

第 5 屆清華盃全國高級中學 化學科能力競賽

實驗決賽

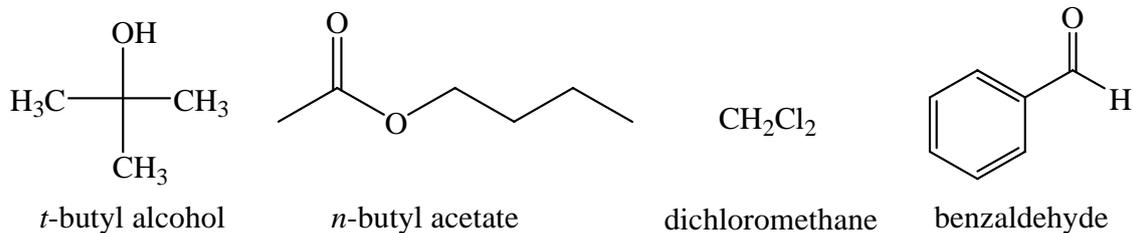
題目卷

(共 10 頁)

考試日期：九十七 年 十一 月 八 日

考試時間：09:30 ~ 16:30

實作一、液體的鑑定與分離



實驗題目：液體鑑定

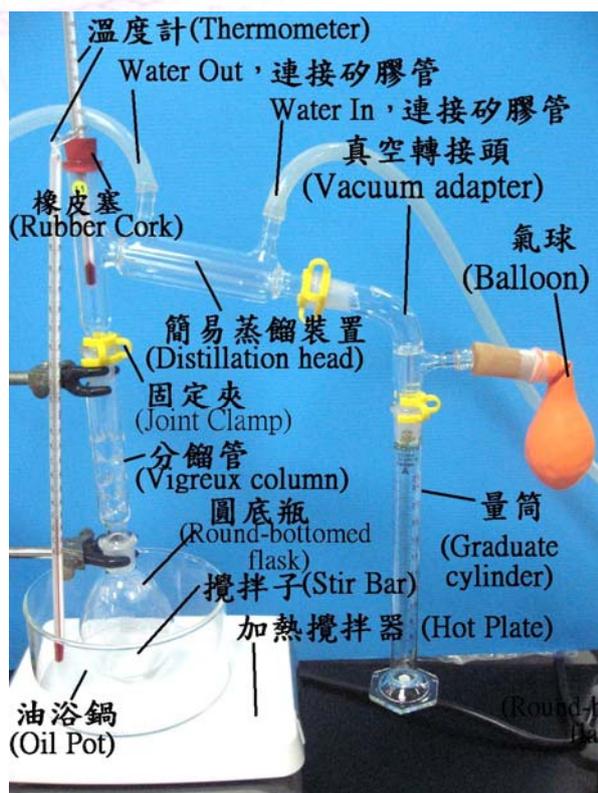
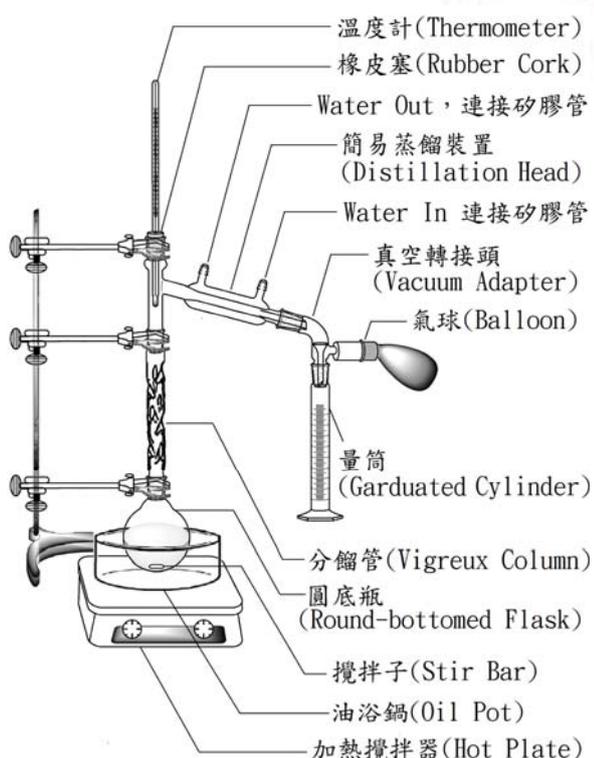
現有標示「未知一」、「未知二」、「未知三」及「未知四」之四瓶純化合物，已知各為 benzaldehyde、*n*-butyl acetate、*t*-butyl alcohol 及 dichloromethane 四種化合物之一，請利用化合物之化性與物性(請參閱附錄一、藥品性質)，鑑定出此四瓶未知溶液各為何種化合物。請將答案記錄於答案卷 (A-1) 中並簡述此四種未知物的鑑定方法。

實驗題目：混和液體的分離

標示「液體分離」的樣品瓶裝有一混合溶液，是 benzaldehyde、*n*-butyl acetate、*t*-butyl alcohol 及 dichloromethane 四種純化合物之其中三種，請利用化合物沸點的不同(請參閱附錄一、藥品性質)，分離出此三種純化合物。

實驗步驟：

1. 架設裝置如圖：



2. 將混合溶液倒入圓底瓶中，加入一攪拌子。(注意：含揮發性化合物)。

3. 分開收集各化合物的蒸餾液。請更換量筒收集之。

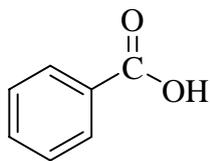
(提示：1.小心控制加熱板溫度！2.加熱板之溫度顯示為陶瓷面板的溫度，實際溫度以溫度計測量為準！3.請勿將圓底瓶中的溶液蒸乾！會有危險！)

4. 請於答案卷中 (A-2) 記錄其溫度 vs 體積的數據，並於 (A-3) 畫出其溫度 vs 體積的曲線圖，依圖推算此混合液為哪三種化合物，並計算此三種化合物的體積比。

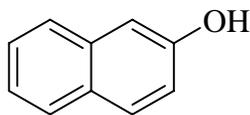
(提示：此溫度紀錄為上方橡皮塞溫度計顯示之溫度！為防溫度之流失，可利用鋁箔包覆！)



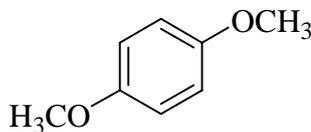
實作二、固體的鑑定與分離



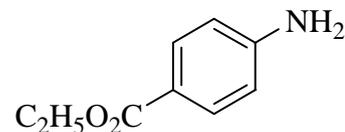
Benzoic Acid



2-Naphthol



1,4-dimethoxybenzene



Ethyl 4-aminobenzoate

實驗題目：固體鑑定

現有標示「未知五」、「未知六」、「未知七」及「未知八」之四瓶純化合物，已知各為 Benzoic acid、2-Naphthol、1,4-dimethoxybenzene 及 Ethyl 4-aminobenzoate 四種化合物之一，請利用化合物之化性與物性(請參閱附錄一、藥品性質)，鑑定出此四瓶未知固體各為何種化合物。請將答案記錄於答案卷 (A-4) 中並簡述此四種未知物的鑑定方法。

實驗題目：混合固體的分離

在標示固體分離的樣品瓶中，裝有混合 Benzoic acid、2-Naphthol、1,4-dimethoxybenzene 及 Ethyl 4-aminobenzoate 四種純化合物之二氯甲烷溶液 50mL。請利用各化合物之物性及化性差異，分離出此四種純化合物。

實驗步驟：

- 將標示固體分離樣品瓶的有機層溶液倒入分液漏斗後，加入 15 mL 3 M HCl(aq)於分液漏斗中，搖晃分液漏斗進行萃取(請參閱附錄二、基本實驗技巧)。將分液漏斗放置缺口環上靜置，待有機層與水層分離後將水層收集置於一個燒杯中。(提示：溶劑的揮發！萃取時，若有固體析出，可利用水或有機溶劑溶解！)。
- 重複步驟 1一次 (水層皆收集在同一個燒杯中)。
- 於冰浴中，攪拌下緩慢滴入 6 M NaOH(aq)於前述步驟所得之水層，至固體出現為止。
- 利用抽氣過濾收集水層中之固體，得化合物一。
- 請將產物刮到標示「化合物一及組別」的培養皿中 (已標重量)，交由監試人員烘乾，烘乾後監試人員會協助記錄重量於答案卷中 (A-5)，瓶中殘餘化合物一留至步驟 17一起跑片。

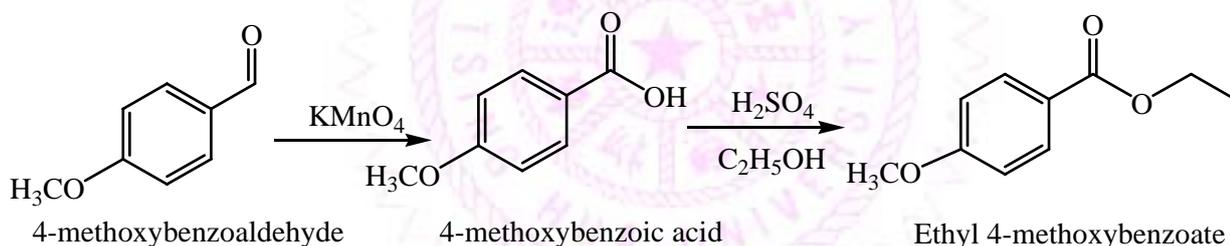
6. 將步驟 1之有機層倒入分液漏斗中，加入 20 mL 飽和 $\text{NaHCO}_3(aq)$ ，搖晃分液漏斗進行萃取。將分液漏斗放置缺口環上靜置，待有機層與水層分離後將水層收集至另一個燒杯中。
7. 重複步驟 6兩次（水層收集在與步驟 6同一個燒杯中）。
8. 在冰浴中，攪拌下緩慢滴入 6 mL 12 M $\text{HCl}(aq)$ 於前述步驟所得之水層，並以廣用試紙做確認，水層達酸性後再加入 2 mL 12 M $\text{HCl}(aq)$ 。
9. 利用抽氣過濾收集水層中之固體，得化合物二。
10. 請將產物刮到標示「化合物二及組別」的培養皿中（已標重量），交由監試人員烘乾，烘乾後監試人員會協助記錄重量於答案卷中（A-5），瓶中殘餘化合物二留至步驟 17一起跑片。
11. 將有機層再倒入分液漏斗中，加入 20 mL 2 M $\text{NaOH}(aq)$ ，搖晃分液漏斗進行萃取。將分液漏斗放置缺口環上靜置，待有機層與水層分離後將水層收集置一個新的燒杯中。
12. 重複步驟 11一次。（水層收集在與步驟 11同一個燒杯中）。
13. 在冰浴中，攪拌下緩慢滴入 7.5 mL 12 M $\text{HCl}(aq)$ 於前述步驟所得之水層，並以廣用試紙做確認，使水層達中性或酸性。（注意：戴手套！）
14. 利用抽氣過濾收集水層中之固體，得化合物三。
15. 請將產物刮到標示「化合物三及組別」的培養皿中（已標重量），交由監試人員烘乾，烘乾後監試人員會協助記錄重量於答案卷中（A-5），瓶中殘餘化合物三留至步驟 17一起跑片。
16. 將剩餘之有機層加無水 $\text{MgSO}_4(s)$ ，以玻璃棒攪拌至有 $\text{MgSO}_4(s)$ 細粉懸浮出現即可，如無細粉懸浮則須再加入無水 $\text{MgSO}_4(s)$ 。重力過濾至 100-mL 圓底瓶（注意：請先秤瓶重！），使用減壓迴旋濃縮機除去有機溶劑（請洽監試人員，勿自行操作），得化合物四，抽乾後監試人員會協助記錄重量於答案卷中（A-5）。
17. 將殘留的化合物一、化合物二、化合物三及化合物四溶於少量 Ethyl Acetate 中，以 Ethyl Acetate : *n*-Hexane = 1 : 3 做沖提液進行薄膜色層分析(TLC)（請參閱附錄二、基本實驗技巧）。注意：四種化合物點在同一片 TLC 上。
18. 請於答案卷中計算各成分之重量比（整數比）。攜答案卷(A-6)及跑片結果，交由監試人員協助記錄於答案卷中(當場回收 TLC 片)並計算各成分的 R_f 值。

