

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(一)科

第三名

082812

想看「膜」「換」色彩-----試試「搗」音「佈」
全

學校名稱：新北市三重區正義國民小學

作者： 小六 周姿吟 小五 蘇柔穎 小五 束彥葶 小五 曾歆喻 小五 陳怡蓁 小五 李依靜	指導老師： 吳季芬 吳嘉雄
---	-------------------------

關鍵詞：肥皂薄膜、音流學

摘要

聲音可視化可以協助患有聽覺障礙人士把聲音轉化為看得見。本研究先了解直立薄膜因為光干涉出現的色彩變化原因與特徵，做聲音視覺化的初步探究；再以 OnLine Tone Generator 軟體輸出正弦波音階與鋼琴音階振動薄膜，分析聲音振動後薄膜顏色的色階 RGB 數值變化，做為聲音可視化的進一步探究。經由探究文獻與本研究結果，聲音振動肥皂薄膜要達成可視化，我們研究出可以下列條件比對驗證：聲音振動使薄膜外觀顏色出現複雜變化、精細化但可區透過色階 RGB 分別差異，可重複驗證結果且幾乎無差異，隨頻率改變外觀顏色一起改變。最後我們應用鋼琴振動薄膜可視化圖形編輯小星星樂譜。

壹、研究動機

學校附近的藝術公園到了夏天，天黑後整點時間都會有 5 分鐘水舞聲光秀，讓想玩水的人玩水，不想玩水的人可以看噴泉隨著聲音大小與節奏，跳起高高低低的水舞，非常有意思。我突然想到有些聽不到聲音的人，他們如果來這裡只能看到噴泉高矮變化而不知道這是用音樂來控制的，有沒有辦法透過色彩變化來讓聾啞人士知道聲音變化，這個問題始終存在我腦海。一個偶然機會老師讓我們吹泡泡，看到越吹越大的泡泡顏色不斷變化，我心想泡泡為什麼顏色不斷在改變，如果對著肥皂泡泡說話顏色會出現怎樣的變化？甚至讓泡泡膜聽音樂又會出現什麼結果？可以把聲音變成看得見嗎？我們嘗試動手做研究。

貳、研究目的

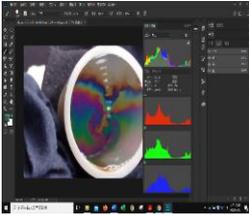
- 一、直立肥皂膜用於聲音可視化的可行性特徵探究
- 二、音樂振動使肥皂薄膜顏色、外觀變化的探討
- 三、肥皂薄膜與音樂可視化應用

參、研究設備與器材

本研究利用表參-1 之器材與軟體進行實驗探究，其他如：砂糖，濃縮洗碗精，清水，滴管做肥皂液濃度配製；音頻測量 App 做音量大小、頻率高低計量；電腦、OnLine Tone

Generator 軟體做聲音輸出。

表 參-1 研究使用之器材名稱、軟體及用途說明

名稱	量杯	粗水管	電子秤
照片			
用途	配置肥皂液	製作直立肥皂膜	秤重濃度與薄膜液量
名稱	重低音震動喇叭	Photoshop 軟體	紅、綠、藍光手電筒
照片			
用途	振動肥皂膜	分析 RGB 色階	製造單色與混合色光

肆、研究過程或方法

一、研究流程

圖肆-1 為簡易實驗流程圖，用於檢核實驗步驟、變因與結果說明分析，以達成研究目的。

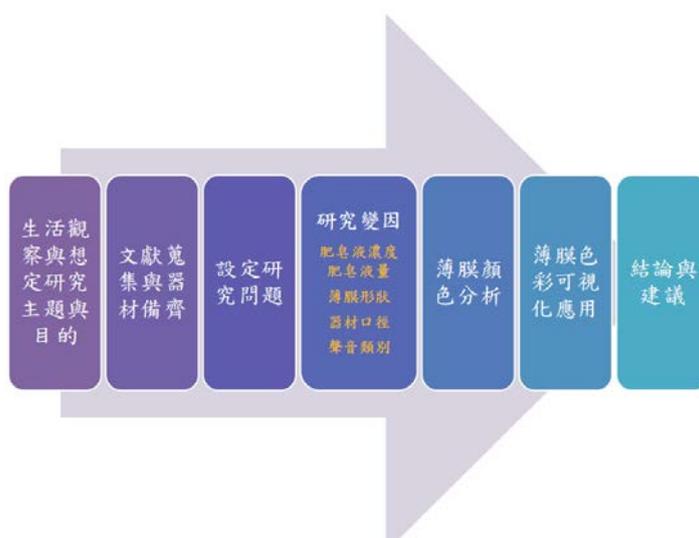


圖 肆-1 研究流程圖

二、文獻探討

(一)、薄膜干涉：

假設照射一束光波於薄膜，由於折射率不同，光波會被薄膜的上界面與下界面分別反射，因相互干涉而形成新的光波，這現象稱為薄膜干涉。完全相消干涉會導致沒有光，這將被視為肥皂膜上的黑色區域。

(二)、相消干涉與相長干涉

光有一種性質，同處一處的多條光波會相互疊加自身的強度。這樣的現象叫做「干涉」，是一種「同相更強，反相相消」的效果：如果一束光的峰值和另一束光的峰值疊加在一起，結果就會變得更強；而如果一束光的峰值和另一束光的谷值疊加在一起，結果就會相互抵消。這兩類現象分別叫做「相長干涉」(圖肆-2 左)和「相消干涉」(圖肆-2 右)。

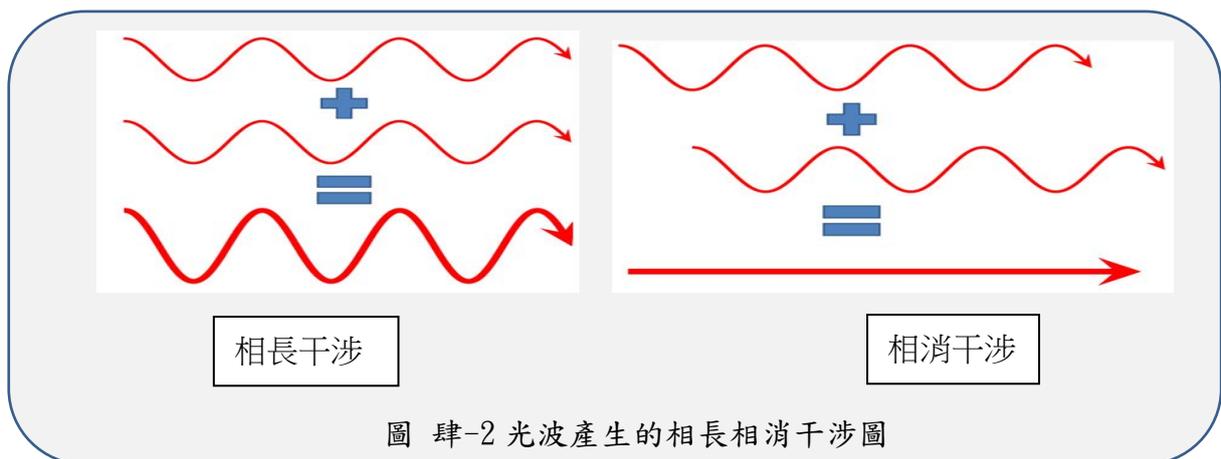


圖 肆-2 光波產生的相長相消干涉圖

(三)、聲音視覺化

其實這個詞彙源自希臘： $\kappa\upsilon\mu\alpha$ ，意思是「波浪」，亦有譯名為「音流學」或是「聲動學」，意思是研究聲音的振動與物理形態的關連。早在達文西、伽利略等科學家已提出共振的理論，亦發現聲音是可目視的。其後德國物理學家 Ernst Chladni 利用小提琴的弓磨擦盛載沙子的金屬板，振動使沙子產生不同的幾何圖案，因此被稱為 Chladni Patterns。直至在 1970 年代由瑞士科學家 Hans Jenny 提出 Cymatics 這詞彙。而 Nigel Stanford 便利用不同的素材，顯示出音樂如何製造出不同的圖案及多種視覺效果。音流學認為，每種振動波都有其唯一相對應的波形圖案，隨著音波的頻率提高，波所展示的物理圖案也越來越複雜而精細。圖肆-3 是玉米澱粉溶液在正弦波振動下呈現的圖案以

及鋼琴音符的幾何圖案，每一個音符形成了獨特的幾何形狀。

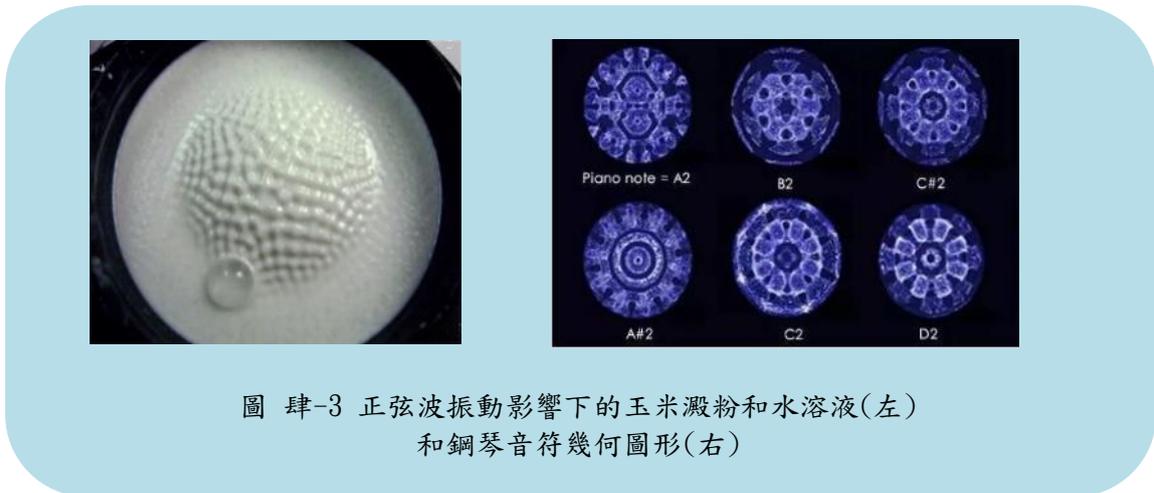


圖 肆-3 正弦波振動影響下的玉米澱粉和水溶液(左)和鋼琴音符幾何圖形(右)

三、調製實驗用泡泡液

(一)、配製重量百分濃度 5%、10%、20%，3 種濃度泡泡液，測試哪一種濃度吹出的泡泡不易破裂。再以濃度 50%糖水配製 5%、10%、20%，3 種濃度泡泡液，測試哪一種濃度吹出的泡泡不易破裂。(圖肆-3)

(二)、使用口徑 3.8cm、5cm、7cm 長度 10cm 水管，沾取泡泡水使管口出現泡泡膜，測試能否出現如彩虹般顏色在膜上，並以 Online Tone Generator 正弦波配合重低音振動喇叭，振動肥皂薄膜記錄其外觀與顏色變化。(圖 肆-3)



圖 肆-3 配置不同濃度肥皂液與音頻軟體操作

四、聲音對泡泡膜外觀與顏色變化之應用

伍、研究結果

一、直立肥皂膜用於聲音可視化的可行性特徵探究

因為想知道肥皂膜為什麼會有顏色變化，以下透過比較肥皂膜外型與顏色變化、色彩條紋出現到消失時間、彩色條紋顏色出現順序、紅藍綠光照射薄膜會如何、條紋顏色消失後會出現什麼現象，五項初步探究瞭解後續如何應用於音樂可視化。

實驗(一)：以塑膠水管製作肥皂薄膜，塑膠水管上沾附的肥皂液重量如何？

實驗方法：

- 1.電子秤秤重口徑 3cm、5.2cm、7cm 長度 10cm 的 PVC 水管重量。
- 2.三種管口一端接觸濃度 20% 肥皂水 5 秒鐘後，輕輕拉起使三種管口沾附一層肥皂膜。
- 3.放上電子秤秤重得出總重量，每次秤重後以面紙完全擦乾肥皂液後再測，測試 5 次，把沾附肥皂液塑膠管總重量減去塑膠管空重，即可知每次沾附的肥皂液量，測試 5 次如下：(單位：g)

