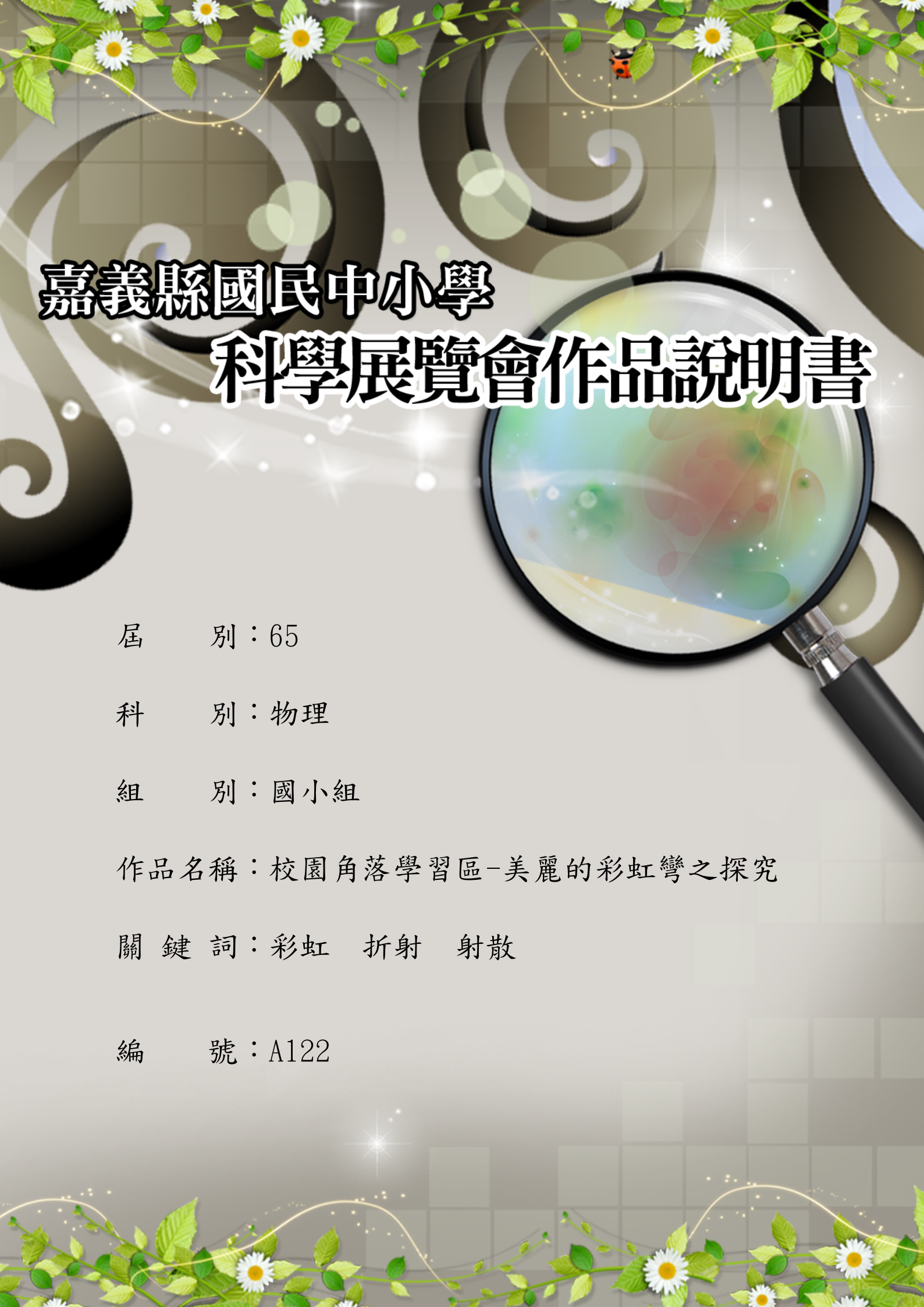




嘉義縣國民中小學 科學展覽會作品說明書

屆 別：65

科 別：物理

組 別：國小組

作品名稱：校園角落學習區-美麗的彩虹彎之探究

關 鍵 詞：彩虹 折射 射散

編 號：A122

校園角落學習區-美麗的彩虹彎之探究

摘 要

本研究獲得成果如下：

- 一、光從空氣進入不同介質時，不同介質的折射率不同，導致光的偏折程度也不同；而且入射角大小會影響觀察到色散現象的明顯程度。
- 二、太陽高度角較低時，觀看彩虹仰角會比較高，形狀較接近完整的半圓形；反之，彩虹會比較低，相對虹弧較小。
- 三、不同大小的水珠會影響彩虹的顏色鮮豔程度、寬度；而且彩虹並不是一個固定位置的物體，它的位置取決於觀察者、太陽和水滴之間的相對位置。
- 四、觀察近距離分布均勻小水珠形成的人造彩虹，其彩虹弧半徑比遠距離彩虹小；而在貼近分布均勻的小水珠及太陽高度角較低時，較能看到完整的人造圓形彩虹。
- 五、應用太陽光於校園角落學習區中製作人造彩虹及彩虹視角模型演示工具有其學習上助益。

壹、研究動機

我們下課時，有一次偶然在學校的「省水裝置」噴霧式水龍頭洗手時，陽光突然照到洗手臺，我們竟然看到了彩虹！我們非常驚訝，原來這就是「光的折射實驗」，我們覺得很有趣，想要進一步了解彩虹，因此，我們就有了想要做科學研究的念頭。經過了自然老師的同意協助指導後，我們就參加了科展社團，我們請老師購買灌溉用的灑水器進行實驗，我們和老師討論規劃，決定一起製做一個大彩虹以及布置一個跟彩虹有關的角落學習區。

在製做一個大彩虹前，我須對光的折色與色散及彩虹成像相對位置，有更進一步的瞭解，我們設計了一些與彩虹光的相關實驗，例如：光穿過不同介質的實驗，讓我們得知光進入不同介質時有不同的折射角度；我們也想光的入射角大小是否會影響光的色散作用程度嗎？在自然界中，太陽不同高度角所形成的彩虹有何差異性？我們也在思考，不同水珠大小所形成的彩虹有何差異性？我們也很好奇、想推論，大家所看到的彩虹都不一樣位置嗎？查詢網路上有資訊提到其實彩虹是圓形的，讓我們很驚訝很想研究這個光學現象；另外，我們覺得可以製作彩虹視角模型演示工具，讓我們更容易了解太陽與彩虹彼此之間的成像位置與相對關係，也可以利用此模型作為彩虹的觀測工具。下雨過後大自然的彩虹雖然不難看見，但也不是常常可見，無論大人或小孩看到彩虹時，都會被它的美而深深吸引著，所

以我們打算規畫一個校園角落學習區，結合太陽光與人造小水珠形成的人造彩虹，並配合教學看板、模型與觀測導引，讓校園裡的午後常常有彩虹，增添校園生活的色彩。

貳、研究目的

- 一、光在不同介質傳遞會影響光的偏折大小嗎？
- 二、光在圓形水容器的入射角大小會影響觀察到色散現象的明顯程度嗎？
- 三、太陽不同高度角所形成的彩虹有何差異性？
- 四、不同水珠大小所形成的彩虹有何差異性？
- 五、不同位置的人所看到的彩虹都在不一樣的位置嗎？
- 六、觀看距離不同遠近水珠所形成的人造彩虹有何差異性？
- 七、太陽光下的人造圓形彩虹的可行性為何？
- 八、製作彩虹視角模型演示工具是否有其可行性及實用性？
- 九、應用太陽光於校園角落學習區中製作人造彩虹的實作探究。

參、研究設備器材

指北針、高度角觀測器、太陽高度角觀測器、奇異筆、量角器、燒杯、實驗用相關溶液、果凍、鐵尺、灑水器、各式噴頭、雷射綠光筆、光筆手電筒、保鮮膜、鐵線、彩虹光譜呈現紙板、攝像器材、線香、顏料、黑色遮陽網、透明防水漆、塑膠瓦楞板、珍珠板。

肆、研究過程或方法

一、文獻資料收集

- (一)彩虹的產生原理和牛頓的實驗很像，同樣也是透過重重折射，而分解出光的色彩，只不過在實驗中所使用的是三稜鏡，在大自然中，則是透過空氣中的小水滴來折射分解，這也就是為什麼彩虹總在雨後出現的原因了。折射定律：空氣折射率=1；水折射率=1.33。入射線與反射線分別在法線的兩側，且此三線在同一平面上。（科普的閱讀與寫作 作者：台東大學 p55）
- (二)光從一種介質斜射到另一種介質時，傳播方向一般會發生變化，這種現象就是我們常說的光的折射現象。通常，光的折射能力會因介質不同而不同。光的折射規律：當光從空氣斜射入水或其他介質中時，折射光線和入射光線及法線位於同一平面上，其折射光線和入射光線分別居於法線兩側，折射角小於入射角；當入射角增大時，折射角也隨著增大，且當光線垂直射向介質表面時，它的傳播方向不變，但光速改變，在折射中光路具