實作三、合成

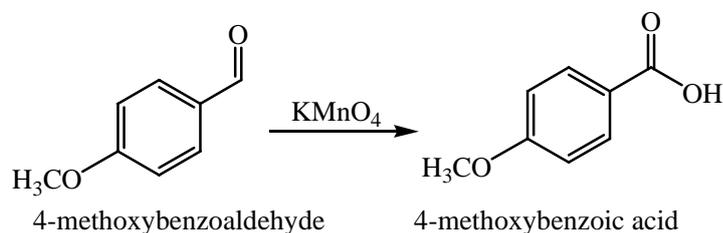
※注意事項：

1. 使用強酸強鹼時，要配戴手套。
2. 分子量請參閱附錄四週期表。
3. 本實作所需時間較長（題目 A 與題目 B 各需 3~4 小時），兩種產物需測光譜，請妥善利用時間。
4. 烘箱、減壓迴旋濃縮機、紅外線光譜儀在考試結束前三十分鐘(16:00)即停止使用，若尚未進行該步驟則視為該部分實驗未完成。

實驗題目A：本部分實驗為氧化與酯化反應，首先利用金屬氧化劑將醛氧化成酸，再利用催化量的硫酸，將合成出來的酸與乙醇縮合，得到一酯類化合物。請先將 4-methoxybenzaldehyde 氧化成 4-methoxybenzoic acid，再利用 4-methoxybenzoic acid 和乙醇反應產生 Ethyl 4-methoxybenzoate。



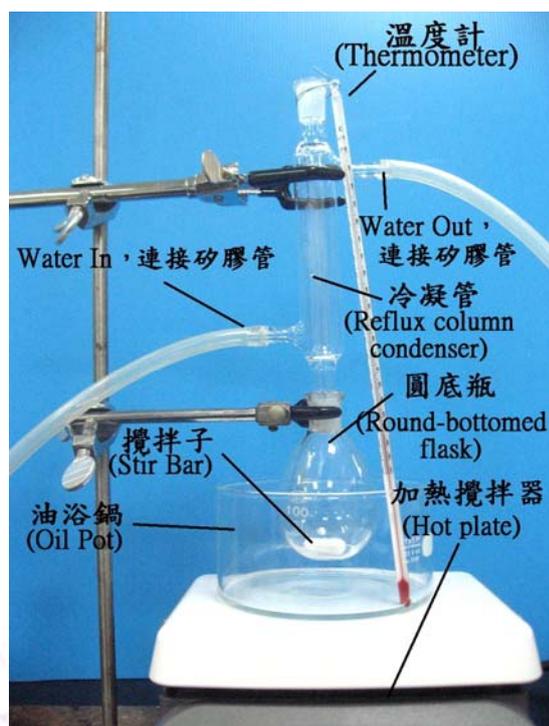
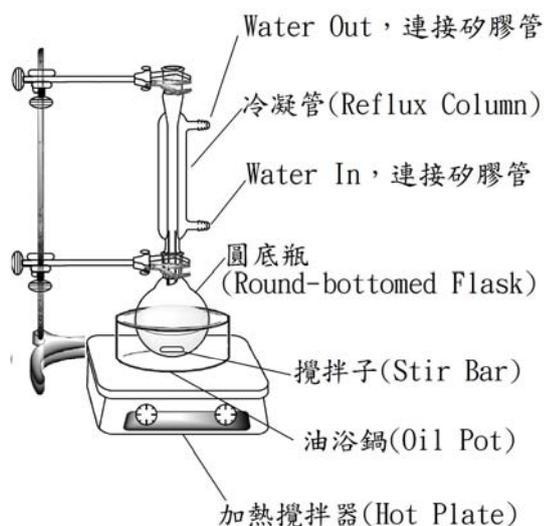
4-methoxybenzaldehyde的氧化



實驗步驟：

1. 使用電子天平稱取 2.5 g $\text{KMnO}_4(s)$ 置入 100-mL 之圓底瓶中。
2. 加入 30 mL 去離子水、1.3 mL 4-methoxybenzaldehyde 及 0.5 mL 3 M $\text{NaOH}(aq)$ (以廣用試紙確認 pH 值) 於圓底瓶中，並且加入一攪拌子。

3. 架設迴流裝置如圖。



4. 油浴鍋加熱至約 110°C (溫度計測量), 使其迴流反應 20 分鐘。

(提示：迴流乃指當化學反應進行時，為了控制反應發生的溫度，因此利用所有的純物質都有它特定沸點的特性，在反應中使用大量的溶劑。當持續加熱時，反應系統的溫度會不斷地上昇，可是當溫度升到溶劑的沸點附近時，因為所加的熱會使溶劑分子因吸收了足夠的熱而變成蒸氣。由於液體蒸發時消耗了大量的熱，因此在仍有很多液體分子可以不斷地蒸發的情形下，反應溶液的溫度就會保持在溶劑的沸點附近，而不再繼續上升；上升的蒸氣分子在遇到冷凝管後，立刻被冷凝成液體而滴落回到反應溶液中，如此蒸發、冷凝的過程持續地反覆進行，而反應系統的溫度就固定在此不變，終至達成保持在某一固定溫度的反應條件。)

5. 移除油浴鍋回室溫。

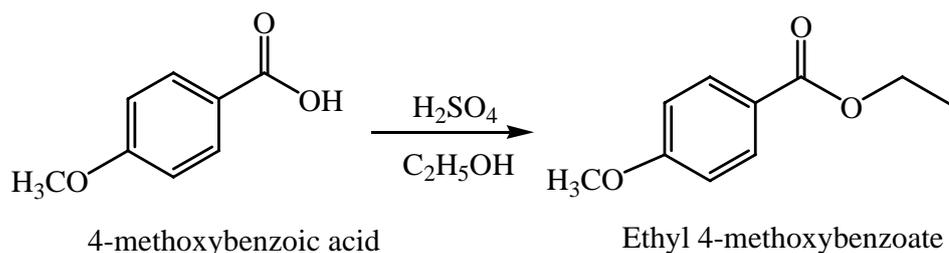
6. 以滴管吸取一滴反應溶液滴於濾紙上，若 KMnO_4 未反應完，在濾紙上會出現紫環，此時可添加少量 NaHSO_3 將未反應完之 KMnO_4 反應完，直到不再出現紫環為止。

7. 利用抽氣過濾將固體移除，收集濾液。

8. 將濾液在冰浴下緩慢加入 $12\text{ M HCl}(aq)$ ，利用廣用試紙確認為酸性後，再加入 $3\text{ mL } 12\text{ M HCl}(aq)$ 。

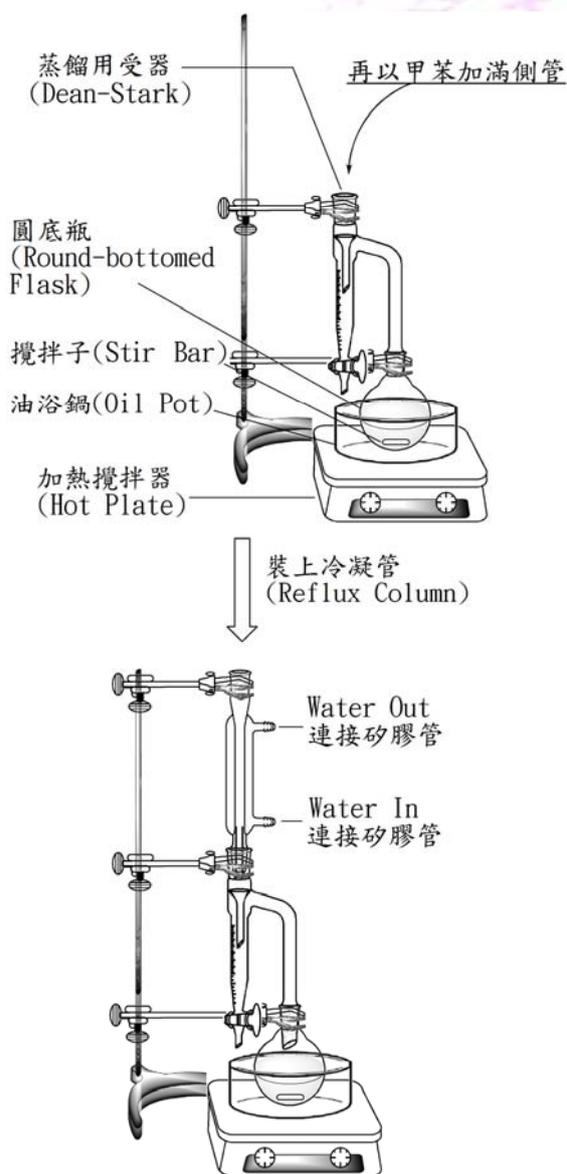
9. 利用抽氣過濾，收集固體，即為產物，請將產物刮到標示「4-methoxybenzoic acid 及組別」的培養皿中 (已標重量)，交由監試人員烘乾，並領取純 4-methoxybenzoic acid 進行下一步實驗。待產物烘乾後，監試人員會協助記錄重量於答案卷中 (A-7)，並回答答案卷中的問題。

4-methoxybenzoic acid 之酯化反應



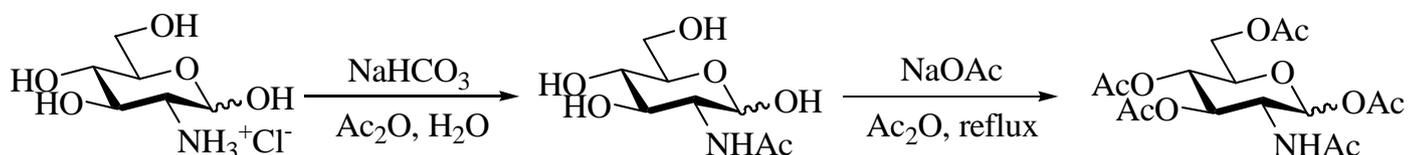
實驗步驟：

1. 取 1 g 4-methoxybenzoic acid 置入 50-mL 圓底瓶中，加入 3.5 mL 乙醇與 20 mL 甲苯。
2. 用滴管滴入 5 滴 18 M H₂SO₄。
3. 架設裝置順序說明如下圖：

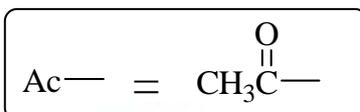


4. 油浴鍋加熱至約 140 °C (溫度計測量), 使其迴流 (參閱第 6 頁) 反應 1.5 小時。
5. 移除油浴鍋, 滴加飽和 $\text{NaHCO}_3(aq)$ 水溶液 (約 10 mL), 直至溶液為中性。
6. 將圓底瓶之液體倒入分液漏斗中, 加入 20 mL Ethyl Acetate 萃取。
7. 以分液漏斗萃取, 搖晃後靜置於缺口環上待其分層, 待其分層後移除水層, 收集有機層。
8. 加入無水 $\text{MgSO}_4(s)$ 除水, 以玻璃棒攪拌至有細粉懸浮出現即可, 如無細粉懸浮則須再加入無水 $\text{MgSO}_4(s)$ 。
9. 利用重力過濾除去 $\text{MgSO}_4(s)$, 濾液收至圓底瓶中 (注意: 請先秤瓶重!), 使用減壓迴旋濃縮機除去有機溶劑 (請洽監試人員!), 抽乾後監試人員會協助記錄重量於答案卷中 (A-8)。
10. 以體積比 Ethyl Acetate : *n*-Hexane = 1 : 3 做沖提液進行薄膜色層分析 (TLC)。
11. 攜答案卷 (A-8) 及跑片結果, 交由監試人員協助記錄於答案卷中 (當場回收 TLC 片) 並計算其 R_f 值。
12. 產物需進行 IR (紅外線光譜儀) 測試 (請洽監試人員, 勿自行操作)。請利用 IR 吸收圖表 (請參閱附錄三) 於答案卷中 (A-8) 說明如何鑑定是否為產物。
(提示: 進行官能基轉換的實驗, 會造成起始物與產物 IR 吸收會有所不同。)

實驗題目 B：葡萄糖胺與乙醯葡萄糖胺是形成軟骨細胞最重要的營養素之一，存在於人體軟骨與結締組織的各處。本部分實驗利用醋酸酐先將葡萄糖胺轉化成乙醯葡萄糖胺，後再以醋酸酐將其羥基做乙醯化的保護，此兩步反應，廣見於醣生物分子的合成。

