

冒泡的美

傅宗政、陳正平 / 台灣大學大氣科學研究所

一、前言

應該很少人小時候不愛吹肥皂泡泡的吧！陽光燦爛的午後，在公園草地上吹泡泡，看著一個個球形出現，隨著微風飄舞、遠離。泡泡既完美又脆弱的特質，和泡膜上反射出的斑斕色彩，都令人深深著迷。你要是曾更仔細地觀察過泡泡，可能會發現許多有趣的現象。為什麼在水裡加上肥皂或洗碗精，就可以吹出泡泡來？為什麼吹出來泡泡會呈完美的球形？泡膜上為什麼呈現出漂亮的色彩來？用鐵絲繞成各種奇特的形狀，浸到肥皂水裡再拿出來，泡膜會形成平滑而複雜的結構。你注意到了嗎？當幾個泡泡連在一起的時候，泡膜之間只會以某些特定的方式相連接。這些問題，其實都和許多重要的物理、化學和數學原理有關呢！偉大的物理學家凱爾文爵士 (Lord Kelvin, 1824-1907) 就曾經說過：「請吹一個泡泡，並好好觀察它。你可以窮一生之力對它進行研究，而不斷獲得物理學的知識。」

泡泡的秘密還不止於此。你有沒有去過海邊？當海風吹來，在唇間留下鹹鹹的味道是怎麼來的呢？大氣中成雲致雨的過程，甚至生命的起源，也和泡膜形成的原理有極大的關係。

二、表面張力

泡泡為什麼是球形？為了解答這個問題，你可以先試試這個實驗：在一碗水的表面上輕輕放上一個迴紋針，迴紋針仍然穩穩地浮在水表面之上；如果用手

指擾動水面，迴紋針一下子就沈到碗底了。顯然平靜的水面有一種力量，可以承載迴紋針的重量而仍然能維持穩定表面。這就是「表面張力」。更簡單而常見的例子是水龍頭或滴管裡緩緩溢出的水，會先在管口累積成一個不掉落的小液滴，好像被一層彈性皮膜包住一樣。直到小液滴累積到足夠重，才會落下。

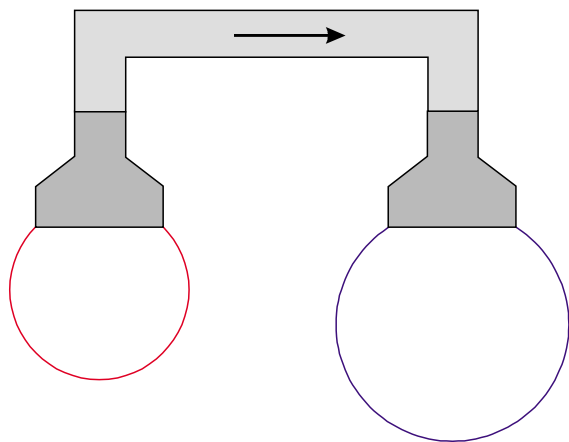
表面張力的形成和液體分子間的作用力有關。因為水分子具有極性，分子和分子之間的吸引力非常強。在液體內部任一分子受到四面八方分子的吸引，合力為零。相對地，在液體表面的分子只受到液面下鄰近液體分子的吸引和液面之上空氣分子的吸引；後者遠小於前者，因此合力指向液體內部，使液體表面的分子受到一由外向內的壓力，好像被無形的彈性薄膜包住了一樣。

正因為表面分子受到液面以下其他分子的吸引力，要擴張液體表面積時，需克服與液面相切面上分子的吸引力而作功，提高系統的能量。我們可以定義表面張力 σ ：

$$\sigma = \frac{\text{增加表面積 } \Delta A \text{ 所需作的功}}{\text{增加的表面積 } \Delta A} = \text{單位表面積的表面能} \quad (1)$$

依此定義，表面張力的單位是焦耳每平方米 (J m^{-2})，也就是牛頓每米 (N m^{-1})。其方向在與液面相切的面上。廣義的表面張力指任意兩種物質、相態交界面的表面能，其值與表面兩側的物質種類有關。

在滿足某些外在條件的前提下，自然界大部分的系統傾向於使本身的能量盡可能地低，也就是系統最穩定的狀態。所以液體傾向於採取表面積最小的形狀，使表面能最低。我們可由數學證明體積相同時，球形結構的表面積最小；這就是為什麼吹出的泡泡成



