

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080117

造一座彩虹橋

學校名稱：桃園市新屋區永安國民小學

作者： 小五 葉采妘 小五 張韶宇 小五 邱修朋 小五 高鳳御 小五 鍾庭芳	指導老師： 古明彬
---	--------------

關鍵詞：彩虹、折射、色散

摘要

生活中不可或缺的的陽光是由各種色光混合而成的，在光線進入另一個介質時，因各種色光前進的速度不同而產生偏折，當偏折的角度很大或經過兩次以上偏折後，各色光就分道揚鑣啦！這也就是我們俗稱的彩虹。天上的彩虹是因為陽光照射小水滴折射又反射產生的。

在偶然的機會發現魚缸邊出現絢麗的彩虹，讓我們對彩虹產生濃厚的興趣，透過調整彩虹實驗箱遮光、水位高低及光源入射角度，還有使用不同色的雷射光的過程中，我們印證了在網路上搜尋到的資料及發現了各種變因對實驗結果的影響，也同時有了改造永安漁港彩虹橋原本夜間照明方式的想法。我們以繪製彩虹橋模型，並進行光線偏折投射的方式，來探討這個想法的可能性。

壹、研究動機

在一月的一個早晨，老師請我到自然教室拿東西，我先前不曾在七點多上去自然教室過，當我經過自然教室外的大魚缸時，吸引我的不是平常讓我駐足觀察的蓋斑鬥魚，而是地板上竟然出現絢麗的彩虹。四年級自然課上到「美麗的彩虹」時，我們曾經利用透明盒、珍珠板、遮光板及手電筒就可以製造彩虹，所以我直覺的就認為應該是太陽光照射魚缸後，經過折射所產生的彩虹，但心中同時也產生了好多問號：平常每個禮拜至少有四節自然課卻從沒發現？問過其他同學也沒人留意過？四年級的彩虹實驗箱，光源是由下而上，且我們有遮掉大部分的光，與那天早上魚缸邊的彩虹情況有一樣嗎？種種的疑惑讓我不由得想對彩虹的形成做更深入的研究？而在研究的過程中，一次在白板上形成的美麗彩虹，讓我聯想到永安漁港著名的地標—彩虹橋是如何呈現七彩？如果它的彩虹也能利用光的折射與色散，是不是更能突顯它的特色呢？



清晨的蓋斑鬥魚生態缸邊的彩虹



彩虹投影在白色帆布鞋上真是美麗



彩虹投影在白紙上更容易觀察



描繪輪廓後發現，隨著太陽移動，彩虹也跟著移動



白天的永安漁港及著名的彩虹橋



夜晚以各色LED燈照亮的彩虹橋

貳、研究目的

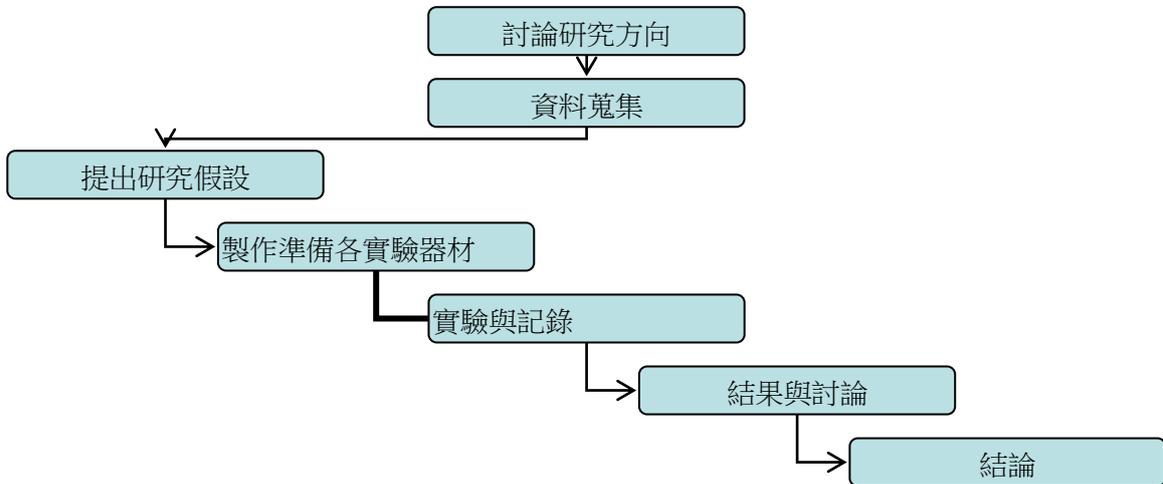
- 一、透過網路搜尋，認識彩虹形成的原理。
- 二、透過每日觀察紀錄，探討魚缸邊形成的彩虹是否會隨著日出時間不同而改變。
- 三、利用自製彩虹實驗箱，探討彩虹形成的要素。
- 四、利用紅色與綠色雷射筆證明不同色光在進入水中時折射的角度不同。
- 五、利用自製彩虹模型，等比例換算，研究在永安漁港彩虹橋投射真正彩虹的可能性。

