

以U型管探討滲透之動力現象

高中教師組化學第二名

省立臺南女中

作者：葉文鶴

一、研究目的：

藉U型管裝置，以賽珞芬透析紙爲界面，觀察流體滲透之動力現象。

二、儀器裝備：

全套設備如圖1（略），係由U型之玻璃管及一恒溫槽所組成；U型管之水平部份直徑爲1.2公分，中間夾以賽珞芬透析紙，如圖2（略），垂直部份則爲直徑0.6公分而且有公分刻度之左右兩管所構成。

三、實驗步驟：

- 1 以橡皮塞塞住水平部份之兩側孔（如圖2），並夾緊固定夾如圖3（略）。
- 2 以注射筒注流體於水平管中，並套接左、右兩垂直管。
- 3 從兩垂直管同時各注入流體至所需觀測之高度，並使兩者接近等高。
- 4 按時觀測左、右兩管之高度變化至穩定爲止，並記錄之。
- 5 測定左、右兩側流體之終密度及電導（使用儀器如圖4，略）全部記錄如附冊1

四、藥品：

爲比較方便，本實驗採用之水溶液有：

- 1 分子化合物： $C_6H_{12}O_6$ ， $C_{12}H_{22}O_{11}$ 。
- 2 離子化合物： $HgCl_2$ ， $CaCl_2$ ， $NaCl$ ， KCl ，均以mole分

率濃度配製之。

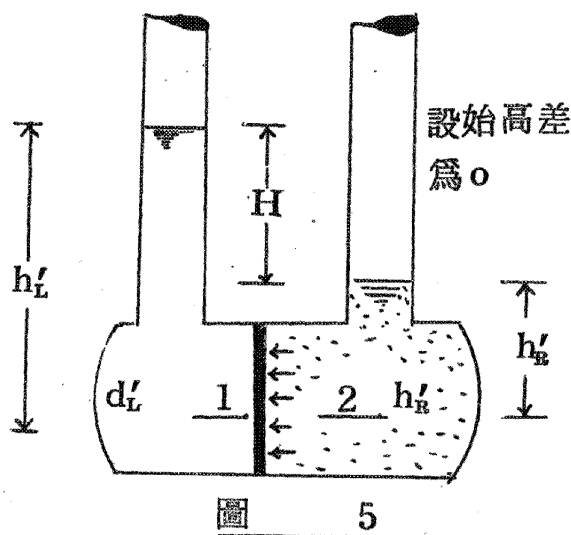
五、資料整理、分析及結論：

將所得資料經整理後可列如表 1，其中並可計算視滲透壓 H 、實滲透壓 H_0 、平衡時間 T 、滲透速率係數 C_v 、及儀器常數 C_1 等數值。詳述如下表：

表 1 (如附表)

1 由本實驗可測知滲透壓：設滲透達平衡達成後，液面高差為 H ，並設滲透壓為 H_0 ，如圖 5，則透析紙兩側 1、2 兩點之壓力應相等。即 $0 + h'_L \cdot d'_L = 0 + h'_R \cdot d'_R + H_0$ (式中 d'_L 、 d'_R

各為左、右兩液體之終密度。)



$$\therefore H_0 = h'_L \cdot d'_L - h'_R \cdot d'_R$$

$$d'_R = (H + h'_R)$$

$$) d'_L - h'_R d'_R$$

$$= H \cdot d'_L + h'_R d'_L$$

$$- h'_R \cdot d'_R$$

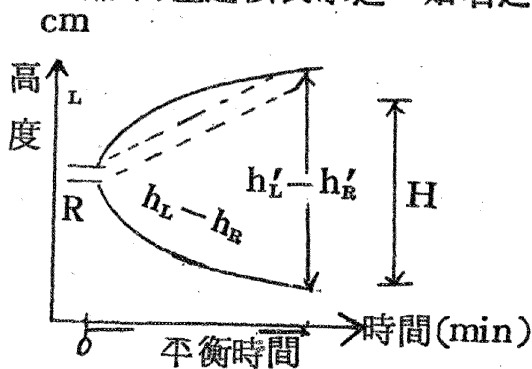
$$= H \cdot d'_L + h'_R (d'_L$$

$$- d'_R)$$

$$\text{但, } d'_L \cong d'_R \therefore H_0 \cong H \cdot d'_L$$

即滲透壓為觀測值 H 乘以 d'_L (高端之終密度)，如表 1 第 14 項。

但，實際液體密度 $d'_L \cong 1 \text{ g/cc}$ ，故 $H_0 \cong H$ ，即滲透壓亦可由終高差近似表示之，姑名之曰視滲透壓如表 1 第 13 項。



