

泡泡解密

臺南一中 陳立偉、劉獻文 老師

配合化學：界面活性劑、化學鍵結／物理：表面張力

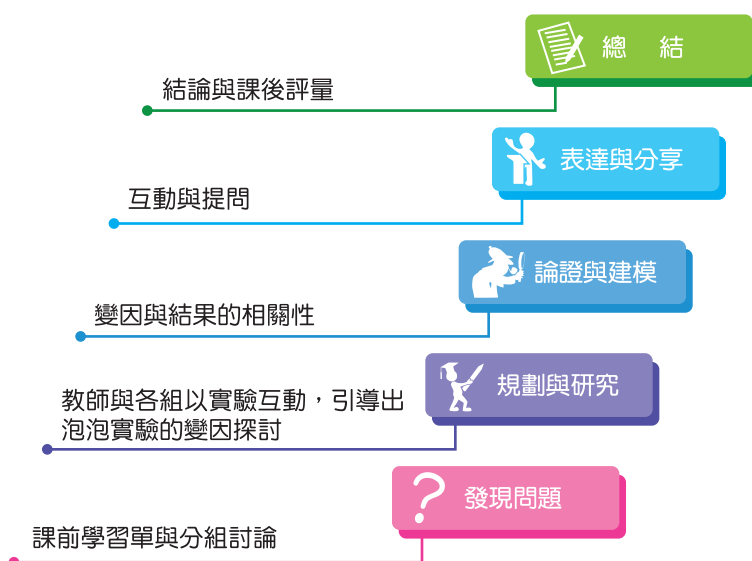
設計理念

透過泡泡的探究與趣味實作，從一系列的觀察、實驗中取得自然科學數據，並依據科學理論、數理演算公式等方法進行比較，再透過泡泡的演示，了解表面張力與界面活性劑之相關課題。



學習目標

1. 能由實驗觀察發現問題，並探討變因，進而提出可驗證的觀點。
2. 收集研究資料、數據的能力。
3. 從團體探究討論中，建立與同儕思辯、溝通、協調並解決科學問題的能力。



探究議題

1. 探究 1：了解泡泡在不同變因下的形狀。
2. 探究 2：了解多重泡泡形成時，公共壁所形成的形狀。

探究內容

1. 以 3～4 人分成一組，完成泡泡的探究與討論。
2. 分組討論泡泡形成與吹器形狀的關聯性，以及多重泡泡形成時，公共壁所形成的形狀，並提出假設與驗證觀點。
3. 發表報告並分享心得。

教學流程

教師活動	學生活動	時間	教學資源
1 提供先備知識、相關資料及影片網址，讓學生進行預習			
<ul style="list-style-type: none">● 撰寫先備知識● 說明課程概要與指定預習● 提醒學生事先觀看準備的影片● 準備實驗所需材料	<ul style="list-style-type: none">● 進行先備知識預習● 觀賞教師提供的影片● 填寫課前學習單	至少 30 分	<ul style="list-style-type: none">● 網路資源 (P.29)● 先備知識 (P.20)● 課前學習單 (P.24)
2 討論課前學習單			
<ul style="list-style-type: none">● 進行課前學習單問題與討論之解說● 泡泡相關知識介紹，營造與泡泡相關之情境	<ul style="list-style-type: none">● 參與課前學習單的問題與討論● 聆聽與泡泡相關的知識介紹	15 分	<ul style="list-style-type: none">● 投影機● 電子白板● 課前學習單 (P.24)● 先備知識 (P.20)
3 發現問題、提出假設			
<ul style="list-style-type: none">● 引導各組發想影片中泡泡現象背後所隱藏的科學問題 引導 1：影片中泡泡有哪些形狀 引導 2：多重泡泡之公共壁形態與數學幾何圖形之關係	<ul style="list-style-type: none">● 討論影片中的科學現象，並從中發想問題	15 分	<ul style="list-style-type: none">● 網路資源 (P.29)