參、研究設備及器材

太陽仰角觀測器，指南針，彩虹實驗箱(由公升杯、三塊珍珠板、黑色遮光板及黑膠帶組成)、三稜鏡、噴霧器、LED投射燈(略白黃光)、LED手電筒(白光)、省電燈泡2700K、省電燈泡6500K、鹵素燈、紅色雷射筆、綠色雷射筆、量角器、尺。

肆、研究過程或方法

一、研究過程架構圖：

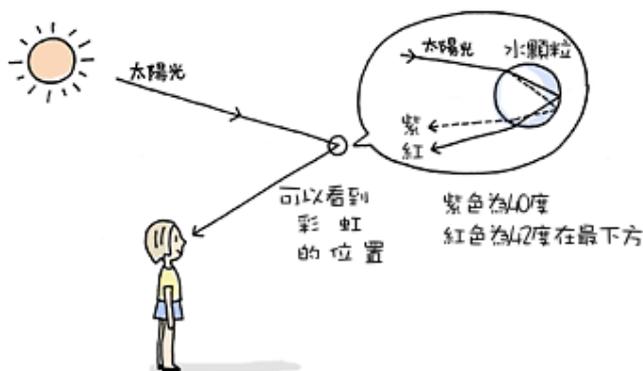


二、資料蒐集

光雖然充斥在我們的世界，彩虹也不難看到，但卻也依然充滿神祕感，組員們都了解得很少，經過討論，我們決定出要先分頭搜尋資料，以做為本次研究的預備知識，以下是大家蒐集到的：

(一) 天空中產生彩虹的原理

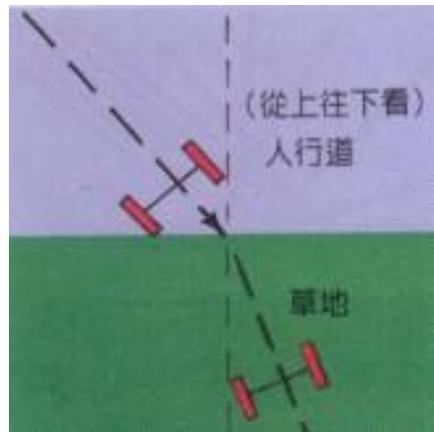
大雨初晴的天空中，會出現若隱若現的7色彩虹。真是太漂亮啦。不過，為什麼它看上去會如此美麗呢？



彩虹是太陽光穿透雨的顆粒時形成的。原本光是筆直行進的，但它也具有一旦進入水中就會折射的性質。因此太陽光在通過雨的顆粒時就會折射。此時，由於光折射的角度因顏色而各異，所以七種顏色會以各自不同的角度折射。所以七種顏色會很漂亮地排列起來。這就是形成彩虹的原理。因為彩虹呈現於與太陽方向相反的天空，所以想在雨後看彩虹，要背向太陽。

(二)光的折射

關於光的折射，我們在網路上找到的資料有點複雜，但主要的重點在於光波在不同介質內會有不同的行進速率，當行進速率不同，光又不是垂直進入另一個介質時，就會產生偏折。下圖是一個很好理解的比喻。



圖片說明：滾輪從人行道滾到草地時，由於草地上滾動速度較慢，因此在行經人行道與草地的邊界時，滾輪的行進方向改變了！光線的行進也有同樣的性質。

(三)色散

不同頻率的色光相對於介質的折射率並不相同，太陽光本身包含有不同顏色（頻率）的色光，因此太陽光產生折射時，不同顏色的光線折射角會不相同而分開，於是形成色散現象。

(四)色溫

色溫是表示光源光色的尺度，表示單位是k (k e l v i n)。蠟燭、白熾燈泡、螢光燈等都是我們日常生活中經常接觸的各種光源的光。而清晨、正午所看到的太陽光的色調也都各有不同。色溫乃是用物理性、客觀性的尺度來表現光源的色調；是決定照明場所氣氛的重要因素。一般來說色溫低的話，會帶有橘色，表示具有暖意的光；隨著色溫變高，就變成如正午太陽一般為帶有白色的光；當再變高時則變成帶有藍、清爽的光。

三、研究假設

經過討論之後，我們認為魚缸邊的彩虹應該是清晨的陽光，以非常斜的角度「剛好」照射到大魚缸後折射且產生色散，最後成像在走廊上，且陽光因被女兒牆擋住沒有照射到地面，所以彩虹特別燦爛。但因為太陽每天行進的軌跡整年皆有不同，魚缸邊的彩虹可能不一定每天有，且出現的時間也不會相同。

太陽光是各種色光混合而成，所以以太陽光做色散實驗應該是最理想的光源，但太陽會不斷的改變位置，在實驗的過程中變因變多，紀錄分析會增加困難，所以我們使用彩虹實驗箱及燈光在教室內製造彩虹。

另外，依照上網所查的資料：色散是因為混合各種色光的白光，在進入另一種介質後，因各種色光的波長都不同，波長最長的紅光偏折角度最小，而波長最短的紫光偏折角度最大，

而形成我們熟悉的彩虹七彩：紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫。但我們好奇不同色光照入水中偏折角度真的會不同嗎？所以我們想辦法借了老師上課用的紅色及綠色雷射筆來做實驗。

