



碘鐘實驗-積分速率定律式及活化能

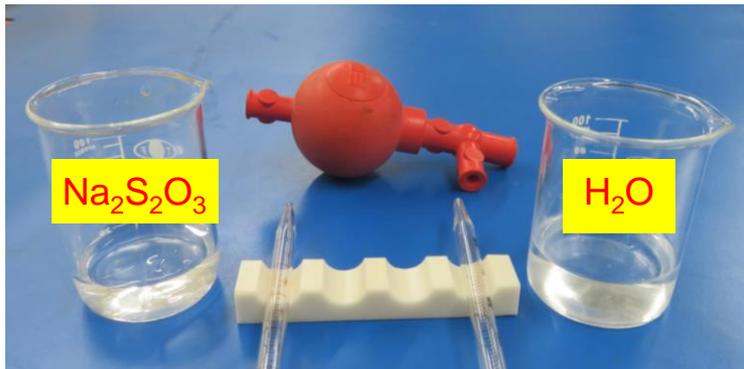
2025/02/04修訂

領取專用器材

- 10 個 50 mL 錐形瓶洗淨烘乾放冷備用
- 2 支 10 mL 刻度吸管、1 個安全吸球、1 個吸量管架
- 6 個軟木塞，1 個保麗龍湯杯，1 支溫度計
- 數張標籤紙（標示吸量管、燒杯）
- 1 個計時器、1 個小攪拌子（**助教點發、收**）

準備個人器材

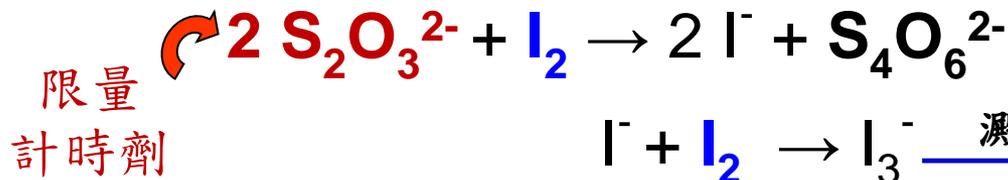
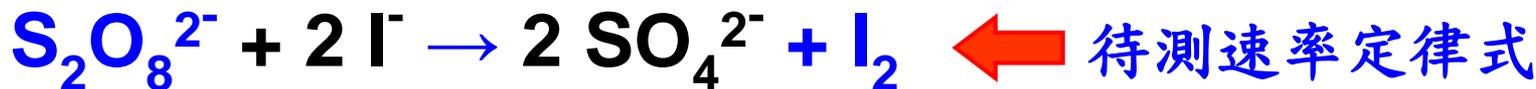
- 1 個 100 mL 燒杯洗淨烘乾放冷，裝取 40 mL $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$



- ✓ 烘箱內錐形瓶不要放過滿，以防掉落
- ✓ 戴麻布手套拿取烘箱內錐形瓶，以防燙傷



實驗目的與技能



實驗目的

I. 以積分作圖法決定反應級數與速率常數

$$\text{Rate} = k' [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^m$$

II. 利用阿瑞尼斯方程式測定活化能 E_a

$$\ln(k) = \frac{-E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln A$$

III. 催化劑對反應速率的影響

實驗技能

■ 定量液體分注器、刻度吸量管、作圖

✓ 碘鐘交響曲：初速率法決定速率定律式， $\text{Rate} = k [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^m [\text{I}^-]^n$



積分作圖法

- 對一個單反應物之反應： $A \rightarrow P$
測量反應物 A 之濃度隨反應時間之變化
- 以作圖法決定反應物 A 之反應級數
 - $[A]$ vs t ，若為直線，則為 0 級反應
 - $\ln[A]$ vs t ，若為直線，則為 1 級反應
 - $1/[A]$ vs t ，若為直線，則為 2 級反應

t	[A]	$\ln[A]$	$1/[A]$
0	$[A]_0$	$\ln[A]_0$	$1/[A]_0$
t_1	$[A]_1$	$\ln[A]_1$	$1/[A]_1$
t_2	$[A]_2$	$\ln[A]_2$	$1/[A]_2$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

