

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

最佳創意獎

030108

泡泡的世界

學校名稱：新竹縣立湖口高級中學國中部

作者：	指導老師：
國二 洪瑋駿	施嶸旭
國二 洪瑋澤	彭婷莉

關鍵詞：泡膜、泡泡、表面張力

泡泡的世界

摘要

本實驗藉由製作泡泡氣壓計裝置來測量泡泡的表面張力，並透過最大泡壓法與簡易測量法等其他方式來檢視泡泡氣壓計的功能。並且利用泡泡氣壓計探討溶液濃度對泡泡表面張力的影響，並比較甘油與糖水對泡泡表面張力影響的差異。

研究結果發現本實驗裝置對於泡泡表面張力的測試接近其他兩種方式所測得的數據，因此是為一種測量泡泡表面張力的方法。加入甘油與糖水後，均可使泡泡表面張力變大，並且延續泡泡的生命期。

泡泡的世界

一、研究動機：

在理化課中，老師曾經向我們介紹有機化合物的肥皂，並指導我們製作肥皂實驗，就在實驗課程中，我們發現泡泡是由肥皂水溶液吹起來的，但是泡泡一下子就破了，我們知道泡泡的壽命是來自於泡膜的表面張力所維持，因此請教老師希望可以更深入探討泡膜的特性。

我們發現泡泡和氣球一樣，內部的壓力略大於外部的大氣壓，內外的壓力差藉由泡泡薄膜的表面張力而平衡。因此我們想設計一個泡泡氣壓計，藉由這一裝置，可以求得泡泡之表面張力。

二、研究目的：

- (一) 測量各種溶液形成泡泡之表面張力。
- (二) 探討溶液濃度對泡泡表面張力的影響。
- (三) 比較泡泡與溶液之表面張力有無不同。
- (四) 探討甘油與糖水對泡泡表面張力的影響。

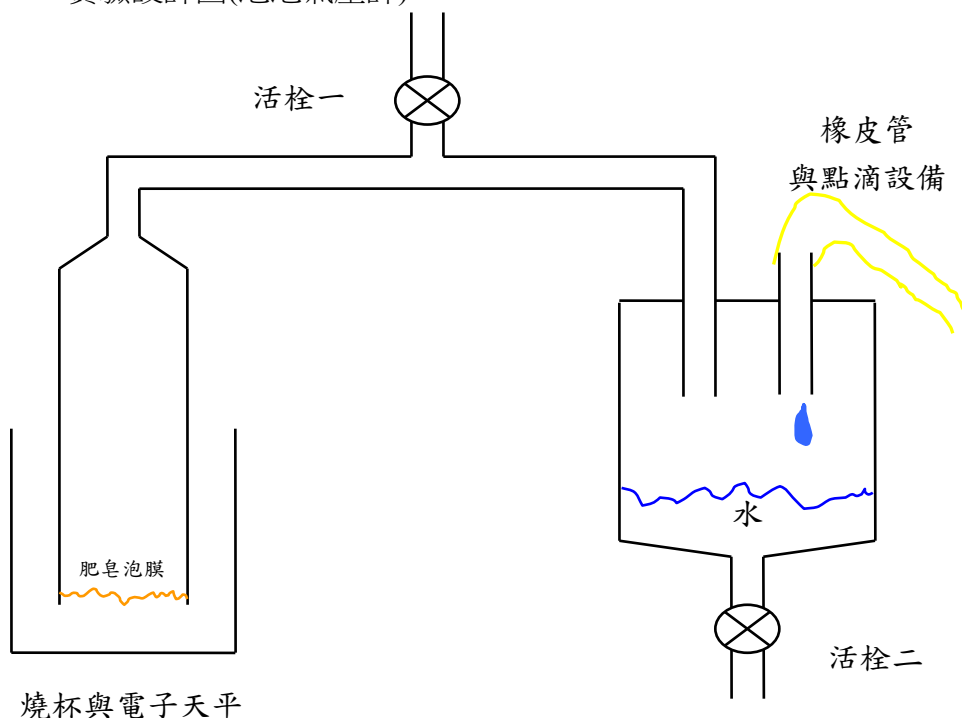
三、實驗器材和裝置

(一) 實驗器材

1. 電子天平(最小刻度 0.01 克)
2. 滴定管及滴定管固定架
3. 5ml 定量吸管及橡皮管
4. 點滴注射器
5. 鐵架及固定架
6. 可調高度支撐架
- (1~6 可合稱為泡泡氣壓計)
7. 燒杯、培養皿、量筒、吸管、漏斗、棉花棒、凡士林
8. 沙拉脫、洗碗精、沐浴乳、甘油、白糖
9. 刀片、絲線、游標尺
10. 注射針頭、雷射光