在討論後進行實驗的過程中，在白板上形成的美麗拱形彩虹，讓我們聯想到永安漁港的彩虹橋，經過大家的熱烈討論，我們覺得既然可以利用燈光和水在牆上形成彩虹，那在海中設置燈光是否也能在橋身投射出真的七彩取代原本的燈光效果？

在多次討論的過程中我們提出了以下假設：

- (一) 魚缸邊的彩虹不一定每天有，且出現的時間也不會相同。
- (二) 彩虹實驗箱遮擋範圍會影響彩虹成像效果。
- (三) 彩虹實驗箱的水位高低會影響光線偏折的情形。
- (四) 彩虹實驗箱的水位高低會影響彩虹成像效果。
- (五) 不同的燈光會影響彩虹成像效果。
- (六) 紅色和綠色雷射筆射入水中會有不同的折射角度。
- (七) 若能在教室內以人工光源的折射產生彩虹，應該也能將結果應用在將永安漁港彩虹橋投射成真的「彩虹橋」。

四、實驗活動

假設一：魚缸邊的彩虹不一定每天有且出現的時間也不會相同。

實驗與觀察：

- (一) 每天觀察彩虹消失的時間(彩虹出現的時間太早無法到校觀察)。
- (二) 做成紀錄。

假設二：彩虹實驗箱的遮擋範圍會影響彩虹成像效果。

實驗與觀察：

- (一) 將彩虹實驗箱後面珍珠板去除，注水8cm高。
- (二) 打開下方LED投射燈(暖白光)。
- (三) 將黑色遮板以每次2cm逐次打開。
- (四) 觀察進光量不同對彩虹成像的影響。
- (五) 做成紀錄。

假設三：彩虹實驗箱的水位高低應該會影響光線偏折的情形。

實驗與觀察：

- (一) 打開固定於下方的LED投射燈(暖白光)，並以遮光板遮光，留出下方0.5cm的縫隙。
- (二) 將彩虹實驗箱分次注水(水位高0、2、4、6、8、10公分)。
- (三) 固定一塊珍珠板標示出光源到彩虹實驗箱進光縫隙的路徑。
- (四) 以鉛筆直接在左側的珍珠板上標示光線離開水面並產生偏折的點。
- (五) 以鉛筆直接在後側的珍珠板上標示彩虹的最高點。
- (六) 紀錄光線在不同水量彩虹實驗箱中的行進路徑。

假設四：彩虹實驗箱的水位高低會影響彩虹成像效果。

實驗與觀察：

- (一)打開固定於下方的LED投射燈(暖白光)，並以遮光板遮光，留出下方0.5cm的縫隙。
- (二)將彩虹實驗箱分次注水(水位高0、2、4、6、8、10公分高)。
- (三)觀察在白板上呈現的彩虹成像情形。
- (四)測量在白板上呈現的彩虹距離桌面的高度。
- (五)測量在白板上呈現的彩虹水平的長度。
- (六)測量在白板上呈現的彩虹厚度。

假設五：不同的燈光會影響彩虹成像效果。

實驗與觀察：

- (一)將彩虹實驗箱注水5公分高。
- (二)利用不同光源製造彩虹。
- (三)觀察在白板上呈現的彩虹成像情形。
- (四)測量在白板上彩虹上緣到綠色中心及綠色中心到彩虹下緣的距離。

假設六：紅色和綠色雷射筆射入水中會有不同的折射角度。

實驗與觀察：

- (一)將畫有與水平面成10度的斜線的珍珠板固定於水箱一側。
- (二)分別持紅色及綠色雷射筆依斜線將光束射入水中。
- (三)以鉛筆紀錄雷射光在水中的路徑。

假設七：能將實驗結果應用在將永安漁港彩虹橋投射成真的彩虹橋。

實驗與觀察：

- (一)實地到永安漁港彩虹橋參觀，研究計畫的可行性。
- (一)利用網路查詢：永安漁港彩虹橋的水平長度為115m，高度為17m。
- (二)在壁報紙上繪製與實際彩虹橋比例為1:100之模型。
- (三)調整光源、水位高低及彩虹實驗箱位置，讓彩虹水平長度為115cm、高度為17cm。
- (四)在彩虹橋模型上投射彩虹，並調整到完全密合。
- (五)以Google map測量工具量測並標示與模型相對位置之光源設置點。

伍、研究結果

一、缸邊的彩虹每天消失的時間

日期	觀測時 天氣	缸邊彩虹消失的時間	彩虹消失時太陽 的仰角	備註
105年2月18日	陰	X	X	
105年2月19日	晴	8:07	25度	
105年2月20日	晴	8:07	25度	
105年2月22日	晴	8:05	25度	

