

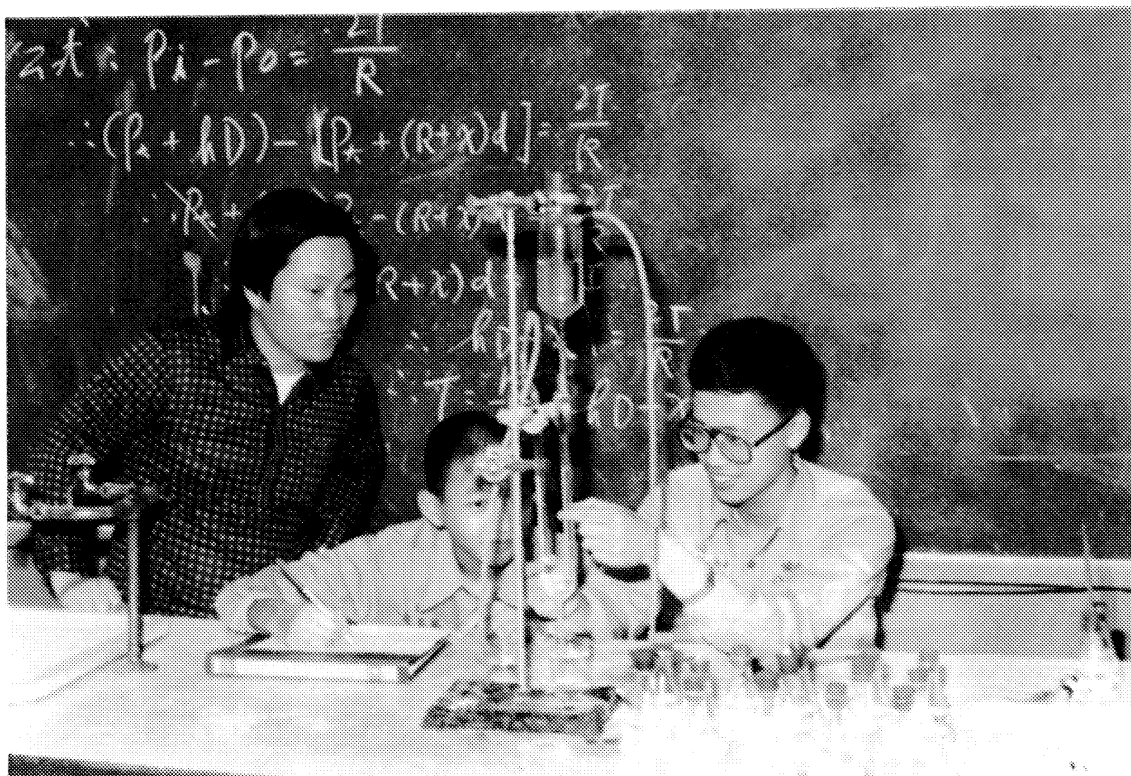
表面張力研究與油膜實驗設計改進

國中學生組物理科第三名

高雄市立鹽埕國民中學

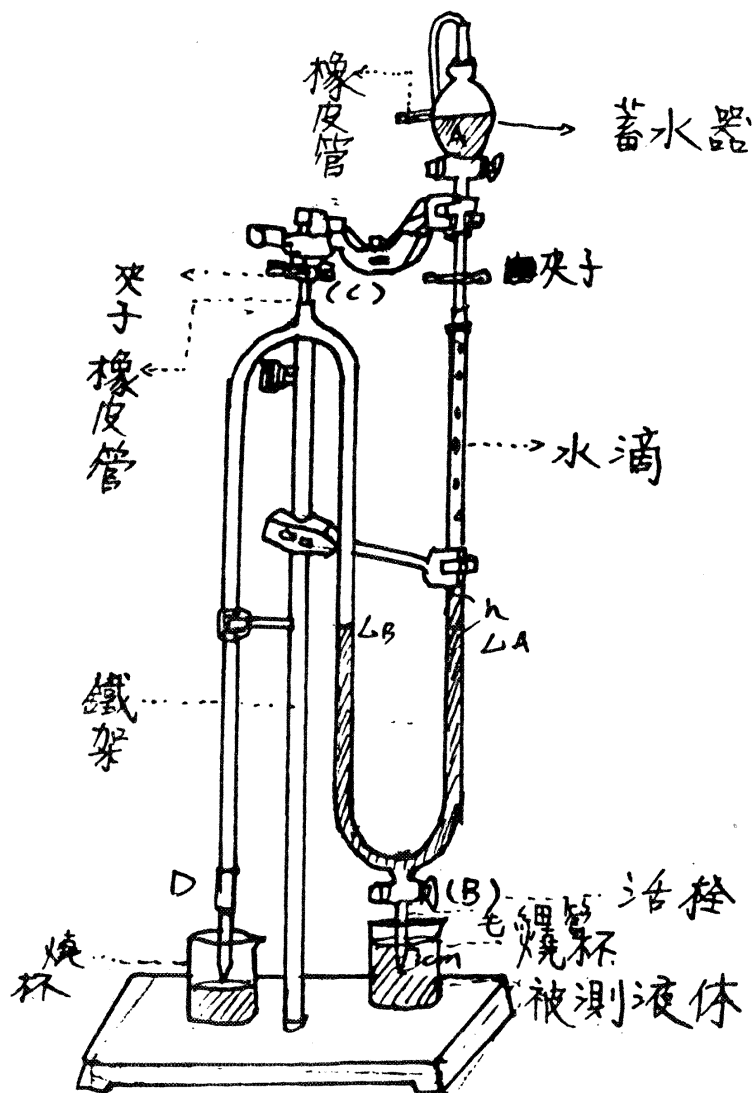
作者：陳信良、蘇弘毅

指導教師：莊豐澤



一、研究動機

在日常生活我們常可看到一些和表面張力有關的一些現象。如：荷葉的水珠成球形，刮鬍刀片小心放在水面上，不會下沉。一顆豆大的鉀粒會在水面起火燃燒，且在水面急速的移動。以上所述這些現象都在在顯示液體表面有所謂「表面張力」存在。然其大小受到某些因素影響。在國中第三冊物理第十四章曾指出，雜質及溫度會使液體表面張力降低。然而對於所有液體是否都是如此呢？實在是殊堪玩味。



二、研究目的

本實驗目的分成三大項目：(一)表面張力如何測定(二)有那些因素會影響表面張力，其影響程度如何(三)油膜實驗的設計及改進。

三、研究器材藥品

1. 器材：表面張力測定器二組（如右上圖）溫度計、酒精燈、三脚架、燒杯。
2. 藥品：甲醇、乙醇、丙醇、乙酸、丙酸、丁酸及食鹽。

四、研究過程

1. 表面張力之測定：（利用最大泡壓法——指導老師指示）

實驗時：①先求毛細管內徑：用注射筒將水銀吸入毛細管內，量出其液柱長度，將毛細管內水銀用天平秤出其質量。則 $M = DV$ ，故 $M = 13.6 \times (\pi r^2 \times h)$ （註：r 代表毛細管半徑，h 代表水銀柱長度）。②將毛細管裝在上圖 D 處，實驗時先將 C 處夾子打開，B 關緊由 A 處蓄水器讓蒸餾水慢慢流入 L_A 、 L_B 管內，再將毛細管放入被測燒杯內約 3 cm 深，最後 C 處夾子關緊。③由 A 處蓄水器慢慢滴入蒸餾水，此時 L_A 、 L_B 兩管液面高度差愈來愈大，當毛細管尖端形成最大液泡時（即液泡將浮起時）量出 L_A 、 L_B 兩管液面差。④取 100 ml 被測液體秤其質量，再求被測液體密度。⑤由公式 $P_1 - P_0 = \frac{2T}{R}$ （指導老師提示）

（註： P_1 = 泡內壓力， P_0 = 泡外壓力， R = 液泡半徑， T = 表面張力） $\therefore (P_{大} + hD) - [P_{大} + (X + R)d] = \frac{2T}{R}$ ， $R_{大}$ = 大氣壓力， X = 毛細管尖端在液面下深度， D =