操縱變因：3 種不同口徑塑膠管。

控制變因：肥皂液濃度 20%、管口碰觸肥皂液 5 秒鐘、管口保持乾燥。

應變變因：管口肥皂液重量。

實驗結果：表伍-1 與圖伍-1-1 為三種口徑塑膠管沾肥皂液重量紀錄表與統計圖。

表伍-1 秤重三種口徑塑膠管沾取肥皂液重量表

口徑	3.8 cm	5cm	7cm
空重(g)	20.81	48.08	59.82
膜重 1	0.08	0.12	0.13
膜重 2	0.09	0.11	0.14
膜重 3	0.10	0.09	0.13
膜重 4	0.09	0.10	0.15
膜重 5	0.11	0.12	0.13
薄膜平均重	0.094	0.108	0.136

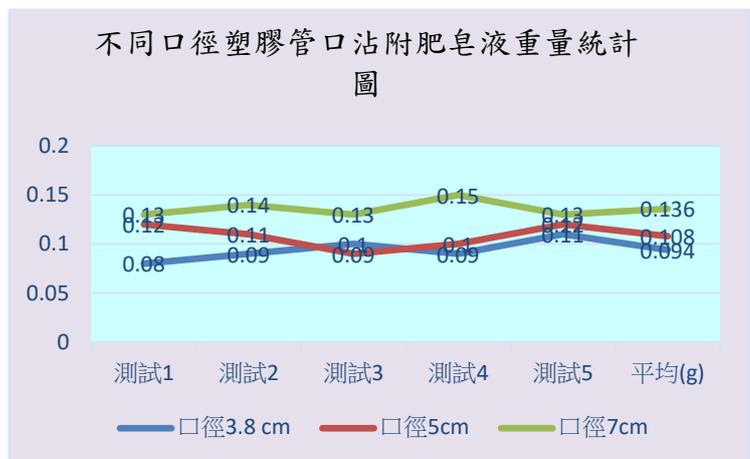


圖 伍-1-1 秤重三種口徑塑膠管沾取肥皂液重量表

結果說明：使用可測小數點二位數電子秤秤重肥皂液量，口徑 3.8 cm 塑膠管口平均

5 次沾附的肥皂液重量 0.094 克；口徑 5cm 平均 5 次沾附的肥皂液重量 0.108 克；口徑 7 cm 平均沾附肥皂液重量 0.136 克，因為管口沾附肥皂液輕輕提起管口，有黏性的肥皂液會被拉到最薄狀態而被提起，因此管口沾附的肥皂液重量差異不大，重量均勻。

實驗(二)：圓形泡泡膜與塑膠管製造的直立泡泡薄膜保存時間如何？

實驗方法：

- 1.以滴管剪去吸頭圓球部分，沾取濃度 20% 泡泡水吹出泡泡。
- 2.使用直徑 5cm 長度 10cm 水管，沾一層肥皂膜在管口直立放著，繼續以剪開吸頭的滴管對著管口膜吹出泡泡，泡泡吸附在膜上就會形成半球狀。
- 3.再繼續以口徑 5cm 塑膠管沾濃度 20%肥皂液，以直立管口與平放管口方式製造肥皂薄膜，觀察顏色變化紀錄保存時間(吹好或安置好到破裂時間)。

操縱變因：肥皂圓形薄膜、半圓形薄膜、直立膜薄膜

控制變因：肥皂液濃度、肥皂膜直徑 5cm、無風環境

應變變因：破裂時間與顏色穩定

實驗結果：圖伍-1-2、表五-2 與圖伍-1-3 為測試 4 種類別泡泡實驗圖與實踐紀錄表與統計圖。單位(秒)



圖 伍-1-2 四種泡泡膜破裂時間與色彩變化實驗圖

表伍-2 四種肥皂膜可保存時間

薄膜類別	圓形	半圓	直立	平放
測試 1	156	176	205	206
測試 2	157	169	198	197
測試 3	154	172	194	203
測試 4	149	179	213	204
測試 5	141	181	216	205
平均	151.4	175.4	205.2	203

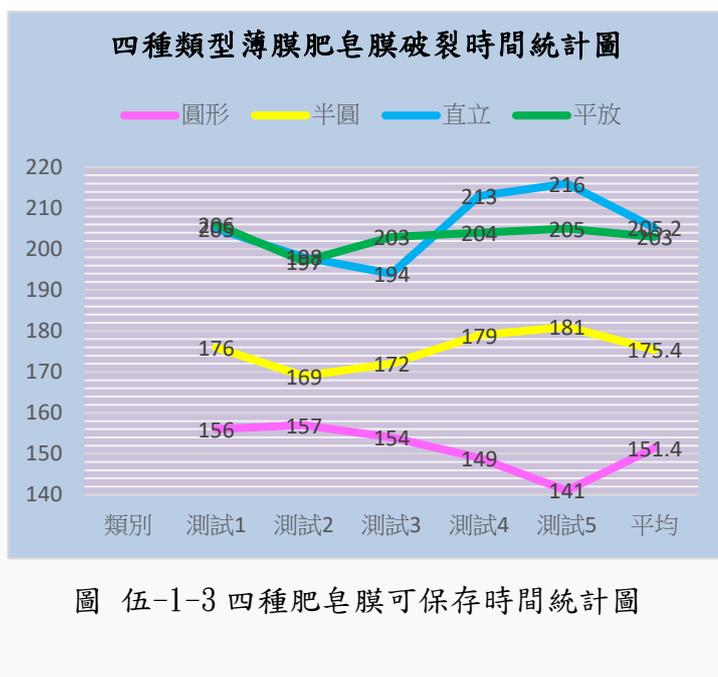


圖 伍-1-3 四種肥皂膜可保存時間統計圖

結果說明：

- 1.圓球形泡泡球體滿佈各種色彩，而後逐漸顏色變淡，破裂前完全變透明，測試 5 次破裂時間平均 151 秒破裂。
- 2.剛吹成型半球膜顏色七彩，靜置約 5 秒後在圓周上會出現彩色圈環紋，測試 5 次破裂時間平均 175.4 秒破裂。
- 3.塑膠管沾肥皂液製造的直立的膜，肥皂膜立起彩色條紋就自頂端緩慢出現，膜破裂平均時間 205.2 秒。
- 4.平放膜顏色雜亂且偏向在一角落，膜破裂平均時間 203 秒
- 5.由以上實驗可知，直立膜顏色依序穩定以條紋出現，且維持不破裂時間長。

實驗(三)：不同口徑管子直立後形成的泡泡膜平行線，從出現到消失時間上有差異嗎？

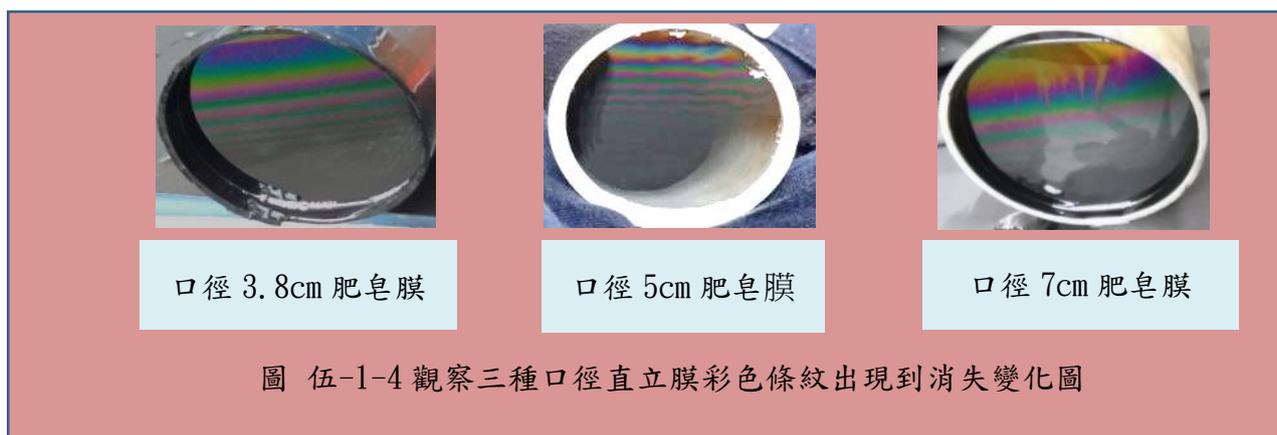
實驗方法：使用口徑 3.8cm、5cm、7.0cm 塑膠管沾濃度 20% 泡泡水，將塑膠管口直立，紀錄平行彩色條紋從出現到沉降底部時間是否一樣。

操縱變因：塑膠管口徑

控制變因：肥皂液濃度 20%、塑膠管長度 10cm、無風環境

應變變因：彩色條紋降至底部時間

實驗結果：圖伍-1-4、表伍-3 與圖伍-1-5 為測試 3 種口徑彩色條紋降至薄膜底部實驗圖，與薄膜上顏色完全消失時間記錄表及統計圖。單位(秒)



表伍-3 三種口徑肥皂膜彩色條紋出現到消失時間記錄表

口徑	3.8cm	5cm	7cm
測試 1	53	55	54
測試 2	54	54	54
測試 3	56	56	55
測試 4	55	55	55
測試 5	53	54	54
平均	54.2	54.8	54.4

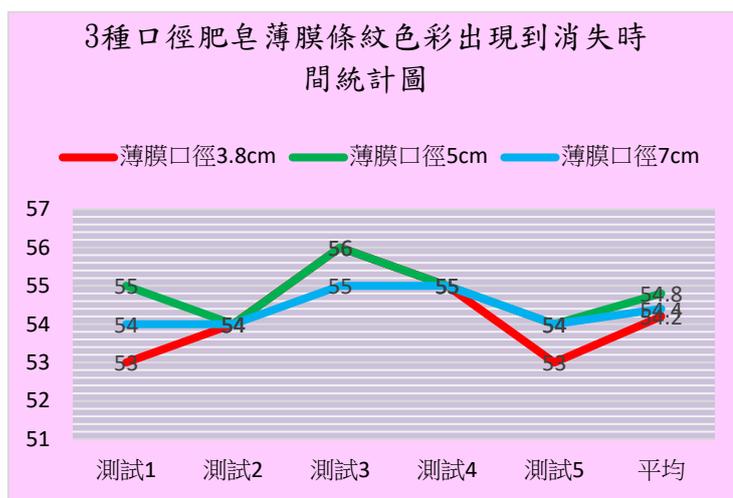


圖 伍-1-5 三種肥皂膜彩色條紋出現到消失時間統計圖

結果說明：

- 1.口徑 3.8cm 泡泡膜平行彩色條紋，出現到消失時間平均 54.2 秒；因為管口小光線接受面積小，整體膜呈現較暗顏色。
- 2.口徑 5cm 泡泡膜，平行彩色條紋出現到消失時間平均 54.8 秒，色彩條紋明顯且條紋高度比較小，條紋數量明顯較多。
- 3.口徑 7.0cm 泡泡膜，出現到消失時間平均 54.33 秒，條紋高度比較高，條紋數量比較少。因為與空氣接觸面積大，所以比較容易破裂。

