

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組化學科

040209

國立臺中第一高級中學

指導老師姓名

陳政平

作者姓名

鍾安迪

周禹謀

廖浩閔

黃仲岐

第四十四屆中小學科學展覽會
作品說明書

科別：化學科

組別：高中組

作品名稱：振盪反應的探討

關鍵詞：速率定律式、阿瑞尼士方程式、活化能

編號：

壹、 摘要:

在接觸到了驚人的 BZ 反應後，我們開始著手研究相關實驗。首先，想藉由改變各種反應物的濃度，看看反應的結果會有什麼差別，並記錄下反應時間的平均差，以求出反應速率，並進而求得「速率定律式」，來了解反應的機制。另外，在一開始便想試試看，能否利用其他化學藥品取代原本的反應物，因為我們當然很希望能找到不同的顏色變化！此外，我們還由阿瑞尼士方程式求出 $\log k$ 對 $1/T$ 的關係圖並求出活化能，驗證了阿瑞尼士方程式在振盪反應上應用的可行性。

貳、 研究動機:

在一次生物報告中，我們接觸到了「黏菌聚集的神祕圖案」，後來，老師推薦我們看「生物世界的數學遊戲」一書，才知道這圖案與 BZ 反應的圖形極為相似，於是我們去尋找與 BZ 反應有關的資料。另外也發現這個反應可和布雷反應結合成另一時間上的振盪反應，只是有關這類反應的資料實在太少，讓我們不禁想要親手研究看看。

參、 研究目的:

探討此兩反應的內容，以各溶液的濃度為操縱變因，觀察各溶液濃度變化對反應時間及振盪的週期、次數的影響。並以高中化學之反應速率一章所學得的觀念和方法，推出反應的速率定律式。其次，嘗試其他鹵素取代原反應中 Br 地位的可能，最後，討論此反應在生活中可能的應用。

肆、 研究設備及器材:

- 一、基本器材：燒杯
量筒
分度吸量管
滴管
培養皿
玻棒
刮勺

電子天秤
秤量紙
加熱攪拌器(包含磁石)
碼表
數位相機

二、使用藥品：溴酸鈉(NaBrO_3)
溴化鈉(NaBr)
溴化銅(CuBr_2)
氯酸鉀(KClO_3)
氯化鈉(NaCl)
氯化鉀(KCl)
碘酸鉀(KIO_3)
碘化鉀(KI)
丙二酸($\text{CH}_2(\text{COOH})_2$)(Malonic Acid)
濃硫酸(H_2SO_4 ，濃度 18M)
1,10-菲啉(1,10-Phenanthroline)
含水硫酸亞鐵($\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
30%過氧化氫水溶液($\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$)
可溶性澱粉
含水硫酸亞錳($\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
去離子水

伍、 研究過程及方法:

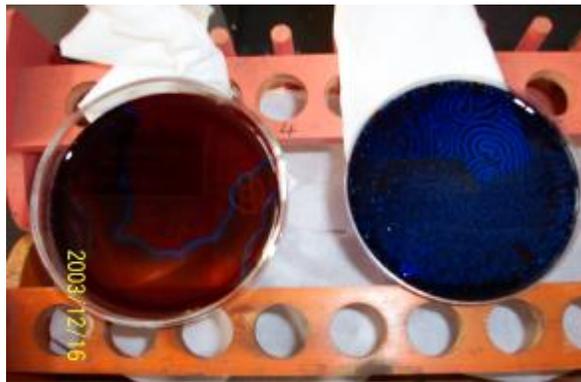
一、實驗 A：

(一)、製備：

A 溶液：18.7(g)溴酸鈉($\approx 0.12\text{mole}$)溶於
250ml 水,再加入 10ml 濃硫酸
B 溶液：10(g)溴化鈉($\approx 0.097\text{mole}$) + 水
至 100ml
C 溶液：10(g)丙二酸($\approx 0.096\text{mole}$) + 水
至 100ml
D 溶液：亞鐵靈試劑(0.25M ferroin) 將
1.485g 的 1,10-菲啉及 0.685g 的
 $\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 溶於 10ml 去離子
水中。

(二)、步驟：

- 1、6ml 的 A 溶液 + 0.5ml 的 B 溶液於燒杯內，接著很快混合 1ml 的 C 溶液
- 2、將所得之褐色溶液置於通風處(使溴氣散掉)，直到顏色轉淡黃或無色
- 3、加入 1ml 的 D 充分混合,再倒入培養皿中.



