

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組化學科

040203

國立嘉義女子高級中學

指導老師姓名

莊淑雀

高聖智

作者姓名

呂婉甄

王琦雅

薄膜組成粒子間的競力秀

摘要:

洗滌用的界面活性劑分散系，沾在管口用氣吹它，會生成泡泡，沾在對稱結構的框上，會產生特定形體的薄膜，雖然泡與膜是截然不同的形態，但影響各自形態的變因，可設計為比較分散系表面張力大小的方法，並藉以探討各種分散系表面張力與濃度間的關係，本研究中發現它們的變化趨勢，與分散質的分子結構有關；市售的皂類與合成清潔劑兩大類的分散系，濃度與表面張力的變化趨勢，恰好相反。

在本研究還發現一個特別的現象，同種分散系在立體框上產生薄膜，其總面積大小與表面張力大小關係，和框的形狀有關；正立方體的框，薄膜面積愈大表面力張力愈小；正三角柱的框，薄膜面積愈大表面力張力愈大。

壹. 研究動機

界面類的洗劑分散系產生的泡膜，沾在不同形體的框上，薄膜結構有什麼不同？薄膜總面積怎麼測量會比較精確可信？不同界面劑分散系的分子間作用力差異，在同種框上結膜總面積會不相等嗎？同一種界面劑在不同濃度時，薄膜組成在框中競力否改變的情形也不同呢？

貳. 研究目的

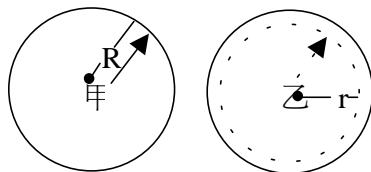
- 一、洗劑在形體不同的框上，產生的薄膜結構比較。
- 二、研究提高測量薄膜面積精準度的方法。
- 三、立方框與三角柱兩種不同結構的框上，產生的薄膜總面積大小與表面張力大小的探討。
- 四、不同洗劑在各種濃度下，表面張力的變化研究。

參. 文獻探討

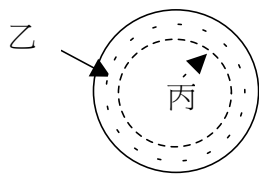
- 一、莊淑雀老師指導，中華民國第三十六屆中小學科學展覽優勝作品—『泡泡的特

性研究』測定表面張力的方法的原理分析：

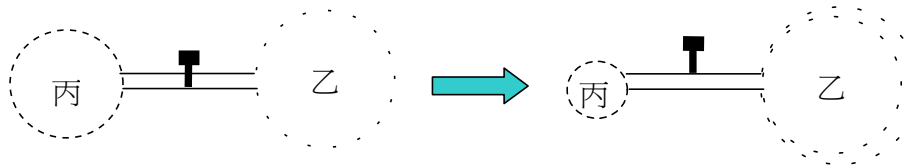
- (一)、定量氣體在沒有膜的包覆下，呈球狀時的體積【如圖(一) 甲：半徑 R 】，比有界面劑薄膜包覆的球體【如圖(一)乙—虛線，半徑 r 】大。



- (二)、等量 A、B 兩種不同的界面劑分散系，以等量的相同氣體吹泡，分子間作用力的不相等，表面張力不同，泡的體積也不相等，【如下圖(二)之乙、丙】，丙的體積比較小，內壓較大，表面張力大。



- (三)、本研究設計兩泡連通裝置，當兩泡連通時，丙體積比較小【內壓大，表面張力大，分子間作用力大】，內部的氣體會流向乙而導致丙泡體積縮小，乙泡體積膨脹，迄丙泡內的氣體全部消失為止。【以致產生丙的氣體，如下圖(三)所示】



- (四)、由參考文獻三的 P14~P20 知道：(1)泡的內壓差 $\Delta P \propto \frac{2T}{r}$ 、(2)泡膜的張力 $T \propto r$ ，

及(3)球體體積 $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ ，導出 $T \propto r \propto \sqrt[3]{V}$ 【即 A B 兩種界面劑的張力比

$\frac{T_A}{T_B} = \frac{\sqrt[3]{V_A}}{\sqrt[3]{V_B}}$ 】因此推想到下列的實用測量方法：

欲使兩泡等壓，必須 A 維持不變，將沾界面劑 B 吹出體積較小張力大的一方，增加吹泡的氣體用量（體積），以便吹出較大的泡，降低內壓。或者相反，B 維持不變，將張力小的 A 吹出體積較大的一方，減少吹泡的氣體用量（體積），以便吹出較小的泡，升高內壓。

文中只探討不同的界面劑、加入添加劑、靜置數日等變因以致分散系的張力大小改變的現象，沒有研究界面劑在不同濃度時張力的改變與界面劑的類型的相關性。也沒有討論界面劑在框上產生薄膜的面積變化等問題，我們認為些現象皆值得分析及比較。

二、市售商品的界面活性劑的類型研究：

- (一)依原料來源：1.天然的肥皂—含脂肪酸鈉為主 2.人造合成品—含苯磺酸鈉為主的

兩大類。

(二)依離子的類型：1.陰離子型 2.陽離子型 3.兩性型 4.非離子型。

本研究著重在原料來源差異，界面活性劑分子不同，分子間作用力不一樣，是否會呈現在表面張力與濃度關係的變化走勢上？

肆. 研究設備與試藥

名稱	數量	名稱	數量	試劑	數量
超音波震盪儀	1 台	三叉管	3 支	各種界面劑： A1、A2、A3、 A4、A5、B1、 B2、B3、B4、 B5、C1、C2、 C3、C4、C5 (配製分散系 的要點，見附 錄二)	適量
1000 cc的燒杯	30 個	橡皮管	50cm		
電子秤	1 台	濾網	1 個		
滴管	10 支	玻棒	2 根		
木條	5 支	有刻度注射筒	3 支		
鏡子	2 個	試管夾	1 支		
鏡子固定架	2 個	雷射筆	1 支		
兒童遊戲 Lego 積木	6 個	硬脂酸鈉	1 盒		

伍. 研究步驟

一、洗劑在形體不同的框上，產生的薄膜結構比較。

- (一) 用約長、寬、高各懇約 **0.3mm** 木條，製作各種形狀的立體框。
- (二) 各框分別用適當的線綁著，以便沾界面劑分散系後，可提離液面懸吊。
- (三) 操作者需戴衛生手套。

二、研究提高測量薄膜面積精準度的方法。

(一) 鏡像連線測長度：

1. 自製透明的彩色方格紙，作刻度尺，並貼在的鏡面上【圖(一)】。
2. 將已沾界面洗劑的框放在鏡前，讀取實體與鏡像同一點的連線，通過鏡面上透明片的方格紙刻度。

(二) 框的結構有站立的支架，可精簡測量值的讀取次數、控制測量變因。

1. 立方框有六個面，其中之一的四個頂角，皆突長約 **0.50cm**，做為站立在鏡前定點的支架。
2. 三角柱體的框，在兩正三角形之一的三個頂點，皆突長約 **0.50cm**，做為站立的支架。

(三) Lego 單孔積木做定點的孔洞

1. 鏡前約 **3 cm** 處，用電焊筆挖孔，以便樂高(Lego)的方形最小的單孔積木定點黏附。
2. 選用切割較工整的樂高(Lego)積木，讓框的支架插入呈固定位置，使沾界面劑的框，每次皆站立在鏡前定點位置，框的每個頂角在刻度尺上讀數相同。

