簡單，改善了三向閥易漏氣的缺點。
- b 保留了實驗 B 省力及方便的特性。

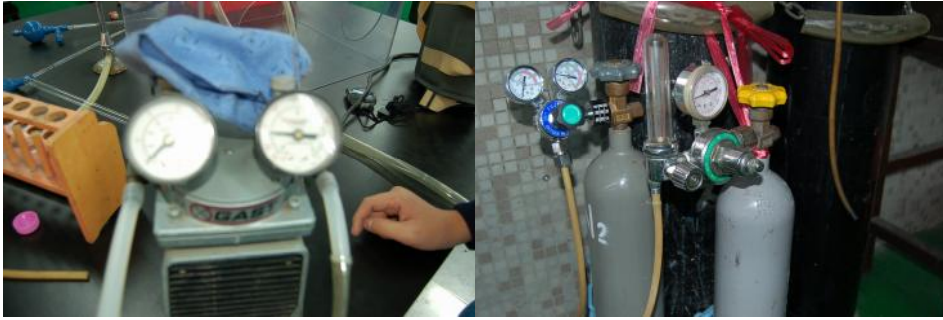
缺點

- a 摩擦力的問題仍存在。
- b 抽濾瓶在實驗中是處於抽氣狀態，我們懷疑吸力會引響氣體的逸散。

(二) 改良版

1. 器材：針筒、針頭(21 號)、橡皮塞、玻璃管、點滴注射帽、抽濾瓶、鑽孔機、三向閥、氣球、橡皮筋、碼錶、矽氧油。

2. 附圖及照片：



3. 步驟：

- (1) 步驟 1 至 3 同原版。
- (2) 以矽油潤滑活塞及針筒管壁。
- (3) 將針頭插入注射帽以平衡瓶內壓力，拔出針頭後使用抽濾瓶抽氣(以碼錶測量抽氣時間)。
- (4) 用針筒從氣球中抽取待測氣體 40mL。
- (5) 將針筒刺入注射帽，同時開始計時。
- (6) 重複步驟 3 至 5，取平均值。

4. 分析：

優點：

- a. 藉由碼錶及針頭來平衡壓力，以減少實驗的壓力誤差。
- b. 實驗時抽濾瓶是處於關閉狀態，以將抽氣引響實驗結果的可能降到最低。
- c. 潤滑則能將摩擦力的影響降至最低。

缺點：

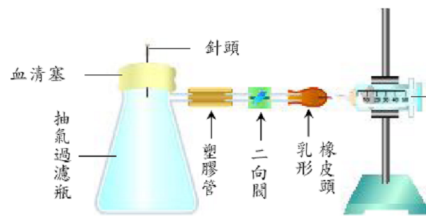
- a. 須隨時注意潤滑效果的衰退，理想情況下每做完一次實驗應再潤滑一次，因此很浪費時間(實際上約 10 趟實驗後就會出現較顯著的差異)。
- b. 若要使用多支針筒再作實驗，應注意其潤滑程度的差異，這往往是誤差的來源。

五、實驗 E

(一) 原版

- 1 器材：抽氣瓶、針筒、血清塞、針頭(21 號)、橡膠管、三向閥、熱熔膠、碼錶。

2. 附圖與照片：



3 步驟：

- (1) 按圖所示 架設實驗裝置,並用熱熔膠封住各個可能漏氣的地方。
- (2) 轉動三向閥,使抽氣過濾瓶與塑膠注射針筒連接。
- (3) 反覆推拉塑膠針筒,使內外壓力平衡,再將針筒推至 0mL。
- (4) 拔出血清塞上的針頭,將塑膠針筒緩慢拉至 20 mL,關閉三向閥使抽濾瓶呈低壓。
- (5) 將 10 mL 塑膠針頭拉至 10 mL 處,迅速插入血清塞,以碼錶測量針筒下壓至 0 mL 所需時間。
- (6) 重複(3)至(4)四次,記錄空氣 10 mL 的逸散時間,並求其逸散速率。
- (7) 將空氣更換為氮氣及氫氣各做 5 次,求各氣壓的逸散平均速率。
- (8) 將氣體更換為二氧化碳,重複(3)至(6)五次,但在步驟 4 需將塑膠針筒拉至 35mL,製造更大負壓。
- (9) 若某氣體無法下壓至 0 mL,需測開始至停止秒數(t),此時平均逸散為下壓體積除以 t 秒。

4 分析：

優點：

- a 組裝便利,用具可以不用事先組裝。
- b.需要操作人數不多,可以讓每一個人都做一次,很適合學校實驗。

缺點：

- a 因為抽的塑膠針筒抽的毫升數不夠,使得待測氣體的針筒塞常常很難克服最大靜摩擦力。
- b 針頭容易折彎。
- c 乳形橡皮頭漏氣太嚴重

(二)改良版

- 1 器材：抽器瓶、針筒、針頭(21 號)、三向閥、熱融膠、橡皮管、血清塞、碼錶、矽氧油。

2 附圖與照片：



3 步驟：

- (1) 將針筒塞邊緣塗上矽氧油以增加其潤滑度。
- (2) 如圖所示 架設實驗裝置,並用熱融膠封住各個可能漏氣的地方。
- (3) 轉動三向閥,使抽氣過濾瓶與塑膠注射針筒連接。
- (4) 用其中 1 個塑膠針筒抽氣抽四次 (60 mL*4) 並將三向閥關閉,使抽濾瓶呈低壓。
- (5) 將第 2 個針筒裝待測氣體 40 mL。
- (6) 將針筒插入並於針頭前端進入瓶後開始計時,並記下其跑完之時間。
- (7) 重複(2)至(4)四次,記錄氣體 10 mL 的逸散時間,並求其逸散速率。

4 分析：

優點：

- a 組裝便利,用具也可以不用事先組裝。
- b 需要操作人數不多,可以讓每一個人都做一次,很適合學校實驗。

缺點：

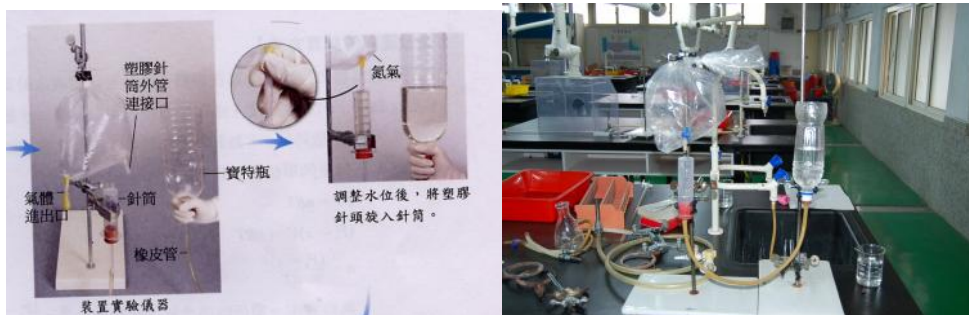
- a 因為抽的塑膠針筒抽空氣的次數多而且測完一次要重抽很容易手會受傷或疲勞。
- b 針頭容易折彎。

