
科普活動設計：以「泡泡世界」為例

許良榮^{1*} 吳筱婷²

¹國立臺中教育大學 科學應用與推廣系

²臺中市立大仁國民小學

壹、前言

科學的發展帶動社會的進步、科技的革新，進而影響人類生活的品質。學習科學、了解科學成為學生與社會大眾的課題之一。但是隨著科學知識的日易艱深，科學概念越趨抽象，加以科學傳播的缺乏，大眾對於科學的接觸有漸行漸遠之態，「科學文盲」一詞乃應運而生。「科普」的任務之一是拉進科學與大眾的距離，進而培養社會大眾對於科學的基本認識，這是科學教育應予重視的一環。

「吹泡泡」幾乎是每個人兒時的歡樂經驗，在科學課程多年的變動下，一直是小學科學課程中既存的單元。可惜受限於教學時間、學童認知層次與課程內容的壓縮，無法呈現出其中蘊含的多樣性科學內容。筆者由教學研究經驗發現「泡泡」包含了不少的科學概念與引人注意的科學活動，不僅與生活經驗結合，也包括了物理、化學、幾何與藝術的不同層面，是一個值得引介的科普活動「內容」。因此以「泡泡世界」為主題，獲得國科會經費補助，設計各項「展示」以及「操作活動」，在國立自然科學博物館展出四週，也到幼稚園、兒童福利中心等辦理展出。本活動為非學

術性導向，而是一種實踐歷程，期望能走入群眾，將科學的奇妙帶給大眾，讓民眾能體會生活處處有科學。並帶領參與的學生或民眾一窺泡泡的科學秘密、鑑賞科學之美並養成從日常生活現象思索其原理的科學精神。

在設計活動的過程中，筆者深刻感受「泡泡」的相關現象蘊含相當豐富的科學原理，頗具教學價值，值得做為科學教學的參考或科學推廣的素材，以下介紹筆者設計展出活動的經驗以及操作活動的內容，以提供讀者與教師參考。

貳、展出內容與活動設計

本計畫展出內容的參考資料包括網路、學術期刊、書籍等資料，例如國外已經有不少以 Bubble 為主體的網站(國內尚未見此類專門網站)。而柏克萊加州大學出版的相關書籍如<Bubble Festival>(Barber & Willard, 2002)；<Bubble-ology>(Lawrence Hall of Science, 2005)；<The science of soap films and soap bubbles>(Isenberg, 1992)，也包含相當豐富的參考資料。此外，筆者也邀請本系三位教師參與研究，分別具備科學教育、化學、物理與生物之不同領域專長，互補有無，協力

* 為本文通訊作者

合作蒐集資料，以增加展示內容的豐富性與恰當性。

「泡泡世界」科普活動主題的內涵包括「泡泡光學」、「泡泡化學」、「泡泡力學」、「泡泡幾何學」、「泡泡表演藝術」五個層面，並以展出以及動手操作之探究活動方式引介。分別簡述如下。

- (一) 泡泡光學：內容主要為泡泡薄膜上呈現各種顏色之原理，包括光的反射、折射以及干涉，此部分主要以圖文的方式展示。
- (二) 泡泡化學：由分子特性介紹泡泡形成之基本原理與概念，其中牽涉親水基、親油基、介面活性劑等基本化學概念，此部分主要以圖文的方式展示。
- (三) 泡泡力學：本部分由清潔劑分子對水溶液之「表面張力」的影響，引介日常生活中隨處可見與表面張力有關的現象。除了圖文的展示，並設計動手操作的探究活動：「不會沉的鐵絲」以及「不漏水的網子」。
- (四) 泡泡幾何學：延續「表面張力」之觀念，展現泡泡膜形成「最小表面積」的奇妙幾何結構，國立自然科學博物館中已有展示正立方體結構形成的泡泡膜，但是略嫌不夠深入與多樣性，且缺乏與民眾的互動。本展出在此部分的設計提供更多樣性的結構變化，例如螺旋體、圓柱、四面體等不同形狀。