如以時間為橫座標，液柱高度為縱座標，可得滲透過程曲綫如圖 6 之示例 (其餘如附冊 2)，則視滲壓可由圖上直接量得。

圖 6

2 由本實驗可求知賽珞芬透析紙對各流體之滲透係數 C 及滲透速率係數 C_v ，以比較其滲透之難易：連通流體遇不均之壓力必引起流動。本實驗完成後之平衡狀況如圖 7。即滲透經 T 時間後得終高差為 H ，設在 t 時刻之液柱高差為 h ，且液體比重均 $\doteq 1$ ，而於 1、2 兩點應用 Bernollis Energy Theorem

$$\text{則得 } \frac{v_1^2}{2g} + 0 + (h+x) = \frac{v_2^2}{2g} + x + 0 \quad (\text{式中 } g \text{ 爲重力加速度， } v_1、v_2 \text{ 爲 1、2 兩點之流速， } x \text{ 爲 } t \text{ 時刻右管之液面高。})$$

$$\therefore \frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_1^2}{2g} + h$$

，但液面之升降甚慢，故 v_1^2 可忽略，固得 $v_2 = \sqrt{2gh}$ ，此 v_2 爲流體穿過賽珞芬透析紙之理論流速，茲設其實際流速爲 v_t ，且假設一係數 $C_v = \frac{V_t}{V_2}$ ，而名之爲滲透速率係數

，則得 $V_t = C_v \cdot C_2 = C_v \cdot \sqrt{2gh}$ 。設此時間內 1、2 兩點之體積變化各爲 $a \cdot dh$ 及 $A \cdot V_t \cdot dt$ 則由流體之連續性得：

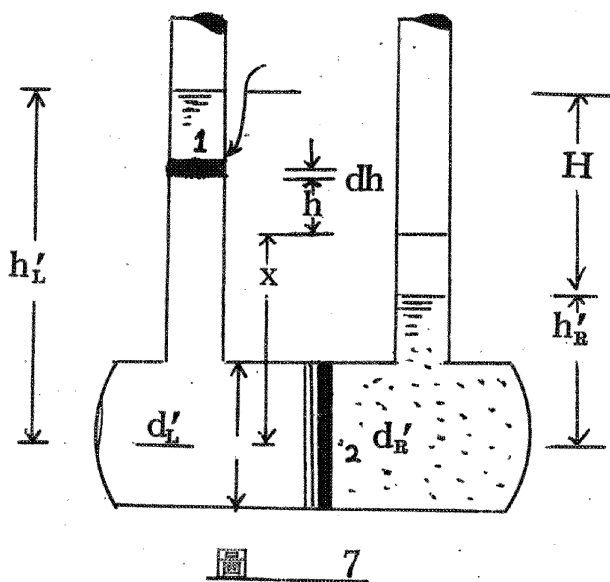
$$a \cdot dh = A \cdot V_t \cdot dt \quad (\text{式中 } a、A \text{ 各爲垂直即 } a \cdot dh = A \cdot C_v \cdot \sqrt{2gh} \cdot dt \text{ 水平管之截面積。})$$

$$\text{兩邊積分之 } a \int_0^H h^{-\frac{1}{2}} \cdot dh = A \cdot C_v \cdot \sqrt{2g} \int_0^T dt$$

$$\therefore 2a [h^{\frac{1}{2}}]_0^H = A \cdot C_v \cdot \sqrt{2g} [t]_0^T$$

$$\therefore T = \left(\frac{2a}{A \cdot \sqrt{2g} \cdot C_v} \right) H^2$$

又設 $T = H^2 / C_1 \cdot C_v = CH^2$ ，則 $C = 1 / C_1 \cdot C_v$ ，吾人稱之爲滲透係數，且 $C_1 = \sqrt{2g} A / 2a$ 此係數僅爲 $a、A$ 之函數，故可稱之爲實驗儀常數。今， H 及 T 均可由本實驗測得