六、實驗 F

(一)原版

1. 器材：寶特瓶、橡皮管、玻璃管、橡皮塞、針筒、三向閥、塑膠袋、熱熔膠。

2. 附圖及照片：



3. 步驟：

- (1)切開寶特瓶底部，並在瓶上作上水位標記，再依標記取水位差(30 cm)。
- (2)將寶特瓶口用橡皮塞塞住，並插上玻璃管，接上橡皮管，另一端亦 上玻璃管及橡皮塞，塞住拔掉拉柄的針筒，並在針筒上標示 40 mL 刻度。
- (3)裝水，使水充滿針筒、橡皮管及寶特瓶，並使其切齊寶特瓶上水位標記。
- (4)移動針筒使其平行切齊水位標記。
- (5)擠出橡皮管內空氣，再排出針筒內部空氣，重新修正水量。
- (6)將塑膠袋口打結封住，使其無空隙可讓空氣進出(用水檢驗)；再將塑膠袋兩角剪開，分別接以三向閥，並以熱熔膠將空隙封住(用水檢驗)，將針筒接上一端三向閥，此時，兩三向接頭僅有一通路。
- (7)關閉針筒端三向閥，從另一端將袋內抽至真空並重新充物待測氣體，並關閉三向閥。
- (8)打開針筒端三向閥，重新確認水位高度。
- (9)下移寶特瓶至低位處，此時針筒 A 水位開始下降，測量 40mL 所需時間。
- (10).重複步驟(8)至(9)測量數次，取平均值。

4.分析：

優點：

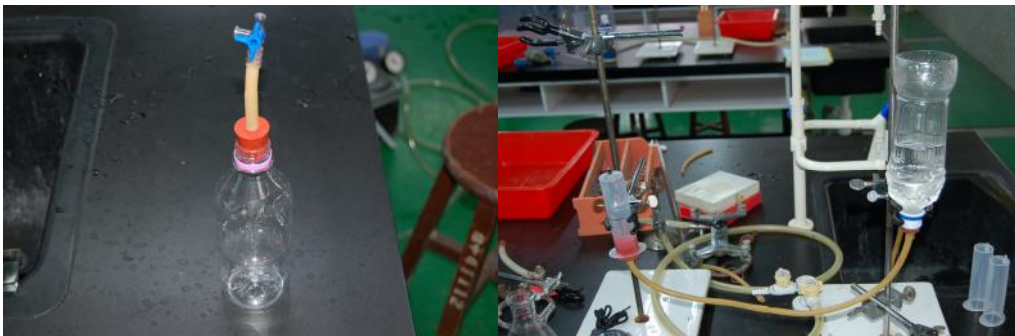
- a..比起其他實驗，此處真空處非針筒，因此不會有針筒卡住拉柄影響實驗判斷的問題。

缺點：

- a.塑膠袋容易破，且要完完全全的將所有縫隙密封需要非常多的時間去補，且經過操作後觀察，發現有些細縫甚至已經封好了，但經過幾次實驗卻又會裂掉，不適合長時間多次數操作。
- b.高低差距太小，導致速度較慢，需耗時不少時間。
- c.灌氣體的出入口和接針筒的出入口可合併，不需如此複雜分法。
- d.將寶特瓶移至低位處的過程中，水位差由小至大，並非固定大小之差距。

(二)改良三：【改良一和改良二省略】

- 1.器材：相較於改良二實驗，放棄使用寶特瓶、橡皮管、玻璃管、橡皮塞；增加使用針筒、點滴注射帽、氣球、橡皮筋、針頭(21 號)。
- 2.附圖及照片：



3.步驟：

- (1)先在寶特瓶上作上水位標記，在依標記取水位差(150 cm)。
- (2)將寶特瓶口用橡皮塞塞住，並插上玻璃管，接上橡皮管，另一端亦接上玻璃管及橡皮塞，塞住拔掉拉柄的針筒，並以 10 mL 為一單位，在針筒 A 上標記 50 mL。
- (3)裝水，使水充滿針筒 A(已裝上針頭)、橡皮管，並使其切齊寶特瓶上水位標記。
- (4)移動針筒 A 使針頭平行切齊水位標記。
- (5)擠出橡皮管內空氣，再排出針筒內部空氣，重新修正水量。
- (6)將氣球用橡皮筋綁在另一個三向閥上，不會漏氣即可。
- (7)用針筒 B 從氣球抽取待測氣體，須大於 50 mL
- (8)用三向閥和注射帽連接兩針筒，若有氣體進入針筒 A，再執行步驟(5)。
- (9)下移寶特瓶至低位處，此時針筒 A 水位開始下降，測量從刻度 10 mL 至 50 mL 所需時間。
- (10)複步驟(7)至(9)測量數次，取平均值。

4.分析：

優點：

- a.整個實驗裝置規格互相符合，幾乎無漏氣可能，實驗可信度頗高。
- b.成功改善塑膠袋易裂開及寶特瓶變形問題，且可由針筒上刻度取得所需的氣體量，不會造成太多的資源浪費。
- c.在下移寶特瓶過程中預留 10 mL，不會導致有「實驗中，氣體並非通過同一大小管道」的疑慮。
- d.拉開水位差距，避免速度太慢甚至有卡住的問題，節省時間問題及提高實驗成功率。

缺點：

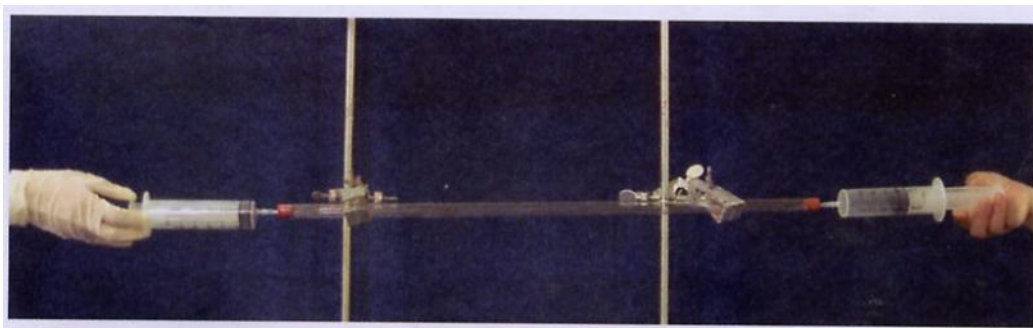
- a.整個實驗需要一再的修正水位等動作，一個數據的產生需要花很長的時間。在修正針頭與水位平齊的動作中，因無精準的儀器，因此可能高度略有差距，相當耗時且困難度高。
- b.普通針筒容量為 60 mL，而本實驗起碼所需 50mL 的氣體，容易將針筒拉過頭，此時會卡住而水位無法順利下降。
- c.因無精準的大型測量工具，水位差及針頭和水位等高的部分並非完全準確，可能影響結果。
- d.若保特瓶有傾斜，此時水位高度也會改變影響實驗。
- e.過長的橡皮管躺在地上，是否會有影響，不確定。

七、實驗 G

(一)原版

- 1.器材：橡皮塞、針筒、針頭(18 號)、熱熔膠、碼錶、三向閥、長玻璃管。

2.附圖與照片：



3.步驟：

- (1)將三向閥以熱熔膠固定在橡皮塞上。
- (2)長玻璃管兩端各塞上橡皮塞。
- (3)使用針筒 B 接上 18 號針頭，抽取待測氣體 40 mL。
- (4)將針筒 A 插入三向閥；針筒 B 插入橡皮塞，此時三向閥為鎖住的狀態且針筒 A 內無任何空氣。
- (5)將針筒 A 拉柄拉出，此時針筒 A 內為真空狀態。
- (6)將三向閥打開兩針筒相通，以碼錶計時，測量氣體跑完的時間。
- (7)重複步驟(3)至(6)測量數次，取平均值。