蒸餾水密度， d = 被測液體密度， R = 毛細管半徑） $\therefore hD -$

$$Xd = \frac{2T}{R} \quad \therefore T = \frac{R}{2} (hD - Xd) \text{ 改用絕對單位} \quad T = \frac{R}{2}$$

($ghD - gxd$) 單位：達因/公分

例如：測試蒸餾水表面張力記錄如下：

(1) 毛細管內徑測定：

水銀長度	6.00 cm	5.10 cm	6.70 cm	3.00 cm
水銀質量	0.120 g	0.095 g	0.135 g	0.050 g
毛細管內徑	0.022 cm	0.021 cm	0.022 cm	0.020 cm

r (毛細管內徑)

$$= \frac{0.022 + 0.020 + 0.022 + 0.020}{4}$$

$$= 0.021 \text{ (cm)}$$

(2)最大泡壓的測定：

實 驗 次 數	毛細管在 液面下深 度 (cm)	L _A 、L _B 兩 管高度差 (cm)	18°C 蒸 餾水密度 (g/cm ³)	毛細管 內徑	表面張力
第一次	3.0 cm	10.10 cm	0.998	0.021	72.76
第二次	3.0 cm	10.40 cm	0.998	0.021	75.99
第三次	3.0 cm	10.20 cm	0.998	0.021	73.78

$$\therefore T = \frac{73.78 + 75.99 + 72.76}{3}$$

$$= 74.17 \text{ (dyne / cm)}$$

2. 影響表面張力的因素：（表面張力值，皆用最大泡壓法測定）

(1)實驗過程：

①不同溶質及濃度水溶液其表面張力的研究：(1)先加熱配製 5 M 的 NaCl 溶液 500 ml，再由 5 M 之溶液配成 4 M、3 M、2 M、1 M 濃度的溶液各 100 ml，再由 1 M 濃度的溶液酒成 0.5 M、0.2 M、0.1 M 濃度各 100 ml，共分成 5 M、4 M、3 M、2 M、1 M、0.5 M、0.2 M、0.1 M，8 種不同濃度以供測定。(2)再取 C₂H₅OH、C₃H₇OH、C₃H₇COOH，試藥配同上述各種濃度以供測定。