有可逆性。生活中，光的折射現象有很多，如筷子變彎、池水變淺等。（奇妙的光之旅 作者：林靜 p10）

(三) 平常我們眼睛看到的陽光雖然近似白色，但實際上陽光是由紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等不同顏色與波長的光線組成。當陽光通過介質時，每種波長的光線在介質中前進的速度均不同，光線行進速度的差異會造成折射角的不同，以致使光線產生分離現象，稱為色散現象。下雨過後，陽光重現，此時大氣中充滿無數球狀的小水滴，當陽光以不同角度照射這些小水滴時，會在水滴內產生折射與反射等光學作用。由於水的物理性質，陽光在水滴內經過折射與反射後，出射光線與入射陽光夾角在 $40^{\circ}\sim 42^{\circ}$ 的反射強度最大。完整的虹與霓為正圓形，觀察者必須在高空才有機會看到，在地面上由於受到地形與角度的關係，所以我們見到的虹與霓是弧形的。此外，小水滴的大小決定了虹與霓的色彩強度與寬度：水滴越大，則色帶寬度越窄，但色彩越鮮明；反之，則色帶寬度越寬而色彩黯淡。虹與霓是觀察者看見的一種光學現象，因此會隨著觀察者的位置而改變。太陽必須由觀察者的後方以低角度照射，才有機會觀察到虹與霓，如果太陽的角度太大，則大部分的虹將落於地平面以下而無法被我們觀察到。（中央氣象署數位科普網）

二、研究過程與探討：

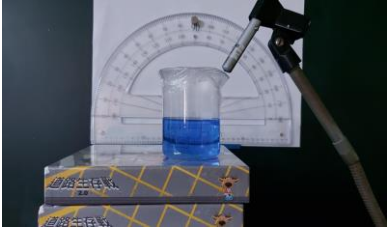
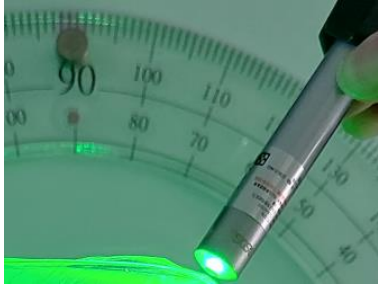
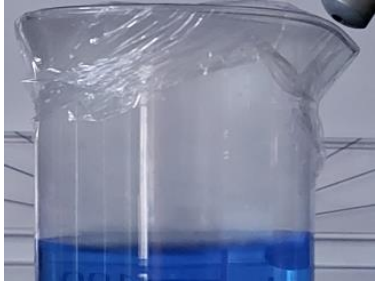
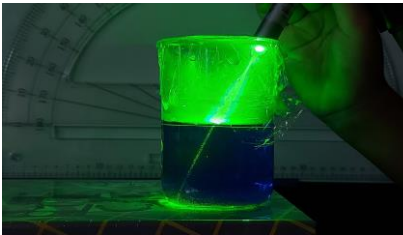
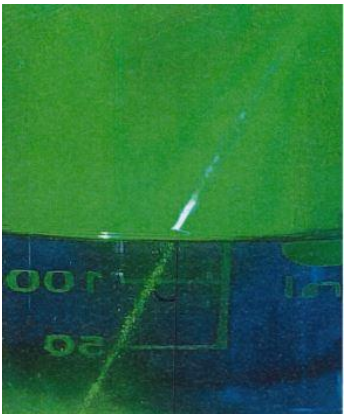
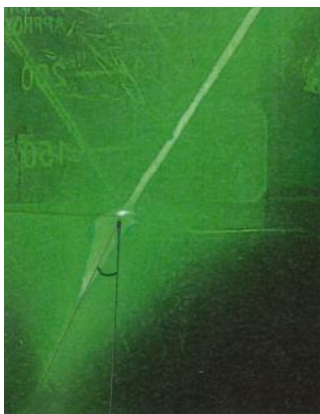
本科學探究主題「校園角落學習區-美麗的彩虹彎之探究」有九個研究目的與假設，其中光的偏折大小是指折射光線與入射光線延伸線之間的夾角，也就是光線經過折射後，總體偏離原來方向的程度。法線是想像一條垂直於介面（空氣與液體/果凍的交界面）的線，當光線從一種介質進入另一種介質時，在入射點處垂直於兩種介質分界面的直線，而在燒杯上法線是連接光筆入射點與燒杯的圓心。本研究中的「彩虹視角」是指主虹（常見的彩虹）的角度約為 42° ，這是指彩虹的紅色外緣的弧線任一點至觀測者眼睛為一條虛擬直線，再與從太陽延伸到觀測者眼睛至彩虹圓心為另一條虛擬直線之間的所形成夾角約為 42° 。本研究中的「彩虹仰角」是指觀測者利用高度角觀測器觀測彩虹的紅色外緣最高處的弧線的仰角高度。本研究中小水珠是利用利用灑水器（含各式孔洞噴頭：400 目、1000 目、2000 目）所製造出來的小水珠。而研究中的「彩虹視角模型演示工具」是利用廢棄回收的圓形金屬回收物，當作圓形彩虹框架，再利用幾支鐵線當作彩虹圓錐體的側面支架，側面支架的匯集點就是眼睛的觀測點(彩虹圓錐體的頂點)，宛如從觀測者眼睛至彩虹弧外側邊緣所形成圓錐狀的模型，側面支架與彩虹圓盤切面(圓錐底部)形成約 48° 夾角，而靠近觀測者眼睛處的夾角(觀測者眼睛至彩虹紅色外緣的弧線任一點的虛擬直線與觀測者眼睛處至彩虹圓心的虛擬直線之夾角)約 42° ，此模型工具可用來觀測彩虹與預測彩虹成像位置，也可用來演示太陽、觀察者與彩虹之間的相對角度位置關係。

研究一：光在不同介質傳遞會影響光的偏折大小嗎？

(一)實驗設計:

- 1.操縱變因：不同介質（水、沙拉油、果凍）
- 2.控制變因：雷射光筆的光源強度、250ml 燒杯、入射角 30 度(與法線夾角)
- 3.應變的變因：光的偏折角

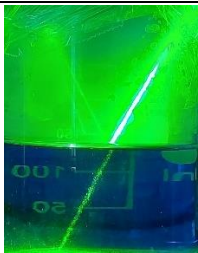
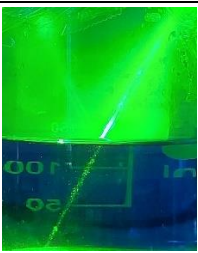
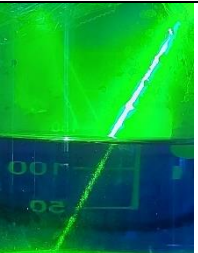
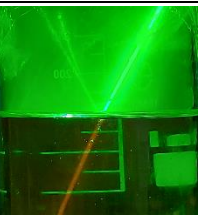
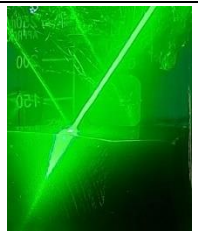
(二)實驗方法:

		
腳架固定雷射光束與法線夾角為 30 度	雷射光束與法線夾角為 30 度	溶液及果凍上方有覆蓋線香製造的煙層
		
雷射光從空氣進入水	雷射光從空氣進入沙拉油	雷射光從空氣進入果凍
		
測量光從空氣進入水的偏折角度(列印標記測量)	測量光從空氣進入沙拉油的偏折角度(列印標記測量)	測量光從空氣進入果凍的偏折角度(列印標記測量)

- 1.依序利用 250ml 容量大小的燒杯裝 150ml 的水溶液、沙拉油以及果凍。
- 2.分別在水溶液、沙拉油以及果凍上方以線香製造煙層，然後鋪上保鮮膜。
- 3.將雷射綠光筆固定，確保每次入射角度相同。
- 4.雷射光以入射角 30 度（與法線夾角），分別從燒杯上方射入空氣層再經過水溶液、沙拉油、果凍，觀測雷射光分別從空氣進入水、空氣進入沙拉油、空氣進入果凍的偏折狀況。
- 5.彩色列印實驗照片並畫線標記，再利用量角器測量偏折角度，分別記錄所拍攝雷射光分別從空氣進入不同介質的偏折角度。

(三)實驗記錄：

表一：光從空氣進入不同介質傳遞所形成的偏折角度變化關係表

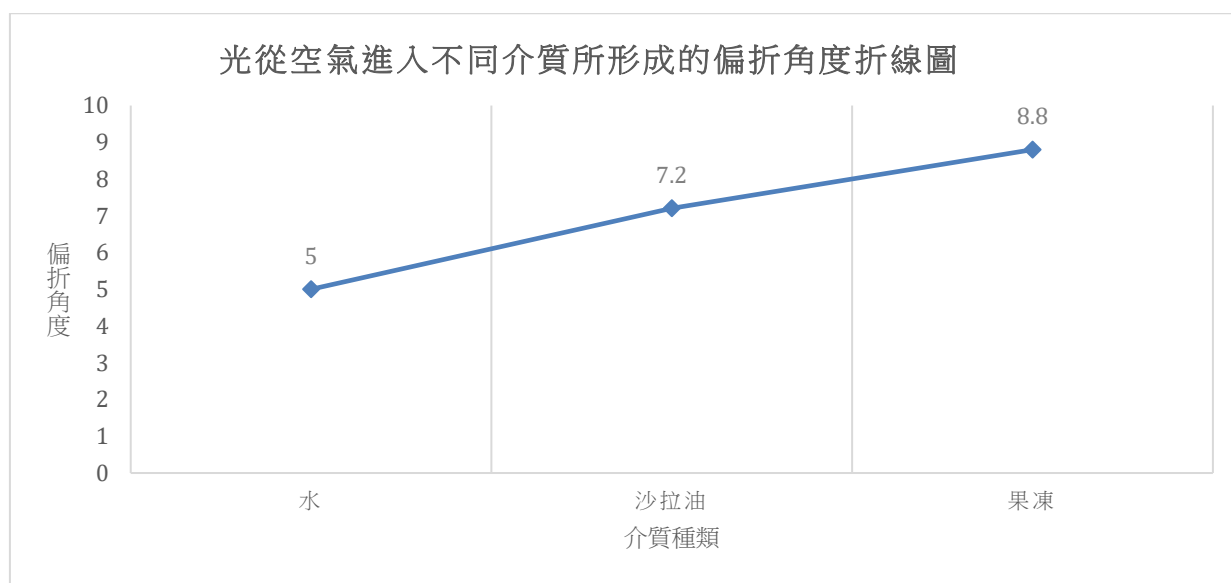
介質 \ 次數	1	2	3	4	5
水					
沙拉油					
果凍					

表二：光從空氣進入不同介質傳遞所形成的偏折角度關係表(列印標記測量版)