教師活動	學生活動	時間	教學資源
<ul style="list-style-type: none"> 引導學生針對問題，做出假設 引導 1：吹出來的泡泡可以是什麼形狀 引導 2：多重泡泡之公共壁形態為何 	<ul style="list-style-type: none"> 針對問題，做出假設 	10 分	—
4 探究實作			
<ul style="list-style-type: none"> 說明實驗步驟 引導學生清點器材及藥品 	<ul style="list-style-type: none"> 小組討論實驗步驟 清點器材及藥品 	10 分	—
<ul style="list-style-type: none"> 巡查各組的操作情形，隨時提供協助 引導學生驗證假設的正確性 	<ul style="list-style-type: none"> 實際操作探究 1 和探究 2，並記錄結果 驗證假設是否正確 	30 分	<ul style="list-style-type: none"> 紀錄表 (P.30、P.31)
5 論證與建模			
<ul style="list-style-type: none"> 協助學生論證與建模 引導 1：提出在空氣中與泡泡液中的泡泡形狀 引導 2：2 個泡泡的公共壁會如何？3 個泡泡又會如何？ 	<ul style="list-style-type: none"> 針對實驗的結果，提出論證與建模 論證 1：在空氣中，泡泡為圓球形；在泡泡液中，泡泡為半圓球形，與吹器形狀無關 論證 2：2 個泡泡的公共壁會凸向大的泡泡，若泡泡大小相同，壁是平的；3 個泡泡的公共壁交會在一起，分別以 120° 的角度分隔 	10 分	<ul style="list-style-type: none"> 投影機 電子白板 紀錄表 (P.30、P.31)
6 討論與分享			
<ul style="list-style-type: none"> 引導學生討論和上臺分享 解說課後評量 	<ul style="list-style-type: none"> 分組討論並上臺分享 填寫課後評量 	10 分	<ul style="list-style-type: none"> 投影機 電子白板 討論 (P.31) 課後評量 (P.32)



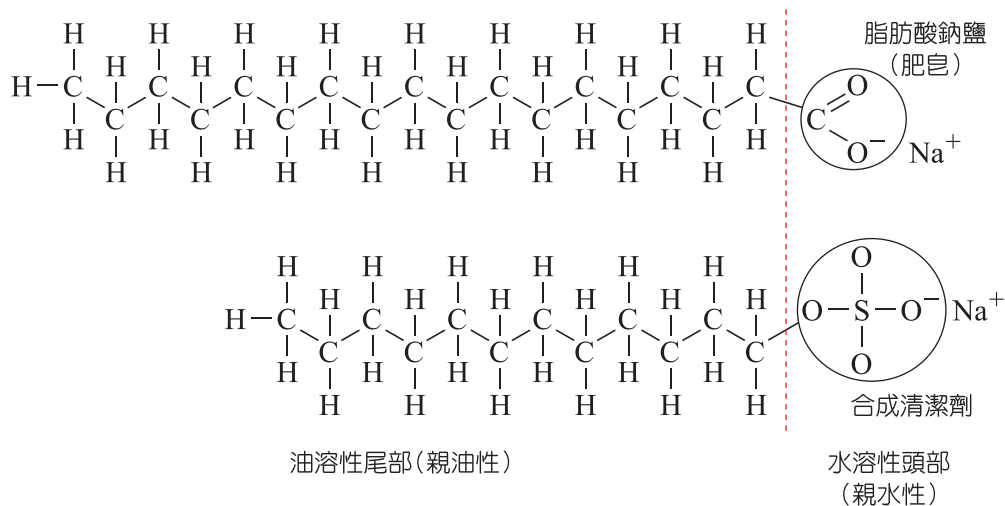
先備知識

(銜接國中「常用的清潔劑」；配合新綱的「界面活性劑」)

界面活性劑

「界面活性劑」一詞的英文 **surfactant** 是由 **surface active agent** (界面+活性+劑) 組成的合成詞。界面活性劑通常是兩性的有機化合物，它們含有疏水基團(尾)和親水基團(頭)。它可讓兩個不同性質、互不相溶的接觸面不再排斥。例如：將沙拉油和水倒在同一個杯子裡，會呈現油水分離；加入幾滴清潔劑搖晃一下，油和水就均勻混合了。

