

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學科(一)

第三名

082822

無限「恣」萬花筒

學校名稱：桃園市大溪區仁善國民小學

作者： 小六 楊甯煊 小六 張家薰 小六 楊秀珍 小六 王岑妍 小六 陳正晟	指導老師： 陳靜宜 余哲銘
---	-------------------------

關鍵詞：萬花筒、反射、偏光片

無限「恣」萬花筒

摘要

四年級自然課第一次接觸到萬花筒，覺得很好奇；五年級暑假的科學營，開始探究萬花筒。仔細觀察後發現：萬花筒可以千變萬化的機制是：受重力作用而隨機變化的物件與無限反射的鏡片組。柱狀萬花筒：鏡片數為2時，夾角越小成像數越多、越趨近圓形；鏡片數為3、4、6時，能形成完整成像，有無限延伸的視覺效果；鏡片數為8、9、10、12時，成像類似花蕊和花瓣的效果。塔型萬花筒的成像有球體浮凸效果，斜邊越傾斜，球形成像越浮凸，徑長越短；搭配偏光片和膠帶為物件時，會產生與本體不同的繽紛色彩。

最後我們根據研究結果研發出魅力四射、滾動星球、光之花等特色萬花筒，其中炫光寶石萬花筒與機電整合成聲控變色小夜燈。

壹、前言

一、研究動機

四年級自然課上到光的折射、反射單元時，我們有接觸到萬花筒，當時覺得萬花筒可以產生變幻莫測的光，很美、很神奇！五年級暑假的科學營隊，我們仔細的觀察了萬花筒的成像過程，轉動物件盒、轉動鏡筒，效果竟然不一樣，發現這小小的管子學問可大了！因此我們展開了對萬花筒的研究，收集各種萬花筒、動手製作萬花筒、觀察成像效果等等，展開了一場具知性又有美感的探究與之旅！

二、研究目的

- (一)、觀察萬花筒結構與功能的關聯
- (二)、比較不同長寬比的鏡片對三角柱萬花筒成像的影響
- (三)、比較不同鏡片數對柱狀萬花筒成像的影響
- (四)、比較鏡片傾斜度對塔型萬花筒成像的影響
- (五)、提出製作柱狀、塔型萬花筒的相關數值建議
- (六)、創作萬花筒

三、文獻回顧

(一)、萬花筒的起源

1816年，蘇格蘭物理學家大衛·布魯斯爵士發明了萬花筒。他發現在三面鏡子放在一個空腔裡放一些花紙，只要變動一下花紙的位置，鏡中的圖案就會變動一次，如果要出現重複的圖案，是極不可能的。百度百科中提到：萬花筒是一種光學玩具。萬花筒美妙的奧秘就蘊藏在它設計精妙的鏡體結構和流動圖案當中。就像萬花筒的英語名稱 KALEIDOSCOPE 一樣，集合了希臘語的 KALOS（美麗）、EIDOS（形狀）和 SCOPE（觀看）等美麗的詞彙，將它最主要特點都概括出來。萬花筒的「芯」---被觀察物，可以是各式各樣的材料，這些物件透過鏡筒內鏡片的交互作用，產生了千變萬化的圖樣，讓觀看者目不暇給。

(二)、萬花筒成像原理

萬花筒是藉由筒內面鏡不同角度的組合，造成多次成像後形成的景象。如下圖，兩面鏡交角成 90 度時，本體的左右兩側先反射產生第一次的鏡像。本體對面的鏡像則是分別由左右兩側的鏡像再經過第二次鏡像後所組成的。所以跟本體並不是鏡像對稱的關係。



圖 1. 兩面鏡成像
圖片出處:泛科學。

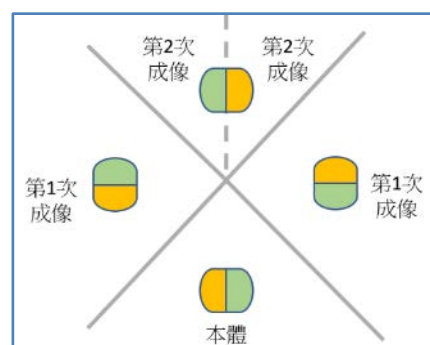


圖 2. 兩面鏡成像說明

(三)、各式萬花筒

1. 關於萬花筒的構造，我們目前蒐集的有以下類型：

- (1). 鏡片數：萬花筒的鏡片是萬花筒的核心組件，常見的萬花筒通常是由三片鏡片排成正三角柱狀，也有一些萬花筒是兩面鏡子。
- (2). 物件：有物件盒的、水晶球、圖案轉盤和試管流體等。
- (3). 鏡片傾角：大多為平行鏡片，也有傾斜的塔型。
- (4). 造型：有望遠鏡、十字弓、風車或俄羅斯娃娃等。

2. 關於偏光片萬花筒：

偏光片萬花筒是一種較特別的萬花筒，特別之處在它本身沒有鮮豔的物件盒，僅以兩片偏光片，中間夾著不同層數的膠帶，就可以產生許多色彩的光。

上述現象的發生條件，首先要有偏光片的偏振效應。當光波經過偏光片的光柵效應，只讓一個方向的光波通過，如果又加上另一片交角為 90 度的偏光片，光便完全被阻隔無法通過，呈現全黑的狀態。(如下圖)

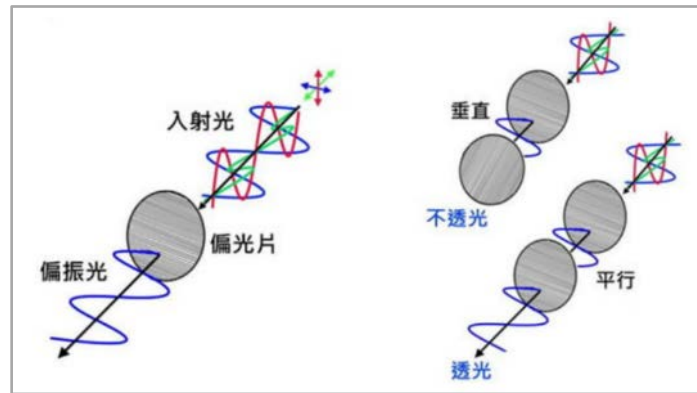


圖 3.偏光片的光柵效應

圖片來源:科學遊戲實驗室

在形成暗黑的遮蔽狀態下，如果在兩片偏光片的中間加入膠體，會產生旋光作用後，讓部份的色光改變波動方向，最後再次通過偏光片的光柵，我們便看到色光。偏光片的光柵及膠體的旋光作用會隨著偏光片交角和膠體厚度而改變，導致透出不同的色光，藉由這樣的組合，加在萬花筒上，即使沒有物件盒，也能有顏色改變的效果。

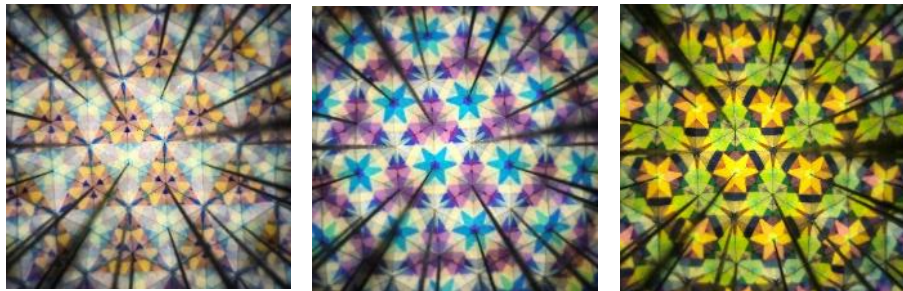


圖 4.偏光片萬花筒成像會因為改變偏光片與膠帶的交角而產生顏色的變化。

貳、研究設備及器材

一、不同款式的萬花筒

- 1.望遠鏡萬花筒
- 2.十字弓萬花筒
- 3.風車萬花筒
- 4.鐵塔萬花筒
- 5.偏光片萬花筒
- 6.伸縮萬花筒
- 7.水晶球萬花筒



圖 5.不同款式的萬花筒

二、製作萬花筒材料與設備

表1. 製作萬花筒材料				
鏡片鏡筒材料	物件盒		機電材料	鏡片及固定框製作
透明塑膠片	描圖紙	彩色透明片	RGB智慧全彩燈環	雷射機
塑膠鏡片	紙管	彩色珠子	LED燈條暖白色	電腦繪圖
塑膠盒	偏光片	玻璃球	micro bit	膠帶
	膠帶	砂紙	micro:bit悟空擴充板	太棒膠
	壓克力板		暖白色燈座	



圖5.不同鏡片數的萬花筒



圖7.不同上下底長度比的塔型萬花筒

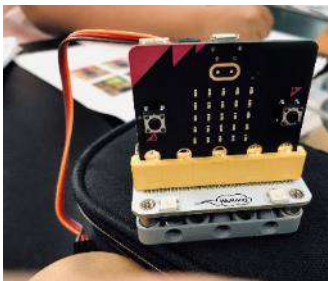


圖8.micro:bit 和悟空板



圖9.燈環和燈條



圖10.鏡筒水平放置型拍照架

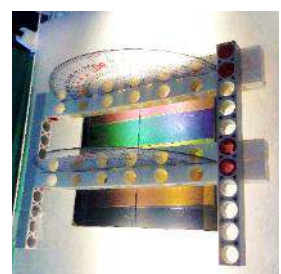


圖11.傾斜角度拍攝輔助器

三、成像拍照設備

(一)鏡筒水平放置型：

用於鏡筒長度較長，且鏡片是平行的萬花筒。

(二)鏡筒垂直放置型：

適用於塔型萬花筒這類鏡片非平行的萬花筒。可固定平板高度。

(三)手機拍攝角度測量支架：

用於拍攝不同傾斜角度的視角。

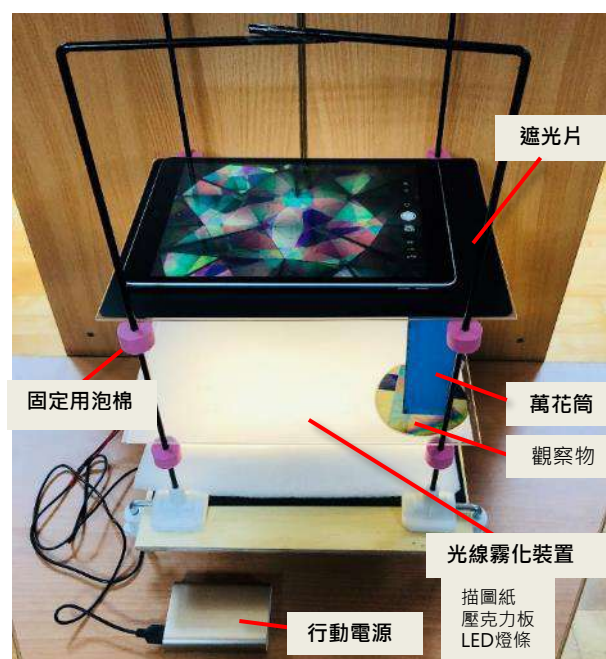
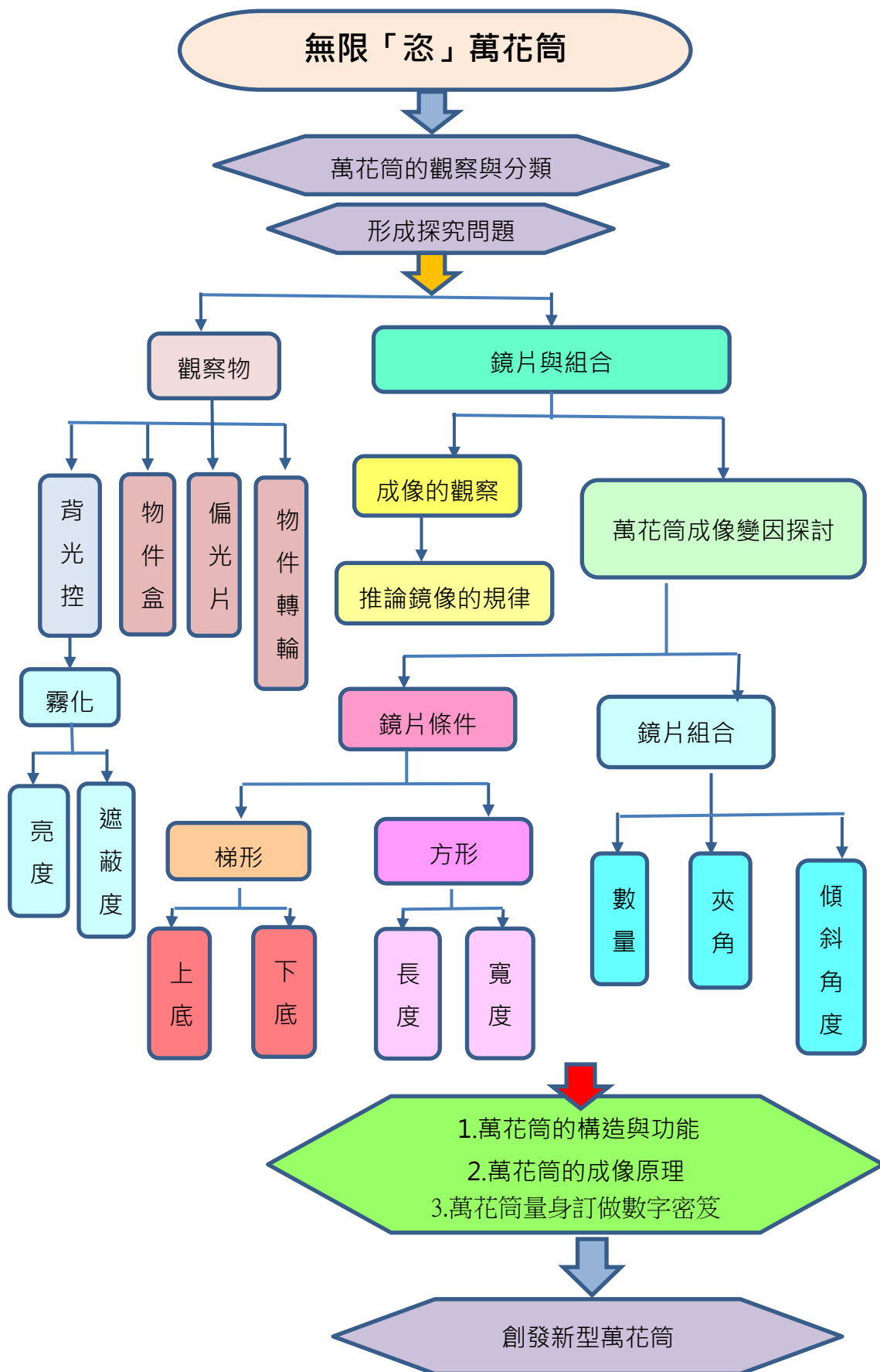