水					
偏折角度	折射角約 22° 偏折角約 5°	折射角約 23° 偏折角約 5°	折射角約 24° 偏折角約 5°	折射角約 25° 偏折角約 5°	折射角約 26° 偏折角約 5°
沙拉油					
偏折角度	折射角約 23° 偏折角約 7°	折射角約 23° 偏折角約 7°	折射角約 23° 偏折角約 7°	折射角約 22° 偏折角約 8°	折射角約 23° 偏折角約 7°
果凍					
偏折角度	折射角約 22° 偏折角約 8°	折射角約 21° 偏折角約 9°	折射角約 21° 偏折角約 9°	折射角約 21.5° 偏折角約 8.5°	折射角約 21° 偏折角約 9°

(四)實驗結果：

- 1.當光從空氣以入射角 30 度進入水時，其產生的偏折角平均是約 5 度。
- 2.當光從空氣以入射角 30 度進入沙拉油時，其產生的偏折角平均是約 7.2 度。
- 3.當光從空氣以入射角 30 度進入水時，其產生的偏折角平均是約 8.8 度。



圖一 光從空氣進入不同介質所形成的偏折角度折線圖

小結：

- 1.雷射光從空氣（煙層）進入水、油、果凍等不同介質時，都會發生折射現象，也就是光線的傳播方向發生改變。
- 2 不同介質具有不同的折射率。當光從折射率較小的介質（如空氣）進入折射率較大的介質（如水、沙拉油、果凍）時，光線會向法線方向偏折。

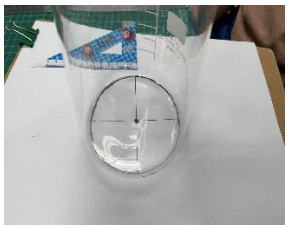
研究二：光在圓形水容器的入射角大小會影響觀察到色散現象的明顯程度嗎？

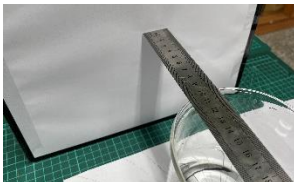
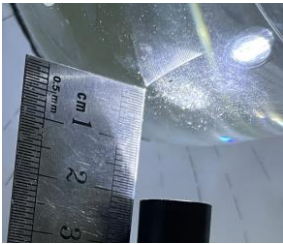
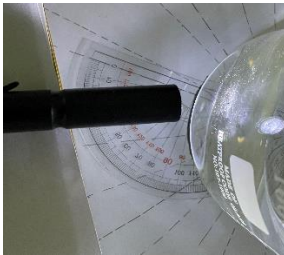
(一)實驗設計：

- 1.操縱變因：光的入射角大小
- 2.控制變因：圓形燒杯的容量、600ml 的水、白色光束的大小、光束照射燒杯的入射點、光源距離燒杯的入射點、光束水平高度 5cm、彩虹光譜呈現紙板距離燒杯 10cm、光源距離燒杯 2cm
- 3.應變的變因：彩虹光譜的變化

(二)實驗方法：

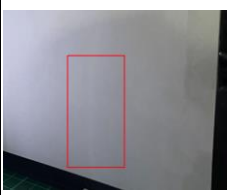
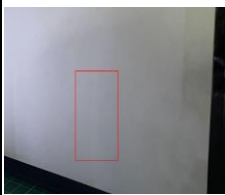
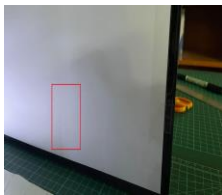
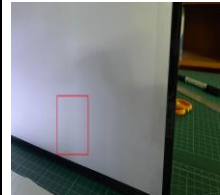
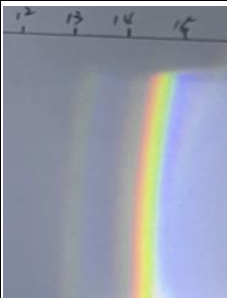
- 1.製作輔助標線圖紙。
- 2.以一千毫升容量大小的燒杯注入 600 毫升的水，放置於輔助標線圖紙上。
- 3.光筆距離燒杯底部 5cm 的高度處，光源距離燒杯 2cm，並在光源照射到燒杯上的入射點做上標記點，以確保每次照射的實驗能夠在同一處。
- 4.彩虹光譜呈現板放置於燒杯的另一側，距離燒杯 10 cm 以確保光因為折射、反射、再折射後彩虹光落在彩虹光譜呈現板白紙上。
- 5.利用光束照射在燒杯上為光的入射點，入射點至燒杯的圓心形成的延伸線為法線，光束與法線形成的夾角為入射角，分別以 0 度、20 度、40 度、60 度的入射角照射圓形水容器，讓彩虹落在彩虹光譜呈現紙板上。
- 6.分別拍攝 0 度、20 度、40 度、60 度落在光譜呈現紙板上的彩虹光譜。

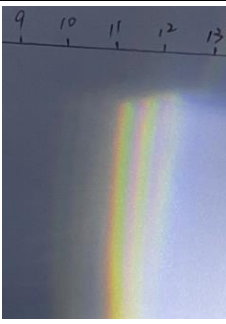
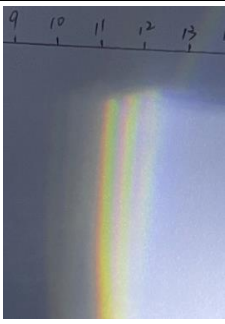
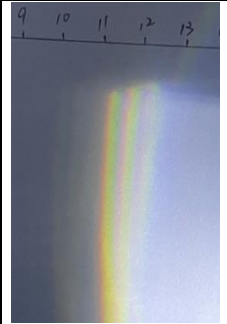
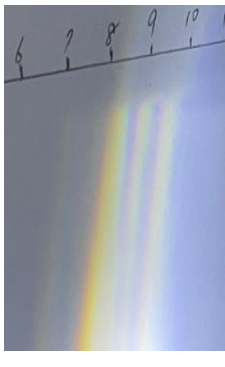
			
測量燒杯底部直徑	利用圓規畫出燒杯底部的圓	描繪燒杯底部輪廓及輔助標線	燒杯置於輔助標線圖紙上方

			
輔助標線圖紙畫上多條通過圓心的法線以助於入射角定位	光筆入射燒杯與彩虹光譜呈現板之間的相對位置	彩虹光譜呈現板距離燒杯 10 cm	光筆距離燒杯底部 5 cm
			
光源距離燒杯上的入射點 2 cm	用量角器協助測量入射光束與法線的夾角	在燒杯一側標記一個微小的點，盡量以不影響實驗觀測，以輔助入射點固定一致。	光束於燒杯偏左側入射，透過光的折射、反射再折射，彩虹光落於右側彩虹光譜呈現紙板上

(三)實驗記錄：

表三：在光束以不同的入射角進入圓形水容器所形成的彩虹色散光譜關係表

次數 入射 角度	1	2	3	4	5
0 度					
20 度					

40 度					
60 度					

(四)實驗結果：

- 1.當與法線的入射夾角為 0 度時，在彩虹光譜呈現紙板上所觀看到光的色散作用不明顯，只有看到相當微弱的色光，幾乎看不見色光。
- 2.當與法線的入射夾角為 20 度時，光的色散作用明顯，顏色較清楚的色帶落在彩虹光譜呈現紙板上標記處 14.5 至 15.5 公分之間。
- 3.當與法線的入射夾角為 40 度時，光的色散作用明顯，顏色較清楚的色帶落在彩虹光譜呈現紙板上標記處 11 至 12.5 公分之間。
- 4.當與法線的入射角為 60 度時，光的色散作用明顯，顏色較清楚的色帶落在彩虹光譜呈現紙板上標記處 8 至 10 公分之間

小結：

- 1.當光與法線形成的夾角為 0 度時，無法產生明顯的色散作用。
- 2.當光與法線形成的夾角為 20 度、40 度、60 度時，光的色帶由窄漸寬。
- 3.經過此實驗得知，入射角的大小會影響觀察到色散現象的明顯程度。