三、立方框與三角柱兩種不同結構的框上，產生的薄膜總面積與表面張力大小的探討。

四、不同洗劑在各種濃度下，表面張力的變化研究。

(一)泡：

1. 定量體積的空氣吹泡的連通裝置研究。見圖(三)、圖(四)。
2. 固定特定品牌及濃度，用定量(體積)空氣吹泡做為比較基準。
3. 待測的分散系在連通裝置的另一端，用適量空氣體積吹泡，再打開阻隔通道的鐵夾。
4. 增、減待測端吹泡空氣體積，一直到吹出的氣泡與設定為比較基準氣泡相通時，兩端氣泡不變(或改變方式相同的機率相等)時，記錄空氣體積。

(二)膜：框沾洗潔劑分散系生成薄膜的面積測量。

1. 立方框沾分散系，讀取計算面積所需之讀數 X 、 Y 、 Z 、 L 、 K 。【圖(二)】
2. 三角柱沾分散系後，讀取薄膜上、下尖頂讀數 h_1 、 h_2 。

(三)添加劑對洗潔劑分散系表面張力的影響

1. 在 $A_3 B_5$ 的原液分散系中分別加入 2.5 克、3.5 克硬脂酸鈉。
2. 用吹泡連通裝置測上述分散系的表面張力。

陸. 研究記錄

一、 洗劑在形體不同的框上，產生的薄膜結構。



照片(一)：立方框上的薄膜之一



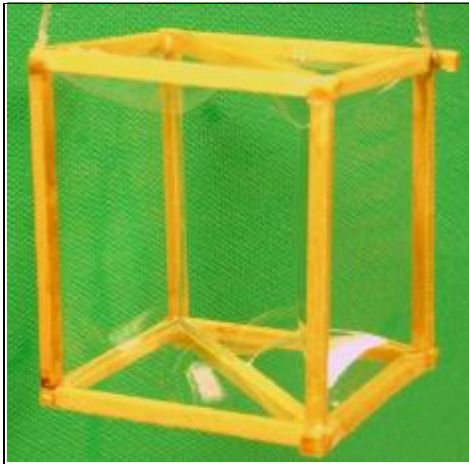
照片(二)：立方框上的薄膜之二



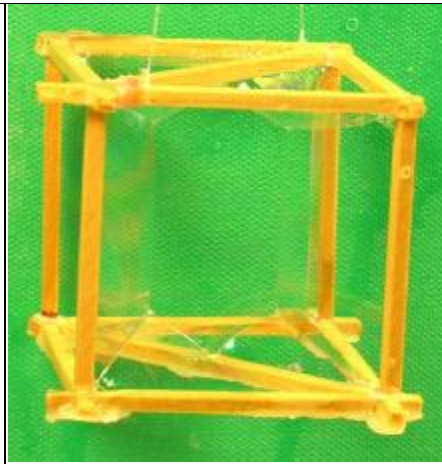
照片(三)：四個面各加一條中線



照片(四)：另一種加中線方式。



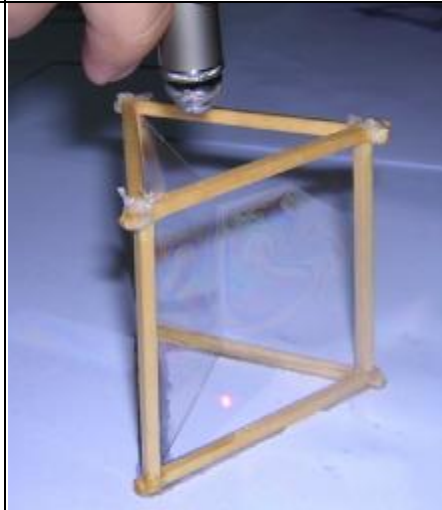
照片(五)：對面上加平行的對角線



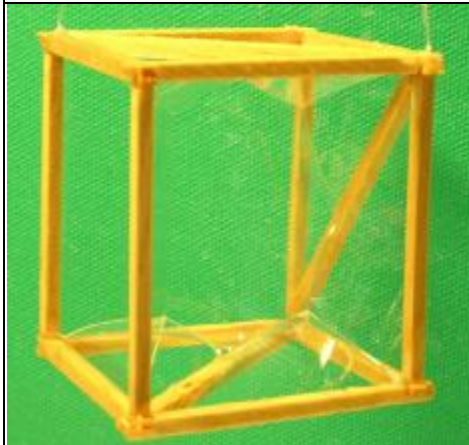
照片(六)：對面上加相錯的對角線



照片(七)：正三角柱上的薄膜

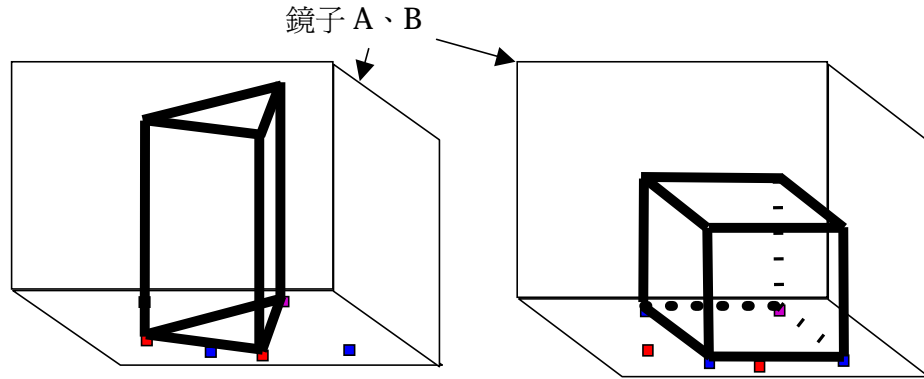


照片(八)：雷射筆照薄膜的錐角



照片(九)：三個面上加對角線框

二、研究提高測量薄膜面積精準度的方法。



圖(四)：在 A、B 的鏡面上皆貼有方格紙做的刻度尺

三、立方框與三角柱兩種不同結構的框上，產生的薄膜總面積大小與表面張力大小的探討。

(一)框沾分散系計算薄膜面積大小

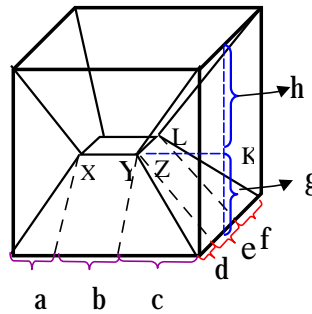
1. 正立方框與正三角柱框上的薄膜面積計算式：

(1). 立方框

$$(5+b) \cdot ((d^2+h^2)^{0.5} + (h^2+a^2)^{0.5} + (g^2+d^2)^{0.5} + (g^2+f^2)^{0.5}) + (5+e) \cdot ((h^2+a^2)^{0.5} + (h^2+c^2)^{0.5} + (g^2+a^2)^{0.5} + (g^2+c^2)^{0.5}) + 5 \cdot ((a^2+d^2)^{0.5} + (f^2+c^2)^{0.5} + (c^2+d^2)^{0.5} + (f^2+a^2)^{0.5}) + 2 \cdot b \cdot e$$