②醇類水溶液表面張力的研究：

a 同 A 項先配製 C₂H₅OH、1 M、500 cc，再由 1 M 配成 0.5 M、0.4 M、0.3 M、0.1 M 各 100 cc 加以測試。

b 同理配 C₃H₇OH、CH₃OH 上述濃度。

③有機酸的水溶液表面張力的研究：

a 同A項先配製 CH_3COOH 、1 M、500 cc，再由1 M 配成0.5 M、0.4 M、0.3 M、0.2 M、0.1 M 各 100 cc 以供測試。

b 再將 $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ 及 $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ 配成上述溶液以供測試。

④兩種溶液在同一水溶液中，其表面張力的研究：

a 取0.1 M、0.2 M、0.3 M、0.4 M、0.5 M 五種不同濃度的 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 及 $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ 水溶液各 100 cc 先打測試其表面張力值。

b 再將 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 及 $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ 混在一起，使其水溶液的濃度各為0.1 M、0.2 M、0.3 M、0.4 M、0.5 M 再行測試。

c 比較 a、b 表面張力大小。

⑤溫度高低對水溶液表面張力研究：

a 取1 M 食鹽水，先將其加熱使溫度升高到約 90°C 。

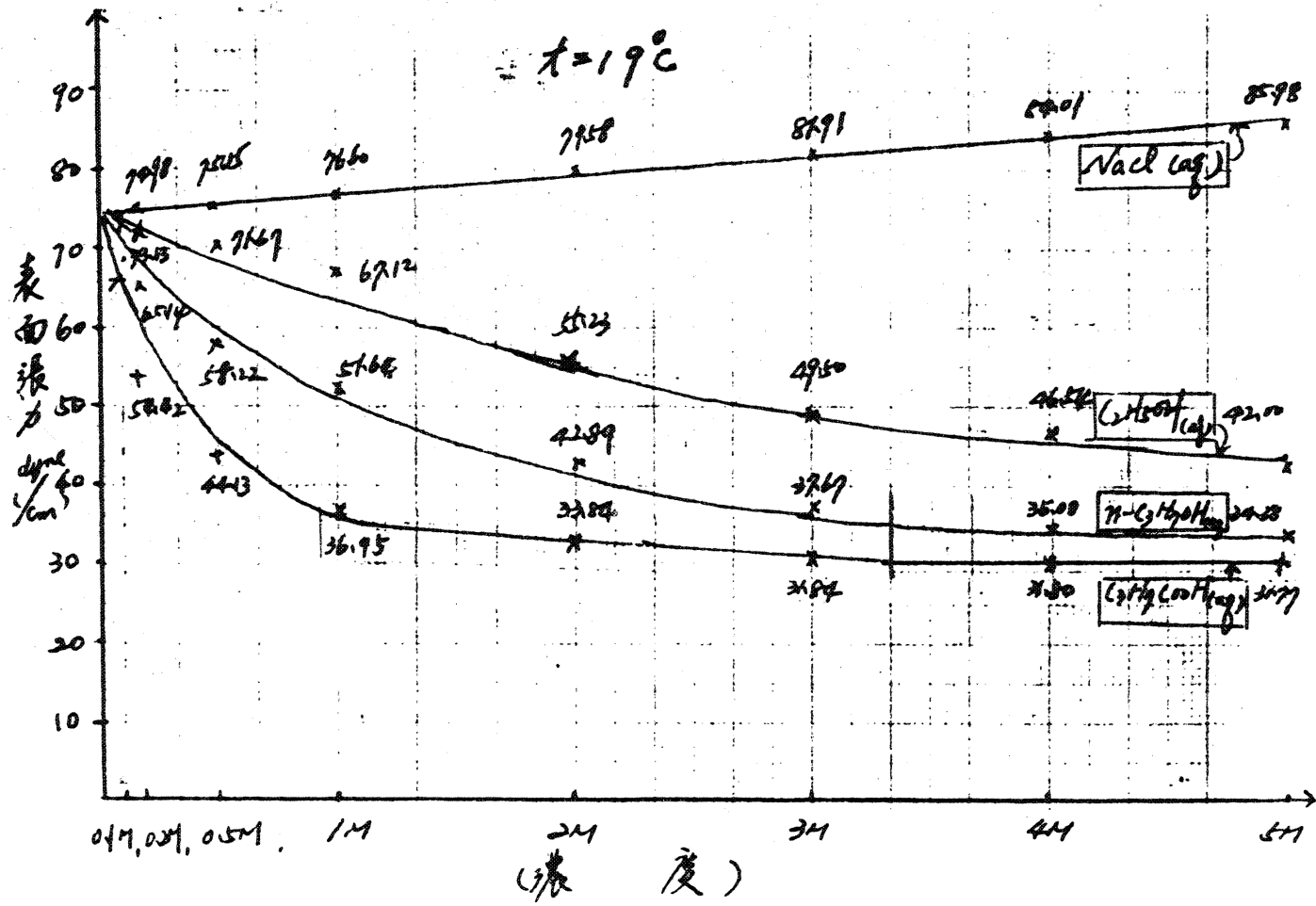
b 再讓其自然冷卻在 80°C 、 70°C 、 60°C 、 50°C 、 40°C 、 30°C 時測其表面張力值。

c 取蒸餾水重行上述操作測其表面張力值。

⑥液泡大小及其壓力研究，用一支 T 形管吹成兩邊大小不等的液泡，然後將吹口接緊，觀察兩邊液泡體積變化情形。

(2) 實驗結果：

①如(圖 A)(表 A) 食鹽水表面張力因濃度增強而增加，且接近綫性。乙醇、丙醇及丁酸則濃度愈高，表面張力愈小。尤其是丁酸降低特別顯著，當其在濃度 1 M 時下降趨勢才顯和緩。