肥皂與清潔劑為常見之界面活性劑，其結構一端是非極性的長鏈烷基，此部分是親油性；另一端是帶負電荷的羧酸根、磺酸根，此部分則是親水性。



依界面活性劑親水基團的電荷來區分，可分成：

1. 陰離子界面活性劑：清潔效果佳，常用在洗衣精、洗髮精、沐浴用品。
2. 陽離子界面活性劑：殺菌、潤絲、抗靜電，常用在潤絲精、衣服柔軟精。
3. 兩性離子界面活性劑：可降低陰離子界面活性劑的刺激性，常用在嬰兒清潔用品。
4. 非離子界面活性劑：清潔效果差但易起泡，且可增黏性、溶解香精，常用在清潔和化妝用品。

表面張力

表面張力 (**surface tension**) 是種物理效應，使得液體表面維持在最小、最光滑的面積，就像是一層彈性的薄膜。表面張力的成因為液體分子與其他不同分子間的吸引力。液體內部，每個分子被各方向的鄰近分子以同樣大小的力吸引著，因此淨力為零；然而，在液體表面的液體分子被下方的液體分子拉向內側，但沒有被其他鄰近介質(可能為真空、

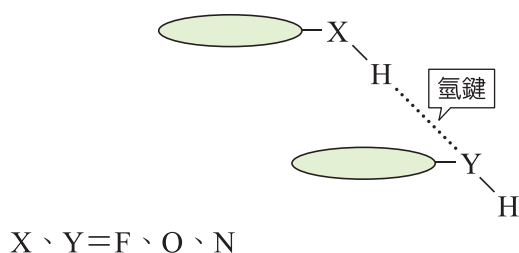
空氣或其他液體）拉緊，因此所有表面的分子主要皆受到向內的吸引力，唯一能抗衡的只有壓縮液體時產生的阻力，此向內的拉力削減表面積，使液體的表面就像拉長的彈性膜，盡可能地拉緊自身直到擁有最小表面積。

分子間作用力

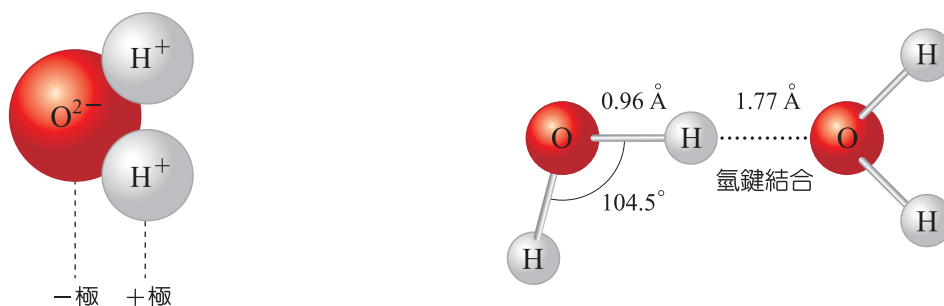
從微觀的角度看分子，分子彼此間存在著某種吸引力，主要包括氫鍵（hydrogen bond）與凡得瓦力（van der Waals force）。

氫 鍵

氫鍵的形成是由氫原子與電負度大的原子（如 F、O、N）以共用電子對形成極性共價鍵，共用電子偏向電負度大的原子，使得氫原子近似 H^+ 而與另一分子或同一分子之 F、O、N 未鍵結電子產生強大靜電吸引力，此時氫原子介於氟、氧或氮任意兩個原子之間，有如鍵結，稱為氫鍵，強度約為每莫耳 $5 \sim 30 \text{ kJ/mol}$ ，與共價鍵相比較，氫鍵是相當微弱的化學鍵。



水分子是由一個氧原子與兩個氫原子彎曲鍵結而成，屬於極性分子。當兩個水分子同時存在時，非同一水分子之氫與氧原子會藉由靜電的交互作用彼此吸引而形成弱鍵結—氫鍵，並保持一定的距離。水具有很大的內聚力和表面張力，並能產生較明顯的毛細現象和吸附現象，這些現象都是氫鍵造成。而在水中加入界面活性劑可大幅降低表面張力，使泡泡較易成形。