圖(五) 立方框結構與讀數

讀數	面積計算參數	薄膜結構讀數、計算面積參數
像與實物重疊的連線和鏡上刻度尺的交點	X	a
		b
	Y	c
	Z	d
	L	e
		f
	K	g
		h



(2). 三角柱框

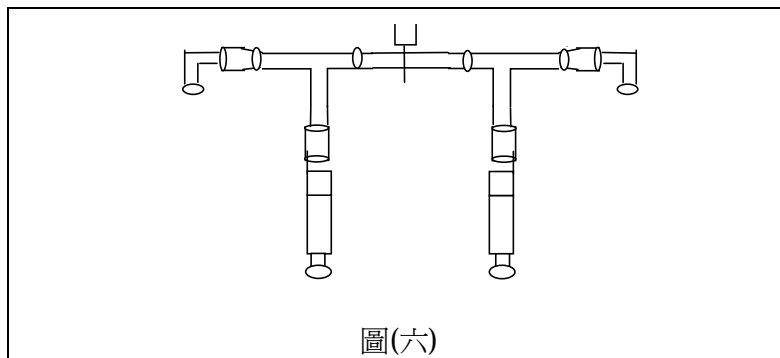
I. 三角柱框上的薄膜，在三角形的內心連線上，出現上、下對稱的尖頂。

$$II. f(h_1, h_2) = 3 \cdot \frac{1}{2} \cdot (2l - h_1 - h_2) \cdot \frac{\sqrt{3}}{3} a + \frac{3}{2} \cdot a \cdot \sqrt{h_1^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{6} a\right)^2} + \frac{3}{2} \cdot a \cdot \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{6} a\right)^2}$$

(詳細推演導出過程見附錄四)

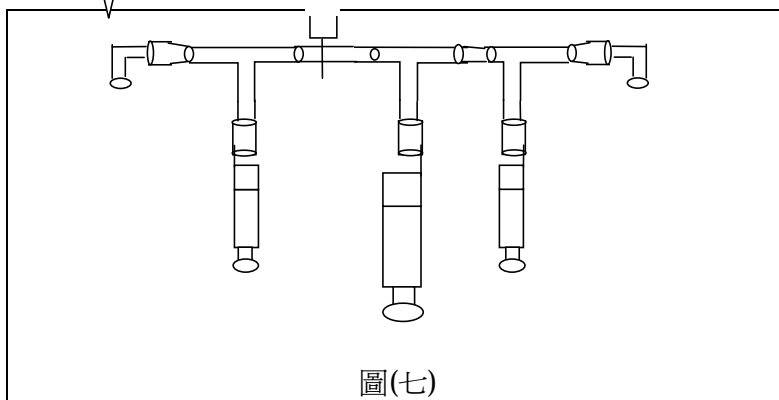
四、不同洗劑在各種濃度下，表面張力的變化研究

(一)用定量的空氣吹泡的連通裝置改進探討



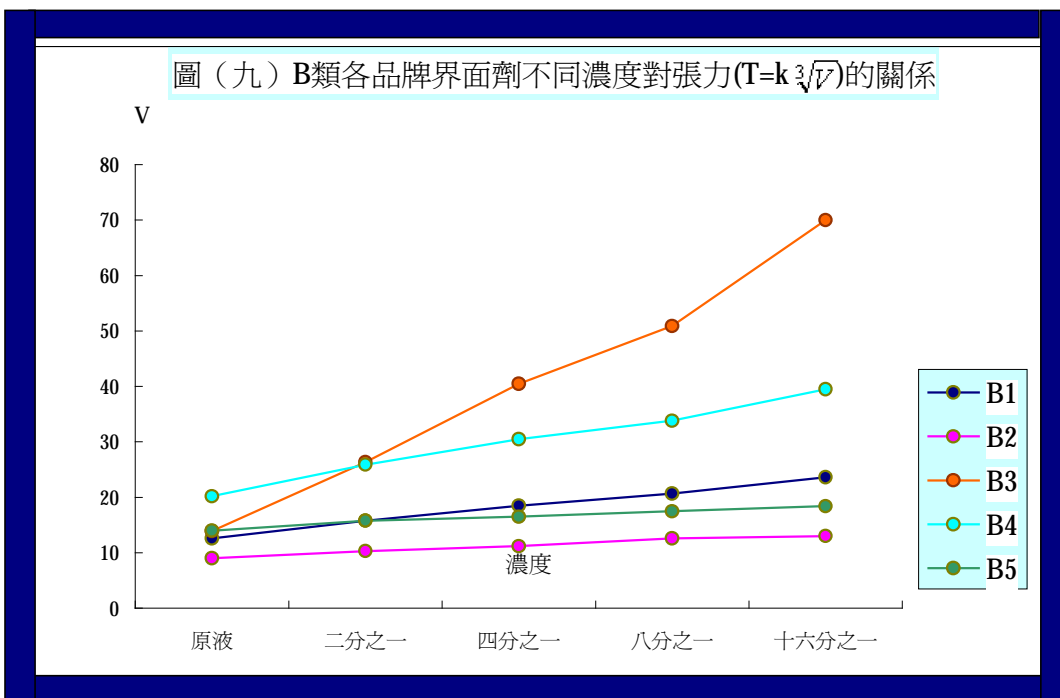
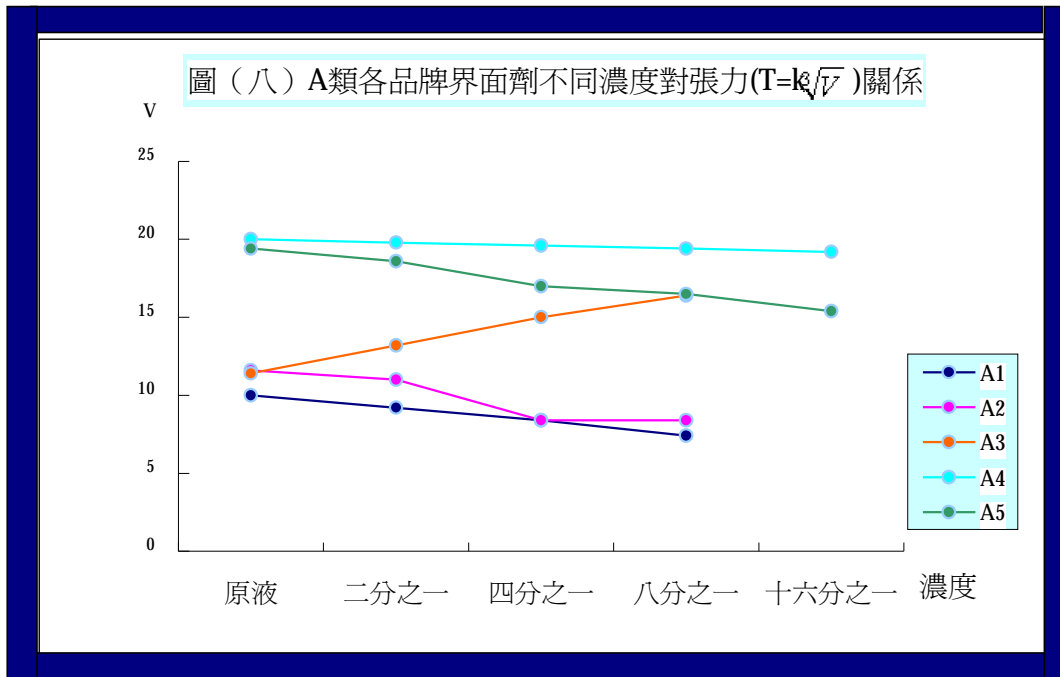
改進之處

