

# 平衡因素之模擬與平衡定律式

## 高中組化學科第二名

省立花蓮高級中學

作者：高子彬、王撰銘  
林錦德、賴慶智  
指導教師：李 成 山

### 一、研究動機

於高中化學討論液體蒸氣壓時，分子離開液面的速率，等於返回液面的速率時，是一種平衡狀態，化學反應的平衡，也是一種平衡狀態，但其平衡因素之決定及平衡定律式之關係，由課本所述的模型，我們無法十分真確的了解，環境、溫度、分子本身所獲致的動能，及低位能所具抽象平衡的觀念，如何會是決定平衡的因素。因此我們想設計一個具體而微，能模擬有關決定平衡因素的實驗，並做平衡定律式與濃度、分子間能量、溫度關係之研究探討。

### 二、研究目的

- (一)以接近平衡因素的模型來模擬平衡系，做定性、定量的觀測。
- (二)用模型來驗證  $A + A \rightleftharpoons A_2$  及  $A_2 + B_2 \rightleftharpoons 2 AB$  之平衡定律式。

### 三、實驗材料

木球、泡力龍球、磁鐵、酒精、水、酒精溶液、鋁板、鋁圈、鋁釘、酒精燈、溫度計、碼錶、燒杯、平底燒瓶(500 cc, 1ℓ, 2ℓ)。

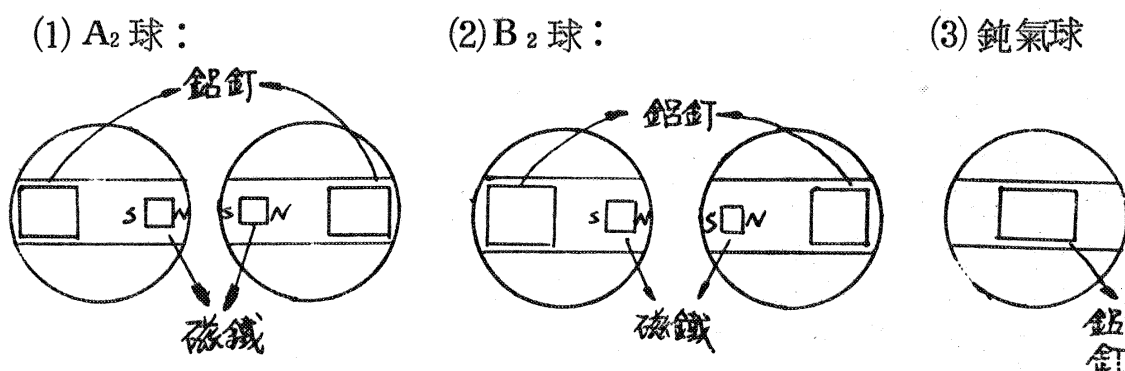
### 四、原理及製作

(一)能量因素之模擬：

- 1 平衡系中分子化合或原子化合成鍵而成爲分子，是一趨於低

能量的過程，我們以兩不同向磁極之小塊磁鐵，分置兩塊小木球內，其磁力強度先於鐵屑上觀察其吸引之有效範圍，使之至能互相吸引結合。

2 磁鐵置入木球內，因重心移動，所以以鋁棒調節之使能均勻轉動，不單面朝下，各分子具移動能、轉動能及振動能，則分子模型在模擬時應使能在受力移動時，必須能均勻的轉動，基於這樣的了解和原理，我們分別設計了以下圖示的球。



(二) 亂度因素之模擬：

分子動能之增加是亂度因素增加之過程，我們先嘗試以不同風速之風扇來驅使泡力龍球或木球運動，結果是：

- 1 風力太弱，球僅做微滾動。
- 2 風力太強，致使球聚於角落，或平拋後停於角落。

像上述的情形，即使是在我們認為合適的風速下仍是如此，我們在觀察木球置於酒精內時，加以晃動，它的運動清楚，同時木球於溶液中對不同濃度的酒精——水之混合液有不同之運動速率是隨著水溶液中水濃度比例之增加，而有不同之上揚速率，下列為我們在不同濃度酒精水混合液下沸騰時，氣泡由燒杯底上升至液面所須時間之測量值。