105年2月23日	陰	X	X	
105年2月24日	陰	X	X	
105年2月25日	晴	8 : 02	25度	
105年2月26日	雨	X	X	
105年3月1日	晴	8 : 00	25度	
105年3月2日	晴	7 : 58	25度	
105年3月3日	晴	X	X	忘記觀察
105年3月4日	晴	7 : 58	25度	
105年3月7日	晴	7 : 57	25度	
105年3月8日	陰	X	X	
105年3月9日	雨	X	X	
105年3月10日	雨	X	X	
105年3月11日	雨	X	X	
105年3月14日	雨	X	X	
105年3月15日	雨	X	X	
105年3月16日	晴	7 : 47	25度	
105年3月17日	陰	X	X	
105年3月18日	雨	X	X	
105年3月21日	雨	X	X	
105年3月22日	雨	X	X	
105年3月23日	雨	X	X	
105年3月24日	雨	X	X	
105年3月25日	雨	X	X	
105年3月28日	晴	7 : 36	25度	
105年3月29日	晴	7 : 36	25度	
105年3月30日	陰	X	X	
105年3月31日	陰	X	X	
105年4月1日	晴	7 : 34	25度	
105年4月6日	晴	7 : 30	25度	
105年4月7日	晴	7 : 30	25度	
105年4月8日	陰	X	X	
105年4月11日	雨	X	X	
105年4月12日	雨	X	X	
105年4月13日	雨	X	X	
105年4月14日	雨	X	X	
105年4月15日	雨	X	X	
105年4月18日	雨	X	X	
105年4月19日	陰	X	X	
105年4月20日	晴	7 : 25	25度	

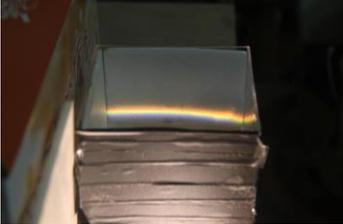
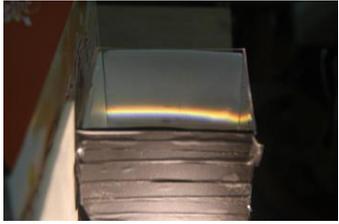
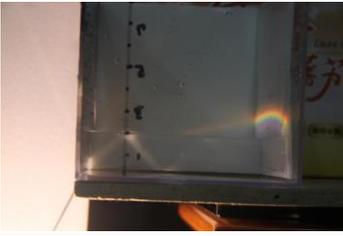
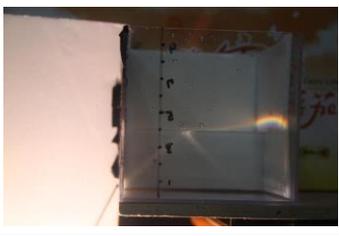
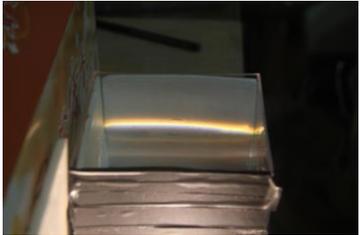
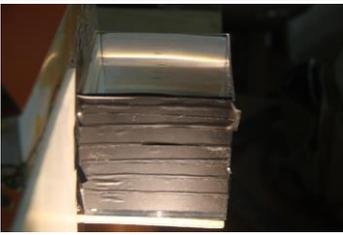
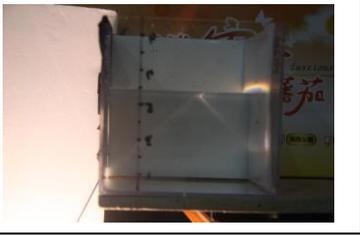
105年4月21日	陰	X	X	
105年4月22日	雨	X	X	

註：X表示當天未觀測到彩虹

二、彩虹實驗箱的遮擋範圍影響彩虹成像效果

遮擋後剩下的寬度	1cm	3cm	5cm	7cm
成像情形				

三、彩虹實驗箱的水位高低影響光線偏折的情形

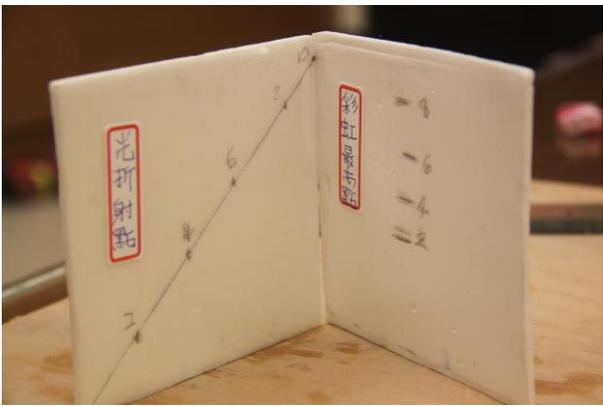
水位高度 (cm)	0	2	4
成像情形			
折射路線			
水位高度 (cm)	6	8	10
成像情形			
折射路線			