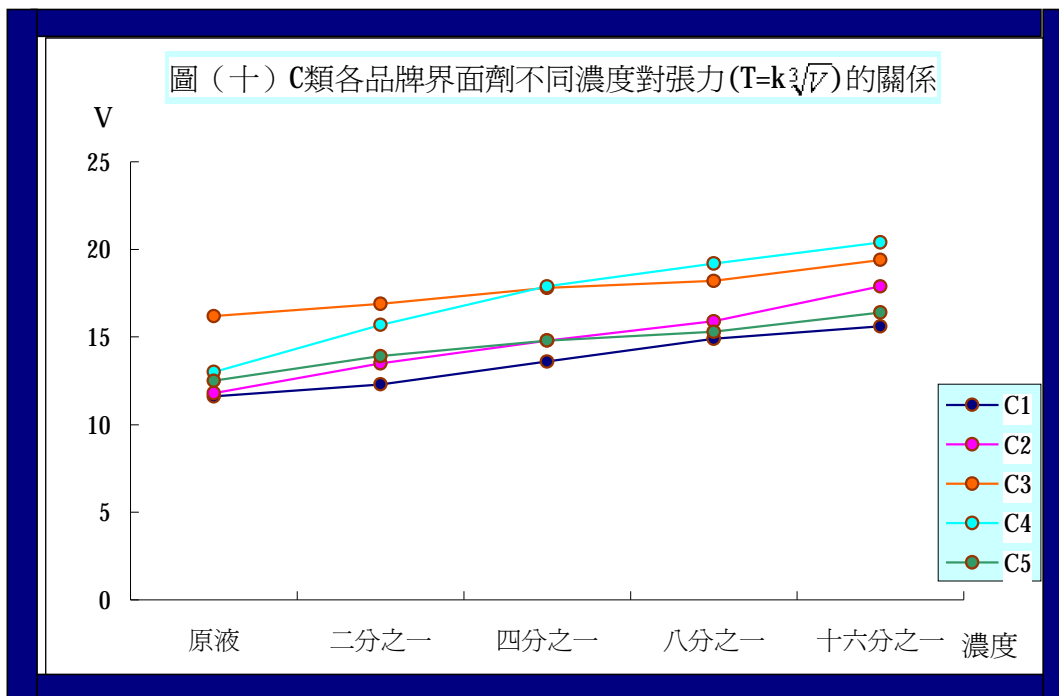
某些分散系張力很大，需用空氣多，故串連較大注射筒



(二) 不同洗劑在各種濃度下，表面張力的變化研究

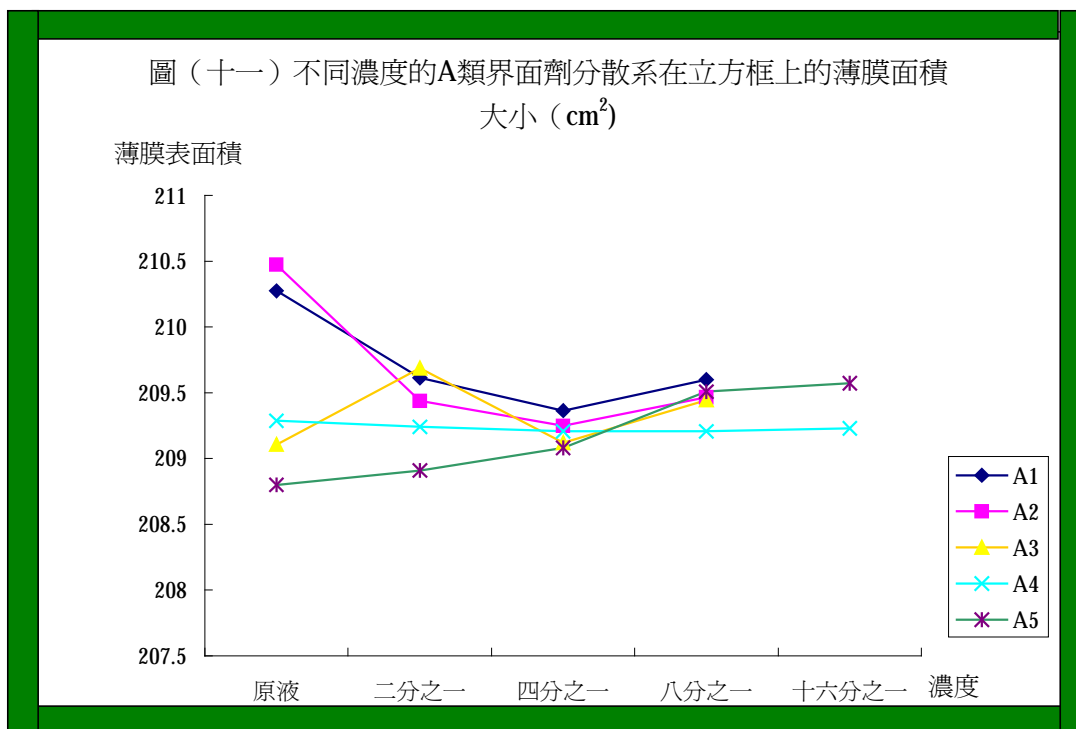
1. 泡：



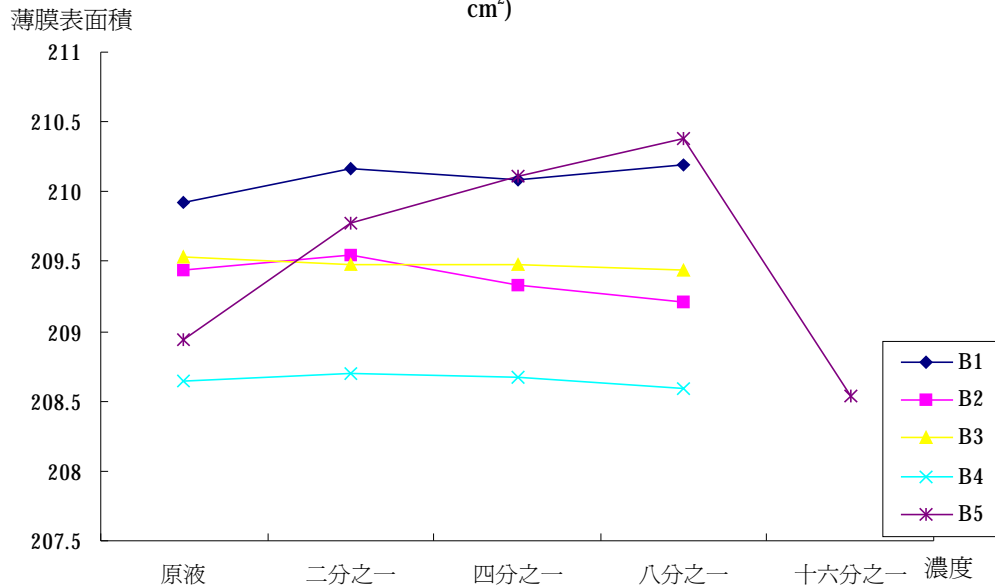


