

改良 BZ 化學震盪反應與自製觀測儀

呂雲瑞

臺北市立西松高級中學

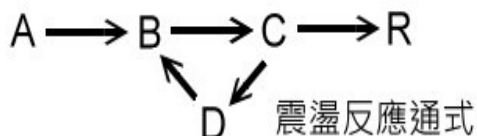
壹、前言

夜晚在港口觀察燈塔時，可見其光線有週期性的明滅狀態。在化學世界裡，由於內容包羅萬象，因此我們可找到一類特殊的化學反應，其某些成份也會出現類似的週期性形成及消失的現象，令人深感奇妙有趣，想一窺究竟原理！

貳、震盪反應

一般常見的化學反應，系統大都直接往平衡的狀態進行，而後即形成動平衡的狀態，不再有巨觀上的變化；震盪反應因為有複雜的反應機構，因此呈現出「震盪」的奇特現象(稱為十大化學反應之一)。震盪反應再多次震盪後還是會趨向平衡，只是反應速率較慢。在實驗中可以發現：不同的起始條件對震盪時間的長短與週期會有不同的影響。

這類被稱為“震盪反應”的實驗，其反應細節大多頗為複雜，可概略說明成：

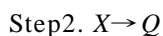
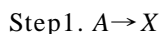


其中 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow R$ 稱為主要反應鏈(Main Reaction Chain)； $B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow B$ 稱為

回饋支鏈(Feed-Back Chain)；回饋支鏈常需藉由反應中的某些產物催化，而加速反應的進行，也使反應細節更為複雜。

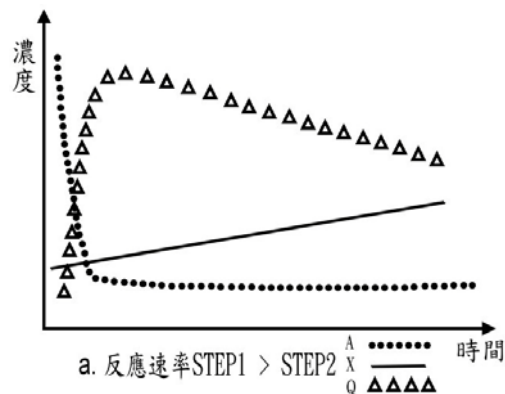
在很多的化學反應中，反應的產物會促進反應的進行。譬如核分裂所釋放出的中子，又可以撞擊其他的原子核而產生連鎖反應。有時化學反應反應物濃度改變，彼此間的消長，因而呈現了像震盪一樣的濃度變化。

先來舉個簡單的化學反應中反應物與產物濃度消長的例子：假設有一個化學反應



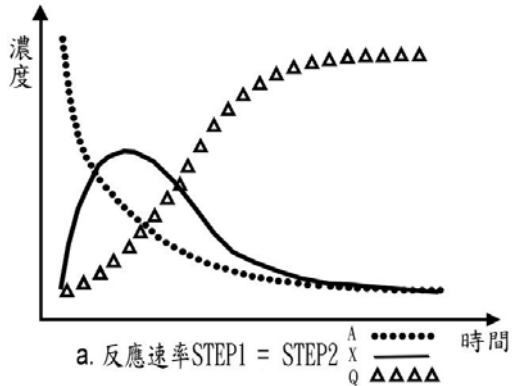
則可能有三種情況

a. Step1 的反應速率大於 Step2(圖一)



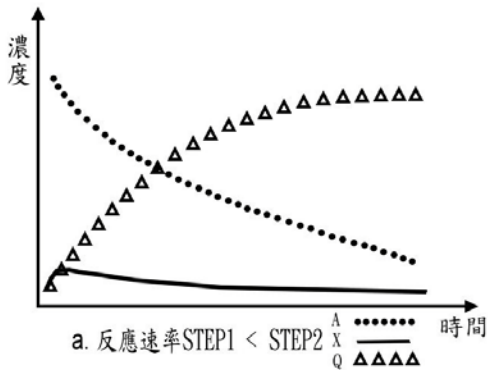
圖一

b. Step1 的反應速率等於 Step2(圖二)



