

亨利在手知多少

高中組化學科第三名

臺灣省立屏東高級中學

作者：羅京城、潘建呈、陳瓏元、劉開其
指導教師：陳國祥、王月嬌

一、研究動機

1. 本校園遊會時，我們參加喝汽水比賽，賽後不斷地打嗝。對此狀況很好奇，因此引發想探討的動機。
2. 由食鹽加入沙士中會使氣體逸出，因而想了解溶質與氣體溶解度之關係。
3. 對於課本所介紹亨利定律的內容不是相當詳盡，想要更進一步的了解壓力與溶解之關係，並探討亨利定律常數 k ，及其變因。
4. 屏東地區河水污染嚴重，時有所聞，因而想建立簡易，迅速的方法測量水質污染程度，進而使大眾能有憂患意識，提高環保概念。

二、研究設備

(一)自製水銀壓力計	一具
(二)保特瓶 (2000mL, 1250mL, 600mL)	數十個
(三)自組壓力裝置	二套
(四)氣體鋼瓶 (氧、二氧化碳)	四桶
(五)溫度計	數支
(六)量筒、量瓶	數個
(七)電子天平、碼錶、尺	各一
(八)電子加熱攪拌器、恆溫槽	各一
(九)肥皂液 (用以檢驗是否漏氣)	
(十)超音波振盪器 (除去水中氣體)	一台
(十一)空氣壓縮機	一台

三、研究過程

(一)想法及數學式導證：

1. 想法：

從打開汽水瓶蓋逸出氣體的現象，聯想到高中課本中之亨利定律 $m =$

k_p (m : 水中氣體溶解度; P : 氣體壓力; k : 常數)。 $m_1 = k p_1$, $m_2 = k p_2$ (m_1 、 p_1 : 未打開汽水之溶解度及壓力; m_2 、 p_2 : 打開汽水後, 溶液平衡時之溶解度及壓力)。由二方程式相減得 $\Delta m = k \Delta p$, 所以我們若能求得 Δm 及 Δp , 即可求出亨利定律常數 k 。

2. 數學式導證:

P_i : 起初平衡狀態之壓力 (溶液即為飽和狀態)

P_f : 新平衡狀態之壓力

V_g : 氣體體積

V_e : 水溶液體積

Δm : 由過飽和狀態至平衡狀態之溶解度變化量

Δp : 過飽和至新平衡狀態之氣體壓力差

$\Delta m = k (P_i - P_f)$, 利用理想氣體方程式 $PV = nRT$

$$\Delta P \cdot V_g = \Delta n \cdot R \cdot T \Rightarrow \Delta n = \frac{\Delta P \cdot V_g}{R \cdot T}$$

$$\Delta m = \frac{\Delta n}{V_e} = \frac{\Delta P \cdot V_g}{R \cdot T \cdot V_e} \dots\dots\dots (A)$$

(二) 設計壓力計:

ΔP 對本實驗之準確性有極大關聯, 起初所購買之壓力計, 每刻度單位過大 (1 kg f/cm^2), 使讀數不大之 ΔP 易產生估計誤差。且搖動使過飽和氣體逸出時, 易損壞, 故決定自行設計。

第一次設計之壓力計是以長玻璃細管鍛燒成U型管, 加入水銀成開放型壓力計。即可利用連通管原理測水銀面升降讀出壓力差, 因單位微小 (1 mmHg), 測壓力較準確。但發現試管鍛燒厚度不均, 極易因應力不同使彎曲處斷裂。於是改用耐壓塑膠管拉成U型固定於板子上, 配合皮尺, 加入水銀成爲特殊式之開放式壓力計。

(三) 實驗過程與技巧:

先製造一飽和態, 讀出壓力 P_i , 再洩氣以模擬過飽和狀態, 初次實驗時因洩氣太快, 導致水中氣體大量逸出, 因而無法確定 Δm_1 。改進後, 採用極緩慢之放氣方式以避免氣體大量逸出, 成功地製造出過飽和態 P_{n1} , 再搖動使氣體逸出達新平衡狀態 P_{f1} , 如此繼續做下去, 再緩慢洩氣得 P_{n2} , 搖動得 P_{f2} ... 在每一階段可得一個 k , 但發現每個 k 皆不同, 且每次 P_i 皆不同, 於是我們設法合併方程式以求能得到更正確之 k 值, 故透過累加後發現方程式改正

如下：

$$\begin{aligned} (P_i - P_{f1}) k &= \Delta m_1 \\ (P_{f1} - P_{f2}) k &= \Delta m_2 \quad \text{相加} \\ (P_{f2} - P_{f3}) k &= \Delta m_3 \quad \Rightarrow (P_i - P_f) k = \sum \Delta M \\ &\vdots \\ (P_{fn-1} - P_{fn}) k &= \Delta m_n \end{aligned}$$