實驗(四)：泡泡膜上出現的平行線彩色條紋，色彩排列順序變化一致性如何？

實驗方法：觀察 3 種口徑製造的薄膜形成的平行彩色條紋出現順序是否一樣。

操縱變因：塑膠管口徑

控制變因：肥皂液濃度 20%、塑膠管口直立、無風環境

應變變因：彩色條紋降至底部時間

實驗結果：測試3種口徑彩色條紋降至薄膜底部，如圖伍-1-6所示，薄膜上顏色完全消失時間。

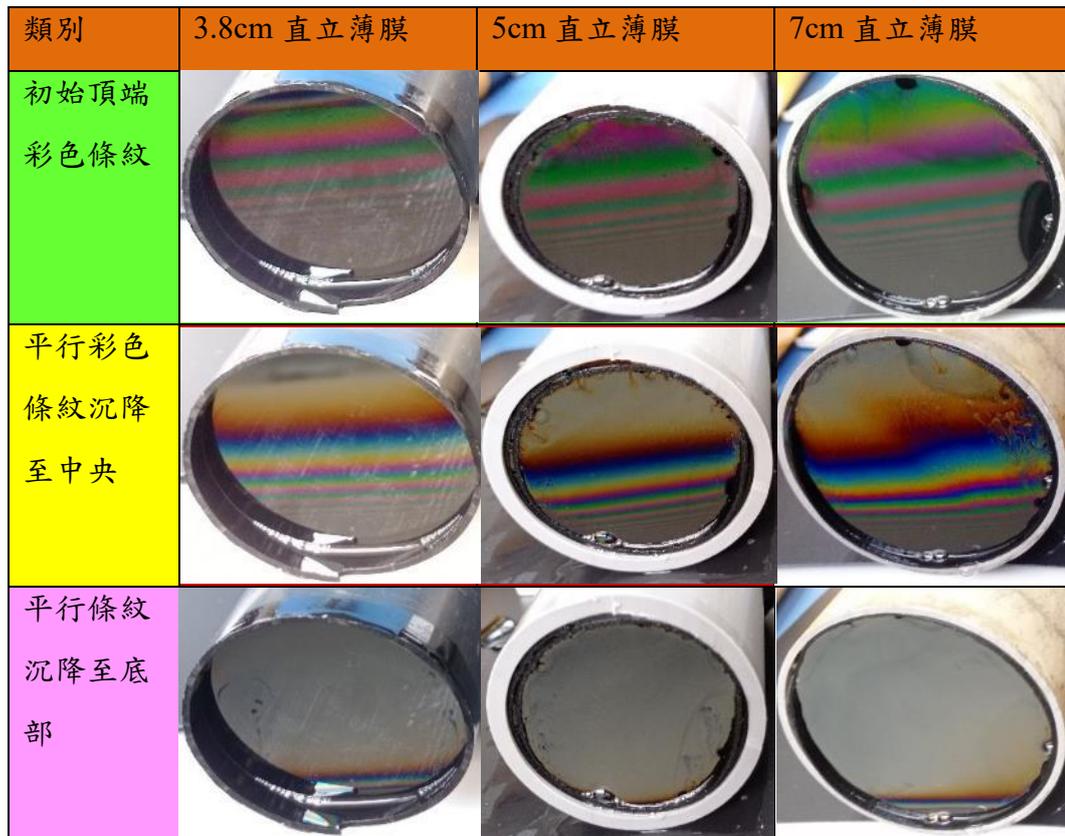


圖 伍-1-6 三種口徑肥皂薄膜三階段顏色改變圖

結果說明：

- 1.初始頂端條紋：因為肥皂膜頂端受重力拉扯厚度最薄，較短波長的綠光會因為相長干涉而反射，綠色條紋下方薄膜厚度比上方厚，而反射波長在長一些的黃光，黃光下方薄膜厚度又更厚一些，而反射波長更長的洋紅色光。
- 2.最後一條彩色條紋降至薄膜中央，三種口徑膜上半部薄膜由上而下呈現白、黃、棕色，繼續往下往下是藍色與青色。
- 3.平行條紋顏色完全降至底部，膜呈現白色製透明顏色。

實驗(五)：單色光與組合光照射直立泡泡膜，肥皂膜會如何變化？

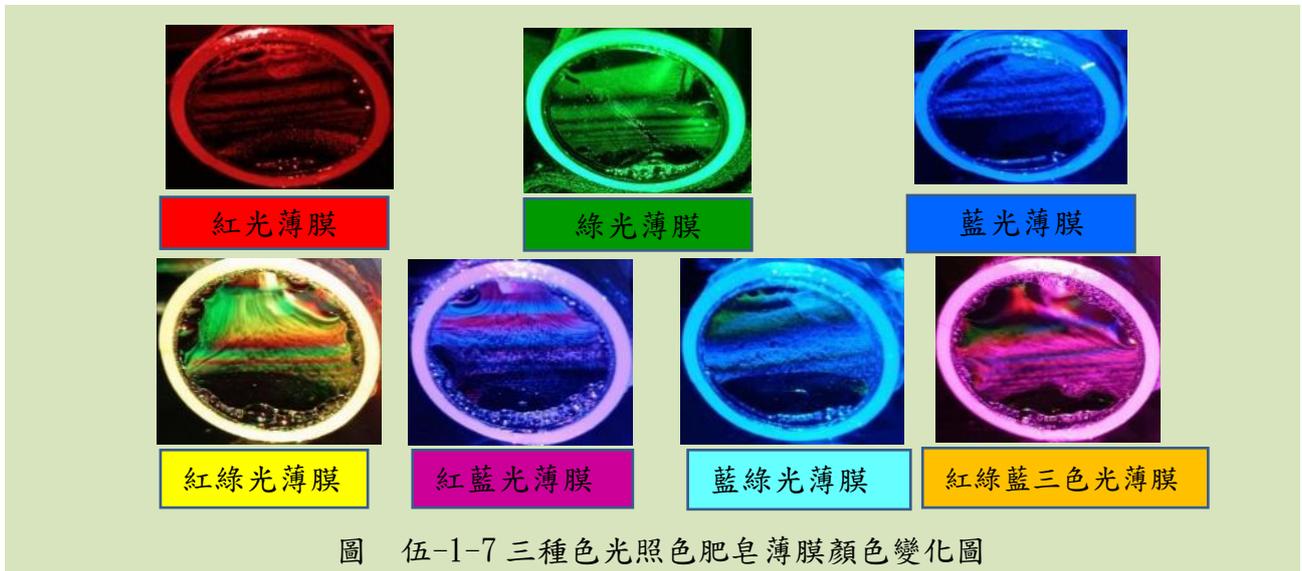
實驗方法：使用口徑 5cm 長度 10cm 塑膠管，沾取濃度 20% 肥皂泡液，在黑暗處分別以紅、綠、藍三色光照射，紀錄泡泡膜是否也會出現平行彩色條紋並觀察是否有色彩變化，並驗證色彩變化與鮮豔度是否適合作為可視化薄膜。

操縱變因：不同色光(紅、綠、藍)

控制變因：肥皂液濃度 20%、塑膠管口直立、無風環境

應變變因：薄膜顏色變化

實驗結果：圖伍-1-7 為測試 3 種色光照射薄膜實驗圖。



結果說明：

- 1.單色光紅色、綠色、藍色，三種光個別照在薄膜上會出現紅黑、綠黑、藍黑色彩條紋依序下降，薄膜顏色黯淡，當作聲音可視化薄膜似乎單調不夠明亮。
- 2.紅綠光照射薄膜會出現綠色、紅色條紋與兩者混合色黃色三種條紋色光，薄膜顏色偏黃；紅綠光照射薄膜，薄膜整體偏藍色，直立薄膜上會看到紅色、藍色條紋與兩者混和色紫色條紋；藍綠色光混合，薄膜上出現藍色、綠色、青色三種色彩條紋，整體薄膜呈現青色(淺藍色)。
- 3.紅藍綠三色光照射薄膜，薄膜會出現紅、橙、黃、綠、藍五色條紋，整體膜偏洋紅色(粉紅)。
- 4.以三色光照色的薄膜整體偏暗，要做成可視化薄膜，單色光過於單調；2 種混合色光又偏向黃、紫紅、與青色；三色光混合後看不出七彩顏色，因為需在黑暗環境操作，做成可視化薄膜，顏色會太暗不夠鮮豔，因此三色光照射出的彩色薄膜不適合用做音樂可視化用的薄膜。

二、音樂振動使肥皂薄膜顏色、外觀變化的探討

音流學認為，每種振動波都有其唯一相對應的波形圖案，本小節將以人聲發音、正弦波音階、鋼琴單音聲音、完整的一首鋼琴樂曲使肥皂薄膜產生振動顏色變化、與可能產生的外觀改變作相關實驗研究，以便對聲音可視化做初步探索。

實驗(一)：對著吹出的圓形泡泡發出聲響泡泡顏色會有變化嗎？

實驗方法：以塑膠滴管吹出一個約 5cm 大小的泡泡，請另一位同學對著圓形泡泡距離 10cm 發出「啊」聲，約 75 分貝；第二種方式使用長度 10cm 塑膠管集中音量發出約 75 分貝「啊」聲；第三種方式以口徑 5cm 長度 10 塑膠管一端沾有肥皂薄膜，另一端一樣請同學發出約 75 分貝音量「啊」聲，紀錄三種肥皂膜顏色有無變化。

操縱變因：發出「啊」聲

控制變因：音量 75 分貝、肥皂液濃度 20%、無風環境

應變變因：薄膜振動彩色變化

實驗結果：圖伍-2-1 為請一起實驗的同學，大聲對著薄膜發出「啊」聲實驗過程肥皂薄膜顏色變化圖。

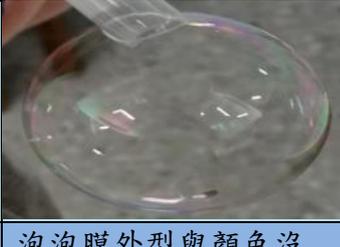
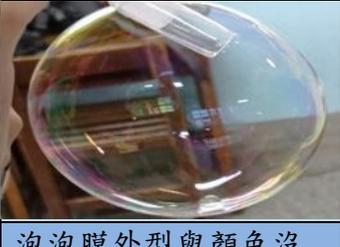
實驗照片			
說明	嘴對著泡泡發啊聲	塑膠管集中音量對著泡泡發啊聲	嘴對著直立膜發啊聲
實驗後照片			
說明	泡泡膜外型與顏色沒有變化	泡泡膜外型與顏色沒有變化	膜中央振動使膜反光白色

圖 伍-2-1 對著肥皂泡與直立薄膜發啊聲實驗結果圖

結果說明：直接對著泡泡發「啊」聲與透過塑膠管發「啊」聲，球形泡泡顏色都沒有發生任何變化。但是，對著管子製造的直立泡泡膜發出「啊」聲，泡泡膜平行條紋會晃動，仔細看還有從中央往四周發出一圈圈透明漣漪，由實驗可知聲音振動會使肥皂薄膜產生外觀變化，也就是聲音振動會產生圖像。以下繼續使用正弦波發出的固定振動頻率測試肥皂薄膜會發生何種變化。

實驗(二)：正弦波電子單音音階產生的音波，會使薄膜色彩或外觀發生變化嗎？

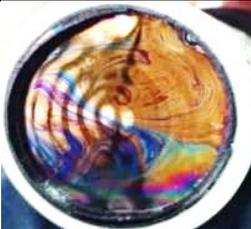
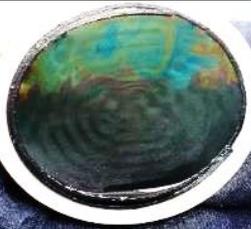
實驗方法：利用 OnLine Tone Generator 軟體輸出正弦波 C5~C6 共 8 種音階，音量調節 30%，電腦輸出音量 60%，重低音喇叭輸出音量 75 分貝。使用口徑 5cm 長度 10cm 的塑膠管，沾取濃度 20% 泡泡水形成彩色膜後，使管口直立，等待最後一條藍色彩色條紋降至膜中央，呈現膜下半部是一條條彩色條紋，膜上半部棕金色，開始播放正弦波 5 秒，紀錄肥皂膜聽音樂色彩外觀會有什麼變化。

操縱變因：正弦波 C5~C6 音階

控制變因：音量 75 分貝、肥皂液濃度 20%、膜直立每個音階聲音振動 10 秒、膜直徑 5cm

應變變因：薄膜振動外觀與彩色變化

實驗結果：圖伍-2-2 為使用 OnLine Tone Generator 輸出正弦波 C5~C6 音階，振動肥皂薄膜圖片、音階頻率，與八個音階振動後使用 2018 photoshop 分析每個薄膜的畫質像素、色光三原色圖。

音階	Do(C5)	Re(D5)	Mi(E5)	Fa(F5)
頻率	523	587	659	698
照片				
像素	223533	188940	256272	114540
R	182.43	150.45	172.6	198.24

G	173.24	132.10	182.85	201.67
B	169.04	141.42	187.19	199.88
音階	So(G5)	La(A5)	Si(B5)	高音 Do(C6)
頻率	783	880	987	1046
照片				
像素	207584	238097	213486	176231
R	132.06	156.34	161.96	182.54
G	153.78	163.08	184.05	170.59
B	134.02	160.69	189.41	169.48