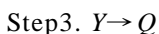
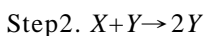
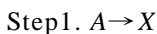
圖二

c. Step1 的反應速率小於 Step2(圖三)

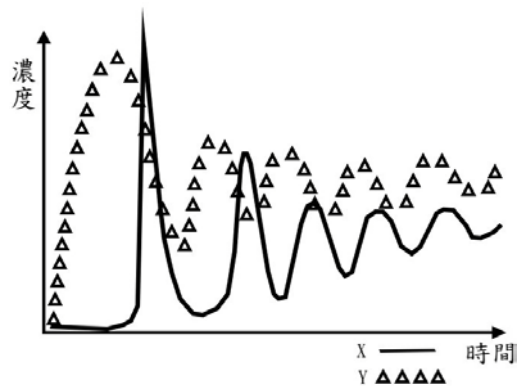


圖三

反應開始後，A 轉變成 X，X 又變成 Q，所以[A]會下降，[Q]會上升，[X]會隨著 Step1 的轉換而上升，Step2 的轉換而下降。但由於 Step1、Step2 的反應速度不同而有不同的變化曲線；那麼是怎麼樣的反應結構，會產生化學震盪的現象呢？一個例子是 1910 年 Alfred Lotka 提出了一個化學反應系統：



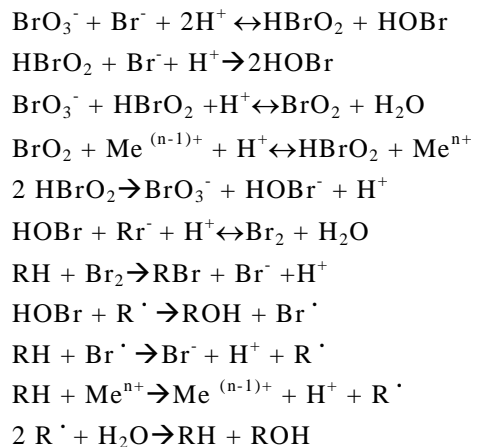
Step1 中 A 變成 X，Step2 是關於[X]、[Y]的變化，當[X]增加[Y]隨著增加，[X]又隨著[Y]的增加而減少，而 Step3 又從 Y 可以產生 Q。於是有一段的時間[X]跟[Y]呈現出震盪的現象(如圖四)。