如此不僅方程式合而為一且只須如上述讀出 P_i 與每一階段 P_{fn} ， P_{fi} ($i=1,2,3,\dots$)，即可得每一階段之 k ，再以工程計算機利用最小方差法以 P_f 為橫軸 $\sum \Delta M$ 為縱軸， kP_i 為固定之截距。可求出最準確之 k 值。以上為降壓求 k 之方式，若欲採增壓求 k ，同理可知，只須將灌氣達未飽和之壓 P_{ni} ，再搖動後達平衡之壓力 P_{fi} 即可 ($i=1,2,3,\dots$)。

註： $|P_n - P_f|$ 之值再利用(A)式可得 Δm

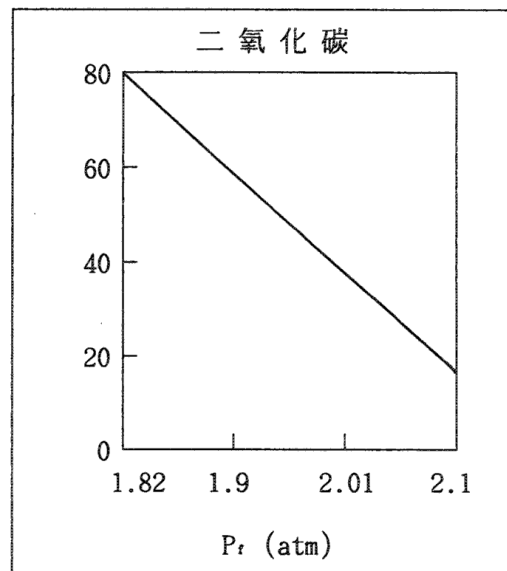
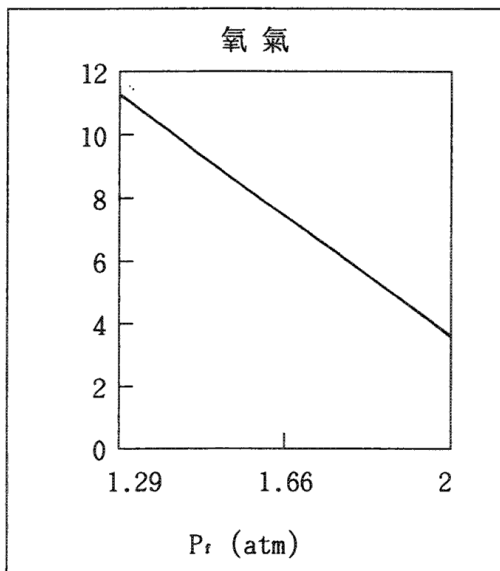
四、實驗結果

(一)不同氣體 k 值

- 1.想法：不同種類氣體，對於相同溶劑，應有不同 k 值。
- 2.目的：求出不同氣體 k 值。
- 3.做法：利用不同氣體，以前述方法求 k 值。
- 4.實驗記錄與結果：

	實驗一	實驗二	實驗三	實驗四
氣體種類	O ₂	O ₂	CO ₂	CO ₂
V _g : 氣體體積(mL)	300	290	280	300
V _l : 水溶液體積(mL)	1800	1800	1810	1800
外界氣壓(cmHg)	76.6	76.4	76.4	76.45
氣溫(°C)	21	20	20	20.5
P _i (atm)	2.4105	2.2395	2.19615	1.9375
P _{n1} (atm)	2.0145	1.9437	1.8066	1.5336
P _{f1} (atm)	2.0618	2.0000	2.0961	1.8243
ΔP (atm)	0.0473	0.0563	0.2895	0.2907
P _{n2} (atm)	1.4000	1.6105	1.6987	1.4270
P _{f2} (atm)	0.4829	1.6605	2.0053	1.7191

ΔP_2 (atm)	0.0829	0.0500	0.3066	0.2929
P_{n3} (atm)	1.0684	1.2289	1.5987	1.3191
P_{r3} (atm)	1.1184	1.2929	1.9039	1.6191
ΔP_3 (atm)	0.0500	0.0632	0.3052	0.3000
P_{n4} (atm)			1.5066	1.2178
P_{r4} (atm)			1.8184	1.5230
ΔP_4 (atm)			0.3118	0.3052
A: 截距	2.3186×10^{-3}	2.3220×10^{-3}	4.5243×10^{-2}	3.8496×10^{-2}
r: 相關係數	0.9999	0.9995	0.9990	0.9996
B: k值	9.6503×10^{-4}	1.0341×10^{-3}	2.0733×10^{-2}	2.0058×10^{-2}



註：A, B, r是計算機計號。 P_t 表 $P_{ft} - P_{nt}$ 。 O_2 之k值約為 10^{-3} ； CO_2 之k值約為 2×10^{-3} ，k之單位為 $mol/L \cdot atm$ 。截距趨近於0。