4.分析：

優點：

- a.實驗簡單易做。
- b.實驗所需時間甚短。

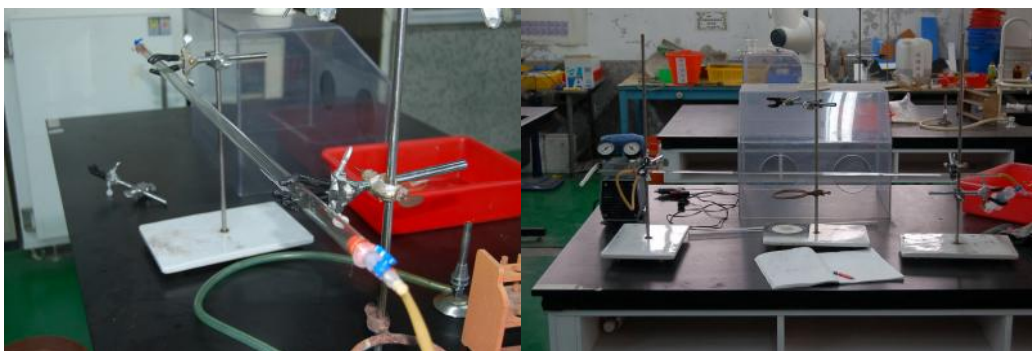
缺點：

- a.因針筒內為真空狀態，為了維持住活塞需費不少力氣。
- b.熱熔膠氣密性不佳，時常會有漏氣之情形。
- c.以固定時間測量氣體逸散量因針筒刻度不甚精準，故僅能以估計的方式得到數據。
- d.氣體不可持續重複使用。

(二)改良版

- 1.器材：毛細管、三向閥、點滴注射帽、針筒、針頭(18 號、21 號)、真空吸引機、橡皮管、滴定管、簽字筆、碼錶。

2.附圖與照片：



3.步驟：

- (1) 以滴定管及簽字筆在針筒上做刻度到 40 mL(最大精度 1mL)。
- (2) 將真空抽氣機接上橡皮管，並密封毛細管。
- (3) 毛細管另一端也使用橡皮管與點滴注射帽密封。
- (4) 使用畫好刻度的針筒裝填 40 mL 的待測氣體。
- (5) 將真空抽氣機打開，抽掉 650 mm-Hg 的氣壓。
- (6) 將三向閥打開兩針筒相通，以碼錶計時三秒鐘，開始計時並測量抽去 40 mL 氣體所需的時間。
- (7) 重複步驟(4)至(6)測量數次取平均值

4.分析：

優點：

- a. 用真空吸引機能達到接近真空的標準。
- b. 氣密程度甚佳。

缺點：

- a. 打開三向閥瞬間，通道由窄到寬，並非固定大小之通路。
- b. 因毛細管內空間太小無法形呈足夠真空，以致吸引機必須維持抽氣狀態，我們懷疑吸力會引響氣體的逸散。

八、實驗 H (光纖逸散)

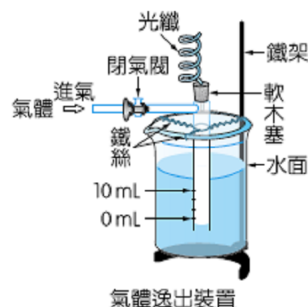
在 95 年大學指考化學科試題有一題組，提到了所謂『氣體的光纖逸散』(附圖如下)，這引起了我們極大的興趣，我們也想嘗試來做做看：

試題列舉：

(95 指考)

13-14題為題組

市售光纖的內部多呈中空，內徑約數微米。李同學小心將光纖插入軟木塞中，並讓光纖穿透出軟木塞底部。之後，他將軟木塞緊塞在一個有刻度的圓柱管頂端，再將圓柱管固定在一大燒杯中，並在燒杯內盛入水，整個裝置如右圖所示。李同學發現若將氣體灌入圓柱管內後，管中的水會被所充入的氣體排開，但若停止充氣，氣體可從光纖中逸出，因此管內的水面會因而緩慢回復至原位置。李同學於是對多種氣體進行實驗，記錄水面回復至原處所需的時間。試根據以上所述，回答問題 13、14。



13. 若將氫氣充入圓柱管後，水面從刻度 0 mL 處上升至 10 mL 處需 40 秒。試預測在相同實驗條件下，氧氣充入圓柱管後，水面從刻度 0 mL 處上升至 10 mL 處約需要多少時間？

(A) 20 秒 (B) 40 秒 (C) 160 秒 (D) 320 秒 (E) 640 秒

出處：氣體的擴散與逸散

答案：(C)

詳解：由氣體擴散（逸散）定律 $R \propto \frac{1}{\sqrt{M}}$ 或 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}}$

$$\text{又 } R = \frac{\Delta V}{\Delta t},$$

可得時間 (t) 與分子量 (M) 的關係為： $t \propto \sqrt{M}$

$$\therefore \frac{40}{t} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{32}} \Rightarrow t = 160 \text{ 秒}$$

14. 在相同實驗條件下，李同學發現氯化氫從 0 mL 上升至 10 mL 時所耗費的時間比氫氣的長，卻比氧氣的短。試問這一差異主要是下列哪一項因素造成的？

(A) 氫氣易被液化 (B) 氧氣的密度較大
(C) 氫氣的平均動能較高 (D) 氯化氫在水中的溶解度較高
(E) 氯化氫易分解成氫氣與氯氣

出處：物質的狀態與氣體的性質

答案：(D)

詳解：溶解度較大的氣體，水面回復至原處所需的時間較短

1.器材：市售光纖、塑膠注射針筒(60 mL)、滴定管、橡皮管、熱熔膠、三向閥、橡皮塞、針頭套、點滴注射帽

2.附圖與照片：



3.步驟：

- (1)以滴定管、注射針筒、長橡皮管及橡皮塞,架設實驗裝置,並用熱熔膠封住各個可能漏氣的地方。(光纖可用 21 號針頭引導進入點滴注射帽)
- (2)將與光纖連接的點滴注射帽接三向閥再接針筒後,放進水中檢查光纖是否漏氣?(以活塞用力擠壓注射針筒,此時光纖頭有一小氣泡,而裝置的其他地方未發現任何氣泡)。
- (3)將滴定管(50 mL 刻度)固定在一定高度後將水倒入,直到水無法進入針筒後,再將滴定管的水位固定在 50mL。
- (4)將針筒中的水位做下記錄後,打開三向閥,使其連接有光纖的點滴注射帽。
- (5)一天後,記錄其變化水位,算出該氣體逸散體積,並求其逸散速率。

4.分析：

光纖內有接近微米大小的中空內徑,這是為什麼強力擠壓下光纖頭會有小氣泡的原因!但因內徑實在太小,經過採用氮氣實測的結果:24 小時只逸散了 1.6 mL,這樣慢的逸散速率,在課堂實作上有其困難,因此,我們並未再做有關「光纖逸散」其他方面的探討。

伍、研究結果

我們將七個版本的實驗結果和數據圖表詳列如下：

【爲了求證各個實驗的再現性和準確性,我們增加了不少混合氣體的逸散實驗】

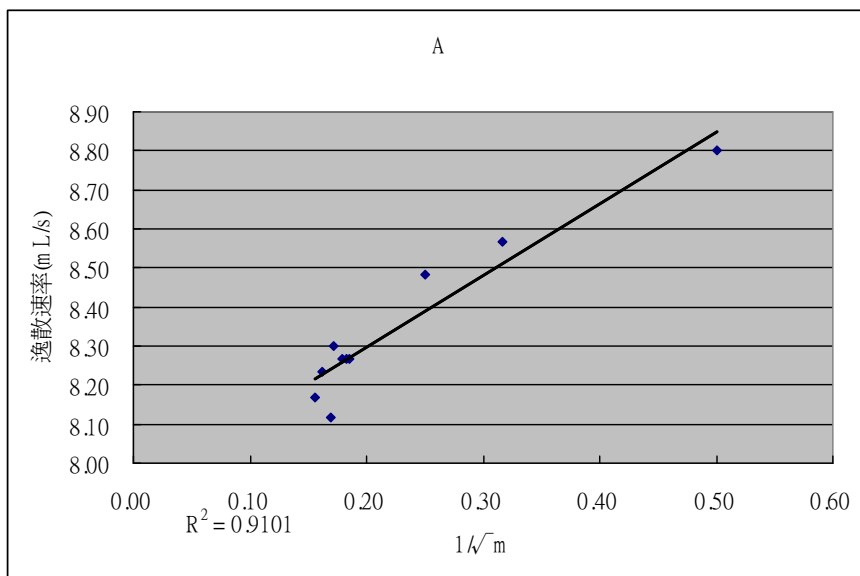
一、實驗 A(改良後)