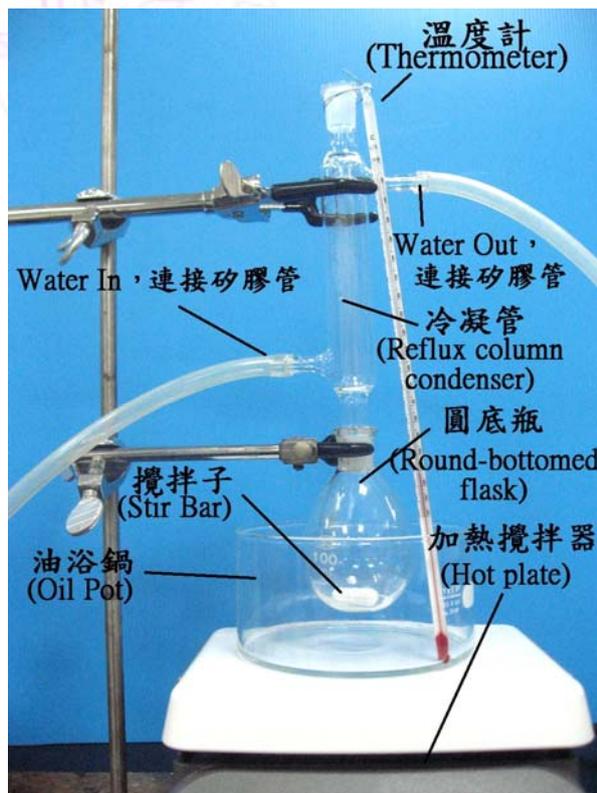
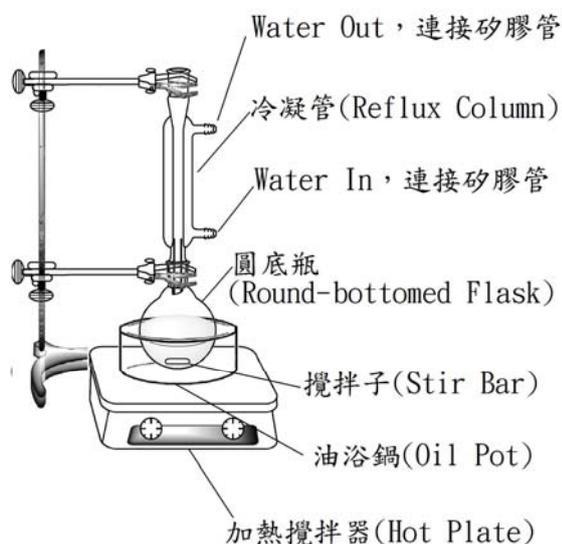


glucosamine



實驗步驟：

1. 取 1 g glucosamine 及 1 g NaHCO₃(s)，置於一錐形瓶中，加入一攪拌子，再加入 6 mL 去離子水，攪拌將固體溶解。
2. 逐滴加入 0.5 mL 醋酸酐後攪拌反應 1.5 小時。
3. 將反應完的溶液倒入 100-mL 圓底瓶中，再加入 10 mL 甲苯，使用減壓迴旋濃縮機除去溶劑(請洽監試人員!)，得粗產物淡黃色固體。
4. 將步驟 3 所得的粗產物，再加入 1 g 醋酸鈉及 6 mL 醋酸酐。架設迴流裝置如下圖。



5. 加熱至迴流（參閱第 6 頁），反應 30 分鐘。
6. 回室溫，以 10 mL 飽和 $\text{NaHCO}_3(aq)$ 與 15 mL Ethyl Acetate 萃取。
7. 有機層再用 10 mL 飽和 $\text{NaHCO}_3(aq)$ 萃取，收集有機層至燒杯中。
8. 重複步驟 7 一次，收集有機層，加入無水 $\text{MgSO}_4(s)$ 除水，以玻棒攪拌至有細粉懸浮出現即可，如無細粉懸浮則須再加入無水 $\text{MgSO}_4(s)$ 。
9. 利用重力過濾除去 $\text{MgSO}_4(s)$ ，濾液收至圓底瓶中（注意：請先秤瓶重！），使用減壓迴旋濃縮機除去有機溶劑（請洽監試人員！），抽乾後監試人員會協助記錄重量於答案卷中（A-9）。
10. 以 Ethyl Acetate : *n*-Hexane = 1 : 1 做沖提液進行薄膜色層分析(TLC)。
11. 攜答案卷(A-9)及跑片結果，交由監試人員協助記錄於答案卷中(當場回收 TLC 片)並計算其 R_f 值。
12. 產物需進行 IR（紅外線光譜儀）測試(請洽監試人員，勿自行操作)。請利用 IR 吸收圖表（請參閱附錄三）於答案卷中（A-9）說明如何鑑定是否為產物。
(提示：進行官能基轉換的實驗，會造成起始物與產物 IR 吸收會有所不同。)



第 5 屆清華盃全國高級中學 化學科能力競賽

實驗決賽

答案卷

(共 9 頁)

考試日期：九十七 年 十一 月 八 日

考試時間：09:30 ~ 16:30

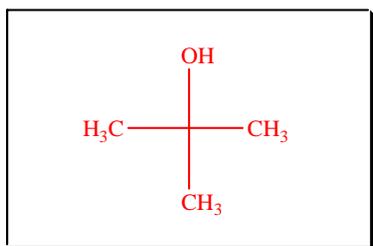
實作一、液體的鑑定與分離

實驗題目：液體鑑定(10%)

組別：_____ 記錄者姓名：_____

請分別畫出未知物的結構，並簡述各化合物的鑑定方式。

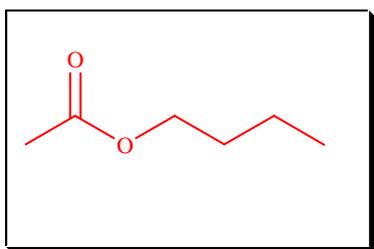
未知物一：



鑑定方法：

藥品性質：無色液體。有樟腦味。凝固點 25.5°C。沸點 82.9°C。比重 0.779 (26°C)。可與水，乙醇及乙醚互溶。

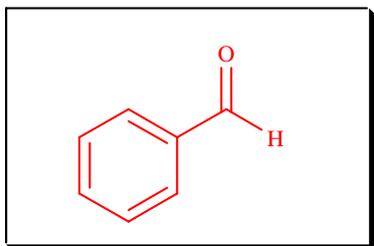
未知物二：



鑑定方法：

藥品性質：無色液體，有水果香味。可溶於酒精、乙醚及碳氫化合物；微溶於水。比重 0.8826g/mL，沸點 126.3°C。

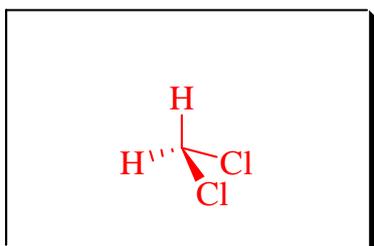
未知物三：



鑑定方法：

- 藥品性質：**無色或淡黃色揮發油，有苦杏仁油之氣味。很容易氧化成苯甲酸。沸點 178°C。比重 1.0415。溶於酒精及乙醚可互溶，微溶於水。
- 多倫試劑的成分是硝酸銀的氨水溶液，若與醛類反應時銀離子會被還原析出，此稱銀鏡反應。
- 其他氧化劑。

未知物四：

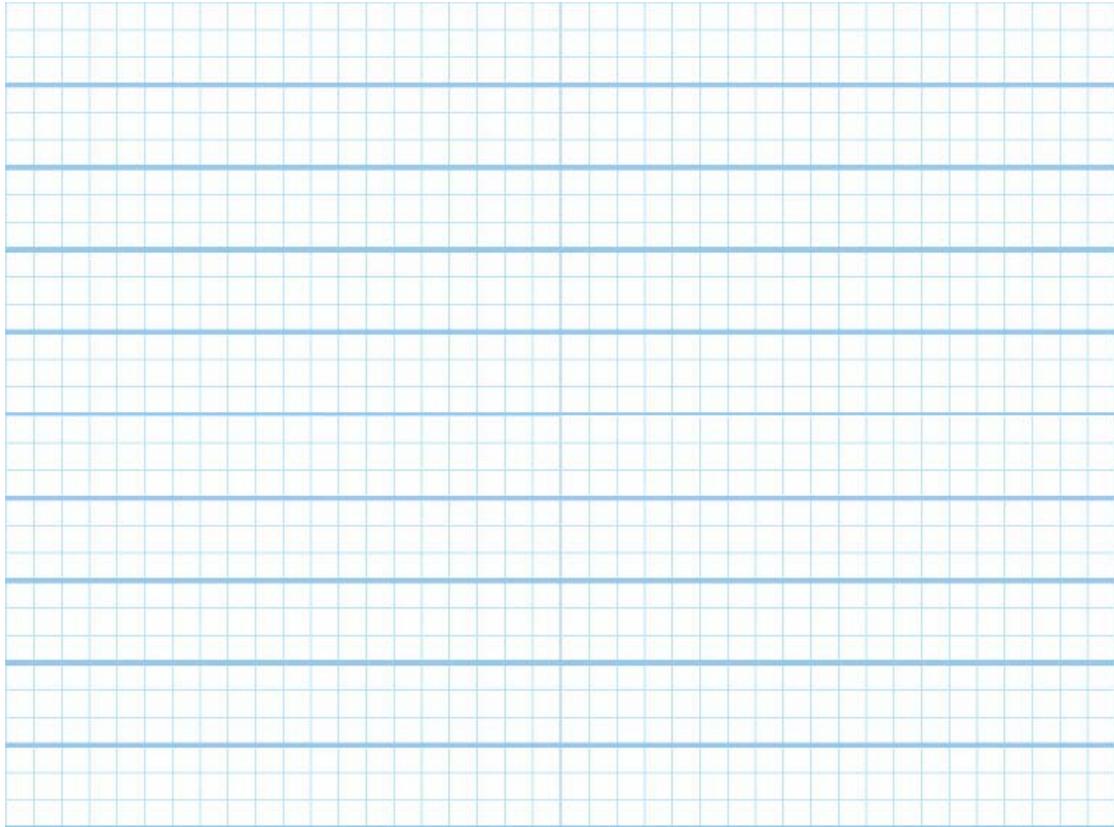


鑑定方法：

藥品性質：沸點 37.8 °C，比重 1.3266，無色液體，具醚味。溶於酒精及乙醚，微溶於水。

請依 (A-2) 的數據，畫出溫度 vs 體積的相對位置圖。

°C



mL

藉由上圖定出此三種化合物並計算出混合溶液的體積比例。

結果：請將分出的三種化合物名稱寫於下方空格中。

***n*-butyl acetate** : ***t*-butyl alcohol** : **dichloromethane**

= : :

請依上列名稱順序，將其體積比填寫於左列空格中。其計算方式寫於下方，未列算式者以零分計算。❖請注意化合物順序！

計算方式：

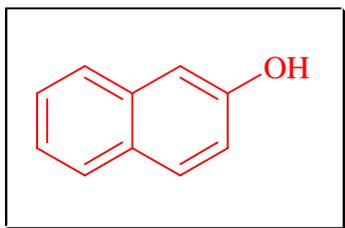
實作二、固體的鑑定與分離

實驗題目：固體鑑定(10%)

組別：_____ 記錄者姓名：_____

請分別畫出未知物的結構，並簡述各化合物的鑑定方式。

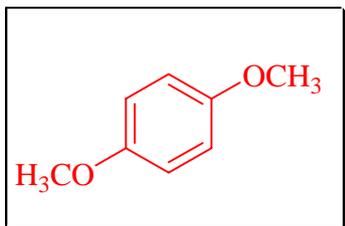
未知物五：



鑑定方法：

藥品性質：白色或略帶黃色的片狀結晶。久置於在空氣中顏色會變暗。有苯酚的氣味，熔點 $121\sim 123^{\circ}\text{C}$ ，沸點 $285\sim 286^{\circ}\text{C}$ 。可隨水蒸氣一起揮發。其水溶液與三氯化鐵溶液反應呈綠色。微溶於水，溶於乙醇、乙醚、氯仿、甘油，溶於氫氧化鈉水溶液。

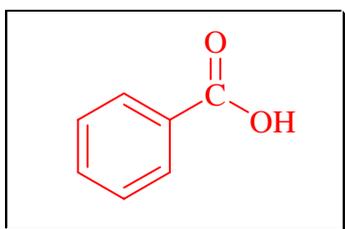
未知物六：



鑑定方法：

藥品性質：白色薄片狀，甜苜蓿味。熔點 56°C 。沸點 213°C 。相對密度 $1.0293\text{g/ml}(65^{\circ}\text{C})$ 。不溶於水，可溶於苯及乙醇。

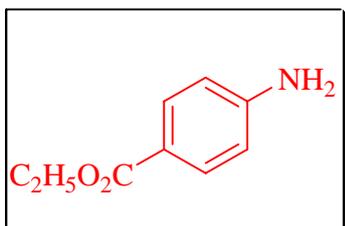
未知物七：



鑑定方法：

藥品性質：白色單斜晶系片狀或針狀結晶體，略帶安息香或苯甲醛氣味。密度 1.2659g/cm^3 。熔點 122.4°C 。沸點 249°C 。易溶於醇、氯仿、醚、丙酮，溶於碳酸鹼及氫氧化鹼溶液中，微溶於水、石油醚，水溶液呈酸性，能隨水蒸氣同時揮發。

未知物八：



鑑定方法：

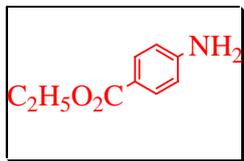
藥品性質：無色斜方形結晶，無嗅無味。熔點 $88-90^{\circ}\text{C}$ 。易溶於醇、醚、氯仿。能溶於杏仁油、橄欖油、稀酸。難溶於水。

實驗題目：固體分離(15%)

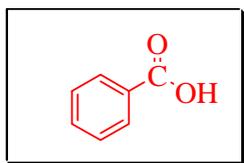
組別：_____ 記錄者姓名：_____.