圖12.鏡筒垂直放置型拍照架

參、研究過程或方法

一、研究流程架構



二、研究過程與方法：

【探索階段】：萬花筒的構造、操作方式與成像變化有何關聯？

探索焦點：

- (一) 操作各式萬花筒，觀察記錄成像變化。
- (二) 依照觀察結果將萬花筒進行分類，分析出萬花筒運作的主要原理。
- (三) 形成探究問題。

【問題一】：萬花筒是如何反射出重複的影像？

研究方法：

- (一) 拆下一個望遠鏡萬花筒的物件盒，筒中只剩鏡片和視窗遮片。將鏡片取出後，將三片鏡片翻轉，使鏡面不朝筒內，進行觀察。



圖13.拆開物件盒的萬花筒

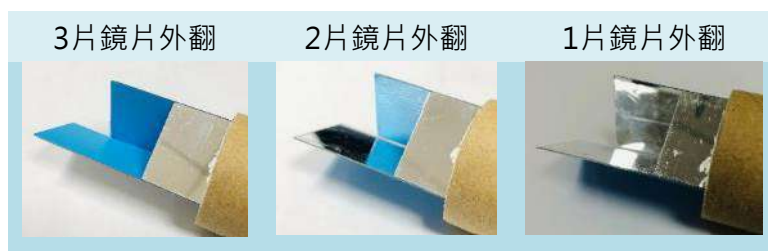


圖14.兩片鏡片時的成像

- (二) 逐次將鏡面翻轉，進行觀察。
- (三) 以「↑」符號作為觀察物，以【成像拍照設備】將平板鏡頭對準視窗後進行拍照。如圖，兩片鏡片成像情形。
- (四) 印出成像圖片後進行分析。

【問題二】：改變萬花筒的鏡片數對成像有何影響？

研究方法：

- (一) 製作鏡片大小相同、鏡片數量不同的萬花筒。
 1. 製作鏡片:用電腦繪製出長15cm、寬2cm的長方形後，以雷射機進行切割。
 2. 用膠帶黏接鏡片。
 3. 製作定型套環。除了三片鏡片組成的三角柱外，其他多邊形角柱形狀都無法固定。我們用雷射切割製作套環，套在多邊形角柱外固定形狀。
- (二) 觀察成像情形，並以【垂直型成像拍照設備】，以相同的距離拍照記錄。
- (三) 印出成像圖片後進行分析。



圖15.不同鏡片數的萬花筒

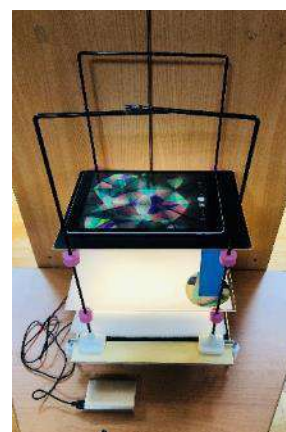


圖16.用垂直型成像拍照架拍照

【問題二之1】：改變兩片鏡片夾角對成像有何影響？

(一)從水平視角觀察成像

- 1.將2片鏡片分別裝置成可移動的垂直狀態。
- 2.以量角器紙板作為底面，將鏡片放置於固定的夾角處。
- 3.將積木組成的左右不對稱觀察物置於兩片鏡片間，從水平視角觀察成像變化。



圖17.從水平視角觀察成像

(二)從垂直視角觀察成像

- 1.依照(一)的1.2.步驟，僅步驟3.改成垂直觀察，並且觀察物聚焦於平面的一個點，拍照時焦點在該點的正上方。

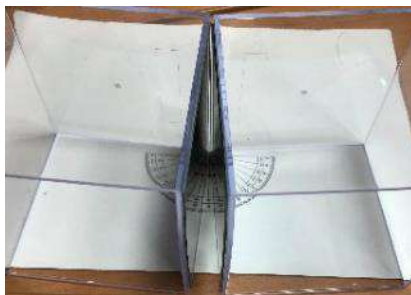


圖18. 固定鏡片夾角裝置

- 2.印出成像圖片後，根據照片資料，統計不同夾角大小與成像數間的關係。



圖19.從垂直視角觀察成像

【問題三】：改變萬花筒鏡片的長度對成像有何影響？

- (一)製作寬均為2 cm，長分別為15 cm、30 cm的長方形鏡片及寬4 cm，長分別為15 cm、30 cm的長方形鏡片，黏接成三角柱。

- (二)觀察記錄成像情形進行分析。



圖20.用水平拍照架記錄成像

【問題四】：改變萬花筒鏡片的寬度對成像有何影響？

- (一)製作長度15 cm；寬長分別為15 cm、30 cm的三角柱。
- (二)觀察記錄成像情形進行分析。



圖21.不同長度的鏡筒

【問題五】：改變萬花筒鏡片的傾斜度對成像有何影響？

- (一)製作鏡片傾斜度不同的萬花筒。

- 1.製作鏡片:用電腦繪製出兩組梯型鏡片後雷切。
 - (1)第一組:上底均為1 cm，高5cm，下底分別為2、3、4、5、6、7、8、9、10 cm的梯形，各3片。
 - (2)第二組:上底均為2 cm，高10cm，下底分別為4、6、8、10、12、14、16、18、20cm的梯形，各3片。



圖22.不同寬度的鏡筒



圖23.不同上下底比例的塔型萬花筒

- 2.黏貼組合成塔狀。
- 3.觀察成像情形，並以【成像拍照設備】，以固定的距離拍照記錄。
- 4.印出照片後，測量徑長(有本體反射的圖像)。

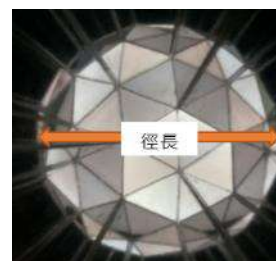


圖24.成像徑長示意圖

【問題五之1】：改變鏡片的傾斜度對成像有何影響？

- (一) 將量角器固定在正立方盒上，保持垂直狀態。
- (二) 將鏡片對準量角器0度後固定底部。
- (三) 在距離鏡片2 cm 處貼上標記貼紙。
- (四) 將平板以立方盒固定高度後，聚焦在標記貼紙後拍照。
- (五) 印出成像照片，測量標記貼紙與鏡片底邊距離，分析不同傾斜角度與成像長度變化的關聯。



圖25.改變鏡片傾斜角度紀錄距離變化

【問題六】：物件盒透明還是霧狀對成像有何影響？

- (一) 雷射製作3款壓克力板，分別為無雷射、雷射間距1mm直線及水平垂直均雷射1mm直線。
- (二) 將壓克力板置於成像拍照設備的底板上，用相同光源在側邊照光。

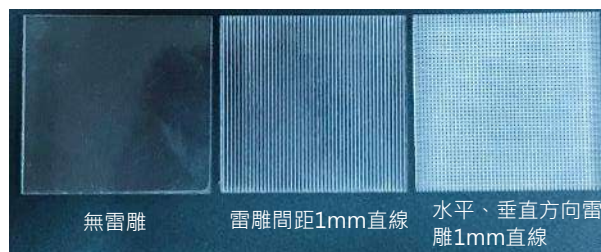


圖26.雷射壓克力板

- (三) 拍照後比較壓克力板亮度的差異。
- (四) 將壓克力板加在透明的物件盒後，觀察比較萬花筒成像的情形。

【問題七】：如何應用研究發現來研發新型萬花筒？

- (一) 各式筒狀萬花筒研發：整合可變化的項目後進行設計。
- (二) 炫光寶石萬花筒的研發：

1.塔型萬花筒與偏光片膠帶組合的觀察。










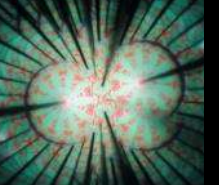




- (1).不同傾斜角偏光片成色觀察：將手機分別置於不同傾斜角，接著聚焦在固定基準線上，拍照記錄1至4層膠帶的成色情形。
- (2).偏光片夾不同層數膠帶成像光色變化觀察記錄。
- (3).不同類型光源的成像比較：將LED燈條、燈環分別置於塔型萬花筒下筒距離處，利用平板在成像拍攝架上拍照記錄。

2.炫光寶石萬花筒機電整合原型開發：研發偏光片與不同膠帶層數交互轉動的機電組合，並以makecode 進行聲控程式編碼，透過micro:bit控制2組TT馬達，變化轉動模式來改變偏光片膠帶組的相對位置，進而改變顏色。

肆、研究結果

一、【探索階段】：萬花筒的構造、操作方式與成像變化有何關聯？

(一) 萬花筒的操作與成像觀察記錄:

表2. 各式筒成像觀察記錄			
名稱	外觀	成像	成像描述
望遠鏡萬花筒			轉動短筒，物件盒裡的物件會移動，造成本體圖案的變化。轉動長筒，芯的景物不變，只是顯示範圍改變。
十字弓萬花筒			上下移動試管或翻轉試管，管中物件與觀察孔的相對位置會變化，進而影響視窗圖案。物件向圓心端接近時，看起來會有收縮的效果。
風車萬花筒			風車轉盤有類似物件盒的效果，圖案在轉盤是固定的，轉動轉盤圖像會移動，每360度會回到原來的圖像。
鐵塔萬花筒			塔型萬花筒會有浮凸的效果，轉動萬花筒，物件盒會改變位置造成圖案的變化。
水晶球萬花筒			改變萬花筒的背景，經過水晶球折射造成的圖案也會跟著改變。成像是背景畫面倒立、縮小的圖案。
偏光片萬花筒			轉動短筒或長筒都會改變顏色，圖案形狀不變。
伸縮萬花筒			拉長內筒圖形變小變多，轉動長筒，圖案會在360度後回到原來的圖像。轉動短筒，圖案會不規則的變形。

(二) 根據觀察結果將萬花筒進行分類:

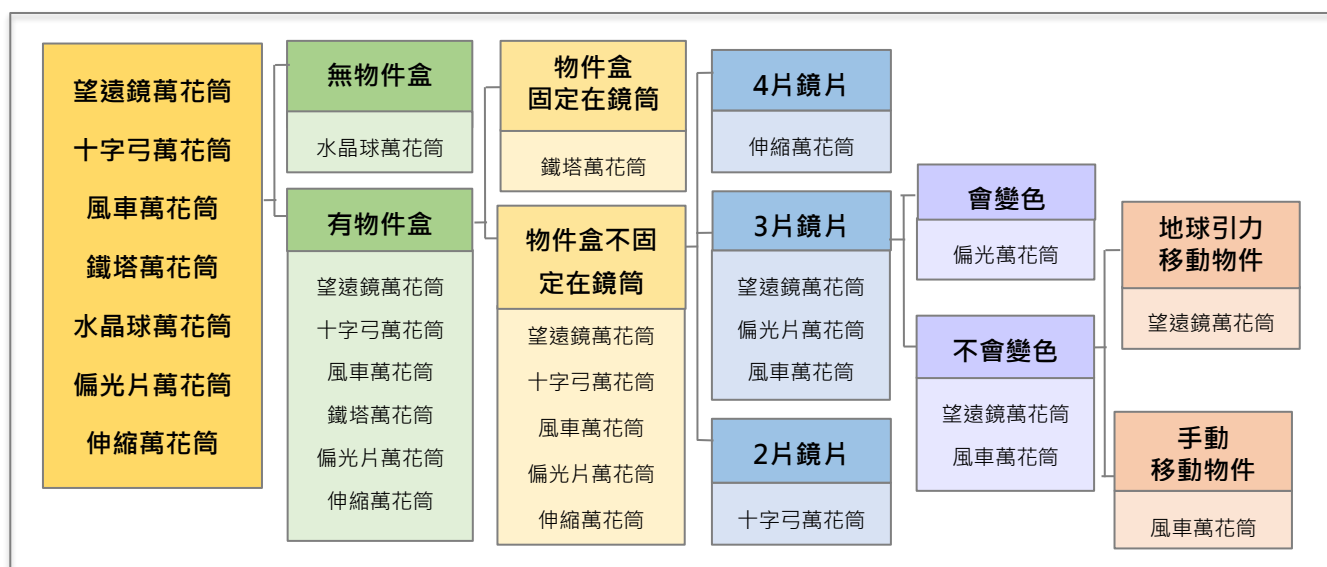


圖27風車萬花筒物件固定在轉盤上

(三) 歸納與發現:

1. 有些萬花筒沒有物件盒，沒有特定的觀察物，周圍環境就是它的物件。也有些萬花筒的物件盒是透明的所以也可以隱約看到背景的環境。
2. 有物件的萬花筒，它的觀察物有一類是靠地球引力自由落體的動態物件，轉動物盒會造成物件隨機向下掉落，因此造成不規則的圖案變化，視窗影像無法重現。這一類的萬花筒，如果只轉動鏡筒不轉動物件盒，物件不會移動。隨著鏡筒的轉動，視窗裡的窗格跟著轉動，改變的只是顯示的範圍，每轉動360度就會回到原位。另一類透過手動轉動物件盤來改變視窗景物，也是每轉動360度就會回到原位，相同的物件會再現。
3. 偏光片萬花筒會隨轉動改變顏色，不改變形狀。
4. 鏡片傾斜的鐵塔萬花筒會有浮凸的視覺效果。
5. 大部分的萬花筒都是由相同大小三片鏡片組成，少數如十字弓萬花筒僅由兩片鏡片組成，成像會排列成圓形。水晶球萬花筒由兩片一樣寬的鏡片加一片窄一點的鏡片組成，圖形變成一個大圓加上兩個小圓融合的樣子。



圖28風車萬花筒物件在轉盤上

(四) 好奇與疑問:

1. 萬花筒的鏡片如何反射，為何會出現繁複的圖形?

2.萬花筒的鏡片條件與成像有何關聯?

3.背板透明會看到背景，影響視覺效果，但霧狀是否會影響光線進入萬花筒的量?

【問題一】：萬花筒是如何反射出重複的影像？

【研究結果】：(一) 鏡筒內裝置不同鏡片數時的成像紀錄如下。

表3. 不同鏡面數的成像情形與成像順序推論				
	無鏡面	1個鏡面	2個鏡面	3個鏡面
鏡筒內的成像				
推論成像順序				

(二)從側面觀察成像情形

實體物觀察			
第三面鏡子逐漸升高，鏡中成像大量增加。			

【分析與發現】：

- 1.兩片鏡子成像時，第3次反射產生了較暗的那個三角形，是由兩側的三角形分別反射組成的。
- 2.當鏡面全部翻轉時，只有本體本身的影像，加入一片鏡片時，反射出本體一樣大小的三角形，只是亮度稍弱。繼續再加一片鏡子時，繼續增加反射的次數而形成六角形。再加入第三片鏡子後，像四面八方大量擴充了反射的面。

【問題二】：改變萬花筒的鏡片數對成像有何影響？

【研究結果】：

表4.片數的萬花筒成像紀錄:			
3片鏡片	3片鏡片+偏光片	4片鏡片	4片鏡片+偏光片
5片鏡片	5片鏡片+偏光片	6片鏡片	6片鏡片+偏光片
7片鏡片	7片鏡片+偏光片	8片鏡片	8片鏡片+偏光片
9片鏡片	9片鏡片+偏光片	10片鏡片	10片鏡片+偏光片
12片鏡片	12片鏡片+偏光片		

【分析與發現】：

- 1.鏡片數越多，本體的面積越大。隨著邊數增加，本體周圍的成像越來越小，使本體產生浮凸感。
2. 三、四、六邊形的成像中，本體的第一、第二或第三次反射影像的組合恰恰好可以包圍本體，所以看起來是完整的圖形，五邊形的成像會有小小的畸零空間，使

得成像較沒有完整感。七邊形以上第一次反射的成像滿滿包圍本體，每個像均無法完整呈現，第二次之後的成像多為破碎的像。

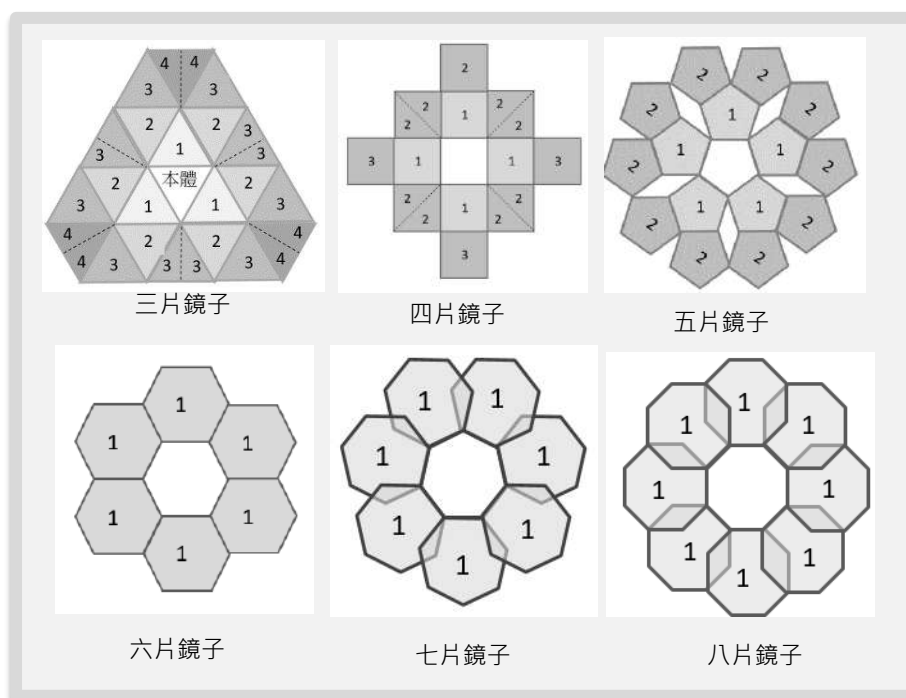


圖29. 三、四、五、六片鏡片組成萬花筒成 像完整性分析

3.視窗面積小時，能容納的物件相對較少，適合較小的物件。面積大的則適合較大的物件。以偏光片萬花筒而言，較適合大面積的視窗，大色塊的變化較顯眼。

【問題二之1】：改變兩片鏡片夾角對成像有何影響？

【研究結果】：




表5.不同夾角，水平視角觀察立體物的成像數紀錄表			
鏡片夾角	90(度)	60(度)	45(度)
成像數(個)	4	6	8
成像			

表6.不同夾角，水平視角觀察平面物的成像數紀錄						
鏡片夾角(度)	90	60	45	30	20	15
成像數(個)	4	6	8	12	18	24

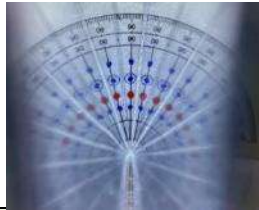
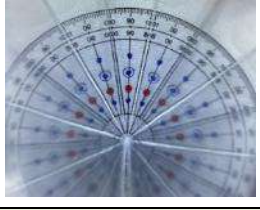
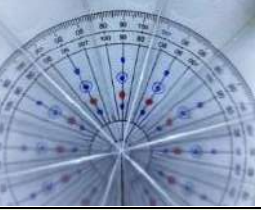
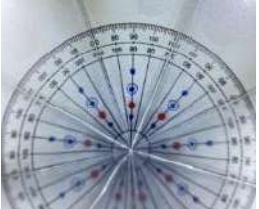
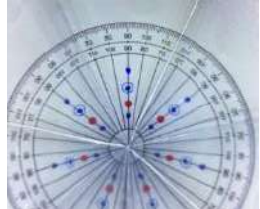


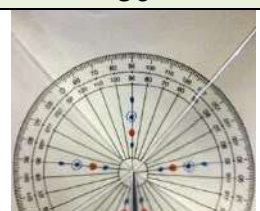
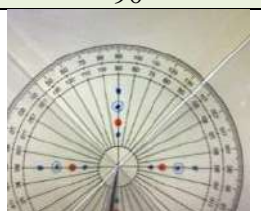
表7.不同鏡片夾角垂直視角觀察成像紀錄			
鏡片夾角(度)	10	20	30
成像照片			
鏡片夾角(度)	40	50	60
成像照片			
鏡片夾角(度)	70	80	90
成像照片			

表8.不同鏡片夾角垂直視角觀察成像數計算結果									
鏡片夾角(度)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
成像數(個)	32	18	12	9	7	6	5	4	4

【分析與發現】

- 1.鏡片夾角越小，成像數越多。
- 2.成像會圍成圓形。
- 3.反射的成像會隨著反射次數的增加而讓相對位置越來越緊密。

【問題三】：改變萬花筒鏡片的長度對成像有何影響？

【研究結果】：

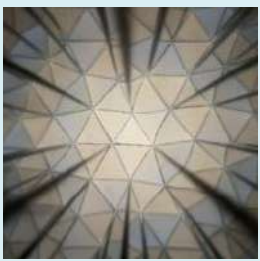



表9.【第一組】相同鏡片寬度，不同鏡片長度成像本體長度測量紀錄			
鏡片寬度 2cm	鏡片長度	15cm	30cm
	成像		
	成像照片邊長長度	2 cm	1 cm

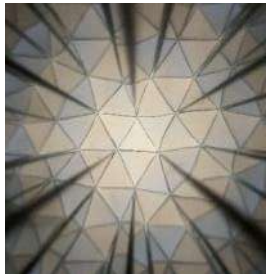

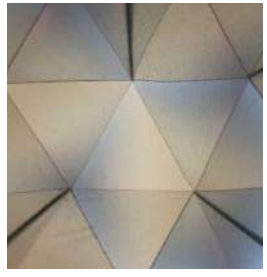
表10.【第二組】相同鏡片寬度，不同鏡片長度成像本體長度測量紀錄			
鏡片寬度 4cm	鏡片長度	15cm	30cm
	成像		
	成像照片測量邊長	2cm	1cm

【歸納與發現】：

- 1.兩組的觀察紀錄均發現鏡片長度變長，本體及鏡像的邊長都變短。鏡片長度增加兩倍，成像的邊長變為1/2。
- 2.兩組的萬花筒成像隨著鏡片的長度增加、寬度減少，變形的情況越趨明顯。其中鏡片長、寬為30公分×2公分的這個萬花筒成像變形最明顯，推測是因為鏡片越細長越容易彎曲，導致鏡像變形的情形。

