

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

第三名

080503

虹得不得了

學校名稱：臺中市南屯區大新國民小學

作者：	指導老師：
小六 林育森	彭士峯
小六 蔡佳穎	童進昌
小六 游子毅	
小五 彭毓玟	
小五 馬士宸	
小六 余承儒	

關鍵詞：彩虹、色散、圓形水滴

虹得不得了

摘要

由實際觀測彩虹出現時的資料，發現台灣中部地區彩虹出現的時間以夏秋兩季的傍晚 4 點到 6 點較多，這個時候的太陽高度角大多在 30 度以下。對應中央氣象署的觀測數據，發現是否下雨、地面的氣溫等天氣因素和氣象條件對形成彩虹也有關係，在出現的雲系上以低雲系較多。接著透過圓形水族缸模擬圓形水滴，以 LED 手電筒成功的產生彩虹，並以雷射光追蹤路徑，能找出形成彩虹時光在圓形水滴中符合兩次折射一次反射的路徑。之後操作水滴中不同的變因實驗我們發現，水滴中若溶有鹽、酸或溫度升高時會有彩虹位移的現象，而水滴溫度不同、懸浮微粒的多寡則會影響彩虹的亮度等。最後以自製的球形薄冰外殼，內加冰水可以更直觀且成功的模擬出彩虹的產生。

壹、前言

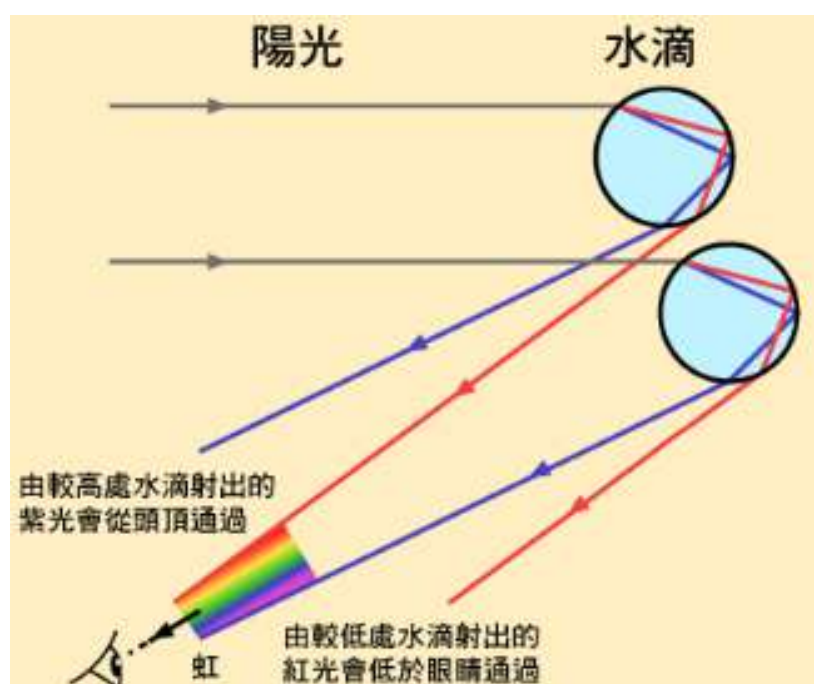
一、研究動機

彩虹在大氣中是難得一見的美景，由於中部地區每年可以觀測到的數量較少，在許多書上對於彩虹的敘述也僅有文字而已，因此這個部分激起了我們的好奇心，所以我們想要藉由實際的觀察與紀錄來探究彩虹出現在空中的時間以及與是否與當時的天氣狀況會有所關係？其次在我們能夠查到的資訊中，對於彩虹形成的實驗說明，多以三稜鏡或灑水器的方式為主，甚至在模擬彩虹的實驗中，也僅以水中放入鏡子，來呈現光的反射效果。可是我們卻沒有看到光線在單顆水滴中，光的兩次折射一次反射的路徑所造成色散形成彩虹的實驗，這部分是我們非常好奇的。所以我們對這個部分，希望能夠以自己設計的實驗，來驗證光透過水滴而形成彩虹的行徑路線，進而操作關於水滴裡的變因，以來探究不同性質的水滴對彩虹形成時的影響。

相關單元：5 上南一版，第一單元太陽與光

二、文獻回顧

在研究虹與霓的產生原因中，我們從中央氣象署數位科普網，提到光線在進入水滴後會產生兩次折射一次反射而產生色散現象，因此會有彩虹的出現，如下圖一所示。但是在相關文獻資料的模擬實驗中我們並沒有看到這樣的實驗，因此我們在思考這件事情是否有辦法模擬出來呢？而用單純水滴是類似將泡沫串成項鍊的困難，所以首先我們嘗試以類似水滴圓形狀的裝水容器做實驗的探究。在我們閱讀的資料中發現水跟冰的折射率非常的接近，冰是 1.31、水是 1.33，因此我們採用冰球的外殼，在球中裝入冰水方式，想以這個為基礎嘗試還原書中所說的球形水滴產生色散現象的可能性。



圖一：彩虹的形成示意圖 (出自：中央氣象署數位科普網)