圖 伍-2-2 以正弦波 c5~c6 音階振動肥皂薄膜結果圖

結果說明：正弦波 Do (C5)~ Do(C6)振動泡泡膜如下。

- 1.Do (C5)音：三原色數值紅光 182，綠光 173，藍光 169，因紅光數值最大，膜偏棕紅色，有 5 圈毛細波，出現 3 個渦流。1 個大渦流在膜上半部呈現棕色，2 個較小渦流出現在膜下方與左下方。
- 2.Re(D5)音：三原色數值紅光 150，綠光 132，藍光 141，紅光數值最大因此薄膜上半部呈現橘紅色。平行條紋色彩完全被打亂，膜出現毛細波紋 6 圈，出現 4 個渦流，4 個渦流顏色各不相同；右上金色，右下藍紫色，左上紅紫，左下淺藍黃色。
- 3.Mi(E5)音：聲音振動使肥皂膜偏藍色，三原色數值紅光 172，綠光 182，藍光 187 藍光數值最大。毛細波紋 7 圈，出現 4 個渦流；右上、右下渦流較小；左上與左下渦流較大，左上渦流紅色條紋，左下黃色條紋。
- 4.Fa(F5)音：三原色光數值紅光 132，綠光 153，藍光 134，綠光數值最大。因此音樂把薄膜振得變成藍綠色，顏色集中在膜上半部，下半部薄膜偏透明，出現 6 條毛細波紋，3 個渦流，渦流都在膜上半部。
- 5.So(G5)音：整片肥皂膜被音樂振出亮綠色，三原色光數值紅光 198 綠光 201 藍光 199，綠光數值最大出現 8 條毛細波紋，4 個渦流。右上渦流色彩由外而內藍、紫、

紅、黃、綠色，右下洋紅(粉紅)、黃色，左上由外而內黃、綠、藍、紅、橘色，左下渦流最小是綠靛色。

6.La(A5)音：三原色光數值紅光 156，綠光 163，藍光 160，綠光數值最大音樂振出薄膜呈現整體綠色系帶些微洋紅色，9 條圈狀毛細波紋，渦流 5 個，在右上角的渦流呈現洋紅。

7.Si(B5)音：音樂使薄膜變成藍色間雜透明色，三原色光數值紅光 161，綠光 184，藍光 189，因此藍光數值最大，薄膜上出現 8 條毛細波紋，6 個渦流，渦流都是藍色。

8.高音 Do(C6)：三原色光數值紅光 182，綠光 170，藍光 169，紅光數值最大。因此膜呈現上部棕金紫色，下半部金、紫、藍色。毛細波紋 9 條，10 個渦流，6 個呈棕色在上半部膜，外觀 5 大 1 小；4 個小渦流在下半部膜呈現七彩。

由以上分析可知正弦波製造的各個音階，會使薄膜呈現美麗多變顏色，而各音階膜上還會出現非常明顯毛細波紋。使用正弦波音階振動的肥皂薄膜，顏色多變外型變化也不一樣，可以應用在聲音可視化。

實驗(三)：直立的塑膠管上的泡泡膜利用鋼琴單音聲波振動，薄膜會有什麼變化？

實驗方法：以口徑 5cm 長度 10cm 的塑膠管，沾取濃度 20% 泡泡水使薄膜成直立

狀，再使用重低音喇叭撥放鋼琴 Do、Re、Mi~高音 Do 共 8 個音階，記錄泡泡膜顏色變化。電腦音量輸出 60%，重低音喇叭輸出音量 75 分貝。

操縱變因：鋼琴中音 Do~高音 Do

控制變因：音量 75 分貝、肥皂液濃度 20%、膜直立、膜直徑 5cm、 $f=12$ (1 分鐘 12 個音)

應變變因：薄膜振動外觀與彩色變化

實驗結果：圖伍-2-3 為使用鋼琴中音 Do~高音 Do，8 個音階振動肥皂直立薄膜實驗圖、音階頻率、使用 2018 photoshop 分析每個薄膜的像素與色光三原色圖。

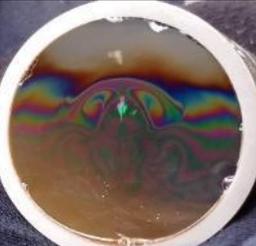
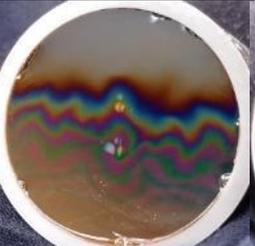
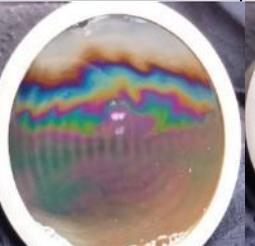
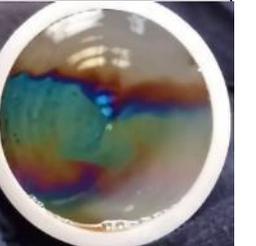
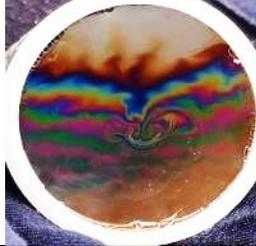
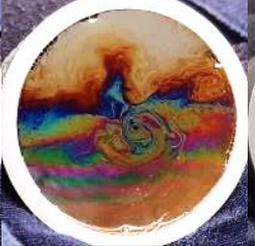
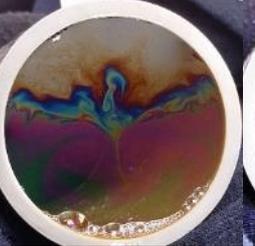
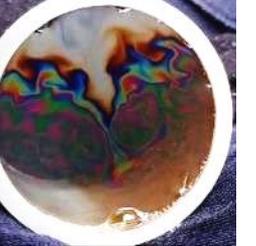
音階	Do	Re	Mi	Fa
頻率	523	587	659	698
照片				
像素	14514	15621	15750	16000
R	152.88	146.38	154.45	141.14
G	138.61	133.64	138.75	126.70
B	131.94	128.41	131.03	153.34
音階	So	La	Si	高音 Do
頻率	784	880	988	1046
照片				
像素	14756	15748	15875	15996
R	161.92	177.27	175.03	149.57
G	132.75	152.64	149.54	146.76
B	139.83	139.58	135.27	144.27

圖 伍-2-3 以鋼琴中音 Do~高音 Do，8 個音階振動肥皂薄膜結果圖

結果說明：直立膜以中音 Do 至高音 Do 鋼琴聲振動變化如下。

- 1.Do 音：三原色光數值紅光 152，綠光 138，藍光 131，紅光數值最大。水平條紋自中央振起圓凸狀，圓凸內有兩個對稱渦流，圓凸兩側各有 1 個不對稱波峰。
- 2.Re 音：三原色光數值紅光 146，綠光 133，藍光 128，紅光數值最大。中央振起尖凸，膜中央尖凸下方有一個渦流，兩側各有 2 個波峰。
- 3.Mi 音：圓心振出一個凹陷渦流，一圈圈毛細波紋往圓周圍放射非常明顯。分析三原色光數值紅光 154，綠光 133，藍光 131，紅光數值仍然最大。
- 4.Fa 音：三原色光數值紅光 141，綠光 126，藍光 153，藍光數值最大。薄膜呈現藍

色，膜上半部毛細波紋明顯。

5. So 音：中央振出凹陷渦流，渦流使水平彩色條紋變形，條紋界線尚可區別，三原色光數值紅光 161，綠光 132，藍光 139，紅光數值最大。

6. La 音：薄膜中央振出一個大渦流，以反時針旋轉，渦流下方有明顯放射狀毛細波紋。三原色光數值紅光 161，綠光 132，藍光 139，紅光數值最大。

7. Si 音：把最上方藍色條紋振起一個高凸，下方膜洋紅色，三原色光數值紅光 175 綠光 149，藍光 135，紅光數值最大。

8. 高音 Do：中央振出 V 字形凹陷，V 字底端左右各出現 1 個彩色渦流，有毛細波紋但不明顯。三原色光數值紅光 149，綠光 146，藍光 144，三色光數值差異不大。

由以上鋼琴音振動的薄膜出現的變化可知，8 個音階振動使薄膜顏色偏棕色，薄膜條紋變形但會恢復條紋色彩，同樣會出現毛細波紋，但是不如正弦波清楚明顯，八個薄膜仍有各自表現的顏色與外觀，可以做為聲音可視化圖形。

實驗(四)：同樣使用鋼琴單音振動水平薄膜，顏色、外觀會有怎樣的變化？

實驗方法：方法同上實驗(三)，把平放的塑膠管改成直立，泡泡膜與地面或桌面平行，膜上沒有直線平行彩色條紋出現，紀錄管口底部與低音振動喇叭接觸放音樂後薄膜顏色與外觀的變化。

操縱變因：鋼琴中音 Do~高音 Do

控制變因：音量 75 分貝、肥皂液濃度 20%、膜平放、直徑 5cm、 $\downarrow=12$ (1 分鐘 12 個音)

應變變因：薄膜振動外觀與彩色變化

實驗結果：圖伍-2-4 實驗結果：圖伍-2-3 為使用鋼琴中音 Do~高音 Do，8 個音階振動肥皂平放薄膜實驗圖片、音階頻率、使用 2018 photoshop 分析每個薄膜的像素與色階三原色圖。

音階	Do	Re	Mi	Fa
頻率	523	587	659	698

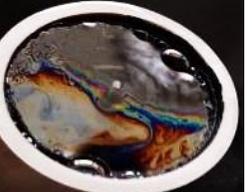
照片				
像素	129600	129600	128642	124626
R	223.77	222.10	218	229.25
G	221.19	218.62	215.56	228.57
B	223.77	217.31	215.43	229.71
音階	So	La	Si	高音 Do
頻率	784	880	988	1046
照片				
像素	129600	129600	129600	129600
R	213.71	204.26	213.03	213.82
G	211.55	201.09	210.21	210.57
B	211.64	200.71	210.15	209.21

圖 伍-2-4 以鋼琴中音 Do~高音 Do8 個音階振動平放肥皂薄膜圖

結果說明：平放膜聽中音 Do 至高音 Do 鋼琴聲變化如下。

- 1.Do 音：三原色光數值紅光 213，綠光 211，藍光 217，三色光數值幾乎無差異，薄膜亮度很高，膜的斑斕色彩偏左側出現，毛細波紋波峰、波谷很明顯。
- 2.Re 音：三原色光數值紅光 222，綠光 218，藍光 211，三色光數值幾乎無差異，中亮度高，因此膜接近透明，有 2 圈毛細波紋。
- 3.Mi 音：三原色光數值紅光 218，綠光 215，藍光 215，三色光數值也幾乎無差異，薄膜呈現透明白色圓心振出 6 圈毛細波紋。
- 4.Fa 音：三原色光數值紅光 229，綠光 228，藍光 229，三色光數值幾近相同，因此膜呈現透明色。
- 5.So 音：三原色光數值紅光 213，綠光 211，藍光 211，三色光數值也接近相同，薄膜接近透明，毛細波紋線條較小。
- 6.La 音：三原色光數值紅光 204，綠光 201，藍光 200，紅光數值比率藍光值略大，

薄膜接近透明，斑斕色彩因振動集中左下方。

7.Si 音：三原色光數值紅光 213，綠光 210，藍光 210，三項數值幾乎一樣，斑斕面積大約正個薄膜一半面積，集中膜下半部。

8.高音 Do：三原色光數值紅光 213，綠光 210，藍光 209，三項數值也幾乎一樣，膜上半透明，下半部斑斕色彩與白色膜各佔一半。

由以上實驗可知平放膜，顏色接近白與透明，毛細波紋線條大小差異大，顏色斑斕雜亂看不出有幾何形狀或可循規律性，較不適合做為聲音可視化薄膜。

實驗(五)：一首完整鋼琴音樂聲波會使肥皂泡薄膜如何變化？

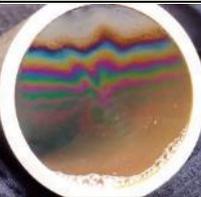
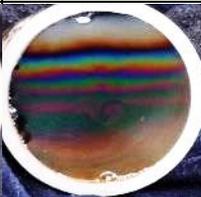
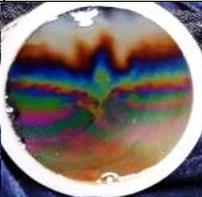
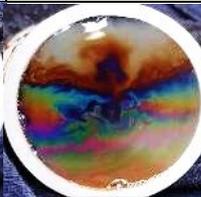
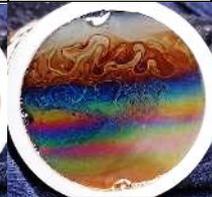
實驗方法：同樣以口徑 5cm 長度 10cm 的塑膠管，沾取濃度 20% 泡泡水形成彩色膜後，橫放水管使管口直立，再使用重低音喇叭播放鋼琴卡農樂曲，記錄泡泡膜顏色變化。電腦音量輸出 60%，重低音喇叭輸出音量 75 分貝。

操縱變因：鋼琴中音 Re~高音 Do

控制變因：音量 75 分貝、肥皂液濃度 20%、膜平放、直徑 5cm、 $\lambda=12$ (1 分鐘 12 個音)