(三) 將製好之木球數百個，選用其中密度稍大於溶液者，如此木球於受熱所產生之泳流中能稍為運動，加熱木球並記錄木球於定溫下分開及結合球數，為了維持定溫，我們用電爐切換開關使溫度維持  $x^{\circ}\text{C}$  至  $x \pm 3^{\circ}\text{C}$  之範圍，後來再使用酒精燈，比較

兩者加熱情形。酒精燈於適當溫度移去火焰時，溶液內之泳動及沸騰時之運動無甚區別，此後便於以酒精燈為控制燒杯溶液恒溫之方法。

## 五、裝置

鋁加熱爐、長玻璃管、酒精燈、溫度計。

(一)操作過程：

1 操作的變因：

我們就容器最能改變平衡的一些可操作因素：

- (1) 溶液內球數的改變、增加。
- (2) 擴大體積（於容器內同密度之溶液）。
- (3) 加鈍氣球。
- (4) 反應系內反應式。

$A + A \rightleftharpoons A_2$  及  $A_2 + B_2 \rightleftharpoons 2 AB$  來研究。

2 實驗方法及計數方法：

◎溫度：先將不同密度之溶液加熱，並使沸騰，然後移開火焰使之維持略低於沸騰溫度左右，取得不同溫度之環境。

◎若放置A球（做A + A之實驗）先將燒杯或燒杯底置一大塊磁鐵單面向上，使其吸引A球中與磁鐵相反之木球再投入與A球成對之木球，即成A + A之反應，初狀態，若置A<sub>2</sub>則先傾斜於溶液口結合後，則當瓶正立後結合的球，緩緩流入溶液中，成隨遇平衡狀態。亦為我們作A<sub>2</sub>之初狀態。

(二)實驗：平衡定律式：“既然已設計出模擬決定平衡因素之方法

1 是否可導出證明平衡系之平衡定律式”：

今以紙片做成V槽，將A<sub>2</sub>球放入20對，投入溶液中，緩緩加熱之，使溶液重新沸騰，每隔一定時間（2秒）計算容器內A<sub>2</sub>球之總數。

2 觀察及討論：

- (1)球數不能過多，有些球大部分時間停留在底部，受到表面其他木球，及兩旁木球之牽制，許久才能“亂動”游上。若溫度控制良好且一定，則最終只有幾對球為木球受熱膨脹時所放出之氣泡推上或受浮而上下移動，成對流狀。此時仍可見  $A_2$  球分開、 $A$  與  $A$  結合成  $A_2$  球，溶液內  $A_2$  球維持定數。
- (2)加熱時間不可過久，否則如我們所做，木球冒泡數減少。
- (3)觀測  $A_2$  球的方法容易出現誤差，應是測量時由於容器折射及瓶子“有觀測死角”及重覆計數所致，基於上述三項缺失我們乃決定採下方法：
  - ①分區各計然後合計。
  - ②加漆色，減少球數。
  - ③經過實驗練習，球數於減少及加漆後，所測各球數由各人負責，計數準確。

說明：

1. 原測量為 1 秒，但間隔時間太短無法清楚計數，故改用 2 秒為間隔。
2. 球數少，計數較易，但數據變化較大。

$$3. R = \frac{-\Delta [A_2]}{\Delta t} \quad \text{在此處計算不具意義。我們的解釋是}$$

我們觀察和測量的可能是一個微觀變化的過程，不具統計的巨觀觀念。

4. 但是改用對球數減少至某球數所需的時間或  $A$  球增至某定數所用之時間，則又具備了速率測量的意義，由上表數據告訴我們這是個可行的方法。同時也決定了我們模型測量應當使用的方法。
5. 平衡定律式的推求，若依  $A_2 \rightarrow 2A$  正反反應速率相等時來定，則由模型的數據來看在 30 次計數後反應是緩慢的，又