另外，我們從歷屆的全國科展作品中搜尋了與彩虹相關的作品發現只有 4 件，從作品摘要中摘錄與我們研究相關的發現如下：彩虹就在我身邊 (42 屆)：「實驗結果發現，製造出彩虹是容易的，只要具備噴霧器水量、無雲的陽光，在較暗的背景的情況下就可以很容易看到彩虹」；教室裡的彩虹 (48 屆)：「認為教室裡可以輕易製造出彩虹的色光，且利用太陽光源最棒。並且推薦利用切割過的白色珍珠板，可以找出光線在裝水公升杯中的行經路徑，看到光經過二種透明物質，發生二次偏折後，出現彩虹色光的秘密」；虹透半邊天-全圓彩虹登場

(55 屆)：「以噴水以及玻璃珠的方式來製造穩定的彩虹，實驗中發現，利用玻璃珠製造全圓彩虹比水滴簡單許多」；造一座彩虹橋 (56 屆)：「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，印證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」。我們發現四件作品中有三件作品關注如何製作出較為明顯的彩虹效果，一件作品則著重在光折射原理的探討，並沒有關於光在圓形水滴中產生 2 次折射 1 次反射的現象研究。最後因為地球環境的變遷，導致水滴中的組成成分有可能被改變，而這些不同性質的水滴如何影響彩虹的形成，相關研究更是鮮少看到，也引起了我們探究的慾望。

三、研究目的

基於前述的研究動機與文獻回顧，我們的研究目的如下：

- (一) 探究彩虹出現時的時間以及太陽高度角
- (二) 探究可能與彩虹形成的相關天氣因素
- (三) 探究模擬光透過圓形水滴而形成彩虹時的行徑路線可被觀察的可行性
- (四) 探究不同性質的水滴對彩虹形成時的影響
- (五) 探究模擬光透過真實圓形水滴而形成彩虹的可行性

貳、研究設備器材及軟體

LED 手電筒、藍光雷射(450nm)手電筒、9cm 矽膠球形結冰模具、冷凍冰箱、方形水族缸、圓形水族缸、量角器、白紙、風扣板、電子天秤、醋酸、鹽、溫度計、相機、電腦、太陽測量師精簡版 APP、ImageJ 圖形分析軟體。