二、實驗 B：

(一)、製備：

E 溶液：將 30ml 的 30%過氧化氫水溶液 +70ml 去離子水，適度攪拌使其均勻混合。

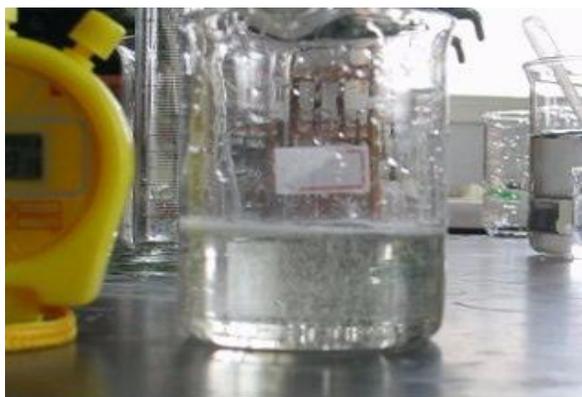
F 溶液：將 4.3g 碘酸鉀($\approx 0.02\text{mole}$)+1ml 濃硫酸依次加入 100ml 的去離子水中。

G 溶液：20ml 去離子水+0.3g 可溶性澱粉，加熱至沸騰形成真溶液。

冷卻後加水稀釋至 100ml。將所得溶液再加入 7.8g 丙二酸 ($\approx 0.075\text{mole}$)及 1.7 含水硫酸亞錳($\approx 0.007\text{mole}$)。

(二)、步驟：

- 1、取 30ml 的 E 溶液裝於 250ml 燒杯中。
- 2、在燒杯中加入 30ml 的 F 溶液。
- 3、再加入 30ml 的 G 溶液。



三、實驗 C：

(一)、介紹：以實驗 B 中的原濃度實驗，使之分別在 0°C、20°C、40°C、50°C、60°C、的溫度下反應，進而求出 $\log k$ 對 $1/T$ 的關係圖以及活化能，驗證阿瑞尼士方程式在振盪反應上應用的可行性。

(二)、步驟：在實驗 B 的原濃度實驗中，我們把 E、F、G 溶液的量縮減為 1/6，放置在熱水槽中，以減少因熱平衡所產生的誤差。

陸、 研究結果:

一、實驗 A:BZ 反應

(一)、原濃度的實驗記錄:

每圈所需 秒數 濃度	藍	紫	紅	1	2	3	4	5	6	7
原濃度	28	60	98	117	177	265	401	540	678	817
原濃度	29	61	98	116	177	267	402	545	680	819
原濃度	31	63	100	119	180	269	405	548	681	817

(藍色框取範圍乃求速率式之數據)

(二)、改變濃度：

1、改變溴酸鈉濃度:

每圈所需 秒數 溴酸鈉濃度	藍	紫	紅	1	2	3	4	5	6	7
2 倍	17	53	95	109	162	216	267	317	378	440
2 倍	18	53	96	111	164	217	270	321	377	436
2 倍	16	51	91	107	165	218	264	323	377	444
0.5 倍	42	67	112	143	315	487	660	833	1003	1175
0.5 倍	40	66	109	140	307	486	656	837	1005	1169
0.5 倍	43	67	114	145	311	492	663	830	999	1177
0.25 倍	無任何反應及顏色變化！									

2、改變溴化鈉濃度:

每圈所需 秒數 溴化鈉濃度	藍	紫	紅	1	2	3	4	5	6	7
2 倍	51	105	158	213	258	292	333	378	420	462
2 倍	50	104	156	212	261	295	329	372	417	459
2 倍	50	106	157	211	255	289	334	376	424	460
0.5 倍	76	206	301	441	669	895	1123	1247	1369	1589
0.5 倍	77	208	304	443	667	892	1127	1250	1375	1592
0.5 倍	78	207	305	444	672	894	1124	1244	13771	1585

3、改變硫酸濃度:

每圈所需 秒數 硫酸濃度	藍	紫	紅	1	2	3	4	5	6	7
2 倍	25	42	80	108	184	261	337	410	486	563
2 倍	23	21	79	107	186	263	333	405	482	559
2 倍	23	41	78	105	181	258	331	403	479	557
0.5 倍	38	68	81	125	245	368	483	601	717	834
0.5 倍	39	69	80	126	246	366	482	597	714	830
0.5 倍	39	68	82	125	251	371	482	596	714	828

二、實驗 B:空間上的振盪反應

每次變成 藍色之 時間(秒) 濃度	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th	11 th	12 th
原濃度	31	34	39	44	49	53	58	63	69	77	86	92
原濃度	27	30	33	39	44	48	52	57	63	71	82	89

原濃度	30	34	39	44	49	55	61	65	70	77	85	91
-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

每次變成藍色之時間(秒) 雙氧水濃度	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th	11 th	12 th
3 倍	1	2	3	4	5	7	9	11	13	15	18	22
3 倍	1	2	3	5	7	9	12	14	16	19	21	23
3 倍	1	2	3	4	6	7	9	11	14	17	19	22
2 倍	3	5	8	10	13	15	18	23	27	31	36	41
2 倍	2	6	9	11	13	16	18	22	27	32	37	42
2 倍	2	6	9	10	12	15	19	23	28	32	37	42
0.5 倍	沒有反應											
0.5 倍												
0.5 倍												