2. 膜：

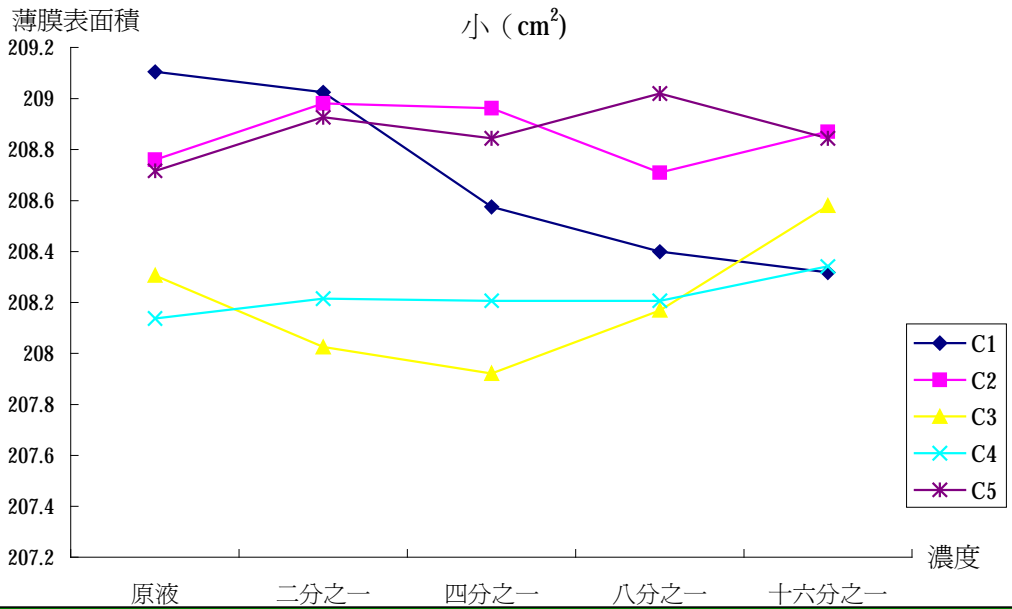
(1)立方框薄膜面積：



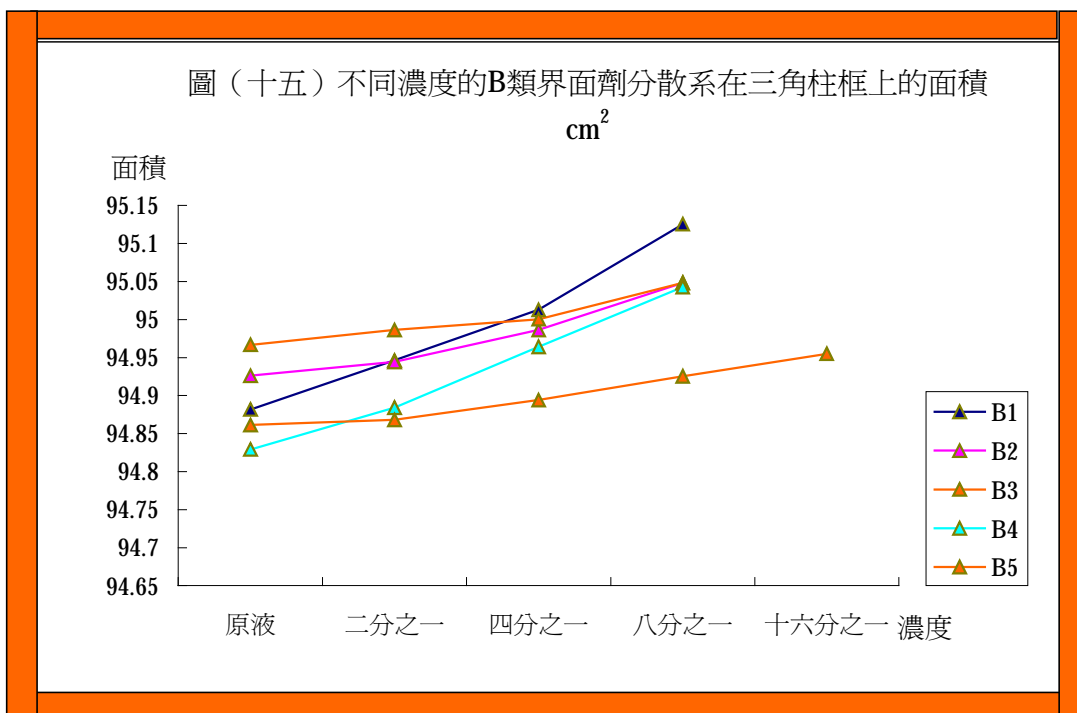
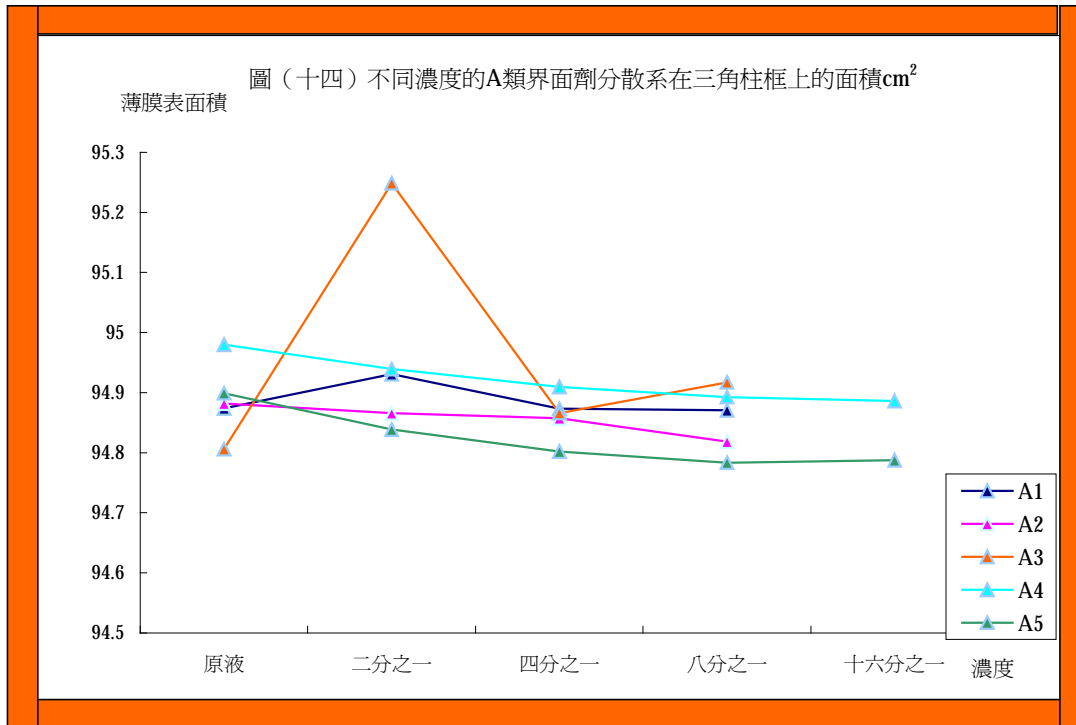
圖（十二）不同濃度的B類界面劑分散系在立方框上的薄膜面積大小（ cm^2 ）