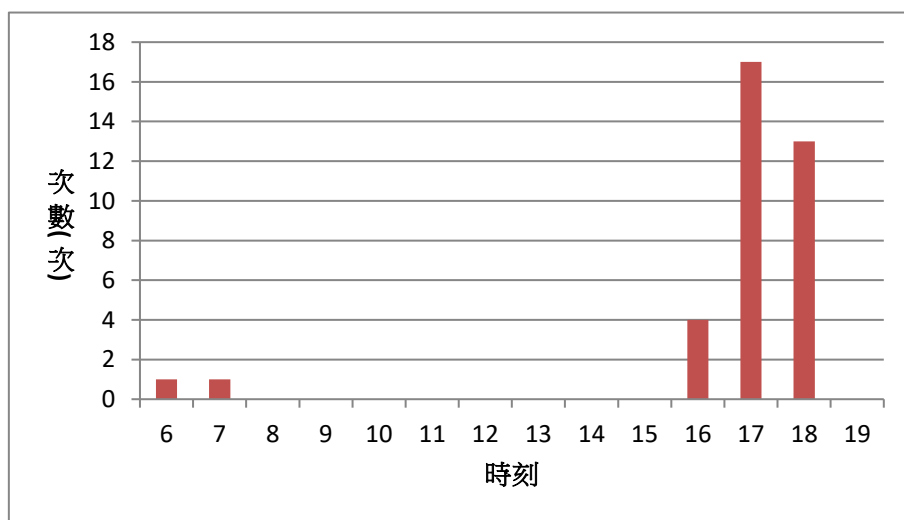
參、研究過程與結果討論

一、探究彩虹出現時的時間以及太陽高度角

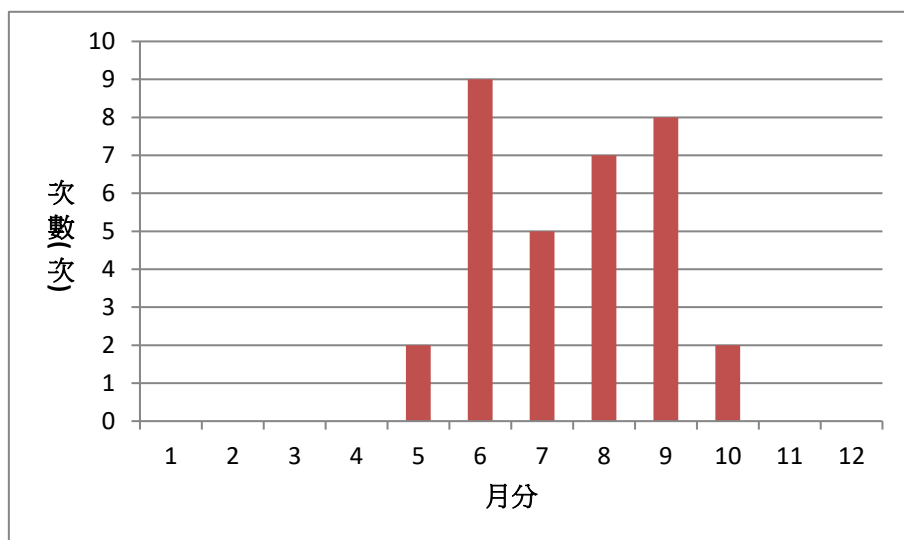
(一)實際觀測並記錄天空中彩虹出現的時間

方法：自 113 年 5 月 13 日開始至 114 年 5 月 12 日，每天白天時間，實際觀測天空中是否出現彩虹，並予以記錄。然後根據記錄結果做成圖表，分析家鄉中彩虹最容易出現的時間。(說明：本研究的觀測地點在中部地區，由於每個地方的氣象條件不完全一樣，因此我們所得到的結果只能呈現該地區的特徵，不見得可以推論到其他不同地區，這也是本研究的限制之一。)

結果：如圖二、三。



圖二：不同時刻彩虹出現的次數圖



圖三：不同月分彩虹出現的次數圖

發現：1.一天中最容易看到彩虹的時間是傍晚時分的 16 點到 18 點。

2.早上也有可能會出現彩虹，但是機率比較低。

3.在觀測時間內發現最容易看到彩虹的月分是 5 月到 10 月間，相當於夏秋兩季時。

討論：1.原本我們以為看到彩虹的機會會很小，但就我們一年的觀測，可看到彩虹的次數竟有 36 次，約 8%，相當於一個月的天數之多。(扣除同一天出現的次數，共有 31 天出現彩虹， $31/365=0.084\dots$)

2.家鄉中最容易看到彩虹的季節大約落在夏秋兩季，夏秋兩季氣溫較高，下雨天的日子也較頻繁，因此在空中水滴較充足的情況下，加上陽光的照射，導致形成彩虹的機會相對提升。而地面的溫度與溼度，甚至風速是不是也可以成為判斷彩虹是否出現的依據呢？因此，這部分也將是我們接下來數據分析、探究的一環。

3.彩虹最容易出現的時刻大約落在下午 4-6 點間，而觀測中發現早上也有可能出現彩虹但機率較低。我們可約略推出彩虹的出現多是太陽剛上升或將落下之際，因此後續我們也將就太陽的高度角、日射量進行進一步的分析。

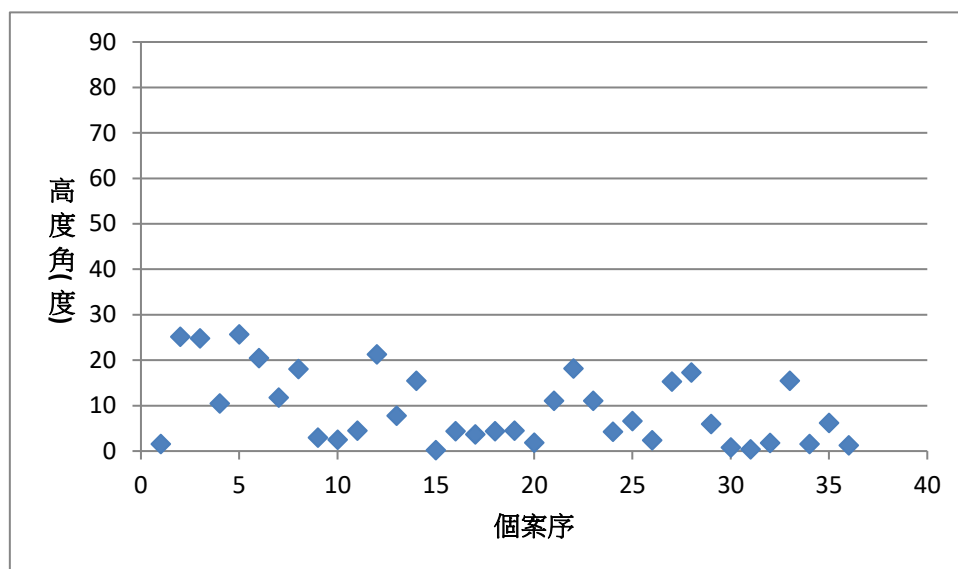
4.在實際的觀測過程中，我們也意外發現，雲的種類與高度似乎也是彩虹是否形成的可能原因，怎樣的雲是最有利於彩虹形成呢？彩虹形成在空中與水滴脫不了關係，而雲是由水或冰晶等所組成，所以水分這一項至關重要的因素，將在後續的第二部分實驗操作中，以它為主題，進行一系列水滴與彩虹形成的關係研究。