1. 請畫下化合物一~四之結構，其重量之紀錄，需有協助記錄之監試人員簽名方能認同。

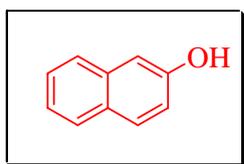
化合物一：

重量：1 g/ 50 mL

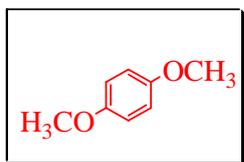
化合物二：

重量：1.5g/ 50 mL

化合物三：

重量：1 g/ 50 mL

化合物四：

重量：0.5 g/ 50 mL

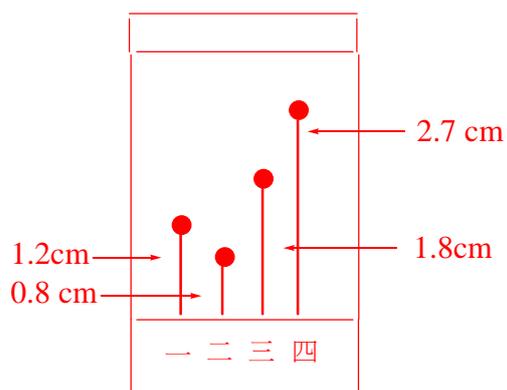
化合物一：化合物二：化合物三：化合物四 = 2 : 3 : 2 : 1

請依順序，將其重量比填寫於上列空格中。其計算方式寫於下方，未列算式者以零分計算。❖請注意化合物順序！

計算方式：**簡單重量整數比。**

組別：_____ 記錄者姓名：_____

2. 請於下方 (5cm x 3cm) 方框畫下色層分析的玻璃片照 UV 燈的結果 (請攜帶本答案紙洽監試人員協助記錄, 標出各化合物的點後當場繳回 TLC 片, 結果需有協助記錄之監試人員簽名方能認同。), 並計算各化合物的 R_f 值。(沖提液比例體積比: Ethyl Acetate / *n*-Hexane = 1/3)



$$\text{化合物一之 } R_f1 = 1.2/3.5=0.34$$

$$\text{化合物二之 } R_f2 = 0.8/3.5=0.22$$

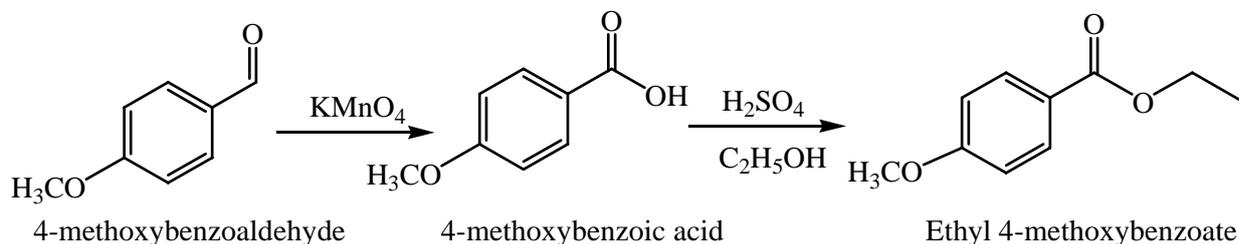
$$\text{化合物三之 } R_f3 = 1.8/3.5=0.51$$

$$\text{化合物四之 } R_f4 = 2.7/3.5=0.77$$

實作三、合成

實驗題目 A：

組別：_____ 記錄者姓名：_____。



4-methoxybenzaldehyde 的氧化(10%)

起始物 (4-methoxybenzaldehyde) 重：_____ 1 _____ g。

產物 (4-methoxybenzoic acid) 重：_____ 0.95 _____ g。

其 (4-methoxybenzoic acid) 產率：_____ 85 _____ %。(請列出算式，否則不予計分！)

$$0.95/152.15 = 6.24 \text{ mmol(產物)}$$

$$1/136.15 = 7.34 \text{ mmol(起始物)}$$

$$\text{產率: } 6.24/7.34 = 85\%$$

問題:

1. 此反應加熱可以增加反應速率，但為什麼要迴流，目的為何。

Ans: 當反應溫度達到或超過溶劑的沸點，就要架設迴流裝置

以防止溶劑乾掉，反應溫度過高而實驗失敗。

2. 除了過錳酸鉀，請列出你所知道的氧化劑。

Ans: $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, H_2O_2 , MnO_2 , H_2SO_4 , HNO_3 ,.....等。

4-methoxybenzoic acid 之酯化反應(15%) 組別：_____ 記錄者姓名：_____

起始物 (4-methoxybenzoic acid) 重：_____ **0.9** _____ g。

產物 (Ethyl 4-methoxybenzoate) 重：_____ **0.87** _____ g。

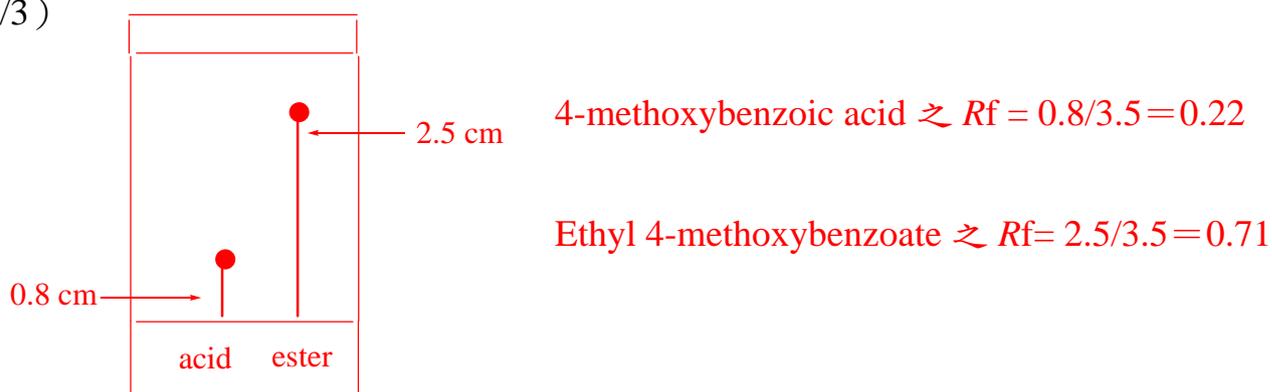
其 (Ethyl 4-methoxybenzoate) 產率：_____ **82** _____ %。(請列出算式，否則不予計分！)

0.9/152.15 = 5.92 mmol(起始物)

0.87/180.2 = 4.85 mmol(產物)

產率: 4.85/5.92 = 82%

請於下方 (5cm x 3cm) 方框畫下 4-methoxybenzoic acid 及 Ethyl 4-methoxybenzoate 色層分析的玻璃片照 UV 燈的結果 (請洽監試人員協助記錄!)，並計算其 R_f 值。(沖提液比例體積比：Ethyl Acetate / *n*-Hexane = 1/3)



請列出 IR 光譜上可作為判斷依據的主要吸收峰：(請將光譜隨答案卷交回，並標示為哪一產物。)

C=O : 1711 ; C-O : 1607

問題：

1. 硫酸在這反應中是加催化量還是當量。

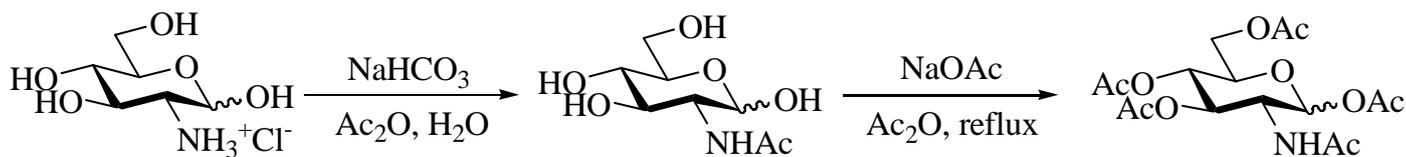
Ans: 催化量

2. 此酯化反應會生成一副產物為何。如在反應過程中移除此副產物會對反應速率有何影響。

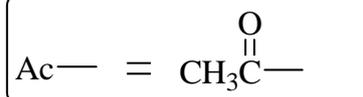
Ans: 水。根據勒沙特略原理移除水可使反應加快。

實驗題目 B : (25%)

組別：_____ 記錄者姓名：_____



glucosamine

起始物 (glucosamine) 重： 1 g。產物重： 1.35 g。最終產物的產率： 75 %。(請列出算式，否則不予計分！)

$$1/215.63 = 4.64 \text{ mmol(起始物)}$$

$$1.35/389.35 = 3.47 \text{ mmol(產物)}$$

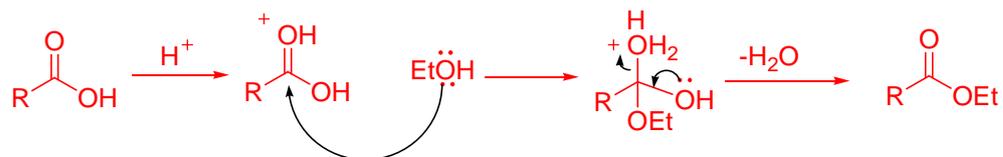
$$\text{產率: } 3.47/4.64 = 75 \%$$

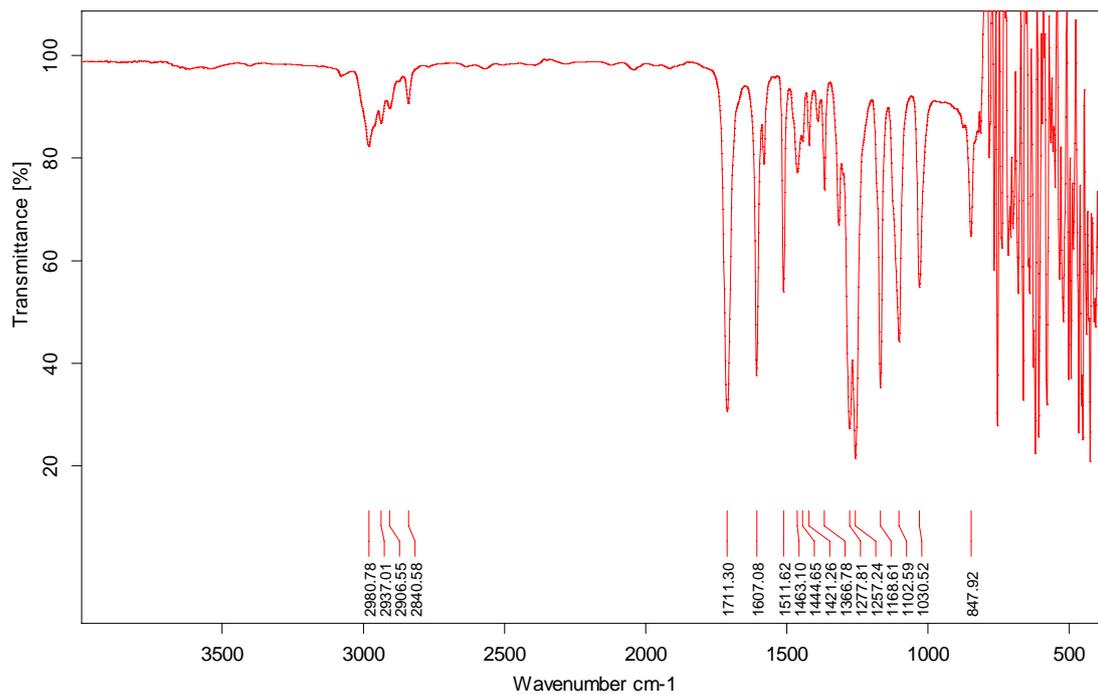
請列出 IR 光譜上可作為判斷依據的主要吸收峰：(請將光譜隨答案卷交回，並標示為哪一產物。)