(一) 表一

(自製刻度、潤滑針筒、加強氣密、固定 30mL ; 764.0 mmHg 20.3°C 21 號針頭)

	He		He:N ₂ =1:1		He:N ₂ =3:1		N ₂ :O ₂ =1:1		N ₂ :O ₂ =1:3	
	體積(m l)	速率(m L/s)	體積(m l)	速率(m L/s)	體積(m l)	速率(m L/s)	體積(m l)	速率(m L/s)	體積(m l)	速率(m L/s)
1	26	8.67	26	8.67	26	8.67	24	8	25	8.33
2	25	8.33	25.75	8.58	26	8.67	24.5	8.17	25	8.33
3	27	9	25.5	8.5	25	8.33	25	8.33	24	8
4	27	9	25	8.33	25.5	8.5	25	8.33	25	8.33
5	27	9	25	8.33	26	8.67	25.5	8.5	25	8.33
平均	26.4	8.8	25.45	8.48	25.7	8.57	24.8	8.27	24.8	8.27
1/√m	0.5		0.25		0.32		0.18		0.18	
	N ₂ :O ₂ =3:1		O ₂ :Ar=1:3		O ₂ :Ar=3:1		O ₂ :CO ₂ =1:3		O ₂ :CO ₂ =3:1	
	體積(m l)	速率(m L/s)	體積(m l)	速率(m L/s)	體積(m l)	速率(m L/s)	體積(m l)	速率(m L/s)	體積(m l)	速率(m L/s)
1	25	8.33	24.5	8.17	25	8.33	24	8	24.5	8.17
2	24.5	8.17	24.5	8.17	24.5	8.17	25	8.33	24.25	8.08
3	24.5	8.17	25	8.33	25	8.33	24.5	8.17	24.5	8.17
4	25	8.33	25	8.33	25	8.33	24	8	24.5	8.17
5	25	8.33	24.5	8.17	25	8.33	25	8.33	24	8
平均	24.8	8.27	24.7	8.23	24.9	8.3	24.5	8.17	24.35	8.12
1/√m	0.19		0.16		0.17		0.16		0.17	

(二) 圖一



(三)討論：

由圖一觀察，氣體的逸散速率與其分子量平方根的倒數成正比之趨勢，完全合乎格雷姆之擴散定律！但與其他實驗相比，本實驗測量方法【固定時間再量測體積】較易造成誤差(此點與實驗 C 相同)。

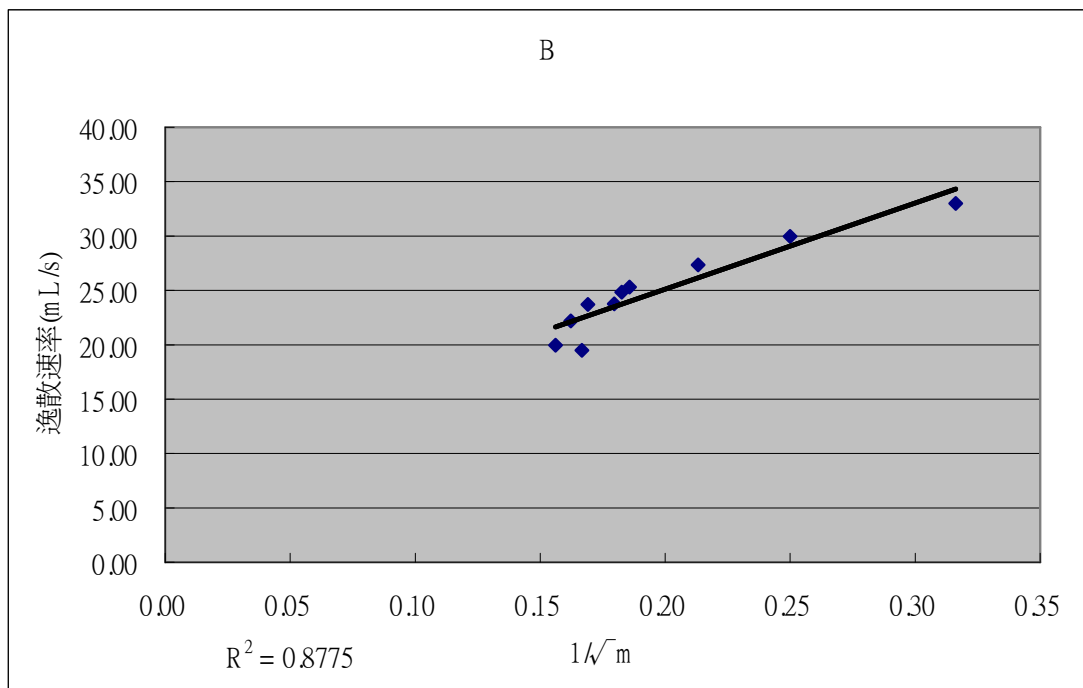
二、實驗 B(改良後)

(一) 表二

(自製刻度、潤滑針筒、加強氣密、真空抽引機；767.0mmHg 20.0°C，21 號針頭)

	He:N2=1:1		He:N2=1:3		He:N2=3:1		N2:O2=1:1		N2:O2=1:3	
	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)
1	1.38	28.99	1.43	27.97	1.22	32.79	1.62	24.69	1.69	23.67
2	1.31	30.53	1.50	26.67	1.19	33.61	1.59	25.16	1.62	24.69
3	1.31	30.53	1.50	26.67	1.22	32.79	1.57	25.48	1.69	23.67
4	1.35	29.63	1.44	27.78	1.22	32.79	1.60	25.00	1.66	24.10
5	1.28	31.25	1.50	26.67	1.22	32.79	1.68	23.81	1.66	24.10
6	1.34	29.85	1.44	27.78	1.22	32.79	1.68	23.81	1.63	24.54
7	1.37	29.20	1.50	26.67	1.16	34.48	1.59	25.16	1.75	22.86
8	1.34	29.85	1.40	28.57	1.25	32.00	1.56	25.64	1.78	22.47
平均	1.34	29.98	1.46	27.35	1.21	33.00	1.61	24.84	1.69	23.76
$1/\sqrt{m}$	0.25		0.21		0.32		0.18		0.18	
	N2:O2=3:1		O2:Ar=1:1		O2:CO2=1:1		O2:CO2=1:3		O2:CO2=3:1	
	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)
1	1.65	24.24	2.07	19.32	1.88	21.28	2.07	19.32	1.72	23.26
2	1.66	24.10	2.06	19.42	1.84	21.74	2.06	19.42	1.78	22.47
3	1.57	25.48	2.07	19.32	1.75	22.86	2.03	19.70	1.62	24.69
4	1.53	26.14	1.97	20.30	1.72	23.26	2.00	20.00	1.79	22.35
5	1.56	25.64	2.00	20.00	1.87	21.39	2.03	19.70	1.65	24.24
6	1.53	26.14	2.13	18.78	1.78	22.47	1.97	20.30	1.65	24.24
7	1.59	25.16	2.03	19.70	1.82	21.98	1.94	20.62	1.69	23.67
8	1.57	25.48	2.09	19.14	1.78	22.47	1.94	20.62	1.62	24.69
平均	1.58	25.30	2.05	19.50	1.81	22.18	2.01	19.96	1.69	23.70
$1/\sqrt{m}$	0.19		0.17		0.16		0.16		0.17	