，故可據以率定 C 或 C_v ；用以比較滲透之難易，實算數值如表 1 第 23 項，表中以 1076 最易，以 5644 最難。

3. 由本實驗可推知：視滲透壓決定於流體之種類（本性）和濃度（機率）：

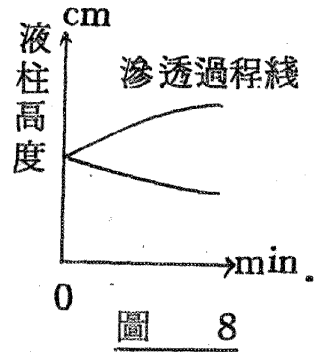
因：(a) 異濃度同成份之流體間 $H \geq 0$
 (1227 實驗)

(b) 同濃度異成份之流體間，如圖 8-(b) (0217 實驗)

(c) 同濃度同成份之流體間 $H = 0$
 如圖 8-(c) (0213 實驗)

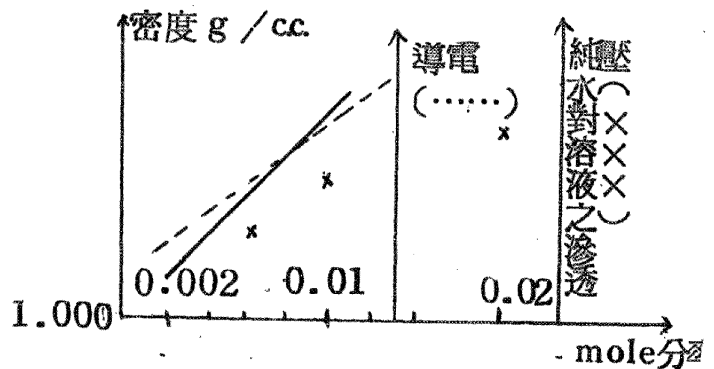
(d) 異濃度異成份之流體間，如圖 8-(d) (0221 實驗)

(e) 純水對同濃度異成份流體之 H 不同，對同成份異濃度之流體之 H 亦不同。



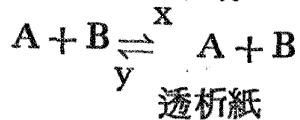
4. 由本實驗可知：視滲透壓為透析紙兩側粒子相流速 (mole/sec) 之代數和：因同成份異濃度之溶液，其濃度愈大，電導亦愈強。

如圖 9，其濃度愈大，密度亦愈大。如圖 9，而本實驗在滲透抵達平衡時，兩側液體之電導及密度均作相對的增減。



5. 由本實驗知：滲透達

平衡時，透析紙兩側相向透過之粒子數與單位粒子之平均重量比 (M_L / M_R) 有關：今設



式中 A 、 B 為相向流動之粒子， x 、 y 各為達滲透平衡時 A 、 B 相向透過之粒子數。

則初粒子數 N_A N_B N_A' N_B'
 終粒子數 $N_A - x$ $N_B + y$ $N_A' + x$ $N_B' - y$

如以 V_L 、 V_L' 表示滲透之初，終體積， d_L 、 d_L' 各為其密度，

則於左側流體：

$$V_L \cdot d_L = N_A \cdot M_A + N_B \cdot M_B \dots\dots(a)$$

$$\begin{aligned} V'_L \cdot d'_L &= (N_A - x)M_A + (N_B + y)M_B \\ &= N_A \cdot M_B + N_B \cdot M_B + M_B y - M_A x \dots\dots(b) \end{aligned}$$

$$(a) \text{ 代入 } (b), \text{ 則 } V'_L \cdot d'_L = V_L \cdot d_L + M_B y - M_A x \dots\dots(1)$$

(式中 M_A 、 M_B 分別為 A、B 之單位粒子平均質量)