NHAc : 1666 ; OAc : 1751

問題：

請比較實驗題目 A 中的酯化反應與實驗題目 B 中的酯化反應有何不同並解釋之。(Hint：反應條件一個是酸性一個是鹼性。)

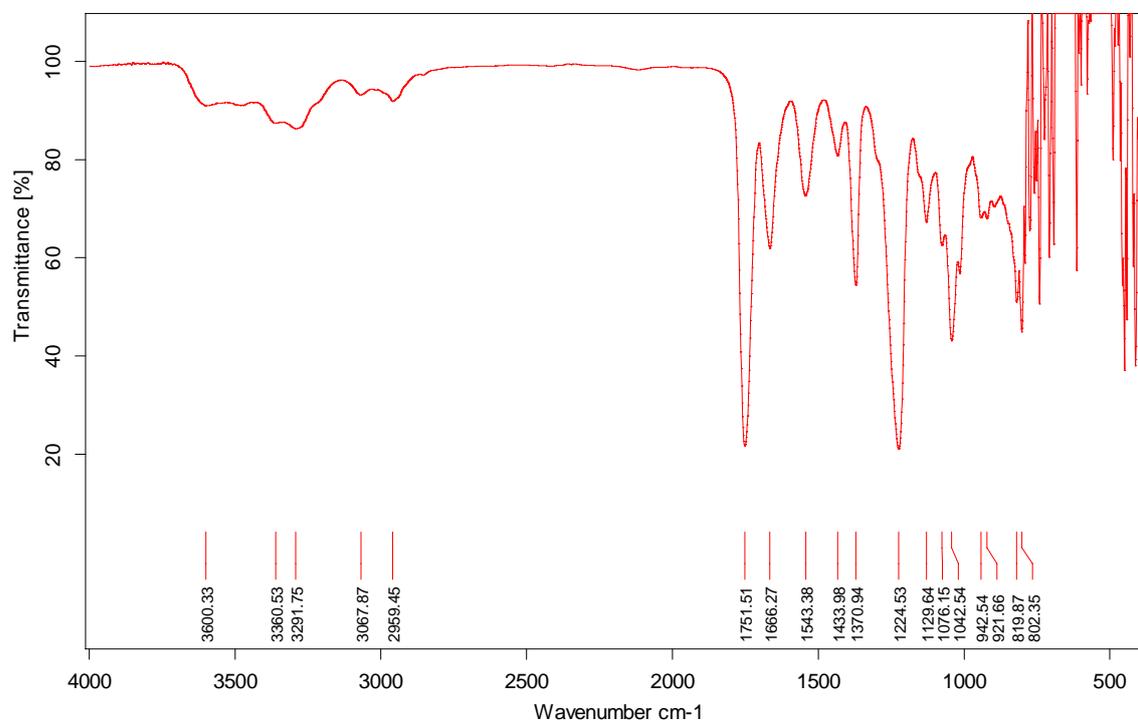




D:\FT-IR Spectrum\第五屆清華盃全國高中生化學科能力競賽\sampleA.0 參考樣品 實驗三實作A

03/11/2008

Page 1/1



D:\FT-IR Spectrum\第五屆清華盃全國高中生化學科能力競賽\sampleB.0 參考樣品 實驗三實作B

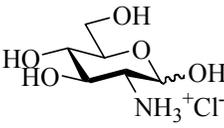
03/11/2008

Page 1/1

附錄一、各項藥品性質及危險性列表（係依英文字母排列）

（頁碼為附錄一之1~4，共4頁）

	英文名稱	中文名稱	化學式	藥品性質及危險性
1	Acetic anhydride	醋酸酐	(CH ₃ CO) ₂ O	藥品性質：具強烈醋味、催淚味之無色澄清液體，沸點139 °C，比重1.0802，其液體和蒸氣可燃。劇毒、吸入可能致命、可能引起肺部傷害、腐蝕眼睛和皮膚，可能造成永久性傷害，如眼睛失明或皮膚結疤，吞食或嘔吐時可能倒吸入肺部。
2	Ammonia hydroxide	氨水	NH ₄ OH	藥品性質：具強烈刺激氣味之無色液體，比重0.895-0.910。食入及吸入均具毒性，液體及蒸氣極具刺激性，特別是眼睛。
3	Benzaldehyde	苯甲醛	C ₆ H ₅ (CHO)	藥品性質：無色或淡黃色揮發油，有苦杏仁油之氣味。很容易氧化成苯甲酸。沸點 178 °C。比重 1.0415。溶於酒精及乙醚，微溶於水。
4	Benzoic Acid	苯甲酸	C ₆ H ₅ (COOH)	藥品性質：白色單斜晶系片狀或針狀結晶體，略帶安息香或苯甲醛氣味。密度 1.2659g/cm ³ 。熔點 122.4°C。沸點 249°C。易溶於醇、氯仿、醚、丙酮，溶於碳酸鹼及氫氧化鹼溶液中，微溶於水、石油醚，水溶液呈酸性，能隨水蒸氣同時揮發。易燃。對微生物有強烈毒性，但對人體毒害不明顯。
5	n-butyl Acetate	乙酸丁酯	CH ₃ COOC ₄ H ₉	藥品性質：無色液體，有水果香味。可溶於酒精、乙醚及碳氫化合物；微溶於水。比重 0.8826g/mL，沸點 126.3°C。
6	t-butyl Alcohol	三級丁醇	(CH ₃) ₃ COH	藥品性質：無色液體。有樟腦味。凝固點 25.5°C。沸點 82.9°C。比重 0.779 (26°C)。可與水，乙醇及乙醚互溶。
7	Dichloromethane	二氯甲烷	CH ₂ Cl ₂	藥品性質：沸點 37.8 °C，比重 1.3266，無色液體，具醚味。溶於酒精及乙醚，微溶於水。 危險性：對眼睛、皮膚、呼吸道及消化道有刺激性，長期暴露可能會損害肝，且可能致癌。
8	1,4-dimethoxybenzene	氫醌二甲醚	C ₆ H ₄ (OCH ₃) ₂	藥品性質：白色薄片狀，甜苜蓿味。熔點 56°C。沸點 213°C。相對密度 1.0293g/ml(65°C)。不溶於水，可溶於苯及乙醇。可燃。毒性低。

9	Ethanol	乙醇	C_2H_5OH	<p>藥品性質：沸點 78.4 °C，自燃溫度 343 °C，為透明無色揮發性液體，有酒精味，與水互溶，易潮解，蒸氣及液體易燃。</p> <p>危險性：誤食或吸入高濃度蒸氣後，可能造成輕微的中樞神經系統抑制作用，引起頭痛、噁心、暈眩等症狀；會刺激眼睛，吞食或嘔吐液體可能吸入肺部，造成吸入性傷害。</p>
10	Ethyl Acetate	乙酸乙酯	$CH_3COOC_2H_5$	<p>藥品性質：熔點 -83 °C，沸點 77 °C，比重 0.902，為無色澄清狀液體，有水果味。溶於酒精、氯仿及乙醚，略溶於水，其蒸氣急液體易燃。</p> <p>危險性：會刺激眼睛、呼吸道，高濃度蒸氣可能造成頭痛、困倦等症狀，因其於體內會分解為酒精，大量食入會造成休克及死亡。</p>
11	Ethyl 4-aminobenzoate	對氨基苯甲酸乙酯	$C_2H_5O_2CC_6H_4NH_2$	<p>藥品性質：無色斜方形結晶，無臭無味。熔點 88-90°C。易溶於醇、醚、氯仿。能溶於杏仁油、橄欖油、稀酸。難溶於水。</p>
12	Ferric chloride	三氯化鐵	$FeCl_3$	<p>藥品性質：黑棕色帶綠色光澤結晶體(液體為紅棕色)。密度 2.898g/cm³。熔點 306°C。沸點 315°C(分解)。吸濕性強，能生成二水物和六水物等。易溶於水、乙醇、丙酮、乙醚，可溶於液體的三氧化硫、乙胺、苯胺，不溶於甘油、三氯化磷，微溶於二硫化碳。水溶液呈酸性。</p>
13	Glucosamine	葡糖胺		<p>藥品性質：又稱氨基葡糖。有 α-型和 β-型，前者為白色粉末結晶，有先甜後苦味。熔點 88°C。極易溶於水、熱甲醇，微溶於乙醇，不溶於乙醚、三氯甲烷。後者系從甲醇中結晶，為針狀，有甜味和鮮味。分解溫度 110°C。易溶於水、沸甲醇，難溶於冷甲醇、乙醇，不溶於乙醚、氯仿。</p>
14	Hexane	正己烷	C_6H_{14}	<p>藥品性質：沸點 68.7 °C，比重 0.66，為無色澄清揮發性液體，有汽油味。溶於酒精、丙酮及乙醚，不溶於水。</p> <p>危險性：毒性較低，但可能對眼睛、皮膚造成輕微刺激，若暴露於高濃度蒸氣可能抑制中樞系統，引起輕微頭痛、噁心、暈眩等症狀。</p>
15	Hydrochloric Acid	鹽酸	HCl	<p>藥品性質：熔點 -35 °C，沸點 108.6 °C，無色或淡黃色發煙液體，有刺激性嗆鼻氣味，全溶於水，為具強烈酸性的高腐蝕性酸。與金屬接觸會產生氫氣，可能引起火災或爆炸。</p>

				危險性：吞食有害，吸入有毒，可能造成嚴重皮膚灼傷及眼睛損傷。
16	Magnesium Sulfate	硫酸鎂	MgSO ₄	藥品性質：無色或白色易風化的晶體或白色粉末。無臭。有苦鹹味。密度 1.68。在 150℃ 失去六分子結晶水，200℃ 失去全部結晶水。無水物密度 2.66，熔點 1124℃，同時分解。溶於水、甘油和乙醇。
17	4-Methoxybenzaldehyde	4-甲氧基苯 甲醛	C ₆ H ₄ (OCH ₃)CHO	藥品性質：又名茴香醛，無色至灰黃色液體，具有山楂之氣味。沸點 248 °C，比重 1.119-1.122，不溶於水，可燃。
18	2-Naphthol	2-萘酚	C ₁₀ H ₇ (OH)	藥品性質：白色或略帶黃色的片狀結晶。久置於在空氣中顏色會變暗。有苯酚的氣味，熔點 121~123℃，沸點 285~286℃。可隨水蒸氣一起揮發。其水溶液與三氯化鐵溶液反應呈綠色。微溶於水，溶於乙醇、乙醚、氯仿、甘油及氫氧化鈉水溶液。
19	Potassium Permanganate	過錳酸鉀	KMnO ₄	藥品性質：在 240 °C 分解，為暗紫色晶體，無味，比重 2.7，可溶於水、丙酮及甲醇。為強氧化劑，接觸有機物可能會起火、爆炸。 危險性：高溫度的粉塵及霧滴會刺激鼻、喉及呼吸道，甚至可致肺炎或肺積水而致命。稀溶液會刺激眼睛及皮膚，濃溶液具有強烈的腐蝕性。長期暴露會影響中樞神經系統。
20	Silver Nitrate	硝酸銀	AgNO ₃	藥品性質：無色透明管狀斜方晶系晶體，在有機中遇光變灰或灰黑色，無臭，對金屬有腐蝕性，為強氧化劑與腐蝕劑。比重 4.328，熔點 212 °C，可溶於水、甘油及熱乙醇，略溶於乙醚。對皮膚及組織有強刺激性。
21	Sodium Acetate	乙酸钠	CH ₃ COONa	藥品性質：熔點 58 °C，在 120 °C 失去水，324 °C 分解，比重 1.528，為白色潮解性粉末，無味。溶於水及乙醚，略溶於酒精。 危險性：低毒性。
22	Sodium Bicarbonate	碳酸氫鈉	NaHCO ₃	藥品性質：在 270 °C 失去二氧化碳，為白色粉末或晶塊，無味，可溶於水，在濕氣中會漸分解。 危險性：對眼睛、皮膚、呼吸道及消化道有刺激性，長期接觸皮膚亦可能造成危害。
23	Sodium Bisulfite	亞硫酸氫鈉	NaHSO ₃	藥品性質：熔點 153 °C，比重 1.48，為白色晶體，有二氧化硫的氣味。暴露於空氣中極易氧化。溶於水，不溶於乙醇。