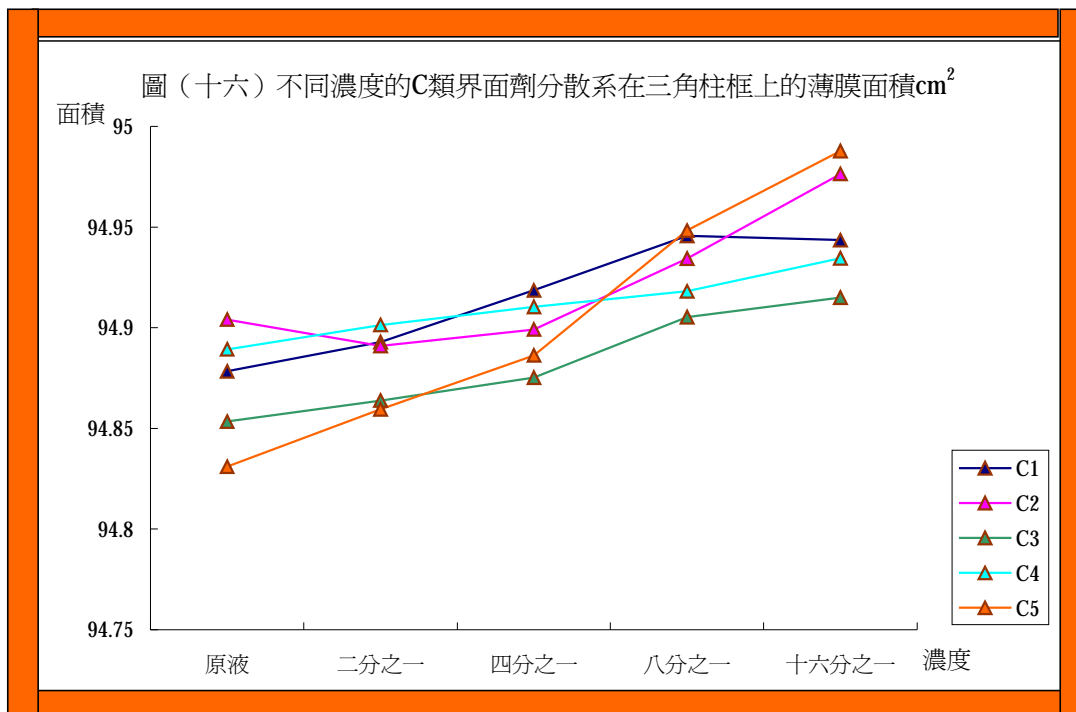


圖（十三）不同濃度的C類界面劑分散系在立方框上的薄膜面積大小（ cm^2 ）

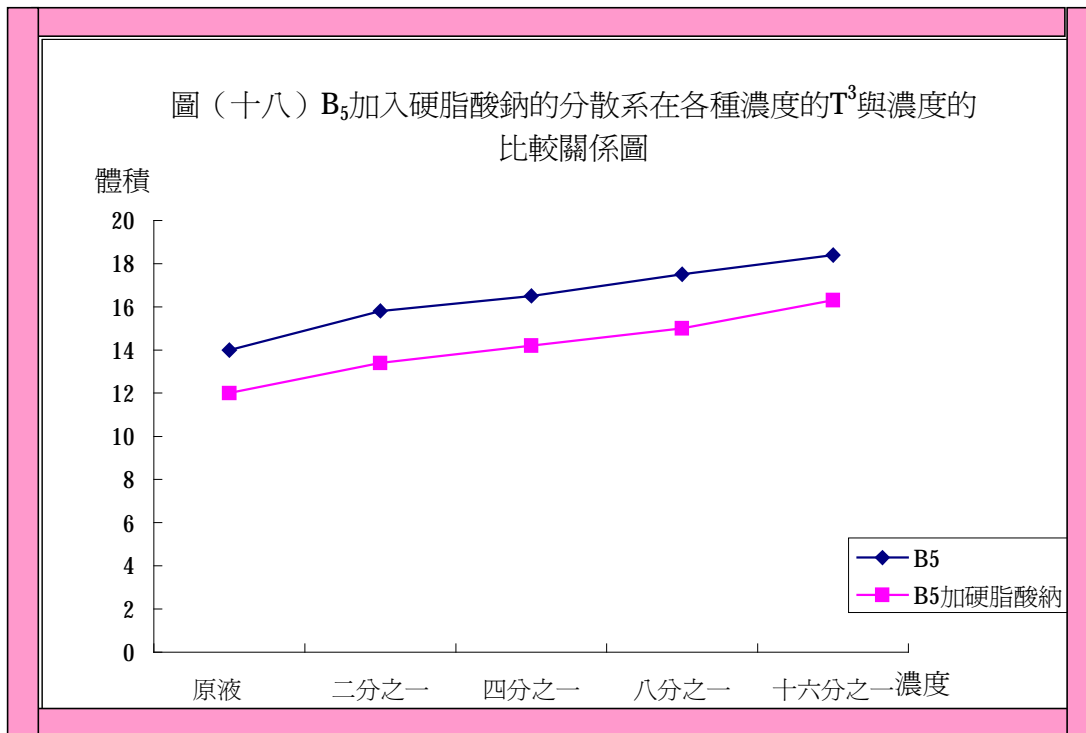
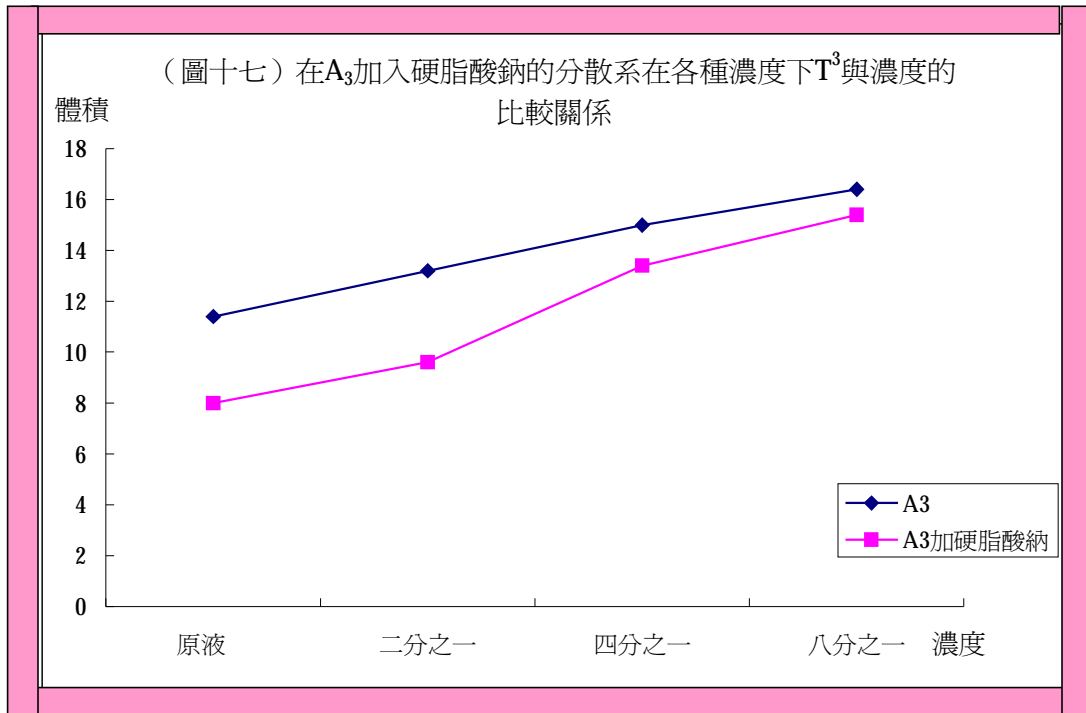