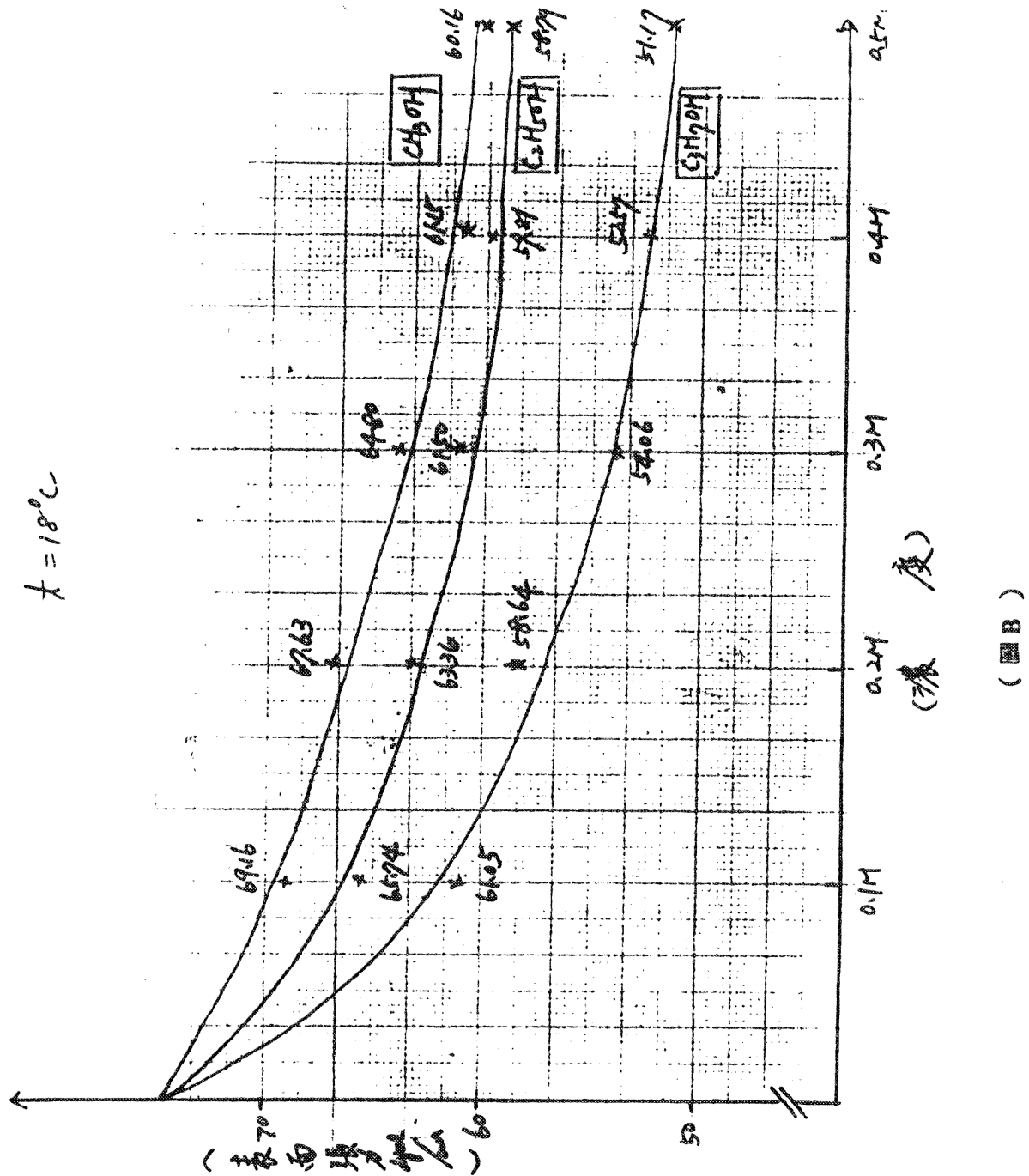


(圖 A)

(表A)