5.結論： CO_2 之k值約為 O_2 之20倍。k值越大表溶解度愈大。

(二)不同水體積對k值影響

1.想法：

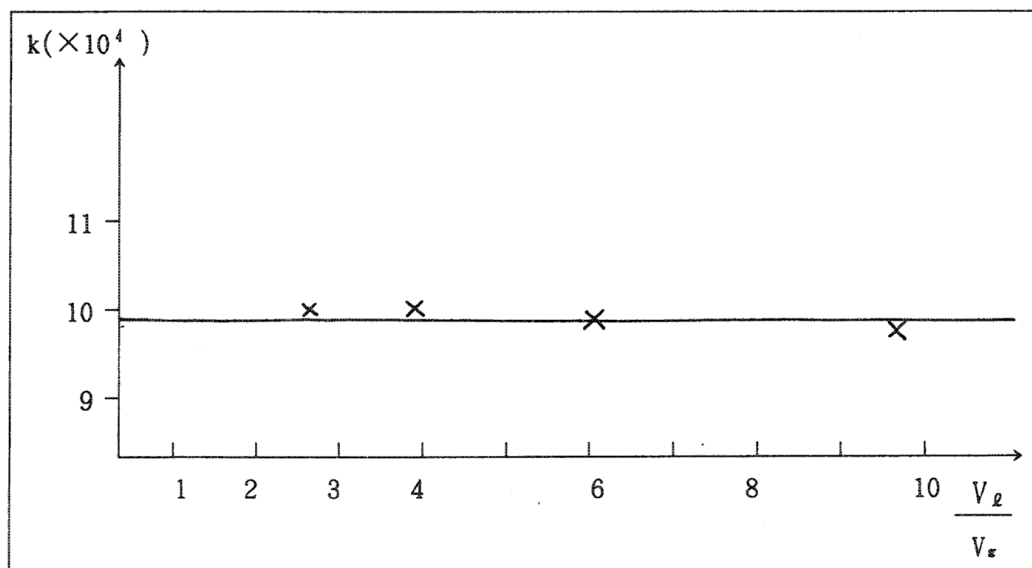
求不同氣體k值時，不知水體積及氣體體積的不同是否影響k值，引發此次實驗動機。

2.目的：探討氣體體積、水體積對k值的影響。

3.做法：以相同保特瓶，不同水體積、氣體體積比例，求相同氣體之k值。

4. 實驗記錄與結果：

	實驗一	實驗二	實驗三	實驗四
V_L : 水體積(mL)	1900	1800	1650	1500
V_g : 氣體體積(mL)	200	300	450	600
氣體種類	O_2	O_2	O_2	O_2
外界氣壓(cmHg)	77	76.6	76.5	76.6
氣溫($^{\circ}C$)	20	21	20	20
P_i (atm)	2.4684	2.4105	2.1743	2.3789
P_{n1} (atm)	2.0671	2.0145	1.7652	1.9829
P_{r1} (atm)	2.1289	2.0618	1.8112	2.0066
ΔP_1 (atm)	0.0618	0.0473	0.0460	0.0237
P_{n2} (atm)	1.7303	1.4000	1.4165	1.6103
P_{r2} (atm)	1.8039	1.4829	1.4507	1.6289
ΔP_2 (atm)	0.0736	0.0829	0.0672	0.0186
P_{n3} (atm)	1.4053	1.0684	1.0467	1.2329
P_{r3} (atm)	1.4789	1.1184	1.0796	1.2592
ΔP_3 (atm)	0.0736	0.0500	0.0329	0.0233
A: 截距	2.3682×10^{-3}	2.3186×10^{-3}	2.3415×10^{-3}	2.4337×10^{-3}
r: 相關係數	1	0.9999	0.9999	0.9999
B: k值	9.9321×10^{-4}	9.6503×10^{-4}	1.0610×10^{-3}	1.0127×10^{-3}



不同氣體、水體積之比例求出之同氣體的k值極為相近，在誤差範圍內。
故氣體、液體體積對k並無影響。

(三)探討溫度對k之影響

1.想法：

$$m = kP \text{ 中 } m = \frac{\Delta P \cdot V_g}{RTV_l} \text{ , 當其餘條件不變時, 溫度應和溶解度成反比; 又 } k$$

和溶解度成正比，則溫度和k應該成反比。

2.目的：探討不相同水溫對k值之影響。

3.做法：

相同氣體和相同水體積下，以恆溫槽模擬不同氣體溫度，求k值的變化。

4.結果：溫度越高，k值越小。（見表c-1）

5.討論：

由結果看出氣體溶解度和溫度成反比；溫度愈高，k值越小。且隨著溫度的上升，k值減小的趨勢逐漸減緩，如附圖c-2。

水 溫	4°C	21°C	44.5°C	56.4°C
外界氣壓	76.4cmHg	76.6cmHg	76.9cmHg	76.8cmHg
外界溫度	24°C	21°C	20.5°C	21°C
氣體體溫	245.8mL	200mL	315mL	315mL
水 體 積	1800mL	1800mL	1800mL	1800mL
P _f (atm)	2.3967	2.4105	2.3000	2.3730
P _{n 1} (atm)	2.0158	2.0145	1.9197	1.9961
P _{f 1} (atm)	2.0750	2.0618	1.9579	2.0447
P _{n 2} (atm)	2.0650	2.4000	1.5776	1.16592
P _{f 2} (atm)	1.7474	1.4829	1.6211	1.7053
P _{n 3} (atm)	1.3408	1.0684	1.2237	1.3132
P _{f 3} (atm)	1.4105	1.1184	1.2737	1.3616
截 距	2.8799×10 ⁻³	2.3186×10 ⁻³	1.9654×10 ⁻³	2.0708×10 ⁻³
k	1.2262×10 ⁻³	9.6500×10 ⁻⁴	8.797 ×10 ⁻⁴	8.515 ×10 ⁻⁴
相關係數	0.9999	0.9999	0.9997	0.9993