圖一 連通管兩端各吹一個大小不同的泡泡。閥門打開後，空氣會由小泡泡流向大泡泡，使大泡泡膨脹、小泡泡縮小消失。

球形了。

三、泡膜力學

肥皂泡必須靠我們強行往裡面吹氣才能成形，顯示泡泡和外界環境之間有壓力差。這並不令人驚訝，因為表面張力會壓縮泡膜，泡泡內必須有另一種力與之抗衡，才能維持泡泡一定的大小。此壓力差和泡膜面的曲率有關，由下面這個實驗可以證實：在一個連通管的兩端各吹一個大小不同的泡泡（圖一），連通管中間的閥門先關上。如果把閥門打開，讓兩個泡泡裡的空氣可以互相流通，會發生什麼事情？如果你的直覺是大泡泡會縮小，小泡泡會變大，最後兩個一樣大小，那你更應該繼續往下看。實際上，小泡泡很快地縮小不見，大泡泡則變得更大。我們知道空氣（或其他流體）會從壓力大處流往壓力小處。這意味著小泡泡裡的氣壓較大！由更精緻的實驗可以證明泡泡裡外的氣壓差 Δp 和半徑 R 成反比，也就是和曲率 $1/R$ 成正比：

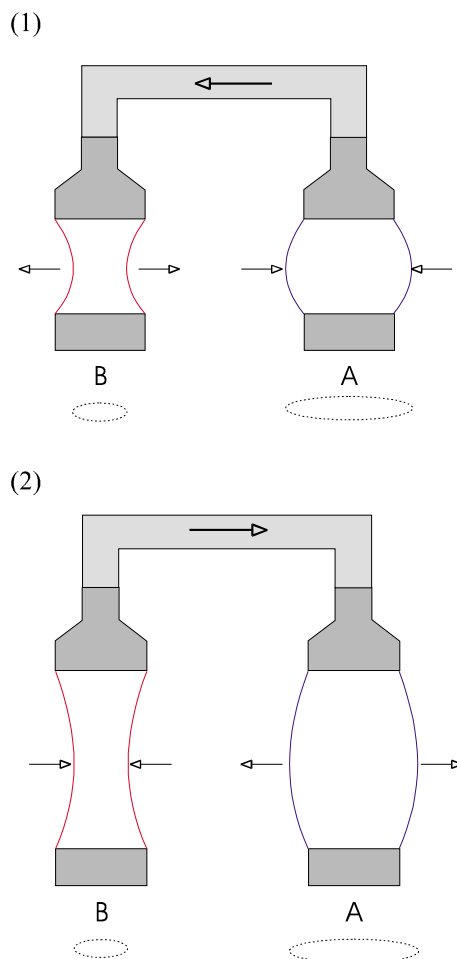
$$\Delta p = \frac{2\sigma_f}{R} \quad (2)$$

其中， σ_f 是泡膜的表面張力。泡膜由兩層肥皂水和空氣的交界面所組成，所以 σ_f 等於二倍肥皂水的表面張力 σ 。

(2)式更適用的形式稱為拉普拉斯—楊格方程，亦即在液體曲面某一點上，曲面兩側的壓力差 Δp 可以描述為：

$$\Delta p = \sigma \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3)$$

其中， $1/R_1$ 和 $1/R_2$ 分別是該點上曲面的最大和最小曲率。對正球形泡泡而言， R_1 和 R_2 相等。這個方程式在十九世紀初分別由物理學家楊格 (Thomas Young, 1773-1829) 和拉普拉斯 (Pierre-Simon Laplace, 1749-1827) 從流體力學和天體力學的計算中得到。因為曲率可以是負的，所以曲面上某一點的 $1/R_1$ 和 $1/R_2$ 可能異號而相消。對開放的薄膜而言，膜兩側沒有氣壓



圖二 連通管兩端各吹一個柱狀泡泡：A向外凸，B向內凹。下方虛線代表泡柱中央圓周的投影。(1)泡泡長度不超過管半徑的 π 倍，則A縮小、B膨脹，最後AB達於平衡。(2)泡泡長度超過管半徑的 π 倍，則A膨脹、B縮小消失。

差，所以膜上任何一處的合曲率必須為零才能達於靜力平衡。

讓我們再來看下面這個有趣的實驗：在連通管的兩端各吹一個柱狀的泡泡，一個向外凸(A)，一個向內凹(B)，兩個柱狀泡泡的長度相同，但是不超過連通管半徑的三倍(圖二，1)；連通管的閥門先關上。猜猜看，打開閥門後會發生什麼事？根據圖一的經驗，你可能會猜凸的泡泡會更膨脹；實際上，原來內凹的泡泡長大，外凸的泡泡則縮小，最後兩個一樣大！可是，如果我們增加柱狀泡泡原來的長度，超過連通管半徑的三倍左右(圖二，2)，則閥門打開以後，原來內凹的泡泡會更向內凹而縮小不見，外凸的泡泡卻變大。為什麼有這兩種表現迥異的現象呢？問題在於曲面上有兩種曲率：沿著柱狀泡泡的腰圍曲率為 $1/R_1$ ，沿著柱軸方向的曲率為 $1/R_2$ ，決定柱狀泡泡