每圈所需秒數 硫酸濃度	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th	11 th	12 th
2 倍	20	24	29	33	38	43	48	53	58	65	72	80
2 倍	23	27	31	36	41	46	53	59	63	70	75	85
2 倍	21	25	29	33	38	42	47	54	57	63	74	83
0.5 倍	30	38	46	54	62	71	79	88	98	108	119	130
0.5 倍	29	37	47	55	63	71	80	89	98	109	120	131
0.5 倍	31	38	46	53	61	70	79	89	98	108	118	130

每次變成藍色之時間(秒) 碘酸鉀濃度	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th	11 th	12 th
1.5 倍	15	19	22	25	29	33	39	42	47	53	59	65
1.5 倍	14	17	20	24	28	32	37	41	47	52	57	63
1.5 倍	14	17	21	26	30	34	39	43	48	54	59	65
0.5 倍	46	68	95	117	140	163	185	209	233	257	282	306

0.5 倍	48	69	96	117	141	164	187	210	235	259	286	310
0.5 倍	49	71	98	119	142	165	189	213	236	262	289	313

每圈所需 秒數 澱粉濃度	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th	11 th	12 th
2 倍	30	33	38	44	48	52	57	62	69	77	86	91
2 倍	27	30	33	39	44	48	52	57	63	71	82	90
2 倍	30	34	39	44	49	55	61	65	70	77	85	89
0.5 倍	28	32	35	43	47	51	58	63	66	76	84	88
0.5 倍	27	31	34	40	45	49	53	57	64	72	82	90
0.5 倍	26	30	38	42	48	50	54	58	64	75	83	92

每圈所需 秒數 丙二酸濃度	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th	11 th	12 th
2 倍	27	31	33	39	44	53	57	63	68	72	84	92
2 倍	28	33	42	45	48	55	59	64	71	74	87	94
2 倍	27	30	36	43	47	54	59	66	72	75	86	92
0.5 倍	27	30	33	39	44	48	52	57	63	71	82	89
0.5 倍	29	31	34	37	42	49	51	59	66	72	83	87
0.5 倍	28	31	35	38	43	47	50	58	65	73	81	88

每圈所需 秒數 硫酸亞錳濃度	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th	11 th	12 th
2 倍	30	34	38	43	48	53	57	62	67	75	83	90
2 倍	28	32	35	39	44	49	54	58	63	70	77	85
2 倍	30	34	39	43	47	54	60	65	71	79	86	94
0.5 倍	28	32	37	42	47	53	59	66	72	78	85	91
0.5 倍	28	31	35	39	45	49	53	57	62	69	77	87
0.5 倍	30	34	36	41	46	51	57	63	70	77	85	92

*附註：丙二酸、可溶性澱粉、硫酸亞錳，由以上數據，可看出其濃度的改變對於反應速率並無明顯影響。

三、實驗 C：溫度對反應速率的影響暨求出活化能
(以實驗 B 來探討)

溫度(°C)	第一次	第二次	第三次	反應速率 (次/秒)	平均反應速率 (次/秒)
0	1:23	1:33	1:36	0.031	0.029
0	1:24	1:31	1:40	0.030	
0	1:23	1:34	1:55	0.026	
20	0:31	0:36	0:38	0.078	0.075
20	0:30	0:36	0:41	0.073	
20	0:31	0:37	0:40	0.074	
40	0:15	0:17	0:19	0.158	0.158
40	0:15	0:16	0:19	0.158	
40	0:14	0:16	0:19	0.158	
50	0:07	0:09	0:10	0.290	0.300
50	0:08	0:09	0:09	0.310	
50	0:07	0:08	0:10	0.300	
60	0:02	0:03	0:04	0.750	0.750
60	0:01	0:02	0:04	0.750	
60	0:01	0:03	0:04	0.750	

柒、 討論:

一、實驗 A：

在實驗 A 中我們共做了 7 個類型的實驗，分別是原濃度，溴酸鈉 2、0.5 倍，溴化鈉 2、0.5 倍以及硫酸 2、0.5 倍，而且每次的實驗都做三次再取平均，以求出最精確的速率定律式。藉著高中的「反應速率」一章中所學到的觀念及方法，我們可以寫出速率定律式，進一步了解本實驗的影響因素。首先，由實驗結果我們可以看出反應速率僅與 H^+ 、 BrO_3^- 和 H_2O_2 三種物質的濃度有關係，接著將反應速率定義為：先找出