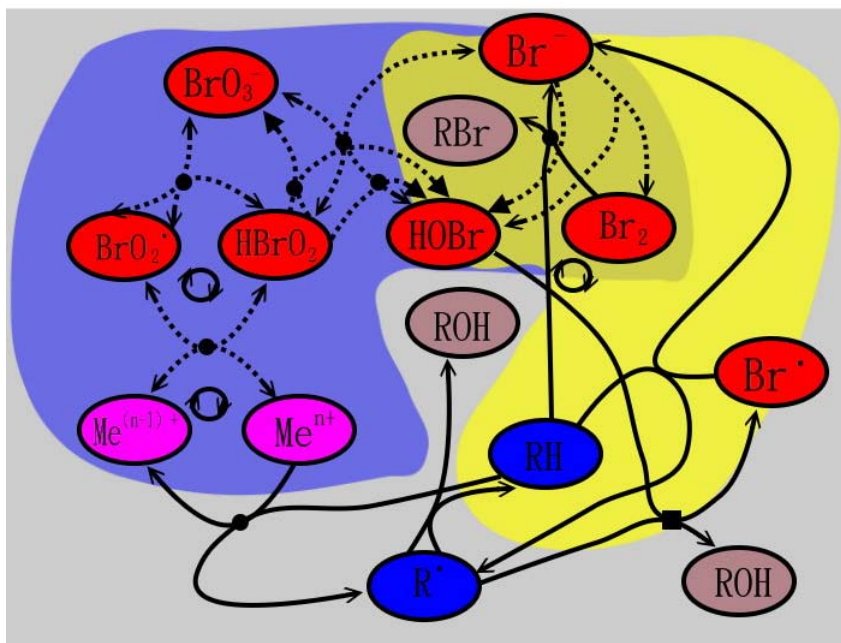


圖四

震盪反應是在化學中一個很有趣也很複雜的實驗(如圖五)，不論是談到化學動力學，氧化還原反應，錯離子以及反應速率，化學平衡等等，它都是一個很適合在課堂教學上給學生動手做的實驗。

震盪反應相關方程式



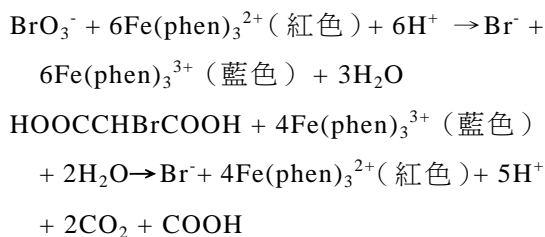
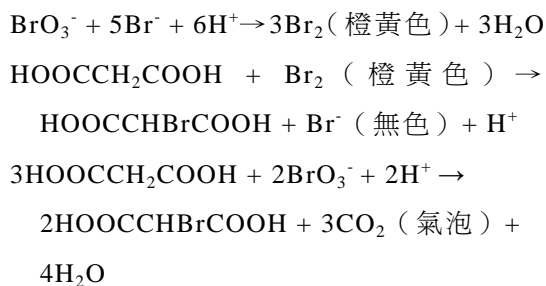


圖五、震盪反應溶液粒子相互碰撞示意圖

參、何謂 BZ 與方程式

震盪反應首先由 60 年代蘇聯生化學家 Belousov 與 Zhabotinsky 所發現，因此將二人發現的震盪反應稱為 BZ 反應。其反應是用丙二酸、溴酸鈉與溴化鈉在酸中混合，鈾(Ce)鹽及 Ferroin(鐵錯化合物)為催化劑兼指示劑的反應。本實驗將鈾(Ce)鹽移去，並將 Ferroin(鐵錯化合物)(稱為亞鐵靈)自行定量配製。

其反應方程式與實驗過程顏色示意圖(圖六、圖七)如下：



圖六



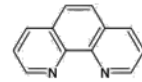
圖七

由實驗重複反應的再現性可知，在反應中具有回饋的作用，因此反應物與生成物之濃度不斷地互相增減，沒有平衡地呈現震盪式之重複變化，但是真的沒有反應終點嗎？其實不然，有的會因為某些反應物在過程中不會再生而達到終點，有些則會達到所謂的反應平衡而停止，且大部分的震盪反應的變化週期都會隨著時間逐漸流逝而增加。

這次所做的化學實驗，稱為「貝羅烏索夫及賈勃丁斯基反應」(Belousov-Zhabotinski reaction)，簡稱 BZ 反應的改良版本，在這個反應當中，顏色的變化有某種程度的規律，也叫它作「震盪反應」，震盪反應之機構很複雜，到目前尚未十分清楚。通常震盪反應之反應物的濃度會逐漸降低，而生成物會逐漸增加，平衡時，震盪反應即告中止。由本實驗重複反應的再現性可知在反應過程之中具有回饋的作用，因此反應物與生成物之濃度不斷地互相增減，沒有平衡地呈震盪式之重複變化。然而現在的生物學家認為，這種化學作用與動物斑紋的形成息息相關。