(二)彩虹形成時與太陽高度角的關係

方法：將觀察記錄到的彩虹時間，以太陽測量師精簡版 APP，找出該時刻的太陽高度角，然後做成圖加以分析。

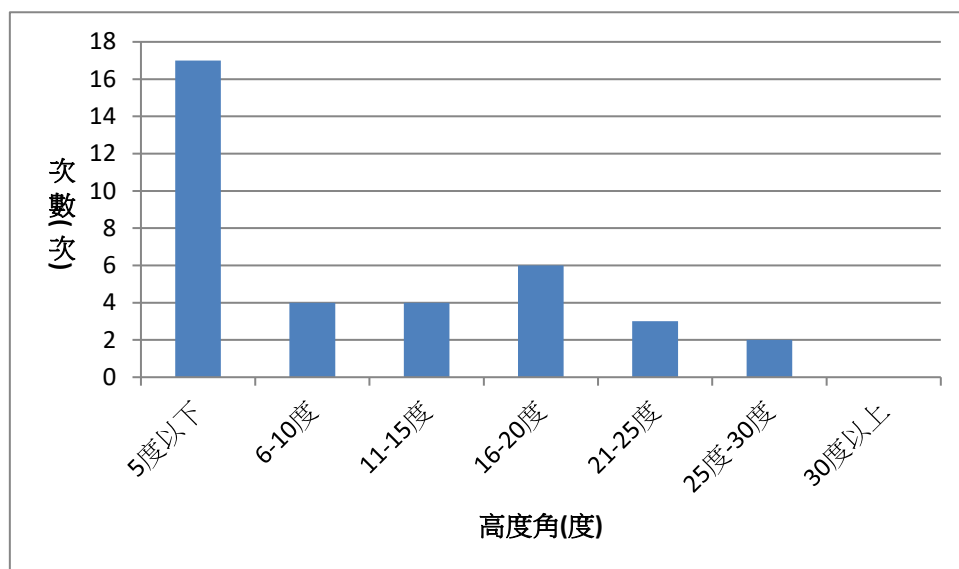
結果：如圖四。



圖四：每道彩虹出現時的太陽高度角

發現：彩虹出現時的太陽高度角，均在 30 度以下出現。

討論：我們認為因為彩虹形成在太陽的反方向位置，因此在高度角較低時，形成的彩虹相對在較高的位置，因此被看見的機會也較大。當我們再將高度角以 5 度為一間隔，做成圖加以分析，如圖五，更可發現彩虹出現時的太陽高度角，以 5 度以下出現的機會最高，且日落後，亦即太陽高度角為負值時(在地平面以下)，未能發現彩虹出現。再則在我們的觀測中也有發現，夏秋的陣雨一些在午後開始，然後接近傍晚結束，如此，我們推論在此時刻下，空中的水滴充足，若再加上當時陽光角度配合，那麼形成彩虹的機會自然也就較大。同理，如果太陽高度角過高，除了可能帶來較高的溫度之外，若有彩虹形成，則可能位於地平線以下(無法觀測到)，或因為天空較亮，導致不易出現或說不易看到彩虹。