振盪 1~4 圈所需要的時間，然後把三次的數據加以平均求出平均值，再把三次除以總秒數，即可求出反應

速率，而其單位為次/秒。首先，假設 $r = k [\text{BrO}_3^-]^m [\text{Br}^-]^n [\text{H}^+]^p$ ，把原濃度及溴酸鈉 2 倍所得數據代入並相

除，得 $\frac{0.019}{0.011} = 2^m$ ，兩邊同取 log，得

除，得 $\frac{0.019}{0.011} = 2^m$ ，兩邊同取 log，得

$$m = \log_2 \frac{0.019}{0.011} = \frac{\log 1.727}{\log 2} = 0.852$$

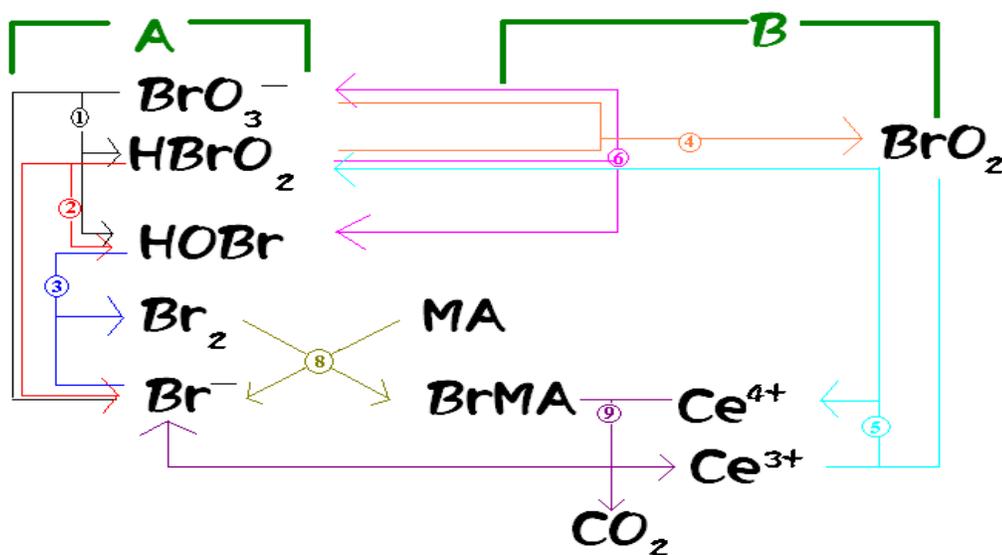
同理可求出 $n=1.25$ ，

$$p=0.319$$

可得出 $r = k [\text{BrO}_3^-]^{0.852} [\text{Br}^-]^{1.25} [\text{H}^+]^{0.319}$ ，

將原濃度($[\text{BrO}_3^-]:0.326\text{M}$ ， $[\text{H}^+]:0.4887\text{M}$ ， $[\text{Br}^-]:0.057\text{M}$)
反應速率代入可得 $k = 5.637$ 。接下來，我們為了驗證
這個值是否正確，於是我們再將另一個濃度代入方程
式內，發現雖略有誤差，但是與正確的值卻相去甚
微，於是我們可以確定這個值就是正確的值了！

二、實驗 A(BZ 反應)的反應機制如下圖：



實驗 A (BZ 反應)：第一階段的反應機制是 BrO_3^- 與 Br^- 反應會產生 HBrO_2 及 HBrO ， HBrO_2 會和 Br^- 反應生成 HBrO ，接下來， HBrO 在和 HBrO 反應產生 Br_2 ，當 $[\text{Br}_2]$ 上升到一定量時，會開始啟動第二階段的反應，生成 BrO_2 ，而目的是與亞鐵靈試劑中的三價銻離子發生氧化還原反應，接著出現的藍色乃亞鐵靈被氧化後之四價錯合物。然後，四價銻離子又會被溴化丙二酸還原成三價的銻離子，而溴化丙二酸就再度解離出溴離子，因此， $[\text{Br}^-]$ 再度上升，於是第一階段的反應又再度啟動，於是，藍色又在變回棕紅色了。

三、實驗 B：

實驗 B 中我們共做了 13 類型的實驗，分別是原濃度，硫酸濃度 2、0.5 倍，碘酸鉀濃度 1.5、0.5 倍，過氧化氫水溶液濃度 2、0.5 倍，澱粉濃度 2、0.5 倍，丙二酸濃度 2、0.5 倍以及硫酸亞錳濃度 2、0.5 倍，而且每次的實驗都做三次再取平均，以求出最精確的速率定律式。藉著高中的「反應速率」一章中所學到的觀念及方法，我們可以寫出速率定律式，進一步了解本實驗的影響因素。首先，