註： $[A]_0$ 為起始濃度， $[A]$ 為經時間 t 後，反應物 A 之濃度



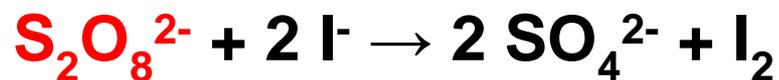
積分速率定律式

- $A \rightarrow P$ ，反應物A之積分速率定律式

級數	速率定律式	積分速率定律式	作圖	斜率	截距
零級	$\text{rate} = \frac{-d[A]}{dt} = k$	$[A] = -kt + [A]_0$	$[A]$ vs. t	$-k$	$[A]_0$
一級	$\text{rate} = \frac{-d[A]}{dt} = k[A]$	$\ln[A] = -kt + \ln[A]_0$	$\ln[A]$ vs. t	$-k$	$\ln[A]_0$
二級	$\text{rate} = \frac{-d[A]}{dt} = k[A]^2$	$\frac{1}{[A]_t} = kt + \frac{1}{[A]_0}$	$1/[A]$ vs. t	k	$1/[A]_0$



積分作圖法－實驗設計



$$\text{Rate} = k' [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^m$$



$$\Delta n_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}} = 2\Delta n_{\text{S}_2\text{O}_8^{2-}}$$

V (mL) 編號	2%澱粉	*1.0 M NaI	**0.20 M Na ₂ S ₂ O ₃	H ₂ O	0.15 M K ₂ S ₂ O ₈	Δt (s)
1	1.0	5.0	5.5	1.5	5.0	Δt ₁
2	1.0	5.0	4.5	2.5	5.0	Δt ₂
3	1.0	5.0	3.5	3.5	5.0	Δt ₃
4	1.0	5.0	2.5	4.5	5.0	Δt ₄
5*	1.0	5.0	1.5	5.5	5.0	Δt ₅
6	1.0	5.0	0.5	6.5	5.0	Δt ₆

- ✓ NaI 濃度高，視為反應過程中濃度不變
- ✓ 僅討論 S₂O₈²⁻ 濃度 ([A]) 變化及其反應級數
- ✓ 改變限量計時劑 S₂O₃²⁻ 取量，以計算 S₂O₈²⁻ 之濃度變化



積分作圖法—實驗取量

編號	V (mL)	分注器		10 mL 吸量管		✓ 最後加 分注器
		2% 澱粉	1.0 M NaI	0.20 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	H_2O	0.15 M $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$
1		1.0	5.0	5.5	1.5	5.0
2		1.0	5.0	4.5	2.5	5.0
3		1.0	5.0	3.5	3.5	5.0
4		1.0	5.0	2.5	4.5	5.0
5		1.0	5.0	1.5	5.5	5.0
6		1.0	5.0	0.5	6.5	5.0

- ✓ 維持每次試驗反應物 NaI 與 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 為定量，改變計時劑 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 取量
- ✓ 加水以維持每次試驗總體積為 18.0 mL，保持反應物濃度相同