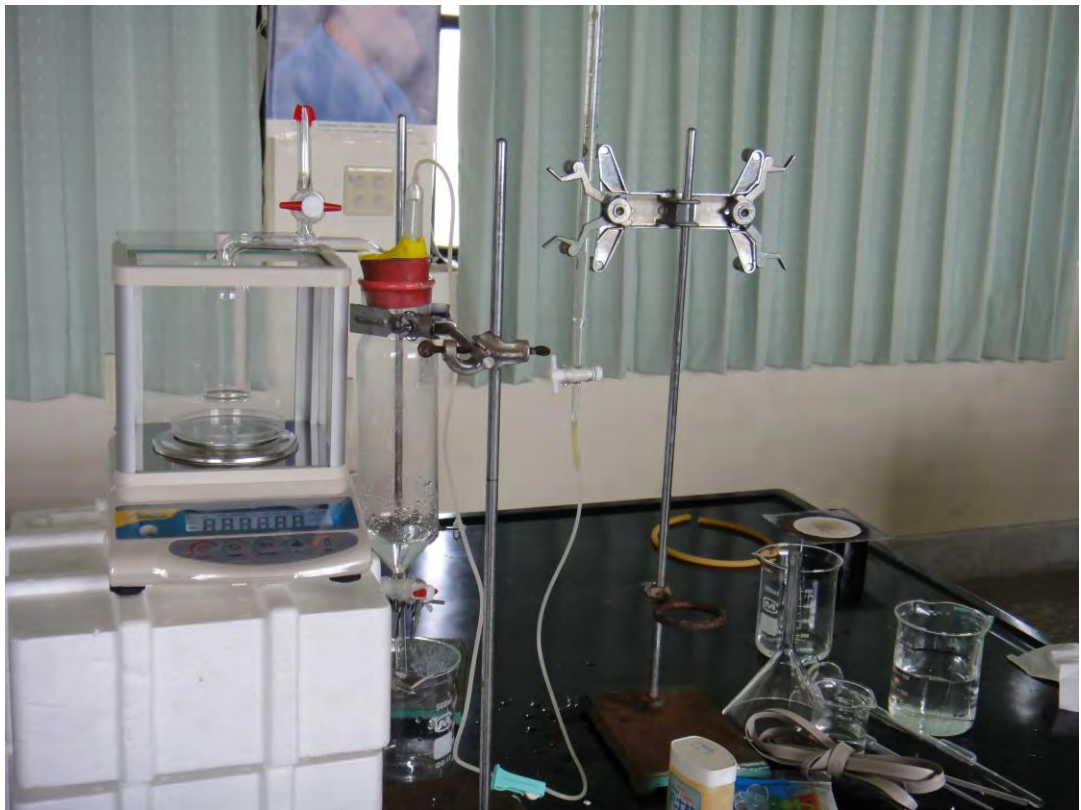
(二) 實驗裝置的設計

1. 實驗設計圖(泡泡氣壓計)



2. 由於泡泡內外的壓力差很小，而且壽命只能維持很短的時間，因此為了能準確並且迅速的量出泡泡的壓力和體積，我們設計出圖中的裝置：當水由滴定管注入瓶中時，我們可以計算出系統體積的變化量。同時測壓管中水位降低，燒杯中水位則升高，導致電子天平的讀數改變。由天平的讀數除以測壓管的截面積，可以計算出系統內外的壓力差。

活栓一在實驗開始前打開，使系統最初壓力等於外界大氣壓。每次實驗後瓶中的水則由活栓二洩出。



四、原理

(一) 泡泡氣壓計

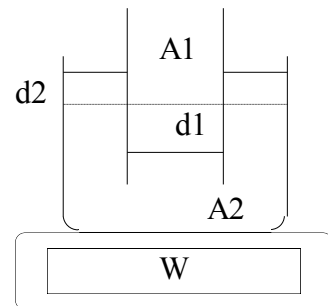
1、假設：

測壓管截面積為 A_1 ，管內水面下降 d_1

燒杯的截面積為 A_2 ，杯內水面上升 d_2

水的密度為 ρ

電子秤讀數 $\Delta W = A_2 \rho g d_2$ (1)



2、水的體積固定，即管內減少水量等於外部增加的水量

$$d_1 A_1 = d_2 (A_2 - A_1)$$

$$\Rightarrow d_1 = d_2 \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right) \dots\dots\dots (2)$$

3、管內外壓力差

$$\begin{aligned}\Delta P &= \rho g(d_1 + d_2) \\ &= \rho g \left[d_2 \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right) + d_2 \right] \\ &= \rho g d_2 \frac{A_2}{A_1} \\ &= \frac{\Delta W}{A_1} \dots\dots\dots (3)\end{aligned}$$

4、密閉系統較外界大氣壓高出的壓力(ΔP)等於電子秤讀數除以管的截面積，且 ΔP 與燒杯截面積無關。

(二) 泡泡的體積

密閉系統的體積，除了由滴定管注入水而改變之外，由於壓力的改變，以及測壓管內水面的降低，所以系統體積必須修正：

1、壓力改變，體積的壓縮量：

在定溫之下，密閉系統內的定量氣體必須滿足

$$\begin{aligned}(P_0 + \Delta P)(V_0 + \Delta V_1) &= P_0 \cdot V_0 \\ \Rightarrow \Delta V_1 &= V_0 \left(\frac{P_0}{P_0 + \Delta P} - 1 \right) = - \frac{V_0 \Delta P}{P_0 + \Delta P} \\ \because P_0 &\gg \Delta P \\ \therefore \Delta V_1 &= - \frac{V_0 \Delta P}{P_0} \dots\dots\dots (4)\end{aligned}$$

上式中

V_0 = 系統最初的體積

P_0 = 系統最初的壓力 (即大氣壓)

ΔP = 系統壓力的變化量 (即內外之壓力差，可由測量得到)

ΔV_1 = 系統壓力的壓縮量 (負號代表壓力變大時，體積變小)

2、測壓管內體積的變化量：

由於水量固定

$$d_1 A_1 = d_2 (A_2 - A_1) \dots\dots\dots (5)$$

管內外壓力差

$$\Delta P = \rho g (d_1 + d_2) \dots\dots\dots (6)$$

由 (5)、(6) 二式，可得

$$d_1 = \frac{\Delta P (A_2 - A_1)}{\rho g A_2}$$

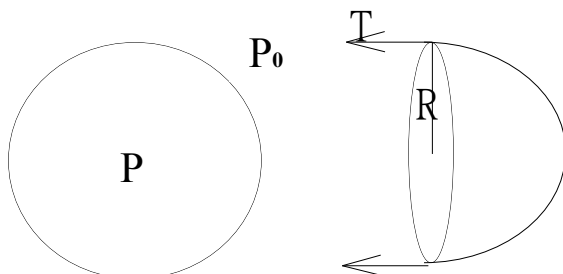
測壓管排出水的體積

$$\begin{aligned}\Delta V_2 &= A_1 d_1 \\ &= \frac{A_1 \Delta P (A_2 - A_1)}{\rho g A_2} \dots\dots\dots (7)\end{aligned}$$