由實驗結果我們可以看出反應速率僅與 H^+ 、 KIO_3^- 和 H_2O_2 三種物質的濃度有關係，接著將反應速率定義為：先找出振盪前三次所需要的時間，然後把三次的數據加以平均求出平均值，再把三次除以總秒數，即可求出反應速率，而其單位為次/秒。接下來，設 $r =$

$k[\text{H}^+]^m[\text{KIO}_3^-]^n[\text{H}_2\text{O}_2]^p$ ，而分別把原濃度的反應速率

0.081 次/秒 及硫酸濃度 2 倍的 0.101 次/秒 代入，可得

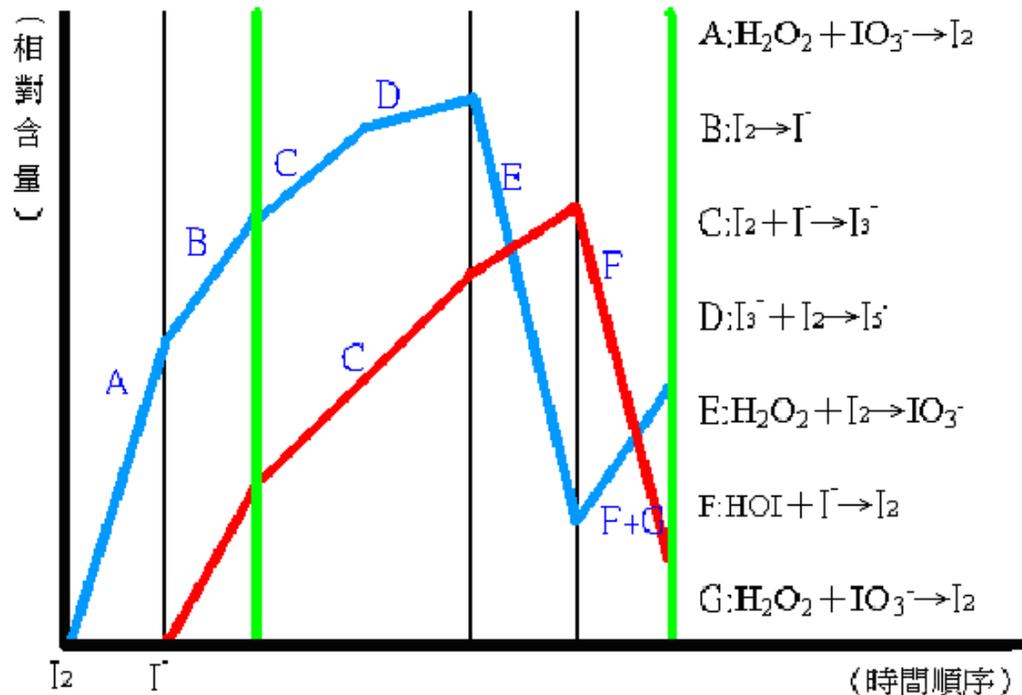
$$\frac{0.101}{0.081} = 2^m, \text{ 兩邊同取 } \log, \text{ 得}$$

$$m = \log_2 \frac{0.101}{0.081} = \frac{\log 1.247}{\log 2} = 0.319, \text{ 同理可求出 } n=1.397,$$

$p=2.303$ ，得到 $r = k [H^+]^{0.319} [KIO_3^-]^{1.397} [H_2O_2]^{2.303}$ ，然後再代回原濃度($[H_2O_2]: 0.882M$ ， $[IO_3^-]: 0.067M$ ， $[H^+]: 0.12M$)以求出 $k=9.265$ 。接下來，我們爲了驗證這個值是否正確，於是我們再將另一個濃度代入方程式內，發現雖略有誤差，但是與正確的值卻相去甚微，於是我們可以確定這個值即是正確的值了！

*附註：而爲什麼只用振盪前三次的時間呢？這是因爲我們實驗的目的是要利用濃度的變化求出速率定律式，那如果我們利用全部時間的話，有可能會造成濃度變化的影響力無法彰顯到最大，所以我們只用前三次的振盪時間，以期能求出最精確的值。

四、實驗 B(時間的振盪反應)的簡略反應機制如下圖：



I_2 與 I^- 相對關係示意圖

實驗 B (時間的振盪反應)：首先呢，先說明決定顏色變化的物質：琥珀色是 $I + I_2 \rightarrow I_3$ 而得，接著 $I_3 + I_2 \rightarrow I_5$ 則呈現藍黑色，這是 I_5 嵌入澱粉的螺旋結構內所致。於是可知， I 與 I_2 之間的動態關係為此實驗的關鍵所在。一開始 $[I_2]$ 高時溶液呈現琥珀色，接著部分 I_2 生成 I ，於是產生 I_5 ，溶液染成藍黑色。而 $H_2O_2 + IO_3^- \rightarrow I_2$ 與 $H_2O_2 + I_2 \rightarrow IO_3^-$ 兩反應中，一開始， $[I_2]$ 低 $[IO_3^-]$ 高因此有利前式進行，所以後式在此刻才發揮影響，使 $[I_2]$ 急遽下滑。而且， $HOI + I^- \rightarrow I_2$ 為一慢反應，扮演著回升 $[I_2]$ 的角色，在此之後，開始重複振盪。直至反應物生成之不可回復性的碘化丙二酸 $ICH(COOH)_2$ 消耗掉反應物，反應乃告終結。