研究三：太陽不同高度角所形成的彩虹有何差異性？

(一)實驗設計：

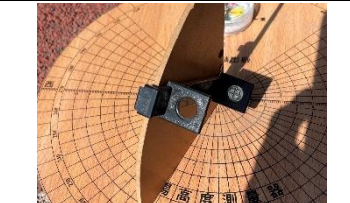
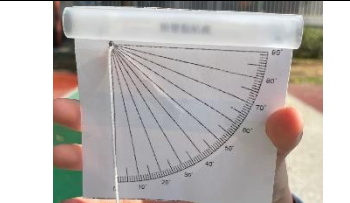
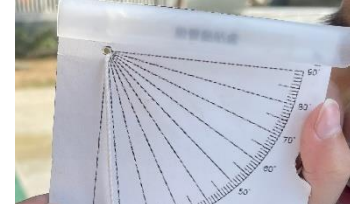
- 1.操縱變因：太陽的高度角
- 2.控制變因：灑水器的 2000 目噴頭、灑水器的位置、水管孔徑
- 3.應變變因：彩虹的高度角（眼睛觀測彩虹的仰角）

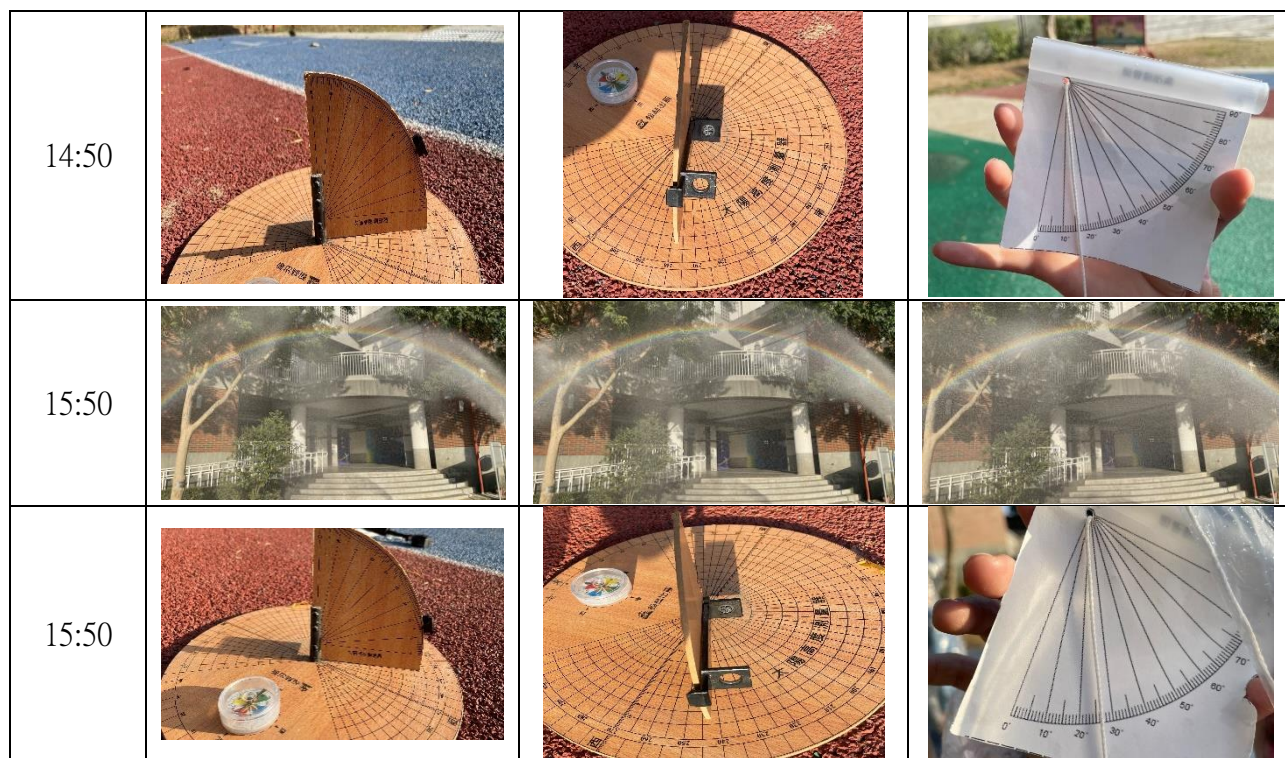
(二)實驗方法：

- 1.分別利用 12:50、13:50、14:50、15:50 四個觀測時間進行灑水產生人造彩虹。
- 2.分別記錄這四個時段的太陽高度角。
- 3.並利用高度角觀測器並分別觀測各個時段的彩虹高度角。
- 4.並分別用相機拍下彩虹呈現的樣貌。

(三)實驗記錄：

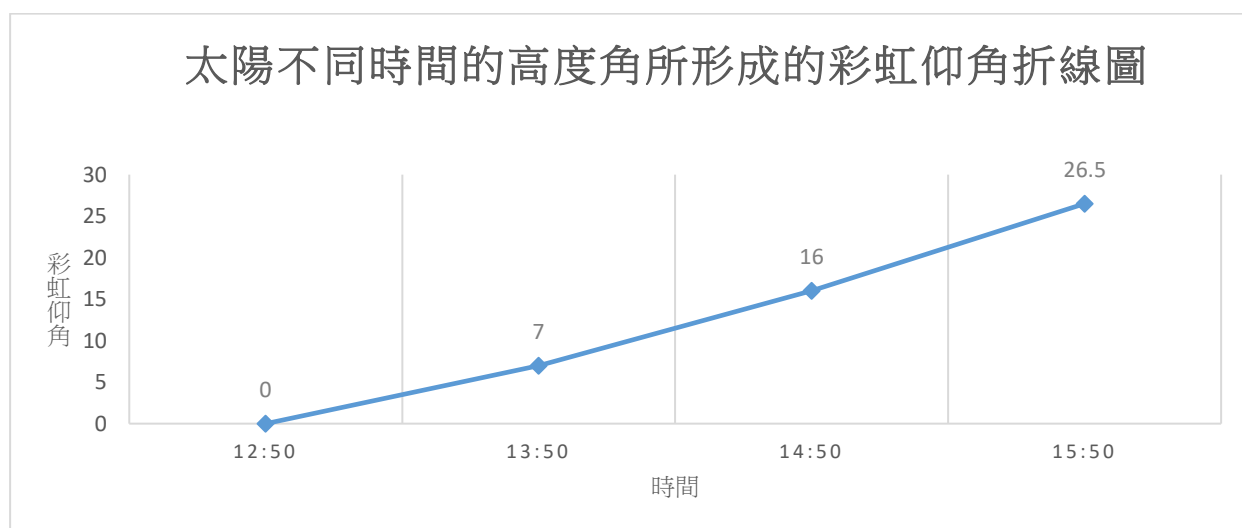
表四：太陽不同時間的高度角所形成的彩虹仰角關係表

次數 時間	第 1 次	第 2 次	第 3 次
12:50			
12:50			
13:50			
13:50			
14:50			



(四)實驗結果：

- 1.當 12:50 太陽高度角 43 度時，我們所觀測到的彩虹仰角 0 度。
- 2.當 13:50 太陽高度角 35 度時，我們所觀測到的彩虹仰角約 7 度。
- 3.當 14:50 太陽高度角 26 度時，我們所觀測到的彩虹仰角約 16 度。
- 4.當 15:50 太陽高度角 15 度時，我們所觀測到的彩虹仰角約 26.5 度。



圖二 太陽不同時間的高度角所形成的彩虹仰角折線圖

小結：

1. 太陽高度角和觀測者觀看彩虹視角有緊密關係，當太陽高度角越高時，觀看彩虹的仰角越低，當太陽高度角越低時，觀看彩虹的仰角就越高。

2. 太陽高度角也影響到了觀看彩虹的完整性與彩虹弧的可見範圍，由於太陽接近地平線，這使得彩虹的圓心較接近地平線，因此觀察者更容易看到較完整的彩虹弧，甚至可能看到接近半圓形的彩虹；隨著太陽升高，使得彩虹的圓心隨之下降到地平線以下更深的位置。這時，只有彩虹弧的上半圓弧其中部分可能出現在地平線之上，而且可見的弧度會越來越小。當太陽高度角超過 42 度時，主要的彩虹通常不會在地平線之上出現。
3. 因人造彩虹的小水滴由人為噴灑在觀測者前，雖太陽高度角大於 42 度，仍然可以看到仰角低於 0 度的彩虹。

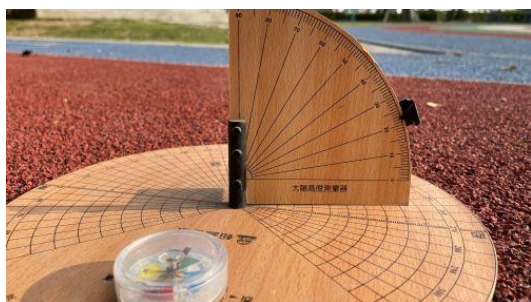
四、不同水珠大小所形成的彩虹有何差異性？

(一)實驗設計：

1. 操縱的變因：灑水噴頭
2. 控制變因：水的強度、太陽高度角、水管管徑、灑水噴頭位置
3. 應變的變因：彩虹的明顯度

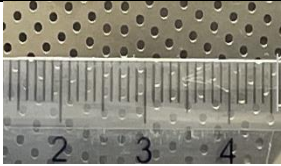
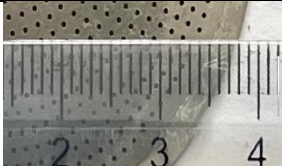
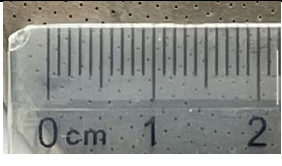
(二)實驗方法：