另一主題是利用壓克力模型展示「二

維泡泡」形成「最短總路徑」的特性(如圖 1)，分別包括 4、5、6 個點的模型，以及「畫畫看」活動：實際運用於台灣六個城市之間，如何設計(畫出)兩兩城市皆可互通的「最短總路徑」的公路。

- (五) 泡泡表演藝術：包括「可觸摸泡泡」以及「拉泡泡」。「可觸摸泡泡」是研究者研發出的配方，利用加入適量的膠水，可以產生能觸摸的泡泡(如圖 2)，相當具有新奇性與趣味性。而「拉泡泡」的發展過程也是研究者以嘗試錯誤方式，試驗多種廠牌之清潔劑以及水、甘油之比例，最後研發出可以相當穩定的拉出約六公尺長的泡泡配方(如圖 3)。

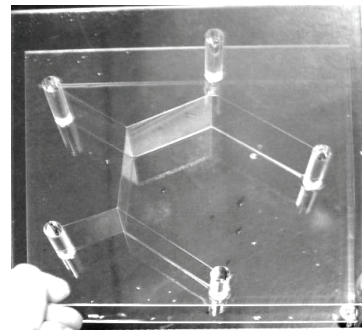


圖 1、二維泡泡(5 個點所形成的泡泡膜)



圖 2、可觸摸泡泡



圖 3、展出活動研發的拉大泡泡配方之成效

本展出活動在設計過程，推廣小組(包括二位碩士班研究生以及三位大學部學生)共同蒐集資料、設計圖文以及動畫。設計初稿藉由檢核表，邀請本系三位教師評鑑展出內容之恰當性，再進行修訂，前後歷經五個月時間。而設計成果再製作成網頁，以更進一步擴展科普之推動，網址為：http://scigame.ntcu.edu.tw/World_Bubble.html，歡迎讀者上網瀏覽。

另一方面，本計畫招募本系學生共十八名，展出前實施「職前教育」，以擔任現場解說以及操作活動指導，也提供學生現場實習以及參與社會科學教育的機會。

參、活動設計特色

坊間已有不少與「泡泡」相關的科學遊戲或活動(請參閱上述網站的「好站連結」)，因此本文不再介紹有關表面張力、泡泡膜原理的部分，而針對在展出期間，民眾或師生較常提出的問題，說明操作或活動設計的內容。

一、拉大泡泡

在展出期間，「拉泡泡」可說是最受歡迎與注意的活動，總計發出的 1,925 份問卷中，有 69.0%的民眾勾選最喜歡的活動是「拉泡泡」，工讀生的受訪意見也顯示此活動受歡迎的程度。

研究者：那時候你對泡泡的感覺就是？

B2：就是一樣覺得很好玩。大家都衝著拉大泡泡來的。就連我們工讀生也一樣，有時間就很愛玩...對阿！就覺得很奇怪，明明知道就是這樣，可是還是很愛玩。

筆者在嘗試拉泡泡的配方時，首先訂定的原則是：便宜、容易取得。在試驗過多種的清潔劑(包括洗衣精、洗衣粉、洗碗精、洗髮乳等等)之後，發現坊間販售的清潔劑效果不一。而相關網頁、書籍公布的配方比例也有差異，但是相同的是都添加了「甘油(丙三醇)」，國外以泡泡為表演秀的專業網站則不會公布配方。

經過多次嘗試錯誤，包括更動清潔劑、水與甘油的比例，筆者拉出大泡泡的心得如下：

1. 清潔劑：到五金店或 99 賣場，買 4 公升約 45 元的洗碗精(廠牌不拘)。
2. 甘油：化學藥品行(一瓶 500 毫升，約 150 元)。
3. 捕魚網：約 40 元一隻，剪掉網子(但是鐵絲圈仍留著網子，以增加吸水性)。