肆、原理和概念

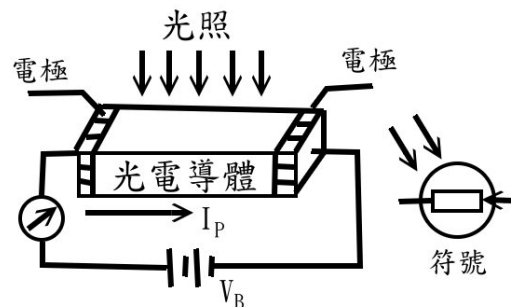
亞鐵靈 (Ferroin) 在此反應溶液內，丙二酸首先被 BrO_3^- 氧化，溶液內的 $\text{Fe}(\text{phen})_3^{2+}$ 是當觸媒用，反應時，造成 $[\text{Fe}(\text{phen})_3^{2+}] / [\text{Fe}(\text{phen})_3^{3+}]$ 之往返增減(註：(phen)=



這是一個氧化還原反應嗎？答案是肯定的。因為氧化數有變化，故為氧化還原反應。兩個錐形瓶中裝著透明的溶液，各滴入兩三滴紅色的液體，一杯馬上開始變紅色，偶爾有藍色一閃即過，另一杯則一開始為藍色，等過了數分鐘後，才開始有紅色一閃而過，且兩杯顏色一直在紅藍間震盪變化。此震盪反應約可持續一小時以上。

伍、光敏電阻的工作原理

最簡單的光敏電阻原理圖及其符號如下圖八所示，它是在均質的光電導體兩端加上電極後構成為光敏電阻，兩電極加上一定電壓後，當光照射到光電導體上，由光照產生的光生載子在外加電場作用下沿一定方向運動，在電路中產生電流，達到了光電轉換的目的。



圖八

陸、實驗藥品及裝置

一、實驗步驟

預備：準備兩個 125 mL 錐形瓶，皆加入 60 mL A 的溶液，一杯加入 3 mL 的 B 溶液之後，則馬上出現橙黃色，另一杯不加 B 溶液，接著兩杯都加入 10 mL 的 C 溶液，等到黃色褪掉後再進行步驟 3。

1. 自製光敏電阻偵測器：絕緣膠帶(黑)，光敏電阻，三用電錶，LED 燈泡(儀器組裝如圖九；連接方式如圖十)。



圖九

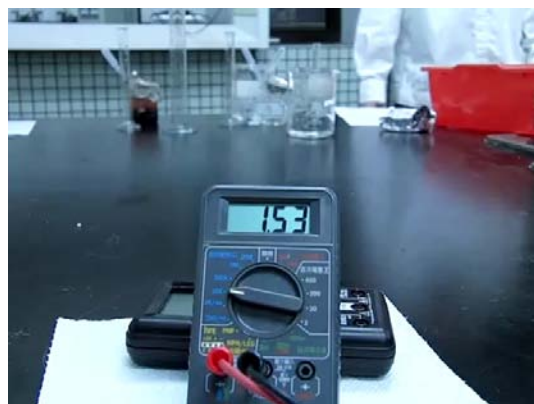


圖十

2. 將這兩個錐形瓶放於桌上，皆加入 2 滴紅色之亞鐵靈溶液，兩杯的溶液會開始在紅藍間變色呈震盪反應，但變

化情形不是完全一樣，如圖所示。若放置很長一段時間，則最終兩杯皆呈現淡黃色溶液。

3. 利用碼錶以及三用電錶(電阻值轉 2K)紀錄時間與電阻值變化(如圖十一)