【問題四】：改變萬花筒鏡片的寬度對成像有何影響？

【研究結果】：

表11.不同鏡片寬度成像紀錄			
鏡片寬度	2cm	4cm	6cm
成像照片			
本體相對邊長	1	2	3
單位面積個數	9	4	1

【歸納與發現】：鏡片越寬，成像越大，相同面積包含的成像數越少。成像大小與鏡片寬度成正比，成像數與鏡片寬度的平方成反比。

【問題五】：改變萬花筒鏡片的傾斜度對成像有何影響？

【研究結果】：

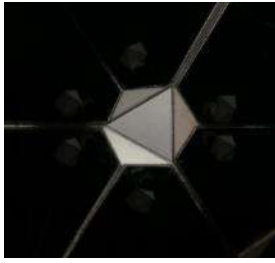

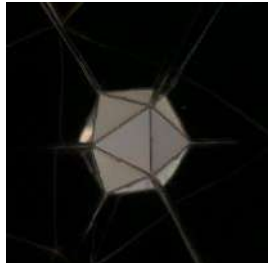
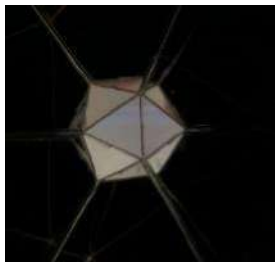
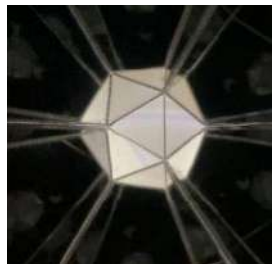
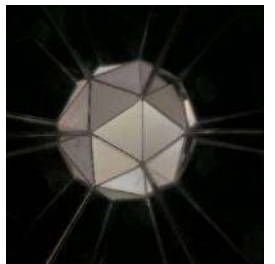
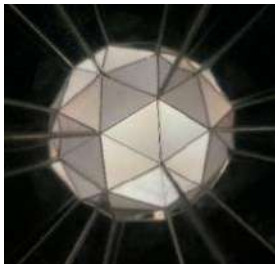


表12. 底長1公分、高5公分，上下底長度與成像變化紀錄表			
下底長度(cm)	10	9	8
成像照片			
下底長度(cm)	7	6	5
成像照片			
下底長度(cm)	4	3	2
成像照片			

表14. 上底1公分，下底長度改變
成像徑長變化紀錄表

下底長 (cm)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	11.45	7.69	5.40	4.48	3.98	3.60	3.70	2.79	2.91
2	11.43	7.79	5.59	4.69	4.21	3.95	3.82	3.04	2.98
3	11.47	7.70	5.75	4.50	4.15	3.60	3.75	3.05	3.00
4	11.44	7.27	5.72	4.49	3.97	3.55	3.62	2.96	2.91
5	11.46	7.67	5.76	4.45	4.35	3.31	3.50	2.95	2.79
6	11.45	7.66	5.73	4.21	4.01	3.57	3.75	2.96	2.84
平均	11.45	7.63	5.66	4.47	4.11	3.60	3.69	2.96	2.91

下底長度與成像徑長變化關係圖

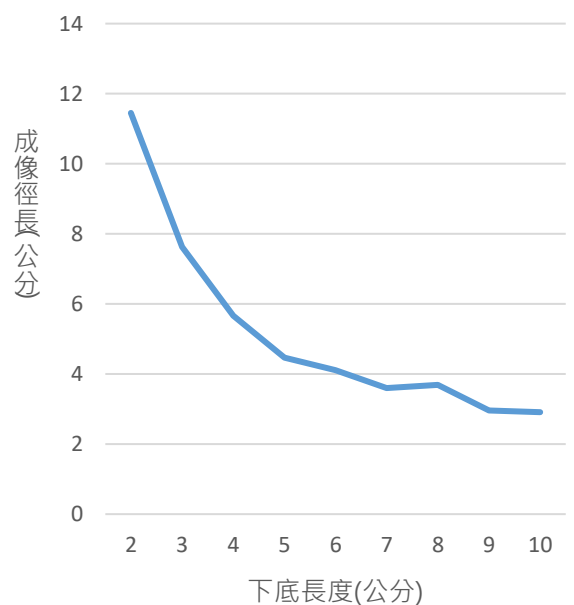


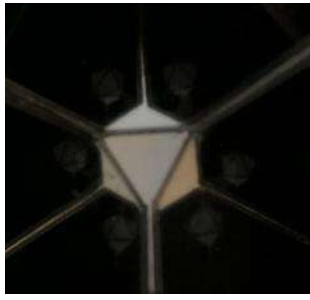
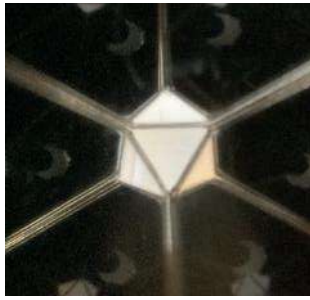
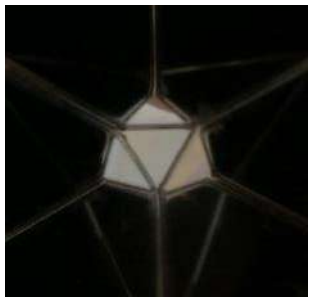
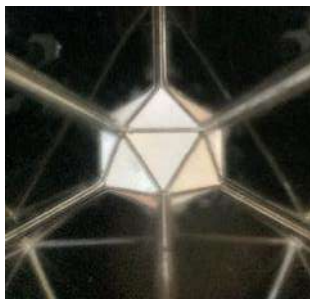
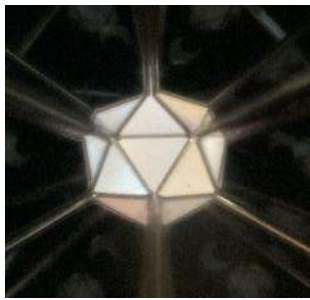
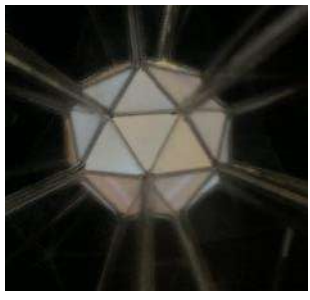


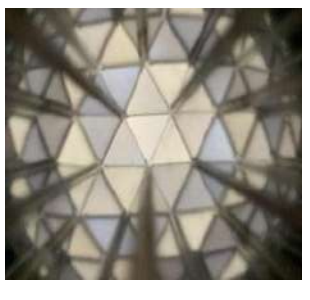
表15.上底2公分，高10公分，下底長度改變的塔型萬花筒成像變化紀錄表			
下底長度(cm)	20	18	16
成像照片			
下底長度(cm)	14	12	10
成像照片			
下底長度(cm)	8	6	4
成像照片			

表16. 下底長度與成像徑長變化紀錄表									
下底長 (cm)	4	6	8	10	12	14	16	18	20
成像 徑長 (cm)									
1	9.35	5.65	4.30	3.25	3.01	2.80	2.35	2.10	2.00
2	9.00	5.90	4.40	3.20	3.05	2.70	2.40	2.35	2.20
3	9.15	5.65	4.50	3.20	3.10	2.70	2.30	2.25	2.05
4	9.17	5.73	4.40	3.22	3.05	2.73	2.35	2.23	2.08

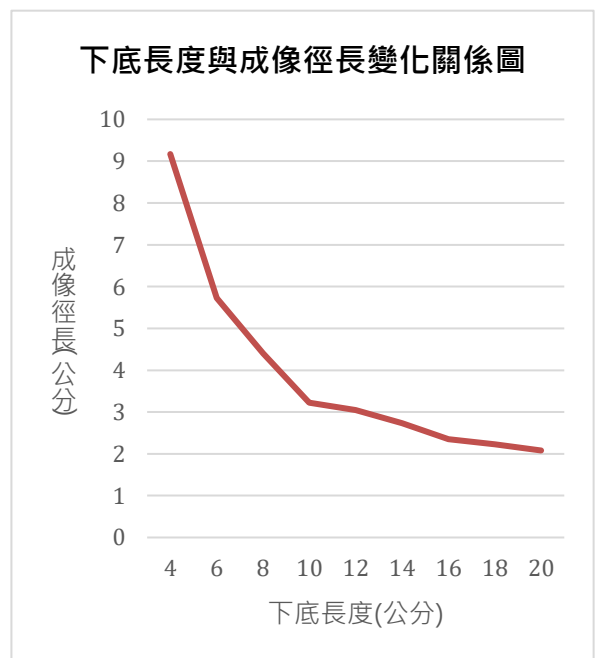
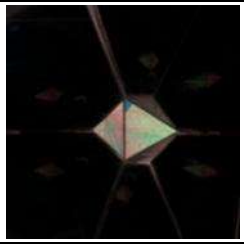
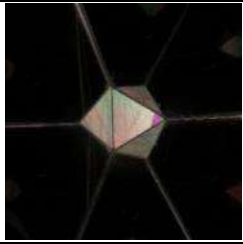
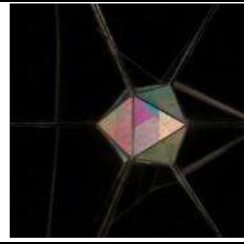
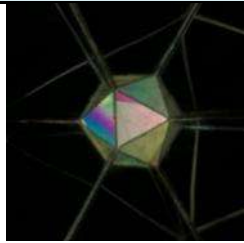
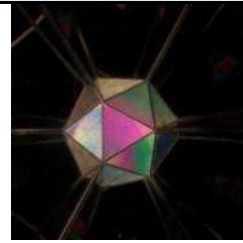

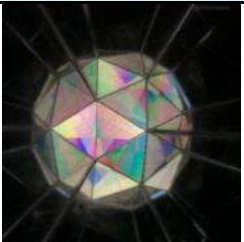

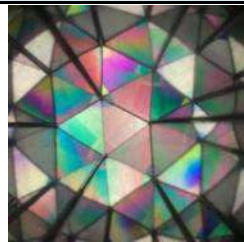


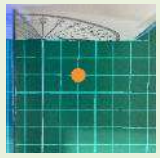
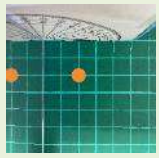
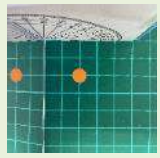
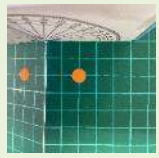
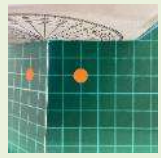
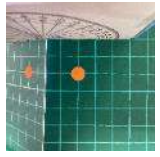

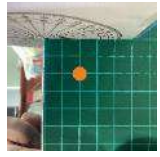


表17. 上底1公分，下底長度改變，視窗加入偏光片組，成像變化紀錄			
下底長度(cm)	10	9	8
成像照片			
下底長度(cm)	7	6	5
成像照片			
下底長度(cm)	4	3	2
成像照片			

【歸納與發現】：

- 1.鏡片傾斜的萬花筒，從第一次反射開始，成像就有變形縮短的現象。
- 2.隨著梯型下底長度增加，組合成鏡筒後，鏡片越傾斜，成像縮短得越明顯，徑長越短。
- 3.本體的視窗放入偏光片時，反射出來的顏色會有變化。

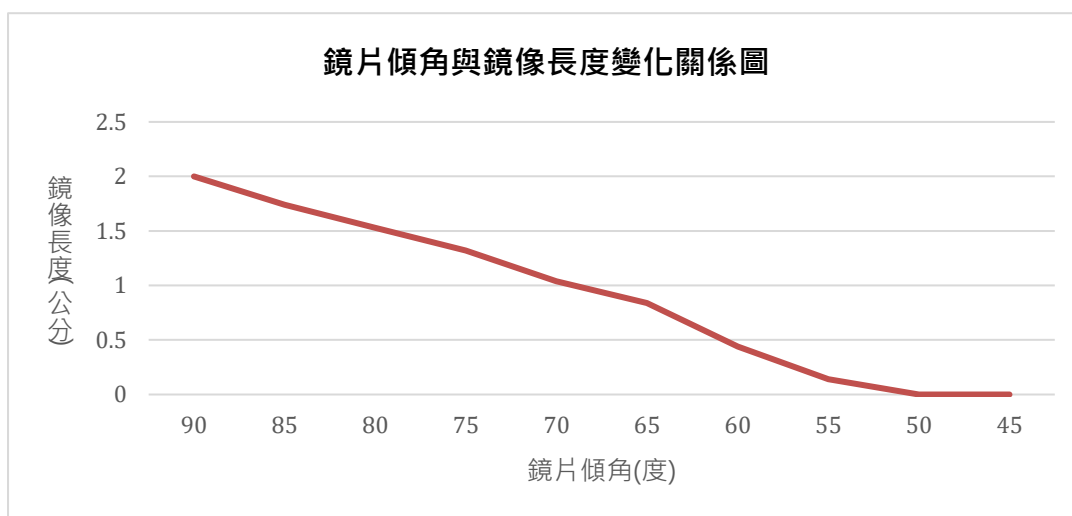
【問題五之1】：改變鏡片的傾斜度對成像有何影響？

【研究結果】：1.改變鏡片傾角後鏡像長度變化拍照記錄

傾斜角度(度)	90	85	80	75	70
照片					
傾斜角度(度)	65	60	55	50	45
照片					

2.印出照片後，進行測量，紀錄如下:

傾斜角度 (度) 鏡像 長度(公分) 次序	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45
第一次	2.00	1.81	1.60	1.15	0.99	0.92	0.25	0.00	0.00	0.00
第二次	2.00	1.66	1.44	1.42	1.09	0.74	0.56	0.32	0.00	0.00
第三次	2.00	1.85	1.60	1.29	0.99	0.91	0.32	0.00	0.00	0.00
第四次	2.00	1.69	1.50	1.42	1.09	0.75	0.59	0.29	0.00	0.00
第五次	2.00	1.80	1.60	1.20	0.98	0.91	0.30	0.00	0.00	0.00
第六次	2.00	1.65	1.45	1.41	1.10	0.78	0.60	0.21	0.00	0.00
平均	2.00	1.74	1.53	1.32	1.04	0.84	0.44	0.14	0.00	0.00



【歸納與發現】：鏡片傾斜角度越大，鏡像的長度越短，圖形壓縮得越明顯。

【問題六】：物件背板透明還是霧狀對成像有何影響？

【研究結果】：

- 三種壓克力片放在同樣照度的環境看到的視覺效果，縱橫向都有雷雕1mm直線的這組最亮，只有縱向雷雕1mm的次之，沒有被雷雕的壓克力最暗。

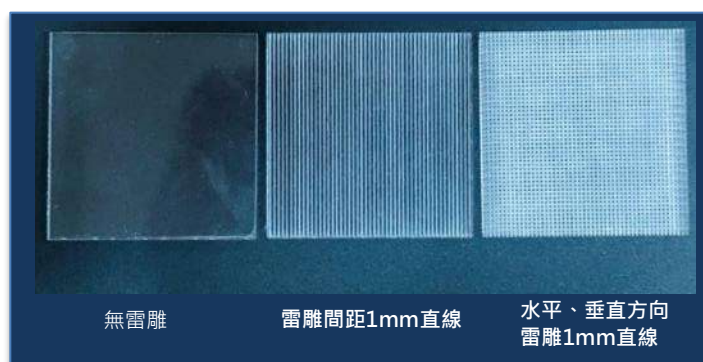
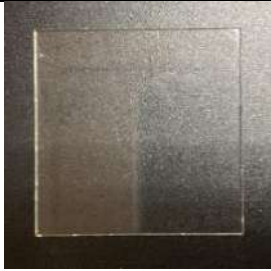

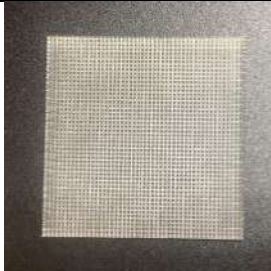











圖30.不同表面雷雕處理後亮度比較

- 分別用相同的照光方式在成像拍攝架上拍下來比較：

表18.背板照光記錄			
背板條件	平滑	橫向雷雕1mm直線	縱橫向雷雕1mm直線
照光結果 (側邊光源)			

從上表可以發現仍是縱橫向都有雷雕1mm直線的這組最亮，只有縱向雷雕1mm的次之，沒有被雷雕的平滑壓克力最暗。

3.將壓克力板置於鏡筒底端觀察背景的遮蔽效果:

表19. 背版測試紀錄			
背板條件	平滑	橫向雷雕1mm直線	縱橫向均雷雕1mm直線
鏡筒無物件 背景有物件			
鏡筒有物件 (背景加入手)			
鏡筒有物件 背景呈現情形			

【歸納與發現】：

1. 有雷雕紋路的壓克力片，反射光的效果較好。
2. 有雷雕紋路的壓克力片具有阻隔背景景物的效果。

3. 背板霧化可以增加物件的亮度，同時有遮蔽背景的效果，讓萬花筒的物件成像更清晰。

【問題七】：如何應用研究發現來研發新型萬花筒？

【研究結果】：



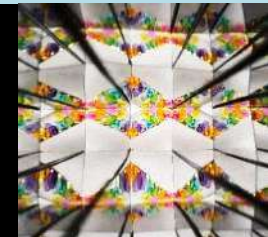






1. 各式柱狀萬花筒研發，目前研發的作品有三種：

(1).**魅力四射萬花筒**：由4片鏡片組成的正4角柱鏡筒，產生方方正正的成像框格。在對角線的方向以裝有水和彩色珠的試管作為物件。隨著試管的傾斜轉動，彩色珠因重力而緩慢移動，產生有趣的幾何線條感。物件盒後方直接以景物為背景，讓試管內的物件更顯晶亮。

(2).**滾動星球萬花筒**：由6片鏡片組成的正六角柱鏡筒，形成無限延伸的視窗。物件盒內裝藍色透明塑膠珠，鏡筒放入透明壓克力球。隨著鏡筒的傾斜變化，壓克力球會前後滾動，物件會因球體折射變形，讓完整成像很有星球感。

(3).**光之花萬花筒**：由12片鏡片組成的正12角柱鏡筒，周圍12片散射狀的反射成像猶如花瓣一般。加上偏光片與膠帶組成的視窗。隨著鏡筒轉動會有不同的顏色產生，呼應花的繽紛色彩。

表20. 自製筒狀萬花筒名稱及外觀及成像情形

外觀	成像情形	
魅力四射萬花筒 		
滾動星球萬花筒 		
光之花萬花筒 		

2.炫光寶石萬花筒的研發：

(1).偏光片不同傾斜角比較：

表21.不同傾斜角偏光片成色觀察及加上塔型萬花筒後成像觀察紀錄									
	視角傾斜角度(度)								塔型萬花筒成像
	90	80	70	60	50	40	30	20	
1層膠帶									
2層膠帶									
3層膠帶									
4層膠帶									

1.兩片偏光片中膠帶層數不同會有不同顏色，視線與偏光片間的夾角會影響看到的顏色。塔型萬花筒的成像越往外顏色越接近低視角的顏色。

2.膠帶層數不同會有不同的變色範圍，如一層膠帶是紫、黃色色系；三層膠帶是飽滿的綠色、桃色系。可以依照自己的喜好來決定膠帶層數。譬如希望炫光寶石的變色範圍多一點，可以讓偏光片的膠帶有1-4層不同層數的交錯堆疊。

(2).不同類型光源的成像比較：

表22.不同光源的塔型萬花筒成像				
	1層膠帶	2層膠帶	3層膠帶	4層膠帶
1條燈條				
2條燈條				
暖光燈環				
白光燈環				

【發現】：燈源類型會影響成像，燈條與燈環的成色不同。白光燈環較偏藍色系。

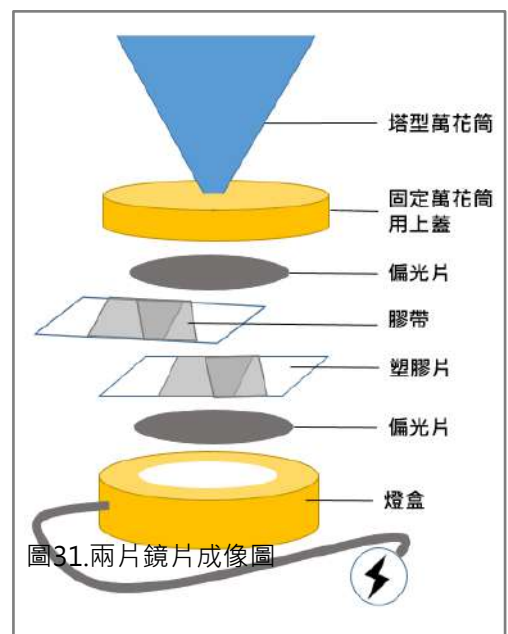
(3). 第一代設計思維：

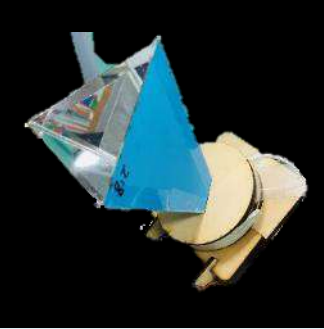
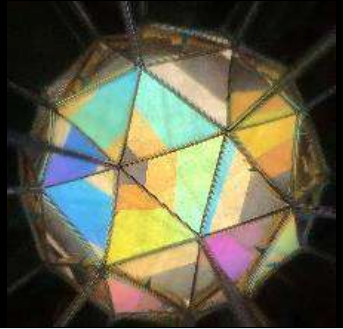
光柵：在塔型萬花筒底部和底部燈座上分別放偏光片並讓兩片重疊時光柵互相垂直(不透光)。

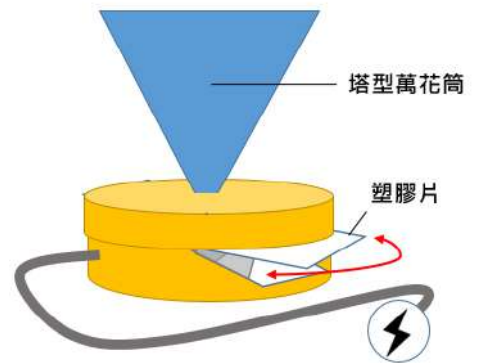
旋光用膠帶：兩片塑膠片分別貼上交錯的兩層膠帶。這樣就有機會出現1至4層的變化。

塔型萬花筒：考慮觀察者眼睛位置，選用上底:下底:高=2:8:10的塔型萬花筒。

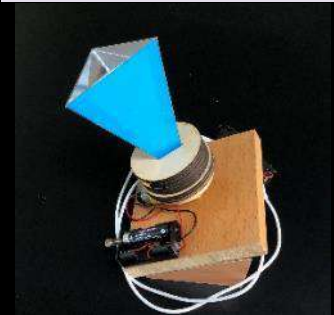

實作測試：

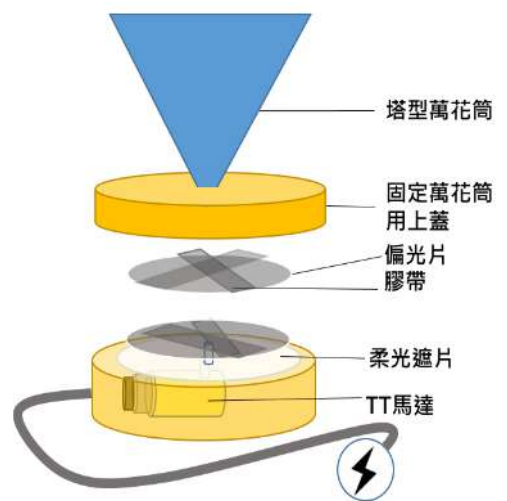


第一代炫光寶石萬花筒 手動模式	
外型	成像
	
移動塑膠片就會改變圖案形狀和顏色。	

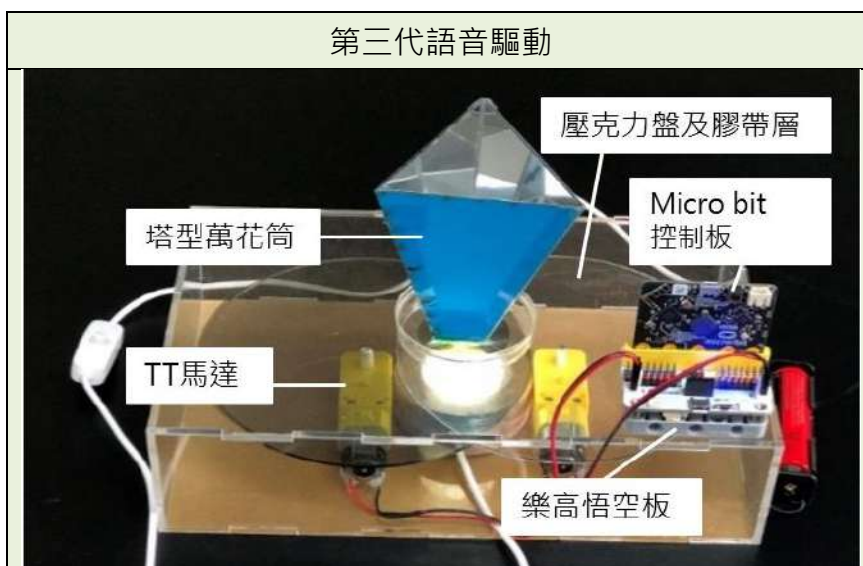


(4).第二代設計思維：用馬達來帶動膠帶與偏光片。

第二代炫光寶石萬花筒 電動模式	
外型	成像
	
開啟電源會看到不斷改變圖案及顏色的成像。	



(5).第三代設計思維：透過 micro:bit 連結語音輸入裝置、輸入程式設計碼後，即可透過語音輸入分別控制裝置中的馬達，達到改變顏色或改變圖案的效果。



伍、討論

一、製作萬花筒要用幾片鏡片？

(一) 2片鏡片萬花筒鏡像會圍成圓形

從十字弓萬花筒及我們的【研究問題二】的結果可以發現，只要有兩片鏡片就可以組成一個萬花筒。兩片鏡片夾角越小，成像會越接近圓形。不過，當兩片鏡片的寬度太寬時，會因為眼睛視野的侷限性，及視線焦點來決定可視範圍，所以不一定能看見圍成完整組成圓形的成像群。所以如果要製作兩片鏡片的萬花筒，建議鏡片寬度不宜太寬。