內外氣壓差的是兩個曲率的合曲率。

如圖三(1)，考慮一截圓柱形泡泡(或實心液柱)；柱軸方向為 x 方向，徑向為 y 方向。泡泡的半徑為 a ，則受到些微擾動時泡膜側面的曲線可以表示為：

$$y = a + b \cdot \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \quad (4)$$

其中， b 為擾動振幅($b \ll a$)， λ 為波長(實際柱長可以是數個 λ)。如果柱狀泡泡上半徑最大的區域(如A點附近)內壓力大於半徑最小的區域(如B點附近)，則內部空氣會由A流向B，使泡泡形狀回復成圓柱形，維持穩定的泡泡。反之，若B點壓力大於A點，B點將繼續內縮消失，造成氣泡斷裂。A、B點壓力孰大孰小，是由 a 與 λ 的相對大小決定。在A點垂直柱軸方向截面上的曲率半徑 R_1 為：

$$R_1 = a + b \quad (5)$$

為求取沿柱軸方向的曲率半徑 R_2 ，我們可以用一半徑為 R_2 的圓形逼近A、B點上的泡膜曲線。如圖三(2)，令：

$$y'^2 = R_2^2 - x'^2 \quad (6)$$

則其二次微分為：

$$\left. \frac{d^2 y'}{dx'^2} \right|_{x'=A} = -\frac{1}{R_2} \quad (7)$$

此曲率應與(4)式在A點的二次微分相同，因此：

$$\left. \frac{d^2 y}{dx^2} \right|_{x=A} = \frac{-4\pi^2 b}{\lambda^2} = \frac{-1}{R_2} \quad (8)$$

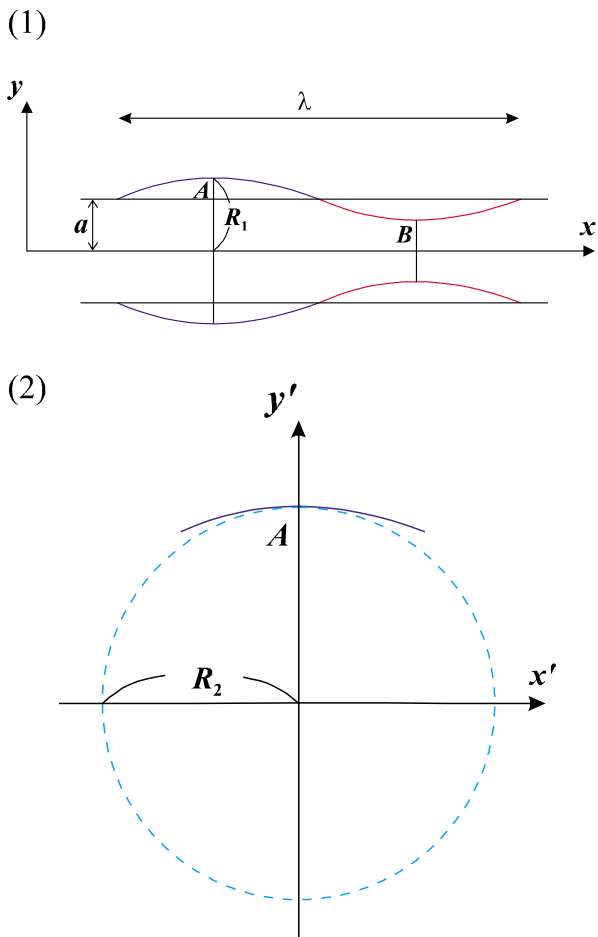
結合(3)、(5)與(8)式，得到A點泡泡內外壓力差為：

$$\Delta p_A = \sigma_f \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \sigma_f \cdot \left(\frac{1}{a+b} + \frac{4\pi^2 b}{\lambda^2} \right) \quad (9)$$

同理，可得到B點泡泡內外壓力差為：

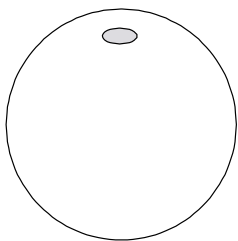
$$\Delta p_B = \sigma_f \cdot \left(\frac{1}{a-b} - \frac{4\pi^2 b}{\lambda^2} \right) \quad (10)$$

因此，A點和B點的壓力差為：

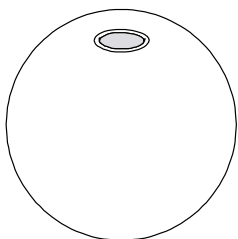


圖三 (1)受到擾動的柱狀泡泡：柱軸方向為 x 方向，徑向為 y 方向。泡泡的半徑為 a ，擾動波長為 λ 。(2)沿柱軸方向的曲線，在A點的曲率可以用一個半徑為 R_2 的圓形的曲率逼近。