3、當滴定管中注入瓶中水量為 V' ，由 1、2 可得泡泡的體積

$$V = V' + \Delta V_1 - \Delta V_2, \text{ 泡泡的半徑 } R = (3V/4\pi)^{1/3}$$

(三) 泡泡的表面張力



設泡泡內氣壓為 P ，外界大氣壓為 P_0

泡泡半徑為 R ，表面張力為 T

由上右圖來看，泡泡受到內外壓力，以及表面張力的作用而平衡，所以

$$P\pi R^2 = (2\pi R \times 2)T + P_0\pi R^2 \dots\dots\dots (8)$$

(8) 式中各項皆除以 πR^2

$$\Rightarrow P = \frac{4T}{R} + P_0$$

$$\Rightarrow \Delta P = P - P_0 = \frac{4T}{R} \dots\dots\dots (9)$$

由(9)式可知， ΔP 對 $\frac{1}{R}$ 作圖的斜率再除以 4 就是泡泡的表面張力。

(四) 最大泡壓法測量溶液的表面張力

- 1、針頭內徑測量：滴定管以點滴注射器及橡皮管和注射針頭連接，並且將滴定管的位置提高，由於虹吸管作用，水由針頭流出時形成水柱，在水柱流出處以雷射光照射，在距水注 d 處的屏幕上形成繞射條紋，測量其平均亮帶寬度

$$\Delta y = \frac{d\lambda}{w} \dots\dots\dots (10)$$

其中 λ 為雷射光波長（6328Å）， w 為水柱寬度（即針頭直徑），針頭半

$$\text{徑 } R = \frac{w}{2}$$

- 2、將注射針頭以橡皮管和吹氣口相連，待測液裝在燒杯中，針頭上用筆設定浸入液內的深度 h 。由滴定管將水注入瓶中使系統內壓力變大，針頭內液面下降，當針口形成半球形氣泡時，系統內外壓力差 ΔP 為最大值，氣泡離開針口時 ΔP 又減小。

當 ΔP 最大時，氣泡內外的壓力差藉由液體的表面張力而平衡，所以

$$(P_0 + \Delta P) \pi R^2 = 2\pi R \times T + (P_0 + \rho gh) \pi R^2 \dots\dots\dots (11)$$

其中 R 為氣泡半徑， ρ 為待測液密度

(11) 式中各項皆除以 πR^2

$$\Rightarrow T = (\Delta P - \rho gh) \times R / 2 \dots\dots\dots (12)$$

五、研究過程：

（一）儀器規格測定：

1. 以游標尺分別量出測壓管及燒杯之內徑，並計算出截面積 A_1 ， A_2 。
2. 將吹氣口及測壓管管口封住，由滴定管將水注入瓶中，直到整個裝置裝滿水為止，再將水由活栓二注入燒杯中，量出水的質量，可得容器總體積 V 。
3. 量出測壓管浸入水中長度 L ，則密閉系統之空氣最初體積
 $V_0 = V - A_1 L$

（二）測量泡泡、溶液的表面張力：

1. 配製濃度 1% 的洗碗精水溶液，並以此溶液潤濕吹氣口，使之形成一層薄膜。
2. 關上活栓一，當水由滴定管注入瓶內時，泡泡會逐漸變大，記錄每次注入的水量及電子天平的讀數，直到泡泡破滅為止。
3. 用清水清洗吹氣口，並用棉花棒擦乾，以免殘留的溶液，影響下次實驗的溶液濃度。
4. 將沙拉脫水溶液以原理（四）所述之最大泡壓法測其表面張力。
5. 以游標尺測量刀片長度 L 。裝溶液的蒸發皿放在電子天平上，將刀片以絲線懸掛緩緩下降接觸液面，當刀片上升快離開液面時（刀片須兩端同時離開液面始為水平），記錄天平讀數減少的最大值 Δw 。溶液的表面張力 $T = \Delta w \times 980 / (2L)$ 。
6. 改變溶液的濃度，重複步驟 1~5
7. 以沙拉脫、沐浴乳等不同清潔劑代替洗碗精，重複上述步驟。

（三）甘油、糖水對泡泡表面張力的影響

1. 配製濃度 1% 甘油 + 5% 洗碗精的水溶液，以步驟（二）的方法，測量泡泡的表面張力。
2. 改變甘油的濃度，重複步驟 1
3. 以糖水代替甘油，重複上述步驟。

六、研究結果：

（一）儀器規格：

容器總體積 $V = 625\text{ml}$

測壓管內徑 $D_1 = 3.57\text{cm}$

截面積 $A_1 = 10.01\text{cm}^2$

燒杯內徑 $D_2 = 6.71\text{cm}$

截面積 $A_2 = 35.36\text{cm}^2$

測壓管浸入水中長度 $L = 4.5\text{cm}$

密閉系統空氣體積 $V_0 = V - A_1 L = 580\text{ml}$

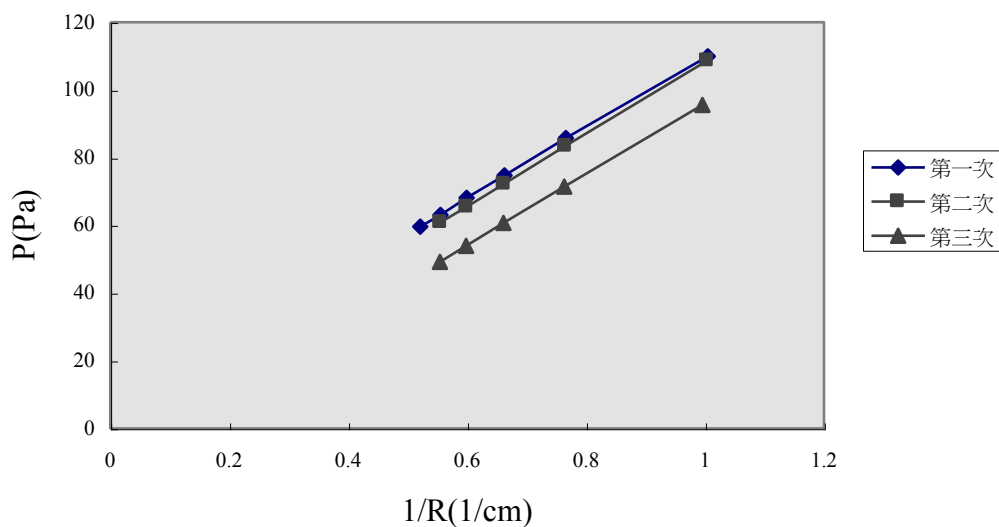
（二）泡泡之表面張力

1、沙拉脫水溶液

（1）濃度 0.2%，室溫 20.3°C

	5	10	15	20	25	30	表面張力 dyne/cm
1	1.122	0.876	0.763	0.696	0.645	0.608	26.034
2	1.110	0.850	0.738	0.608	0.622		26.670
3	0.976	0.730	0.620	0.551	0.503		26.215