(二) 圖二



(三) 討論：

由圖二觀察，氣體的逸散速率與其分子量平方根的倒數成正比之趨勢，除少數混合氣體稍有誤差外，幾乎完全合乎格雷姆之擴散定律！

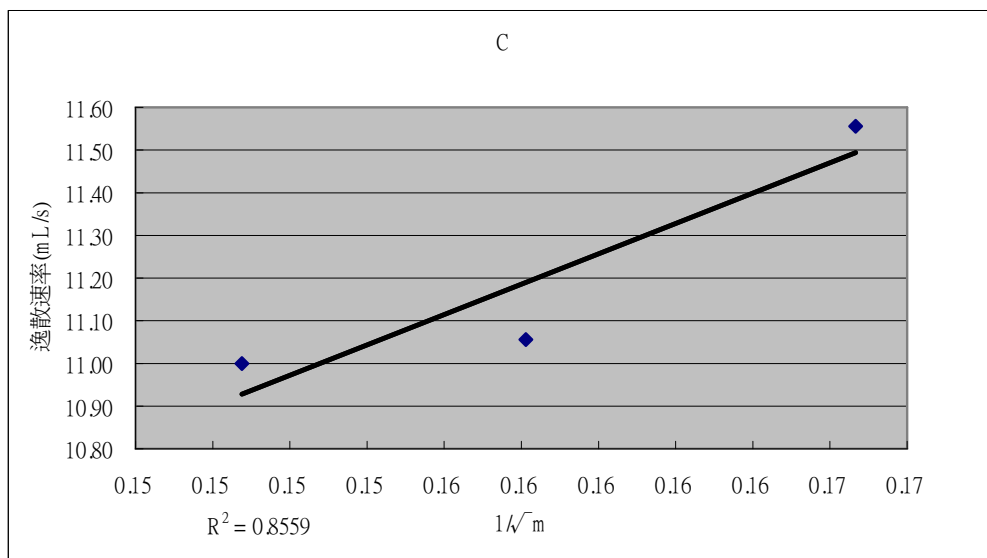
三、實驗 C

(一) 表三

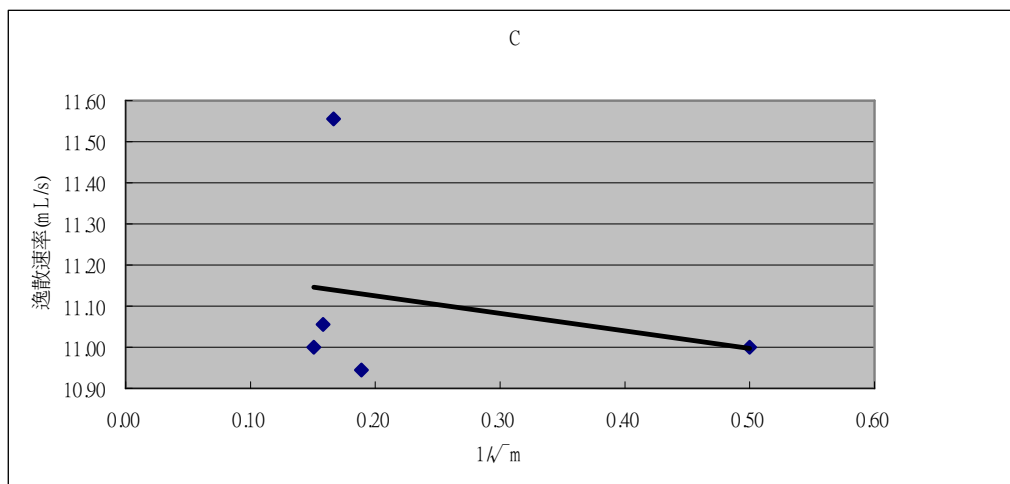
(767.8mmHg 21.2°C 針頭 18)

	Ar		CO ₂		O ₂	
	體積(m l)	速率(m L/s)	體積(m l)	速率(m L/s)	體積(m l)	速率(m L/s)
1	34.00	11.33	33.00	11.00	34.00	11.33
2	32.50	10.83	33.00	11.00	35.00	11.67
3	33.00	11.00	33.00	11.00	35.00	11.67
平均	33.17	11.06	33.00	11.00	34.67	11.56
1/√m	0.16		0.15		0.17	

(二) 圖三之一



(三) 圖三之二



(四)討論：

分逸漏斗漏氣情況嚴重，且以排氣方法填裝氣體並不能保證氣體純度，此現象會造成分子量與空氣相差越大者誤差越大(圖三之一與圖三之二)。

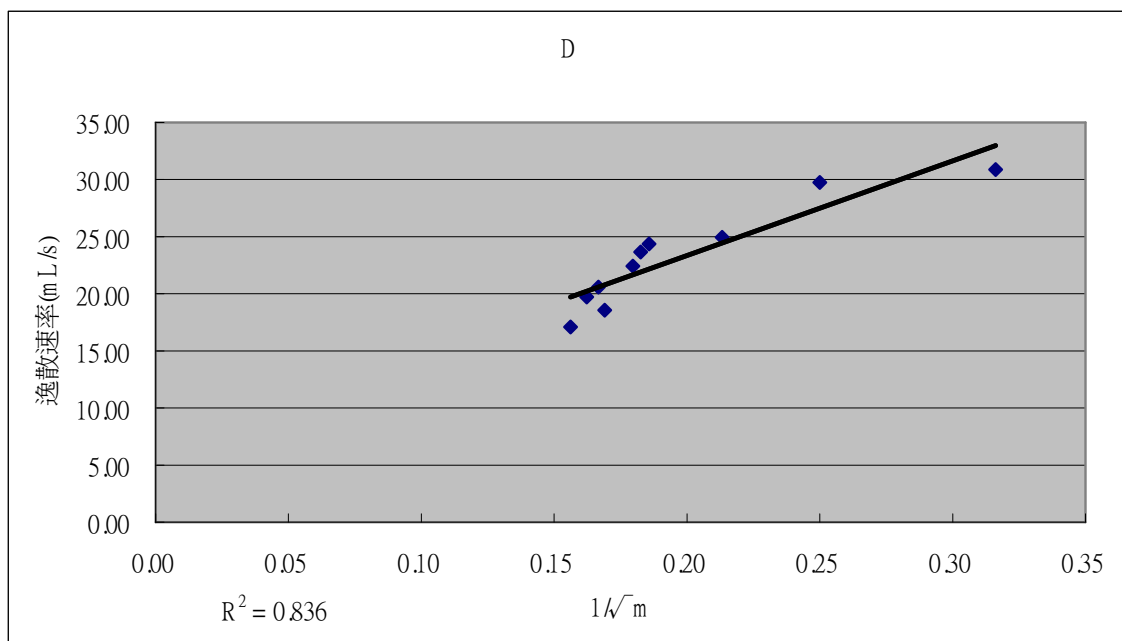
四、實驗 D(改良後)

(一) 表四

(自訂刻度、潤滑針筒、步驟改良；767.8mmHg 21.2℃ 18號針頭)