應變變因：薄膜振動外觀與彩色變化

實驗結果：圖伍-2-5 為利用整首鋼琴卡農音樂長度共長 159 秒，自起始第一個音到結尾 154 秒共摘錄 20 個影像，利用 VLC 軟體播放並擷取畫面，再使用 2018 photoshop 分析圖片像素、色階三原色數值圖。

播放後第幾秒	起始 0	9	24	37	40
音階	高 Mi	中 La	高 Mi	高 Do	中 La
照片					
像素	23542	23840	23700	23224	23700
R	148.42	121.60	128.46	134.24	136.49
G	124.10	109.31	114.56	113.46	114.92
B	114.05	107.05	108.98	106.12	107.76

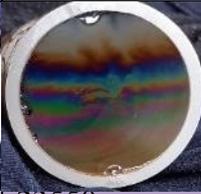
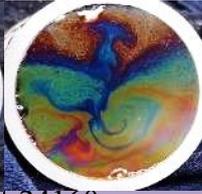
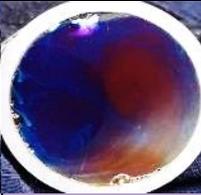
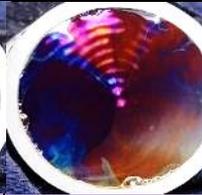
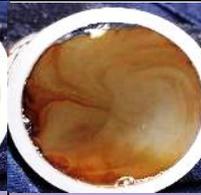
播放後第幾秒	41	46	51	52	57
音階	中 Do	中 La	高 Do	高 Do	中 Do
照片					
像素	23400	23550	24160	23850	23700
R	130.54	125.94	124.30	120.20	100.13
G	111.73	120.68	122.08	119.76	132.74
B	107.49	114.55	113.20	118.28	140.01
播放後第幾秒	65	72	80	90	95
音階	高 So	中 si	高 So	中 La	高 Fa
照片					
像素	23700	24300	25350	23550	23393
R	89.59	103.13	114.00	128.41	172.48
G	133	76.33	72.27	74.64	145.29
B	176.45	111.18	93.31	63.90	121.04
播放後第幾秒	110	115	121	147	154
音階	高 Mi	高 Do	高 Re	中 Fa	中 Do
照片					
像素	24174	24174	24806	24624	23858
R	153.09	148.52	159.52	158.98	170.54
G	117.58	127.63	104.80	120.65	129.42
B	85.51	102.04	72.32	88.18	88.02

圖 伍-2-5 以鋼琴中音 Do~高音 Do8 個音階振動肥皂薄膜結果圖

結果說明：

1. 起始音到第 41 秒共摘錄 6 個圖像，三原色光數值，紅光值 121~148、綠光數值 111~133、藍光數值 106~114；平行條紋在音樂振動當下形成凹陷或凸起，但是立即又恢復成不同彩色條紋，與鋼琴單音鋼琴彈奏具有一致性與規律變化。

2.46 秒與 51 秒兩個圖像三原色光數值，紅光值 124~125、綠光數值 120~122、藍光數值 113~124，色彩條紋被打亂散佈整片薄膜，色彩沒有規律性也看不到因為音樂振動形成的幾何圖形。

3.音樂第 52 秒~95 秒共擷取 7 個變化大的薄膜，分析三原色光數值，紅光值 100~172、綠光數值 74~145、藍光數值 63~176；薄膜外觀、顏色與正弦波音階振動形成的薄膜，相似度非常高，出現毛細波紋與渦流。

4.音樂 110~154 秒共摘取 5 個薄膜，三原色光數值，紅光值 148~170、綠光數值 104~129、藍光數值 72~102；5 片膜呈現棕金色，其中高音 Mi、高音 Do、中音 Fa 三片薄膜有明顯輻射狀毛細波紋，2 片不明顯。

由以上實驗可知，一首完整鋼琴樂曲振動肥皂膜，摘錄其中 20 個振動薄膜，前 7 個膜隨樂曲彩色條紋產生波動變化；第 8 至第 13 個薄膜因為整體彩色條紋被振亂開始出現明顯毛細波紋，薄膜色彩出現不同音階不同色彩變換；第 14 個膜至 20 個膜呈現棕金色。分析色階 RGB，各個薄膜仍然是紅色數值最大。由此實驗可知完整鋼琴樂曲會使肥皂薄膜出現多變色彩，雖多變但仍可分辨其中差異，我們認為這種變化，可以達成聲音可視化。

三、肥皂薄膜與音樂可視化應用

音流學認為每種振動波都有其唯一相對應的波形圖案，隨著音波的頻率提高，波所展示的物理圖案也越來越複雜而精細，因此聲音是可以形象化或可見化的。基於此我們認為如果薄膜受音樂振動可以重複複製不變、顏色類似但可辨識差異，再加上文獻所提相對應圖形以及越來越複雜或精細、隨頻率高低改變顏色與外觀四項指標，即可讓聲音轉換為視覺化，因此以下針對聲音可視化應用做可行性探討。

(一)正弦波振動薄膜可重複性

實驗方法：口徑 5cm 長度 10cm 塑膠管沾濃度 20%肥皂液，重低音振動喇叭音量 75 分貝，以 OnLine Tone Generator 軟體輸出正弦波 So 音與 Mi 音振動 5 秒停止 5 秒，重複 5 次。

實驗結果：伍-3-1 以 OnLine Tone Generator 軟體輸出正弦波 So 音頻率 783 赫茲與 Mi

音頻率 659 赫茲，振動肥皂薄膜 5 秒，重複振動 5 次結果圖。

正弦波 So 音	振動 1	振動 2	振動 3	振動 4	振動 5
頻率(赫茲)	783	783	783	783	783
照片					
正弦波 Mi 音	振動 1	振動 2	振動 3	振動 4	振動 5
頻率(赫茲)	659	659	659	659	659
照片					

圖 伍-3-1 以正弦波 So 音與 Mi 音振動 5 秒重複振動 5 次肥皂薄膜結果圖

結果說明：So 音 5 個薄膜顏色不同，但毛細波紋與渦流數量相同，渦流位置也未改變。Mi 音 5 個薄膜顏色幾近相同，僅左上橘色渦流大小改變，毛細波紋數量與外觀具有一致性。

(二)鋼琴音的顏色類似但可辨識差異

實驗方法：以口徑 5cm 長度 10cm 塑膠管沾濃度 20%肥皂液，重低音振動喇叭音量 75 分貝，以單音鋼琴每 5 秒重複彈奏一拍 Re 音振動薄膜，同樣方法再測 Mi 音，紀錄兩個音階的變化。

實驗結果：圖伍-3-2 利用鋼琴單音 Re 音頻率 587 赫茲與 Mi 音頻率 659 赫茲，以每分鐘 12 拍速度，振動肥皂膜各 5 次結果圖。

鋼琴 Re 音	振動 1	振動 2	振動 3	振動 4	振動 5
頻率	587	587	587	587	587
照片					
鋼琴 Mi 音	振動 1	振動 2	振動 3	振動 4	振動 5

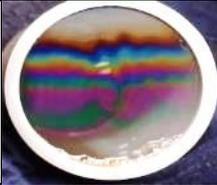
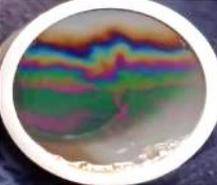
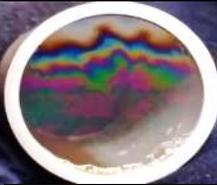
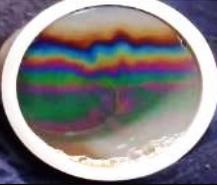
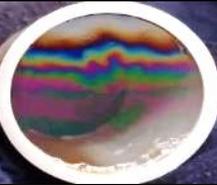
頻率	659	659	659	659	659
照片					

圖 伍-3-2 鋼琴單音 Re 音與 Mi 音以每分鐘 12 拍速度振動肥皂膜各 5 次結果圖

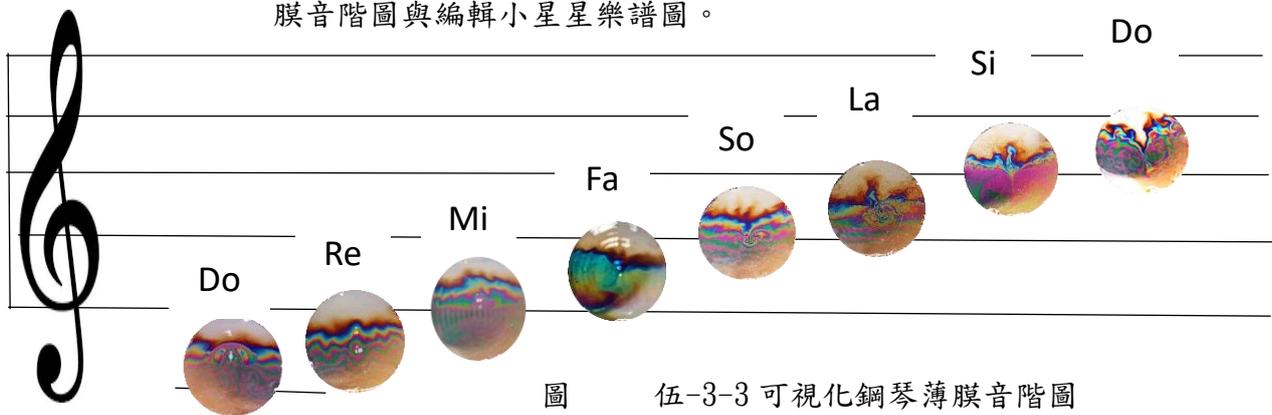
結果說明：鋼琴單音 Re 音與 Mi 音振動薄膜重複 5 次，薄膜偏透明，同音階色彩條紋幾乎無差異，非常相似；但是可以區別兩個音階振動後形成的彩色條紋波形完全不同。因此我們認為鋼琴音振動薄膜可以達成聲音可視化的四個條件：複雜度(音階改變形狀顏色有差異)、精細度(色階 RGB 辨識數值大小)、可重複製作結果一樣、可辨識差異。

(三)、聲音振動肥皂膜顏色變化之應用

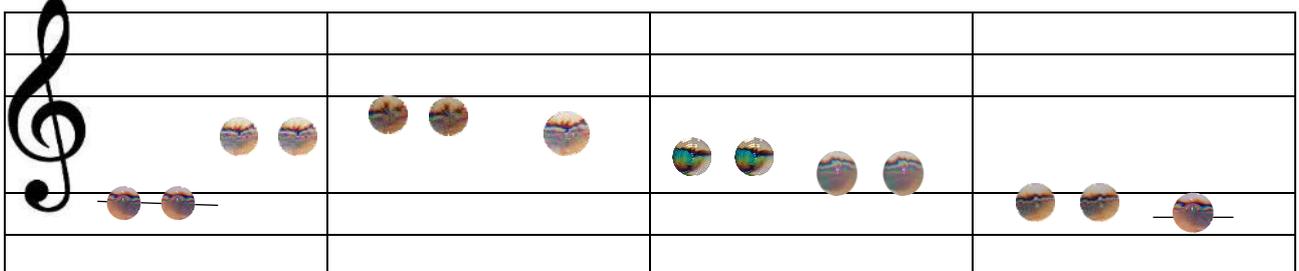
1. 製作鋼琴單音肥皂膜音階對照表

實驗方法：利用 photoshop 軟體編輯鋼琴中音 Do 至高音 Do，共 8 個肥皂薄膜照片並轉成 gif 檔，製作成可視化鋼琴音階圖。

編輯結果：圖伍-3-3 與圖伍-3-4 為利用鋼琴單音振動肥皂薄膜，製作可視化鋼琴薄膜音階圖與編輯小星星樂譜圖。



2. 利用鋼琴薄膜製作小星星樂譜圖



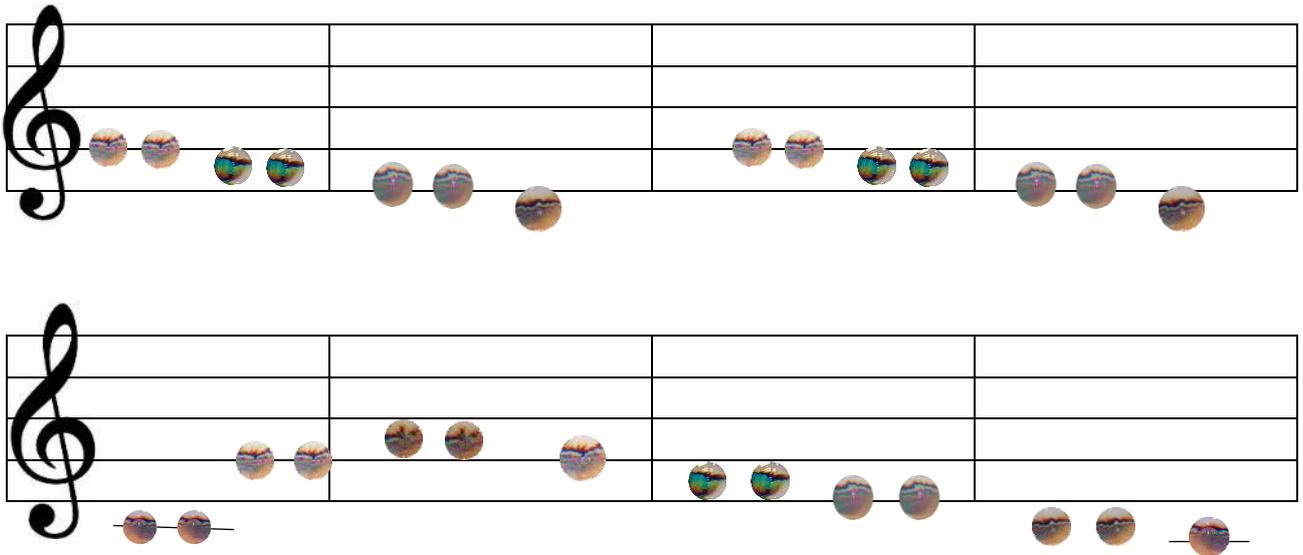


圖 伍-3-4 以鋼琴薄膜編輯小星星樂譜圖

結果說明：聲音長短拍數可以調節圖形長寬尺寸來做識別，例如：1拍圖大小為 $0.5\text{cm} \times 0.5\text{cm}$ ，2拍為 $0.6\text{cm} \times 0.6\text{cm}$ ，或點擊圖示即可知比例方式做區辨節拍。