1. 分別準備 400 目、1000 目、2000 目的灑水噴頭。
2. 測量太陽高度角 22 度。



太陽高度角 22 度

3. 照順序裝上 400 目、1000 目、2000 目的灑水噴頭
4. 分別拍下 400 目、1000 目、2000 目灑水噴頭水珠與太陽光所形成的彩虹照片。

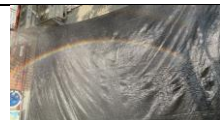
			
三種孔徑的噴片 灑水噴片直徑 4.5cm	400 目，約 0.1cm 孔徑	1000 目，約 0.05cm 孔徑	2000 目，約 0.02cm 孔徑

5. 分別比較 400 目、1000 目、2000 目灑水噴頭水珠與太陽光所形成的彩虹照片的明顯度；

其明顯度的判斷標準是以色彩鮮豔程度、彩虹輪廓的清晰度、色帶的對比度來進行綜合比較。

(三) 實驗記錄：

表五：不同孔徑灑水噴頭所形成的彩虹明顯度關係表

次數 噴頭 種類	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
400 目					
1000 目					
2000 目					

(四) 實驗結果：

- 1.當 400 目噴頭所噴出的水珠，遇到太陽光時形成的彩虹色光十分微弱幾乎無法形成彩虹。
2. 當 1000 目噴頭所噴出的水珠，遇到太陽光時形成的彩虹稍較為明顯。
3. 當 2000 目噴頭所噴出的水珠，遇到太陽光時形成的彩虹更為明顯。

小結：

1. 400 目的噴頭造成的水珠過大，所形成的彩虹不明顯，色帶幾乎看不到。
2. 1000 目的噴頭造成的水珠偏大，所形成的彩虹稍較明顯，色帶較窄。
3. 2000 目的噴頭造成的水珠較小，所形成的彩虹更為明顯，色帶較寬。
4. 本實驗由更小水珠形成的彩虹會更明亮。

研究五：不同位置的人所看到的彩虹都在不一樣的位置嗎？

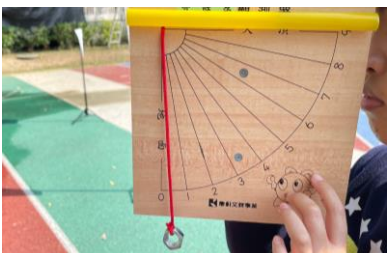
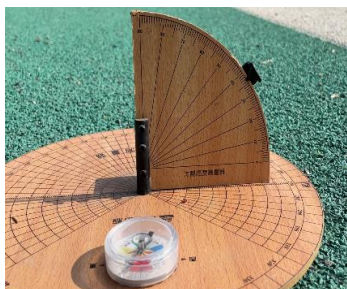
(一)實驗設計：

- 1.操縱的變因： A、B、C 三個觀測點、
- 2.控制變因：2000 目灑水噴頭、灑水的強度、水珠的分布位置、太陽高度角、拍攝鏡頭距離地面高度 105cm

3.應變的變因：彩虹的形成位置

(二)實驗方法：

- 1.擺放 3 個腳架，每個腳架彼此左右距離 2 公尺。
- 2.調整腳架距離地面 105 公分，鏡頭面向灑水位置，背向太陽，距離水珠位置約 5 公尺
- 3.利用兩個 2000 目灑水噴頭相距 8 公尺對噴灑水。
- 4.依序在 A 點、B 點、C 點鏡頭背對太陽拍攝彩虹。
- 5.並依序利用高度角觀測器測量彩虹仰角。
- 6.判斷 A、B、C 三個觀測點所拍攝的彩虹彼此之間相對位置的差異性。

		
三個觀測點各距離 2 公尺	彩虹仰角約 4 度	太陽的高度角約 38 度

(三)實驗記錄：

表六：左右距離 2 公尺的不同觀測位置與與彩虹成像位置關係表

次數 觀測位置	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次
A 觀測點					

B 觀測點					
C 觀測點					

(四)實驗結果：

1. 在 A 點、B 點、C 點三個拍攝點所看到的彩虹都是屬於自己的彩虹。
2. 比較每個彩虹與背景參照物，會發現每一個拍攝點的位置左右相距兩公尺，三個不同觀測點所看到拍攝到的彩虹也會跟著左右移動。

小結：

1. 每個觀察者的位置不同，他們所看到的是由不同水滴折射反射的光線形成的彩虹，因此不同位置的人所看到的彩虹都在不一樣的位置。
2. 根據彩虹形成的物理光學原理，彩虹是由於光線以特定角度（約 42 度）進入觀察者眼睛所形成的。此實驗說明當觀察者的位置改變時，能夠將光線以這個特定角度反射到其眼睛的水珠也會隨之改變，因此產生了「屬於自己的彩虹」的現象。

研究六：觀看距離不同遠近水珠所形成的人造彩虹有何差異性？

(一)實驗設計：

- 1.操縱的變因：觀測者至水珠的距離。
- 2.控制的變因：2000 目噴頭、灑水噴頭的位置、水的強度、太陽高度角。
- 3.應變的變因：彩虹所落在的背景位置高度。

(二)實驗方法：

- 1.準備 ABC 三個角架攝像頭距離地面 105cm，相機分別放在 ABC 三個位置進行拍攝。
- 2.噴頭左右相距 8 公尺，噴頭固定位置相互噴灑。
3. ABC 三個拍攝點位置前後相距各兩公尺，C 點距離水珠約兩公尺依序從 A 位置拍攝完彩虹，再至 B 位置再往前至 C 位置拍攝。
- 4.從 ABC 三個拍攝點觀測比較彩虹落在背景位置的高度。



太陽高度角 21 度



ABC 三個拍攝點

(三) 實驗記錄：

表七：觀看距離不同遠近水珠所形成的人造彩虹高度關係表

次數 拍攝位置	1	2	3	4
A				
B				
C				

(四)實驗結果

- 1.ABC 三個拍攝點都可以拍攝到形狀相似的彩虹。
2. A 點拍攝點拍攝到的彩虹圓弧較大，B 次中，C 點較小。
3. ABC 三個拍攝點拍攝到的彩虹依背景的參照物，A 點拍攝點拍攝到的彩虹稍微較高，B 次中，C 點較低。

小結:

- 1.利用灑水器所製造出的人造彩虹容易受到觀看者距離小水珠的遠近影響到彩虹弧半徑的大小。若有背景參照物的話，可發現愈接近小水珠，彩虹漸小，比對背景高度彩虹位置漸低，而愈距離小水珠漸遠，彩虹漸大，比對背景高度彩虹位置漸高。
- 2.實驗的太陽高度角 21 度，彩虹仰角為 21 度，ABC 三個拍攝點拍攝到的彩虹與背景的參照物的高低差異幅度有些微變化，彩虹圓弧大小有些微變化。A 點拍攝點拍攝到的彩虹因受限於黑色遮陽網背景尺寸，有部分彩虹弧落在黑色背景外不易拍攝，但仍可判斷 A 點拍攝點拍攝到的彩虹虹弧較大。

3.大自然的彩虹與人造小水珠所形成的彩虹有所不同，天空中有大範圍的小水珠，較不會受到觀察者前後幾公尺的距離而影響彩虹大小高低。

研究七：太陽光下的人造圓形彩虹的可行性為何？

(一)實驗設計：

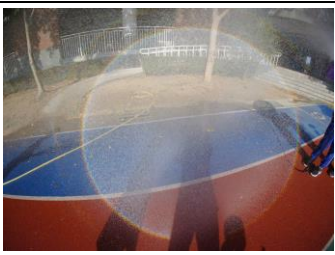
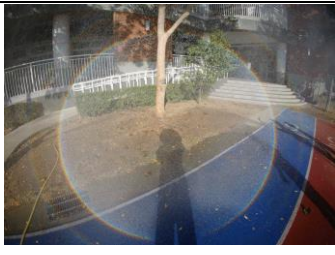
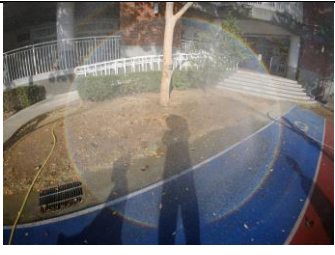
- 1.操縱的變因：太陽高度角
- 2.控制變因：2000 目灑水噴頭、水的強度、與小水珠的觀測距離約 1 公尺、廣角鏡頭
- 3.應變的變因：不同高度角的圓形彩虹

(二)實驗方法：

- 1.利用兩個 2000 目灑水噴頭左右兩方相互噴灑，兩灑水噴頭相距 6 公尺。
- 2.分別利用 12 月份下午陽光充足三個時間進行觀測：14:00、15:00、16:00
- 3.此時的太陽高度角分別為約 35 度、26 度、15 度。
- 4.背對太陽利用廣角相機鏡頭對準圓彩虹圓心進行拍攝，盡量讓太陽、鏡頭、彩虹圓心在一直線上。
- 5.為取得較佳的觀測位置，太陽、眼睛（鏡頭）、彩虹中心成一直線，配合太陽移動方位從南南西方移動到西南西方位，廣角鏡頭及灑水噴頭也逐漸配合轉向。

(三)實驗記錄：

表八：不同時間的太陽高度角所形成的圓形彩虹關係表

次數 時間	第一次	第二次	第三次
14:00			
15:00			



(四)實驗結果：

- 1.當下午太陽高度角為 35 度時，貼近距離小水珠約 1 公尺時，可以看到人造圓形彩虹，此時觀看彩虹頂端的仰角較低，約 7 度。
- 2.當下午太陽高度角為 26 度時，貼近距離小水珠約 1 公尺時，可以看到人造圓形彩虹，此時觀看彩虹頂端的仰角漸高，約 16 度。
- 3.當下午太陽高度角為 15 度時，貼近距離小水珠約 1 公尺時，可以看到人造圓形彩虹，此時觀看彩虹頂端的仰角較高，約 27 度。