圖五：彩虹出現時，太陽的高度角次數圖

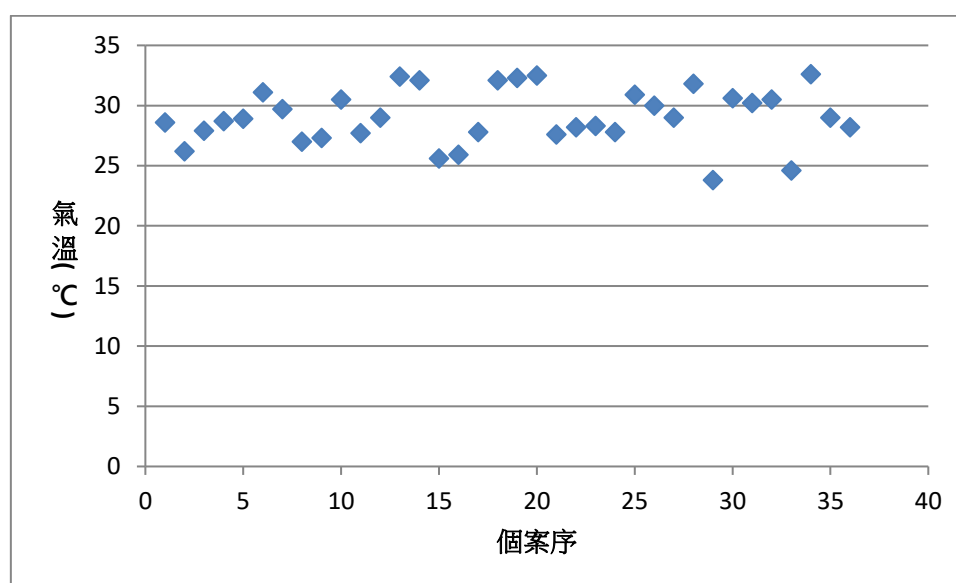
二、探究可能與彩虹形成的相關天氣因素

方法：我們向中央氣象署就家鄉附近的氣象站申請研究期間內的相關數據，然後就相對應的時間找出欲研究因素的相對應數據，最後再做成圖表加以分析。

(一) 彩虹形成與氣溫的關係

方法：依照彩虹出現時，就相對應的時間找出相對應的氣溫數據，最後再做成圖表分析。

結果：如圖六。



圖六：彩虹形成與氣溫的關係圖

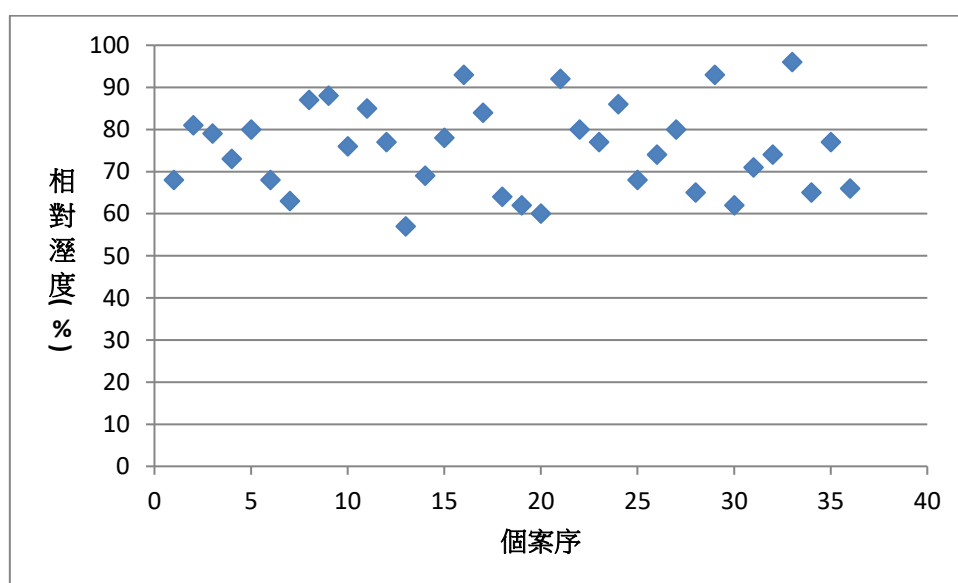
發現：圖中可以看出彩虹形成時的地面氣溫，幾乎多在 25°C 到 35°C 間，呈現較高溫狀態。

討論：觀測中發現彩虹形成的地面氣溫，幾乎多是在 25°C 到 35°C 間，比起年平均 24.6°C，呈現較為高溫的狀態。我們推測所以如此，是因為這樣的溫度容易使水分蒸發到空中，使得空中擁有較多的水滴，空氣飽和的程度較高，也增加降雨機率，進而提高形成彩虹的可能性。另外一方面，在過高的氣溫之下，雖然會增加空氣中的水蒸氣含量，但空氣中的飽和水氣壓變更大，相對溼度反而降低，使得在空氣中水滴不容易凝結出來，因此，如果太低溫水分較難被蒸發，氣溫太高又反而不容易凝結出水滴，或許這正也是氣溫不能過低或過高的原因。

(二) 彩虹形成與相對溼度的關係

方法：依彩虹出現時，找出相對應時間的相對溼度數據，最後再做成圖表加以分析。

結果：如圖七。

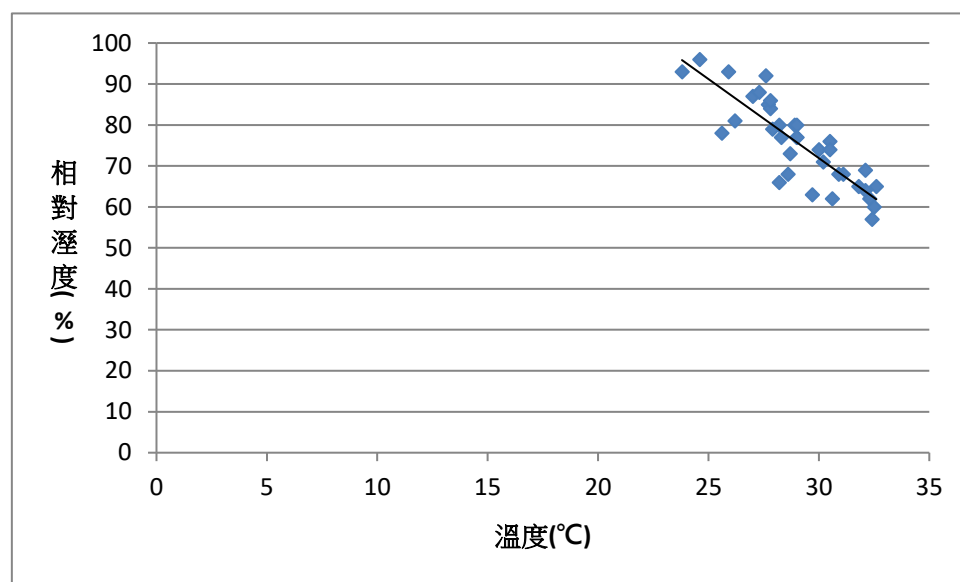


圖七：彩虹形成與相對溼度的關係圖

發現：相對溼度至少要在 60% 以上，才有可能在空中形成彩虹。

討論：我們知道天空中彩虹的形成除了要有陽光之外，主要關鍵因素還是在於水滴的多寡，因此過於乾燥的環境中，是不易形成水滴的。而相對溼度指的正是在該溫度下所容納的水氣量，因此相對溼度越高亦代表在該溫度下正擁有較多的水氣。而從圖中我們也