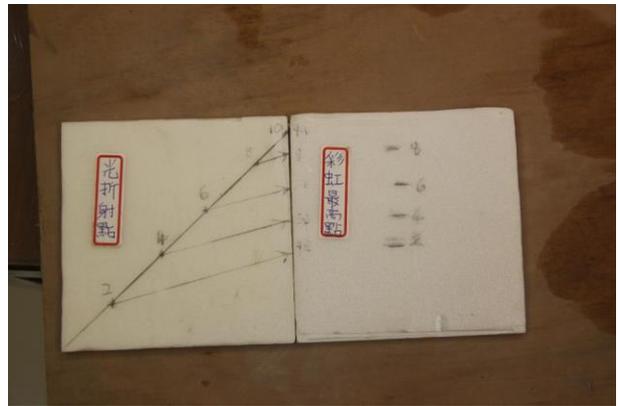
光束行進路線



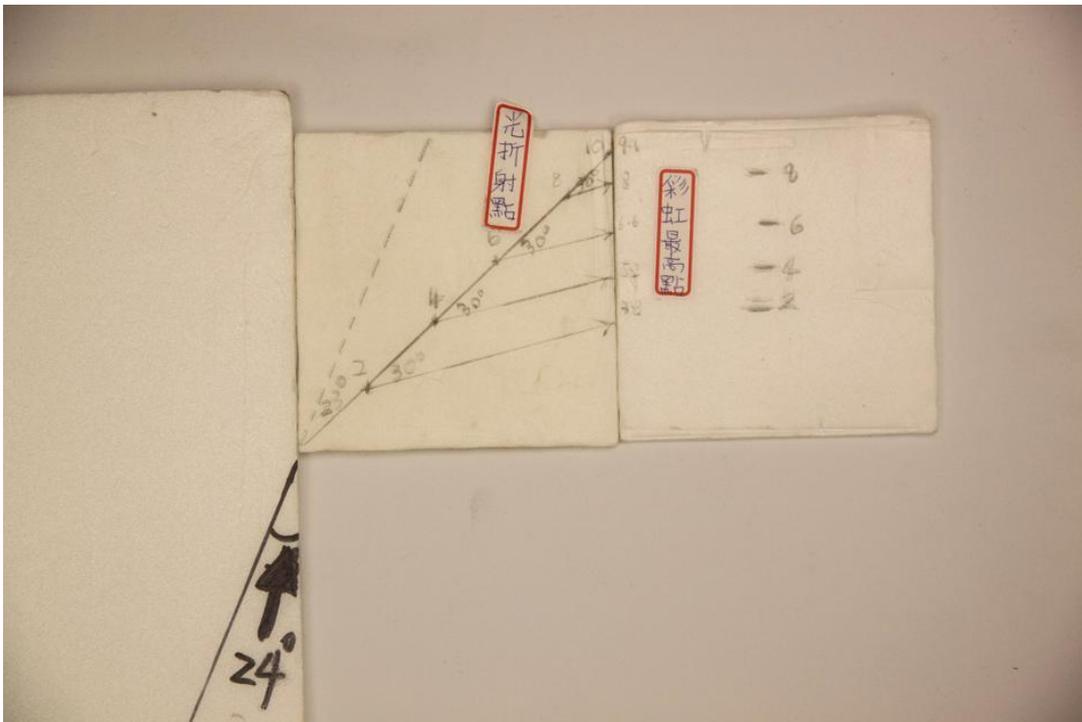
左邊珍珠板紀錄離開水面時的折射點
右邊珍珠板紀錄彩虹最高點



復原相對位置

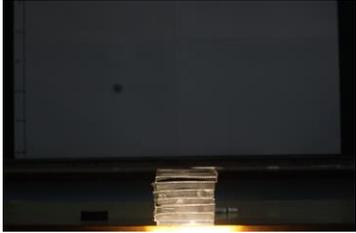
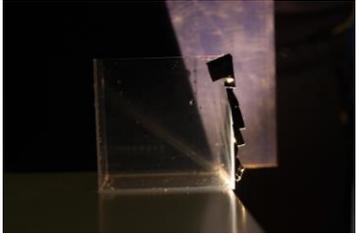
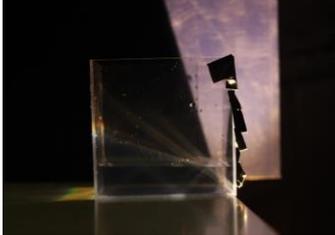
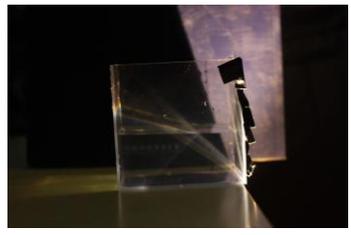
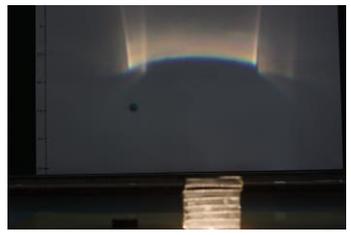
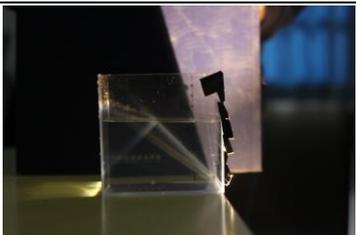
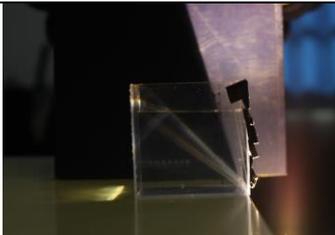
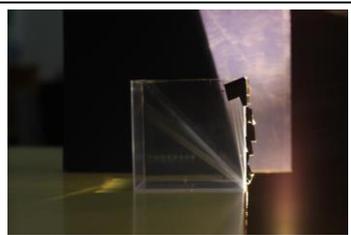