小結：

- 1.太陽高度角太高時，彩虹呈現仰角較低，拍攝圓形彩虹不易，有幾次拍攝角度稍有偏移而容易拍攝失敗。
- 2.太陽高度角較低時，彩虹呈現仰角較高，拍攝圓形彩虹較容易成功。
- 3.拍攝該日 16 時有些微風，影響了水珠的分布，而造成圓形彩虹呈現不穩定狀態，因此風量也要視為干擾因素。
- 4.當在較靠近小水珠來觀測人造圓形彩虹時，容易觀察到彩虹的下半圓弧是稍微斜躺著，因為有周遭的參照物，會觀察到下半圓弧底部向自己腳邊傾斜。
- 5.由此可推論，大自然下雨後的彩虹應該也是圓形，只是受限於觀測者的視角無法看到地平線下的彩虹，而人造彩虹可以克服地平線視角的限制，可以看到靠近腳邊的水珠及彩虹下半圓弧。

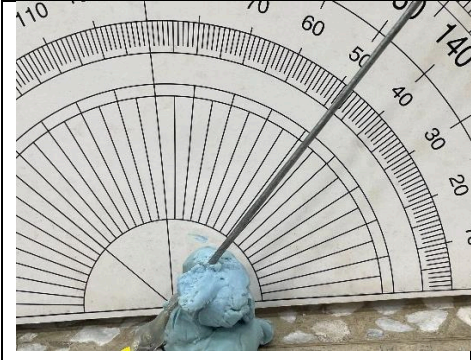
研究八：製作彩虹視角模型演示工具是否有其可行性及實用性？

(一)製作彩虹視角模型演示工具可行性之探究

- 1.製作材料：廢棄回收的圓形金屬（直徑 68 公分）、粗鐵線（54 公分）、珍珠板。
- 2.製作方法：
 - (1)廢棄回收的圓形金屬框當作圓形彩虹紅色光譜的最外圈，利用四支粗鐵線做支架交會於一點。四支粗鐵線皆與圓框的圓盤面的夾角為 48 度，四支粗鐵線之間及鐵線與圓框之間皆利用熱融膠黏合。

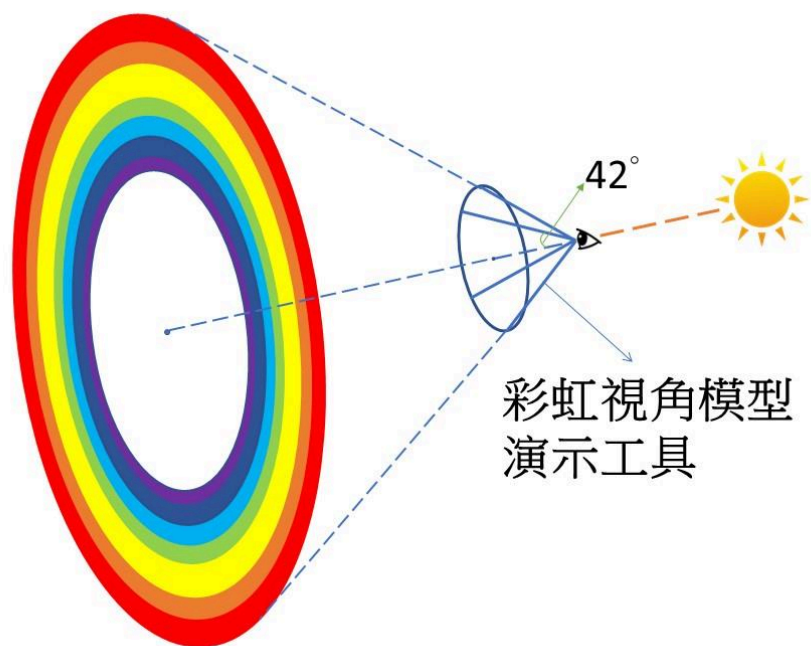
(2)四支粗鐵線的交會點至圓形金屬圓心的假想直線垂直於圓盤面，並且四支粗鐵線與垂直於圓盤面的假想直線呈現 42 度。

(3)在圓框處黏合已製作好的圓形彩虹並噴上防水漆，此時可以成為觀測彩虹的工具。

		
四支鐵線各與金屬框圓面夾角 48 度固定	四支鐵線匯集於一點並在金屬圓框的圓心正上方形成圓錐體，頂角開口約 84 度	製作教學展示的圓框彩虹
		
製作教學展示的圓框彩虹	噴灑防水漆	以珍珠板襯底加強固定
		
彩虹視角模型演示工具(觀測型)	加入眼睛及太陽成為展示模型	彩虹視角模型演示工具(教學展示型)

3.觀測操作：

(1)在天氣晴朗有充足陽光及太陽高度角低於於 42 度下，把製作好的彩虹視角模型演示工具做為觀測彩虹的工具，模型的圓錐頂點對準天空的太陽，眼睛靠近模型的圓錐頂點，會發現金屬圓框處剛好會覆蓋灑水噴頭製造的小水珠人造彩虹。



圖三 太陽、眼睛、彩虹視角模型演示工具與彩虹相對位置示意圖

(2)實際觀測情形：

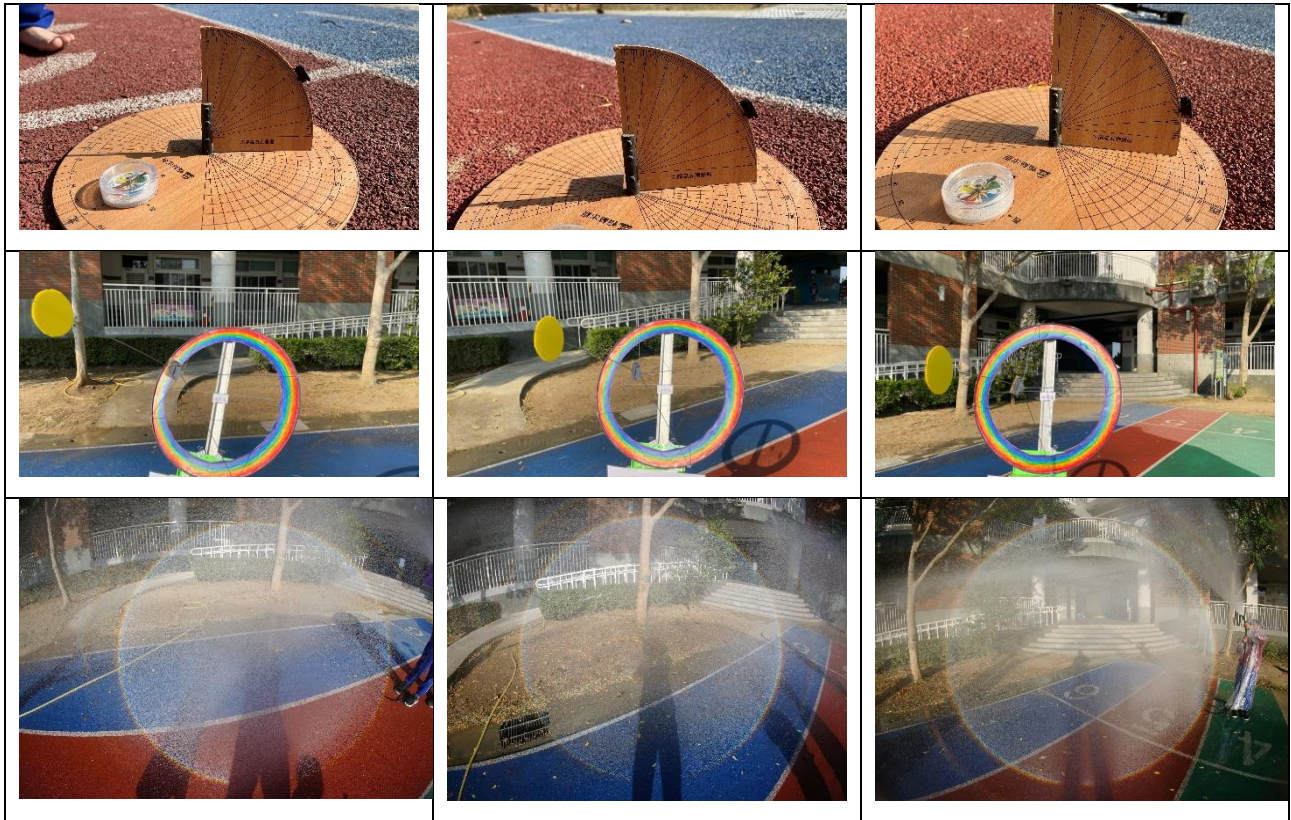
1.模型的圓錐頂點對準天空的太陽，此時彩虹正在模型框架的上方。	2.觀察者眼睛慢慢靠近模型圓錐頂點，會發現彩虹已接近模型框架邊緣。	3. 觀察者眼睛在模型圓錐頂點處，會發現模型框架會剛好與彩虹相互疊合。

4.實驗結果：

- (1)利用彩虹視角模型演示工具來觀測彩虹，只要把圓錐頂點對準天空的太陽，觀測者眼睛靠近圓錐頂點，就可以預先推測出彩虹的出現位置。
- (2)利用彩虹視角模型演示工具來預估彩虹的出現位置是可行性工具。