4. 清潔劑、水、甘油 = 12 : 10 : 1 (比例不必很精準，如能用蒸餾水更佳)。
5. 拉的速度自行控制，以拉出一「長泡泡」為目標，或是拉出一個「大泡泡」為目標。

上述第 4 點的比例會因清潔劑廠牌的不同而有差異，筆者曾試驗過的，曾經用到 4 : 4 : 1。而在科博館展出期間，曾因清潔劑用完，請相同廠商送來相同牌子的清潔劑，但是拉泡泡的效果卻出奇的差，打電話詢問之後，才發現廠商更動了清潔劑的製作配方，於是要求送來原來配方的清潔劑，才解決了問題（而且廠商不願告知其清潔劑的配方）。

其他注意事項包括：(1)室內的效果最佳，大太陽下、多風處，會明顯降低效果；(2)圈圈越大，泡泡長度會越小，可以自行斟酌以長泡泡為目標，還是大泡泡為目標；(3)泡泡水如果弄髒、有雜質會降低效果；(4)地板必然會造成濕滑，小心注意滑倒，最好能鋪上止滑墊；(5)泡泡水的表面如果形成小泡沫，必須撈除，否則會干擾拉泡泡效果。

目前筆者的研究生持續在試驗拉泡泡配方，嘗試以純的介面活性劑，而非以市面的清潔劑為原料，以免再發生廠商更動比例而影響效果的情形。

此外，國外有販售拉泡泡水的網站(如 <http://www.xtremebubbles.com/index.html>)，一瓶大小約 8 公升賣 13 美元(4 瓶則為 30 美元)，這也是一種商機。另外也有拉泡泡的器具出售(包括桿子與細孔的線)，

筆者試驗的心得是：器具與拉泡泡效果關係不大，只要具備細孔，能夠吸附水分即可，差別只是方便性(方便置入泡泡水再拿起來拉)，重要的還是泡泡水的配方！

二、可觸摸泡泡

國內已有廠商販售可觸摸泡泡，筆者在仿效過程，首先注意到這種泡泡破掉後，顏色是白色的，摸起來有點黏黏的膠狀物。所以試驗過白膠(萬能糊)、三秒膠、膠水，並且變動各種比例，最後發現以黏貼紙張的膠水即可完成。方法是用清潔劑(一般洗碗精即可)，添加文具店買來的膠水(體積比約 1 : 5，不必加水)，均勻混合後；靜置，讓攪拌產生的小泡泡消失後，再吹吹看。如果不成功，再改變一下比例(通常必須增加膠水的量)。

在配製過程，膠水與洗碗精攪拌後，會產生乳化現象(很多小泡沫)，可靜置數小時，小泡沫就會消失，再吹看看。而如果過於粘稠，可以加很少量的水或酒精(不可加太多)。而為了加速去除小泡沫，筆者曾經使用減壓方式，結果發現效果不彰，只需靜置即可。

三、泡泡幾何學

本活動是筆者認為最具教學價值的單元，通常對於泡泡的注意力會集中在三維的大泡泡，但是平面泡泡膜的特性，具備了相當特殊的幾何特性，且二維泡泡與三維泡泡具有某些相通的幾何現象。

三維泡泡會形成「最小表面積」(二維)，例如正立方體結構的架子，形成的泡

泡泡膜如圖四，泡泡膜總表面積約為六個面之總表面積的 70.7%。(正四面體則約只有 60.4%)。特別的是，每個泡泡膜接觸面必然成為 120 度，而且只有三個(或以下)泡泡膜彼此互相銜接。三維泡泡的最小表面積的計算，並不算簡單，對於國中學生可能過於困難，但是可以嘗試讓高中學生解決此問題。

而可利用二片壓克力板與數根小圓柱形成的二維泡泡，則會形成「最短總路徑」(一維)，同時保持接觸面為 120 度、只有三個(或以下)泡泡膜彼此互相銜接的特性，例如圖一是五個點形成的泡泡膜。