各水面高度的折射點可聯成一直線



標示光束折射的角度

四、彩虹實驗箱的水位高低影響彩虹成像效果

水位高度(cm)	0	2	4
成像情形			
光行進路線			
彩虹頂端距離 桌面垂直高度	X	43	45
彩虹水平長度	X	80	80
彩虹厚度(拱頂 處)	X	8.5	8
水位高度(cm)	6	8	10
成像情形			
光行進路線			
彩虹頂端距離 桌面垂直高度	47	49	X
彩虹水平長度	75	70	X
彩虹厚度(拱頂 處)	7.5	7	X

註：X 表示未觀測到彩虹

五、不同的燈光影響彩虹成像效果

光源	LED 投射燈 (暖白色)	LED 手電筒 (冷白色)	鹵素燈 (黃光)	省電燈泡 (2700K)	省電燈泡 (6500K)
耗電量(瓦數)	3W	5W	50W	23W	23W
燈具照片					
彩虹成像				X	X
彩虹頂端到綠色 中心距離(cm)	4	5	4	X	X
綠色中心到彩虹 底端距離(cm)	5	7	2.5	X	X

註：X 表示未觀測到彩虹

六、紅色和綠色雷射筆射入水中應該會有不同的折射角度

雷射光色	紅色	綠色
光束行進路線		
珍珠板標示路線		
光線偏折角度	25 度	32 度

七、將實驗結果應用在將永安漁港彩虹橋投射成真的彩虹橋相關數據

	模型	永安漁港彩虹橋
彩虹水平距離	115cm	115m
彩虹高度	17cm	17m
光源在水平面下深度度	2cm	2m
光源與橋面距離	130cm	130m
LED 燈瓦數	3W	300W