(二)製作彩虹視角模型演示工具實用性之探究

- 1.在四支粗鐵線的交會點黏上眼睛圖示及太陽圖示，讓太陽、眼睛、金屬圓型框彩虹圓盤面圓心成為一假想直線，若將太陽圖示朝向太陽，就可以呈現彩虹的相對位置及樣貌，此時可以成為彩虹視角模型演示工具（教學展示型）。
- 2.分別展示太陽高度角 35 度、26 度、15 度呈現彩虹的相對位置及樣貌



3. 實驗結果：

- (1)只要把彩虹視角模型演示工具的圓錐頂點及太陽圖示對準天空的太陽，就可以利用彩虹視角模型演示工具來展示呈現彩虹的相對位置及樣貌。
- (2)透過此模型可以讓學生知道彩虹、觀察者、太陽彼此間的相對位置，也可以觀察了解整個彩虹是圓的，由於大自然的彩虹的下半部分被地平線或地形遮擋，我們無法看到完整的圓形，而且缺乏參照比較物體，所以較無法感知整個圓彩虹與地平面存在著空間傾斜。經過此操作可以驗證出彩虹視角模型演示工具的實用性。

研究九：應用太陽光於校園角落學習區中製作人造彩虹的實作探究

(一)布置深色背景：

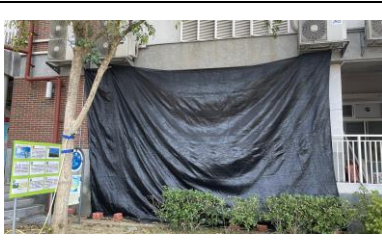
- 1.製作材料：黑色遮陽網長 6 公尺寬 4 公尺、S 型掛鉤。
- 2.製作方法：

(1)尋找校園合適的裝置地點：位於教學大樓與行政處室的銜接轉角處的小空地，該處有灌木叢及光臘樹，在灑水製造彩虹時，也可同時澆灌植物，又有水撲滿雨水回收裝置在旁，可達到水資源充分利用的效益；另外更重要的是該處有數個水龍頭提供穩定的水源。

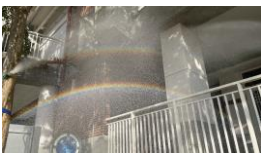
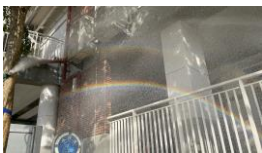
(2)裝置黑色遮陽網位於校園東側，面向西方，適合午後觀賞人造彩虹。

(3)利用 S 型掛鉤固定黑色遮陽網。

(4)利用黑色遮陽網來布置深色背景，來增加彩虹的觀看效果。

		
布置黑色遮陽網前狀態	布置黑色遮陽網過程	布置完成黑色遮陽網

表九：深色背景布置前後的人造彩虹比較表

布置前				
布置後				

小結：實驗證明以太陽高度角 21 度為例，利用黑色遮陽網來布置深色背景，可以增加彩虹的觀看效果。

(二)布置教學看板與模型

1.製作材料：塑膠瓦楞板(100 公分*60 公分)、教學資料護貝、太陽高度角觀測器、高度角觀測器、彩虹視角模型演示工具。

2.製作方法：

(1)先固定兩塊塑膠瓦楞板作為教學看板的底板。

(2)至中央氣象署蒐集彩虹相關光學資料。

(3)將教學資料列印護貝以加強防水性，並張貼於看板上。

(4)再依研究八所製作的彩虹視角模型演示工具展示於角落學習區一側。

(5) 彩虹視角模型演示工具擺放出太陽高度角 10 度的呈現樣貌。

(6) 角落學習區一側擺放太陽高度角觀測器、高度角觀測器供觀測者使用。

		
布置教學看板前狀態	布置教學看板的過程	布置教學看板的過程
		
布置完成的教學看板	布置彩虹高度角觀測器	布置太陽高度角觀測器
		
太陽高度角 10 度的彩虹視角演示模型，彩虹圓弧盤微傾斜 10 度的視覺樣貌。	演示地平線上下的圓弧	張貼於模型下方的彩虹觀測演示模型介紹

(三)製作充足的小水珠與配合足夠的陽光

1.製作材料：灑水噴頭、水管、充足的水源。

2.製作方法：

(1)在黑色遮陽網前方兩側的樹木上架設灑水裝置。

(2)將 2000 目灑水噴頭連接水管固定在兩側樹木上。

(3)在下午三時至五時之間，陽光充足，配合充足的小水珠即可形成美麗的彩虹彎。

		
架上灑水噴頭於樹上	架上灑水噴頭於樹上	充足的小水珠與陽光

表十：角落學習區的人造彩虹與大自然雨後的彩虹的分析比較表(一)

比較項目 類型	形成環境	形成時間	小水珠分布	觀測角度
角落學習區 的人造彩虹	有分布均勻的小水珠及充足的陽光。	只要充足陽光照到灑水區的小水珠就可以看到彩虹，機動性及便利性較高。	小水珠大小及分布狀態較易掌控。	較不受限於太陽高度。
大自然雨後的彩虹	天空中有分布均勻的小水珠及充足的陽光。	需配合天空中是否有分布均勻的小水珠及高度角較低的太陽，觀看時機較受限。	大自然界小水珠大小及分布狀態無法人為掌控。	必須低於 42 度甚至通常更低的太陽高度角。

表十一：角落學習區的人造彩虹與大自然雨後的彩虹的分析比較表(二)

比較項目 類型	彩虹仰角	可見彩虹圓弧比例	圓形彩虹	可視距離
角落學習區 的人造彩虹	可觀看彩虹的仰角較多樣不受地平線影響。	可見彩虹圓弧比例較大，較不會受到地平線影響。	只要貼近小水珠並配合適當的視角，圓形彩虹的可見度較高。	學習區的人造彩虹小水珠與觀測者距離不宜太遠，本實驗不超過 5 公尺。
大自然雨後的彩虹	仰角較低的彩虹相對來說是不常見的或較不受人注意到。	可見彩虹圓弧比例通常較接近半圓弧，會受到地平線影響觀測視角。	除非是高空或位處高處，否則很難看到圓形彩虹。	大自然雨後的彩虹小水珠與觀測者距離較遠，但此為光學現象並非固定的距離。

小結：角落學習區的人造彩虹雖然沒有大自然雨後的彩虹那麼大，但是操作上有其機動性及便利性，仍然能夠很吸引小朋友及大朋友駐足觀看，更具有展示性及教學意義。

伍、研究結果

一、光在不同介質傳遞會影響光的偏折大小：

(一)光從空氣（煙層）進入水、油、果凍等不同介質時，都會發生折射現象，也就是光線的傳播方向發生改變。

(二)不同介質具有不同的折射率，當光從折射率較小的介質（如空氣）進入折射率較大的介質（如水、沙拉油、果凍）時，光線會向法線方向偏折。

二、光在圓形水容器的入射角大小會影響觀察到色散現象的明顯程度：

(一)當光與法線形成的夾角為 0 度時，無法產生明顯的色散作用；當入射角逐漸增大時，光線在介質表面發生的折射程度也會增大。由於不同顏色的光具有不同的折射率，隨著入射角的增大，它們之間的折射角度差也會增大，導致色散現象更加明顯，觀察到的色帶也會更寬。

(二)透過本實驗得知，當光與法線形成的夾角為 20 度、40 度、60 度時，光的色帶由窄漸寬；因此光的入射角的大小會影響觀察到色散現象的明顯程度。

三、太陽不同高度角所形成的彩虹有其差異性：

(一)太陽高度角和觀測者觀看彩虹視角有緊密關係，當太陽高度角越高時，觀看彩虹的仰角越低，當太陽高度角越低時，觀看彩虹的仰角就越高。

(二)太陽高度角也影響到了觀看彩虹的完整性與彩虹弧的可見範圍，由於太陽接近地平線，這使得彩虹的圓心較接近地平線，因此觀察者更容易看到較完整的彩虹弧，甚至可能看到接近半圓形的彩虹；隨著太陽逐漸升高，使得彩虹的圓心隨之下降到地平線以下更深的位置。這時，只有彩虹弧的上半圓弧其中部分可能出現在地平線之上，而且可見的弧度會越來越小。

(三)當太陽高度角超過 42 度時，主要的彩虹通常不會在地平線之上出現。因人造彩虹的小水滴由人為噴灑在觀察者前，雖然太陽高度角大於 42 度，仍然可以看到仰角低於 0 度的彩虹。

四、不同水珠大小所形成的彩虹有其差異性：

(一) 400 目（約 0.1cm 孔徑）的噴頭造成的水珠過大，所形成的彩虹色帶幾乎看不到。

(二) 1000 目（約 0.05cm 孔徑）噴頭造成的水珠偏大，所形成的彩虹稍明顯，色帶較窄。

(三) 2000 目（約 0.02cm 孔徑）的噴頭造成的水珠較小，所形成的彩虹更為明顯，色帶也較寬。

(四)本實驗由 2000 目（約 0.02cm 孔徑）的噴頭造成的水珠形成的彩虹會更明亮。

五、不同位置的人所看到的彩虹都在不一樣的位置：

(一)每個觀察者的位置不同，他們所看到的是由不同水滴折射反射的光線形成的彩虹，因此不同位置的人所看到的彩虹都在不一樣的位置。

(二)根據彩虹形成的物理光學原理，彩虹是由於光線以特定角度（約 42 度）進入觀察者眼睛所形成的。說明當觀察者的位置改變時，能夠將光線以這個特定角度反射到其眼睛的水珠也會隨之改變，因此產生了「屬於自己的彩虹」的現象。