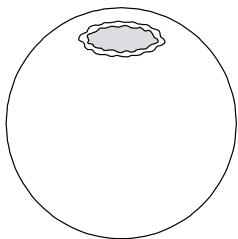
(1)



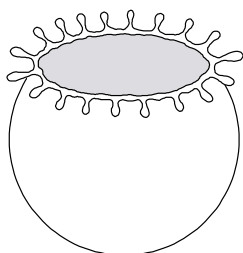
(2)



(3)



(4)



(5)



圖四 (1) 泡泡由頂部液體較薄處開始破裂，形成一個圓形的膜洞；(2) 液體會在膜洞周圍累積成一個甜甜圈形的液環；(3) 逐漸擴大的液環表面不穩定；(4) 液環斷裂成較小的液滴，並沿切線方向飛出，所拉出的液柱也會因不穩定而碎裂成小液滴；(5) 利用高速攝影技術攝得液膜破裂的情形 (取自 <http://www.rit.edu/~andpp/exhibit-3.html>, 經 A. Davidhazy 授權使用)。

$$\Delta p_{AB} = \Delta p_A - \Delta p_B = \sigma_f \cdot \left(\frac{8\pi^2 b}{\lambda^2} - \frac{2b}{a^2 - b^2} \right) \quad (11)$$

因為 $b \ll a$ ，(12) 近似於：

$$\Delta p_{AB} \approx \sigma_f \cdot \left(\frac{8\pi^2 b}{\lambda^2} - \frac{2b}{a^2} \right) = \frac{2b\sigma_f}{a^2} \left[\left(\frac{2\pi a}{\lambda} \right)^2 - 1 \right] \quad (12)$$

若要維持柱狀泡泡的穩定，A 點壓力需大於 B 點 (即 $\Delta p_{AB} > 0$)，則由 (12) 式可知擾動的波長不能超過圓柱周長：

$$\lambda < 2\pi a \quad (13)$$

前面連通管的實驗 (圖二) 可以視為圖三圓柱泡泡分成兩段，所以每段長度不能超過管半徑的 π 倍，先前所說的三倍左右就是這樣得來的。

類似的現象在自然界中俯拾即是。吹泡泡的時候，用力地吹會使泡膜拉成細長狀；由於長泡膜表面不穩定，細部位更縮小的傾向會使泡膜斷裂成多個小泡泡。但是慢慢地吹氣時，可以使泡膜不致拉得太長，最後能夠得到較大的泡泡。你一定也有這樣的觀察：泡泡爆裂時，會噴濺出許多細小的水滴，為什麼呢？如圖四(1)，泡泡破裂通常由頂部液體較薄處開始，形成一個圓形的膜洞；由於表面張力的收縮作用，液體會在膜洞周圍累積成一個甜甜圈形的液環 (圖四，2)。膜洞變得越大，液環長度也越長，最後表面不穩定 (圖四，3)，會斷裂成較小的指狀液柱。又因為慣性作用，指狀液柱會沿切線方向被甩出 (圖四，4)，繼而形成液柱，然後再斷裂成許多液珠。在大氣中形成雨滴的過程主要是靠雲滴之間的碰撞成長；有些液滴碰撞合併後，會因原先兩液滴相對運動的慣性而變形拉長。拉得較長的水柱不穩定，細處會斷裂，最後碎裂成多個液滴。這些水滴會繼續與其他雲滴和雨滴碰撞，使雨滴數量快速增加，這種連鎖反應是產生降水的重要機制。