				危險性： 不可存於肉類及含維生素B ₁ 的食品中。對皮膚、組織有強刺激性。
24	Sodium Hydroxide	氫氧化鈉	NaOH	藥品性質： 熔點 318 °C，沸點 1390 °C，為粒狀白色固體，無味，在空氣中會吸水及二氧化碳，可溶於水，其水溶液為透明無色液體。 危險性： 在水氣存在下對組織有腐蝕性，會引起失明，永久性傷害和死亡，煙霧可能引起肺部傷害。
25	Sulfuric Acid	硫酸	H ₂ SO ₄	藥品性質： 沸點 274 °C，分解溫度 340 °C，分解時會產生毒氣，為無色至暗褐色吸濕性油狀液體，溶於水。為氧化劑，與金屬接觸會產生氫氣，可能引起火災或爆炸，與水會產生劇烈反應。 危險性： 吞食、吸入可能致死，會腐蝕眼睛、皮膚、呼吸道，其無機酸霧滴具致癌性。
26	Tollens' reagent	多倫試劑		藥品性質： 多倫試劑的成分是硝酸銀的氨水溶液，若與醛類反應時銀離子會被還原析出，此稱銀鏡反應。
27	Toluene	甲苯	C ₆ H ₅ CH ₃	藥品性質： 無色透明液體，有刺激性氣味，相對密度(20 °C / 4°C)0.866。沸點 110.8°C，燃點 552°C。能與乙醇、乙醚、苯、丙酮、二硫化碳、溶劑汽油混溶。不溶於水。易燃，蒸氣與空氣形成爆炸性混合物。 危險性： 有毒。對皮膚和粘膜刺激性大，對神經系統作用比苯強。長期接觸有引起膀胱癌的可能。但甲苯能被氧化成苯甲酸，與甘氨酸生成馬尿酸，能從尿中排出，故對血液並無毒害。

附錄二、實驗室基本技巧

(頁碼為附錄二之1~11，共11頁)

<< 目 錄 >>

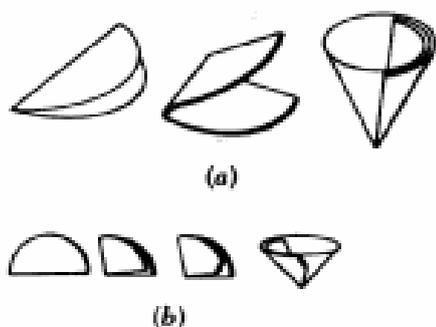
實驗室過濾法	附錄二之 1~3
萃 取	附錄二之 4~6
常 壓 蒸 餾	附錄二之 7~9
T L C 分 析	附錄二之 10~11

實驗室過濾法

一、重力過濾步驟

適當的濾紙摺法及置法可促進過濾速度。如欲維持高速過濾，請遵照下列建議：

1. 濾紙露空越多越易使濾液通過濾紙。撕去一角之濾紙能使濾液較易在漏斗壁流通，也使濾紙與漏斗壁有更佳氣密性，如圖一及圖二所示。欲使濾紙有較多露空，可將濾紙摺成波浪形，浪谷可使濾液蒸汽對流，使壓力平衡有助濾液流通，蒸汽壓有礙過濾，摺法如圖四所示。

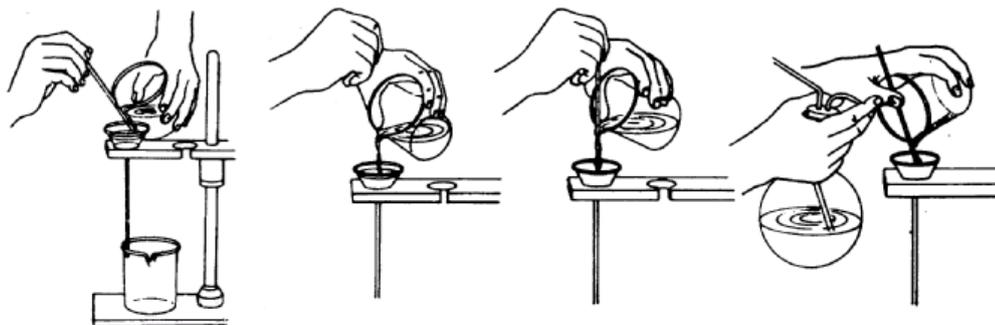


圖一 (a) 濾紙摺法
(b) 變通濾紙摺法第二摺未必直角，撕下一角有助緊貼漏斗壁。

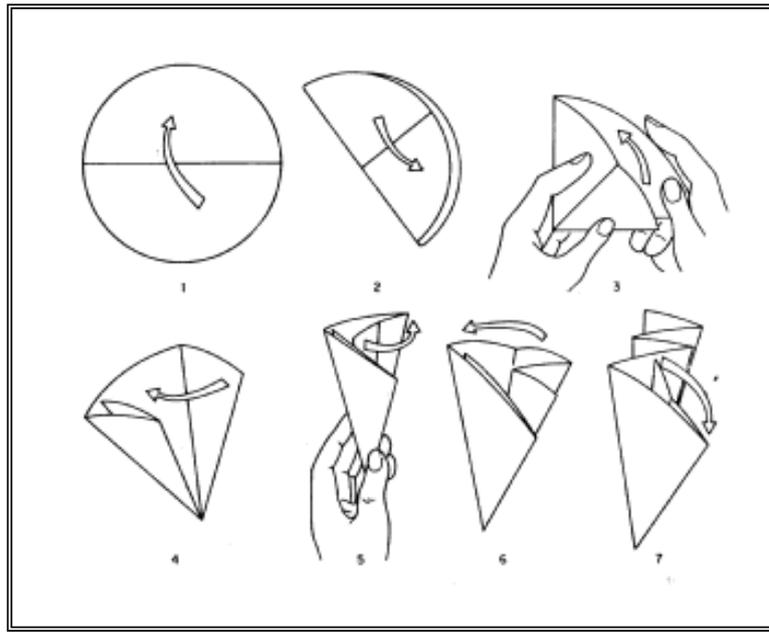


圖二 安置濾紙

2. 許多沈澱物會在濕濾紙上爬行蔓延，對抗重力。此性質稱爬行，可致沈澱漏失。為此，溶液倒入漏斗內勿超出 3/4 體積濾紙錐。絕不滿填濾紙錐，以免沈澱因爬行與溢流而漏失。也使濾紙頂緣一帶沒有沈澱污染，而可抓住此處摺妥以備燒化，不虞漏失與污染，見圖三所示。此為傾倒混合液於過濾器之最佳方法。



圖三 重力過濾操作技巧



圖四 摺成波浪形濾紙：先半摺再八摺，如手風琴之摺折，打開並置於漏斗內。

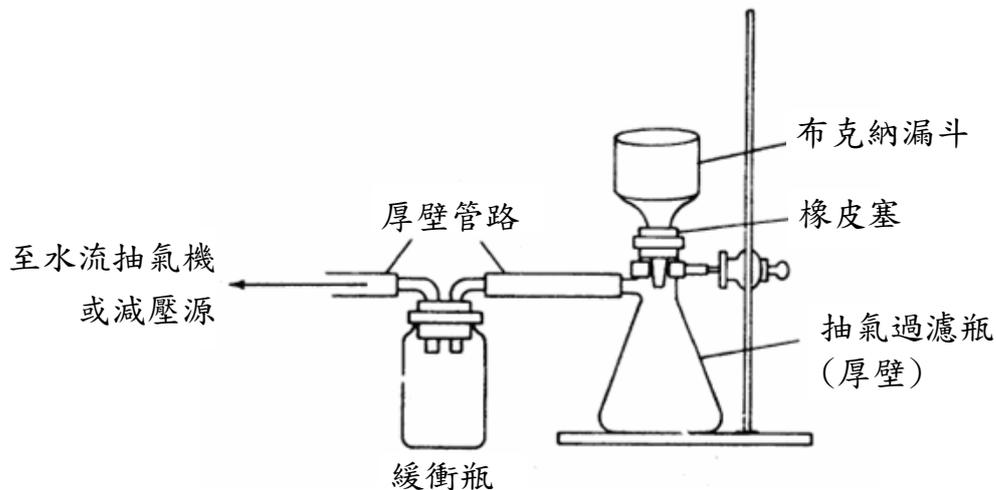
三、抽氣過濾

抽氣過濾為加快過濾之方法，但須過濾介質能阻留細微粒子而不阻塞。真空由水流抽氣器造成，直接使用真空泵及緩衝瓶亦可。但減壓會使緩衝瓶有破裂之虞，必須使用厚壁容器，時時警惕向內破裂之可能。

(一)、裝置

真空過濾裝置如圖五所示，在抽真空之前布克納漏斗內應先置濾紙、漏斗或濾堦固定在抽氣瓶上。瓶之側管與水流抽氣器連接，瓶與真空源之間插接緩衝瓶。壓力差使過濾加快。

結晶狀沈澱使用真空過濾法較有利。膠狀沈澱物切勿用此法，因所加壓力迫使粒子堵住過濾孔隙而不通過。



圖五 使用布克納漏斗之成套真空過濾裝置

(二)、真空過濾設備與過濾介質

1. 布克納漏斗(Buchner Funnels)常用於真空過濾，乃非錐形而係平底多孔者，用一直徑足以覆蓋多孔底之圓形濾紙置於平底上潤濕後，微施真空可使緊貼其上。
2. 使用布克納漏斗時，先使沈澱沈底，以傾析法用玻棒將液相引至濾紙中央，微施真空，直到固體覆滿濾紙，再提高真空，加入所餘沈澱。
3. 可用少量洗液洗滌沈澱，洗時通過愈快愈好(輕施真空)。勿在布克納漏斗內、乾燥、稱量、灼燒沈澱物。
4. 布克納漏斗不宜用於重量分析，而適用於大量結晶沈澱之快速過濾。極適用於合成工作，沈澱物可靜置漏斗中自然乾燥及用真空泵或水流抽氣器使室內空氣流經沈澱加速乾燥。沈澱內餘水可用水溶性溶劑洗去。

注意：NOTE

高揮發性液體，乙醚及熱溶液不便於真空過濾，抽吸導致過度蒸發，足以冷卻溶液使溶質沈澱。

萃 取

溶質在不同溶劑中有不同溶解度，以溶劑從混合物中選擇性地去除某種溶質之程序稱為萃取。待萃取溶質可能在固體或液體溶媒中，而用於萃取之溶劑可能為水，水可融溶劑，或水不融溶劑。溶劑之選擇視溶質及操作條件而定。

一、使用不融性溶劑萃取溶質

溶質可溶於許多互不相融溶劑中，溶質分配在兩互不相融之溶劑中的濃度其比例恒定，此比例稱為“分配係數”。其與溶劑體積和溶質之總濃度無關。此種型式萃取乃將一溶質從一溶劑中轉移到另一溶劑中。此法可用於從反應物中分離反應生成物，也可從其他溶液中分離所要物質。分液漏斗常用於此種目的。

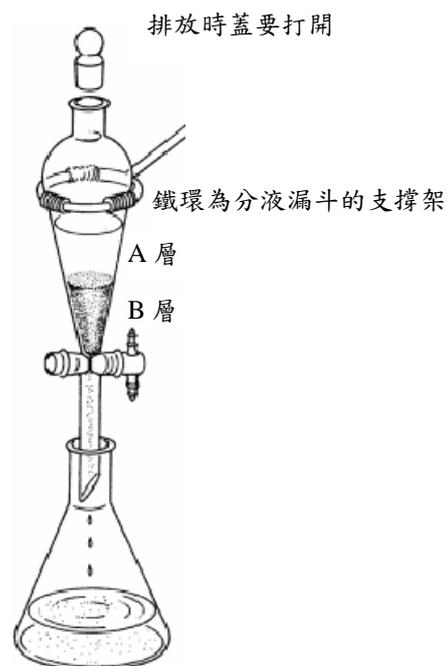
萃取時，“必須使用”不相溶溶劑，因其不能互相均勻混合，會分開成兩相。“不可使用”相溶溶劑，因其可以按任何比例混合而不分開成兩相。

少量溶劑多次萃取，較大量溶劑一次萃取效果為佳。萃取劑的選擇決定溶質留於分液漏斗內或由分液漏斗流放出，密度大之溶劑在分液漏斗之底層，必須流放出。輕者在上層，須留在分液漏斗內。