溶液名稱	各種測量值 濃度	0.1 M		0.2 M		0.5 M		1 M		2 M		3 M		4 M		5 M	
		測試項目															
NaCl	溶液密度	0.996		0.998		1.009		1.028		1.063		1.103		1.134		1.169	
	液面高度差(cm)	10.30	10.30	10.40	10.40	10.40	10.50	10.60	10.70	11.10	11.00	11.40	11.40	11.70	11.70	12.00	12.00
	表面張力(dyne/cm)	74.02		74.98		75.15		76.60		79.58		81.91		84.01		85.98	
C ₂ H ₅ OH	溶液密度	0.992		0.992		0.990		0.989		0.979		0.967		0.964		0.963	
	液面高度差(cm)	10.30	10.30	10.20	10.20	10.10	10.00	9.60	9.60	8.40	8.40	7.90	7.70	7.50	7.50	7.00	7.10
	表面張力(dyne/cm)	74.15		73.13		71.67		67.12		55.23		49.50		46.54		42.00	
C ₃ H ₇ OH	溶液密度	0.990		0.986		0.981		0.980		0.967		0.955		0.940		0.930	
	液面高度差(cm)	9.60	9.70	9.40	9.40	8.70	8.70	8.00	8.10	7.20	7.10	6.60	6.60	6.30	6.30	6.20	6.20
	表面張力(dyne/cm)	68.03		65.18		58.22		51.64		42.89		37.67		35.08		34.38	
C ₃ H ₇ COOH	溶液密度	0.989		0.989		0.993		0.995		0.997		0.997		0.997		0.998	
	液面高度差(cm)	9.70	9.50	8.30	8.40	7.40	7.30	6.70	6.60	6.30	6.40	6.10	6.20	6.20	6.10	6.00	6.00
	表面張力(dyne/cm)	67.12		54.42		44.13		36.95		33.84		31.80		31.80		31.77	

②如(圖B)(表B),三者溶液表面張力皆呈下降趨勢,同一濃度時,丙醇的表面張力最小,甲醇最大,而且濃度愈高時相差愈顯著。

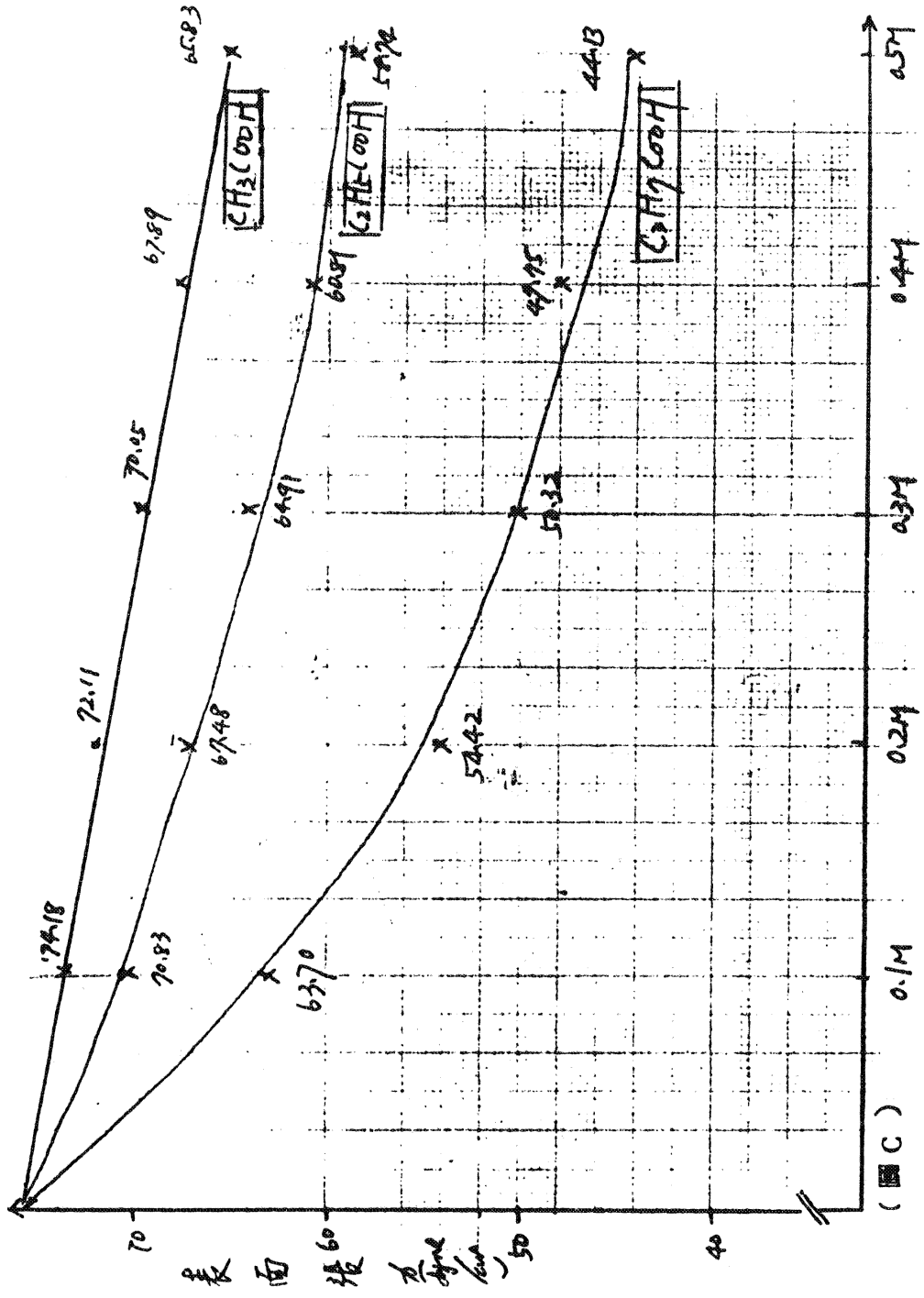


(表B)