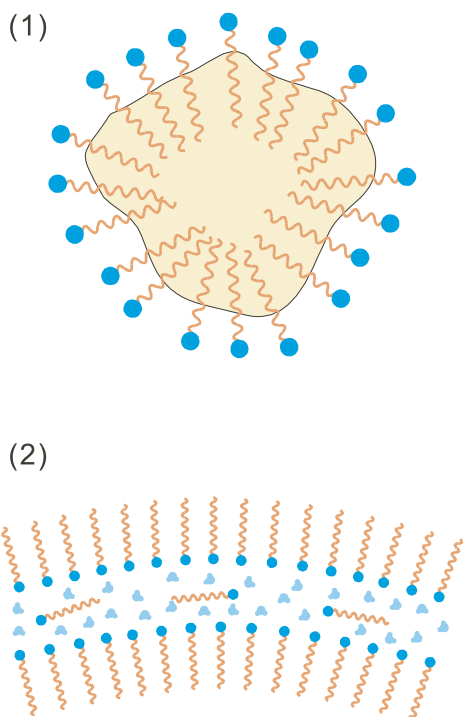
四、泡泡化學

話說回來，任何人都知道光用純水是吹不出泡泡

的。攪動一桶水會濺出許多水珠，但是不太會產生泡泡。這是因為水分子之間的吸引力實在太大，使濺出來的水內聚為一顆顆水珠，以減少表面積。相對地，如果你攪動一桶肥皂水，除了濺出水花以外，也很容易產生泡泡。泡泡的結構具有很大的表面積，但體積卻很小；由能量的觀點，這個系統是非常不穩定的。那麼為什麼肥皂能幫助泡泡形成呢？還記得前面迴紋針的實驗嗎？讓迴紋針浮在水面上，再輕輕滴入一點肥皂水，你會看見迴紋針沈了下去。顯然加入肥皂會減少水溶液的表面張力。

肥皂的成分是酯酸鹽類，一端具有極性，另一端則是不具極性的長碳鍊。在水溶液中，極性端和水分子之間有很強的吸引力，稱為親水端；而長碳鍊端不溶於水，稱為疏水端；此類分子稱為「雙親分子」。肥皂分子在水中會團聚成一個個「微胞」，親水端向外鄰接水，疏水端向內。因為油脂也不具極性，肥皂分子會以疏水端靠近油脂分子，把油污包入微胞裡面，使得油污能「溶」（懸浮）在水裡（圖五，1）。這就是肥皂去污的原理，也因此肥皂又叫界面活性劑。

肥皂幫助泡泡形成的原因有三：(1)肥皂泡膜是由



圖五 (1)肥皂分子在水溶液中形成微胞，可將污垢包入，達到去污的效果。(2)肥皂泡膜由兩層肥皂分子夾著少量水溶液構成。

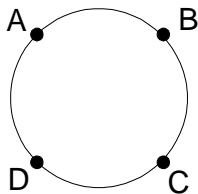
兩層肥皂分子夾少量的水溶液構成（圖五，2）；肥皂分子成層狀排列，親水端向溶液，疏水端向外。因此肥皂能幫助保持膜維持較大的厚度。(2)泡膜上的肥皂分子層可以減緩內部液體的蒸發，避免泡泡太快變薄。(3)最重要的原因，是肥皂分子和水分子之間的吸引力比水分子之間的吸引力小，所以肥皂水溶液的表面張力大約只有純水的三分之一。當泡膜表面受到擾動而擴張時，表面的肥皂分子間的距離加大，水補充進來，使局部泡膜的表面張力變大（更像純水的表面張力）。增大的表面張力會使局部表面內縮，幫助泡膜回復原來的形狀，有利於穩定泡膜，這個效應稱為「馬倫哥尼效應」（Marangoni effect）。

某些類似界面活性劑具有長碳鍊的分子在水中的溶解度很低，但是在液體表層由於疏水力作用會均勻散布，形成非常薄的覆蓋層。我們下雨天在加油站常可看到小水潭上浮著一層油膜，是一樣的道理。凱爾文爵士最早提議在湖面上加入此類分子，以抑制乾季湖水的蒸發，可以說是最早試圖進行的天氣改造方案之一。一九三二年諾貝爾化學獎得主朗謬爾（Irving Langmuir, 1881-1957）證明這類覆蓋層只有一個分子的厚度，稱為「單分子層」（monolayer），能有效地阻礙水分子穿透表層，抑制其下液體的蒸發。

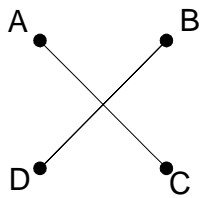
五、泡泡幾何學

許多我們所熟知的科學家都曾為泡泡獨特的魅力而著迷，包括文藝復興時代的全才達文西、牛頓、虎克、拉普拉斯、高斯和包松等，都進行過相關的研究。十九世紀比利時科學家普拉圖（Joseph A. F. Plateau, 1801-1883）是最早有系統地觀察、記錄並為泡膜的幾何形狀提出通則的人。儘管眼盲（廿八歲上因以肉眼直視太陽二十五秒造成視力受損，四十二歲時全盲），普拉圖仍在家人的協助下完成許多重要的科學實驗。他所提出泡膜的幾何通則可以歸納為三點：(1) 附著在鐵絲框架（或其他封閉的結構體）上的泡膜，具有平滑的結構。(2) 泡膜之間只會以下列兩種方式之一相連接：三個表面沿著一平滑的曲線相連，或六個平面形成四條曲線在一個頂點相接。(3) 以曲線或同一頂

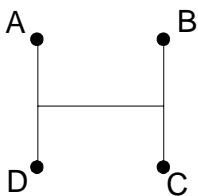
(1)



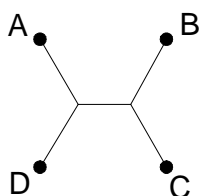
(2)