圖一 沙拉脫0.2%泡泡



以第一次測量為例：

V(ml)	$\Delta w(g)$	ΔV_1	ΔV_2	V(ml)	R(cm)	1/R(1/cm)	$\Delta P(Pa)$
5	1.122	0.063	0.804	4.133	0.996	1.004	109.9
10	0.876	0.049	0.628	9.323	1.306	0.766	85.77
15	0.763	0.043	0.547	14.41	1.51	0.662	74.7
20	0.696	0.039	0.499	19.46	1.669	0.599	68.14
25	0.645	0.036	0.462	24.5	1.802	0.555	63.15
30	0.608	0.034	0.436	29.53	1.917	0.522	59.53

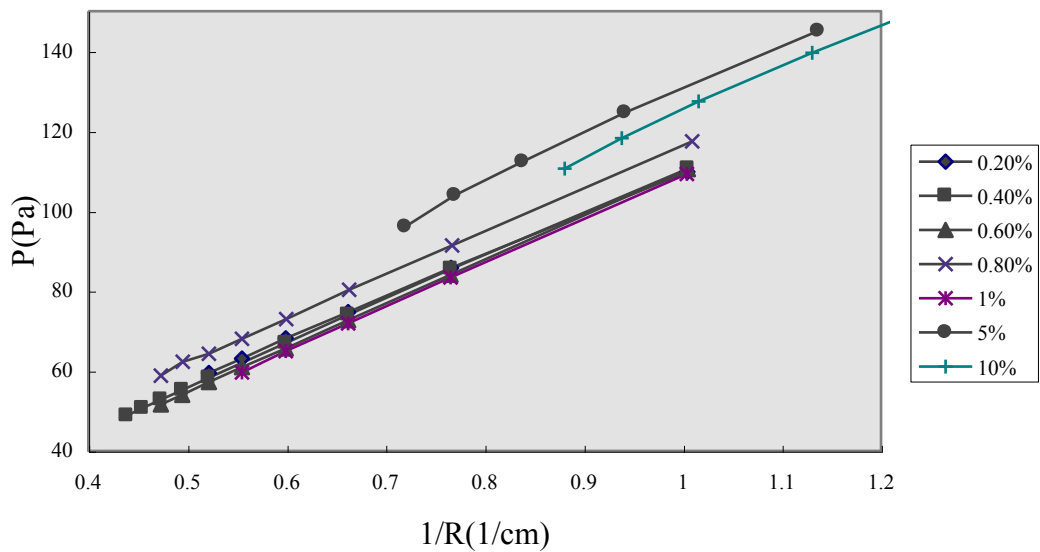
斜率=104.1374

表面張力=26.03434dyne/cm

(2) 不同濃度泡泡的表面張力

濃度	滴定管注入水體積 V' (ml) 電子天平讀數 ΔW (g)											表面張力 dyne/cm
0.2%	V'	5	10	15	20	25	30					26.03
	ΔW	1.122	0.876	0.763	0.696	0.645	0.698					
0.4%	V'	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	27.38
	ΔW	1.13	0.873	0.756	0.684	0.64	0.596	0.564	0.539	0.517	0.498	
0.6%	V'	5	10	15	20	25	30	35	40			27.61
	ΔW	1.128	0.859	0.743	0.67	0.622	0.585	0.552	0.527			
0.8%	V'	5	10	15	20	25	30	35	40			27.2
	ΔW	1.2	0.933	0.821	0.746	0.695	0.657	0.636	0.601			
1%	V'	5	10	15	20	25						27.51
	ΔW	1.116	0.852	0.734	0.664	0.609						
5%	V'	4	6	8	10	12						28.99
	ΔW	1.481	1.273	1.147	1.061	0.981						
10%	V'	3	4	5	6	7						26.7
	ΔW	1.637	1.426	1.301	1.207	1.13						