我們模型系在記錄時仍續結合及續分開，這與我們所了解的微視觀念符合，故繼續維持定溫加熱，瓶內A<sub>2</sub>型的球及A球不增（變化不大）是為可確定平衡時各種球之球數。

※尋求平衡時A<sub>2</sub>球個數之規律性方法：

- (1)以數據來看，應於一數據變化不大之區域，求取平均值做為平衡時之A<sub>2</sub>球數，但何時達平衡狀況？故用此法確認達平衡時之球分子數會發生確認上的困難。
  - (2)任一組精確實驗數據都可賦予它一個“規律”，我們可否找出平衡時“時間”及“球數”的關係而導出一個平衡常數？資料統計提供我們一種用最小平方差決定曲線長期趨勢的方法。
  - (3)又在做所有能給予實驗資料的曲線長期趨勢的方程式中，
- 所以

$$y' = ax^2 + bx + c$$

$$y' = ae^{-cx} + b$$

二者最接近數據間的關係。又以  $y' = ae^{-cx} + b$  一式最能描述真確（見附件(二)之方法及電腦結果比較），故以  $y' = ae^{-cx} + b$  為之

設  $y' = ae^{-cx} + b$  當  $\sum (y - y')^2$  有極小值時則方程式代表資料中所有點所成之回歸曲線。

$$\text{設 } u = \sum (y - y')^2$$

$$u = \sum (y - ae^{-cx} - b)^2$$

$$= \sum (y^2 + a^2 e^{-2cx} + b^2 - 2aye^{-cx} - 2by + 2ab e^{-cx})$$

$$= \sum y^2 + a^2 \sum e^{-2cx} + nb^2 - 2a \sum ye^{-cx} - 2b \sum y + 2b \sum e^{-cx}$$

$$\frac{du}{da} = 2a \sum e^{-2cx} - 2 \sum ye^{-cx} + 2b \sum e^{-cx}$$

$$\frac{du}{db} = 2nb - 2\sum y + 2a\sum e^{-x}$$

$$\text{當 } \begin{cases} 2a\sum e^{-2cx} - 2\sum ye^{-cx} + 2b\sum e^{-cx} = 0 \\ 2nb - 2\sum y + 2a\sum e^{-x} = c \end{cases} \quad u \text{ 有極小值}$$

$$\therefore \begin{cases} a\sum e^{-2cx} + b\sum e^{-cx} = \sum ye^{-cx} \\ a\sum e^{-cx} + nb = \sum y \end{cases}$$

$$\therefore a = \frac{\begin{vmatrix} \sum ye^{-cx} & \sum e^{-cx} \\ \sum y & n \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum e^{-2cx} & \sum e^{-x} \\ \sum e^{-x} & n \end{vmatrix}} = \frac{n\sum y \cdot e^{-cx} - \sum e^{-x} \cdot \sum y}{n\sum e^{-2cx} - (\sum e^{-cx})^2}$$

$$b = \frac{\begin{vmatrix} \sum e^{-2cx} & \sum ye^{-cx} \\ \sum e^{-x} & \sum y \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum e^{-2cx} & \sum e^{-x} \\ \sum e^{-cx} & n \end{vmatrix}} = \frac{\sum y \cdot \sum e^{-2cx} - \sum e^{-cx} \cdot \sum ye^{-cx}}{n \cdot \sum e^{-2cx} - (\sum e^{-cx})^2}$$