六、觀看距離不同遠近水珠所形成的人造彩虹有其差異性：

(一)利用灑水器所製造出的人造彩虹容易受到觀看者距離小水珠的遠近影響到彩虹弧半徑

的大小。若有背景參照物的話，可發現愈接近小水珠，彩虹漸小，比對背景高度彩虹位置漸低，而愈距離小水珠漸遠，彩虹漸大，比對背景高度彩虹位置漸高。

(二)實驗的太陽高度角 21 度，彩虹仰角為 21 度，ABC 三個拍攝點拍攝到的彩虹與背景的參照物的高低差異幅度有些微變化，彩虹圓弧大小有些微變化。A 點拍攝點拍攝到的彩虹因受限於黑色遮陽網背景尺寸，有部分彩虹弧落在黑色背景外不易拍攝，但仍可判斷 A 點拍攝點拍攝到的彩虹虹弧較大。

(三)大自然的彩虹與人造小水珠所形成的彩虹有所不同，天空中有大範圍的小水珠，較不會受到觀察者前後幾公尺的距離而影響彩虹大小高低。

七、太陽光下的人造圓形彩虹的可行性：

(一)太陽高度角太高時，彩虹呈現仰角較低，拍攝圓形彩虹不易，有幾次拍攝角度稍有偏移而容易拍攝失敗；太陽高度角較低時，彩虹呈現仰角較高，拍攝圓形彩虹較容易成功。

(二)拍攝該日 16 時有些微風，影響了水珠的分布，而造成圓形彩虹呈現不穩定狀態，因此風量也要視為干擾因素。

(三)當在較靠近小水珠來觀測人造圓形彩虹時，容易觀察到彩虹的下半圓弧是稍微斜躺著，因為有周遭的參照物，會觀察到下半圓弧底部向自己腳邊傾斜。

(四)由此可推論，大自然下雨後的彩虹應該也是圓形，只是受限於觀察者的視角無法看到地平線下的彩虹，而人造彩虹可以克服地平線視角的限制，可以看到靠近腳邊的水珠及彩虹下半圓弧。

八、製作彩虹視角模型演示工具是有其可行性及實用性：

(一)利用彩虹視角模型演示工具來觀測彩虹，只要把圓錐頂點對準天空的太陽，觀測者眼睛靠近圓錐頂點，就可以預先推測出彩虹的出現位置。利用彩虹視角模型演示工具來預估彩虹的出現位置是可行性工具。

(二)只要把彩虹視角模型演示工具的圓錐頂點及太陽圖示對準天空的太陽，就可以利用彩虹視角模型演示工具來展示呈現彩虹的相對位置及樣貌。透過此模型可以讓觀察者知道彩虹、觀測者、太陽彼此間的相對位置，也可以觀察了解整個彩虹是圓的，由於大自然的彩虹的下半部分被地平線或地形遮擋，我們無法看到完整的圓形，而且缺乏參照比較物體，所以較無法感知整個圓彩虹與地平面存在著空間傾斜。經過此操作可以驗證出彩虹視角模型演示工具的實用性。

九、應用太陽光於校園角落學習區中製作人造彩虹的實作探究：

(一)實驗證明以太陽高度角 21 度為例，利用黑色遮陽網來布置深色背景，可以增加彩虹

的觀看效果。

(二) 角落學習區的人造彩虹雖然沒有大自然雨後的彩虹那麼大，但是操作上有其機動性及便利性，仍然能夠很吸引小朋友及大朋友駐足觀看，更具有展示性及教學意義。

陸、討論

- 一、光從空氣進入不同介質可以產生不同的偏折角，未來可以增加多種介質實驗來進行比較偏折角差異，而果凍的成分有多樣性可能會影響光折射大小需要再進一步討論。
- 二、使用白光筆從裝水的燒杯圓形水容器的側邊入射光，觀察光的折射、反射、折射和色散現象，選擇燒杯來做實驗是因為與水滴皆有圓形結構性質，也觀察到了彩虹光譜，但是與水滴球形還是有差異性，因此未來可以嘗試使用透明的球形容器（例如玻璃珠或裝滿水的透明塑膠球）進行實驗，更接近模擬雨滴的形狀。
- 三、在測量彩虹仰角時，用高度角觀測器測量時，有可能存在人為操作的觀測誤差，因此未來再做高度角觀測器測量時應多人重複測量取平均值，安排多位觀測者在同一時間對同一道彩虹進行仰角測量，然後取平均值。
- 四、在比較不同水珠大小所形成的彩虹有何差異性時，資源有限的實驗條件下，雖有利用不同孔徑灑水噴頭，但噴出的水珠大小可能不完全均勻，這也會影響彩虹的清晰度和色帶的呈現。因此在水珠大小的控制上可以尋找專門用於科學研究或工業用途的噴嘴並配合精準穩定的水壓，可能較能夠接近大小均勻的水珠；對於色帶寬度的判斷可能帶有一定的主觀性，要客觀量化彩虹明顯度可能需要更複雜的方法，需要進一步探討研究。
- 五、不同位置的人所看到的彩虹確實會在不一樣的位置的實驗上，是利用彩虹與背景參照物的比對差異來判斷彩虹呈現位置的不同，未來若能再做背景標的區別比較，將會讓實驗更完善。
- 六、在觀看距離不同遠近水珠所形成的人造彩虹有何差異性的實驗中，雖有在太陽高度角 21 度下有比對出不同差異性，未來若可以嘗試在不同的太陽高度角下重複實驗，觀察觀看距離對彩虹大小和位置的影響是否會隨著太陽高度角的變化而改變，將會讓實驗更完善。
- 七、在觀察拍攝圓形彩虹時，微風影響了水珠的分布，而造成圓形彩虹呈現不穩定狀態，因此風量也要視為干擾因素；並且拍攝鏡頭的偏移誤差，也會影響拍攝圓形彩虹的成功率，因此未來需要輔助腳架來拍攝。
- 八、製作彩虹視角模型演示工具的可行性方面，可以進一步利用此工具觀測探討各種太陽高度角所形成的彩虹，讓此觀測模型確實可以成為預測彩虹位置的工具。
- 九、在應用太陽光於校園角落學習區中製作人造彩虹的實作上，我們發現實地操作過程中黑

色遮陽網成為深色背景增加了彩虹的明顯度，但有美中不足的地方是太陽光照在黑色遮陽網上會有些微的反光，稍微影響觀看彩虹的效益，未來若改成黑色吸光布，應該會大大增加彩虹的明顯度。另外此角落學習區位於校園水撲滿集水設施管線之處，建議校方在經費資源許可下，可增加人造彩虹灑水收集設施，可以達到水資源再利用的效益。

柒、結論

- 一、光在不同介質傳遞確實會影響光的偏折大小，當光從折射率較小的介質（如空氣）進入折射率較大的介質（如水、沙拉油、果凍）時，光線會向法線方向偏折。
- 二、光在圓形水容器的入射角大小會影響觀察到色散現象的明顯程度，隨著入射角的增大，它們之間的折射角度差也會增大，導致色散現象更加明顯，觀察到的色帶也會更寬。
- 三、太陽高度角和觀測者觀看彩虹視角有緊密關係，當太陽高度角越高時，觀看彩虹的仰角越低，當太陽高度角越低時，觀看彩虹的仰角就越高。
- 四、不同水珠大小所形成的彩虹有其差異性，本實驗中的較小孔徑噴頭造成的水珠較小，所形成的彩虹更為明顯，色帶也較寬。
- 五、不同位置的人所看到的彩虹確實會在不一樣的位置，當觀察者的位置改變時，能夠將光線以這個特定角度反射到其眼睛的水珠也會隨之改變，因此產生了「屬於自己的彩虹」的現象。
- 六、觀看距離不同遠近水珠所形成的人造彩虹有其差異性，利用灑水器所製造出的人造彩虹容易受到觀看者距離小水珠的遠近影響到彩虹弧半徑的大小及彩虹位置高低。
- 七、太陽光下看到人造圓形彩虹是可行性的，只要小水珠分布均勻，無風環境，較低的太陽高度角，觀察者盡量靠近小水珠，正背對太陽並配合適當的觀看視角，就能有較高的機率看到人造圓形彩虹。
- 八、製作彩虹視角模型演示工具是有其可行性及實用性，可以利用彩虹視角模型演示工具來預估彩虹的出現位置，並透過此模型可以讓觀察者知道彩虹、觀測者、太陽彼此間的相對位置。
- 九、應用太陽光於校園角落學習區中製作人造彩虹的實作探究上，利用黑色遮陽網來布置深色背景，可以增加彩虹的觀看效果，並布置了教學看板及操作模型，能夠很吸引小朋友及大朋友駐足觀看，更具有展示性及教學意義。

捌、參考文獻資料及其他

中央氣象署。光象一虹、霓、暈、華。中央氣象署數位科普網。民國 113 年 10 月 7 日，取自：<https://edu.cwa.gov.tw/PopularScience/wt/16.html>

台東大學（民 98）。科普的閱讀與寫作。台東縣：國立台東大學。

林靜（民 112）。奇妙的光之旅。台北市：千華駐科技。

維基百科。彩虹。民國 113 年 10 月 7 日，取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%BD%A9%E8%99%B9>