四、實驗 C 的探討：

我們藉由改變濃度可求出速率定律式，接下來就想到改變另一變因——溫度，所以我們做了各種溫度下濃度固定的反應，為了討論溫度與活化能的關係，所以我們就想到阿瑞尼士方程式，但我們反應速率的定義並不是單位時間濃度的變化，所以相對的活化能的單位並不是 J/mol ，我們測出各溫下定濃度的反應速率，再藉由比例的關係，求出各溫下的 K 值，再代入阿瑞尼士方程式，便可求出平均活化能。

【求 k 值的方法】：

已知原濃度的 $k = 9.265$ ，反應速率等於 0.081 次/秒，舉例來說， $0^\circ C$ 時的反應速率等於 0.029 次/秒，又我們將操縱變因定為溫度，濃度為控制變因，所以原溫下的反應速率比上 $0^\circ C$ 時的反應速率，會等於原溫下的 k 值比上 $0^\circ C$ 時的 k 值， $0.081 / 0.029 = 9.265 / k$ ，所以 $k = 3.317$ ，其餘溫度的 k 值同理可推。

法一：

$$k = Ae^{\frac{-E_a}{RT}}$$

等號兩邊同取自然對數

在兩式相減後，經整理後可得：

$$\ln(k_2) = \ln(A) - E_a/RT_2$$

$$\ln(k_1) = \ln(A) - E_a/RT_1$$

$$\ln(k_2) - \ln(k_1) = -E_a/R(1/T_2 - 1/T_1)$$

$$E_a = \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} R \ln\left(\frac{k_1}{k_2}\right)$$

*附註：R = 8.317

然後把數據代入方程式，即可得活化能。

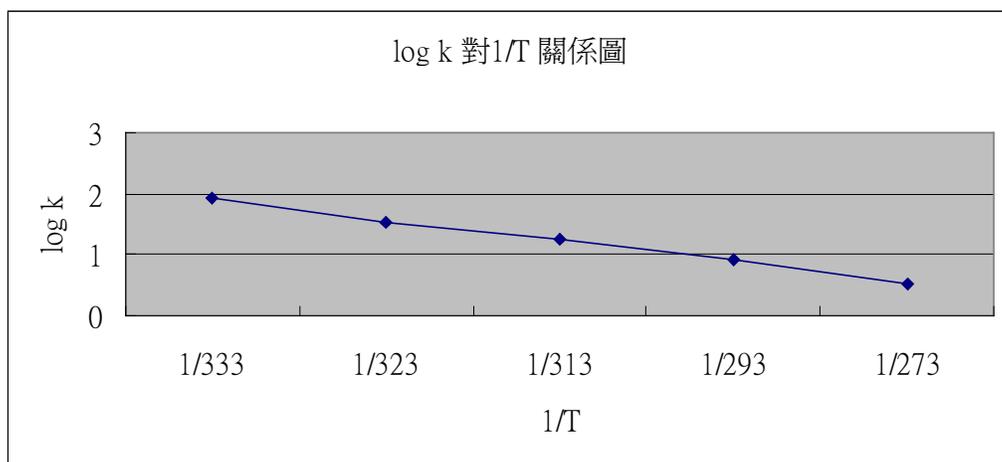
T ₁	T ₂	k ₁	k ₂	活化能
333	273	85.787	3.317	40990.252
293	273	8.579	3.317	31608.789
313	273	18.073	3.317	30121.404
323	273	34.315	3.317	34271.389
313	293	18.073	8.579	28416.085
323	293	34.315	8.579	36371.559
333	293	85.787	8.579	46711.913
323	313	34.315	18.073	53911.613
333	313	85.787	18.073	67505.465
333	323	85.787	34.315	81967.934
平均活化能				45187.640

法二：

$\ln k = \ln A - E_a / (RT)$ ，換底： $\log k = - E_a / (2.303RT) + \log A$ ，我們用 excel 做 $\log k$ 對 $1/T$ 的關係圖，即可得斜率(進而求得活化能)，斜率= $- E_a / (2.303R)$ ，取 273K 與 333K 間之斜率，由上式可得出平均 E_a ，但發現與法一所算出的略有出入，推斷是實驗誤差所造成。