t = 18°C

溶液名稱	各種測量值 測試項目	溶液濃度		0.1 M		0.2 M		0.3 M		0.4 M		0.5 M	
(甲醇) CH ₃ OH (aq)	溶 液 密 度	0.989		0.988		0.986		0.985		0.984			
	液 面 高 度 差 (cm)	9.90	9.70	9.50	9.60	9.40	9.40	9.10	8.90	8.80	9.00		
	表面張力 (dyne/cm)	69.16		67.43		64.80		61.15		60.16			
(乙醇) C ₂ H ₅ OH (aq)	溶 液 密 度	0.993		0.987		0.983		0.979		0.979			
	液 面 高 度 差 (cm)	9.40	9.40	9.10	9.20	9.20	9.00	8.90	8.80	8.70	8.80		
	表面張力 (dyne/cm)	65.74		63.36		61.5		59.81		58.79			
(丙醇) C ₃ H ₇ OH (aq)	溶 液 密 度	0.988		0.984		0.984		0.983		0.979			
	液 面 高 度 差 (cm)	8.90	9.10	8.70	8.80	8.30	8.30	8.30	8.20	8.20	8.10		
	表面張力 (dyne/cm)	61.05		58.64		54.06		52.57		51.17			

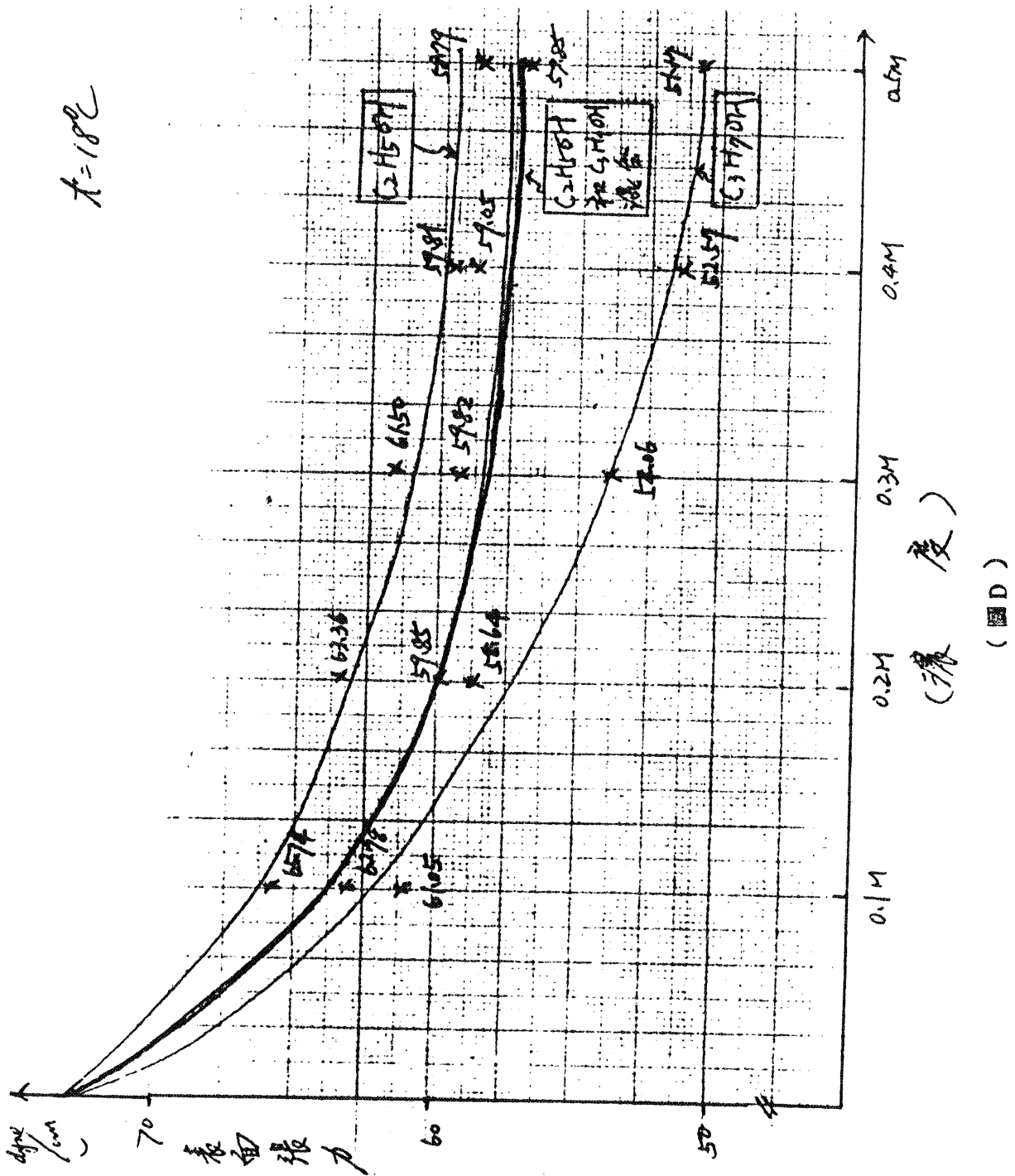
③如下(圖C)(表C)三者水溶液表面張力亦呈下降趨勢，同一濃度的丁酸表面張力最小，乙酸最大，而且跟醇類一樣，濃度愈高時相差愈顯著。