陸、研究討論

一、直立肥皂膜用於聲音可視化的可行性特徵探究

(一)使用濃度 50% 糖水一樣配製濃度重量 10%、15%、20% 泡泡水，比較沒有加糖水地 泡泡液，糖水配製的泡泡水，確實不容易破裂。因此，加糖的泡泡液黏性大，豎起 膜會產生一條條虹彩緩慢下降。

(二)為了解直立的肥皂薄膜出現的彩色平行條紋下降速度，以 3.8cm、5 cm、7.0cm 三種 口徑 pvc 塑膠管沾取濃度 20% 泡泡水，結果三種口徑彩色條紋從出現到降至管口底 部平均約 54 秒。由實驗秒數可知，不同口徑的直立肥皂薄膜，從出現到沉降速度 非常接近，沒有差異。

(三)肥皂薄膜上條紋色彩出現順序會有一些差異是因為，以塑膠管沾取肥皂水時，肥皂 膜的厚度就會有些許差異，膜厚度也會因地心引力、空氣流動等因素而瞬息萬變。 肥皂泡和觀察者的位置也會瞬間發生變化。結果，肥皂膜的顏色似乎每次觀察每刻 都在變化。

(四)單色光與混合色光薄膜

1.把單色光照在直立肥皂膜上看顏色如何變化：結果紅色光僅出現紅、黑；藍色光僅出現藍、黑(圖陸-1-1、陸-1-2)，綠色光僅出現綠、黑平行條紋(圖 陸-1-3)，經查文獻資料得知出現紅藍綠條紋是因為相長干涉引起，黑色條紋是相消干涉引起。

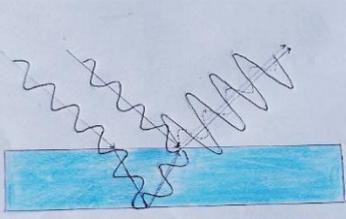
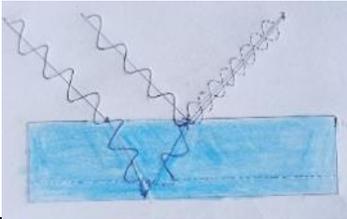
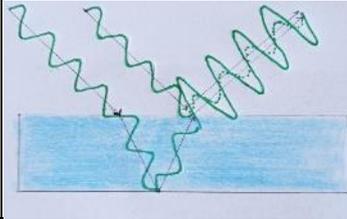
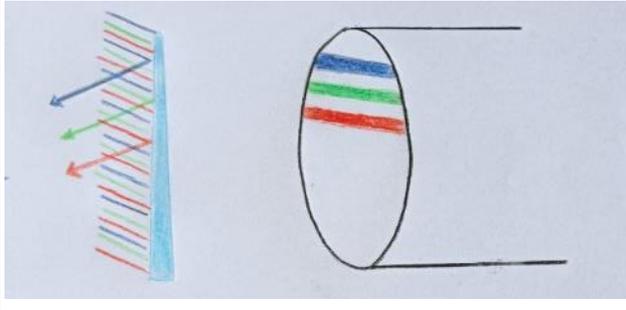
圖號	圖 陸-1-1	圖 陸-1-2	圖 陸-1-3
圖片			
說明	在較薄的水膜，藍光產生相長干涉反射	水膜逐漸增厚以後，使藍光產生相消干涉反射，水膜變黑	增厚的水膜又使綠光產生相長干涉
			說明 水管口上的水膜，因重力會呈楔型(上窄下寬)，水膜由上而下會因相長、相消干涉出現主要色-----藍、綠、紅順序重複出現

圖 陸-1 薄膜發生干涉現象解說示意圖

2.因為單色光與組合光照射薄膜上，需在較暗環境中比較能看清楚，影像解析度較差且不夠明亮，因此不適合作為可視化薄膜。

二、音樂振動使肥皂薄膜顏色、外觀變化的探討

(一)嘗試對著直立塑膠管口上的泡泡膜發「啊」叫聲，可以看到泡泡膜有輕微膨脹，而且膜上的平行條紋會彎曲變形。由此可知聲音集中，音波振動會使直立薄膜發生變化，此實驗可以證實，聲音會形成圖像。

(二)利用聲音軟體輸出正弦波 C5~C6 共 8 個單音音階，使用重低音喇叭播放對著直立的肥皂薄膜振動，8 個音階聲音都把直立膜產生的彩色平行條紋完全振亂，並呈現各種不同色彩。共通點是 8 個膜都出現毛細波紋，且各種音振出可以區別的不同渦流與顏色，由以上實驗可知，正弦波振動產生的薄膜圖案可以使聲音圖像化。

(三)使用鋼琴中音 Do~高音 Do，對著相同口徑上的肥皂薄膜撥放音樂，可以發現薄膜上

的平行彩色條紋仍然可見，但是最後一條彩色降至圓形膜中央，若繼續以鋼琴音振動，無論何種音階，薄膜色彩都會變雜亂，因此想到以色階 RGB 數值大小來區辨，就能分辨出各薄膜上色彩變化差異。因此，鋼琴聲音振動直立薄膜具有：彩色條紋會因不同音階振動產生可以區別的變型條紋、不同音階薄膜上出現不同的毛細波紋與渦流、隨音階變化圖案變複雜。若是配合薄膜振動產生圖形判別色階 RGB 數值大小，更能了解每個音階薄膜細微的差異，由此實驗可以得知，鋼琴音階振動會使薄膜振動而產生固定圖形，很適合把聲音圖像化。

(四)上述均為單音固定振動頻率音量分貝振動薄膜產生的外型變化實驗，為了解完整一首樂曲聲音振動使肥皂薄膜產生哪些變化，實驗以卡農鋼琴曲振動肥皂薄膜，因為樂曲長度 2 分 59 秒，而實驗用薄膜，先前測試過可以維持約 203 秒，因此音樂播放過程中不換薄膜，共擷取振動過程中變化大的 20 個薄膜作觀察比較。發現樂曲前 46 秒的 6 個薄膜振動都是色彩條紋變型，紅色色階 R 值都比較大，因此薄膜偏棕紅色；52 秒~95 秒 7 個薄膜出現明顯毛細波紋，薄膜顏色依序由綠、藍、靛、紫棕、金色依序變化，RGB 每個膜數值變化很大，藍色膜 B 值就大，紫棕膜 R 值就大。薄膜間的差異很明顯；110 秒~結束 154 秒 5 個薄膜完全變棕色，毛細波明顯，可以區別彼此差異。由以上的整首樂曲振動肥皂薄膜實驗可知，肥皂薄膜會隨樂曲播放時間呈現前後色彩變化差異，音樂振動使平行彩色條紋出現波形變化，薄膜上出現音樂振動形成的毛細波，很具體的呈現聲音可視化現象。

三、肥皂薄膜與音樂可視化應用

(一)參考音流學文獻與上述兩大實驗探討，我們歸納出要讓聲音圖像化需有下列特徵：

物理圖案要越來越複雜而精細，圖形與顏色隨頻率不同而有明顯差異，薄膜受音樂振動可以重複複製結果不變、顏色類似但可辨識差異。

(二)依據我們歸納的聲音可視化四項要點，我們再重複以正弦波 So 音與 Mi 音兩個單音階振動肥皂膜重複驗證 5 次 So 音與 Mi，薄膜上僅顏色改變，毛細波數，渦流數都不變，正弦波振動的薄膜具有可重複複製、複雜性而精細、顏色類似但存在外型變化。因此正弦波製造的薄膜具備聲音可視化條件，同樣方法驗證鋼琴音階 Re 與 Mi

重複 5 次實驗，兩個音階振動的薄膜相似點為：整體顏色都呈透明，都有彩色條紋、重複做 5 次圖案顏色幾無差異。不同處：彩色條紋振動變形明顯不同，Re 音毛細波紋反光，Mi 則無反光，Mi 音薄膜顏色帶有洋紅色。由以上二實驗可知，肥皂薄膜振動，可以把聲音可視化。

(三)使用鋼琴單音音階振動薄膜圖案，我們作成音階圖與編輯一首小星星音階圖譜，效果非常好，可以使肥皂膜轉化聲音變可視化。

柒、研究結論

- 一、直立狀的肥皂膜，會形成水平橫向彩色條紋，重複出現的條紋經過聲音振動會產生顏色變化與外型變動，可以使聲音影像化可視化。
- 二、因為直立肥皂薄膜受重力影響，彩色條紋會逐漸往下降，研究發現各別鋼琴音階振動薄膜，薄膜上的最後一道彩色條紋降至薄膜中央位置以前，彩色條紋變形都可快速恢復條紋形狀，條紋到達中央或中央以下，聲音振動會使薄膜顏色變棕色或單一種顏色，如藍色綠色或紅紫色。
- 三、一首完整樂曲相同音階振動薄膜，會出現不同顏色與外觀，原因是彈奏樂曲的速度、重音或輕聲、音階長短、薄膜厚度、彩色條紋在薄膜位置，都會造成同音而出現不同圖像出現。
- 四、本研究認為肥皂薄膜可以使聲音可視化，因為符合下列條件：聲音振動使薄膜外觀顏色出現複雜變化、精細化但可區透過色階 RGB 分別差異，可重複驗證結果且幾乎無差異，隨頻率改變外觀顏色一起改變。

捌、參考文獻

中文部分

- 一、中科院長春光學精密機械與物理研究所 (2021)。小小的肥皂泡，藏着大大的秘密。科普中國。取自：<https://www.163.com/dy/article/GSFIVT9H0511A809.html>
- 二、肥皂泡 (無日期)。維基百科。取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/肥皂泡>

- 三、張怡立 (2018)。看見聲音-聲音對皂膜影響之探討。高級中等學校組 物理與天文學科。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四、劉芷廷、劉忻莓 (無日期)。「干」我什「膜」事!—由泡泡探討薄膜干涉。國立彰化女子高級中學。取自：<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2012/11/2012111306395873.pdf>
- 五、獨家觀點 (2017)。物理酷炫動圖：表面張力，「膜」的力量。取自：
<https://kknews.cc/zh-tw/news/xrLjon9.html>
- 六、PauL G. Hewitt (2008)。觀念物理 IV (陳可崗譯)，p.189。天下遠見。
- 七、許良榮。玩出創意 5--- 50 個魔法科學實作。 p111~113 小五南 台北
- 八、音流學：讓看不見的看得見 <https://read01.com/zh-tw/PMx7K4.html#.YoM3Kv5BzIV>
- 九、徐百鳴。聲音視覺化中“音流學”的研究與探索 (2018) 碩士論文 中國美術
<https://wap.cnki.net/touch/web/Dissertation/Article/10355-1018188067.nh.html>