二維泡泡的最短路徑計算較為單純，在教學設計上，可以讓學生演算不同數目的點形成的泡泡膜總路徑，例如以正方形四個點的計算為例：

假設四個點位於邊長為 1 的正方形四個頂點，則兩兩相通的可能路徑包括「 Γ 」字形與「X」形，「 Γ 」字形總長度為 3，「X」形總長度為 $2\sqrt{2} \approx 2.83$ 。而實驗結果，泡泡膜所形成的形狀如圖 5，而這是否具備「最短路徑」？

由於泡泡的接觸面是 120° ，因此：中間橫線的長為：

$$1 - 2 \cdot (1/2\sqrt{3}) = 1 - 1/\sqrt{3} \quad (1)$$

四條斜線長為：

$$4 \cdot (1/\sqrt{3}) = 4/\sqrt{3} \quad (2)$$

所以總路徑長為：

$$(1) + (2) = 1 + \sqrt{3} \approx 2.71$$

至於位於正五邊形的五個點所形成的泡泡膜(圖 1)，其總路徑長則為 3.891(邊

長假設為 1)，此計算需要用到多次的三角函數，較為複雜，計算過程請參閱附錄。

而正六邊形的六個點所形成的泡泡膜較為多樣性，其平衡組態有三種，所謂「平衡組態(equilibrium configuration)」是指泡泡膜可以形成 120° 的接觸角。此三種平衡組態的泡泡膜形狀如圖 6 所示，其中又以(A)的總路徑為最短(詳細論述請參閱 Isenberg, 1992; p.56-62)。實際以壓克力板進行實驗時，泡泡膜會形成此三者中的任一個，與壓克力板離開泡泡水的角度與快慢有關，這也是相當有趣的實驗，可以讓學生實際操作，觀察泡泡膜的形成。請注意壓克力板模型浸入泡泡水時，必須先把水面的小泡沫撈去，讓水面沒有泡沫，以免泡沫進入壓克力板模型，干擾泡泡膜的形成。

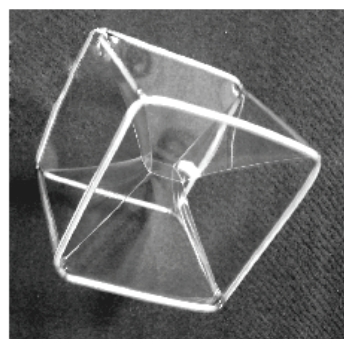


圖 4、正方體形成的泡泡膜

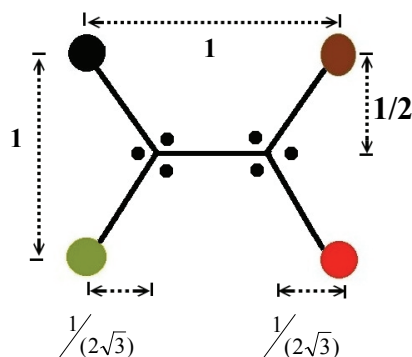


圖 5、四個點形成的泡泡膜長度

四、用泡泡膜建公路

由上述二維泡泡延伸的應用是「如何在城市之間建立彼此互通的最短公路？(或水管)」，例如以下問題：「如果不考慮地形因素，要連接台北、台中、宜蘭、花蓮、高雄與台東 6 個城市，如圖 7(A)。試試看，你能不能畫出最短的可能路徑？(必須任何二城市之間可互通)」，解答如圖 7(B)。而圖 5、四個點之間形成的泡泡膜例子，可以和學生說明在實際運用上，如果要建造能夠銜接馬路四個路口的地下道，而且要求總路徑最短，以節省經費，圖 5 的泡泡膜就提供了解答。

除了可以利用壓克力板模型浸入泡泡水實際操作，也可以用畫的。而為了方便畫出 120° 的連接線，筆者設計了如圖 7(C)的壓克力板，每次必須使用二個壓克力板，調整二個板子的角度與距離，使連接線通過城市，即可畫出理想的路徑。觀看實際操作過程，請點閱以下網址的影片：http://scigame.ntcu.edu.tw/draw_Taw.mpg。