表 C-1

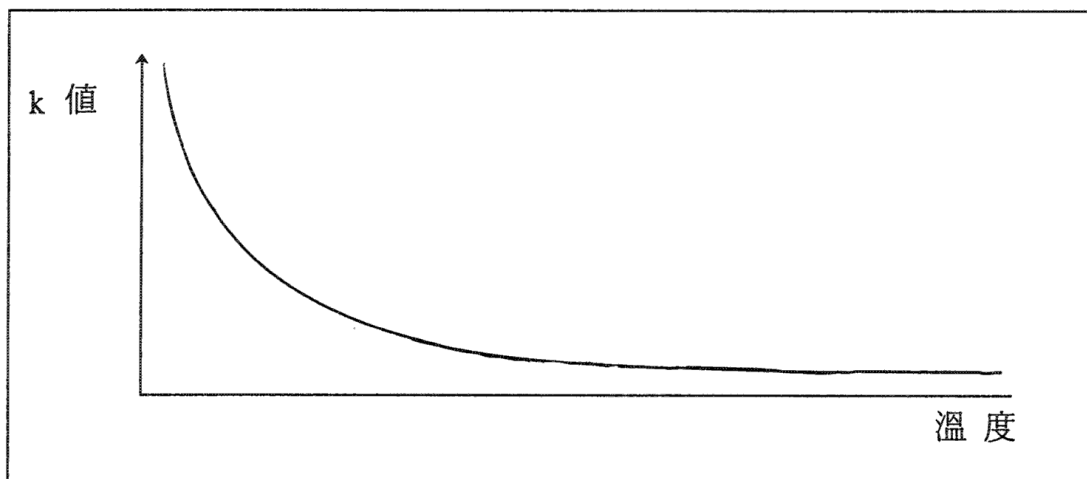


圖 C-2

(四)靜置效應 (不同 P_i)

1.想法：

我們聯想靜置使液面靜止，能有表面平衡現象。由此探討表面平衡之各種現象。

2.目的：

靜置瓶子，求不同 P_i （開始壓力），不同溶質下，達表面平衡時間及溶解速率。（ ΔP ：起始點至飽和點之壓力差）

3.做法：

不同起始壓力下，以兩種同濃度、體積之不同溶質水溶液，每隔30秒讀壓力變化。求達表面平衡之 ΔP 及時間，分段平均溶解速率。（因本實驗不須搖動，故使用訂作壓力計讀數據。）