圖二 各種濃度沙拉脫泡泡



(3) 溶液表面張力之測量

水柱到屏幕距離 $d=200\text{cm}$

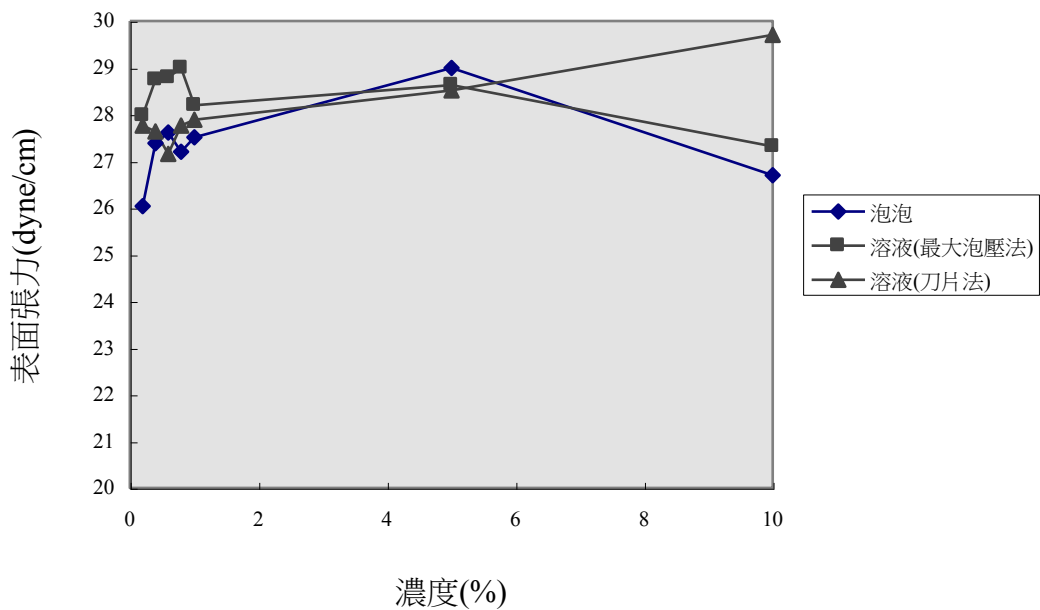
亮帶平均寬度 $\Delta y=0.625\text{cm}$

針孔半徑 $R=0.01012\text{cm}$

刀片長度 $=3.9\text{cm}$

	濃度	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%	1%	5%	10%
最大泡 壓法	$\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	0.995	0.990	0.987	0.987	0.992	0.995	1.003
	$\Delta w_+(g)$	61.41	62.90	63.0	63.40	61.80	62.70	60.10
	$T(\text{dyne}/\text{cm})$	27.98	28.74	28.79	28.99	28.19	28.63	27.32
刀片法	$\Delta w_-(g)$	0.220	0.222	0.216	0.221	0.222	0.227	0.236
	$T(\text{dyne}/\text{cm})$	27.76	27.64	27.15	27.76	27.89	28.52	29.7

圖二之2 沙拉脫泡泡,溶液表面張力之比較



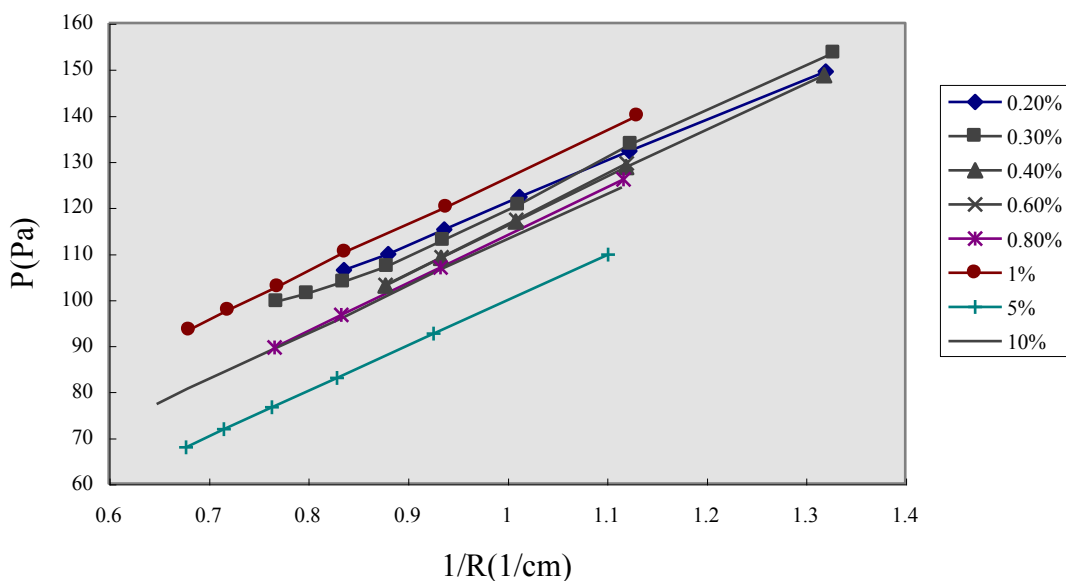
- 分析：
- 1、泡泡與溶液之表面張力很接近
 - 2、濃度改變時表面張力變化不大

2、洗碗精

(1) 不同濃度泡泡的表面張力：室溫 21.4 °C

濃度	滴定管注入水體積 V' (ml) 電子天平讀數 ΔW (g)									表面張力 dyne/cm
0.2%	V'	3	4	5	6	7	8			22.48
	ΔW	1.527	1.35	1.248	1.176	1.122	1.086			
0.3%	V'	3	4	5	6	7	8	9	10	25.32
	ΔW	1.568	1.366	1.231	1.152	1.095	1.06	1.034	1.016	
0.4%	V'	3	4	5	6	7				25.95
	ΔW	1.518	1.315	1.194	1.113	1.052				
0.6%	V'	3	4	5	6	7				25.96
	ΔW	1.524	1.311	1.198	1.116	1.055				
0.8%	V'	4	6	8	10					26.0
	ΔW	1.288	1.092	0.987	0.915					
1%	V'	4	6	8	10	12	14			25.7
	ΔW	1.428	1.226	1.127	1.049	0.998	0.954			
5%	V'	4	6	8	10	12	14			24.6
	ΔW	1.12	0.945	0.847	0.782	0.733	0.693			
10%	V'	4	6	8	10	12	14	16		25.1
	ΔW	1.27	1.087	0.979	0.912	0.863	0.823	0.789		

圖三 各種濃度冷洗精泡泡



(2) 溶液表面張力之測量

刀片長度=3.9cm

濃度	0.2%	0.3%	0.4%	0.6%	0.8%	1%	5%	10%
$\Delta w(g)$	0.233	0.223	0.220	0.221	0.218	0.222	0.223	0.224
$T(\text{dyne/cm})$	29.27	28.01	27.64	27.77	27.389	27.91	28.03	28.16