	He:N2=1:1		He:N2=1:3		He:N2=3:1		N2:O2=1:1		N2:O2=1:3	
	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)
1	1.37	29.20	1.50	26.67	1.28	31.25	1.72	23.26	1.72	23.26
2	1.35	29.63	1.62	24.69	1.31	30.53	1.62	24.69	1.81	22.10
3	1.32	30.30	1.63	24.54	1.25	32.00	1.74	22.99	1.78	22.47
4	1.34	29.85	1.62	24.69	1.34	29.85	1.60	25.00	1.78	22.47
5	1.38	28.99	1.56	25.64	1.28	31.25	1.63	24.54	1.78	22.47
6	1.34	29.85	1.63	24.54	1.28	31.25	1.75	22.86	1.81	22.10
7	1.31	30.53	1.65	24.24	1.35	29.63	1.74	22.99	1.78	22.47
8	1.35	29.63	1.63	24.54	1.28	31.25	1.75	22.86	1.82	21.98
平均	1.35	29.75	1.61	24.94	1.30	30.88	1.69	23.65	1.79	22.42
$1/\sqrt{m}$	0.25		0.21		0.32		0.18		0.18	
	N2:O2=3:1		O2:Ar=1:1		O2:CO2=1:1		O2:CO2=1:3		O2:CO2=3:1	
	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)
1	1.68	23.81	1.87	21.39	2.00	20.00	2.22	18.02	2.31	17.32
2	1.66	24.10	2.00	20.00	1.94	20.62	2.37	16.88	2.28	17.54
3	1.65	24.24	2.00	20.00	2.03	19.70	2.53	15.81	1.96	20.41
4	1.66	24.10	2.00	20.00	1.97	20.30	2.28	17.54	1.94	20.62
5	1.59	25.16	2.06	19.42	2.06	19.42	2.44	16.39	2.43	16.46
6	1.62	24.69	2.06	19.42	2.03	19.70	2.09	19.14	2.12	18.87
7	1.65	24.24	1.81	22.10	2.09	19.14	2.47	16.19	1.97	20.30
8	1.62	24.69	1.79	22.35	2.13	18.78	2.38	16.81	2.35	17.02
平均	1.64	24.38	1.95	20.58	2.03	19.71	2.35	17.10	2.17	18.57
$1/\sqrt{m}$	0.19		0.17		0.16		0.16		0.17	

(二) 圖四



(三)討論：

由圖四觀察，氣體的逸散速率與其分子量平方根的倒數成正比之趨勢，完全合乎格雷姆之擴散定律！但氮氣的數據有稍微偏高之趨勢。

五、實驗 E(改良後)

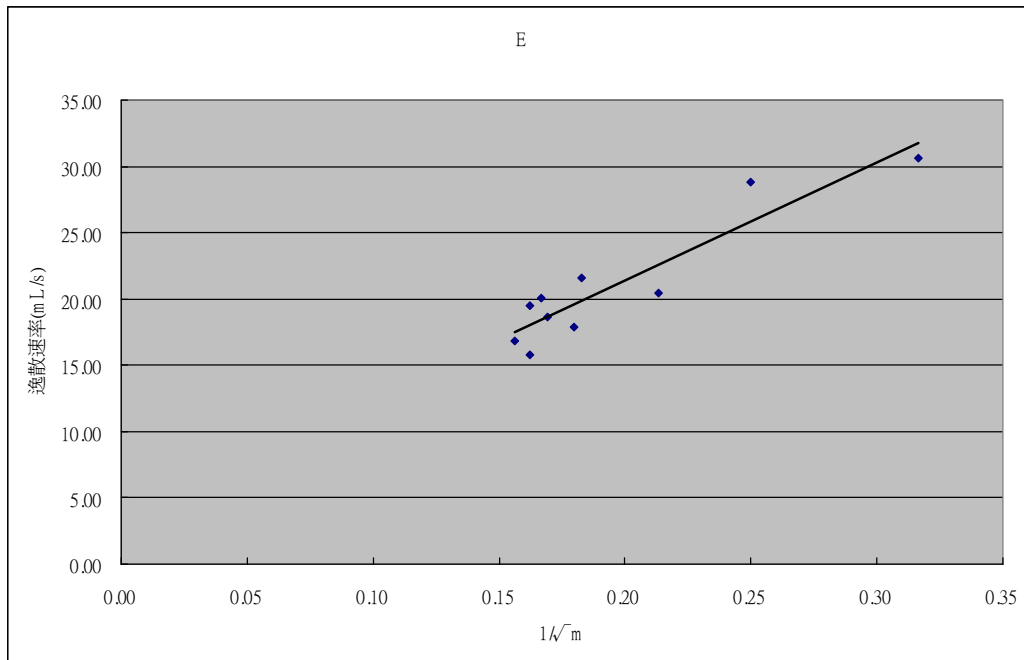
(一) 表五

(自製刻度、潤滑針筒、加強氣密；767.0mmHg 20.0°C 21號針頭)

	He:N2=1:1		He:N2=1:3		He:N2=3:1		N2:O2=1:1		N2:O2=1:3	
	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)
1	1.31	30.53	1.87	21.39	1.34	29.85	1.88	21.28	2.29	17.47
2	1.25	32.00	1.75	22.86	1.37	29.20	1.81	22.10	2.16	18.52
3	1.47	27.21	1.75	22.86	1.32	30.30	1.90	21.05	2.15	18.60
4	1.50	26.67	1.96	20.41	1.28	31.25	2.03	19.70	2.25	17.78
5	1.41	28.37	2.08	19.23	1.34	29.85	1.72	23.26	2.25	17.78
6	1.43	27.97	2.09	19.14	1.25	32.00	1.88	21.28	2.28	17.54
7	1.37	29.20	2.16	18.52	1.31	30.53	1.84	21.74	2.26	17.70
8	1.40	28.57	2.12	18.87	1.24	32.34	1.78	22.47	2.22	18.02
平均	1.39	28.82	1.97	20.41	1.31	30.67	1.86	21.61	2.23	17.93
$1/\sqrt{m}$	0.25		0.21		0.32		0.18		0.18	

	O2:Ar=1:1		O2:Ar=1:3		O2:CO2=1:1		O2:CO2=1:3		O2:CO2=3:1	
	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)
1	1.82	21.98	2.06	19.42	2.50	16.00	2.81	14.23	11.94	3.35
2	2.00	20.00	2.07	19.32	2.66	15.04	2.75	14.55	1.78	22.47
3	1.87	21.39	1.97	20.30	2.63	15.21	3.00	13.33	1.91	20.94
4	2.09	19.14	2.10	19.05	2.50	16.00	2.16	18.52	2.00	20.00
5	1.97	20.30	2.06	19.42	2.56	15.63	2.56	15.63	1.97	20.30
6	2.13	18.78	2.10	19.05	2.44	16.39	2.10	19.05	1.96	20.41
7	2.04	19.61	2.03	19.70	2.43	16.46	2.03	19.70	2.00	20.00
8	2.06	19.42	2.03	19.70	2.60	15.38	2.03	19.70	1.88	21.28
平均	2.00	20.08	2.05	19.50	2.54	15.76	2.43	16.84	3.18	18.59
$1/\sqrt{m}$	0.17		0.16		0.16		0.16		0.17	

(二) 圖五



(三) 討論：

由圖五觀察，氣體的逸散速率與其分子量平方根的倒數成正比之趨勢，完全合乎格雷姆之擴散定律！但氮氣的混合氣體其數據有稍微偏高之趨勢；而二氧化碳的混合氣體其數據有稍微偏低之趨勢。