(2)三角柱上的薄膜面積





(3) 添加劑對洗潔劑分散系表面張力的影響



柒. 討論

- 一、由研究記錄一可看見，界面劑在不同構造的框上，產生不同結構的薄膜，但構造對稱的框，產生的薄膜結構較具對稱性，本研究以立方與三角柱兩種框進行探討。
- 二、由圖(四)實體上任一點與鏡像中該點的連線，會垂直鏡面；本研究即以該連線與鏡面上刻度尺交點的讀數，作為長度測量的來源，以利降低觀測時的視角差異產生誤差；框上設支架，可插入單孔 Lego 製的鏡前定位點，使沾界面劑的框，每次站立在鏡前框時，每個頂角在刻度尺上讀數相同，精簡每次觀測記錄值讀取總個數，皆有助於提高本研究觀測值的精確度。
- 三、立方框與三角柱框兩種結構，沾界面劑後產生的薄膜總面積大小與界面劑分散系表面張力大小關係比較：

(一). **立方框**：9 片薄膜共築的結構，中央方形薄膜與上下兩方呈對稱的 8 片梯形薄膜，呈現組成分子間作用力的較勁，直到取得力的平衡；本研究讀取記錄值，皆儘可能等到膜形穩定後再讀取。結果發現如下：表面張力愈**大**，薄膜的總積面積愈**小**。

(二). **三角柱框**：9 片薄膜共築的結構，在中央的三片梯形薄膜，與上下兩方各由 3 片三角形薄膜，築成無底面的對稱正角錐形結構，進行組成分子間作用力的較勁，在本研究的觀測過程，發現在上下的對稱正角錐形的收縮過程，對中央的三片梯形薄膜造成拉大面積的效應，兩者消長互抵的結果：表面張力愈**大**，薄膜的總積面積愈**大**。

本項結果對我們而言，意義十分重大，因以界面劑吹泡比較表面張力時，必觀見分散系組成粒子，縮為最小體積時表面張力愈大的事實，誤以為框上產生薄膜縮成最小面積者，也必是張力愈大者。事實上，成泡的薄膜，組成粒子間的作用力互動性，與框上多片薄膜共築的結構存有每片薄膜間的勁力，兩者情境差異，結果的不同，使我們自我突破這項物質科學的迷思結構。

- 四、不同界面劑在各種濃度下，表面張力的變化研究發現如下：

(一)本研究用的測定方法，在操作過程，須特別留意的事項如下

1. 用定量吹氣成泡的連通裝置，最怕有漏氣現象，會嚴重影響測定值；可在各個接口，用界面劑分散系潤濕予以避免，有時兩端接的可彎式吸管，未用前即是破損商品。
2. 膜的面積測量，在讀取讀數時，取觀測點(X、Y、Z、L、K)之膜厚內或外，必需每次一致。

(二)記錄圖(八)【A類(肥皂)】中， A_3 張力變化趨勢與其它 A 類不同， A_3 的商品成份標示特別強調含乳霜；記錄圖(九)【B類(洗衣粉)】之 B_3 ，雖然張力變化趨勢與同類相同，但 B_3 商品特別聲明為天然肥皂，這點與其它 B 類不同，我們推想其可能是為了溶解度，商品中加入乳化劑產生的影響(硬脂酸鈉在水中的溶解度不佳，我們模擬試驗過)。從記錄圖(十七)(十八)可看到推想的事實。

(三)由本研究記錄圖(八)~(十六)比較，可發現：

1. 比較界面劑分散系表面張力大小的方法，用定量吹氣成泡的連通裝置，比估算薄膜面積的方法，靈敏又準確。
2. 採用薄膜面積比較界面劑分散系表面張力大小，則三角柱框優於立方框。

(四)綜觀全部的記錄數據，我們發現：A類(皂類)界面劑分散系，濃度愈大張力愈大；反之，B(粉衣)、C(洗碗)類中，沒有標示成分為(皂類)的界面劑分散系，濃度愈小張力愈大。

捌. 結論

本研究有兩項重要發現：

- 一、本研究取樣的市售商品，分為肥皂與合成清潔劑兩類，兩類的分散系表面張力大小與濃度的關係，變化趨勢恰好相反。肥皂的分散系，濃度愈大張力愈大；合成清潔劑的分散系，濃度愈小張力愈大。
- 二、在立體框上，由多片薄膜共同構築的整體結構，總面積大小未必與薄膜的表面張力大小呈正相關。三角柱框上的薄膜面積愈大表面力張力愈大；立方體的框上恰好相反，薄膜面積愈大表面力張力愈小。

玖. 應用

- 一、用各種界劑及其不同濃度的總面積變化趨勢，會發現幾何問題；例如：三角柱框沾界面劑分散系後，薄膜總面積大小與薄膜的兩尖頂位置有關，尖頂距底面正三角形某特定高度(h)，薄膜總面積呈最大值，尖頂在兩 h 點之間移動時，兩 h 點間距愈大，薄膜總面積就愈大。
- 二、可以做幾何教材的教具：不同結構的框，沾界面劑後產生薄膜的幾何形狀不同，結構對稱的框中薄膜形狀有規則，作框的材質具有多樣性，可用容易彎折的金屬線代替木條；我們在研究中經常輕易的製造立方體的泡泡唷！

壹拾. 展望

- 一、本研究所知，苯磺酸鈉與脂肪酸鈉兩類型的界面劑，在框上薄膜總面積變化趨勢與濃度的關係不同，我們用該兩試劑繼續作更多的測定中。
- 二、本研究發現：立方與三角柱兩種構造的框，沾界面劑後薄膜總面積，與界面劑的表面張力大小改變趨勢恰好相反；顯示各片薄膜作用力及其合力，與框的邊長、柱高比例有關，值得作後續研究。
- 三、本研究用的正三角柱框【三角形的邊長：柱高=6cm：9cm】，沾界面劑後，薄膜的總面積與兩尖頂的間距大小有關。可用那些數學方法推導或證明？
- 四、沾界面劑的正三角柱上的薄膜，用雷射筆之光線通過薄膜上兩角椎點之間的連線，投射在桌面上，發生多種有趣的現象，值得進一步研討【照片(八)】。

壹拾壹. 參考文獻

- 一、Ben Selinger Chemistry In The marketplace Harcourt Brace & Company
- 二、北原文雄原著，賴耿陽譯著，界面活性劑應用實務，復漢出版社出版，(1988)
- 三、ARTHUR W. ADAMSON 原著，陶雨台譯著，表面物理化學，國立編譯館主編，千華圖書出版事業有限公司發行，P2~14(1988)
- 四、莊淑雀老師指導，中華民國第三十六屆中小學科學展覽優勝作品—『泡泡的特性研究』。
- 五、Catherine Sheldrick Ross 原著，陳順發譯著，快樂學習正方形，遠哲科學教育基金會出版，(1999)