同理於右側流體：

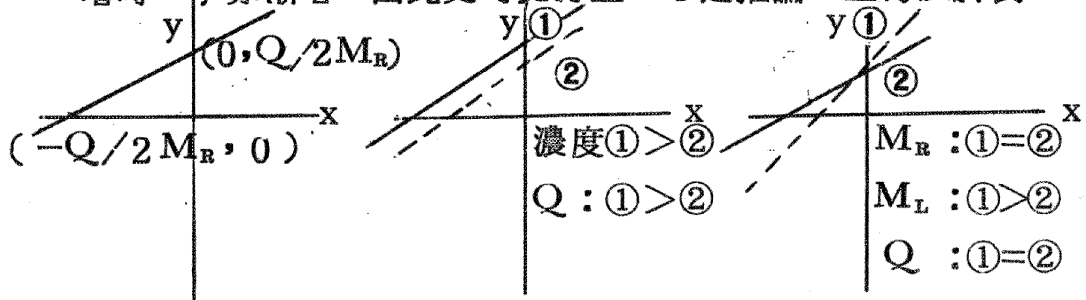
$$V_R \cdot d_R = N'_A \cdot M'_A + N'_B \cdot M'_B \dots\dots(c)$$

$$\begin{aligned} V'_R \cdot d'_R &= (N'_A + x)M_A + (N'_B - y)M_B \\ &= N'_A \cdot M_A + N'_B \cdot M_B - M_B y + M_A x \dots\dots(d) \end{aligned}$$

$$(c) \text{ 代入 } (d), \text{ 則 } V'_R \cdot d'_R = V_R \cdot d_R + M_A \cdot x - M_B \cdot y \dots\dots(2)$$

$$\begin{aligned} \text{由 } (1) - (2), \text{ 得 } V'_L \cdot d'_L - V'_R \cdot d'_R - V_L \cdot d_L + V_R \cdot d_R \\ = 2M_B y - 2M_A x \end{aligned}$$

令 $Q = V'_L \cdot d'_L - V'_R \cdot d'_R - V_L \cdot d_L + V_R \cdot d_R$ ，以 M_L 、 M_R 代 M_A 、 M_B ，則滲透平衡中相向透過之粒子數 $\frac{x}{y}$ 之規律性為 $y = M_L / M_R x + Q / 2M_R$ 圖示之如圖 10，且由式中 $M_L / M_R > 0$ 之性質，知此曲線為漸增曲線，即 x 漸增時， y 亦漸增。由此更可支持五-4 之推論。且得證於表 1。



(P.)

滲透平衡中相
向透過粒子數
之規律性

(S.) 比較：

同成份間
不同濃度
之規律性

(D.) 比較：

異成份間，
同濃度之規
律性

圖 10

6. 由本實驗知，相同動能中（全部實驗均在 30°C 之恆溫槽中進

行觀測)相同機率下, 粒子愈小, 則透過透析紙之速率愈大。如5644中 $C_6H_{12}O_6$, 但4344中KCl則顯示電解質粒子非分子態之特性(水溶液)。

7. 氣體粒子在透析紙中透過之性質未有本實驗所推之動力現象: 左管注入0.01 mole 分率之 $KCl_{(aq)}$, 右管為空氣時, 左管透過量極微, 詳見附冊1之0308實驗, 似可作以上推論。

No.		1	2	
1	成 份 $\left\{ \begin{array}{l} L \\ R \end{array} \right\}$	HgCl ₂ H ₂ O	HgCl ₂ H ₂ O	
2	編 號 (月、日)	0203-1	0208	
3	代 號 (L、R、f _L 、f _R)	1076	1076	
4	日 期	2,3	8,9	
5	歷 時 (min)	845	1000	
6	達 平 衡 所 需 時 間	0	0	
7	初 體 積 (ml.)	V_L	39.50	39.75
		V_R	40.00	40.00
8	終 體 積 (ml.)	V'_L	39.50	39.25
		V'_R	40.00	40.25
9	總 體 積 (ml.)	前 V_i	79.50	79.75
		後 V'_i	79.50	79.50
10	體 積 變 化 ($V'_i - V_i$)	0	-0.25	
11	初 高 度 (cm)	h_L	50.80	51.85
		h_R	45.90	46.40
12	終 高 度 (cm)	h'_L	50.90	49.80
		h'_R	46.20	47.10
13	$H = h'_L - h'_R - h_L + h_R$	-0.20	-2.70	
14	$H_0 = H \cdot d'_L$	-0.20	-2.80	
15	初 電 導 (mA)	I_L	2.0	2.0
		I_R	0.0	0.0
16	終 電 導 (mA)	I'_L	0.8	5.9
		I'_R	1.8	2.0
17	初 密 度 (g/cm ³)	d_L	1.062	1.062
		d_R	1.035	1.035
18	終 密 度 (g/cm ³)	d'_L	1.051	1.052
		d'_R	1.042	1.044
19	$Q = V'_L d'_L - V'_R d'_R - V_L d_L + V_R d_R$	-0.75	-1.63	
20	初 重 量 (g)	$V_L \cdot d_L$	41.95	42.20
		$V_R \cdot d_R$	41.40	41.40
21	終 重 量 (g)	$V'_L \cdot d'_L$	41.48	41.03
		$V'_R \cdot d'_R$	41.68	41.79
22	儀 器 常 數 $C_i = \sqrt{2gA} / 2a$	$a = \pi \cdot 0.3 \cdot 0.3 \text{ cm}^2$		
23	滲 透 速 率 係 數 $C_i = 1 / cci$	∞	∞	
24	滲 透 係 數 $C = T / H^2$	0	0	
25	$m = M_L / M_R$	15.07	15.07	
26	$b = Q / 2 M_R$	-0.04	-0.04	