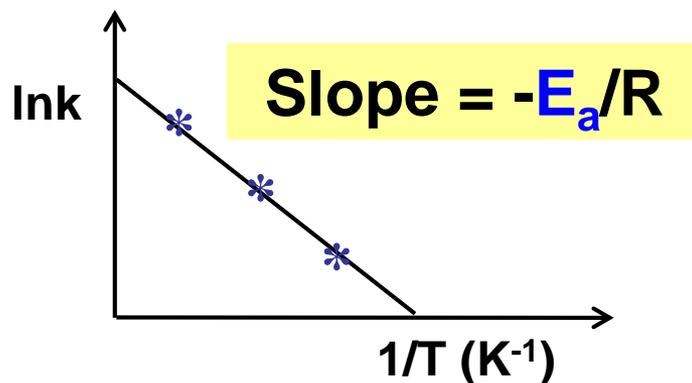


活化能與阿瑞尼斯方程式

- 固定反應物之濃度，測量不同溫度下之反應速率常數 k
- 以阿瑞尼斯方程式及作圖法測得碘鐘反應之活化能

$$\ln(k) = \frac{-E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln A$$

T_1	k_1
T_2	k_2
T_3	k_3





步驟 1：積分作圖法

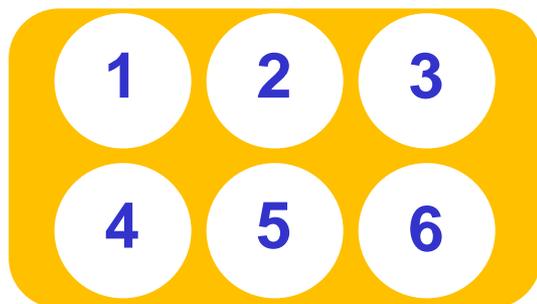


- 錐形瓶洗淨、烘乾、放冷、編號
- 按試驗表，量取定量溶液於1~6號錐形瓶
- 最後加入5.0 mL $K_2S_2O_8$ ，並開始計時
- 軟木塞塞住瓶口，混合瓶內溶液
- 溶液一變色，即停止計時，記錄 Δt
- 每隔30秒加一瓶，同時進行6瓶之反應與計時

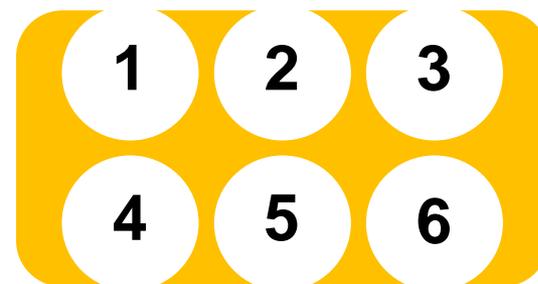
- ✓ 最後加入反應物 $K_2S_2O_8$
- ✓ 搖盪混合錐形瓶溶液與計時方式應盡量相同
- ✓ 思考：編號1~6 哪一瓶最快變色？哪一瓶最慢變色？為什麼？



兩組交替加入 $S_2O_8^{2-}$



第 1 組



第 2 組

試驗	t_i (mm:ss)	t_f (mm:ss)	Δt (s)
#1	0:10	22:15	
#2	0:40	15:21	
#3	1:10	12:02	
#4	1:40	9:03	
#5	2:10	6:38	
#6	2:40	4:14	

間隔 10~15 s



試驗	t_i (mm:ss)	t_f (mm:ss)	Δt (s)
#1	0:10		
#2	0:40		
#3	1:10		
#4	1:40		
#5	2:10		
#6	2:40		



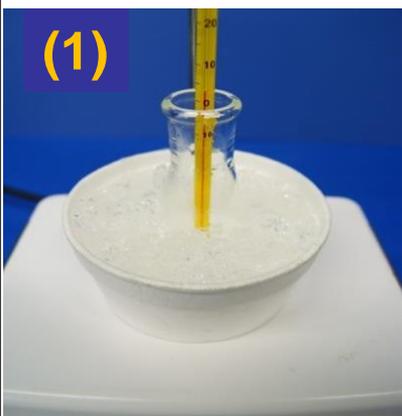
步驟 2：活化能測定

(1) 冰水浴：

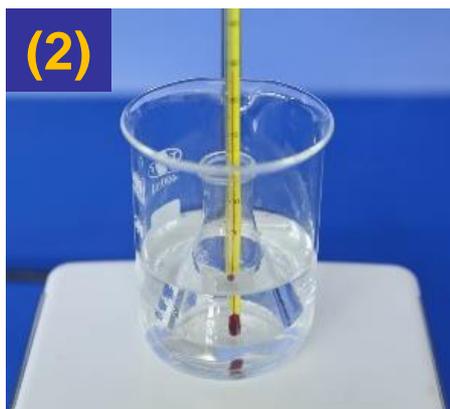
- 依編號5之取量，於錐形瓶中加入1.0 mL 澱粉、5.0 mL NaI、1.5 mL $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 、5.5 mL 去離子水，置於冰水浴中
- 溫度達穩定平衡後，加入5.0 mL $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 、開始計時
- 持續以攪拌子攪拌並測記瓶內溶液溫度，記錄溶液變色時間