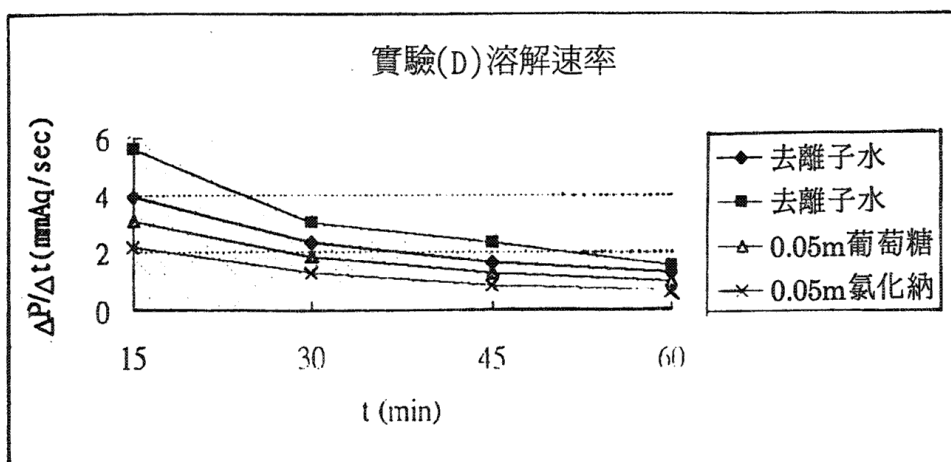
4.實驗記錄與結果：

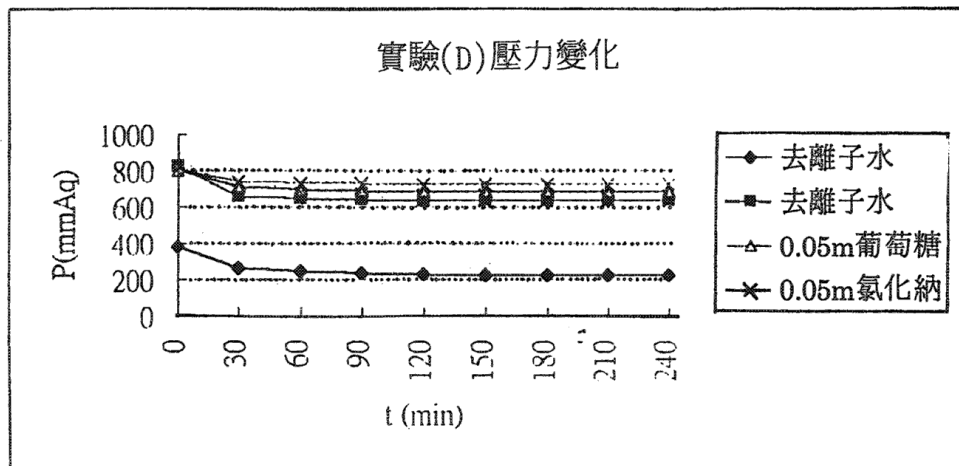
始壓大者，溶解速率快，達表面平衡時間較久， ΔP 亦較大。溶質對溶解度是負影響。

	實驗一	實驗二	實驗三	實驗四
水溶液種類	去離子水	去離子水	0.05m $C_6H_{12}O_6(aq)$	0.05m $NaCl(aq)$
氣體種類	O_2	O_2	O_2	O_2
V_f : 溶液體積(mL)	1800	1800	1800	1800
V_g : 氣體體積(mL)	325	320	315	320
水溫($^{\circ}C$)	21	21.5	22.5	23
氣溫($^{\circ}C$)	21.5	21.5	23	23

外界壓力(atm)	76.4	76.2	76.2	76.2
P ₀ 分(mmAq)	380	820	800	805
P _{1/2} 分(mmAq)	362	652	708	740
P ₁ 分(mmAq)	241	641	692	730
P _{3/2} 分(mmAq)	234	637	686	729
P ₂ 分(mmAq)	225	635	681	725
P _{5/2} 分(mmAq)	221	632	680	725
P ₃ 分(mmAq)	220	631	680	725
P _{7/2} 分(mmAq)	220	631	680	725
P ₄ 分(mmAq)	220	631	680	725
達表面平衡時間(分)	3	3	5/2	2
達表面平衡 ΔP	160	198	120	80
ΔP 1/2 分 / Δt	3.9333	5.6000	3.0667	2.1667
ΔP 1 分 / Δt	2.3167	2.9533	1.8000	1.2500
ΔP x 分 / Δt	1.6222	2.3333	1.2667	0.8444
ΔP 2 分 / Δt	1.2917	1.5417	0.9917	0.6667

註： ΔP_x 分/ Δt 表「從起始點至此一點之平均壓力變化」





5. 討論：

P_i 大者，氣體分子和水面接觸機會大，故溶解速率快；但分子較多，達表面平衡之時間較久； P_i 大者亦使 ΔP 變大。溶液表面有溶質粒子，使溶質擋住液面使溶質對溶解速率有負影響。同濃度之電解質溶液之溶解速率較非電解質者慢，是因解離出離子較多所致。

(五)搖動測 ΔP 探討溶質效應

1. 想法：

我們由沙士加入食鹽，使氣體逸出，聯想到加入固體溶質應使溶解度改變，故實驗之。

2. 目的：求不同濃度溶質與去離子水之氣體溶解度差異。

3. 做法：

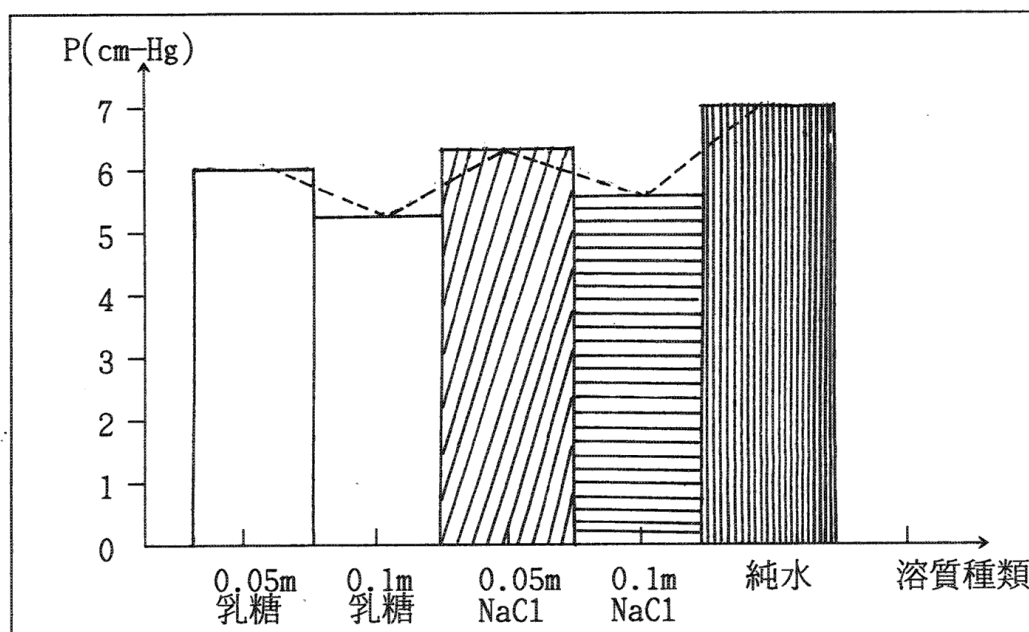
- (1)先調配0.1m，0.5m的乳糖，氯化鈉。
- (2)將各溶液溶劑量固定，使用同一瓶子實驗以使 v_g 固定（以水為溶劑）。
- (3)實驗前以超音波震盪器去除水中氣體。
- (4)做1組純水以對照。