3	4	5	6	7	8
HgCl ₂ H ₂ O	CaCl ₂ H ₂ O	NaCl H ₂ O	NaCl H ₂ O	NaCl H ₂ O	NaCl H ₂ O
0211	0226	0203 -2	0212	0204	0225
1076	2046	3016	3036	3036	3046
11, 12	25, 26	3	12, 13	3, 4	4, 5
900	1470	495	1510	1040	1290
0	1110	180	1410	835	755
39.25	35.00	39.75	39.50	39.75	40.25
41.00	35.00	38.50	40.30	41.50	41.00
39.25	37.00	39.75	40.25	40.50	41.50
41.00	32.00	38.50	39.50	40.75	39.25
80.25	70.00	78.25	79.80	81.25	81.25
80.25	69.00	78.25	79.75	81.25	80.75
0	-0.10	0	-0.05	0	-0.5
49.65	35.35	51.20	50.20	51.30	53.25
49.05	35.85	51.35	47.25	51.50	49.05
50.05	42.45	51.50	53.80	54.40	57.85
49.25	23.65	51.50	44.45	48.90	45.40
0.20	19.30	0.15	6.40	5.70	8.25
0.21	1.13	0.16	6.69	6.00	8.68
2.0	192.0	109.0	167.0	172.0	193.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.9	168.0	87.0	148.0	148.0	170.0
1.9	148.0	53.0	126.0	117.0	147.0
1.062	1.075	1.043	1.052	1.056	1.059
1.035	1.035	1.035	1.035	1.035	1.063
1.052	1.059	1.037	1.046	1.049	1.052
1.044	1.052	1.034	1.041	1.044	1.044
-0.76	1.07	0.75	1.14	0.91	2.54
41.74	37.63	41.46	41.55	41.98	42.62
42.44	33.12	39.85	41.71	42.95	42.48
41.34	39.18	41.17	42.10	42.48	43.66
42.80	33.60	38.81	41.12	42.54	40.98
	A = π · 0.6 · 0.6 cm ²			g = 980 cm / sec ²	
∞	7.50 × 10 ⁻⁷	4.08 × 10 ⁻⁷	3.39 × 10 ⁻⁷	5.39 × 10 ⁻⁷	7.17 × 10 ⁻⁷
0	1.51 × 10 ⁴	2.77 × 10 ⁴	3.34 × 10 ⁴	2.10 × 10 ⁴	1.58 × 10 ⁴
15.07	6.16	3.65	3.65	3.65	3.65
-0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.07