二、使用高密度萃取劑之步驟

使用分液漏斗附環架或其他支撐(見圖六)。

- (1) 將待萃取溶液注入漏斗中，漏斗體積須為溶液及溶劑總和之兩倍。
- (2) 注入萃取劑，加蓋。
- (3) 輕輕搖動漏斗。
- (4) 倒置漏斗並慢慢地打開栓塞放出氣體。
- (5) 關緊栓塞，漏斗仍倒置，再搖動。
- (6) 重覆 4 及 5 步驟。
- (7) 置漏斗於環架上，靜待分開成兩層，拿開頂蓋。
- (8) 慢慢轉開栓塞排出底層。
- (9) 換新鮮萃取劑，從第二步開始，重覆操作多次，至符合須要為止。
- (10) 把所有排出之底層合併在一起。



圖六 萃取步驟 以分液漏斗分離不互溶液體

三、技巧與注意事項

1. 分液漏斗貴而易破。若須置於缺口環架上，請小心放置及取用，以免分液漏斗與環架在裝卸時碰破。
2. 分液漏斗恢復正常垂掛之前，確保栓塞關緊不可鬆動。
3. 漏斗頂蓋總要關緊，搖動漏斗使兩液混合時，漏斗內部壓力因兩不相溶溶劑分壓加成效應而增加。若使用 NaHCO_3 又有酸存在，則因放出 CO_2 而壓力增高。欲將高壓降至大氣壓可用兩手操作，一手栓緊頂蓋，另一手打開栓塞(圖七)。放氣步驟視須要情形重覆多次；直到不再聽到嘶嘶聲為止。
4. 時常有稍許不溶物集在兩液界面之間，不取出這些物質而要分開兩層很難。但可在萃取完成之後或等到最後洗滌或乾燥萃取物時，以過濾法除去之。



圖七 如何握持搖動分液漏斗及排氣

四、選擇溶劑的考慮

1. 物以類聚。
2. 有機溶劑可溶解有機溶質。
3. 水可溶無機化合物及有機酸和鹼之類的化合物。
4. 有機酸溶於有機溶劑可用鹼(NaOH 、 Na_2CO_3 或 NaHCO_3)萃入水中。

五、從萃取劑中回收溶質

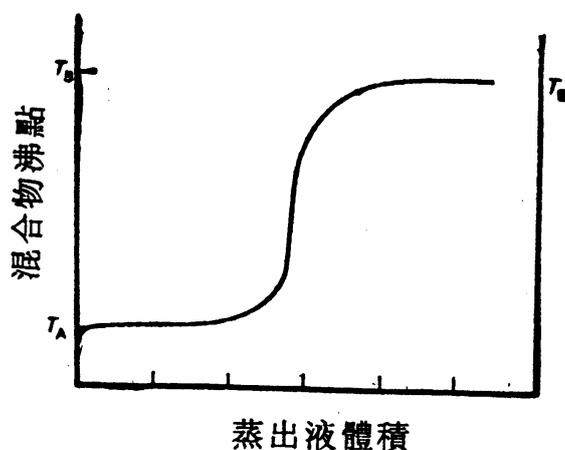
萃取後萃取劑中會有所要溶質，為求經濟，溶劑可再回收(旋轉濃縮)。

常壓蒸餾

常壓蒸餾可以把揮發的液體與不揮發的物質分離，也可以分離兩種或兩種以上沸點相差較大(至少 30°C 以上)的液體混合物。

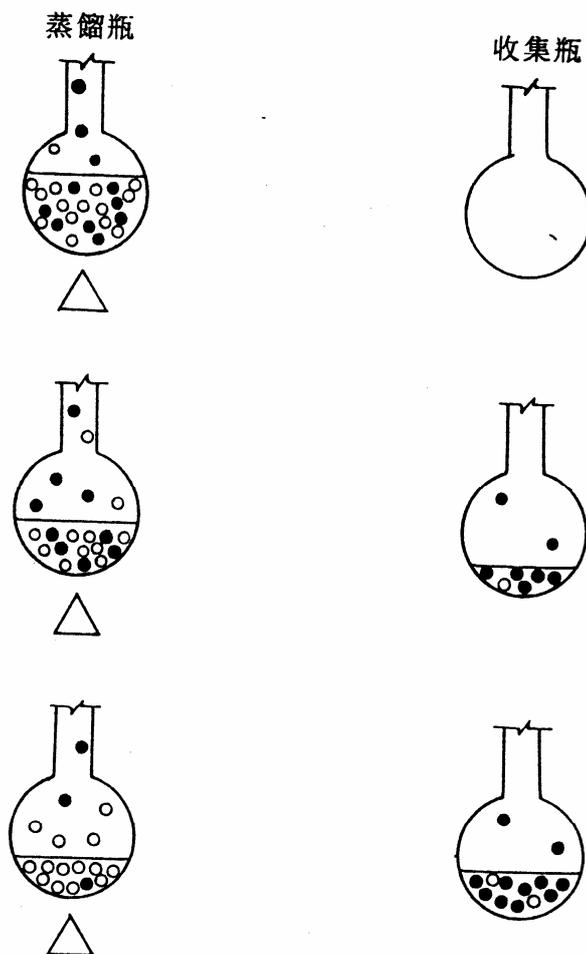
蒸餾廣泛地應用於分離和純化液體有機化合物。它是根據混合物中各成分的蒸氣壓不同而達到分離的目的。一個液體的蒸氣壓 P 是該液體表面的分子進入氣相的傾向大小的客觀量度。在一定的溫度下，該液體的蒸氣壓是一定的，並不受液體表面的總壓力—大氣壓(P_0)的影響。當液體的溫度不斷升高時，蒸氣壓也隨之增加，直至該液體的蒸氣壓等於液體表面的大氣壓力，即 $P=P_0$ ，這時就有大量氣泡從液體內部逸出，即液體沸騰。我們定義在 $P=P_0$ 時的溫度為該液體的**沸點**。一個純淨的液體的沸點，在一定的外界壓力下是一個常數。例如，純水在一個大氣壓下的沸點為 100°C 。在室溫下具有較高蒸氣壓的液體的沸點比在室溫下具有較低蒸氣壓的液體的沸點要低。

當一個液體混合物沸騰時，液體上面的蒸氣組成與液體混合物的組成不同，蒸氣中易揮發的成份較多。假如把在沸騰時液體上面的蒸氣進行收集並冷卻成液體，這時冷卻收集到的液體的組成與蒸氣的組成相同。隨著易揮發組成的蒸出，混合物的易揮發成分將變小，因而混合物的沸點稍有升高，這是由於組成發生了變化。如果我們這時繼續加熱使混合物沸騰，並且收集蒸出液，計量蒸出液的體積和記錄該蒸出液時的沸點，我們可以把這些數據轉換成沸點對蒸出液體積的曲線圖。如果在一個混合物裡的兩個組的沸點相差至少 100°C ($\Delta \text{b.p.} > 100^{\circ}\text{C}$)，並且存在於混合物中的兩個組成體積相等，我們就可以得到像圖八那樣的蒸餾曲線。當溫度相對穩定時，收集到的蒸出液將是原來個純組成。如果兩個組成的沸點相差較近 ($\Delta \text{b.p.} < 30^{\circ}\text{C}$)，用蒸餾的方法分離混合物的兩個組成將是不適用的，蒸餾曲線則不會表現出溫度相對穩定的區域。



圖八 蒸餾曲線

蒸餾過程可用圖九表示。



圖九蒸餾步驟示意圖

第一步:加熱蒸餾瓶，使液體混合物沸騰。易揮發組成(●)於液體上面的蒸氣中較多，不易揮發的組成(○)大多留在原來的液相。

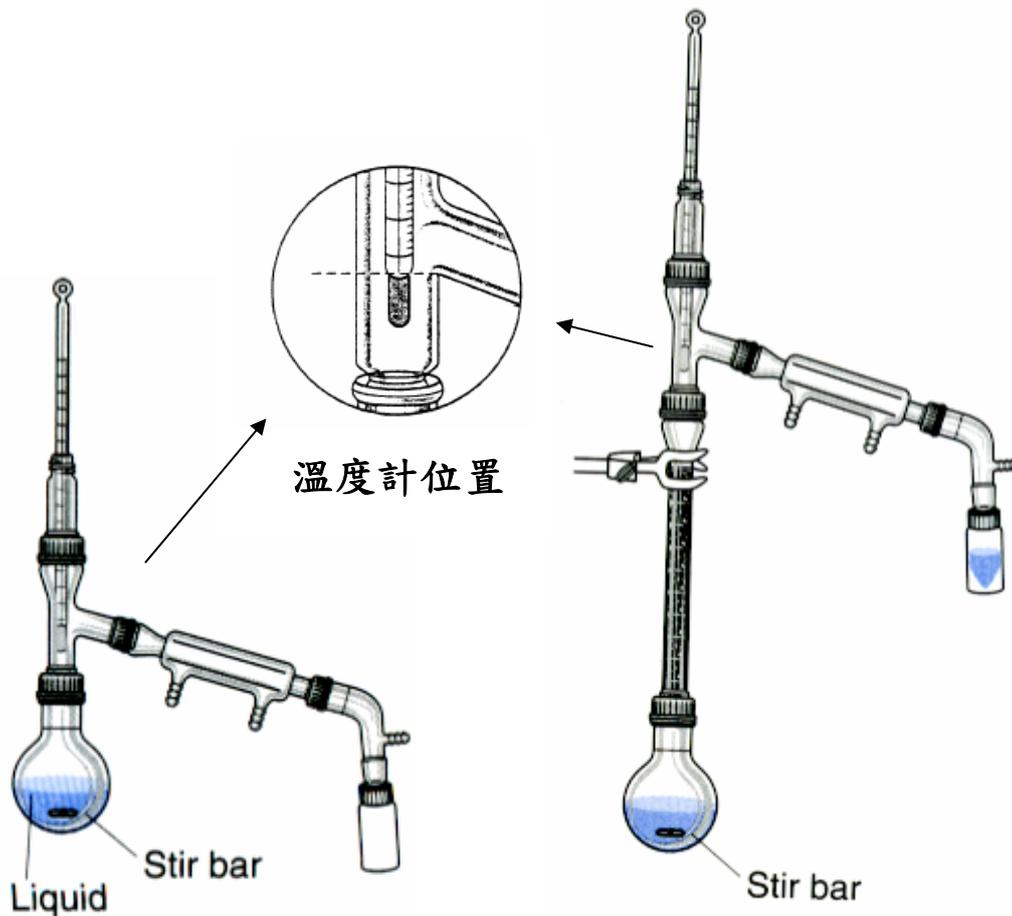
第二步:繼續加熱，將蒸氣冷卻並收集到收集瓶裏，易揮發成分於冷卻的蒸氣中較多，蒸餾瓶裏液體混合物的總體積變小，不易揮發成分的濃度相對增大。

第三步:繼續加熱，使易揮發成分收集於收集瓶中，在蒸餾瓶裏留存下來的液體主要是不易揮發的成分，從而達到分離的目的。

在常壓下進行蒸餾時，大氣壓往往不是恰好為 760mmHg，嚴格說來，應對觀察到的沸點加以校正，但因偏差較小(一般大氣壓相差 20mmHg，校正值 $\pm 1^{\circ}\text{C}$)，所以，對一般實驗來說，可忽略不計。我們在蒸餾時，實際測量的不是溶液的沸點，而是蒸出液的沸點，即蒸出液氣液平衡時的溫度。

常壓蒸餾是在實驗室裏常用的一種純化及分離液體有機化合物的方法。常壓蒸餾包括把液體變為氣體，然後氣體再凝結為液體兩個步驟。利用蒸餾可以測定純淨化合物的沸點，分離兩種或兩種以上沸點相差較大($\Delta b.p.$ 在 30°C 以上)的液體混合物，或者把揮發的液體與不揮發的物質分開。

常壓蒸餾最常用的裝置是由蒸餾瓶、溫度計、直形冷凝管、接引管和收集瓶組成的簡單蒸餾(如圖十所示)。此外，為了增加分離的效果，實驗可加裝分餾柱的分餾裝置(如圖十一所示)。