(3)



(4)



圖六 平面上四點，各在正方形一角，四點之間以不同方式相連。以方法 (4) 連結可得到最短的總路徑長度，其中每個交角都是 120° 。

點相接的泡膜，其面與面之間夾角相等；三個表面相接時夾角為 120° ，六個表面相接時夾角約為 109° 。

這些現象皆與泡膜表面積傾向最小化的原理有關，而所有與肥皂膜幾何類似的數學問題都被稱作「普拉圖問題」。最簡單的例子就是平面上多點之間最短的連接路徑。如圖六，假設要在 A、B、C、D 四個城市間建連通道路，總路徑最短的是如圖六(4)的連接法，其中每個線段的交角都是 120° 。如果增加連接點數或其他限制條件，數學問題會變得更加複雜；但是我們卻可以簡單地利用肥皂水、兩塊板子和一些小木棒得到完美的答案。許多數學家致力於研究普拉圖問題，甚至由此發展出新的數學分析方法，但直到一九七〇年代才有較完整的數學模型。令科學家們驚異的是，自然界中許多生物的形體（如放射蟲的矽結構）和生長方式，甚至人類紅血球的形狀都和肥皂膜的幾何原理有關。建築設計者也利用泡泡模型設計受力平衡而穩定的結構。

六、泡泡光學

泡泡在空氣中飛舞雖然美麗，但也十分脆弱，沒

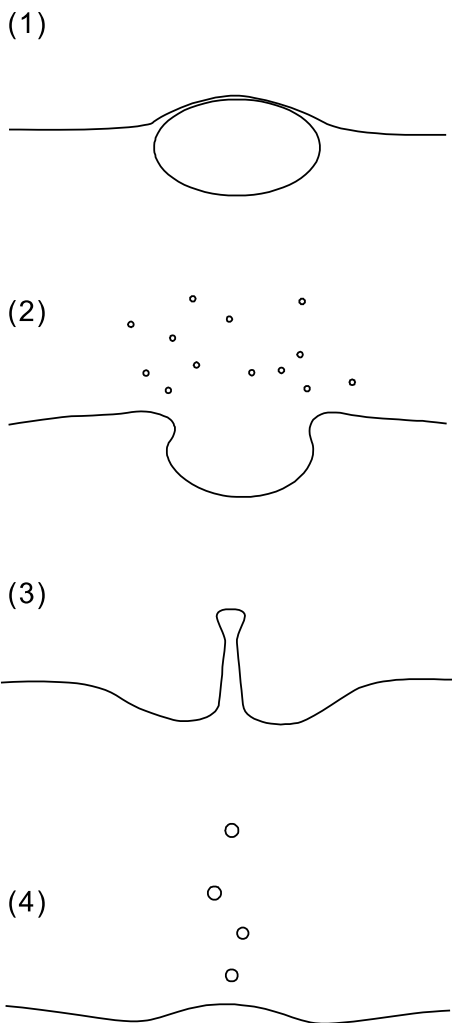
多久就消破不見。如果你夠細心的話，也許會發現剛吹出來的泡泡上面有斑斕的色彩；但一段時間之後，泡膜上會出現一塊塊黯淡、無光澤的區域，沒多久就爆破消失。

泡膜上漂亮的色彩和光線干涉有關。泡膜僅由兩層肥皂分子和極薄的水溶液構成，剛形成的泡膜厚度大約只有幾個微米，和可見光的波長相當。入射的光線到泡膜的第一個表面時，會有 4% 反射出來；另外 96% 的光線進入泡膜，經過泡膜的折射，最後又有 4% 反射出來。後者和第一次反射的光線平行且強度相當，但行經不同光程，因此兩者互相干涉。我們所觀察到的色彩，是經過球狀泡泡上不同光程的光線互相干涉的結果。經過一段時間後，泡膜內的水溶液慢慢因為重力或蒸發而流失，使得泡膜由頂部開始變薄。當泡膜厚度變薄至 0.03 微米左右，兩次反射的光線會產生相消性干涉。對觀察者而言，常常會看到泡泡頂部變得黯淡無光，好像老人斑一樣，宣告泡泡步入暮年。