上述的操作，學生可能會質疑只是紙上談兵，因為台灣地形多高山，不可能如此建設公路。我們除了可以說明是先練習基本概念的操作之外，另一方面也可以實際考慮此問題，也就是同樣利用壓克力板模型，將對應的障礙地形(如高山、湖泊)將其中一面的壓克力板挖空，再放入泡泡水，拿起來後形成的泡泡膜就是解決方案了！

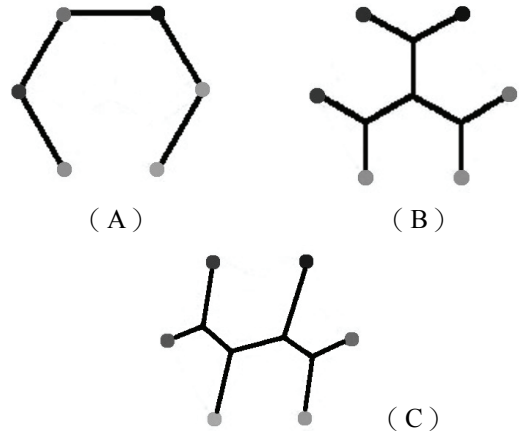


圖 6、六個點形成的三種泡泡膜

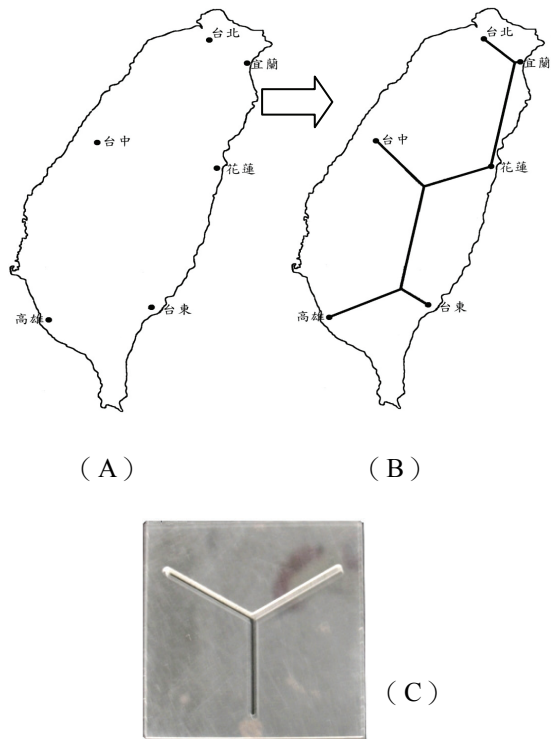


圖 7、最短公路設計

肆、展出成果與省思

本活動於民國 95 年 7 月 18 日至 8 月 13 日於國立自然科學博物館展出四週，參觀本展出活動的民眾頗為踴躍，總計有

12,170 人次。展出期間請十歲以上民眾自由填寫問卷，以了解民眾與學生對於展出內容的觀點或意見，總計發出 1,925 份。

問卷統計結果顯示以年齡層而言，以 10~17 歲最多，共 994 人(52.0%)，其次為 26~39 歲，共 606 人(31.7%)。以學歷而言，國小學生為最多，共有 827 人(44.3%)，而大專、大學也有 621 人(33.3%)。

一、民眾對展出內容的意見

對於展出內容，由問卷的分析顯示，在有關內容豐富性、生動有趣、是否多瞭解科學概念等 8 項問題，勾選「同意」的都在 85%以上，顯示經過五個月籌劃的展出內容能獲得大多數民眾的肯定，而事先整合展出內容的「講義」(共 9 頁，下載網址：<http://scigame.ntcu.edu.tw/material.doc>)，也能發揮預期的效用。