將實驗組表中數據，用電腦處理之，尋求數據間之規律性，求  $b$  值及  $a$  值（ $b$  值即為平衡時  $A_2$  球分子之漸近個數）。

J  
JLIST

```
1 DATA 0,1,1,2,1,2,2,1,1,1,1,2,1,2,2,2,2,3,2,2,2,1,
  2,2,2,3,2,2,2,2,2,2,3,2,2,2,2,1,1,2,2,2,2,2,3,2,2,
  2,2,1,2,2,2
2 NN = 18 _____ 圖號
3 MK = 5 _____ 圖條尺寸
5 DIM A(63)
6 NK = 1 _____ 印出尺寸
7 E = 2.718281828
10 FOR I = 0 TO 52
20 READ A(I)
30 YXE = YXE + A(I) / E ^ (I / 2)
40 XE = XE + E ^ - I
50 YE = YE + A(I)
60 X2E = X2E + E ^ (- I / 2): NEXT
70 AA = (I * YXE - X2E * YE) / (I * XE - X2E ^ 2):BB =
  (YE * XE - X2E * YXE) / (I * XE - X2E ^ 2)
80 PRINT "Y=";AA;"e^-X/"MK"+"BB
85 PRINT "X="; LOG ( ABS (AA * 1E6)) * 2 * MK;" , sec"
  : PRINT
86 FOR K = A(0) TO INT (BB)
87 X = MK * LOG (AA / (K - BB)):L = L + 1
88 PRINT "X";L;"=";E ^ X / - AA;"sec"
89 NEXT
90 HGR : HCOLOR= 3
91 HPLOT 0,0 TO 0,159: HPLLOT 0,100 TO 252 * NK,100
92 PRINT "fig:";NN
93 HCOLOR= 2: HPLLOT 0,100 - BB * 5 * NK TO 252 * NK,
  100 - BB * 5 * NK: HCOLOR= 3
94 FOR J = 0 TO 52: HPLLOT 4 * NK * J,100 - 5 * NK *
  A(J): NEXT
95 FOR X = 0 TO 52 STEP .1 / NK
100 Y = AA / E ^ (X / MK) + BB
110 HPLLOT 4 * NK * X,100 - 5 * NK * Y: NEXT
120 FOR X = 0 TO 52 STEP .3 / NK
130 Y = - 1 / MK * AA / E ^ (X / MK)
140 HPLLOT 4 * NK * X,100 - 5 * NK * Y: NEXT
```

數據資料

計算方程式

繪圖

討論：由於火焰會稍移動，觀測時發生水流及球游動速度不穩定，即使於沸騰時利用溶液及木球所生氣泡提供木球移動之能仍不是全部均勻的。但可做一合理的解釋是分子所具之動能不同。因此分子之斷裂或撞擊而分開，結合，仍由碰撞機會，分子動能及磁力因素決定，故我們的模型很符合微觀中、位向、能量、亂度等觀念，而達到巨觀的模型觀測，了解的目的。

(二)模型系擴大體積

500ml → 100ml

於 1 A、2 A 組加同密度，同體積之溶液 ( V → 2 V )

$d = 0.82\text{g/cm}^3$   $T_b = 85 \pm 3^\circ\text{C}$

組別	A <sub>2</sub>	A	$\frac{A}{A_2}$	$\frac{A_2}{A_2} = P$	$\frac{A_2}{2}$	$\frac{A}{2}$	$\frac{[A]}{[A_2]}$	$\frac{[A]^2}{[A_2]} - K$	$\frac{K}{P}$
7 A	6.44	27.54	2.81	126.7	3.05	13.90	2.81	58.33	2.18
8 A	4.64	22.76	6.6486	163.5	1.85	12.3	6.6486	55.62	2.46
	近似比		2.37	1.29	近似比		2.37	1.05	

討論：

1. 球分子於溶液中加同體積約同溫之同密度溶液，再依前述方法決定出平衡之球數，其個數  $\frac{A_2}{A_2}$  之比值不與原來加溶液擴大體積者相同，須乘一個約  $\frac{1}{2}$  之因數。
2.  $\frac{1}{2}$  即為擴大體積倍數之倒數，我們發現平衡系之定律式是以單位體積粒子數有關，即定溫下平衡定律式為  $\frac{[A]^2}{[A_2]} = K$ ，其中 [A] [A<sub>2</sub>] 為平衡時單位體積之個數，得出平衡定律式是濃度的函數。
3. 關於勒沙特列原理，其所指之平衡移動係指粒子總個數移動的方向，並不是濃度移動的方向，平衡必須考慮容器的體積。