分析：1、濃度 0.2%時泡泡表面張力較小，但溶液之表面張力卻最大，其餘
濃度表面張力變化不大

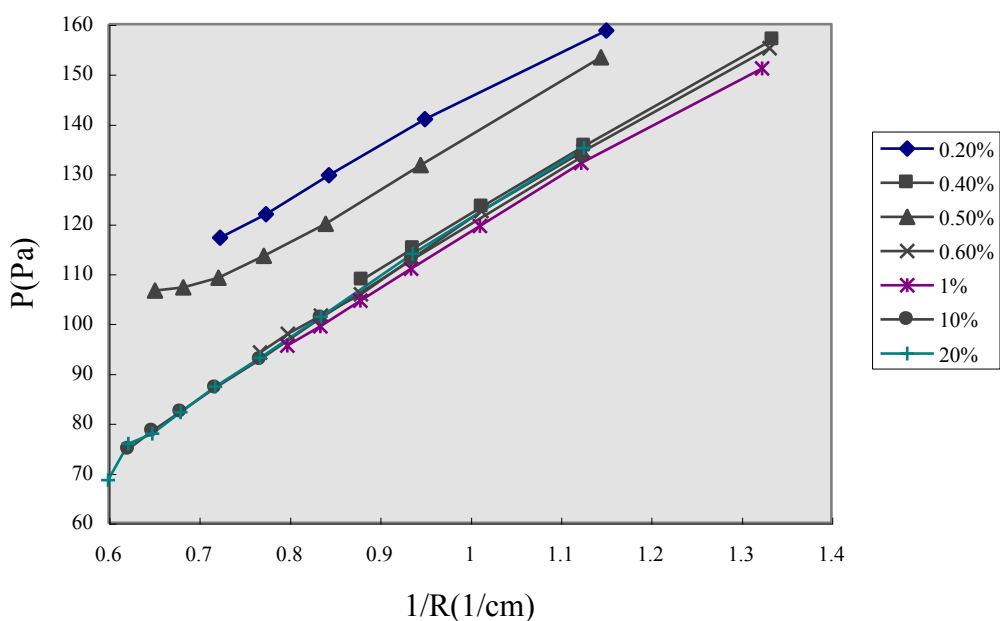
2、各濃度溶液之表面張力均較泡泡表面張力大、

3、沐浴乳

(1) 不同濃度泡泡的表面張力：室溫 20.5 °C

濃度	滴定管注入水體積 V' (ml) 電子天平讀數 ΔW (g)										表面張力 dyne/cm
0.2%	V'	4	6	8	10	12					24.47
	ΔW	1.621	1.44	1.325	1.245	1.197					
0.4%	V'	3	4	5	6	7					26.51
	ΔW	1.603	1.385	1.26	1.175	1.11					
0.5%	V'	4	6	8	10	12	14	16			26.35
	ΔW	1.566	1.346	1.225	1.16	1.115	1.095	1.089			
0.6%	V'	3	4	5	6	7	8	9	10		27.35
	ΔW	1.585	1.374	1.251	1.154	1.081	1.037	1.000	0.962		
1%	V'	3	4	5	6	7	8	9			26.7
	ΔW	1.543	1.350	1.221	1.133	1.068	1.015	0.976			
10%	V'	4	6	8	10	12	14	16	18		29.17
	ΔW	1.363	1.152	1.033	0.948	0.890	0.840	0.801	0.764		
20%	V'	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30.67
	ΔW	1.381	1.164	1.035	0.951	0.892	0.839	0.795	0.775	0.700	

圖四 各種濃度沐浴乳泡泡



(2) 溶液表面張力之測量

刀片長度=3.9cm

濃度	0.2%	0.4%	0.5%	0.6%	1%	10%	20%
$\Delta w.(g)$	0.208	0.216	0.221	0.227	0.217	0.227	0.226
T(dyne/cm)	26.147	27.138	27.783	28.52	27.138	28.526	28.418

分析：1、泡泡表面張力隨濃度增加而變大

2、以刀片測溶液之表面張力也是隨濃度增加，但其靈敏度不如以微量氣壓計測得之泡泡表面張力

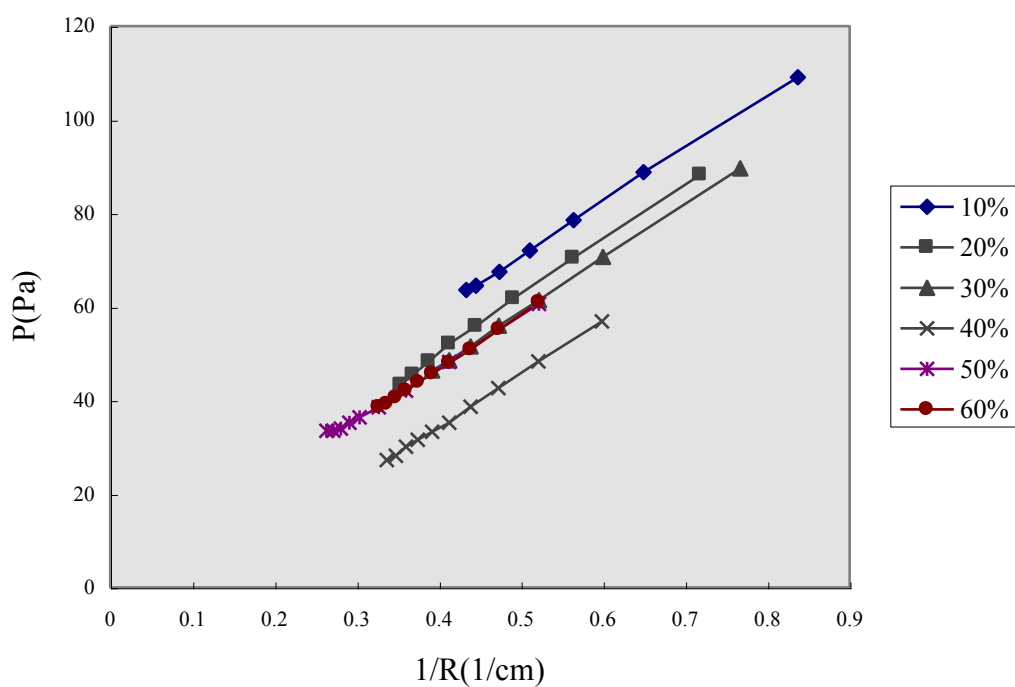
(三) 甘油、糖對泡泡表面張力的影響

1、甘油

洗碗精 5%，室溫 18.9 °C

甘油 濃度	滴定管注入水體積 V' (ml) 電子天平讀數 ΔW (g)											表面張力 dyne/cm
10%	V'	8	16	24	32	40	48	52				28.62
	ΔW	1.114	0.907	0.802	0.736	0.689	0.659	0.65				
20%	V'	12	24	36	48	60	72	84	95			28.98
	ΔW	0.901	0.719	0.631	0.57	0.532	0.494	0.465	0.442			
30%	V'	10	20	30	40	50	60	70				28.23
	ΔW	0.915	0.722	0.627	0.571	0.526	0.496	0.474				
40%	V'	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	28.47
	ΔW	0.581	0.493	0.435	0.395	0.36	0.34	0.323	0.307	0.288	0.278	
50%	V'	30	60	90	120	150	170	190	210	230		28.37
	ΔW	0.619	0.492	0.429	0.394	0.371	0.36	0.347	0.342	0.342		
60%	V'	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	29.69
	ΔW	0.623	0.563	0.579	0.49	0.467	0.448	0.43	0.414	0.4	0.394	