(表C)

溶液名稱	各種測量值 測試項目	溶液濃度		0.1 M		0.2 M		0.3 M		0.4 M		0.5 M	
(乙酸) CH ₃ COOH (aq)	溶液密度	0.991		0.992		0.993		0.997		0.998			
	液面高度差 (cm)	10.20	10.20	10.10	10.10	9.90	9.90	9.70	9.70	9.50	9.50		
	表面張力 (dyne/cm)	74.18		72.11		70.05		67.89		65.83			
(丙酸) C ₂ H ₅ COOH (aq)	溶液密度	0.994		0.994		0.995		0.996		0.997			
	液面高度差 (cm)	9.80	10.00	9.60	9.70	9.30	9.50	9.00	9.00	8.80	8.80		
	表面張力 (dyne/cm)	70.83		67.48		64.91		60.81		58.74			
(丁酸) C ₃ H ₇ COOH (aq)	溶液密度	0.989		0.989		0.990		0.991		0.993			
	液面高度差 (cm)	9.30	9.30	8.30	8.40	7.90	8.00	7.70	7.70	7.40	7.30		
	表面張力 (dyne/cm)	63.70		54.42		50.32		47.75		44.15			

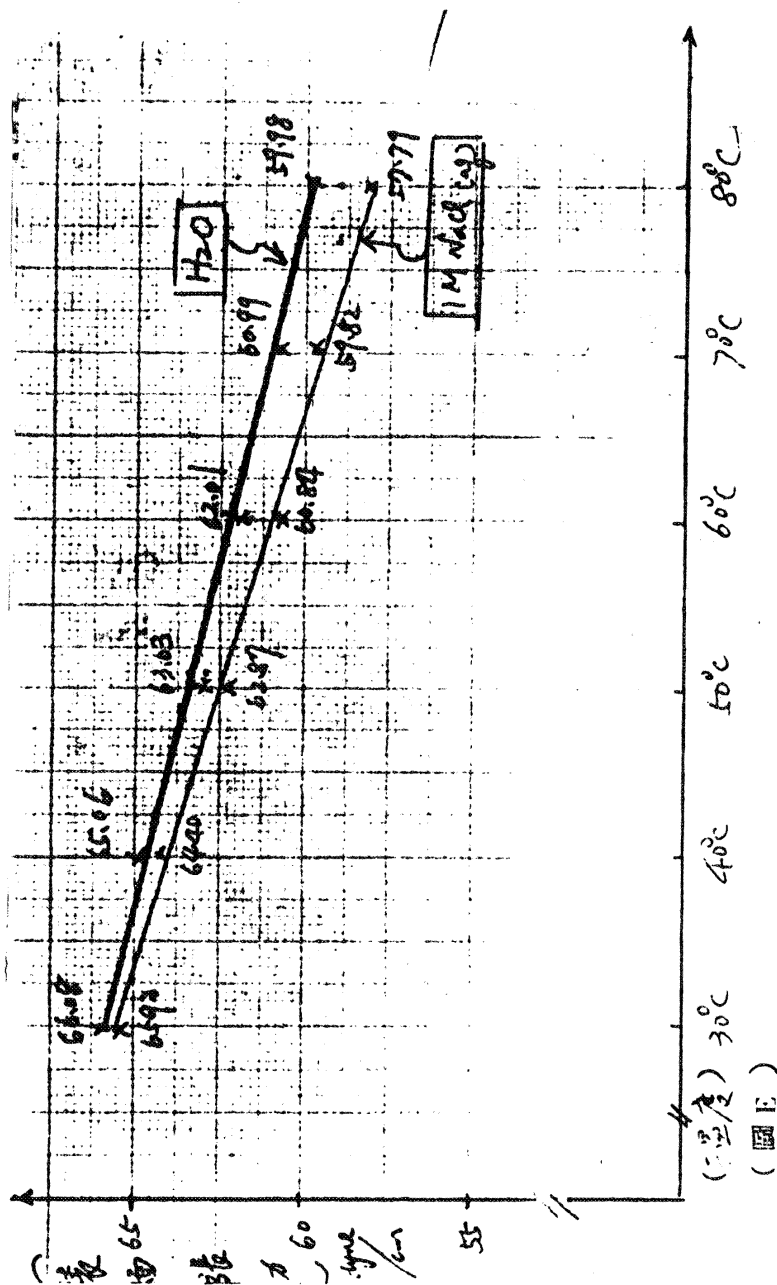
④如(圖D)(表D), C_2H_5OH 及 C_3H_7OH 兩溶液混合後表面張力之值並非兩個相加, 反而接近於平均值。



(表D)