凡得瓦力

凡得瓦力有三種不同類型，依照分子的極性不同可分為：

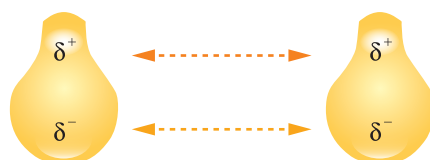
1. 偶極—偶極力：

極性分子與極性分子間的作用力稱為偶極—偶極力，因極性分子會造成分子內的電荷分布不均而形成永久偶極，產生正、負端，形成的靜電作用力即為偶極—偶極力。

偶極—偶極力依據分子的接觸方向，分成引力與斥力。



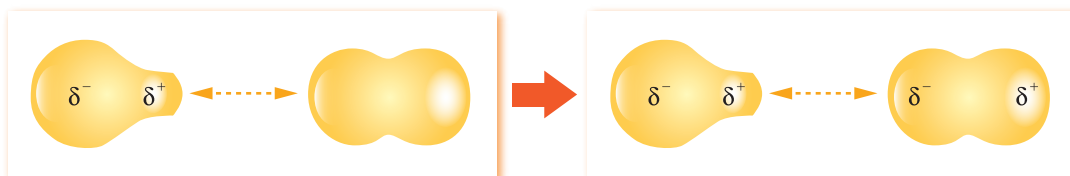
偶極—偶極力（引力）



偶極—偶極力（斥力）

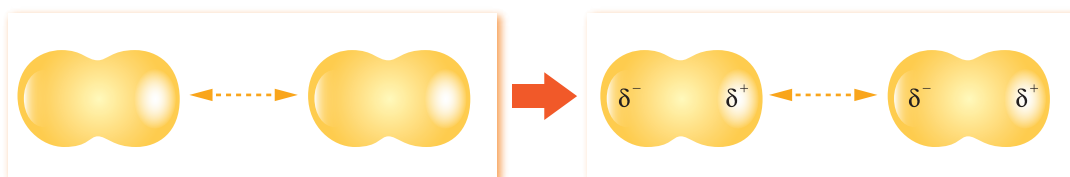
2. 偶極—誘發偶極力：

當極性分子與非極性分子靠近時，極性分子的永久偶極會極化鄰近的非極性分子，誘發非極性分子形成臨時偶極，產生臨時正、負端，此時兩者之間的靜電吸引力即為偶極—誘發偶極力。



3. 分散力：

分散力又稱瞬間偶極—誘發偶極力，由於分子內的電子不斷地運動，所以某一分子在某「瞬間」造成電荷分布不對稱而形成一個微弱的偶極矩，產生微弱的正、負端而彼此互相吸引，分散力是鈍氣在低溫下能液化的最大原因。所有分子之間無論是極性分子還是非極性分子都具有分散力的存在，其強度與分子大小、形狀有關。



浦拉托問題

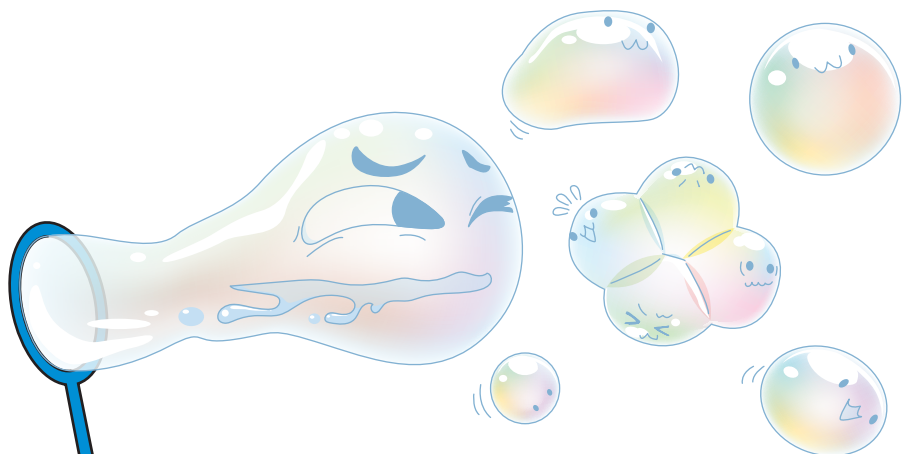
浦拉托問題主要是研究在邊界固定時，極小表面的存在性。此問題是法國數學家約瑟夫·拉格朗日（Joseph Lagrange，1736～1813）在1760年提出，經由比利時科學家約瑟夫·浦拉托（Joseph A.F. Plateau，1801～1883）在十九世紀進行了大量肥皂泡膜實驗觀測所總結而出。