4. 實驗記錄與結果：

純水 $\Delta P >$ 同濃度NaCl $\Delta P >$ 同濃度乳糖 ΔP

種類	乳糖	乳糖	NaCl	NaCl	水
濃度	0.1(m)	0.05(m)	0.1(m)	0.05(m)	
外壓	76.2cm-Hg				
氣溫	20°C				
水溫	24°C	24°C	24.5°C	25°C	24.5°C
V (l)	1800mL				
V (g)	245.8 atm				
P _i 公分汞柱	41.3	41.2	43.6	41.4	41
P _f 公分汞柱	46.7	47	49.2	47.8	47.6
ΔP公分汞柱	5.4	5.8	5.6	6.4	6.6

ΔP	0.1m	0.05m	純水
乳糖	5.4	5.8	
NaCl	5.6	6.4	
純水			6.6



5. 結論：

加有溶質減少 ΔP ，進而推得溶進 O_2 的量減少，故粒子數對氣體溶解有負

面影響，但 NaCl 為電解質，且 $I \div 2$ ，所以同濃度之 NaCl 粒子數約為同濃度之乳糖的二倍，但同濃度之 NaCl ΔP 卻大於同濃度乳糖 ΔP ，推測其因，可能是 NaCl 具有離子強度 ($I = mi^2$)，對於氣體溶解有正面影響，故使同濃度之 NaCl $\Delta P >$ 乳糖 ΔP 。但 NaCl ΔP 、乳糖 ΔP 皆小於純水 ΔP 。

(六) 探討獨立性

1. 目的：證明獨立性的存在。

2. 做法：

先將 CO₂ 灌至飽和，再將 O₂ 灌至飽和並不使 CO₂ 沖出瓶外讀 P_i，依增壓求 k 之方法操作並求 k。

3. 操縱變因：加入 CO₂

控制變因：水溫，水質（去離子水），V_g，V_l

應變變因：k 值

時間：1997.2.4 3:20(pm)

外壓：76.3cmHg

氣溫：21°C

V_g = 300mL

V_l = 1800mL

	1	2	3
P _i (cm-Hg)	81.9		
P _n (cm-Hg)	108.7	133.6	178.8
P _f (cm-Hg)	103.0	127.4	173.6
ΔP (cm-Hg)	5.8	6.2	5.2
A	0.0008068		
B	0.0009599		
R	0.9767000		

4. 結論：因為 k 值與全用 O₂ 時所測出之 k 值相近，故證得獨立性存在。

(七) 應用

I、測量校園周遭水質污染程度

1. 想法：

想要利用本次科展題目“亨利在手知多少”延伸應用，測量污水的污染程度。

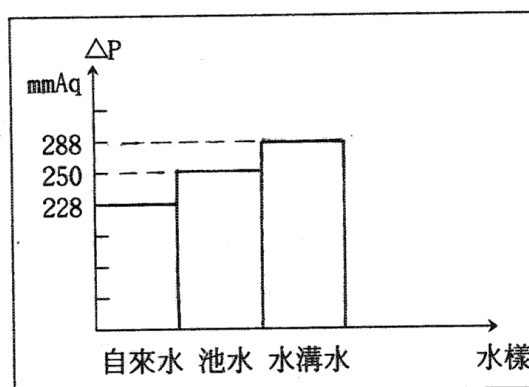
2. 目的：利用溶氧的多寡，進而推求其污染程度。

3.做法：

- (1)先取 3 種1800mL的水樣（自來水、池水、水溝水）。
- (2)裝上壓力錶，充氧至600cmAq(P_i)。
- (3)搖動至水樣已飽和並測其壓力 (P_f)。
- (4)則 $\Delta P = P_i - P_f$ 。

4.實驗紀錄與結果：

	1 自來水	2 池水	3 水溝水
水樣體積	1805mL	1830mL	1865mL
氣體體積	188mL	256mL	181mL
水 溫	20°C	20°C	20°C
P_i	620mmAq	600mmAq	600mmAq
P_f	392mmAq	350mmAq	332mmAq
ΔP	228mmAq	250mmAq	288mmAq