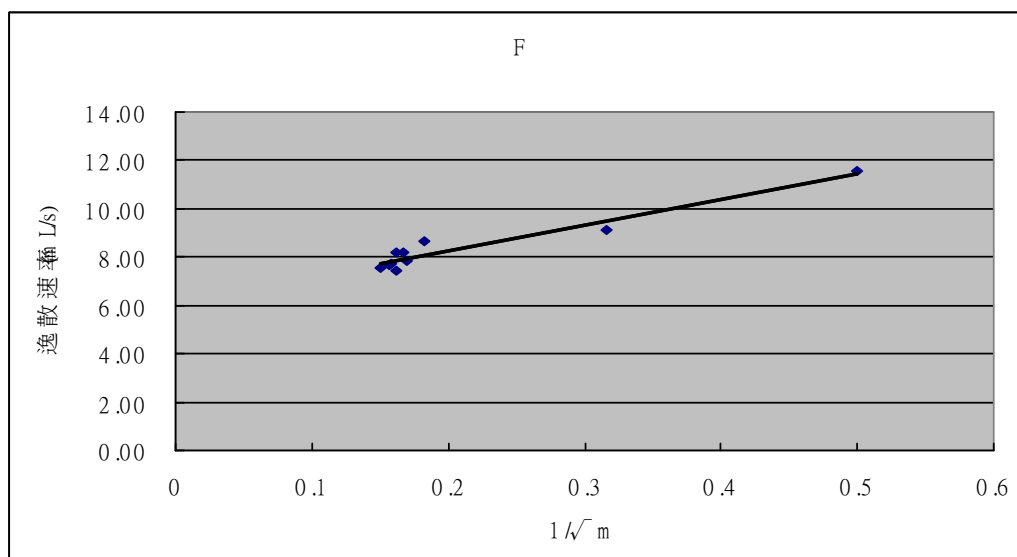
六、實驗 F(改良後)

(一) 表六

(自製刻度、針筒替代、增加高度差；767.0mmHg 20.0°C 21 號針頭 150cm)

	Ar		CO ₂		He		HeN ₂ =3:1		N ₂ O ₂ =1:1	
	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)
1	6.81	7.38	6.06	8.29	3.72	13.51	4.41	9.07	4.63	8.64
2	7.43	6.76	6.06	8.29	4.02	12.50	4.47	8.95	4.72	8.47
3	5.94	8.46	7.44	6.76	4.06	12.38	4.34	9.22	4.71	8.49
4	6.06	8.29	6.82	7.37	4.09	12.29	4.67	8.57	4.97	8.05
5	5.94	8.46	6.28	8.00	4.00	12.56	4.25	9.41	4.48	8.93
6	6.34	7.93	6.40	7.85	4.40	11.42	4.57	8.75	4.21	9.50
7	6.97	7.21	7.22	6.96	4.88	10.30	4.13	9.69	4.56	8.77
8	6.44	7.80	6.80	7.39	4.66	10.79	4.39	9.11	4.88	8.20
9	6.38	7.88	7.94	6.33	4.72	10.65	4.25	9.41	4.87	8.21
10	7.37	6.82	6.25	8.04	5.56	9.04	4.38	9.13	4.61	8.68
平均	6.57	7.70	6.73	7.53	4.41	11.54	4.39	9.13	4.66	8.63
1/√m	0.16		0.15		0.50		0.32		0.18	
	O ₂ :Ar=1:1		O ₂ :Ar=1:3		O ₂ :CO ₂ =1:1		O ₂ :CO ₂ =1:3		O ₂ :CO ₂ =3:1	
	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)	時間(s)	速率(mL/s)
1	4.65	8.60	4.82	8.30	5.50	7.27	4.67	8.57	5.31	7.53
2	4.62	8.66	4.94	8.10	5.44	7.35	5.22	7.66	4.28	9.35
3	5.06	7.91	4.81	8.32	4.81	8.32	5.81	6.88	5.50	7.27
4	4.57	8.75	4.97	8.05	5.56	7.19	4.44	9.01	4.40	9.09
5	5.69	7.03	4.77	8.39	5.69	7.03	5.76	6.94	5.00	8.00
6	5.33	7.50	4.88	8.20	4.99	8.02	5.13	7.80	4.97	8.05
7	4.87	8.21	4.94	8.10	5.46	7.33	5.64	7.09	5.33	7.50
8	4.53	8.83	4.82	8.30	5.43	7.37	5.42	7.38	5.48	7.30
9	4.71	8.49	5.02	7.97	5.69	7.03	4.81	8.32	5.64	7.09
10	5.12	7.81	4.83	8.28	5.27	7.59	5.62	7.12	5.34	7.49
平均	4.92	8.18	4.88	8.20	5.38	7.45	5.25	7.68	5.13	7.87
1/√m	0.17		0.16		0.16		0.16		0.17	

(二) 圖六



(三) 討論：

1. 由圖六觀察，氣體的逸散速率與其分子量平方根的倒數成正比之趨勢，完全合乎格雷姆之擴散定律！且本實驗數據之精密度和再現性頗佳。
2. 因本實驗之負壓僅為 150 cm 的水柱壓力差，故計算後之「逸散速率」為所有版本實驗最小者！

七、實驗 G(改良後)

(一) 表七

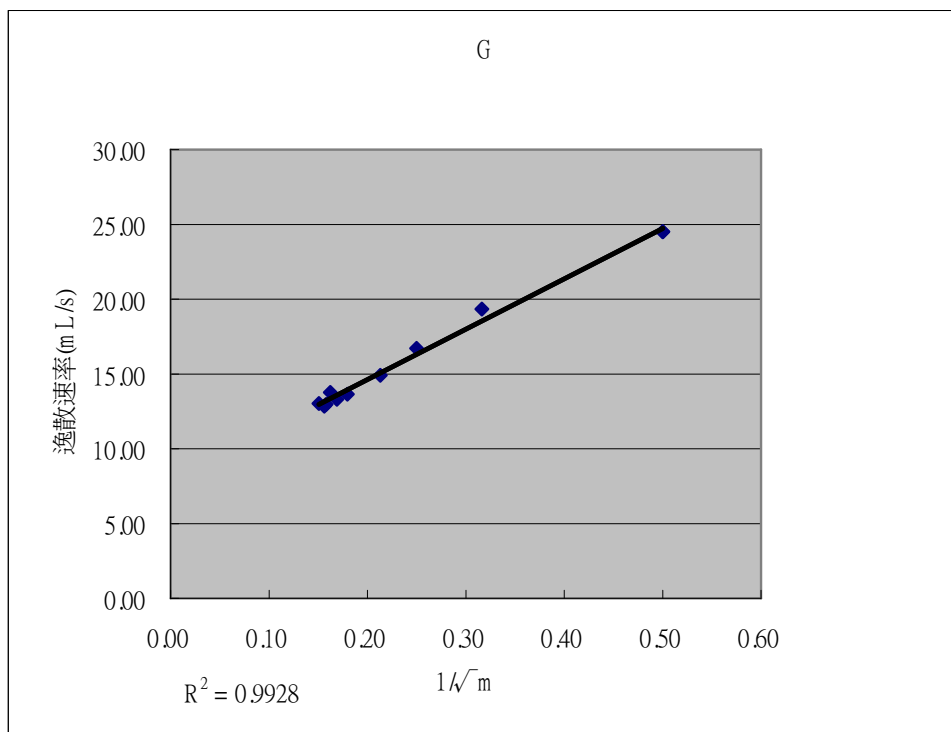
(自訂刻度、潤滑針筒、加強氣密、毛細管替代玻璃管、真空吸引機；767.0mmHg 20.0°C

21 號針頭)

	Ar		CO ₂		He		He:N ₂ =1:1		He:N ₂ =1:3	
	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)
1	3.09	12.94	3.07	13.03	1.50	26.67	2.35	17.02	2.53	15.81
2	3.09	12.94	2.97	13.47	1.82	21.98	2.37	16.88	2.63	15.21
3	3.07	13.03	3.19	12.54	1.53	26.14	2.31	17.32	2.75	14.55
4	3.01	13.29	3.03	13.20	1.68	23.81	2.35	17.02	2.69	14.87
5	3.06	13.07	3.03	13.20	1.84	21.74	2.56	15.63	2.75	14.55
6	3.21	12.46	3.16	12.66	1.50	26.67	2.56	15.63	2.84	14.08
7	3.03	13.20	2.90	13.79	1.84	21.74	2.47	16.19	2.56	15.63
8	3.22	12.42	2.90	13.79	1.78	22.47	2.21	18.10	2.75	14.55
平均	3.10	12.96	3.03	13.02	1.69	24.50	2.40	16.72	2.69	14.90
$1/\sqrt{m}$	0.16		0.15		0.50		0.25		0.21	