4. 由第一組實驗， $A_2 + 1A <_7 A_2 + 7A$

及第七組實驗  $[A_2] + 1[A] <_7 [A_2] + 7[A]$

了解體積改變（增大時）平衡移向粒子總數能增加的方向移動  
 (三) 增加濃度對平衡系及平衡定律式關係（加球分子模擬濃度增大之實驗）。

於第  $A_4, A_5$  組填加 A 球 10 個，另於  $B_4$  及  $B_5$  均加 10 個鈍氣球

$$d = 0.83\text{g/cm}^3 \quad T_b = 87 \pm 3^\circ\text{C}$$

實驗組別	$[A_2]_0$	$[A]_0$	$[A_2]$	$[A]$	$\frac{[A]}{[A_2]}$	$\frac{[A]^2}{[A_2]}$
fig4A 4 A	3.0	14.0	5.25	19.18	3.54	68.00
fig5A 5 A	2.00	12	4.14	17.44	4.09	71.49
(最大 / 最小) 近似比					1.118	1.05

$$d = 0.83\text{g/cm}^3 \quad T_b = 87 \pm 3^\circ\text{C}$$

實驗組別	$[A_2]_0$	$[A]_0$	$[A_2]$	$[A]$	$\frac{[A]}{[A_2]}$	$\frac{[A]^2}{[A_2]}$
4 B	3.00	20	2.73	14.54	5.32	77.44
5 B	3.00	10	1.87	12.26	6.00	80.38
(最大 / 最小) 近似比					1.13	1.04

討論：

1. 於加入 A 球時先移火焰後，打開容器，投入不特定 A 球之磁極面
2. 初加 A 球於 4 A 及 5 A 時， $A_2$  球數分開結合有較快的情形發生，推測  $A + A \rightarrow A_2$  須較多之碰撞機會，且  $A_2$  分開的障礙較結合成  $A_2$  之障礙來得低，故分開 A，取得或保留較多的 A 是自然發生的結果，可以有較大亂度的粒子數，同時也保留了較多互撞以結合成  $A_2$  而獲低能量的因素。

3. 在上表中，見平衡時的  $A_2$  球數比未加前多，但引平衡定律式計算仍近原平衡常數，且仍維持平衡定律式。
4. “鈍氣”球之增加卻於速率一項中使反應初  $A_2$  球數減少較快，但最後所得  $A_2$  球仍近原常數，並使平衡常數仍維持定律式，思索這樣的問題，我們認為加入之初鈍氣球雖沒有附磁鐵和鐵釘，不和  $A$  吸引，但“鈍”球仍具動能撞開  $A_2$  球雖然鈍球對防止  $A_2$  與  $A$  碰之機會，有同時阻礙  $A$  和  $A$  結合之機會，但上述之現象却明白的指出鈍氣球可阻礙結合，並破壞結合，故於最初之速率觀察，使  $A$  組之  $A_2$  球及  $B$  組之  $A$   $B$  球生成減少，但於平衡常數則不見影響。

#### (四)溫度之改變對模型系 $A_2 \rightarrow 2A$ 之實驗觀測：

以酒精加水之混合液，利用其混合液沸點不同，作為數據溫度效應之觀測（用原球組實驗），比對  $A_2$  球

	T	$[A_2]_{平}$	$[A]_{平}$	$\frac{[A]}{[A_2]}$	$\frac{[A]^2}{[A_2]}$
溶液A (d=0.82)	$82^\circ \pm 3^\circ$	6.31	19.39	3.07	59.52
溶液B (d=0.90)	$92^\circ \pm 3^\circ$	4.57	22.86	5.00	114.35