可看出相對溼度至少也要在 60%以上，才較有可能在空中形成彩虹。當我們將氣溫與相對溼度綜合成圖八時可以發現，通常在較低溫的環境下，也擁有較高的相對溼度。同時，一般而言，高度上升時，氣溫則會隨高度而下降，而較冷的空氣無法容納太多的水氣之下，而使得相對溼度有所改變，因此也間接對彩虹的形成，造成些許影響。



圖八：彩虹形成時，氣溫與相對溼度的關係圖

(三) 彩虹形成與是否下雨的關係

方法：以彩虹出現的時間為基準往前三小時或前六小時內，若下雨總計達到 0.1 毫米或以上的雨量時則標註為下雨。將下雨天數除以出現彩虹總天數即為出現彩虹的機會。

結果：如下表一

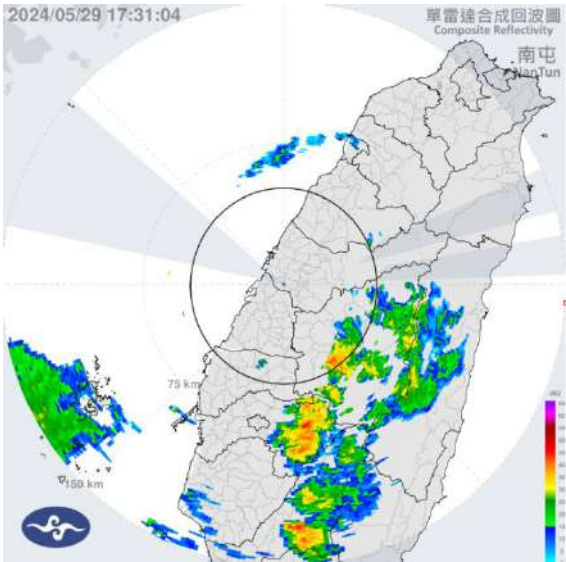
表一：彩虹出現時間與可能下雨(本地)的次數表

下雨時間	前三小時內	前六小時內
下雨次數	13	14
下雨機會	36%	39%

發現：彩虹形成前三小時及六小時內，觀測所在地區分別有 36%、39%的機會是有下雨的。

討論：1.由上表一可知，彩虹出現前未必下雨，但彩虹出現的前三小時內約有 36% (=13/36=0.36...)的機會會下雨，而彩虹出現的前六小時內，則有 39%的機會呈現下雨的，也就是在空氣中有較足夠的水滴情況下，透過陽光形成彩虹的機會就會更大。

2.由於彩虹出現前出現下雨的情形並未如預期，我們認為或許是因為看到的彩虹並不是出現在我們觀測地的上空，而是存在於水氣較多的區域，觀測經驗告訴我們彩虹多出現在遠方山邊處。因此我們再向中央氣象署申請雷達合成回波圖，並在本地方圓 50Km 內進行彩虹出現前三小時、六小時是否下雨的探究，然後統計其下雨次數並計算出下雨的機會，結果如表二，發現彩虹出現的前三小