9	10	11	12	13	14
NaCl H ₂ O	KCl H ₂ O	C ₆ H ₁₂ O ₆ H ₂ O	C ₆ H ₁₂ O ₆ H ₂ O	C ₆ H ₁₂ O ₆ H ₂ O	C ₆ H ₁₂ O ₆ H ₂ O
0205	0228	0202	0220	0210	0215
3056	4046	5026	5036	5036	5046
4.5	28, 1	2	18, 19, 20	9, 10, 11	14, 15, 16
1135	1280	360	4215	3190	3660
1075	725	0	4050	3005	2745
44.50	36.75	39.00	40.75	40.50	40.25
45.50	37.00	41.00	40.50	41.00	39.60
47.00	37.60	39.00	45.00	44.50	44.75
43.00	36.25	41.00	36.50	36.80	34.50
90.00	73.75	80.00	81.25	81.50	79.85
90.00	73.85	80.00	81.50	81.30	79.25
0	0.10	0	0.25	-0.20	-0.60
68.55	35.60	48.90	50.70	54.20	53.10
64.40	35.40	49.70	48.45	49.60	45.05
77.35	39.00	49.10	66.55	69.10	71.60
56.80	32.65	49.90	33.55	36.45	28.95
16.40	6.15	0.00	30.75	28.05	34.60
17.58	6.48	0.00	32.34	29.50	36.54
206.0	198.0	0.0	0.0	0.0	0.2
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
189.0	172.0	0.0	0.2	0.2	0.2
165.0	160.0	0.0	0.2	0.0	0.2
1.086	1.065	1.060	1.068	1.068	1.070
1.035	1.034	1.035	1.035	1.035	1.035
1.072	1.054	1.052	1.052	1.052	1.056
1.059	1.048	1.037	1.046	1.046	1.045
3.60	0.72	-0.39	7.55	8.51	9.13
48.33	39.14	41.34	43.52	42.25	43.07
47.09	38.26	42.44	41.92	42.44	40.99
50.38	39.63	41.03	47.34	46.81	47.26
45.54	37.99	42.52	38.18	38.49	36.05
∴ C ₁ = 88.3					
7.08 × 10 ⁻⁷	6.47 × 10 ⁻⁷	∞	2.59 × 10 ⁻⁷	3.33 × 10 ⁻⁷	4.04 × 10 ⁻⁷
1.60 × 10 ⁴	1.75 × 10 ⁴	0	4.38 × 10 ⁴	3.40 × 10 ⁴	2.80 × 10 ⁴
3.65	4.14	9.99	9.99	9.99	9.99
0.10	0.02	-0.01	0.02	0.24	0.25

15	16	17	18	19	20
$C_6H_{12}O_6$ H_2O	$C_{12}H_{22}O_{11}$ H_2O	$C_{12}H_{22}O_{11}$ H_2O	$C_{12}H_{22}O_{11}$ H_2O	$CaCl_2$ $C_{12}H_{22}O_{11}$	$C_6H_{12}O_6$ $NaCl$
0217	0128	0207	0227	0302	0223
5046	6036	6036	6046	2644	6344
16, 17, 18	28, 29, 30, 31	5, 6, 7, 8	25, 26, 27, 28	26, 27, 28, 1, 2	22, 23, 24, 25
2775	4166	4275	3720	5190	4720
2665	3860	3950	3720	5070	4515
40.00	40.00	41.00	39.00	34.25	40.75
41.00	42.75	42.25	39.50	35.00	41.50
45.25	49.25	51.00	57.00	28.25	44.50
35.75	33.25	32.50	21.00	41.50	39.10
81.00	82.75	83.25	78.50	69.25	82.25
81.00	82.50	83.50	78.00	69.25	83.60
0	-0.25	0.25	-0.50	0	0.35
53.40	52.40	56.20	43.70	31.90	50.80
49.30	55.10	53.55	39.50	30.35	51.45
73.50	86.00	92.75	111.00	9.85	64.45
32.50	24.75	21.10	-18.50	51.05	39.35
36.90	63.95	69.00	88.30	-42.75	25.75
39.00	68.30	73.60	95.60	-47.15	27.50
0.2	0.0	2.0	0.1	192.0	0.10
0.0	0.0	0.0	0.0	0.10	193.0
0.0	0.02	6.0	1.8	163.0	143.0
0.0	4.0	2.0	1.0	157.0	165.0
1.072	1.090	1.092	1.124	1.075	1.072
1.035	1.035	1.035	1.035	1.124	1.059
1.057	1.068	1.067	1.083	1.103	1.068
1.050	1.057	1.056	1.060	1.103	1.065
9.85	18.10	19.06	36.51	-14.81	6.16
42.88	43.60	44.77	43.84	37.85	43.68
42.44	44.25	43.73	40.88	39.34	43.95
47.83	52.60	54.42	61.73	31.19	47.53
37.54	35.15	34.32	22.26	45.77	41.64
4.31×10^{-7}	3.92×10^{-7}	3.97×10^{-7}	4.78×10^{-7}	2.44×10^{-7}	2.13×10^{-7}
2.63×10^4	2.89×10^4	2.85×10^4	2.37×10^4	4.65×10^4	5.32×10^4
9.99	18.98	18.98	18.98	0.22	3.08
0.27	0.50	0.53	1.01	0.02	0.17