#### 討論：

1. 此部分實驗可以用(1)將同對數之  $A_2$  球分置不同溫度之溶液內，作反應定律式及常數之測定(2)用於達一低溫平衡狀態後移至高溫平衡狀態。我們採用(2)之方法及數據是因能較有效的只受溶液溫度之影響，而分子則仍是原組之球數，如此改變的因素只有溶液的密度及其溫度。
2. 加熱於高沸點之溶液時  $A_2$  之個數減少許多，可顯著的看出  $A_2$  分裂成  $2A$  可以有較大之亂度方向，從而推理  $A + A \rightarrow A_2$  是一放出能的過程。
3. 在  $A_2 \rightarrow 2A$  反應模型中於高溫下有較低溫更大的平衡常數，唯

平衡定律式經推演於高溫時偏差大，此不能符合定律式，可能係球數減少時，相對誤差加大之故。但仍較其他效應下有較明顯的向亂度增加（即增加 A 球），可以了解溫度升高有利於亂度之增加，而  $A_2 \rightarrow A + A$  是模擬系中吸能且趨於高亂度的反應。

### 第一部分結論

1. 由數據演算可證明  $A_2 \rightarrow 2A$  之平衡定律式為  $\frac{[A]^2}{[A_2]}$ 。
2. 由演算及規律式之尋找了解模型系能顯現平衡移動之勒沙特列原理，最重要的是更能使反應物種與產物間定量改變有極佳的說明效果。
3. 模型系的木球之比重，接近溶液之比重，用溶液調整木球使木球能於溶液中自由沈浮，再者木球質量中心在木球球心時，可使球能符合分子運動之行爲方式。
4. 溫度升高時，反應系  $A_2 \rightarrow 2A$ ，平衡時 A 球增多，平衡常數已發生改變，雖然沒有尋得溫度改變後兩平衡常數間關係的定量式，然溫度改變會使亂度增加及改變平衡常數之觀念已獲得實體上的啟示。

### 第二部分： $A_2 + B_2 \rightarrow 2AB$ 之反應系

1. 將  $A_2$  球  $B_2$  球鈍氣先經比重選擇取能同時於同一密度溶液內浮沈之 20 對球，做爲在均勻系反應變化及平衡定律式之實驗。
2. 將  $A_2$  球及  $B_2$  球（球內磁鐵距離兩種 A、B 球口相等）同時置入溶液內與實驗第一部分相同之實驗方法操作之。
  - (1) 不同球分子對數之觀察記錄

$$d=0.92\text{g/cm}^3 \quad T_b=92\pm 3^\circ\text{C}$$

組別	$[A_2]$	$[B_2]_0$	$[A_2]$	$[B_2]$	$[AB]$	$\frac{[AB]}{[B_2]}$	$\frac{[AB]}{[A_2][B_2]}$	$\frac{[AB]^2}{[A_2][B_2]}$
C <sub>1</sub>	10	10	1.97	5.84	3.70	2.34	0.33	
C <sub>2</sub>	7	10	1.23	6.92	3.05	1.25	0.36	
C <sub>3</sub>	10	7	2.05	4.45	2.36	1.14	0.25	0.6
C <sub>4</sub>	7	7	1.23	4.12	1.82	0.80	0.36	0.62
		(最大) (最小) 近似比			1.98	2.92	1.44	1.9

討論：

以上列數據是將A<sub>2</sub>、B<sub>2</sub> 球漆不同顏色之後使易於分辨再以A B 之個數為實驗速率之記數。同時注意平衡接近時開始計數A<sub>2</sub>B<sub>2</sub> 球。

以附件所用之方法求計達平衡之時間及AB 球分子之個數(見附件)以近似比求最佳平衡定律式。

由上表可看出增減A<sub>2</sub> 球對平衡定律式不影響但增減B<sub>2</sub> 球則平衡常數發生改變，對於這一個結果是我們模型裏最特殊的了，我們忠實的記錄，並做如此解釋：