圖十一

二、溶液和器材

1. A 溶液：5g 的溴酸鈉 (NaBrO_3 , sodium bromate) 溶於含 67 mL 的水及 2 mL 的濃硫酸的混合溶液之中(如圖十二)。



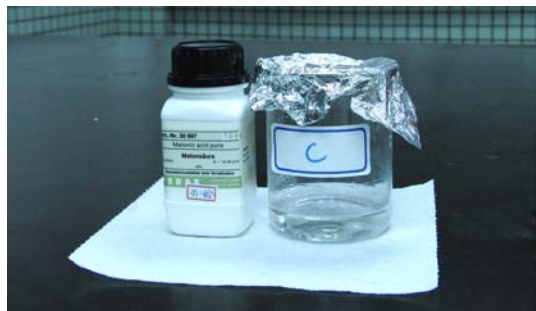
圖十二

2. B 溶液：1g 的溴化鈉 (NaBr , sodium bromide) 溶於 10 mL 的水中(如圖十三)。



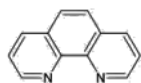
圖十三

3. C 溶液：1g 的丙二酸
($\text{HOOCCH}_2\text{COOH}$, malonic acid) 溶
於 10 mL 的水中(如圖十四)。

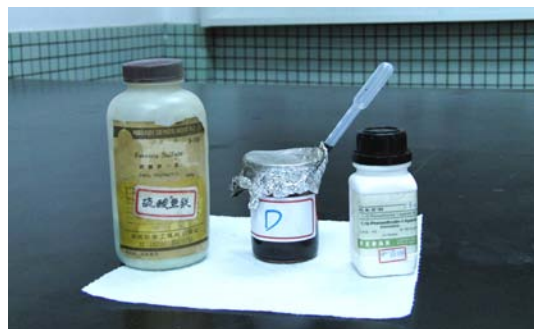


圖十四

4. 配製 0.25 M 的亞鐵靈 (ferroin)：
1.485g 的 o-phenanthroline (=phen



) 溶於 10 mL 的水及
0.695 g 的硫酸亞鐵混合溶液之中(如
圖十五)。



圖十五

柒、參考文獻

- 魏和祥，科學教育月刊，第 79 期，頁
62-64，國立台灣師範大學科教中
心，中華民國七十四年四月。
龜山猶一著；戴瑞益、柯順隆譯(1995)。
化學分析試藥配製法。台北市：正
文。
林敬二、楊美惠、楊寶旺、廖德章、薛敬
和，化學大辭典，壹圖書公司，
91 年二版四刷，附錄十一，
1766~1768。
Summerlin, Lee R. and Ealy, Jr., James L.,
Chemical Demonstrations: a
Sourcebook for Teachers, 2nd Ed.,
1988, Volume 1, p 114, Washington,
D.C., American Chemical Society.
P.W. Atkins, Physical Chemistry, 第六版，
26 章，809~813。

捌、附件：

實驗紀錄表格

將實驗所測量、分析之數據，記錄於下表中。

時間：_____ 地點：_____ 氣溫：_____°C 記錄者：_____

反應物	震盪次數	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均時間
	最大電阻值											
	最小電阻值											
	震盪週期(t)											
	最大電阻值											
	最小電阻值											
	震盪週期(t)											

本震盪(經驗式)反應速率定律式為 $R=k[\text{NaBrO}_3]^{1.10}[\text{H}^+]^{1.23}[\text{MA}]^{0.38}$ 【 $R \propto (1/t)$ 】

故速率常數 $k = (1/t) / [\text{NaBrO}_3]^{1.10}[\text{H}_2\text{SO}_4]^{1.23}[\text{MA}]^{0.38}$

將週期與 NaBrO_3 、 H_2SO_4 及 MA (丙二酸) 的濃度代入此公式，可求得 k 值。

再以 $\ln k$ 對 $1/T$ 作圖：得斜率 $m=?$

又斜率 $=(-E_a/R)$ ，且 $R=8.314 \text{ Joule}/(\text{mole} \times \text{K})$ ，故求得活化能 $E_a(\text{Joule})=?$

不同溫度下所換數得的 k 值及 $\ln k$

溫度 T(K)	293(20°C)	303(30°C)	313(40°C)	323(50°C)
平均震盪週期 t(sec)				
1/T(1/K)				
k 值				
$\ln k$				

◎結果討論與心得欄

實驗觀察

1. 是否有氣體產生？
2. 顏色的變化？
3. 震盪次數與間隔(週期)？