圖五 各種濃度甘油+5%冷洗精泡泡



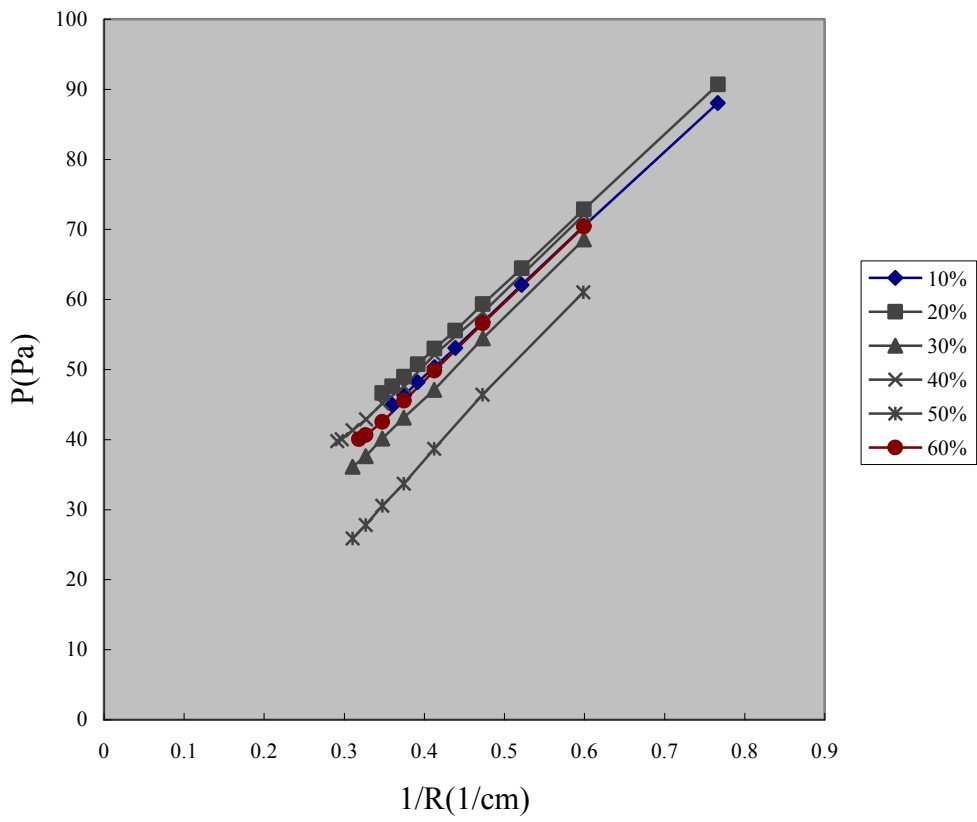
分析：1、加入甘油後泡泡之表面張力增加（5%洗碗精泡泡之表面張力為 24.6dyne/cm），但其增加程度與甘油濃度無明顯關係。
2、加入甘油可以使泡泡吹的較大。

2、白糖

洗碗精 5%，室溫 20.5 °C

白糖 濃度	滴定管注入水體積 V' (ml) 電子天平讀數 ΔW (g)											表面張力 dyne/cm
10%	V'	10	20	30	40	50	60	70	80	90		26.64
	ΔW	0.899	0.72	0.634	0.58	0.542	0.514	0.492	0.473	0.459		
20%	V'	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	26.45
	ΔW	0.926	0.744	0.658	0.606	0.567	0.541	0.518	0.5	0.486	0.476	
30%	V'	20	40	60	80	100	120	140				27.80
	ΔW	0.7	0.556	0.481	0.44	0.41	0.384	0.369				
40%	V'	20	40	60	80	100	120	140	160	170		26.89
	ΔW	0.736	0.594	0.532	0.486	0.461	0.438	0.422	0.409	0.406		
50%	V'	20	40	60	80	100	120	140				30.39
	ΔW	0.623	0.474	0.395	0.344	0.312	0.284	0.264				
60%	V'	20	40	60	80	100	120	130				27.7
	ΔW	0.719	0.578	0.509	0.465	0.434	0.415	0.409				

圖六 各種濃度白糖+5%冷洗精泡泡



分析：加入白糖的影響與甘油相似

七、討論：

- 1、測壓管作成截面較大的形狀，是為了使電子秤的讀數較明顯，
 $\therefore \Delta W = \Delta P A_1$ ， ΔP 固定時， ΔW 正比於 A_1
- 2、原本我們將附活栓的滴定管直接插在瓶子上，但每次開或關活栓時造成儀器的晃動而產生有一定程度的誤差，所以我們改用點滴注射器的流量控制開關替代原來的分液開關。經改進後，誤差大大減小了。
- 3、測壓管中水的毛細上升現象基於下列理由可以被忽略不計：
 - (1) 測壓管截面積較大。
 - (2) 在實驗過程中，毛細上升之高度皆維持一定。
- 4、 ΔP 對 $1/R$ 作圖的直線不一定通過原點，造成截距不為零的原因可能是水蒸汽壓的影響、容器有漏氣、儀器的結構因素，或是泡泡與吹氣口接觸的附著力，泡泡的重量，以及空氣浮力等因素的影響，但這些因素並不影響直線的斜率。
- 5、在原理的(8)式，我們並沒有考慮泡泡與吹氣口接觸的附著力，泡泡的重量，以及空氣浮力這三項因素的影響，原因如下：
 - (1) 泡泡與吹氣口接觸長度固定，所以其附著力可視為定值。
 - (2) 泡泡的重量可視為定值（忽略蒸發所減少的重量），且其方向向下，可與附著力抵消。
 - (3) 泡泡內外空氣密度相同，所以可以忽略空氣浮力的影響。

雖然上述的附著力可以與泡泡重量抵消，但是當泡泡尚未形成之前，（加入水量少於 2 ml），此時液滴仍在吹氣口內，與吹氣口管壁接觸的面積較大，所以附著力較大而不能忽略，因此不能適用於原理中的(9)式；此時液滴將吹氣口封住，所以剛開始注入水時，系統壓力變大，電子天平讀數上升，但是當泡泡形成後，天平的讀數就逐漸減小了。