(1) 3 種水樣之 ΔP 大小 $3 > 2 > 1$ 。

(2)由表可知水溝水之原本溶氧量最小，自來水之原本溶氧最多。

5.結論：

由 ΔP 之大小可推得其原本溶氧量並可知水樣中微生物多寡。若微生物多則原本溶氧量少，水樣污染較嚴重。反之，則水樣較乾淨。因此三種水樣以水溝水污染最嚴重，池水次之，自來水最乾淨。

II、改良實驗 I

1.想法：想用本次題目推廣應用於日常生活，測量水樣之污染程度。

2.目的：除去水中氣體後，利用各水樣之 ΔP ，推求其污染程度。

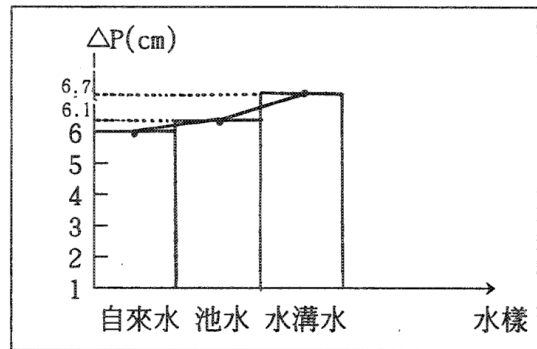
3.做法：

- (1)先取 3 種1800mL的水樣各 1 瓶（自來水、池水、水溝水）。
- (2)將 3 種水樣去氣體 8 分鐘，然後裝上自製壓力錶，充氧至41cm處 (p_i)（內外壓力差為 1 atm）。
- (3)搖動至飽和之壓力 (P_f)，並記錄之。
- (4)則 $\Delta P = P_i - P_f$ 。

4.實驗紀錄與結果：

(1) 3 種水樣之 ΔP 大小 $3 > 2 > 1$ 。

	1 自來水	2 池水	3 水溝水
水 溫	19°C	21°C	21°C
P_i	42.5cm	41.5cm	41.3cm
P_f	48.5cm	47.6cm	48.0cm
ΔP	6.0cm	6.1cm	6.7cm



5. 結論：

三種水樣去氣體使其出發點相同，即水樣中幾乎不溶任何氣體。再由前面之立論，溶液中溶質濃度愈大，則溶解度愈小。表中顯示水溝水之 ΔP 最大，自來水最小。因此可見自來水之溶質濃度最大，最小是水溝水。剛取來水樣以水溝水懸浮物最多。所以我們應做模擬懸浮物實驗，但由於時間限定，我們只好以後再繼續探討。

III、測量屏東地區河流水質污染程度

1. 想法：延伸實驗 I、II，測量周遭河流水質。

2. 目的：利用簡易設備，希望以中學生能做之方法測出河流污染程度。

3. 做法：

(1) 取數種河流水樣1800mL，並取去離子水做為對照。

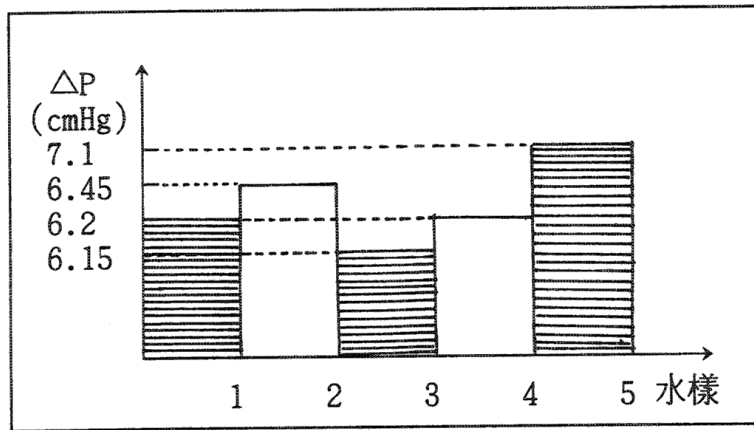
(2) 裝上自製壓力錶，充氧至41cm處 (P_i) (內外壓力差約為 1 atm)。

(3) 搖動至飽和，讀取壓力 (P_f)。

(4) 則 $\Delta P = P_i - P_f$ 。

4. 實驗紀錄與結果：

水 樣	第一組 去水離子	第二組 高屏橋下 (流動處)	第三組 高屏橋下 (滯留處)	第四組 萬大橋下 (高屏溪)	第五組 (牛稠溪)
P_i (cmHg)	43.9	41.15	43	41.6	42.3
P_f (cmHg)	50.1	47.6	49.15	47.8	49.4
ΔP (cmHg)	6.2	6.45	6.15	6.2	7.1
水溫(°C)	27	28	28	27.5	28



$$\Delta P : 5 > 2 > 1$$

$$= 4 > 3$$

5. 討論：

由 ΔP 大小可推測出水質。但實驗結果中出現第三組之 $\Delta P <$ 第一組，與我們認為去離子水污染最小相違背。討論後，依實驗五知溶質對 ΔP 有負面影響，而耗氧物質污染則使 ΔP 變大，二種因素互相抗衡。至於第五組 ΔP 極大，並由外觀判定，其溶氧量應該很小。