(2) 溫水浴：

- 重複上述取量操作，但改為在 $\sim 40^\circ\text{C}$ 溫水浴中進行反應



冰水浴



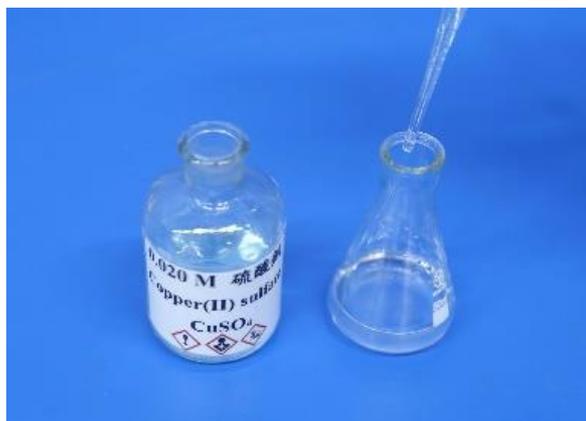
溫水浴

- ✓ 低溫反應時間長，約15-20分鐘，需持續以攪拌子攪拌
- ✓ 冰水浴中需有大量的冰以維持低溫
- ✓ 溫水浴水溫約 $\sim 40^\circ\text{C}$ ，變色時間快，需注意觀察



步驟 3：催化劑與反應速率

- 依編號5之試劑取量，於錐形瓶中依序加入
 - 1) 1.0 mL 澱粉
 - 2) 5.0 mL NaI
 - 3) 1.5 mL $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
 - 4) 5.5 mL 去離子水
 - 5) 2 滴 0.020 M $\text{CuSO}_4(\text{aq})$
 - 6) 最後加入 5.0 mL $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ，計時並混合溶液，測記變色時間



✓ $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 倒數第二個加入



實驗注意事項

- 使用同一組試劑且保持計時方式一致
- 以洗淨烘乾放冷100 mL燒杯，取40 mL之 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ，不多取
- 活化能 E_a
 - 以燒杯或保麗龍杯裝排煙櫃內水壺熱水調溫作為溫水浴
 - 測量反應前後錐形瓶內溶液溫度，取平均溫度
- 實驗結束
 - ✓ 廢液含碘需回收
 - ✓ 錐形瓶洗淨去除標籤紙，滴乾水後放烘箱烘乾
 - ✓ 攪拌子及計時器交還助教點收
 - ✓ 公用器材依清點表清點補齊簽名後，請助理助教簽核
 - ✓ 桌面整理擦拭，椅凳收在桌子下方
 - ✓ 值日生完成所安排之公務工作