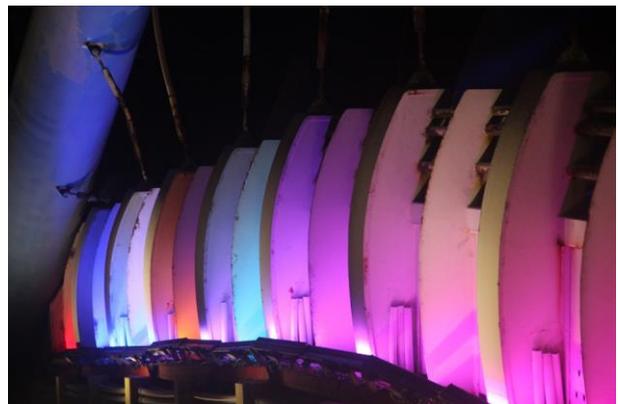
白天彩虹橋上景緻



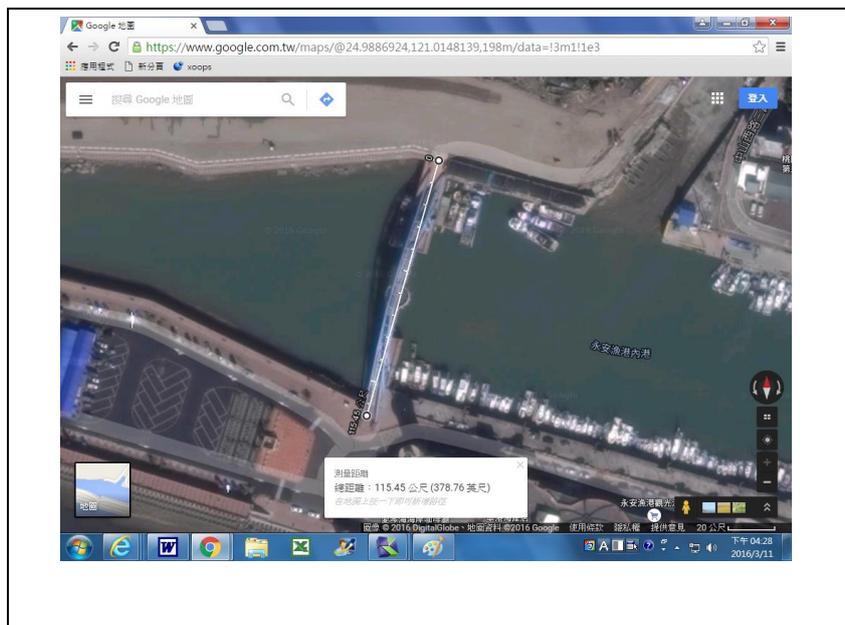
夜晚彩虹橋景緻



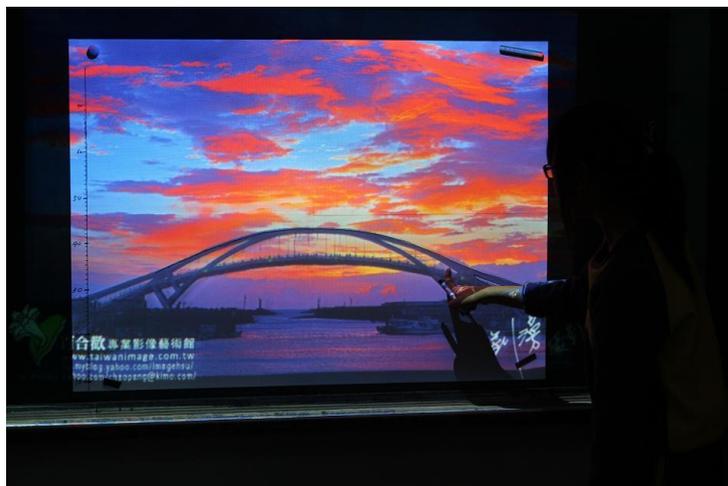
彩虹橋的 LED 光源



我們在橋下看到的各種顏色變化是白色橋體反射 LED 燈的效果



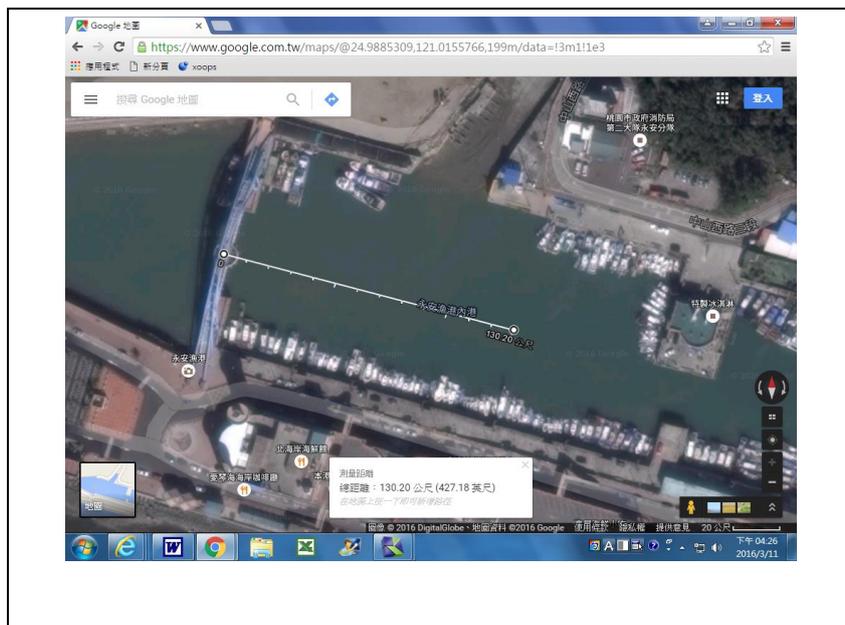
利用 Google map 測量工具測量永安彩虹橋水平長度。



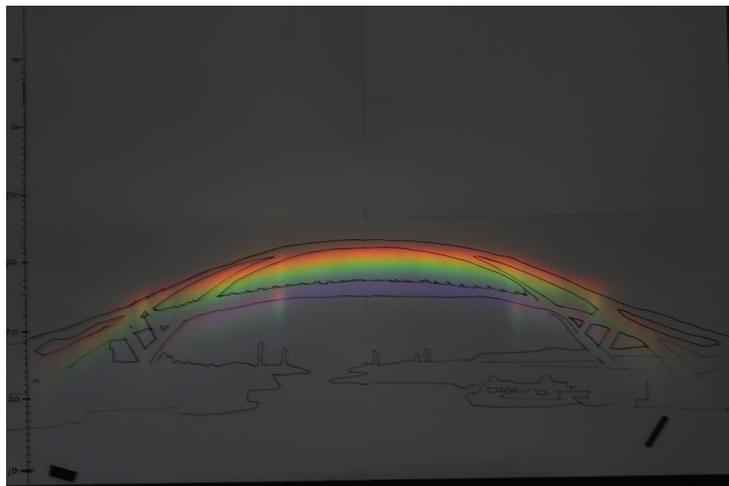
以投影的方式在白色壁報紙上描繪出永安彩虹橋輪廓。



調整彩虹實驗箱水量、遮光量、桌面高度和燈源與壁報紙距離，讓成形的彩虹與永安彩虹橋輪廓完全吻合。



依調整後的距離找出永安漁港內最適合設置光源的位置。



預計效果

陸、討論

一、缸邊的彩虹每天消失的時間

(一)由觀察紀錄中，我們發現魚缸邊的彩虹似乎有愈來愈早消失的趨勢，經過大家的討論，應該是太陽在去年 12 月 22 日冬至過後就一天比一天早日出，當太陽高過一定高度時就無法「剛好」在地面形成彩虹。經使用太陽仰角觀測器，發現是 25 度。

(二)利用太陽光經過魚缸中的水折射及色散而形成的彩虹，雖然沒有像天空中的彩虹一樣有拱形，但顏色上卻鮮豔許多！

(三)利用太陽光色散形成的彩虹效果雖然很好，但因為太陽每天日出的時間都不相同，且天氣陰晴不定，再加上太陽在天空的位置會緩慢的移動，對我們做彩虹的實驗來說變因太多，所以之後的實驗，我們利用人造光源來操作。

二、彩虹實驗箱的遮擋範圍影響彩虹成像效果

- (一)遮擋範圍越小，彩虹上方會出現類似燈光原本的顏色，影響彩虹在白板上成像，讓彩虹看起來模糊。相反的，遮擋的範圍越大，彩虹就越清晰漂亮。
- (二)四年級做彩虹實驗箱實驗時，所做的遮擋只留下約 0.5cm 的縫隙，應該是比較容易觀察光的折射路線。