	He:N2=3:1		N2:O2=1:3		O2:CO2=1:1		O2:CO2=1:3		O2:CO2=3:1	
	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)	時間(s)	速率(m L/s)
1	2.22	18.02	2.94	13.61	3.10	12.90	2.97	13.47	2.91	13.75
2	1.93	20.73	2.97	13.47	2.81	14.23	2.97	13.47	3.06	13.07
3	2.22	18.02	2.85	14.04	2.84	14.08	3.06	13.07	3.00	13.33
4	1.69	23.67	3.06	13.07	2.93	13.65	3.28	12.20	3.10	12.90
5	1.96	20.41	2.94	13.61	3.00	13.33	3.09	12.94	2.91	13.75
6	2.41	16.60	2.82	14.18	2.81	14.23	3.18	12.58	3.09	12.94
7	2.19	18.26	2.84	14.08	2.81	14.23	3.28	12.20	3.00	13.33
8	2.10	19.05	3.06	13.07	2.96	13.51	3.10	12.90	3.00	13.33
平均	2.09	19.34	2.94	13.64	2.91	13.77	3.12	12.85	3.01	13.30
$1/\sqrt{m}$	0.32		0.18		0.16		0.16		0.17	

(二) 圖七



(三) 討論

由圖七觀察，氣體的逸散速率與其分子量平方根的倒數成正比之趨勢，完全合乎格雷姆之擴散定律！且本實驗數據所顯示的線性迴歸 R^2 值達到 0.9928，為所有實驗最高者。

陸、討論

- 一、除了實驗室可提供的各種鋼瓶氣體外，我們也嘗試採用不同比例的混合氣體【其平均分子量可由莫耳分率計算】，如此，可得到更多的實驗數據以印證格雷姆的擴散定律，也可避免由少數點無法看出線性關係之困擾。
- 二、除了 C 版本誤差大【漏氣嚴重】而無法獲得較準確之結果外，其他版本由數據作圖，皆可看出氣體的逸散速率與其分子量平方根的倒數成正比之趨勢，完全合乎格雷姆之擴散定律。
- 三、有不少版本的實驗數據顯示氮氣的「逸散速率」偏高，這可能是氮氣的原子量小，裝填入器材後，很容易就從器材中逸出所造成的。
- 四、F 版本「氣體逸散實驗」之負壓僅為 150 cm 的水柱壓力差，故計算後之「逸散速率」為所有版本實驗中最小者（約 10 mL/s）。因整個實驗裝置幾乎無漏氣可能，所以實驗的可信度頗高；但 CO₂ 略溶於水，其數據就出現些許誤差。
- 五、H 版本經改良後，利用真空抽引機和長的毛細管操作，由實驗數據顯示的線性迴歸 R² 值達到 0.9928，為所有實驗最高者。
- 六、我們嘗試做「光纖逸散」，因光纖內有接近微米大小的中空內徑，但因內徑實在太小，經過採用氮氣實測的結果：24 小時只逸散了 1.6 mL，這樣慢的逸散速率，並不適合課堂之實作。

柒、結論

- 一、各版本「氣體逸散實驗」之編寫都很用心且實驗的設計也都富有創意，至少改進了舊教材中以氯化氫和氨氣操作實驗的不合理處，95 暫綱各版本的「氣體逸散實驗」也較符合格雷姆(Graham) 擴散定律的基本條件。現將各版本之優、缺點和特色列表比較如下：

版本	優點	缺點	特點
A 版	1.本實驗操作時間最短。 2.材料易取得且組裝很容易。	1.操作頗費力。 2.以針筒上的刻度記錄體積，此測量方式易造成誤差。	1.氣體可重複使用 2.不適合做混合氣體實驗。
B 版	1.填充氣體方便。 2.改良後的真空度(負壓)頗高。	若控制不慎，則氣體會被抽氣裝置吸走。	若以抽濾瓶抽氣，則不適合操作可溶於水的氣體實驗(如 CO ₂ 等)
C 版	實驗器材容易取得。	1.裝填氣體的方式不理想，易造成氣體的浪費。 2.漏氣嚴重，誤差頗大。	唯一採用分液漏斗裝填氣體。

D 版	1 一人即可完成實驗操作。 2.每一次實驗的時間短，可取得多組數據	操作時針頭刺到手的機率較高，有些危險性。	若以抽濾瓶抽氣，則不適合操作可溶於水的氣體實驗（如 CO ₂ 等）
E 版	1. 一人即可完成實驗操作。 2.操作過程，最不會產生漏氣現象。	1.針頭易造成彎曲，危險性頗高。 2.實驗過程費力且費時。	須以人力使用針筒抽氣，來製造負壓。
F 版	1.實驗數據的再現性非常高。 2.實驗結果頗為準確。	1.原版的塑膠袋易破而造成漏氣。 2.組裝器材不容易，操作過程繁複且測量時間長。 3.易造成實驗室髒亂。	1.唯一使用水柱來造成負壓的實驗。 2.一定要多人（小組合作），才可順利完成實驗。 3.可溶於水的氣體不適合本實驗。
G 版	經改良後，本實驗的實驗結果，準確性最高。	實驗器材架設不易，且有些危險性。	唯一使用長玻璃管操作的實驗。
H (光纖逸散)		1.實驗器材不易取得，組裝需有特殊技巧。 2.操作時間極長，不適合一般的實驗操作。	使用光纖作氣體逸散實驗，很有新鮮感。

二、避免漏氣和順利製造負壓（或接近真空）環境，是本實驗成功的不二法門！我們發覺實驗裝置中接點愈多者，愈容易有漏氣現象，並因而造成實驗誤差。所以，實驗前的『檢漏』工作是絕對必須的。

三、除 C 版外【建議不應採用分液漏斗進行實驗】，各版本實驗皆具有可行性和一定的準確度，實驗結果不理想的原因除了漏氣外，最大的可能是操作技巧不佳或動作不純熟。以我們為例，一開始接觸「三向閥」等...各種新器材會感覺手忙腳亂，但經過整個寒假的操作和練習，我們已經可以很輕鬆的做出再現性高的各組數據，而且也有能力將「光纖」透過點滴注射帽而不漏氣。所以，事先預作和經驗傳承也可大大提升實驗的準確度。

四、各版本的實驗改良中，血清塞、點滴注射帽和三向閥在氣體防漏上效果良好；另外，若採用塑膠注射筒，則針頭愈小誤差愈小【建議採用 21 號針頭】，此外，注射筒活塞以矽油潤滑以減少摩擦及注射筒體積刻度用滴定管重新刻畫等....，也都是提升實驗準確度的好方法。

捌、參考資料及其他

(按筆劃順序排列)

- 1.三民書局股份有限公司，高中化學（二上）及高中化學實驗手冊（二上），民 96
- 2.全華圖書股份有限公司，高中化學（二上）及高中化學實驗手冊（二上），民 96
- 3.南一書局企業股份有限公司，高中化學（二上）及高中化學實驗手冊（二上），民 96
- 4.泰宇出版股份有限公司，高中化學（二上）及高中化學實驗手冊（二上），民 96
- 5.康熹文化事業股份有限公司，高中化學（二上）及高中化學實驗手冊（二上），民 96
- 6.翰林出版事業股份有限公司，高中化學（二上）及高中化學實驗手冊（二上），民 96
- 7.龍騰文化事業股份有限公司，高中化學（二上）及高中化學實驗手冊（二上），民 96
- 8.國立科學教育館，歷屆科展優良作品