數據處理：積分作圖法計算過程

- 報告需附原始數據表及Excel計算表格、通式、運算函數
- 作 3 圖，決定 $[S_2O_8^{2-}]$ 級數及速率常數

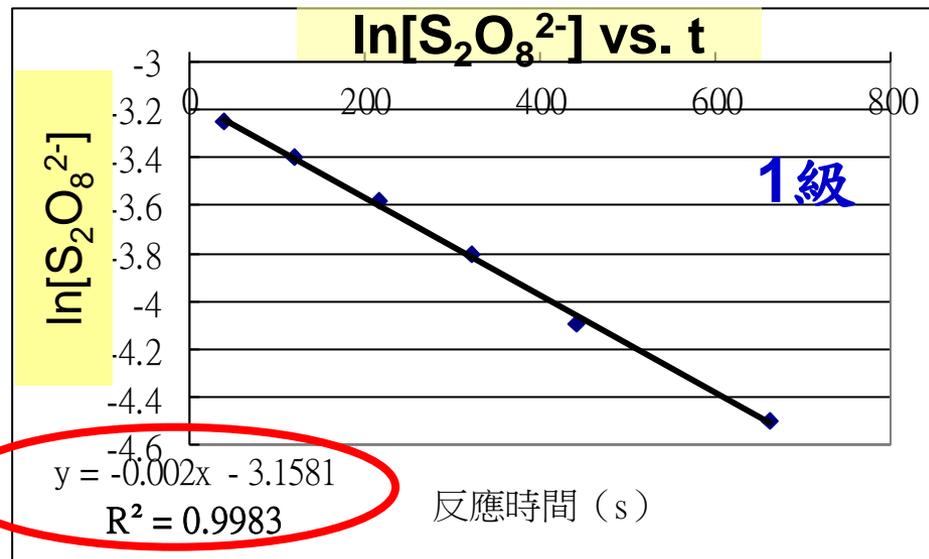
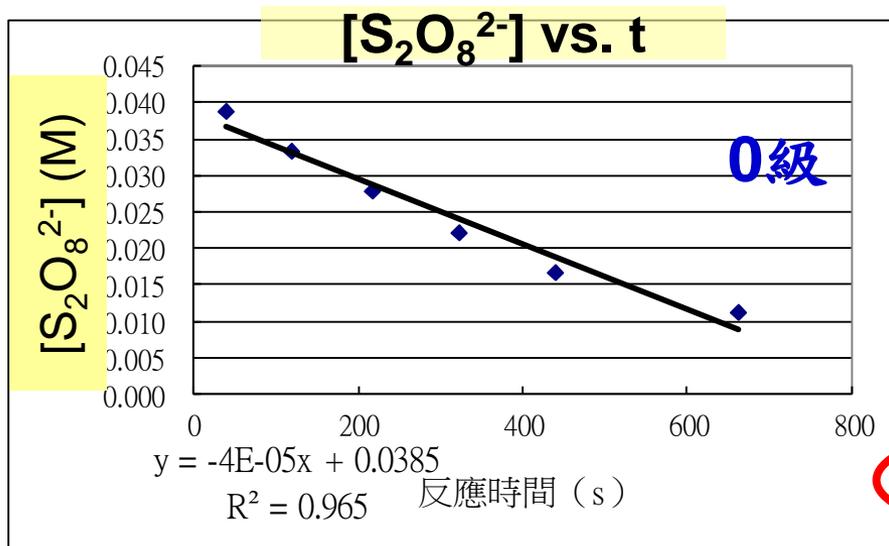
$$\Delta n_{S_2O_3^{2-}} = 2\Delta n_{S_2O_8^{2-}}$$

 $[A]_t$
 $\ln[A]_t$
 $1/[A]_t$

試驗	$\Delta n_{S_2O_3^{2-}}$ (mmol)	消耗 $S_2O_8^{2-}$ $\Delta n_{S_2O_8^{2-}}$ (mmol)	剩餘 $[S_2O_8^{2-}]$ (M)	$\ln[S_2O_8^{2-}]$	$1/[S_2O_8^{2-}]$	Δt
通式	$0.20 \times V_{S_2O_3^{2-}}$	$\Delta n_{S_2O_3^{2-}} / 2$	$(0.15 \times 5.00 - \Delta n_{S_2O_8^{2-}}) / 18.0$	$\ln[A]$	$1/[A]$	實驗值
#1	1.1	0.55	0.011	-4.50	90	Δt_1
#2	0.90	0.45	0.017	-4.09	60	Δt_2
#3	0.70	0.35	0.022	-3.81	45	Δt_3
#4	0.50	0.25	0.028	-3.58	36	Δt_4
#5	0.30	0.15	0.033	-3.40	30	Δt_5
#6	0.10	0.050	0.039	-3.25	26	Δt_6