因為泡泡體積小時，壓力較大，所以原理中體積的修正項 ΔV_1 ， ΔV_2 就顯得特別重要。

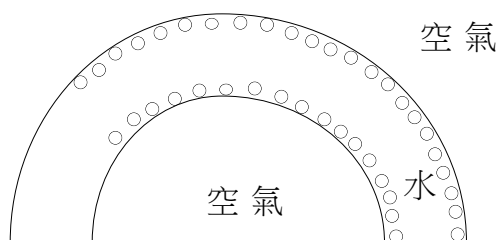
6、實驗過程中，我們發現下列關於泡泡形成的現象：

- (1) 純水不能吹成泡泡是因為表面張力太大，但表面張力小的純物質，（如苯(28.88dyne/cm)、乙醇(22.39dyne/cm)）亦不能形成泡泡。
- (2) 甘油加水、糖加水，皆不能形成泡泡，但甘油、糖都可以幫助清潔劑的水溶液形成泡泡。
- (3) 清潔劑的濃度低時，表面張力隨濃度的增加而增加；但在濃度高時，表面張力與濃度無關。

對於這些現象，我們提出下面的模型加以解釋：

- (1) 形成泡泡的條件，除了表面張力不能太大外，在空氣與液體之間必須形成穩定界面。清潔劑是一種穩定的高分子聚合物，可以作為界面活性劑，其分子組成，一端為親油性，一端為親水性，泡泡形成時，其構造如右圖：

清潔劑分子可在空氣與水之間形成穩定界面，當溶液濃度低於 0.2%時，沒有足夠的分子作為界面活性劑，因此無法吹成泡泡。



- (2) 甘油、蔗糖、醇類等，其分子構造具有OH基，皆具親水性，但因其分子太小，無法作為界面活性劑因此無法形成泡泡。但此等分子可增加液體之黏滯性，減低流動性，使薄膜不易變薄而破裂，故可使泡泡吹得較大。
- (3) 當清潔劑分子的濃度足以及在泡泡之內外層各形成一層界面時，多餘之分子並無明顯作用，因此在濃度大時，泡泡之表面張力變化不大。

- 7、泡泡各處的厚度並非相同，由於重力的影響，使薄膜上的液體有向下流的趨勢，使得泡泡上方膜的厚度較薄。泡泡顯現繽紛的色彩，就是各處厚度不同的結果。

泡泡薄膜的平均厚度可以計算：

設溶液的密度為 ρ ，液滴的質量為 m ，則薄膜部份的體積為 $\frac{m}{\rho}$

液滴吹成泡泡後，半徑為 R ， \therefore 體積一定

$$\therefore 4 \pi R^2 t = \frac{m}{\rho} \rightarrow \text{薄膜厚度 } t = \frac{m}{4 \pi R^2 \rho}$$

以洗碗精 5%+甘油 50%水溶液為例：裝溶液的燒杯在潤濕吹氣口前後所減少的質量（即液滴質量）為 0.031g，溶液的密度為 1.1237g/cm³，滴定管注入水量 230ml 時泡泡才破掉，此時半徑為 3.78cm，由此可得其厚度為 0.000152cm！實際上，因為液面蒸發的因素，所以薄膜厚度比理論值更小。

- 8、泡泡氣壓計除了本實驗之用途以外，也可以應用於其它微量氣壓變化之密閉系統，例如：本儀器可以用來應證波以耳定律（見附錄）
- 9、最大泡壓法測量溶液表面張力時，以滴管代替吹氣口，是因為管口較小所形成的氣泡較接近半球形，反之原來的吹氣口太大，氣泡半徑不等於吹氣口半徑，因此不適用於原理（11）式，所得結果誤差也較大。
- 10、參考資料三以最大泡壓法測量溶液表面張力，其作法是以注射筒對針頭內的空氣加壓，並且以開管壓力計玻璃管中水面升降變化得到壓力值；本實驗以滴定管注水加壓的方法以及電子天平記錄壓力值，可以更精準的控制及記錄密閉系統的壓力變化。

八、結論：

- (一)、同一濃度的泡泡以本實驗的方法所得到的表面張力均甚為接近，具有很高的再現性，因此是測量泡泡表面張力的一個好方法。
- (二)、清潔劑水溶液的表面張力在濃度很低時，表面張力較小，但表面張力增加到一定值後呈“飽合”，濃度並無明顯影響，此結果與參考資料 4 所列相同。
- (三)、泡泡氣壓計不僅可測出泡泡的表面張力，同時可以最大泡壓法測出溶液的 surface 張力；以滴定管注水加壓的方法以及電子天平記錄壓力值，可以改進參考資料三的作法得到更精確的結果。
- (四)、甘油、糖水均可使泡泡表面張力變大，且吹出的泡泡體積較大並且生命期較長。

九、參考資料：

1. 肥皂泡的世界 (民 68)。歐陽鐘仁編譯。正中書局。
2. 肥皂泡的成因 (民 59)。C.V.Boys 原著。任明道譯。臺灣商務印書館。
3. 毛細管測量表面張力的研究。第三十五屆全國科學展覽優勝作品專輯。
4. 表面物理化學。陶雨台譯。千華出版社。
5. Conceptual Physics tenth edition (2008)。P.260~261 Surface Tension。

附錄：波以耳定律

密閉系統壓力 $P = P_0 + \Delta P$

密閉系統體積 $V = V_0 + \Delta V_1 + \Delta V_1 - V'$

其中 V' 為滴定管加入系統的水量

∴波以耳定律（溫度一定時，體積和壓力的乘積為一定值）

∴ $PV = P_0V_0 = \text{定值}$

※須將吹氣口以保鮮膜及油土(或紙黏土)封住，並塗上凡士林以避免漏氣。



【評語】 030108

1. 本作品利用平衡的方式測量液體的表面張力，並製作出測量的儀器，十分有創意。
2. 誤差、準確度、解析度的分析宜加強，並應以標準純物質液作校正。