1/T	Log k
1/273	0.520745
1/293	0.933437
1/313	1.25703
1/323	1.535484

1/333	1.933421
-------	----------



理論上，由阿瑞尼士方程式所求出的 $\log k$ 對 $1/T$ 關係圖，應為一條直線，可是由於實驗會有誤差，所以我們得到的圖形，是一條趨近直線的折線，由此算出，活化能為 4 萬多。此外，我們探討誤差的原因，很明顯的，我們知道氣體常數 $R \approx 8.317$ ，這也是近似值，每次得出的結果也不盡相同，又有些人把氣體常數定為 8.314 或 8.32，所以一定會出現一些誤差，但誤差還在合理範圍內。所以，本實驗也驗證了阿瑞尼士方程式在化學上應用的可行性。

五、至於先前所提出的問題，能否利用其他具有類似性質的鹵素元素，來取代在此反應中的關鍵元素 Br 呢？為了解決此問題，我們進行了以下的實驗：

- 1、 我們以 NaCl 及 KCl 取代 NaBr，並以 $KClO_3$ 取代 $NaBrO_3$ ，但將 A、B、C 溶液混合後，未有 Cl_2 氣體產生。
- 2、 而當以 KI 取代 NaBr，以 KIO_3 取代 $NaBrO_3$ 時，則產生 I_2 的固體沉澱，兩者皆無法產生預期般的反應。
- 3、 另外，當 $CuBr_2$ 取代 NaBr，而 A 溶液不改變，則會順利的產生振盪反應，且反應週期較原反應為小。
- 4、 由以上結果可得知，因為 Cl_2 易溶於水，導致

Cl₂的濃度太高，而無法啓動 A 段的反應，至於 I₂則不溶於水，因此無法與液體中的 I⁻離子做振盪反應，另外，當以 CuBr₂取代 NaBr 時，由於，在同莫耳數的情況下，CuBr₂在水中解離的 Br⁻的量較 NaBr 所解離的量為多，Br⁻的濃度較高的情況下，促使反應的速率增加，因此，反應週期較原反應來小得多。另外，因為 F 的電負度過大，無法與氧結合，若要以 F⁻離子製 F₂只能用電解熔融鹽的方式進行，故我們無法進行實驗，但推斷仍應無法產生如預期般的振盪反應。

- 5、 因此，我們可以確知，能夠成功進行我們所預想的振盪反應，僅有 Br⁻而已，用其他的元素，不能取代它。
 相同道理，在實驗 B 中，其反應物也無法由其他物質取代。

捌、 結論：

一、 經由實驗的數據我們可以推導出實驗 A 及實驗 B 兩個反

應的速率定律式分別如下：

- 1、 實驗 A(BZ 反應)：

$$r = k [\text{BrO}_3^-]^{0.852} [\text{Br}^-]^{1.25} [\text{H}^+]^{0.319}$$

$$k = 5.637$$

- 2、 實驗 B(時間的振盪反應)：

$$r = k [\text{H}^+]^{0.319} [\text{KIO}_3^-]^{1.397} [\text{H}_2\text{O}_2]^{2.303}$$

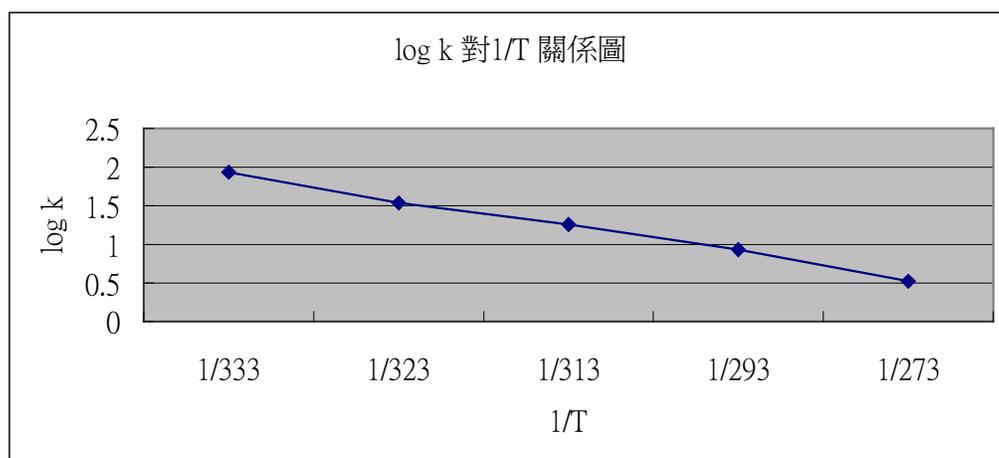
$$k = 9.265$$

二、溫度及活化能的關係表如下：

T ₁	T ₂	k ₁	k ₂	活化能
333	273	85.787	3.317	40990.252

293	273	8.579	3.317	31608.789
313	273	18.073	3.317	30121.404
323	273	34.315	3.317	34271.389
313	293	18.073	8.579	28416.085
323	293	34.315	8.579	36371.559
333	293	85.787	8.579	46711.913
323	313	34.315	18.073	53911.613
333	313	85.787	18.073	67505.465
333	323	85.787	34.315	81967.934
平均活化能				45187.640