英文部分

- 一、C Gaulon, C Derec, T Combriat, P Marmottant and F Elias (2017). Sound and vision:visualization of music with a soap film. European Journal of Physics, 38(4). 取自：
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6404/aa7147/meta>
- 二、Chris Woodford (2020). Thin-film interference. 取自：<https://www.explainthatstuff.com/thin-film-interference.html>
- 三、Arezki Boudaoud(1998). Self-Adaptation in Vibrating SoapFilms 取自：
<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.82.3847>
- 四、Estimating bubble lifetimes 取自：<http://www.webexhibits.org/causesofcolor/15e.html>
- 五、Laurie, Lorene, Gael & Frederic. (2014). A study of generation and rupture of soap films. MaterialS Science.取自：
https://www.researchgate.net/pubLication/261104656_A_study_of_generation_and_rupture_of_soap_films
- 六、SoapbubbLedk(無日期). Lean about soap bubbles and the physics, mathematics and chemistry hiding in them. 取自：<https://www.soapbubbLe.dk/en/>
- 七、How Visuals Can Help Deaf Children 'Hear' <https://www.livescience.com/47004-visuals-help-deaf-children-experience-sound.html>

八、Sound and Vision: Music Visualization Lets You See Your Sounds

<https://blog.landr.com/music-visualization/>

Youtube 影片部分

一、Canon in D 's Versions - [ReLax Music] | JUN(2015). 取自：

https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=mzFbjHK_Xdo&ab_channel=JunNguyen

二、How to Make a Hurricane on a Bubble ? (2015). 取自：

<https://www.youtube.com/watch?v=nXDKCm2dfMs>

三、Soap Film Opera: visualizing music with a soap film(2017). 取自：

[https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=wMFrWZpVMM&ab_channel=FlorenceEl
ias](https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=wMFrWZpVMM&ab_channel=FlorenceEl
ias)

四、シャボン膜はカラフル！（はぴエネ！#646）／Soap FiLM is CoLorfuL! (2021). 取自：

<https://www.youtube.coM/watch?v=zPEsM0Kc1YY>

【評語】 082812

本作品觀察肥皂薄膜在不同色光照射與不同音階震動後產生的顏色與波形圖案，經由實驗的觀察歸納各音階所會產生的圖案，可將歌曲聲音轉成可視化的一連串圖案。這個作品打破一般對音樂的既定印象，獲得有趣的結果，具科學研究精神。建議加強應用方向的探討，應可讓作品更加完善。

作品簡報

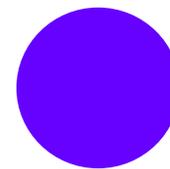
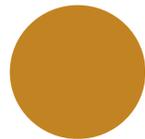
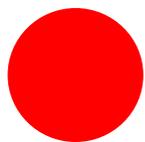
想看「膜」「換」色彩-----試試「搗」音「佈」全

科 別：生活應用科學(一)

組 別：國小組

關鍵詞：馬倫哥尼效應、毛細波紋

編 號：082812



研究動機及目的

看見聲音

- 沙子-呈現繽紛對稱圖形
- 火焰-跳舞

肥皂膜

- 聲音對肥皂膜顏色的影響是否有一致性
- 聲音對肥皂膜外觀的影響是否有一致性

聲音視覺化

- 利用肥皂膜顏色外觀變化製作音階圖
- 利用肥皂膜看見一首樂曲

研究過程與方法-研究設計

實驗變因

肥皂液濃度

肥皂液量

薄膜形狀

器材口徑

聲音類別

研究過程與方法-聲音使肥皂膜可行性探究(一)

塑膠水管製作肥皂薄膜，沾附的肥皂液重量差異如何？

- 每次管口沾取肥皂液重量幾乎無差異。

各種泡泡薄膜保存時間如何？

- 直立肥皂膜保存時間最久，且顏色變換有順序。

不同口徑的泡泡膜彩色條紋，從出現到消失時間有差異嗎？

- 彩色條紋從出現到消失平均都約54秒。

口徑	3.8 cm	5cm	7cm
空重(g)	20.81	48.08	59.82
膜重1	0.08	0.12	0.13
膜重2	0.09	0.11	0.14
膜重3	0.10	0.09	0.13
膜重4	0.09	0.10	0.15
膜重5	0.11	0.12	0.13
薄膜平均重	0.094	0.108	0.136



滴管吹的圓泡泡膜

半圓球泡泡薄膜

直立肥皂薄膜

平放肥皂薄膜



口徑3.8cm肥皂膜

口徑5cm肥皂膜

口徑7cm肥皂膜

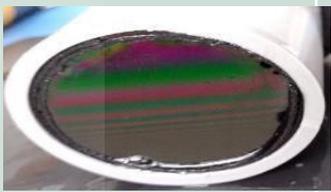
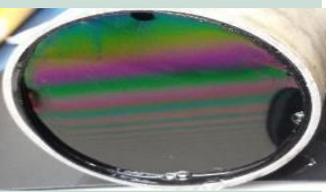
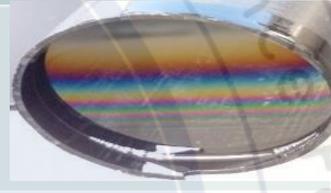
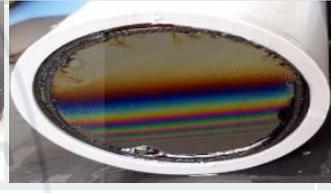
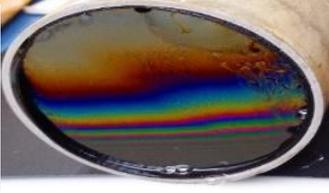
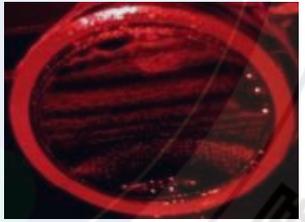
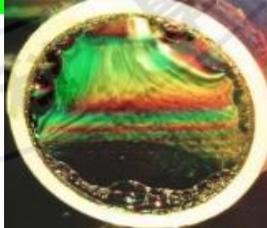
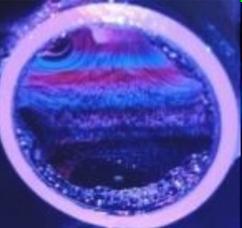
研究過程與方法-聲音使肥皂膜可行性探究(二)

泡泡膜上出現的彩色條紋，色彩變化如何？

- 3種口徑初始線條是綠色與洋紅色；往下再來是藍色與青色；最後三種膜都變白色。

單色光與組合光照射直立泡泡膜，色彩會如何變化？

- 出現紅黑、藍黑、綠黑相間平行條紋。
- 不如自然光照射多彩，比較不適合於可視化薄膜使用。

類別	3.8cm 泡泡膜	5.2cm 泡泡膜	7.0cm 泡泡膜	
初始頂端彩色條紋				
平行條紋沉降至中央				
平行條紋沉降至底部				
色光	紅色	藍色	綠色	
照片				
色光	紅綠	紅藍	藍綠	紅藍綠
照片				

研究過程與方法-聲音使肥皂膜顏色、外觀變化的探討(一)

對著圓形泡泡與直立膜發出聲響，顏色會如何變化？

- 圓泡泡沒有發生任何變化。
- 直立膜平行彩色條紋會晃動，還有一圈圈透明漣漪

正弦波電子單音音階的音波，會使薄膜色彩或外觀如何變化？

- 各音階膜上會出現多變色彩與透明漣漪。

實驗照片



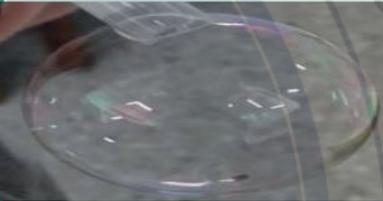
說明

嘴對著泡泡發啊聲

塑膠管集中音量對著泡泡發啊聲

嘴對著直立膜發啊聲

實驗後照片



說明

泡泡膜外型與顏色沒有變化

泡泡膜外型與顏色沒有變化

膜中央振動使膜反光白色

音階	Do	Re	Mi	Fa
頻率	523	587	659	698
照片				
像素	223533	188940	256272	114540
R	182.43	150.45	172.6	198.24
G	173.24	132.10	182.85	201.67
B	169.04	141.42	187.19	199.88

音階	So	La	Si	高音Do
頻率	783	880	987	1046
照片				
像素	207584	238097	213486	176231
R	132.06	156.34	161.96	182.54
G	153.78	163.08	184.05	170.59
B	134.02	160.69	189.41	169.48

研究過程與方法-聲音使肥皂膜顏色、外觀變化的探討(二)

鋼琴單音振動直立膜，顏色、外觀會有怎樣的變化？

鋼琴單音振動水平膜，顏色、外觀會有怎樣的變化？

- 分析色階RGB八個薄膜有不同顏色與外觀，可以做為可視化圖形。

- 顏色接近白與透明，看不出有幾何形狀或可循規律性，較不適合做為可視化薄膜。

音階	Do	Re	Mi	Fa
頻率	526	589	659	698
照片				
像素	14514	15621	15750	16000
R	152.88	146.38	154.45	141.14
G	138.61	133.64	138.75	126.70
B	131.94	128.41	131.03	153.34
音階	So	La	Si	高音Do
頻率	784	880	988	1046
照片				
像素	14756	15748	15875	15996
R	161.92	177.27	175.03	149.57
G	132.75	152.64	149.54	146.76
B	139.83	139.58	135.27	144.27

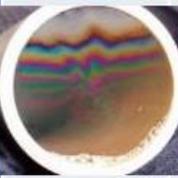
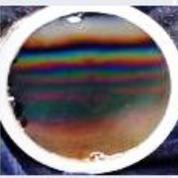
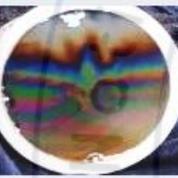
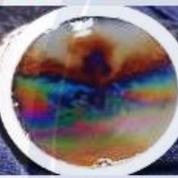
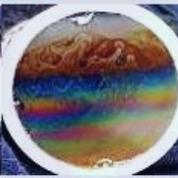
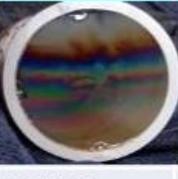
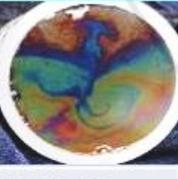
音階	Do	Re	Mi	Fa
頻率	526	589	659	698
照片				
像素	129600	129600	128642	124626
R	223.77	222.10	218	229.25
G	221.19	218.62	215.56	228.57
B	223.77	217.31	215.43	229.71
音階	So	La	Si	高音Do
頻率	784	880	988	1046
照片				
像素	129600	129600	129600	129600
R	213.71	204.26	213.03	213.82
G	211.55	201.09	210.21	210.57
B	211.64	200.71	210.15	209.21

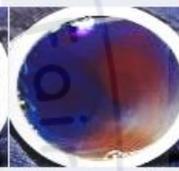
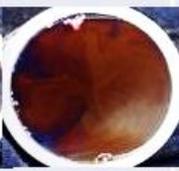
以下探討肥皂膜皆為直立膜

研究過程與方法-聲音使肥皂膜顏色、外觀變化的探討(三)

一首完整鋼琴音樂聲波會使肥皂薄膜如何變化？

- 一首完整鋼琴樂曲振動肥皂膜，薄膜上會出現多變色彩，雖多變但仍可分辨其中差異，符合聲音可視化應用。

第幾秒	起始0	9	24	37	40
音階	高Mi	中La	高Mi	高Do	中La
照片					
像素	23542	23840	23700	23224	23700
R	148.42	121.60	128.46	134.24	136.49
G	124.10	109.31	114.56	113.46	114.92
B	114.05	107.05	108.98	106.12	107.76
第幾秒	41	46	51	52	57
音階	中Do	中La	高Do	高Do	中Do
照片					
像素	23400	23550	24160	23850	23700
R	130.54	125.94	124.30	120.20	100.13
G	111.73	120.68	122.08	119.76	132.74
B	107.49	114.55	113.20	118.28	140.01

第幾秒	65	72	80	90	95
音階	高So	中si	高So	中La	高Fa
照片					
像素	23700	24300	25350	23550	23393
R	89.59	103.13	114.00	128.41	172.48
G	133	76.33	72.27	74.64	145.29
B	176.45	111.18	93.31	63.90	121.04
第幾秒	110	115	121	147	154
音階	高Mi	高Do	高 Re	中Fa	中Do
照片					
像素	24174	24174	24806	24624	23858
R	153.09	148.52	159.52	158.98	170.54
G	117.58	127.63	104.80	120.65	129.42
B	85.51	102.04	72.32	88.18	88.02