七、海沫

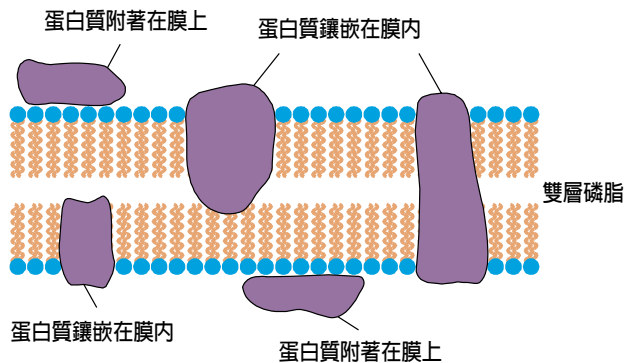
在海面上，常常因海浪的起伏把空氣捲入海水中；空氣包浮上時會破碎成許多小小的氣泡留在水面（圖七，1）。這些氣泡也像肥皂泡一樣會變薄爆裂，並因前述的表面不穩定而形成許多非常細小的液滴（粒徑 1 ~ 5 微米），稱為「薄膜液滴」(film droplets)，如圖七(2)。另一方面泡沫中央會受到周圍水的推擠，噴射出直立的水柱，繼而斷裂成若干個稍大的液滴（粒徑 5 ~ 10 微米），稱為「噴射液滴」(jet droplets)，如圖七(3)、(4)。此外海浪頂端破碎或拍擊海面或海岸時，也會產生少量粒徑較大的液滴。所有此類由海洋表面產生，透過紊流傳送進入大氣的海水液滴，我們統稱為「海沫」(sea spray)。

不要小看這些海沫，它們對於氣候和生物活動可都有重要的影響。海沫進入大氣中，受環境溫、濕度的影響而蒸發，直接改變大氣—海洋交界面熱量和水氣交換的通量。此外，大氣中水氣要凝結成雲滴需要「凝結核」。海面上污染源較少，海沫便成為凝結核的



圖七 海沫由氣泡產生的機制。(1)氣泡浮至海面，形成薄膜；(2)薄膜碎裂形成薄膜液滴；(3)水面下凹處受周圍水的推擠，噴出直立水柱；(4)水柱拉長使表面不穩定，最後斷裂成若干噴射液滴。

重要來源。海沫不僅粒徑較大，利於雲滴活化；較大的海沫進入海洋性層積雲內，還能夠有效地與雲滴碰撞，加速降水。美洲地區曾經發生大規模的呼吸道疾病流行，甚至造成數百人死亡，但卻找不到致病原因。後來發現病因起於海中紅藻類大量繁殖，所排放的劇烈毒素隨著海沫進入大氣，刺激人類的呼吸系統。前些時日核三廠機組故障，也有人歸因於恆春地方空氣中懸浮的海沫造成鹽害，侵蝕管線。海水水族箱附近的馬達、鐵器特別容易生鏽也是這個原理。汽水泡泡的破裂也會造成類似的飛沫，你可以將臉貼近汽水杯口去感受一下。



圖八 生物膜的結構。主要由兩層磷脂分子構成，親水端向外；膜上鑲嵌有蛋白質。

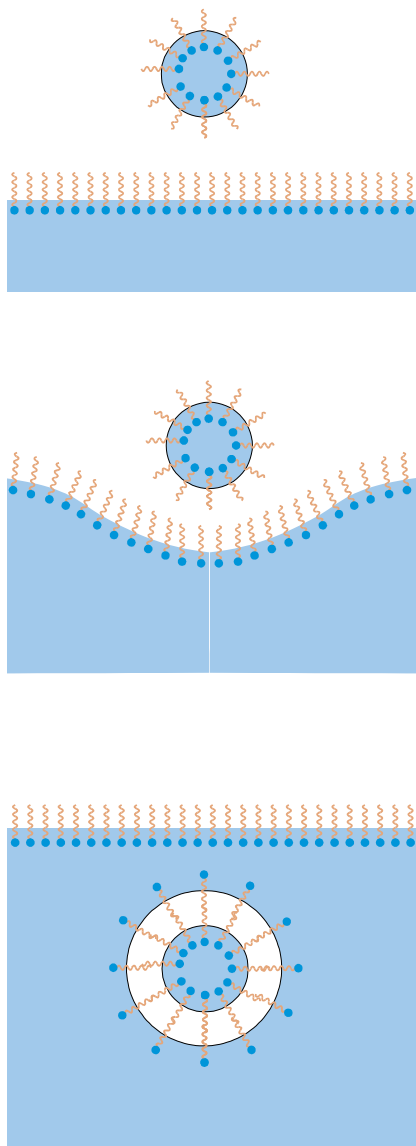
八、泡膜和生命起源

大家都知道生物體由細胞組成；每個細胞都以一層薄薄的膜與外在環境區隔，內部也以膜將不同功能的分子裝配組合。生物膜的結構非常類似肥皂泡膜(圖八)，主要由兩層磷脂分子組成，膜上鑲嵌有蛋白質。磷脂也屬於雙親分子，因此在多水環境中，兩個分子的疏水端被迫靠近，維持膜的穩定性。