圖十 簡單蒸餾

圖十一 分餾裝置

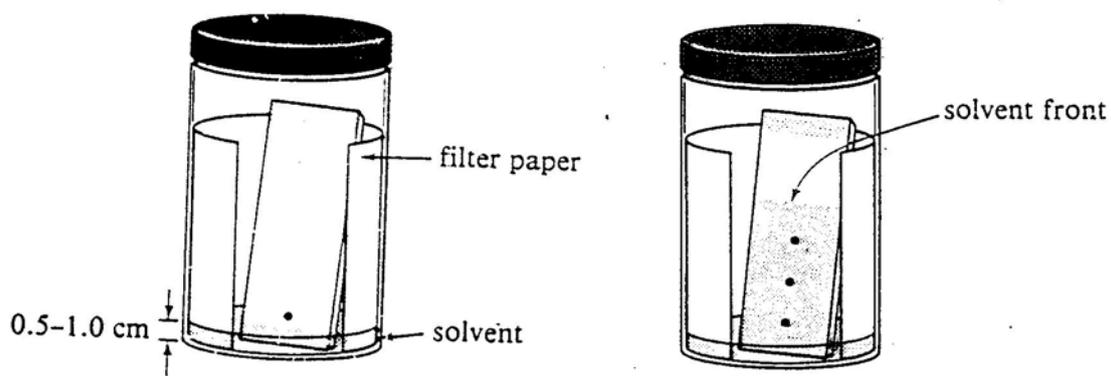
TLC 分析

點樣

1. 將約 1mg 固體染料溶於易揮發溶劑（例如丙酮或乙酸乙酯）中，濃度不可太濃。
2. 用毛細管沾取溶液（毛細現象）。
3. 輕巧且快速的點處於離 TLC 片一端 1.0cm 處，點越小越好。
4. 溶劑揮發後才可點下一次。
5. 視溶液濃度而定，決定點樣的次數。
6. 若有多個點，注意點與點之間的距離。

準備展開槽：

將展開液於倒入展開槽中，液面不可高於 TLC 片的基線，否則會使分析物溶解於展開液中；放一張濾紙於展開槽中，蓋上瓶蓋，靜置幾分鐘，使溶劑蒸氣達飽和。



TLC 片展開

1. 用鑷子夾 TLC 片上端，至於展開槽中。
2. 蓋上瓶蓋，跑片時勿移動之。
3. 當溶劑前端快達 TLC 片頂端時，移出展開槽，很快用鉛筆畫下前端。
4. 畫下可見的點。

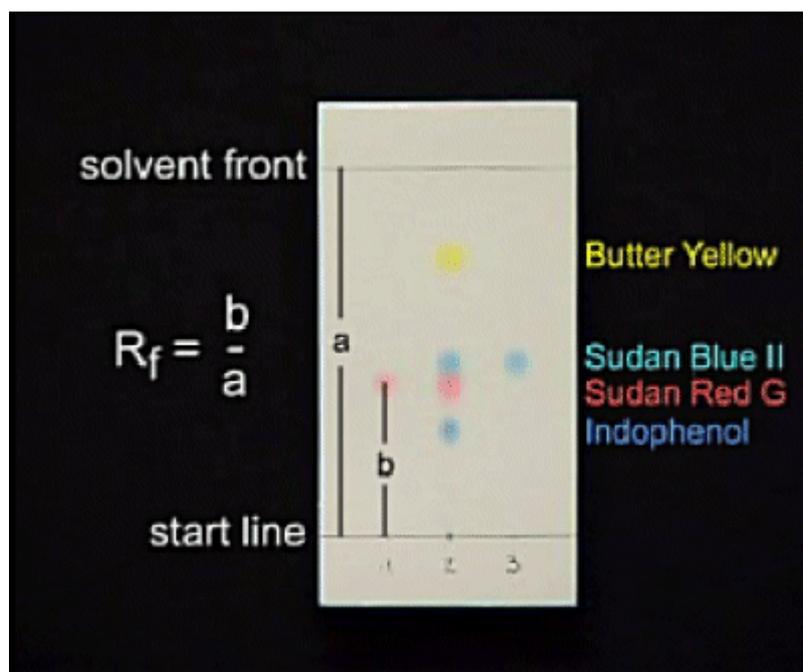
Visualizing the spots

1. 紫外光：TLC 片原塗佈一層螢光物質，若分析物會吸收紫外光，則會吸收螢光而顯現出黑點。
2. 碘槽：大部分有機物可與碘形成黃棕色錯合物。

3. 其他顯色劑。

R_f 值

由於分析物中各成分與濾紙及展開液間之吸附力不盡相同，上升距離便有異(如圖十二所示)，此可以 R_f 值(Retention factor)來鑑定各成份。



圖十二 跑完片示意圖

附錄三 一些化合物在紅外線吸收光譜中的特性吸收峰

Type of compound	Major IR bands(cm^{-1}) (approximate)	note
Alkane	3000 (C-H stretching) 1465 (CH_2 scissoring) 1450 (CH_3 asymmetric bending) 1375 (CH_3 symmetric bending)	Saturated hydrocarbons give simple spectra, with few absorption. An isopropyl group shows two equally intense peaks around 1385 and 1370 cm^{-1} , while for a <i>tert</i> -butyl group, the peaks are of unequal intensity.
Alkene	3100 (H-C=C stretching) 1630 (weak)(C=C stretching) 1000-650 (H-C=C out-of-plane bending)	Monosubstituted alkenes show two strong bands at 990 and 910 cm^{-1} , <i>cis</i> -Alkenes show one strong band around 700 cm^{-1} , while <i>trans</i> -alkenes have one strong band near 890 cm^{-1} . Symmetrical alkenes do not show a C=C stretching absorption.
Alkyne	3300 sharp (H-C\equivC) stretching 2150-2100 (C \equiv C stretching)	Absorption at 2150-2100 cm^{-1} is weak or absent for internal alkynes.
Aromatic	3100 (sp^2 C-H stretching) 2000-1667 (overtone bands) 1600-1475 (C=C ring stretching) 900-690 (out-of-plane bending)	Bands at 900-690 cm^{-1} show the alkyl substitution pattern: monosubstituted-two bands near 750 and 700 cm^{-1} ; <i>ortho</i> -disubstituted-one band near 750 cm^{-1} ; <i>meta</i> -disubstituted-three bands near 890, 800, and 690 cm^{-1} ; and <i>para</i> -disubstituted-one band near 830 cm^{-1} .
Alkyl halide	800-600 (C-Cl stretching)	C-Br and C-I absorb in the far infrared region (<690 cm^{-1}). Aryl chlorides have C-Cl stretching at 1096-1089 cm^{-1}
Alcohol and phenol	3650-3200 broad (OH stretching) 1250-1000 (C-O stretching)	Neat alcohols absorb near 3300 cm^{-1} . Broad width of the band is due to intermolecular hydrogen bonding. The position of the C-O stretching band varies for a primary, secondary, and tertiary alcohol: 1050 cm^{-1} (primary); 1100 cm^{-1} (secondary); 1150 cm^{-1} (tertiary). In phenols, this band is around 1220-1200 cm^{-1} .
Ether	1300-1000 (C-O stretching)	For aliphatic ethers, this is generally the main band of interest. Aromatic ethers have two bands at 1245 and 1030 cm^{-1} .
Amine	3550-3250 (N-H stretching) 1640-1560 broad (N-H bending-primary amine)	Primary amines show two overlapping absorption bands at 3550-3250 cm^{-1} , while secondary amines have only one. Tertiary

	1250-1000 (C-N stretching)	amines do not absorb in this region. Aliphatic amines also show weak to moderate C-N stretching at 1100-1000 cm^{-1} . This band is shifted to higher frequencies in aromatic amines (1200-1100 cm^{-1})
Aldehyde	1725 (C=O stretching) 2750 and 2850 (aldehydic C-H stretching)	Carbonyl stretching for aromatic aldehydes is at lower frequency. Bands at 2750 and 2850 cm^{-1} are sharp, but weak. The higher frequency band may be obscured by aliphatic C-H stretching band.
Ketone	1715 (C=O stretching)	Conjugation decreases the frequency of the carbonyl stretching. Strained cyclic ketones absorb at higher frequencies than nonstrained cyclic ketones (1775-1740 cm^{-1}).
Ester	1735 (C=O stretching) 1300-1000 (C-O stretching)	C-O stretching at 1300-1000 cm^{-1} is actually two bands, one stronger than the other. Small ring lactones have higher carbonyl stretching frequencies.
Carboxylic acid	3300-2400 (O-H stretching) 1710 (C=O stretching) 1320-1210(C-O stretching)	Carboxylic acids have very broad O-H stretching that may obscure the C-H stretching band. The carbonyl stretching is also broad. The carbonyl group in dimerized saturated aliphatic acids absorbs in the region 1720-1706 cm^{-1} while monomeric aliphatic acids show carbonyl absorption near 1710 cm^{-1} .
Amide	3550-3060 (N-H stretching) 1650 (C=O stretching) 1640-1550 (N-H bending)	Unsubstituted amides show two N-H stretching bands, while mono-substituted amides show one. Disubstituted amides do not absorb in the N-H stretching region. The carbonyl stretching frequency is decreased due to resonance.
Anhydride	1810 and 1760 (two C=O stretches) 1300-900 (C-O stretching)	Anhydrides give two strong carbonyl bands, one for symmetric stretching and the other for asymmetric stretching.
Nitrile	2260-2240 (C \equiv N stretching)	Conjugation decrease the frequency to 2240-2222 cm^{-1} .
Nitro	1550 and 1350 (NO ₂ stretching)	Symmetric and asymmetric NO ₂ stretching.

附錄四 週期表

H 氫 1 1.0079																	He 氦 2 4.003
Li 鋰 3 6.941	Be 鈹 4 9.012											B 硼 5 10.811	C 碳 6 12.011	N 氮 7 14.007	O 氧 8 15.999	F 氟 9 18.998	Ne 氖 10 20.180
Na 鈉 11 22.990	Mg 鎂 12 24.305											Al 鋁 13 26.982	Si 矽 14 28.086	P 磷 15 30.974	S 硫 16 32.066	Cl 氯 17 35.453	Ar 氬 18 39.948
K 鉀 19 39.098	Ca 鈣 20 40.078	Sc 釷 21 44.95	Ti 鈦 22 47.88	V 釩 23 50.942	Cr 鉻 24 51.996	Mn 錳 25 54.938	Fe 鐵 26 55.847	Co 鈷 27 58.933	Ni 鎳 28 58.693	Cu 銅 29 63.546	Zn 鋅 30 65.39	Ga 鎵 31 69.723	Ge 鍺 32 72.61	As 砷 33 74.992	Se 硒 34 78.96	Br 溴 35 79.904	Kr 氪 36 83.80
Rb 鉀 37 85.468	Sr 銣 38 87.62	Y 釷 39 88.906	Zr 鈦 40 91.224	Nb 鈮 41 92.906	Mo 鉬 42 95.94	Tc 錳 43 98.906	Ru 鈷 44 101.07	Rh 銠 45 102.91	Pd 鈀 46 106.42	Ag 銀 47 107.87	Cd 鎘 48 112.41	In 銦 49 114.82	Sn 錫 50 118.71	Sb 銻 51 121.76	Te 碲 52 127.60	I 碘 53 126.90	Xe 氙 54 131.29
Cs 銣 55 132.91	Ba 鋇 56 137.33	Lu 鑷 71 174.97	Hf 鈦 72 178.49	Ta 鉭 73 180.95	W 鎢 74 183.85	Re 錒 75 186.21	Os 銱 76 190.2	Ir 銥 77 192.22	Pt 鉑 78 195.08	Au 金 79 196.97	Hg 汞 80 200.59	Tl 鉍 81 204.38	Pb 鉛 82 207.2	Bi 鉍 83 208.98	Po 釷 84 209	At 砒 85 210	Rn 氡 86 222
Fr 銣 87 223	Ra 釷 88 226	Lw 103	Unq 104	Unp 105	Unh 106	Uns 107	Uno 108	Une 109	Uun 110	Uuu 111	Uub 112	Uut 113	Uuq 114	Uup 115	Uuh 116	Uus 117	Uuo 118
		La 釷 57 138.91	Ce 鈰 58 140.12	Pr 釷 59 140.91	Nd 釷 60 144.24	Pm 鉕 61 146.92	Sm 62 62 150.36	Eu 鈰 63 151.97	Gd 釷 64 157.25	Tb 釷 65 158.93	Dy 釷 66 162.50	Ho 釷 67 164.93	Er 釷 68 167.26	Tm 釷 69 168.93	Yb 釷 70 173.04		
		Ac 釷 89 227	Th 釷 90 232.04	Pa 釷 91 231.04	U 鈾 92 238.03	Np 釷 93 237.05	Pu 釷 94 244	Am 釷 95 243	Cm 釷 96 247	Bk 釷 97 247	Cf 釷 98 251	Es 釷 99 252	Fm 釷 100 257	Md 釷 101 258	No 釷 102 259		