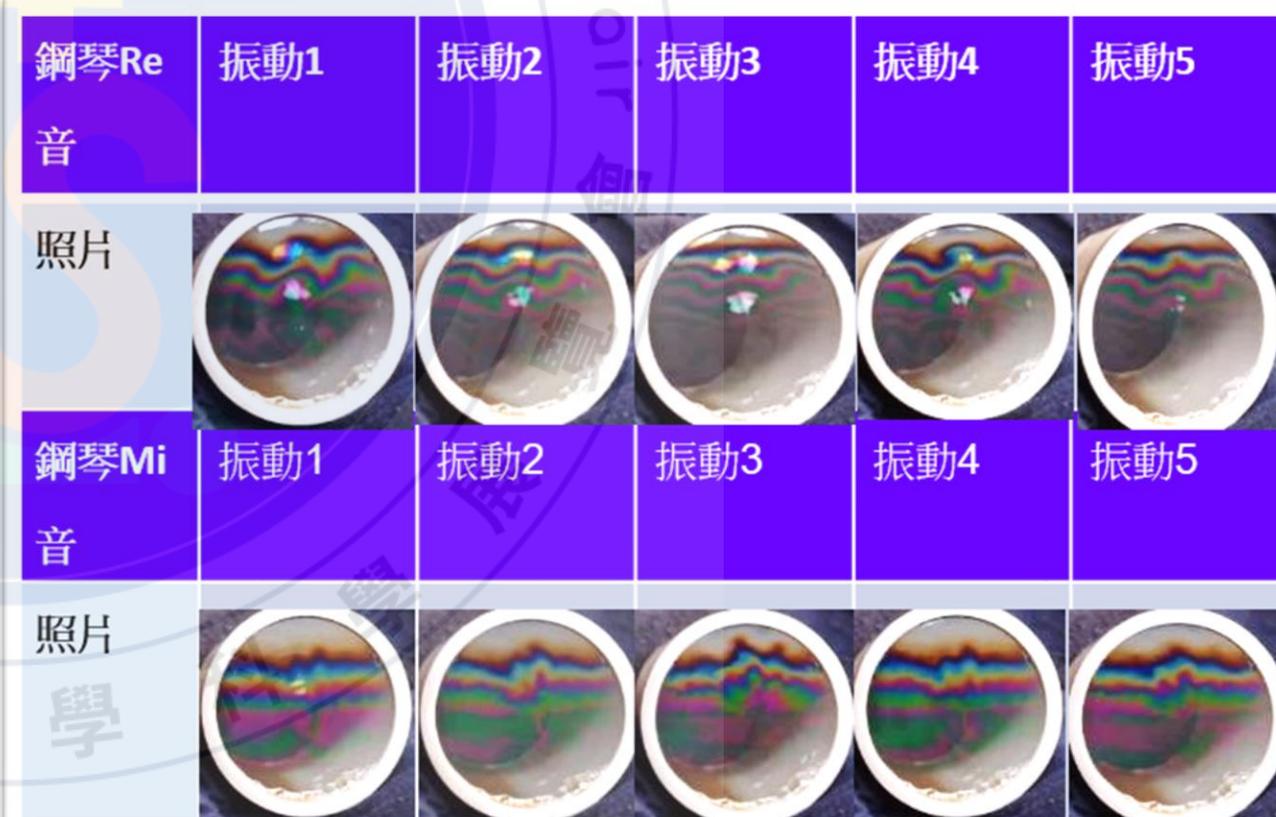
研究過程與方法-肥皂薄膜與音樂可視化應用(一)

正弦波振動薄膜重複實驗結果如何？

- So音顏色不同，毛細波紋與渦流數量相同，渦流位置也未改變。
- Mi音顏色幾近相同，僅左上橘色渦流大小改變。

鋼琴音階振動薄膜條紋顏色類似，是否可辨識差異？

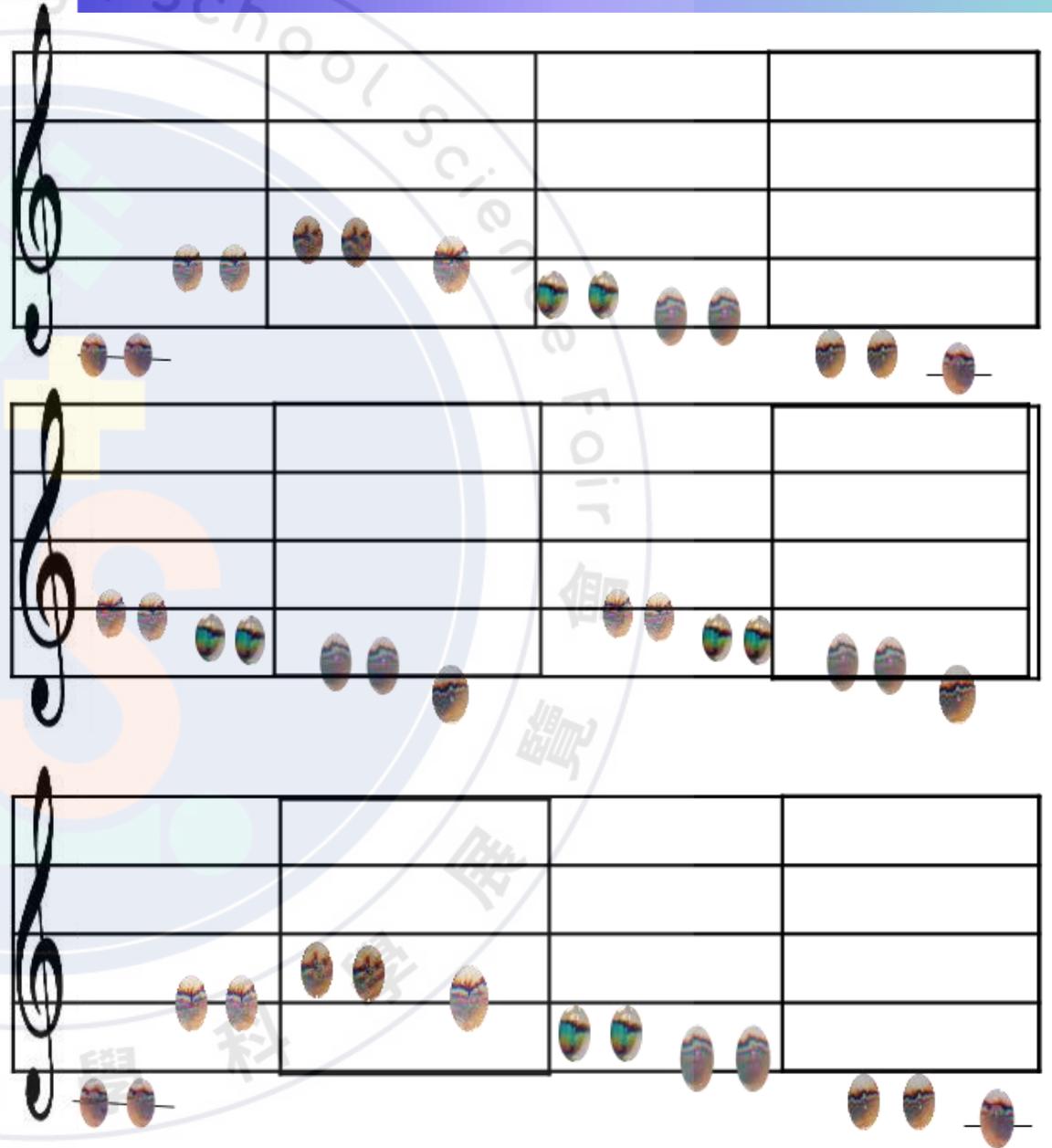
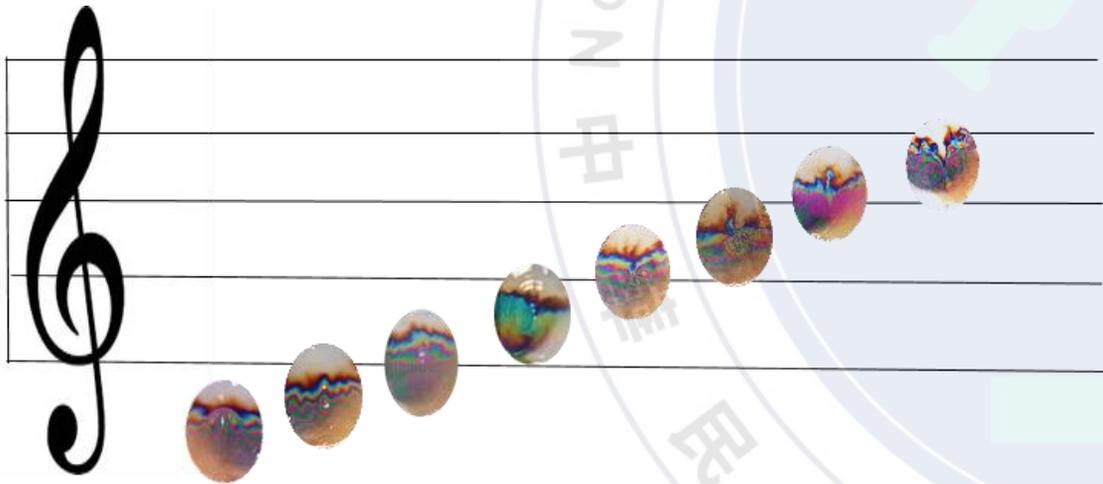
- 同音階色彩條紋幾乎無差異，非常相似，可以區別兩個音階。
- 聲音可視化的條件：複雜度精細度、可重複製作結果一樣、可辨識差異。



研究過程與方法-肥皂薄膜與音樂可視化應用(二)

聲音振動肥皂膜顏色變化之應用

- 製作鋼琴單音肥皂膜音階對照表
- 利用鋼琴薄膜製作小星星樂譜圖



研究討論

直立肥皂膜用於聲音可視化的可行性 特徵探究

- 不同口徑肥皂薄膜出現的彩色條紋下降速度平均約54秒，適合應用於聲音可視化。
- 單色光與組合光照射薄膜，影像解析度較差且不夠明亮，不適合作為聲音可視化。

音樂振動使肥皂薄膜顏色、外觀變化的探討

- 重低音喇叭輸出正弦波c5~c6音階，各音階出現可區別的不同渦流與顏色，可使聲音圖像化。
- 鋼琴聲音振動直立薄膜：不同音階產生可以區別的變形條紋、毛細波紋與渦流。很適合應用於聲音可視化，圖像化聲音

肥皂薄膜與音樂可視化應用

- 聲音圖像化：物理圖案要越來越複雜而精細，可以重複複製結果不變、顏色類似但可辨識差異。
- 利用聲音振動薄膜，編輯出鋼琴音階與小星星肥皂膜可視化樂譜。

研究結論

直立的肥皂膜，會形成水平橫向彩色條紋，經過聲音振動會產生顏色變化與外型變動，可以使聲音影像化可視化。

一首樂曲相同音階振動薄膜，會出現不同顏色與外觀，原因是彈奏的速度、重音或輕聲、音階長短、薄膜厚度、彩色條紋在薄膜位置，都會造成同音而出現不同圖像出現。

本研究認為肥皂薄膜可以使聲音可視化，因為符合下列條件：聲音使薄膜外觀顏色出現複雜變化、精細化但可透過色階RGB分別差異，可重複驗證結果且幾乎無差異，隨頻率改變外觀顏色也一起改變。

參考文獻

一、張怡立（2018）。看見聲音-聲音對皂膜影響之探討。高級中等學校組物理與天文學科。中華民國第57屆中小學科學展覽會作品說明書。

二、音流學：讓看不見的看得見

<https://read01.com/zhtw/PMx7K4.html#.YoM3Kv5BzIV>

三、徐百鳴。聲音視覺化中“音流學”的研究與探索 (2018) 碩士論文 中國美術

<https://wap.cnki.net/touch/web/Dissertation/Article/103551018188067.nh.html>

四、C Gaulon, C Derec, T Combriat, P Marmottant and F Elias (2017). Sound and vision: visualization of music with a soap film. *European Journal of Physics*, 38(4).

取自：<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6404/aa7147/meta>

五、How Visuals Can Help Deaf Children 'Hear'

<https://www.livescience.com/47004-visuals-help-deaf-children-experiencesound.html>

六、Sound and Vision: Music Visualization Lets You See Your Sounds

<https://blog.landr.com/music-visualization/>