21	22	23	24	25	26
$C_6H_{12}O_6$	$C_6H_{12}O_6$	$CaCl_2$	$CaCl_2$	KCl	H_2O
$C_{12}H_{22}O_{11}$	$C_{12}H_{22}O_{11}$	KCl	KCl	NaCl	H_2O
0304	0305	0303-1	0303-2	0301	0208
5644	5644	2444	2444	4344	0066
3, 4	3,4,5,6,7	1,2,3	2, 3	1	8,9
1025	5070	2720	1450	315	155
905	5070	2300	0	0	0
34.75	36.75	37.00	33.50	36.25	37.50
35.75	36.75	37.25	34.75	36.50	39.00
34.75	33.25	38.75	33.50	36.30	37.50
35.75	40.00	34.75	34.50	37.00	39.00
70.50	73.50	74.25	68.25	72.75	76.50
70.50	73.25	73.50	68.00	73.30	76.50
0	-0.25	-0.75	-0.25	0.55	0
33.70	35.70	36.40	28.00	33.60	52.80
32.60	34.50	35.80	29.40	33.95	49.20
33.40	22.05	44.35	28.85	33.70	52.90
33.00	47.55	26.65	28.80	34.15	49.55
-0.70	-26.70	17.10	1.45	-0.10	-0.25
-0.76	-29.30	18.28	1.55	-0.11	0.15
0.20	0.20	192.0	192.0	198.0	0.0
0.10	0.10	198.0	198.0	192.0	0.0
1.80	2.0	173.0	180.0	196.0	0.0
0.20	2.0	176.0	181.0	194.0	0.0
1.072	1.072	1.075	1.075	1.065	1.035
1.108	1.108	1.065	1.065	1.059	1.035
1.080	1.086	1.069	1.069	1.059	1.033
1.097	1.098	1.066	1.069	1.061	1.034
0.68	-11.10	4,27	-0.07	-0.78	-0.03
37.25	39.40	39.78	36.01	38.61	38.81
39.61	40.72	39.67	37.01	38.65	40.37
37.53	36.11	41.42	35.81	38.44	38.74
39.21	43.92	37.04	36.88	39.26	40.33
1.75×10^{-7}	1.93×10^{-7}	3.40×10^{-7}	∞	∞	∞
6.46×10^4	5.88×10^4	3.33×10^4	0	0	0
0.53	0.53	1.49	1.49	1.27	1.00
0.00	0.02	0.03	0.00	-0.01	-0.00

27	28	29
H ₂ O	NaCl	HgCl ₂
H ₂ O	HgCl ₂	NaCl
0213	0221	0224
0066	3171	1317
13	21	21,22,23,24
360	275	4265
0	0	0
40.00	39.75	34.75
40.00	41.75	35.00
41.00	40.00	34.75
40.00	41.50	35.00
81.00	81.50	69.75
81.00	81.50	69.75
0	0	0
52.80	51.85	33.10
49.20	50.60	30.50
52.90	52.05	33.40
49.55	50.95	30.95
-0.25	-0.15	-0.15
-0.26	-0.16	-0.16
0.0	109.0	42.0
0.0	2.0	91.0
0.0	91.0	65.0
0.0	41.0	82.0
1.035	1.040	1.055
1.035	1.062	1.040
1.034	1.040	1.053
1.034	1.055	1.050
0.01	0.83	-0.42
41.40	41.34	36.66
42.44	44.34	36.40
41.36	41.60	36.59
42.39	43.77	36.75
∞	∞	∞
0	0	0
1.00	0.22	4.64
0.00	-0.00	-0.00

代 號 說 明

濃度 (mole分率)	代 號
0.001	1
0.006	2
0.008	3
0.010	4
0.020	5
1.000	6
0.002	7

物 種	代 號
H ₂ O	0
HgCl ₂	1
CaCl ₂	2
NaCl	3
KCl	4
C ₆ H ₁₂ O ₆	5
C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	6