本圖出自中央氣象署並由作者標註記號

時內約有 94%有下雨，而彩虹出現的前六小時內更是高達 97%下雨，果然說明了彩虹出現前，幾乎是會下雨的，只是並不一定落在觀測者所在的區域就是了。

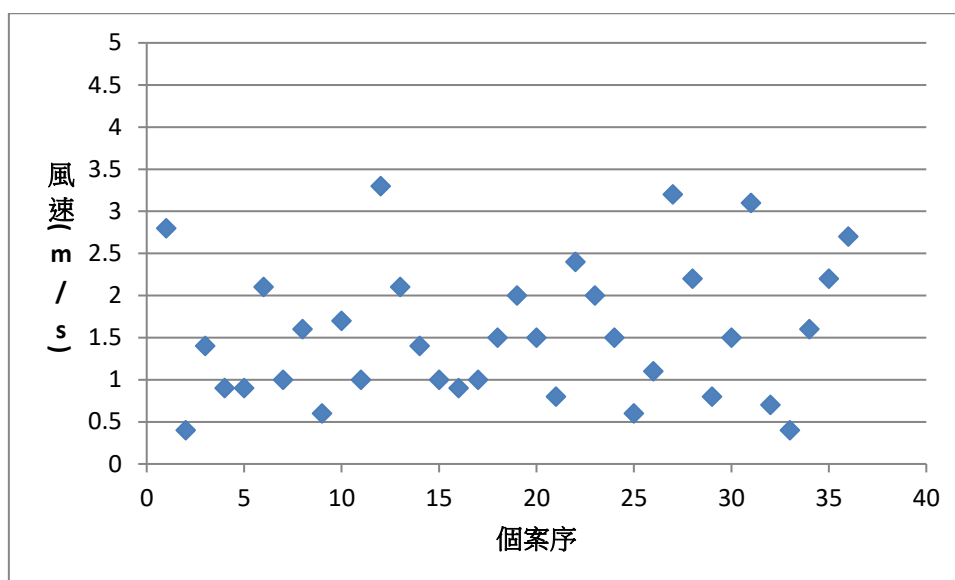
表二：彩虹出現時間與可能下雨(與本地相距方圓 50Km 內)的次數表

下雨時間	前三小時內	前六小時內
下雨次數	34	35
下雨機會	94%	97%

(四) 彩虹形成與風速的關係

方法：依照彩虹出現時，就相對應時間找出相對應的風速數據，最後再做成圖表加以分析。

結果：如圖九。



圖九：彩虹形成與風速的關係圖

發現：彩虹形成時，風速普遍不大，多落在 3.5M/S 以下。

討論：我們覺得若是風速過大，那麼雲層移動的速度亦較快，所以即使出現了可能形成彩虹的條件，也會因為雲層的遮擋等因素，導致陽光無法能一直持續的照射在水滴上，即使形成了彩虹，也可能只是短暫，甚至只是形成不太明顯的彩虹而已。

(五) 彩虹形成與太陽日射量的關係

方法：先扣除夜晚的日射量為 0 的資料，再將白天的日射量加以平均，然後再等差將其定義分類。再依照彩虹出現時，就相對應的時間找出相對應的日射量數據，最後再做成表加以分析。

結果：白天的日射量平均約為 $1.24(\text{MJ}/\text{m}^2)$ ，將其以 $0.6(\text{MJ}/\text{m}^2)$ 為一等級定義分級製表，如表三。

表三：彩虹出現時，各級全天空日射量(MJ/m^2)出現次數表

分級	較低	低	普通	高	較高
日射量(MJ/m^2)	0.6 以下	0.6-1.2	1.2-1.8	1.8-2.4	2.4 以上
次數	19	14	3	0	0

發現：彩虹形成時，日射量較低，且多落在平均值 $1.24(\text{MJ}/\text{m}^2)$ 以下。

討論：1.從表中可以計算出彩虹形成時，約有 92% 的天數日射量在平均值 $1.24(\text{MJ}/\text{m}^2)$ 以下。

可見較大的日射量似乎不利彩虹的形成。

2.因為日射量主要還是取決於太陽的光照大小及雲量的多寡。當日射量較大，通常也代表太陽高度角較高或是天空中雲量較少的晴朗天氣，水滴蒸發的速度較快，空中飄浮的水滴相對也可能較少，因此不利彩虹的形成。

3.再則，由實際的觀測亦發現，彩虹的形成多半發生在傍晚時分，而此時因為太陽的高度角較低，通常日射量也就較小，因此我們可以說，雖然日射量不是影響彩虹形成的直接因素，但這個因素或許也可以間接判斷彩虹是否形成的條件之一。

(六) 彩虹形成與雲的高度、種類的關係

方法：依照彩虹出現時，就相對應的時間找出相對應的雲的高度及種類，最後再做成表加以分析。

結果：如表四。

表四：彩虹形成與雲族高度的關係表

雲族高度	高雲狀	中雲狀	低雲狀
合計	0	6	16

發現：就雲族高度而言，彩虹出現時，多數為低雲狀的雲。

討論：因為陽光和水滴是是否形成彩虹的重要因素，而通常屬低雲狀中的層雲、層積雲或積雲就含有較多的液態水滴，相較之下高雲狀的雲(如卷雲之類的)則通常因為天氣比較晴朗，因此比較不容易產生足夠的水滴或者是以冰晶為主，所以低雲狀的雲形成彩虹的機會也就較大，再加上像層雲、層積雲或積雲這樣的雲種亦較容易形成陣雨，而在陣雨之間，若陽光恰巧照射在無雲或薄雲區域裡的水滴上，那麼，形成彩虹的機會也就會相對提高了。

三、探究模擬光透過圓形水滴而形成彩虹時的行徑路線可被觀察的可行性

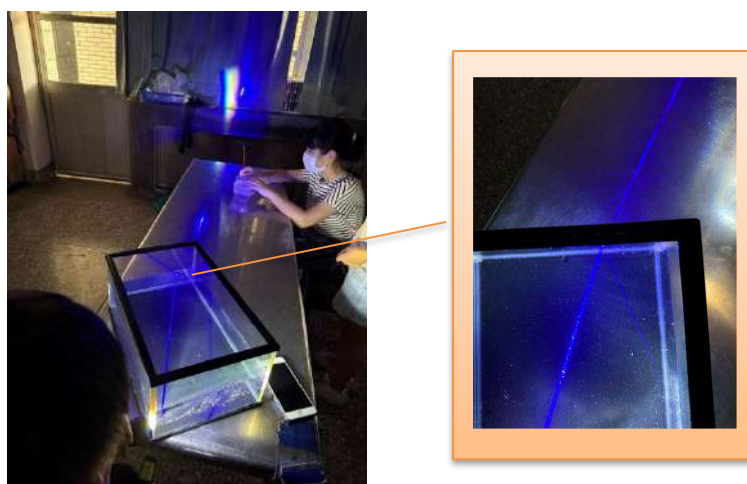
想法：從前面的分析，我們知道彩虹的出現和空氣中的水滴有很大關係，再者我們從資料上看到彩虹的形成是光線透過圓形水滴後，經過兩次折射一次反射後所產生的色散現象。但是在我們所查到的資料中，所有關於彩虹的實驗大多都是以水噴霧的方式產生色散所形成的彩虹。這個部分讓我們產生了很大的疑問，書上圓形的水滴是否真的能夠產生彩虹呢？如果真的如參考資料上所說的方式能夠出現兩次折射一次反射後的彩虹，為什麼沒有以此為依據所呈現的實驗呢？