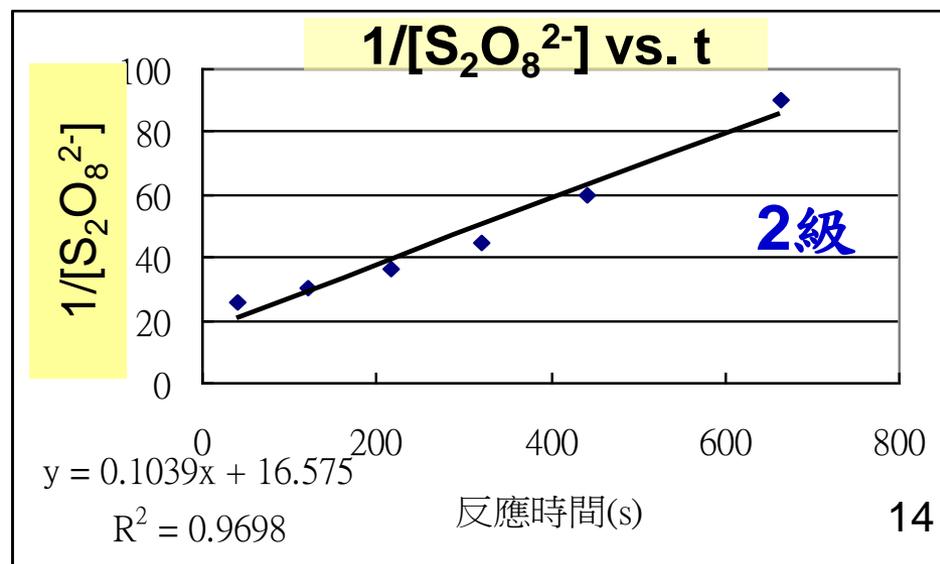


作圖決定反應級數及速率常數k



✓ 作圖要點：

- 圖標題及x y軸標示
- 最小方差直線及R²
- 由R² → 1 最近似直線，判斷反應級數
- 由斜率得知 k





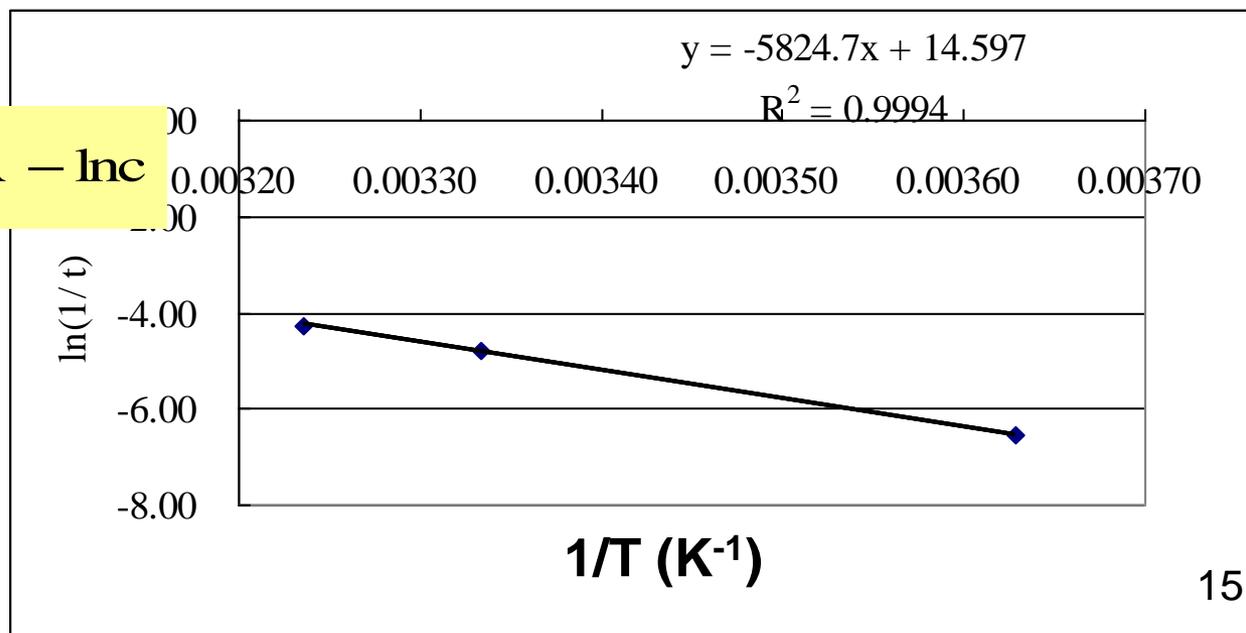
活化能數據處理範例

編號 5	T (°C, 均溫)	Δt (s)	T (K)	$\ln(1/\Delta t)$	$1/T$ (K ⁻¹)
冰浴	2.0	868	275.2	-6.766	0.003634
室溫	14.0	270	287.2	-5.598	0.003482
溫水浴	40.0	30	313.2	-3.40	0.003193

$$\ln(k) = \frac{-E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln A$$

$$\ln\left(\frac{1}{\Delta t}\right) = \frac{-E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln A - \ln c$$