三、彩虹實驗箱的水位高低影響光線偏折的情形

- (一)在沒裝水時光線不折射，但我們認為光還是經過容器壁(約 2mm 壓克力)，理論上應該會偏折，但光束在進入壓克力前後看起來是成一直線的。
- (二)裝水 2、4、6、8 公分。光線入水及光線離水偏折的角度都相同(入水時偏折 23 度；離水時偏折 30 度)。所以能將離水時的折射點連成一線。
- (三)裝水 10 公分的彩虹實驗箱。光線在離開水面前即先到達後方珍珠板，也就是只有一次的偏折，所以沒觀察到彩虹。

四、彩虹實驗箱的水位高低影響彩虹成像效果

- (一)水位每升高 2cm，彩虹在白板上成像的位置正好也是上升 2cm。
- (二)水位每升高 2cm，在白板上成像的彩虹水平距離有縮小的趨勢，但拱形的弧度沒有明顯的差別。
- (三)水位每升高 2cm，在白板上成像的彩虹拱頂處厚度有逐漸變薄的趨勢。
- (四)水位每升高 2cm，在白板上成像的彩虹鮮豔度有略微變差的跡象。
- (五)綜合以上各點，發現水位在 2cm 時的各方面表現最理想。

五、不同的燈光影響彩虹成像效果

- (一)省電燈泡可能因為不是投射燈，光源太過分散，所以無法形成彩虹。
- (二)LED 投射燈具即使是看起來是黃黃的暖白色，色散之後也是藍紫光多於紅黃光，但分布還算平均，彩虹效果不錯。
- (三)強白光的 LED 手電筒，藍紫光遠遠厚於紅黃光，彩虹效果顯得冰冷。
- (四)鹵素燈呈現的彩虹紅黃光大於藍紫光，雖然給人溫暖的感覺，但彩虹不夠鮮豔。
- (五)綜合以上各點發現，暖白色 LED 投射燈投射出的彩虹，各方面表現最理想，況且在耗電量部分是最低的。

六、紅色和綠色雷射筆射入水中有不同的折射角度

- (一)我們一開始所使用的射入水中的角度不夠斜，難以觀察。
- (二)水中滴一滴牛奶，讓光行進的路線可以更明顯。
- (三)以與水面成 10 度夾角的角度入射，可明顯發現綠光的折射角度大於紅光，這也可以說明為何彩虹顏色的分布由上而下是紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫。

七、將實驗結果應用在將永安漁港彩虹橋投射成真的彩虹橋的可能

- (一)在實際參觀永安漁港彩虹橋後，發現目前橋體本身可供投射的面不多，若要有更好的視覺效果，勢必要增加朝向陸地側的面。
- (二)依照我們做出來的模型可直接呈現想像中的效果。
- (三)若將燈光直接設在水中，會比彩虹實驗箱模型少一次的偏折，所以可能須在水中先設置一個玻璃空間，光線要先過空氣後進入水中再到空中，如此才會有二次偏折。又或者利用在水中設置鏡子，光線由空中照入水中的鏡子反射回空氣中，應該也有差不多的效果。
- (四)老師有提醒我們關於潮汐的變因，經過討論，實際裝置必須像是浮動碼頭一般可隨潮汐上下，潮汐上下的距離雖會影響投射的位置，但大部分仍可投射在橋上，又或許將來有機會研究自動調整燈光角度的系統，應該會相當有趣。

柒、結論

- 一、自然教室外缸邊的彩虹是清晨斜射的陽光，以不高於 25 度仰角的角度照射後產生的偏折及色散產生的。但我們觀察的時間不夠久，四季太陽在空中的軌跡的不同，勢必會影響缸邊的彩虹成像。
- 二、彩虹實驗箱的遮擋範圍愈少，彩虹成像效果會因混雜白光而顯得模糊，反之越清晰。
- 三、彩虹實驗箱不論水位高低，光線偏折的角度都一致，但若超過八公分，光束在離水產生第二次偏折前就會碰到珍珠板，而沒有的二次偏折。
- 四、彩虹實驗箱的水位不需太高，2cm 比起 4~8cm 更好。
- 五、燈光種類會影響彩虹成像效果，偏向太陽光的暖白光 LED 投射燈光效果最好。
- 六、綠光以斜角照入水中比紅光偏折的角度大。
- 七、將永安漁港彩虹橋投射成真的彩虹橋是有可能的！

捌、參考資料及其他

一、不可思議的光。彩虹是如何產生的？取自兒童探險家網站

<http://discovery.panasonic.com.tw/science/library/lib07lit/107008.html>

二、光的折射。取自國立臺灣師範大學物理學系網站

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/html.php?html=rainbow/docs/refraction>

三、光的色散與彩虹的形成光的折射。取自國立臺灣師範大學物理學系網站

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/html.php?html=rainbow/docs/rainbow>

四、照明教室。光源介紹。取自東亞照明網站

<http://www.chinaelectric.com.tw/word.htm>

【評語】 080117

這項作品探究光的折射與色散，是一項成熟的練習探究，未了考慮應用於地標裝飾，也是頗有創意的應用。