壹拾貳. 附錄

- 一、界面劑分散系的配製：市售商品的洗潔劑，皆為多種純質的混合物；用一定重量的分散質與定量水混合，有沉澱物時必須濾除，濾液即為原液；用原液加水稀釋，使總體積變為原液的 n 倍，則各種成分皆為原液 $1/n$ 倍。方法如下：
 - (一)、清潔劑 A1~A5、B1~B5、C1~C5 十五種三類(肥皂、洗碗精、洗衣粉)，各取肥皂 50g、洗衣粉 60g 分別加 1000ml 蒸餾水及洗碗精 750g 加 250ml 蒸餾水，並攪拌均勻，A、B 類的界面劑製成溶液時，均未能完全溶解，需要過濾，取濾液作試驗。研究用的界面劑品牌以具有完整商品標示者隨機取樣。
 - (二)、每種溶液採用連續稀釋法，配不同濃度（原液濃度 $1/2$ 、 $1/4$ 、 $1/8$ 、 $1/16$ 、 $1/32$ ）的溶液，分類標記（如下表一）：

表一 分類標記肥皂洗碗精洗濃度

分類標記	肥皂					洗碗精					洗衣粉					濃度
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	
a	A _{1a}	A _{2a}	A _{3a}	A _{4a}	A _{5a}	B _{1a}	B _{2a}	B _{3a}	B _{4a}	B _{5a}	C _{1a}	C _{2a}	C _{3a}	C _{4a}	C _{5a}	原液
b	A _{1b}	A _{2b}	A _{3b}	A _{4b}	A _{5b}	B _{1b}	B _{2b}	B _{3b}	B _{4b}	B _{5b}	C _{1b}	C _{2b}	C _{3b}	C _{4b}	C _{5b}	原 $\frac{1}{2}$
c	A _{1c}	A _{2c}	A _{3c}	A _{4c}	A _{5c}	B _{1c}	B _{2c}	B _{3c}	B _{4c}	B _{5c}	C _{1c}	C _{2c}	C _{3c}	C _{4c}	C _{5c}	原 $\frac{1}{4}$
d	A _{1d}	A _{2d}	A _{3d}	A _{4d}	A _{5d}	B _{1d}	B _{2d}	B _{3d}	B _{4d}	B _{5d}	C _{1d}	C _{2d}	C _{3d}	C _{4d}	C _{5d}	原 $\frac{1}{8}$
e	A _{1e}	A _{2e}	A _{3e}	A _{4e}	A _{5e}	B _{1e}	B _{2e}	B _{3e}	B _{4e}	B _{5e}	C _{1e}	C _{2e}	C _{3e}	C _{4e}	C _{5e}	原 $\frac{1}{16}$
f	A _{1f}	A _{2f}	A _{3f}	A _{4f}	A _{5f}	B _{1f}	B _{2f}	B _{3f}	B _{4f}	B _{5f}	C _{1f}	C _{2f}	C _{3f}	C _{4f}	C _{5f}	原 $\frac{1}{32}$

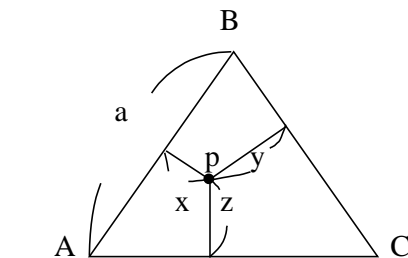
二、三角柱上的薄膜，在上下底的三角形內心連線上產生對稱的上、下尖頂時，薄膜面積大小的計算公式導出過程如下：

(一)、 設 P 為正三角形 ABC 內的一點，且其到三邊長分別為 x, y, z 【圖(甲)】，

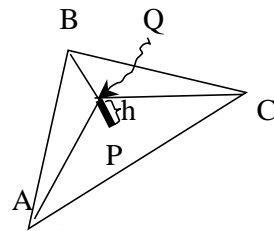
$$\text{所以 } x + y + z = \frac{\sqrt{3}}{2} a, \text{ 【 } a \text{ 為正三角形的邊長】。}$$

(二)、 若 Q 為其正上方之一點，且 $\overline{PQ} = h$ 【圖(乙)】，則 $\Delta QAB + \Delta QBC + \Delta QAC$

$$\text{的面積和為 } \frac{1}{2} \cdot a \cdot (\sqrt{h^2 + x^2} + \sqrt{h^2 + y^2} + \sqrt{h^2 + z^2})$$



圖(甲) 正三角形 ABC



圖(乙) 三角形 P 點的正上方 Q

(三)、 欲使 $\Delta QAB + \Delta QBC + \Delta QAC$ 面積和最小，利用 **largange** 差值法

$$f(x, y, z) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot (\sqrt{h^2 + x^2} + \sqrt{h^2 + y^2} + \sqrt{h^2 + z^2}) - l \left(x + y + z - \frac{\sqrt{3}}{2} a \right)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}} - l = 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \frac{y}{\sqrt{y^2 + h^2}} - l = 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial z} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \frac{z}{\sqrt{z^2 + h^2}} - l = 0$$

所以

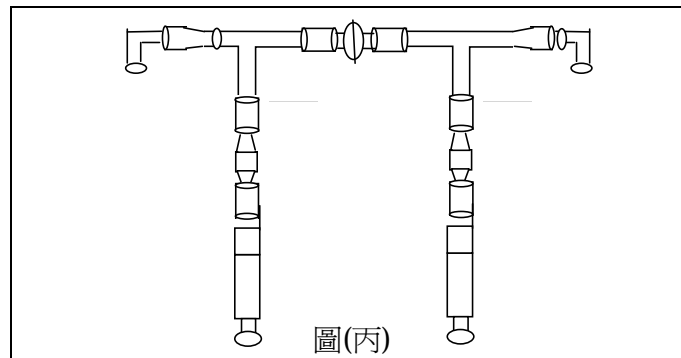
$$\frac{1}{2} \cdot a \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \frac{y}{\sqrt{y^2 + h^2}} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \frac{z}{\sqrt{z^2 + h^2}} \Rightarrow x = y = z$$

$$\text{, 故當 } x = y = z = \frac{\sqrt{3}}{6} a \text{ 時, } f(x, y, z) \text{ 有最小值 } \frac{3}{2} \cdot a \cdot \sqrt{h^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{6} a \right)^2}$$

(四)、 對於正三角柱而言，在兩底面重心連線上有兩點，其到兩正三角形的距離分別為 h_1, h_2 ，則所有最小表面積總和之函數為

$$f(h_1, h_2) = 3 \cdot \frac{1}{2} \cdot (2l - h_1 - h_2) \cdot \frac{\sqrt{3}}{3} a + \frac{3}{2} \cdot a \cdot \sqrt{h_1^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{6} a \right)^2} + \frac{3}{2} \cdot a \cdot \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{6} a \right)^2}$$

三、 參考資料四研究『泡泡的特性』，用定量體積的空氣吹泡裝置如下：



評語

040203 高中組化學科 最佳創意獎

薄膜組成粒子間的競力秀

本作品富有創意，惟重點偏向物理表面張力方面。