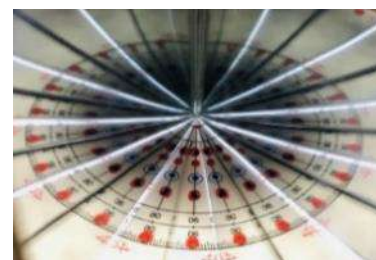


圖31.兩片鏡片成像圖

(二) 3.4.6片鏡片萬花筒鏡像完整，有平面延展視覺

在三片以上鏡片組成的萬花筒中，正三角柱、正四角柱、正六角柱產生的鏡射圖像與本體形狀一致性高，容易有無限平面延展的視覺效果。我們嘗試分析這種現象的成因，應與這些多邊形內角的角度大小有關，下表列出這些多邊形內角的角度，並計算此內角是否可以整除周角 360° ，結果如下表：

底面形狀	三邊形	四邊形	五邊形	六邊形	七邊形	八邊形
內角角度	60°	90°	108°	120°	128.57°	135°
$360^\circ/\text{內角}$	6	4	3.3	3	2.8	2.67
可否整除	○	○	×	○	×	×

底面形狀	九邊形	十邊形	十二邊形	十五邊形	十八邊形	二十邊形
內角角度	140°	144°	150°	156°	160°	162°
$360^\circ/\text{內角}$	2.57	2.5	2.4	2.31	2.25	2.22
可否整除	×	×	×	×	×	×

從上表可以發現角柱底面為正三、四、六邊形時，整數個內角的角度和會等於 360° 。這樣的條件，使得第一次成像緊密接合，視覺上有平面延展的效果。

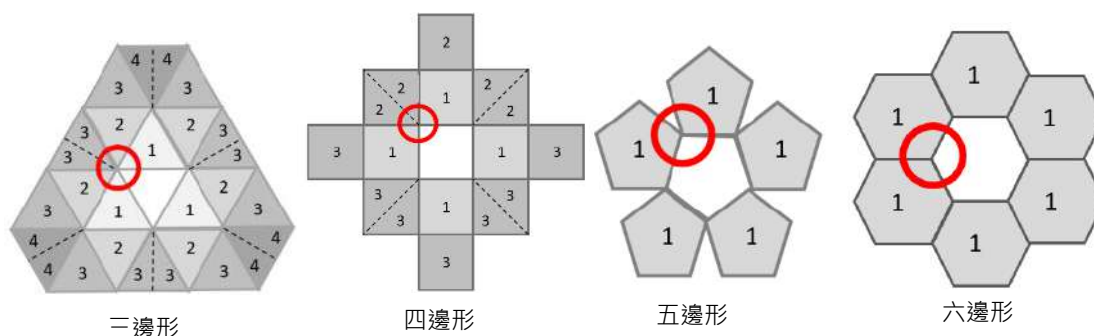


圖32.三、四、五、六片鏡片組成萬花筒第一次反射成像接合示意圖

(三) 鏡片數多本體大，第一次成像似花瓣

正五邊形在本體周圍除了五個第一次反射的圖像外，還有10個第二次反射的破碎鏡像，所以有較凌亂的視覺感。

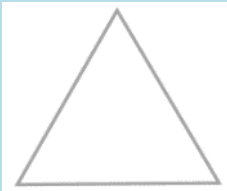


隨著鏡片數增加，底面的多邊形邊數繼續增加，本體逐漸變大，第一次反射面也隨之變大，幾乎佔據了視窗，所以畫面會有大塊狀的視覺感。隨著本體與鏡像大小的對比越來越明顯，本體漸漸有浮凸的視覺感。

二、萬花筒鏡片長度與寬度要多大?

製作萬花筒的鏡片要多長好呢? 鏡片的長度決定了觀察物件與眼睛間的距離。根據【研究問題三】的發現: 成像大小與鏡片長度成反比，鏡片短一點，成像會大一點。【研究問題四】發現鏡片寬一點，成像會大一點。如果以成本考量，鏡子窄一點成像會變小，只要縮短鏡片成像就可以變大回來，所以窄窄短短的萬花筒會是最省材料的。

可是，人的眼睛畢竟不是相機，會有視覺的限制。根據KKnews和百度百科的訊息指出: 一般人的明視距離是25公分，意思是一般人近距離觀察的舒適距離為25公分。正常人眼的近點距離約為10公分，意思是10公分是觀察物離眼睛最近的點。這時眼睛為了讓光可以聚焦到視網膜上，水晶體會變得很凸出，表面彎曲度很大。長期這樣看東西，眼睛很容易疲勞。對小孩來說，眼球的曲度彈性好，調節聚焦的能力較佳。老年人眼球的彈性相對弱很多，有時太近便無法對焦，看到的畫面會比較模糊。所以，可以依照萬花筒使用者的視力狀態來評估萬花筒的長度，給長者的鏡筒可以長一點，約在25公分。給小孩的鏡筒可以比25公分短些。

除了視力的考量，成像的大小也會影響視覺的豐富度。相同的面積大小條件下，邊長越小，成像數相對越多，如下表的示意圖，且成像數與邊長倍數的平方成反比。

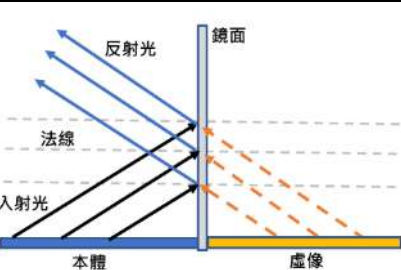
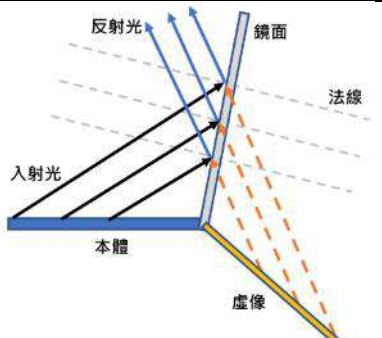
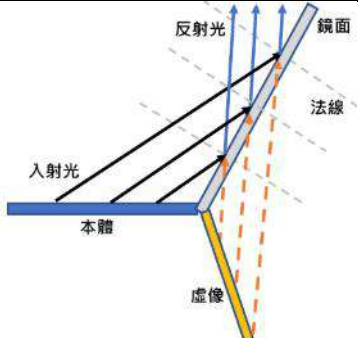
邊長	4	2	1
成像數	1	4	16
示意圖			

鏡片寬度的變化與長度變化對成像大小的影響恰恰相反，鏡片越寬則萬花筒成像越大，視窗裡的成像數會變少，視覺效果較單純化；鏡片越窄萬花筒本體越小，成像也越小，鏡像數越多。可依照視覺需求設計。

另一個我們在決定萬花筒長度需要考慮的因素是變形的問題，當鏡片長度越長，彎曲變形的機會就會越高。鏡片長度越短，相對的產生誤差所造成的影響度也會增加。

三、塔型萬花筒為何會有的浮凸效果?

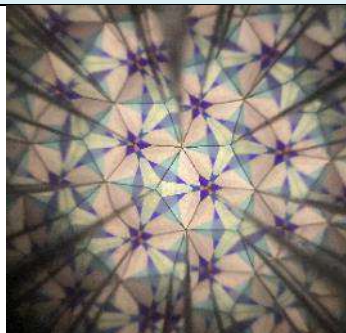

根據【研究問題五】，塔型萬花筒鏡片的下底越長，也就是上底與下底的比值越小時，成像的浮凸效果越明顯，本體成像的面積越小。【研究問題五之一】我們發現鏡片傾斜角度越大，成像壓縮得越厲害，高度越矮。我們嘗試用下面的解說圖來說明：

表24.鏡片傾斜度與成像變化解說表		
鏡片與本體畫面垂直	鏡片微傾斜10度	鏡片微傾斜傾斜30度
		

當鏡面垂直時，鏡面反射的虛像與本體互相對稱，大小一致。當鏡面逐漸傾斜，鏡中的虛像的位置及高度會隨著變短，且越外側感覺越低，所以眼睛看到的成像會有浮凸的感覺。

四、塔型萬花筒的變色機制

當塔型萬花筒搭配偏光片時，每一個成像窗格會有不同的顏色。同樣的偏光片用在三角柱萬花筒上，並不會有單格反射成像色彩明顯的改變的現象。

表25.柱形萬花筒與塔型萬花筒成像比較表	
三角柱成像	塔型萬花筒成像
	

觀察塔型萬花筒與偏光片組合的成像，我們發現鏡像窗格色彩變化很大，與本體的顏色明顯不同。參照【問題七】表21.的紀錄可以發現：不同視角觀察偏光片膠帶組合會看到不同的光色，且塔型萬花筒球形成像周圍的顏色較接近低視角的光色。我們推測是因為偏光片的偏振與膠帶旋光效果及傾斜鏡片反射特性一起作用後，僅有恰巧在某些方向的光色可以進到位於正上方的相機快門。下表是我們分別用R.G.B三種光源來觀察，會發現單色光的成像即有些亮有些暗，如果三色光同時開啟，合成的光就會有不同的合成色光。關於這些神奇的現象，背後更精確的機制仍需更多研究才能有更完整的說明。

表26.光源通過夾一層膠帶垂直交角的兩片偏光片後在塔型萬花筒的成像比較表

R G B 三色全亮	R 252	G 252	B 252
			

除了觀測角度會影響成像的光色，光源種類也是變項之一，根據表22.的紀錄可以發現不同層數的膠帶會有不同的顏色區間，而不同光源則會不同色調的展現。所以可以依照需求選擇燈源，譬如喜歡冷色系的就可以選白LED燈；喜歡低調奢華的就用1層膠帶。

陸、結論

- 一、萬花筒的構造與功能: 萬花筒是由被觀察物、鏡筒和視窗組合而成。有些萬花筒有物件盒，主要是靠地球引力來控制，有些是靠手轉動固定的彩色背板來使圖案移動，造成本體圖像的變化，再透過鏡片的多次反射，使得視窗看見的是多層次連動的本體鏡射成像。霧化處理過的物件背板可以有效遮蔽背景，同時因為光的漫射現象，讓萬花筒成像的亮度提高。
- 二、萬花筒的鏡片越寬、越短，形成的鏡射影像越大，成像數越少，視覺效果越簡潔；萬花筒的鏡片越窄、越長，觀察到的圖案越小，反射次數越多，圖案越豐富。鏡片增長一倍，成像數會變成4倍。
- 三、鏡片數3、4、6片時，成像圖形會與本體相同，形成的單塊圖像具一致性，有平面延展的效果。5.7片等非360因數的鏡片數，無法完整反射，易有破碎的成像，影響美感。8、9、10、12邊數的第一次反射成像會包圍本體，成像感覺似花瓣。

四、以梯形鏡片組成的塔型萬花筒會因鏡片傾斜角度而造成浮凸的效果。上底、下底的比值越接近1，成像變小的比率較小，浮凸效果有限，延伸性仍佳；隨著下底長度增長，上下底比值越來越小，視覺浮凸效果越明顯，但成像徑長越來越短。比值越小傾斜度越大，球體面積越小。

五、綜合我們的研究，要能「恣意」的創作萬花筒，首先先依據使用者的明視距離來決定鏡片長度，接著再調整鏡片寬度來控制成像的複雜度，寬度提高則複雜度降低；如果想要有花朵般的視覺效果，建議鏡片數提高到8層以上。接著要考慮觀察物件，如果是要關注在物件盒，建議背板要霧化處理，物件要選擇透光度佳的。

六、我們應用研究結果研發了4種特色萬花筒:魅力四射、滾動星球、光之花及炫光寶石萬花筒。其中結合塔型萬花筒與偏光片、膠帶組成的炫光寶石萬花筒，透過程式設計及智慧晶片的控制，讓萬花筒可以變成一種聲控燈飾，可以讓更多人一窺科學之美。

柒、參考文獻資料

一、參考書籍:

- 1.山見浩司(2017)。世界級萬花筒輕鬆手做。台北:方言文化。
- 2.福田佳亮(2015)。手作萬華鏡。東京都:
3. 國小自然科學第二冊，有趣的聲光現象(2022)。台南市：翰林出版。第四版。

二、網路資源:

- 1.隱身北海道富良野，鏡中的花之小宇宙。Wei。
<https://www.travelerluxe.com/article/desc/170000705>
2. 維納斯的惡作劇---偏光形成的色彩現象。陳亭妤、林艷麗、邱晨方、弘裕群(2009)。全國科展作品說明書。
- 3.轉吧!轉吧!七彩萬花筒。潘柏瑋、馮威翔(2009)。全國科展作品說明書。
- 4.鏡花水月一萬花筒Part1。邱凱文。泛科學。<https://pansci.asia/archives/49835>
- 5.萬花筒(一種科學玩具)。百度百科。
<https://baike.baidu.hk/item/%E8%90%AC%E8%8A%B1%E7%AD%92/5982>
- 6.百度百科，明視距離。
<https://baike.baidu.hk/item/%E6%98%8E%E8%A6%96%E8%B7%9D%E9%9B%A2/7879661>
- 7.魔幻變色鏡。科學遊戲實驗室。許良榮。<https://scigame.ntcu.edu.tw/light/light-012.html>

【評語】 082822

※研究方法主要是通過實際操作和觀察來了解萬花筒的工作原理。這種方法有助於直觀地理解萬花筒內部的結構和工作方式。

※多角度探討：研究涉及到多種因素，如鏡片數量、鏡片角度和物件的變化，這樣可以幫助全面理解萬花筒的工作原理。

※不僅進行了理論研究，還根據研究結果創作出了多種特色的萬花筒，這是一種很好的學習和研究方法。

※第三代設計思維：透過 micro:bit 連結語音輸入裝置、輸入程式設計碼這樣的設計與直接使用電腦模擬畫面是否更能增加電子的優勢。

※萬花的設計除了用光學折射和顏色圖案變化之外，是否能與療癒與放鬆結合，可以做實驗。

作品海報

摘要

萬花筒之所以可以千變萬化，是因為受重力作用而隨機變化的物件及產生無限反射的鏡片組。柱狀萬花筒鏡片數為2時，夾角越小成像數越多、越趨近圓形；鏡片數為3、4、6時，能形成完整成像，有無限延伸的視覺效果；鏡片數為8、9、10、12時，成像類似花蕊和花瓣。塔型萬花筒的成像有球體浮凸效果，斜邊越傾斜，球形成像越浮凸，徑長越短；搭配偏光片和膠帶為物件時，會產生與本體不同的繽紛色彩。我們根據研究結果研發出魅力四射、滾動星球、光之花等特色萬花筒，其中炫光寶石萬花筒與機電整合成聲控變色小夜燈。

壹、研究動機

四年級自然課上到光的單元時，覺得萬花筒可以產生變幻莫測的光，很美、很神奇！五年級暑假的科學營隊，我們收集各種萬花筒，仔細的觀察了成像過程後，進行分類。

一、常見萬花筒成像觀察

名稱	外觀	成像	名稱	外觀	成像
望遠鏡萬花筒			水晶球萬花筒		
十字弓萬花筒			鐵塔萬花筒		
風車萬花筒			偏光片萬花筒		

二、常見萬花筒的分類



大部分的萬花筒都是靠地球引力來改變圖案，鏡片的數量與夾角對成像有很大的影響。十字弓萬花筒只有兩片鏡片，有接近圓形的多邊形成像；塔型萬花筒會像球體般的浮凸效果；偏光片萬花筒轉動後會變色.....。我們越觀察越發覺萬花筒藏著大學問，也想發明有特色的萬花筒，於是展開了我們的探究旅程。

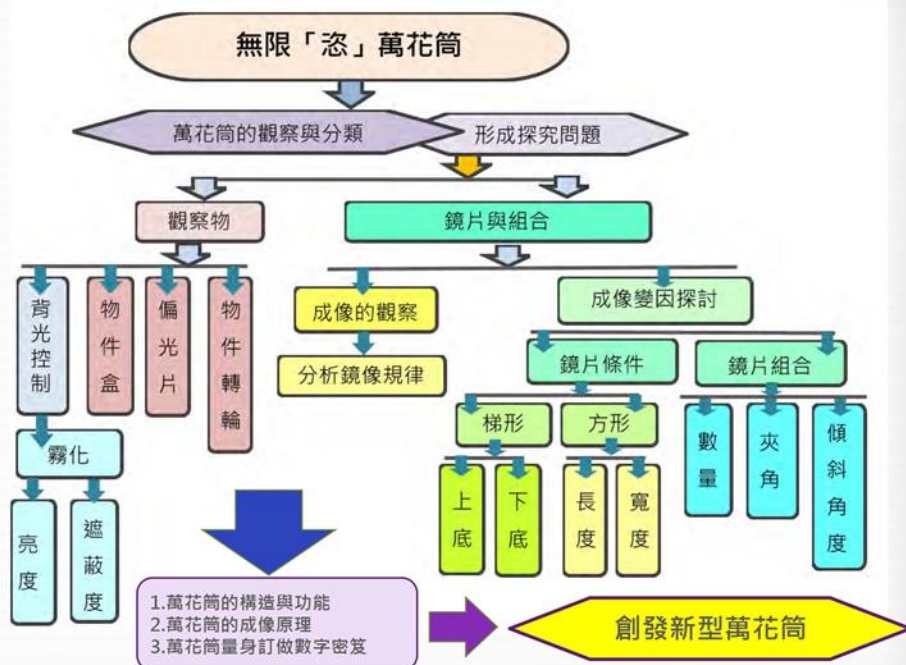
貳、研究目的

- 一、觀察萬花筒結構與功能的關聯。
- 二、比較不同長寬比的鏡片對三角柱萬花筒成像的影響。
- 三、比較不同鏡片數對柱狀萬花筒成像的影響。
- 四、比較鏡片傾斜度對塔型萬花筒成像的影響。
- 五、提出製作柱狀、塔型萬花筒的相關條件數值建議。
- 六、創作萬花筒。

參、研究設備及器材



肆、研究過程與發現



【問題一】：改變兩片鏡片夾角對成像有何影響？

【研究方法】：分別從水平及垂直視角觀察不同鏡片夾角成像。

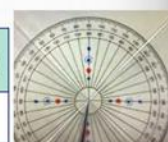
【研究結果】：水平視角觀察立體物的成像數紀錄表：

鏡片夾角(度)	90	60	45	30	20	15
成像數(個)	4	6	8	12	18	24



垂直視角觀察立體物的成像數紀錄表：

鏡片夾角(度)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
成像數(個)	32	18	12	9	7	6	5	4	4



【分析與發現】：鏡片夾角度數可以整除360°時，有完整成像。

鏡片夾角越小、成像越多，從垂直視角觀察成像越接近圓形。

【問題二】：萬花筒如何反射出無限重複的影像？

【研究方法】：改變鏡面數，並以垂直拍攝架拍照後觀察。

【研究結果】：鏡筒內裝置不同鏡面數時的成像紀錄如下：

	不同鏡面數萬花筒成像				實體物觀察
	無鏡面	1個鏡面	2個鏡面	3個鏡面	
鏡筒內的成像					 第二面鏡子逐漸升高 成像數大量增加
推論成像順序					

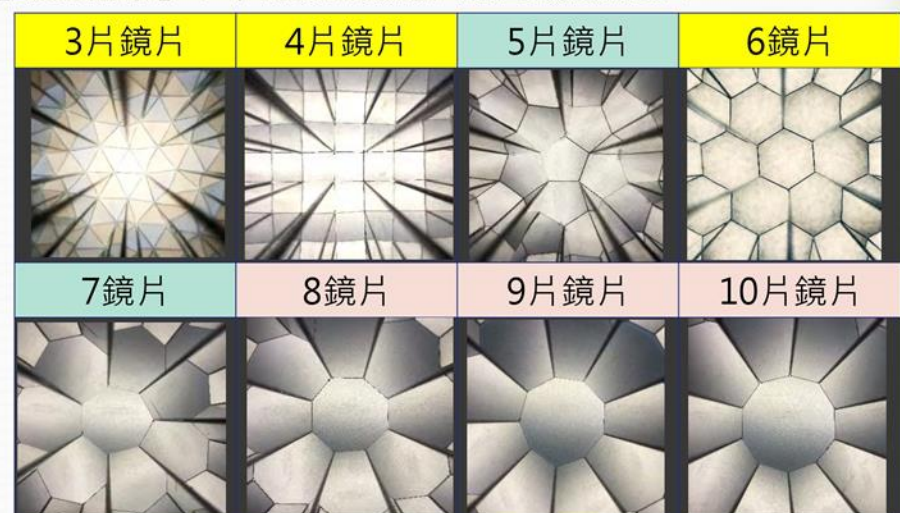
【分析與發現】：

1. 沒有鏡面時，只會看到本體。
2. 一個鏡面只有一次反射。兩個鏡面會有第三次反射。當第三個鏡面加入後，就有無限反射，產生無限延伸的視覺效果。

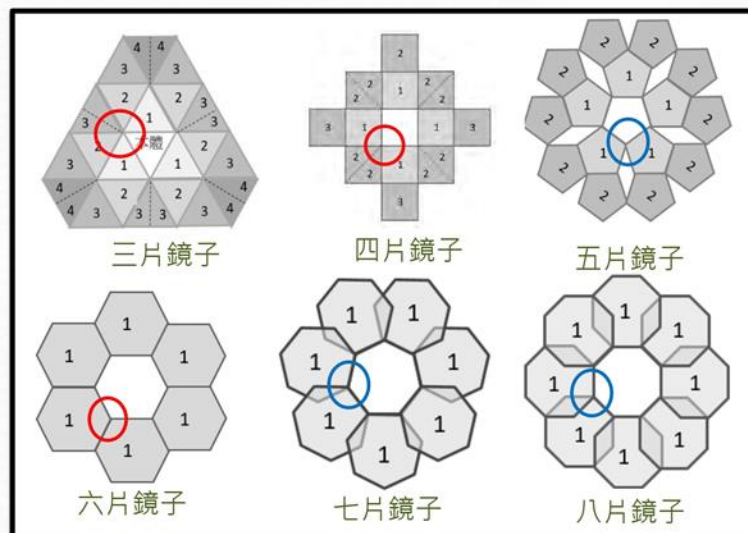
【問題三】：改變萬花筒的鏡片數對成像有何影響？

【研究方法】：製作鏡片大小相同數量不同的萬花筒進行觀察。

【研究結果】：不同鏡片數的萬花筒成像紀錄：



3. 我們推論出成像過程如下圖：



【分析與發現】：

- 1.三、四、六片鏡片的萬花筒，成像圖形完整，有平面延伸的視覺效果；五、七片鏡片的成像顯得凌亂。
- 2.三、四、六片鏡片的萬花筒，本體的內角與鄰近成像的內角剛好可以圍成周角，內角可以整除360° 會有完整成像。

底面邊數	三	四	五	六	七	八
內角角度	60°	90°	108°	120°	128.6°	135°
360°/內角	6	4	3.3	3	2.8	2.67
可否整除	○	○	×	○	×	×

3.八片以上，隨著鏡片數越來越多，本體會越來越大，周圍的成像越來越瘦長呈放射狀，造成本體有相對的浮凸感，整體看起來像花朵。

【問題四】：改變筒形萬花筒鏡片的長度對成像有何影響？

【研究方法】：製作不同長度、相同寬度的鏡片製作萬花筒進行觀察。

【研究結果】：不同鏡片長度、相同鏡片寬度，成像本體長度測量紀錄：

鏡片長度	10cm	20cm	30cm
鏡片寬度 2公分			

【分析與發現】：我們發現鏡筒越長成像越多、越小，視覺效果越繁複。

【問題五】：改變萬花筒鏡片的寬度對成像有何影響？

【研究方法】：製作不同寬度、相同長度的鏡片製作萬花筒進行觀察。

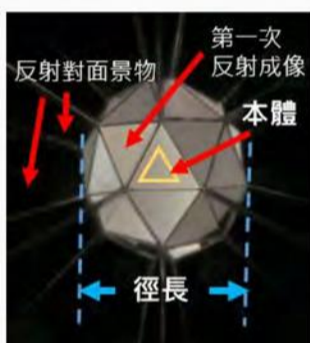
鏡片寬度	2cm	4cm	6cm
鏡片長度 15公分			

【分析與發現】：我們發現鏡筒越長成像越少、越大，視覺效果越簡約。

【問題六】：塔型萬花筒鏡片的傾斜度對成像有何影響？

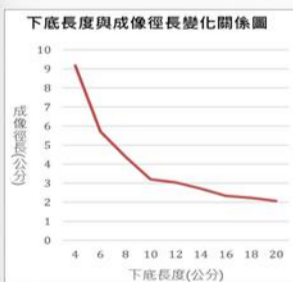
【研究方法】：製作鏡片傾斜度不同的萬花筒進行觀察。

下底長	10 cm	9cm	8 cm
成像			
下底長	7cm	6cm	5cm
成像			
下底長	4cm	3cm	2cm
成像			



【分析與發現】：
1.塔型萬花筒的成像分為反射本體的部分和反射對面景物的部分。

2.反射本體的部分，成像會有壓縮變形的現象，造成浮凸的視覺效果。



3.鏡片越傾斜，成像縮短得越明顯，徑長越短。

萬花筒加偏光片成像比較	
筒形: 成像形狀、顏色與本體相同	塔型: 形狀與本體相同顏色多變化

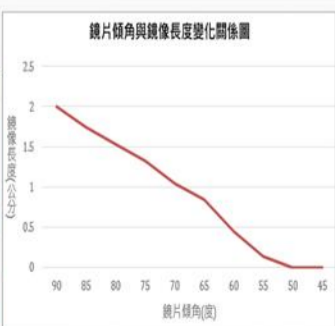
4.本體的視窗放入偏光片時，成像顏色與本體不同。偏光片搭配筒型萬花筒，並不會有單格反射成像色彩明顯的改變的現象。