IV、改良實驗III

1. 想法：

以上述水樣去除水中氣體，以相同方法求 ΔP ，即為溶質（含懸浮物）污染程度。

2. 目的：利用實驗III及此實驗數據，來獨立探討耗氧物質，溶質污染。

3. 做法：

(1)將各水樣以超音波振盪器去除水中氣體15分鐘。

(2)裝上自製壓力錶，充氧至41cm處（ P_i ），搖動至平衡讀取壓力（ P_f ）

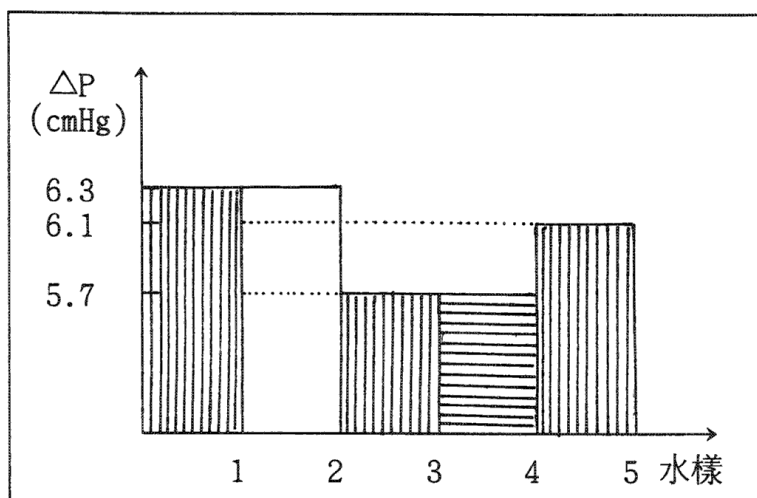
。

(3)去離子水之 ΔP （以下用 ΔP_1 代替），以各水樣之 ΔP 減去 ΔP_1 ， $\Delta P - \Delta P_1 = \Delta P'$ 即為各水樣之溶質效應， $|\Delta P'|$ 越大，表水樣之溶質污染大。

(4)取實驗III數據，各水樣之 ΔP 減去 $\Delta P'$ ，所得 $\Delta P''$ 即為純粹各水樣之溶氧量效應。

4. 實驗紀錄與結果：

水 樣	第一組 去水離子	第二組 高屏橋下 (流動處)	第三組 高屏橋下 (滯留處)	第四組 萬大橋下 (高屏溪)	第五組 牛稠溪
Pi (cmHg)	42.1	42	40.5	40.9	41.5
Pf (cmHg)	48.4	48.5	46.2	46.6	47.5
ΔP (cmHg)	6.3	6.3	5.7	5.7	6.1
水溫(°C)	28	28.5	29	28.5	29



$$\Delta P : 1$$

$$= 2 > 5 > 3 = 4$$

5. 結論：

各水樣去除水中氣體後溶氧量比尚未去除水中氣體時溶氧少，因此 ΔP 應較大。但實驗結果不符合此想法。經討論後，歸納出三點原因：(1)水樣去氣體後，水溫升高(2) P_i 難控制到完全相同(3)超音波振盪器功率問題。去除水中氣體時，加入能量使水溫上升，若能長時間靜置使水溫與外界室溫達平衡，改善水溫上升問題，但由於時間匆促而未能實驗此一想法。 P_i 不一致與去除水中氣體設備問題，希望能使用較佳的設備，再深入研究之。

五、結 論

- (一)在實驗中，不同氣體k值不同。不同氣體體及不同水體積對k值並無影響。水溫上升時k值下降。
- (二)實驗之結果得知氣體溶解時，有獨立性。
- (三)在除去水中氣體後，由未飽和搖動至飽和態之壓力差 ΔP 探討溶質效應中，同溶質之粒子數對溶解有負面影響。
- (四)壓力對表面溶解速率有正面影響；而水溶液中溶質粒子數對溶解度有負面影響

。

(五)有關河流污染程度之研究，及水質BOD, COD之探討，希望未來能再有深入研究之空間。

六、參考資料

(一)高中化學第一冊

國立編譯館

(二)化學

曾國輝著

(三)中華民國第一屆到第35屆中小學科學展覽會作品目錄 國立臺灣科學教育館

評 語

利用簡單的設備探討科學問題，在儀器設備的設計上頗具創意能從失敗中一再改進，在身邊拮取有趣的科學題材：二氧化碳，氧及氮對液體的溶解度，利用簡易的材料設計精密度高的壓力計，獲得可信度高的數據。參考數據的利用也尚完備，報告的撰寫圖表的利用都屬佳作。在一系列作品中整體表現可列第三名。