B2：... ..還有不錯的就是...那本手冊做得還不錯。

研究者：是哪一本手冊？講義嗎？

B2：講義，就很多頁的那一本，大家還蠻喜歡的，因為裡面寫得很詳細。很多人都會問說大泡泡要怎麼做的？可觸摸(泡泡)怎麼做的？我們只要跟他們說那本手冊有，他們就會去拿了。

二、民眾對展出內容的喜好與瞭解

由表一的分析顯示，在各項展出內容，最多民眾表示喜歡的是「拉泡泡」(69.0%)，其次是「表面張力遊戲」(59.9%)，而「二維泡泡」最低(29.8%)。

對照表示「不易理解」的項目是「二維泡泡」(37.2%)，而「拉泡泡」最低(9.5%)。顯示展出內容是否受到民眾喜愛與其是否容易理解，有某種程度的關連性，這也是在設計科普活動時，應多加留意與改善的。

研究者：有問題的人多嗎？

B3：有問題的人很多阿，大部分的民眾都是想要知道拉泡泡的配方，或是怎麼弄的。

研究者：妳覺得有沒有什麼樣的內容是民眾比較不容易懂的？

B5：二維泡泡吧，因為我也不懂！有聽其他人說好像很多人(民眾)都對這個不是很瞭解那因為我也不懂所以不太知道.....。

三、展出內容吸引民眾的因素

有 76.9%的民眾表示「有趣好玩」是吸引其參與本展出活動的因素(如表二)，「可以親自動手操作」也有 72.5%，「可以瞭解更多科學概念」為 45.4%，而「能引起求知慾望」最低(31.1%)。

研究者：那有沒有你印象比較深刻的事情？

B1：有些小朋友很認真，他們會為了要成功，戳...鐵絲浮在水面上，為了讓它成功，就在那邊站了半個小時一直試，最後成功，會在那邊大叫：「我成功了」。他們很認真，從頭到尾每個都試過。覺得小朋友學習動力還蠻強的，一定要學會才肯罷休，覺得很佩服。

表一、民眾對展出內容的喜好以及瞭解

展出內容	表示喜歡 N(%)	表示不易瞭解 N(%)
1.泡泡膜的結構	836(43.4)	455(23.6)
2.泡泡膜的顏色(反射、折射、干涉)	888(46.1)	410(21.3)
3.表面張力遊戲(小船、不會沈的鐵絲)	1154(59.9)	380(19.8)
4.大挑戰：泡泡膜的形狀(正四面體、立方體)	1049(54.5)	326(16.9)
5.當泡泡遇上泡泡(泡泡膜的角度)	719(37.4)	465(24.2)
6.肥皂的去污原理(親水端、親油端)	584(30.3)	474(24.6)
7.表面張力的原理	795(41.3)	388(20.2)
8.拉泡泡	1328(69.0)	182(9.5)
9.可觸摸泡泡	831(43.2)	209(10.9)
10.二維泡泡(最短路徑)	574(29.8)	716(37.2)

表二、展出內容吸引民眾的因素

本展出活動吸引你的原因	N(%)
1.活動免費	1134(58.9)
2.有趣好玩	1480(76.9)
3.操作活動簡易	1160(60.3)
4.可以親自動手操作	1395(72.5)
5.能引起求知的慾望	598(31.1)
6.可以瞭解更多科學概念	874(45.4)
7.其他	14(.7)

四、民眾對展出活動的建議

由於本展出活動為第一次辦理，必然有需要改善的缺失，筆者除了在現場觀察，也由受訪學生的意見顯示，場地過於狹小是事先沒有預期到的缺失(人潮過多)。由於遷就操作活動必須經常更換、使用水龍頭，因此選在橢圓形廣場走廊(戶外)，這也是往後舉辦展出活動應注意改善的問題。