$$\begin{aligned} E_a &= 5824.7 \times 8.31 \\ &= 48 \text{ kJ/mol (實驗值)} \end{aligned}$$





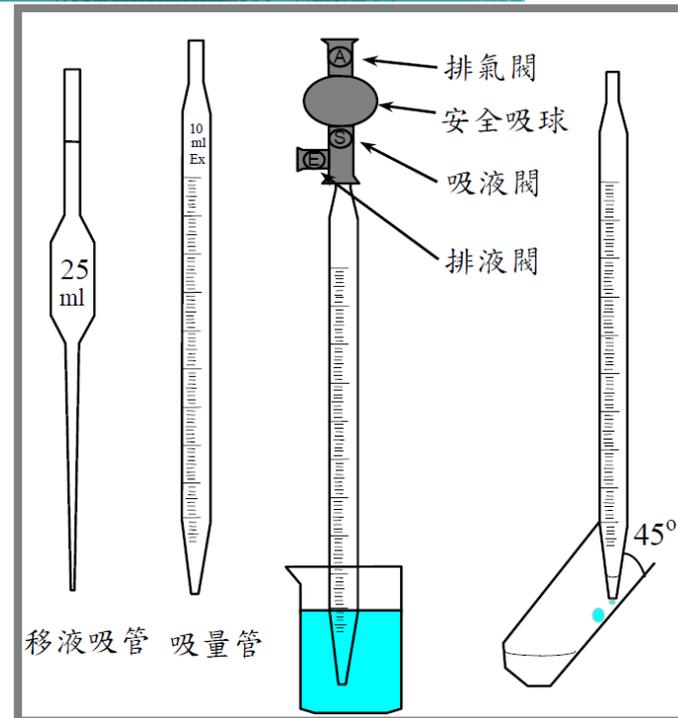
實驗報告

- 完整實驗報告含預習報告、實驗觀察紀錄，結果報告，下次上課繳交
- 詳列計算式
- 原始數據及 Excel 數據表與作圖，需附於報告
- 決定反應級數、速率常數與活化能
- 需有適合之有效數字與單位
- 具體結論
- 誤差討論



移液吸管與刻度吸量管

- 移液吸管玻璃管端只有一個標線，量取單一體積
- 刻度吸量管有較細微體積刻劃，用以變換所量取液體的體積
- 吸量管不可放置於烘箱高溫烘乾，以免體積改變
- 使用前先洗淨，再以少量待取試液潤洗 2 次
- 檢查安全吸球無漏氣後，裝接在吸量管上端
- 安全吸球不要裝入太深，以免擋住控制氣閥
- 吸量管的管口放進溶液中，不宜放的太淺，以免吸到空氣
- 吸取溶液超過吸量管標線，調整溶液到標線位置
- 轉置溶液於接收器皿時，吸量管口需貼靠器壁
- 拔除安全吸球，全部流放後停留約 15 秒
- 殘餘尖端溶液不強制排放
- 實驗後儘速沖洗乾淨



- 壓按A閥排氣，擠壓球體，將吸球內空氣排出
- 壓按S閥吸液，球體慢慢膨脹將液體吸入管內
- 壓按E閥排液，則可將液體排放