A<sub>2</sub> + B<sub>2</sub> → 2AB 之反應機構是



反應機構成正比即  $R \propto [B_2]$ ，另可了解的是中間產物可於平衡時存在

若(c)的解釋是合理的，則A<sub>2</sub> → 2A，B<sub>2</sub> → 2B 及 A + B → AB 中必有一步驟是速率決定步驟，於重對照實驗數據組，發現A<sub>2</sub> 球數多時產生AB 之個數未能增多，B<sub>2</sub> 增加時則有較多些之A、B 球於同時間內產生。支持了我們微觀推求木球模型反應系反應機構的觀念，我們的反應系中，B<sub>2</sub> → 2B 是速率決定步驟。因為B<sub>2</sub> 球較大，不易被撞開，使得[AB] 減小而使K值降低，可見A、B 兩球質量相

差不宜過大。

勿加  $A_2$ 、 $B_2$  球改變平衡，待新平衡出現，仍有許多  $A$ 、 $B$  球存在，仍可觀測平衡移動時，新平衡系各物種量增減關係。

(2) 縮小體積之部分，以吸管吸出約半量之溶液，繼續(1)之實驗每隔 2 秒計數一次 (1000ml  $\rightarrow$  500ml)

$$d = 0.92 \text{g/cm}^3 \quad T_b = 94 \pm 3^\circ \text{C}$$

組別	$[A_2]_0$	$[B_2]_0$	$A_2$	$B_2$	AB	$\frac{[AB]^2}{[B_2]}$	$\frac{[AB]}{[A_2][B_2]}$	$\frac{[AB]^2}{[A_2][B_2]}$
$^1 C_1$	10	10	2.17	6.04	3.84	2.44	0.29	1.12
$^1 C_2$	7	10	1.32	7.23	2.89	1.15	0.30	0.88
$^1 C_3$	10	7	2.07	4.39	2.51	1.43	0.28	0.69
$^1 C_4$	7	7	1.33	4.14	2.13	1.09	0.38	0.82
			$\frac{(\text{最大值})}{(\text{最小值})}$ 近似比		1.80	2.23	1.36	1.60

討論：

↘ AB 型， $A_2$ 、 $B_2$  型球分子較大體積時多。

↘ 於體積減少時  $A_2$ 、 $B_2$  及 AB 均在較小之溶液空間裏活動，使  $A_2$ 、 $B_2$ 、AB 球分子結合，以減少擁擠，就亂度來說，體積減少時分子較擁擠，有較高的亂度但新平衡時形成結合的球而減少了分子個數，抵消了部份亂度因素。

□ 新平衡時，各球量如上列數據，取精確值，可推算  $A_2 + B_2 \rightarrow 2AB$  之平衡定律式為  $\frac{[AB]^2}{[A_2][B_2]} = K$

## 七、總結論

- 1 我們用木球模擬決定平衡因素之①亂度②低能量因素。而且創新的在溶液中觀測是一項理想可行的設計，亂度中之溫度因素可由溶液之溫度提供一均溫之反應系，溶液的體積變化即成爲球分子活動空間體積之變化，球內磁力的大小表示分子間結合

力的大小。

2. 模型可提供具體而微的系統，有了合理模型的建立可以使吾人化抽象為具體，充分的了解平衡系及平衡定律式之內涵。
3. 以迴歸曲線來決定一組亂中有序的數字，不但最合理而且可藉求出之方程式把實驗中整數“個”的觀念推廣至平衡時瞬間變化的值，是一個很優良，也是突破本實驗瓶頸的方法。
4. 我們將實驗過程製成幻燈片。

## 八、參考資料

1. 數理統計學（機率分布論）（P205 ~ P207）魏應澤。
2. 統計學上冊（P209 ~ P218），商務印書館出版陳超塵著。
3. 高中化學 東華本，復興本（P9~P20）。

### 評 語

本件作品就化學平衡定律以模擬方式加以探討驗證。木球之製作與溶液之取製甚具創意。以接近平衡因素之木球模型來模擬平衡系並做實驗觀測兩加以驗證  $A + A \rightleftharpoons A_2$  及  $A_2 + B_2 \rightleftharpoons 2AB$ 。對平衡定律觀念的了解與學理的驗證，提供一種具體的學習方法。