溶液名稱	各種測量值	濃度		0.1 M		0.2 M		0.3 M		0.4 M		0.5 M	
		測試項目	度										
(乙醇) C ₂ H ₅ OH	溶液密度		0.993	0.987	0.983		0.979		0.979				
	液面高度差 (cm)	9.40	9.40	9.30	9.20	9.20	9.00	8.90	8.80	8.70	8.80		
	表面張力 (dyne/cm)	65.74		63.36		61.5		59.81		58.79			
(丙醇) C ₃ H ₇ OH	溶液密度		0.988	0.984	0.984		0.983		0.979				
	液面高度差 (cm)	8.90	9.10	8.70	8.80	8.30	8.30	8.20	8.10	7.90	8.10		
	表面張力 (dyne/cm)	61.05		58.64		54.06		52.57		51.17			
C ₂ H ₅ OH 和 C ₃ H ₇ OH	溶液密度		0.998	0.994	0.995		0.987		0.977				
	液面高度差 (cm)	9.20	9.20	8.90	8.90	8.90	8.90	8.80	8.80	8.60	8.60		
	表面張力 (dyne/cm)	62.78		59.85		59.82		59.05		57.85			

- ⑤如(圖E)(表E),顯示蒸餾水及食鹽水皆因溫度升高而表面張力降低。由數據顯示每升高 10°C 大約降低3%左右。



(表E)

溶液	各種 測試 項目	溫度					
		30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C
H ₂ O	溶液密度	0.995	0.992	0.998	0.983	0.977	0.971
	液面高度差 (cm)	9.50	9.40	9.25	9.10	9.00	8.90
	表面張力 (dyne/cm)	66.32	65.01	63.10	61.11	59.54	57.99
NaCl (M)	溶液密度	1.028	1.028	1.028	1.028	1.028	1.028
	液面高度差 (cm)	9.60	9.45	9.30	9.10	9.00	8.90
	表面張力 (dyne/cm)	65.92	64.40	62.87	60.84	59.82	57.79

⑥可見體積愈大的液泡愈大，體積小的液泡漸漸消失。

五、實驗討論

- 1.每次實驗時毛細管皆在液面下 3 cm 深處（參見物理化學實驗學）且用同一支毛細管。
- 2.每次液面高度差除溫度操作困難外，皆側試兩次再求其平均值。
- 3.E 項溫度實驗時，溫度計下端放在與毛細管尖端同深處以減少誤差。
- 4.測試密度時皆用同一量筒，同一天平（本實驗用 Ohas 天平，準確到 0.01 g）以減少誤差。
- 5.重力加速度皆以台北地區 978 cm/sec² 計算。
- 6.醇類及有機酸水溶液配完之後，皆放在錐形瓶內蓋緊，靜置 2 小時再行測驗，此因溶液吸附需要一段長時間，才能完全，如此表面張力測試值誤差較少。當改換濃度測試時，毛細管內液

柱應用注射筒將其壓出，再將被測液體吸入沖洗數次，再行測試。

六、結 論

1. 在液面分子它在液面上下兩方向所受力並不相等，它在上所受的力是氣化分子吸引力，而在液面下却受到液內分子吸引力，因為氣化分子密度小，且與液面分子距離遠大於分子力，故在液面分子，受到一個向液內拉的力量，而形成了所謂表面張力。
2. 不同溶質及濃度對於水溶液表面張力的影響不同，大部份無機鹽類水溶液其濃度與表面張力關係都如食鹽即水溶液其表面張力因溶質存在而增加，此類物質稱為界面非活性物質。反觀乙醇、丙醇及丁醇加入水中會減少表面張力，尤其是丁醇雖加入水量，水的表面張力却減少特別大，此類物質稱為界面活性劑，肥皂亦屬此類。
3. 一般界面活性劑常由極性及非極性兩種基構成，如乙醇由非極性 C_2H_5- 基和極性 $OH-$ 基構成，肥皂則是由 $R-$ 及 $-COO-COONa$ 兩種基所構成。當溶於水中時乙醇分子內 $OH-$ 基想將乙醇分子帶到水中溶解（親水基），但 C_2H_5- 基却想將乙醇分子帶到空中甚至水面（疏水基），如此溶液表面吸附溶質生成單分子層吸附膜，此乃是溶液減少表面張力原因。
4. 當醇類 ROH 及有機酸 $RCOOH$ 溶於水中時，由於醇類是由非極性烷基 $R-$ 及極性 $OH-$ 基，有機酸亦是由非極性 $R-$ 及極性 $COOH-$ 基所構成，當分子量愈大， R 愈大，上述現象增強，即溶液表面吸附溶質現象更形顯著。所以同類分子量愈大，表面張力影響也愈大，即表面張力因 B 愈大變得愈小。
5. 當兩種不同溶質在同一水溶液中時，其濃度與表面張力之關係已呈複雜，其表面張力並非為加成性之物理數值。
6. 當溫度一定時，同一種肥皂液其表面張力一樣，所以如果在—管兩端吹成兩泡，一個液泡較大，一個液泡較小時（如圖）由

於小的液泡內外壓力差較大，較小的泡就將空氣壓到較大的，易言之，即小的愈小，大的愈大。

7. 溫度升高雖不會影響分子間之引力，但會增加液體表面熱運動，所以溫度愈高表面張力愈小。但其降下情形不大，每當溫度範圍不太大時其溫度與表面張力大體成直線關係大約每下降 10°C 下降 3% 左右。

- 評語：
1. 實驗設計尚稱周詳，惜液泡半徑斷為毛細管半徑之觀點未有討論。
 2. 測量數據之處理甚佳。
 3. 表面張力受雜質的影響一般係指在界面的雜質而非均勻混合之液體雜質，但所量得之表面張力仍可解釋為該液體之表面張力，亦有參考價值。