浦拉托定律包括四項經驗定律：

1. 泡膜由完全光滑的表面組成。
2. 泡膜任一部分的平均曲率，在同一片膜上的每一點都是常數。
3. 泡膜表面的交界一定是由三個表面相接構成的曲線，稱為「浦拉托邊界」，交界處兩兩表面形成的平面交角都是 120° 。
4. 浦拉托邊界之間相交一定是由四條邊界相交構成一個交點，在交點處，四個邊界線兩兩之間的交角都是 109.47° ，如同正四面體的中心與四個頂點連接的連線，其兩兩之間所構成的交角一樣。

參考資料

- 全國科展作品：泡泡面面觀（國中組）、許我一個長命泡泡吧！（國小組）
- 表面張力〈Surface tension〉的現象與成因 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=1410>
- 科學遊戲實驗室 <http://www.ntcu.edu.tw/scigame/index.html>
- 冒泡的美 http://experiment.phys.nchu.edu.tw/EZphysics/ex_h/788-796.pdf
- 維基百科 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%99%AE%E6%8B%89%E6%89%98%E5%A%E%9A%E5%BE%8B>



泡泡解密

班級 _____ 座號 _____ 姓名 _____
 組員 _____

探究 1. 泡泡形狀

1. 觀賞教師提供的影片，影片中的泡泡有哪些形狀？

答：

2. 泡泡的組成成分有哪些？泡泡膜是如何形成的？

答：

3. 日常生活中，有哪些方法或工具會產生泡泡？

答：

4. (1) 相同體積的凸多面體，可根據尤拉公式 (Euler's formula) 推求其邊長與表面積，相關公式如下表，試完成欄位之填空處。

多面體	面 數	體積 V (m^3)	邊長 a (m)	總表面積 T (m^2)
正四面體	4	1	$V = \frac{1}{12} a^3 \sqrt{2}$ $a = \underline{\hspace{2cm}}$	$T = \frac{1}{4} a^2 \sqrt{3} \times 4$ $= \underline{\hspace{2cm}}$
正六面體	6	1	$V = a^3$ $a = \underline{\hspace{2cm}}$	$T = a^2 \times 6$ $= \underline{\hspace{2cm}}$
正八面體	8	1	$V = \frac{1}{3} a^3 \sqrt{2}$ $a = \underline{\hspace{2cm}}$	$T = \frac{1}{4} a^2 \sqrt{3} \times 8$ $= \underline{\hspace{2cm}}$
球體	∞	1	$V = \frac{4}{3} \pi r^3$ $r = \underline{\hspace{2cm}}$	$T = 4\pi r^2$ $= \underline{\hspace{2cm}}$