B4：還 ok。不過，可能是因為拉泡泡跟攤位擺得太近了，地板會變得很滑，泡泡拉起來時，飛起來破掉會滴水，所以場地要再大一點……。

研究者：有沒有要補充的？

B4：還好，不過(值班)不要排在同一天，真的會累死。可能去兩天休息一天。

研究者：你覺得哪裡累？累在哪裡？

B4：一開始要一直喊，對小朋友要喊注意什麼之類的，喊到無力，但是他們還是不聽。其他的解說還好。

伍、結語

多年來科學博物館常被詬病的問題之一是民眾將博物館視為「遊樂場」，而非學習場所，經常可發現民眾專注於展示的

趣味性，而忽視了展示看板的解說，出現「動手不動腦」的現象，本展出活動也有類似現象，因此未來推動科普活動，如何引導民眾「動手也動腦」是必須面對解決的問題之一。克服的途徑之一是設計能夠具體、清楚、易解的圖文或是動畫，以減少民眾的「認知負荷」。另一方面是再加強現場解說人員的引介說明與臨場反應。

筆者服務的學系於九十五學年轉型更名為「科學應用與推廣學系」，目標之一即是推廣科普文章寫作與編輯、科普活動設計等等，本計畫結合社區資源，實踐與國立自然科學博物館簽訂的合作交流協定，試圖將閉鎖於學院的科學教育研究，擴展至社會科學教育，對筆者以及學生都是一種新的嘗試以及新的學習，需要改進的缺失仍多，期望這種努力能縮短學校科學教育以及大眾科學教育的距離。

致謝：本計畫承國科會補助經費，謹此致謝(計畫編號：NSC- 94-2515-S-142-001)

參考資料

- 王雲五主編(1980)：肥皂泡的成因。臺灣商務印書館。
- 傅宗玖、陳正平(2001)：冒泡的美。科學發展月刊，29(11)，788-796。
- 歐陽鍾釧；劉寄星(1995)：從肥皂泡到液晶生物膜。台北：牛頓出版公司。
- Boys, C. V. (1959). *Soap-bubbles: Their colours and the forces which mold them*. New York: Dover Publications, INC.
- Isenberg, C. (1992). *The science of soap films and soap bubbles*. Toronto: General Publication Company.
- Lawrence Hall of Science. (2005a). *Bubble-ology*. University of California.
- Lawrence Hall of Science. (2005b). *Bubble festival*. University of California.
- Stein, D. (2005). *How to make monstrous, huge, unbelievably big bubble*. Palo Alto: Klutz.

附錄：正五邊形形成的泡泡膜之總路徑計算

假設五邊形邊長為 1，由於形成的泡泡膜之接觸點互為 120° (如 A、C 點)，且正五邊形之內角為 108° ，因此 $\triangle CDE$ 角度分別為 120° 、 42° 、 18° ， $\angle CDB$ 為 66° ， $\angle ABD$ 為 54° 。且其形狀為左右對稱，因此總路徑長為 $2 \cdot (\overline{AC} + \overline{CD} + \overline{CE}) + \overline{AB}$ ，各線段之長度分別為：

$$\overline{AC} = 1 / (2 \cdot \cos 30^\circ) \approx 0.577 ;$$

$$\overline{CE} = 1 \cdot \cos(90^\circ - 42^\circ) / \cos(90^\circ - (42^\circ + 18^\circ)) = \frac{\cos 48^\circ}{\cos 30^\circ} \approx 0.773$$

$$\overline{CD} = 1 \cdot \cos 42^\circ - \overline{CE} \cdot \sin(90^\circ - (42^\circ + 18^\circ)) \approx 0.357$$

$$\overline{AB} = \overline{BF} - (\overline{AC} \cdot \sin 30^\circ + \overline{CE}) \approx 0.478 ; \text{ 其中}$$

$$\overline{BF} = r + r \cdot \sin(108^\circ / 2) = r \cdot (1 + \sin 54^\circ) \approx 1.539 ;$$

r 為外接圓半徑 $(= 1 / (2 \cdot \cos 54^\circ)) \approx 0.851$ 。

因此總路徑長 ≈ 3.891