三、利用 $\log k$ 對 $1/T$ 做圖如下：



四、何項反應物扮演關鍵角色呢？

- 1、 實驗 A 的關鍵在於溴分子 Br_2 與溴離子 Br^- 之間的來回振盪，才会有此現象。
- 2、 實驗 B 的關鍵是在於碘分子 I_2 與碘離子 I^- 之間的來回振盪，才会有此現象。

五、而實驗之所以會有終點，則分別是因為：

- 1、實驗 A：實驗中間，會有 $\text{BrCH}_2(\text{COOH})_2$ 產生！而且，溴分子 Br_2 微溶於水，所以当 Br_2 過剩時，將會以溴氣 $\text{Br}_{2(g)}$ 的形式散發掉，使溴在溶液中的濃度不斷降低，致使反應終結。
- 2、實驗 B：實驗中間，會有 $\text{ICH}_2(\text{COOH})_2$ 產生！

以至於碘在溶液中的濃度不斷降低，致使反應終結。

六、此兩個實驗除了僅參與氧化還原的反應物(例如：丙二酸可用檸檬酸或 β 酮酸取代，四價鈾鹽可用錳鹽代替)，其餘反應物皆無法以其他化學物質代替。

七、可推廣的方向：去年 6 月 3 號，美國科學家宣布成功完成了一次人造心臟移植手術，而這也是近期最新的一顆人造心臟，而這一新型人造心臟由四部分組成，即金屬鈦製成的心臟本體、一個微型鋰電池、一個計算機控制系統以及外接電池組。這種人工心臟使用電池動力來運轉馬達，將血液打到身體裡，而體內的充電電池，也能夠透過外部的能源轉換裝置不斷充電，獨立運作，因此不需要接線至體外的電源補充電力。不過仍無法擺脫電池電力損耗及機器使用年限的問題，為了解決這個問題，本組人員想到，如果能利用振盪反應的機制，說不定就可以解決目前醫學界上有關替代心臟研究所遇到的瓶頸，因為我們知道，在人體每一肌原纖維中的肌小節，在每一次神經衝動時，Z 腺上的特殊小管 T 小管，會釋放出 Ca^{2+} ，而引起肌絲滑動，造成肌肉的收縮作用，若我們可以製造一個人工心臟，利用振盪反應中的離子的來回產生，進而控制 Ca^{2+} 的產生及消逝，且若能進一步解決 $\text{BrCH}_2(\text{COOH})_2$ 或 $\text{ICH}_2(\text{COOH})_2$ 中的溴或碘離子轉換回反應中，則反應將無窮無盡，而也能引起心肌的收縮取代天然的心搏，更可以解決電力的問題，而且利用化學反應高溫時反應速率上升的此特性，則在人體運動時將可以增加心搏，而加快血流速度，而提供人體所需，將可成為醫學界上的一大創舉！

玖、參考資料及其他:

- 一、錯合物與核化學
作者：曾國輝
出版社：一流出版社
出版日期：1981年5月
- 二、生物世界的數學遊戲
作者：史都華 Ian Stewart
出版社：天下遠見出版股份有限公司
出版日期：2000年12月30日
- 三、科學月刊第353期
- 四、觀念叢書5 化學平衡
作者：曾國輝
出版社：建宏出版社
出版日期：1999年9月
- 五、高二化學課本第6章節「反應速率」。
- 六、現代化學
作者：鮑爾
譯者：周業仁、李干毅
出版社：天下遠見出版股份有限公司
出版日期：2003年12月15日
- 七、Nonlinear Analysis ,Volume56 ,Issue3, February2004,
Pages451~464
- 八、Journal of Electroanalytical Chemistry, Volume250, Issues1~2,
22 February2002, Pages157~161
- 九、Analytica Chimica Acta, Volume428, Issue1, February2001,
Pages15~21
- 十、Chemical Physics Letters, Volume323, Issues1~2, 9 June2000,
Pages145~154
- 十一、Chemical Physics Letters, Volume724, Issues1~3, 1
August1997, Pages41~46
- 十二、Chemical Physics Letters,Volume255, Issues1~3, 7June1996
Pages137~141
- 十三、Physica D:Nonlinear Phenomena, Volume84, Issues1~2, 15
June 1995,
Pages120~125

評語

040209 高中組化學科 佳作

振盪反應的探討

還有很多可探討的項目，若能繼續研究將會有不錯的結果。