【問題七】：改變鏡片的傾斜度對成像有何影響？

【研究方法】：測量固定點隨鏡片傾斜度改變的鏡像距離後進行分析。

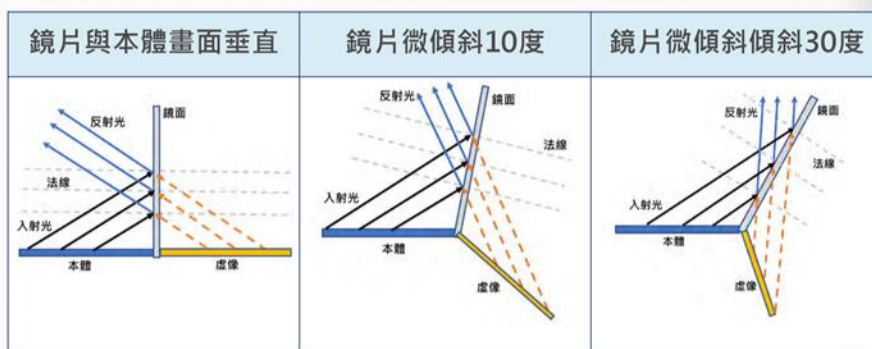
【研究結果】：拍攝紀錄如下：

傾斜角度(度)	90	85	80	75	70
照片					
傾斜角度(度)	65	60	55	50	45
照片					



【分析與發現】：1.鏡片傾斜角度越大，鏡像長度越短，圖形壓縮越明顯。

2.當鏡面是垂直時，鏡面反射的虛像與本體互相對稱，大小一致。當鏡面逐漸傾斜，鏡中的虛像的位置及高度會隨著變短，且越外側感覺越低，所以眼睛看到的成像會有浮凸的感覺。



【問題八】、偏光片如何影響塔型萬花筒的顏色？

【研究方法】：我們先把偏光片夾不同層數的膠帶後，放在成像拍攝架上，從高視角到低視角觀察顏色的變化情形。

	從不同傾斜角觀察偏光片成色							塔型萬花筒成像	
	視角傾斜角度(度)								
	90	80	70	60	50	40	30	20	
1層膠帶									
2層膠帶									
3層膠帶									
4層膠帶									

【分析與發現】：我們發現不同層數膠帶會產生不同的顏色，視角從高到低也會看到不同的顏色。再把塔型萬花筒的放上去進行觀察。我們發現成像越往外顏色越接近低視角的顏色。

【研究方法】：觀察用紅、綠、藍及白光，分別透過偏光片及不透過偏光片後，在塔型萬花筒的成像情形。

塔型萬花筒家偏光片組不同色光下的成像比較表				
光源	紅光 R 252	綠光 G 252	藍光 B 252	三色全亮
無偏光片				
有偏光片				

【分析與發現】：無偏光片成像顏色較均勻，R.G.B三色全亮組成的是白色。有偏光片的這組，單色光的成像即有些亮有些暗，如果三色光同時開啟，就會組合出與本體不同的色光。

【問題九】、不同光源對塔型萬花筒成像有何影響？

【研究方法】：比較暖光燈環和白光燈環透過塔型萬花筒後的成像。

不同光源的塔型萬花筒成像				
	1層膠帶	2層膠帶	3層膠帶	4層膠帶
暖光燈環				
白光燈環				

【發現】：暖光產生成像顏色與白光明顯不同，白光燈環的成像較偏藍色系。

【問題十】：物件盒背板透明還是霧狀對成像有何影響？

【研究方法】：雷雕出光滑、橫向、縱橫向雷雕的三種壓克力板進行觀察。

【研究結果】：物件背板觀察紀錄：

背板條件	平滑	橫向雷雕	縱橫向雷雕
照光結果 (側邊光源)			
鏡筒無物件 背景有物件			

【歸納與發現】：縱橫向都雷雕的壓克力板對背景最有遮蔽性，且亮度是最亮的。

伍、創新發明與機電整合

一、筒形萬花筒研發：

(一)、設計思維：

1. 鏡片大小影響成像大小

成像大小與鏡片長度成反比，與寬度成正比。鏡片短一點，鏡片寬一點，都會讓成像變大，成像較簡約。

2. 材料成本考量

鏡片窄一點、短一點可以省材料。

3. 考慮明視距離及近點距離

一般人的明視距離是25cm，近視眼的明視距離較短，遠視眼的明視距離較長。一般人眼力的近點距離為10cm，也就是眼球可以調節聚焦的最近距離為10cm，年長者的眼球調整度較低，可能會長一點。鏡片大小應考慮使用者的需求。我們先以25cm長的鏡片來設計。

(二)、研發筒形萬花筒如下：

魅力四射萬花筒	滾動星球萬花筒	光之花萬花筒
由四片鏡片組成，有方方正正的成像框格，加上在試管中的彩色珠珠分布在對角線的方向，產生有趣的幾何線條感	滾動星球萬花筒，六片鏡片組成，鏡筒內放入透明壓克力球，鏡筒傾斜球就滾動，讓成像有星球感。	光之花萬花筒，由十二片鏡片組成大本體與周圍圍成像狹長似花瓣。花朵造型搭上偏光片轉動充滿光之美。

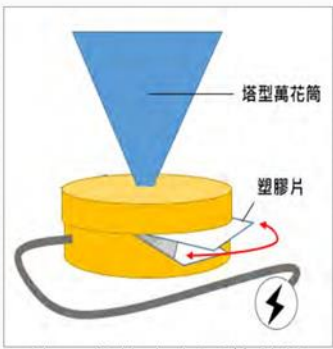
二、塔形萬花筒研發：

第一代炫光寶石萬花筒設計思維：

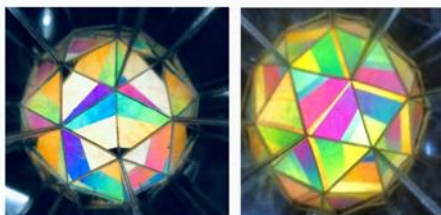
光柵：在塔型萬花筒底部和底部燈座上分別放偏光片並讓兩片重疊時光柵互相垂直(不透光)。

旋光用膠帶：兩片塑膠片分別貼上1-2兩層膠帶。移動膠片就會有1至4層的厚度變化，因而改變圖案與顏色。

塔型萬花筒：考慮觀察者眼睛位置，選用上底:下底:高=2:8:10的塔型萬花筒。



第一代炫光寶石萬花筒設計說明圖

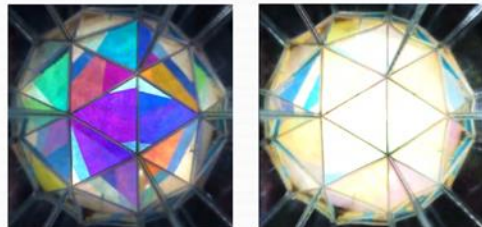


第一代炫光寶石成像

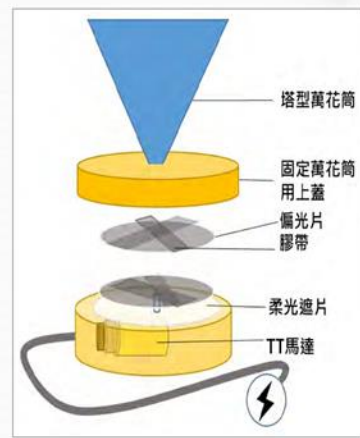
第二代電動旋轉模式：

將膠帶直接黏在偏光片上，再將偏光片與TT馬達結合。TT馬達轉動即變色變圖案。

缺點：轉速過快且光柵反覆開關，會有爆光感。



第二代炫光寶石成像



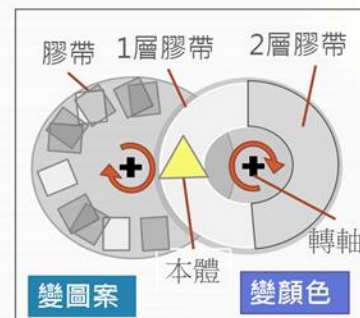
第二代炫光寶石萬花筒設計

第三代機電整合模式：

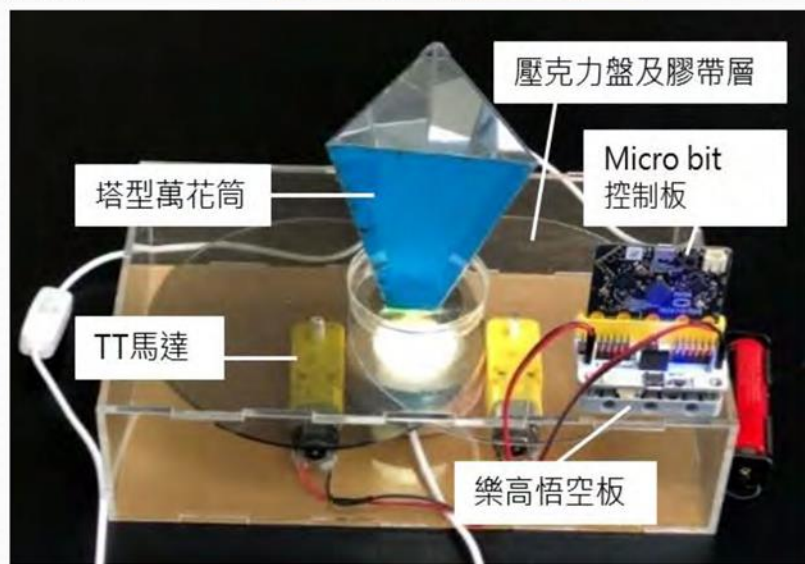
1.以makecode 進行程式編碼，透過micro: bit控制TT馬達的轉速。加入悟空擴充板，透過語音輸入方式來控制左右TT馬達。

2.TT馬達轉動會帶動兩片偏光片中間的兩組壓克力圓盤。圓盤上的膠帶以不同方式黏貼

·本體視窗位於交疊處，轉動左右圓盤分別會改變顏色或圖案。



第三代炫光寶石萬花筒的設計



第三代機電整合聲控的炫光寶石萬花筒裝置

陸、結論

一、萬花筒主要由物件盒來提供多變的觀察物；鏡片數及夾角產生多變的反射現象導致千變萬化的成像；霧化背板可以遮蔽背景也有聚光效果。

二、想要「恣意」的製作萬花筒，可以依照自己想要的成像效果來設計：

- 1.想要平面無限延伸的效果，就選筒形；3.4.6片鏡片，圖形完整又對稱，8片以上會有花朵感。
- 2.想要浮凸的寶石感，選塔型；越傾斜，越浮凸，成像會越小。
- 3.想要簡約風格，鏡片短一點或寬一點。想要繁複感，鏡片長一點或窄一點。
- 4.想要更亮就加霧化背板，不然就加上燈光。

柒、參考資料

- 一、參考書籍：
 - 1.山見浩司(2017)。世界級萬花筒輕鬆手做。台北:方言文化。
 - 2.福田佳亮(2015)。手作萬華鏡。東京都:
 - 3.國小自然科學第二冊，有趣的聲光現象(2022)。翰林出版。
- 二、網路資源：
 - 1.隱身北海道富良野，鏡中的花之小宇宙。Wei。
<https://www.travelerlux.com/article/desc/170000705>
 - 2.維納斯的惡作劇---偏光形成的色彩現象。陳亭妤、林艷麗、邱晨方、弘裕群(2009)。全國科展作品說明書。
 - 3.轉吧!轉吧!七彩萬花筒。潘柏璋、馮威翔(2009)。全國科展作品說明書。
 - 4.鏡花水月—萬花筒Part1。邱凱文。泛科學。
<https://pansci.asia/archives/49835>
 - 5.萬花筒(一種科學玩具)。百度百科。
<https://baike.baidu.hk/item/%E8%90%AC%E8%8A%B1%E7%AD%92/5982>
 - 6.百度百科，明視距離。
<https://baike.baidu.hk/item/%E6%98%8E%E8%A6%96%E8%B7%9D%E9%9B%A2/7879661>
 - 7.魔幻變色鏡。科學遊戲實驗室。許良榮。
<https://scigame.ntcu.edu.tw/light/light-012.html>