* r = 球體半徑； $\sqrt{2} = 1.41$ ； $\sqrt{3} = 1.73$ ； $\pi = 3.14$

(2) 由上表結果，試討論面數增加時，表面積的變化情形？

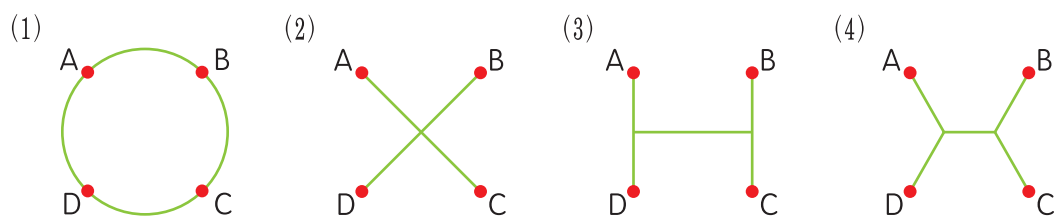
答：

探究 2. 多重泡泡

5. 觀賞教師提供的影片，並仔細觀察多重泡泡之公共壁形態為何？試寫下你發現的形狀。

答：

6. 十九世紀比利時科學家約瑟夫·浦拉托是最早有系統地觀察、記錄泡膜的幾何形狀並提出通則的人。因此與肥皂泡膜之幾何形狀有關的數學問題稱為「浦拉托問題」。如下方四圖所示，平面上四點，各在正方形一角，試判斷四點之間的路徑長度何者最短？



答：

7. 承第 6 題，將多重泡泡之公共壁形態與上題的圖(1)～(4)比較，何者的形態最接近多重泡泡之公共壁分布，試提出你的看法解釋之。

答：

實作內容

實作器材與藥品

圖 片	器材名稱	數 量	圖 片	器材名稱	數 量
	燒杯 (250 mL)	1 個		量筒 (50 mL)	3 支
	玻棒	1 支		塑膠盆	1 個
	塑膠盤 (20 cm × 12 cm × 1 cm)	2 個		氣球桿	2 支
	毛根	5 支		實驗衣	1 件
	護目鏡	1 個	/		
圖 片	藥品名稱	數 量	圖 片	藥品名稱	數 量
	洗碗精	20 mL		蒸餾水	40 mL
	透明膠水 (聚乙烯醇)	10 mL	/		

操作步驟

探究 1. 泡泡形狀



步驟 1

將 40 mL 的蒸餾水與 20 mL 的洗碗精混合於 250 mL 燒杯中，再加 10 mL 的膠水，並以玻璃棒攪拌均勻。



步驟 2

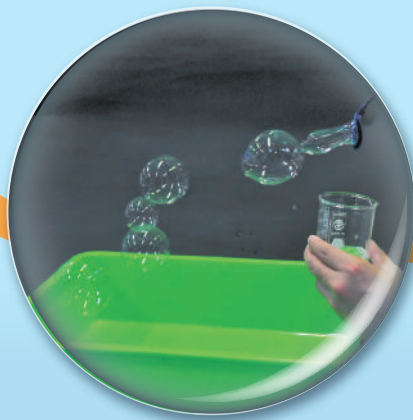
以毛根摺出圓形之吹器，浸入步驟 1 的泡泡液中。



步驟 3

在空氣中吹出泡泡，將泡泡剛形成的形狀與穩定後的形狀記錄於紀錄表中。

※吹泡泡時，可將塑膠盆置於吹器下，以防泡泡水濺溼桌面。



步驟 4

用其餘毛根摺出不同形狀的吹器，分別為方形、三角形、橢圓形，並重複步驟 2、3 的動作。

※可請學生自創形狀測試

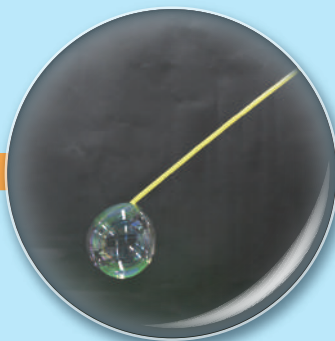
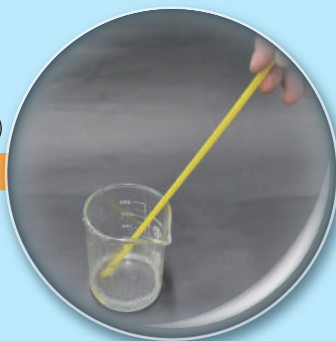