關於生命的起源，很多科學家相信所謂的「原胞」模型。如圖九，自然合成的脂類分子在水表面會散布為單分子層。如果一個由同樣的單分子層包裹著的水滴(例如海沫)掉入水面，疏水力使兩層雙親分子排列成膜，產生一個細胞原型。有了外層膜的保護，細胞內的氨基酸或其他生命分子便能夠進一步交互作用、反應。

九、結語

透過許多科學家在物理、化學、數學和生物學方面的研究，不斷地提出假說與實驗，我們對於泡泡、表面相關問題終於有了較多的瞭解，進而發展新的科技與學理。今日，不論學術界和工業界對於「表面」現象仍然非常重視，包括物質表面的原子排列和化學反應機制及其應用，都是方興未艾的研究課題。簡單



圖九 原胞形成的一種可能模型

的肥皂泡泡竟然包含了這麼多學問，是不是令你驚訝呢？如同一切科學問題，對於泡泡的研究始於細心、縝密而有系統的觀察和記錄。下次你吹出一個泡泡時，可要仔細地觀察，可能會帶給你意想不到的收穫喔！

補充資料

說了這麼多，你是不是很想親自來實驗看看呢？我們提供一個「泡泡配方」，讓你能自己在家調配。你也可以嘗試不同的比例，看能不能得到更大更持久的泡泡。

(1)六杯水

(2)一杯洗髮精（試試不同品牌吧，原則上成分越單純、添加物越少的洗髮精效果較好）

(3)一湯匙甘油（藥房有售）

在一個水桶裡把所有材料均勻混合，但注意不要攪拌出太多泡沫來。如果水面浮了很多泡沫，最好用手把它撈起來。添加少量甘油除了能降低水溶液的表面張力以外，也能減緩泡膜表面水分的蒸發和流失。所以調配好的泡泡水，不妨靜置幾個小時至一天，讓甘油分子能均勻散布開來，效果會更好。

用鐵絲或衣架簡單地纏繞成圈形就能吹出泡泡，足供你在公園裡消磨一個下午。或者用水電行賣的塑膠水管和閥門輕易地組合出連通管，試試不同大小球狀或柱狀泡泡的實驗（不妨在鐵絲或水管外壁上多纏繞一些棉線，這樣能多吸收一些肥皂水，泡膜比較持久）。你也可以把鐵絲纏成各種不同的封閉曲線，親自觀察泡膜連接的方式和泡膜如何以最小面積存在。試著用大泡泡包住小泡泡，或是把泡泡一個一個往上疊，看看你能做出多少層？

想要做個挑戰世界紀錄的大泡泡嗎？試試看用棉布條接成一個大圓圈，掛在一條細桿子上，沾滿肥皂水迎著風慢慢走動，就能夠得到巨大的泡泡。天氣狀況也很重要：陰天、濕度高的環境，能減緩泡膜蒸發；下過雨的日子或是清晨、傍晚太陽不大時都很理想。此外風太大時泡泡容易破裂，但是有點兒微風或上升氣流能幫助泡泡旋轉，避免泡泡頂部的液體太快因重力而流失，同時能幫助泡泡升空，不會碰到地面而破裂。

參考資料

(1)肥皂泡的成因，勃艾思 (C. V. Boys) 著，任明道譯，台灣商務出版社，1970。

勃艾思除了是曾擔任英國倫敦物理學會主席的著名科學家，也是泡泡界有名的實驗家。這本小冊子集結了勃艾思在一八八九年底對倫敦青少年所做的三場演講內容。書中充滿了各式各樣有趣的實驗，並說明簡單的原理，非常適合喜歡動手做的人參考閱讀。

(2)從肥皂泡到液晶生物膜，歐陽鐘燦、劉寄星著，牛頓出版社，1995。

這本書比較深入地介紹泡泡科學和其他學門的關係。從肥皂泡的力學和形狀入門，介紹物質液晶態的彈性流體力學性質，並引伸到生物膜的實例，特別值得對生物有興趣的讀者閱讀。

(3) *The Science of Soap Films and Soap Bubbles*, Cyril Isenberg, Dover Publications, 1992

本書是寫給具備大學以上物理、化學和數學程度的讀者。第一章介紹肥皂泡研究的歷史發展，接著就泡泡力學、光學和數學問題深入介紹。特別偏重數學，介紹變分法和最小面積原理。

(4) 網站：<http://www.exploratorium.edu/ronh/bubbles/bubbles.html>

簡單介紹和泡泡有關的物理和化學現象外，也有一些不同的泡泡配方可供你嘗試。

(5) 網站：http://www.pacsci.org/public/education/gallery/high_speed_photos/student_photos.html

利用高速攝影技術拍攝泡泡破裂、液體滴落和表面不穩定等現象。

(收稿日期：90年6月8日；接受刊登：90年8月23日)