步驟 5

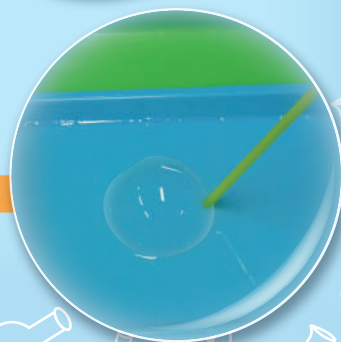
分別在以下環境中吹出泡泡，並將泡泡形狀記錄於紀錄表中。

- (1) 以氣球桿當吹器重複步驟 2 的動作，在空氣中吹泡泡。
- (2) 取步驟 1 的泡泡液 50 mL 倒入塑膠盤中，將氣球桿插入液面下吹泡泡。

(1)



(2)



探究2. 多重泡泡

步驟1

取用探究1. 剩下的泡泡液，並以氣球桿當吹器，浸入混合液中。



步驟2

在塑膠盤中以氣球桿吹出2個相同大小且相連的泡泡，並將其公共壁的形狀記錄於紀錄表中。



步驟3

重複步驟2的動作，在塑膠盤中吹出2個不同大小且相連的泡泡，並將其公共壁的形狀記錄於紀錄表中。



步驟4

重複步驟2的動作，在塑膠盤中分別吹出3、4、5、6個相同大小且相連的泡泡，並將其公共壁的形狀記錄於紀錄表中。



網路資源

- Tom Noddy-Bubble Magic <https://www.youtube.com/watch?v=keJkiYZ6Auc>
- Ana Yang Gazillion Bubble Show <https://www.youtube.com/watch?v=KMrvR836TFI>

結果紀錄

各組紀錄表

第 組

探究 1. 泡泡形狀

1. 觀察並繪製不同吹器形狀所吹出泡泡的形狀變化。

吹器形狀	繪出泡泡初始的形狀	繪出泡泡穩定後的形狀
圓形		
方形		
三角形		
橢圓形		
自行設計：() 形		

2. 觀察並記錄不同環境中所吹出泡泡的形狀。

環 境	繪出圖形	描述泡泡穩定後的形狀
空氣中		
泡泡液中		

探究 2. 多重泡泡

觀察並記錄泡泡間公共壁的形狀及夾角。

泡泡數	繪出圖形	公共壁的夾角
2 (相同大小)		
2 (不同大小)		
3		
4		
5		
6		

討 論

1. 根據實驗的結果，吹出來的泡泡可以是什麼形狀？與不同形狀之吹器有關嗎？
2. 吹出的泡泡形狀是否與不同環境有關？
3. 實驗步驟中，為何要加入膠水？是否有其他替代物質？
4. 說明吹出形狀與多面體表面積之關聯性。

課後評量

- () 1. 界面活性劑可讓互不相溶的油、水均勻混合，下列結構何者屬於界面活性劑？
(A) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COONa}$ (B) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ (C) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COONa}$
(D) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$ (E) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COO}(\text{CH}_2)_9\text{CH}_3$
- () 2. 如何驗證不同形狀吹器與吹出的泡泡形狀之關聯性？
(A) 相同吹器材質、改變形狀，沾泡泡液後以不同力道吹出 (B) 相同吹器形狀、改變大小，沾泡泡液後以相同力道吹出 (C) 改變吹器材質與形狀，沾泡泡液後以相同力道吹出 (D) 相同吹器材質、改變形狀，沾泡泡液後以相同力道吹出 (E) 相同吹器形狀、改變大小，沾泡泡液後以不同力道吹出
- () 3. 下列哪一個作用力與泡膜的結構或形成較不相關？
(A) 共價鍵 (B) 金屬鍵 (C) 離子鍵 (D) 表面張力 (E) 凡得瓦力
- () 4. 當兩個泡泡相鄰時，他們的公共壁會由壓力大凸向壓力小的泡泡，今有兩個大小不同的泡泡相鄰，試判斷公共壁凸向哪一端？
(A) 凸向大泡泡
(B) 凸向小泡泡
(C) 公共壁是平的
(D) 公共壁是不規則形
(E) 無法判斷