(一) 前置實驗：探究以方形水族缸模擬形成彩虹的可行性

- 1.先找一個方形水族箱，將水族箱加滿水。
- 2.將手電筒的光源從水族箱下方射入並觀察是否有彩虹的產生。

結果：產生了清晰可見的彩虹。

討論：為了確認產生彩虹時光行進的路線，因此我們用雷射筆的光源(450nm，為可見光範圍)，從強光 LED 手電筒的位置射出，當雷射光點與彩虹位置重疊時，觀察水中雷射光行進的路線以確認光行進的過程，如圖。我們發現光經過方形水族箱形成彩虹時，光的路徑為兩次折射而沒有觀察到有反射的現象，與彩虹產生所述的原理中，所提到的兩次折射一次反射不同。為此我們嘗試希望以圓形的水滴模型，做出模擬彩虹生成的實驗，以確認彩虹的產生是否真的有兩次折射一次反射的路徑。由於圓形水滴模型不容易模擬，因此我們先用圓形且厚度較薄的 PE 水族缸來代替，透過強光 LED 電筒來模擬彩虹的產生。



(二)探究以圓形水族缸模擬形成彩虹的可行性

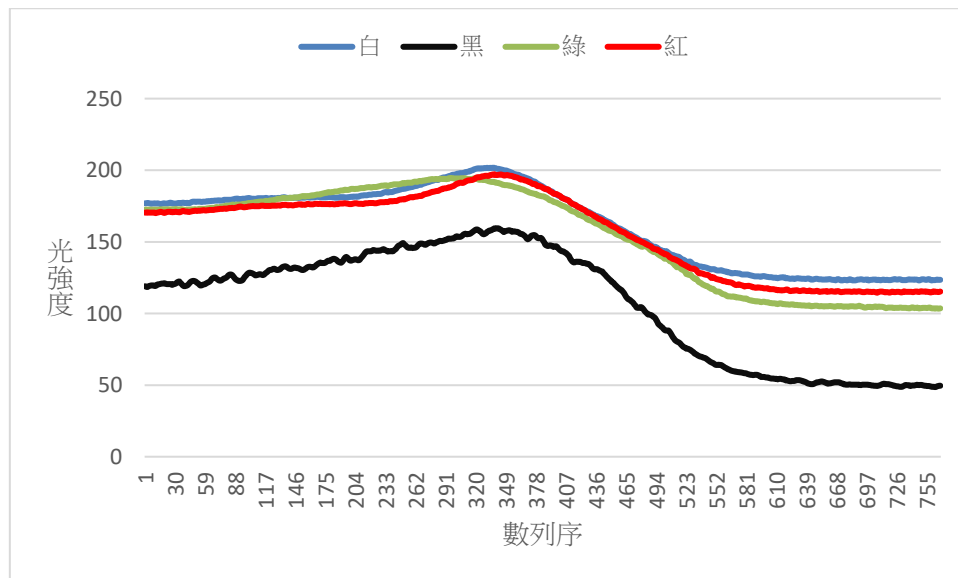
方法：

- 1.以圓形水族缸當作水滴模型，將水族箱加入水至滿水位(約 4.8 公升)
- 2.將光線射入水滴中，並觀察是否有產生彩虹的現象。

結果：如圖，能夠在白色的牆上看到彩虹的產生。



討論：1.為了能夠更清楚的觀測彩虹與測量實驗數據，因此我們將彩虹投影在屏幕上，並討論哪一種顏色的屏幕較有利彩虹形成。我們將彩虹投影在不同顏色的屏幕上，以 imageJ 圖形分析軟體，分析彩虹照片的數據，由於我們拍攝時以固定位置的方式拍攝，透過軟體處理成圖形數據，其中相同數列序位置代表相同色光的位置，且該位置在分析時數值越高代表其灰階值越高，也就是亮度越大，並透過 Excel 將數據繪製成比較的圖形如下圖十。圖中縱軸「光強度」表示亮度相對的比較值，因此沒有單位；而橫軸「數列序」則是 ImageJ 轉換成資料時，因每一個像素相對應一個光強度值，而數列序則表示一筆資料的 X 值，X 的最小值與最大值分別代表該次截圖的最左邊與最右邊，由 1000 筆左右資料與相對應的光強度值繪製成比較的圖形，而由圖中可發現在白色屏幕上有較明顯的顏色，因此之後的實驗以白色屏幕為投影螢幕。

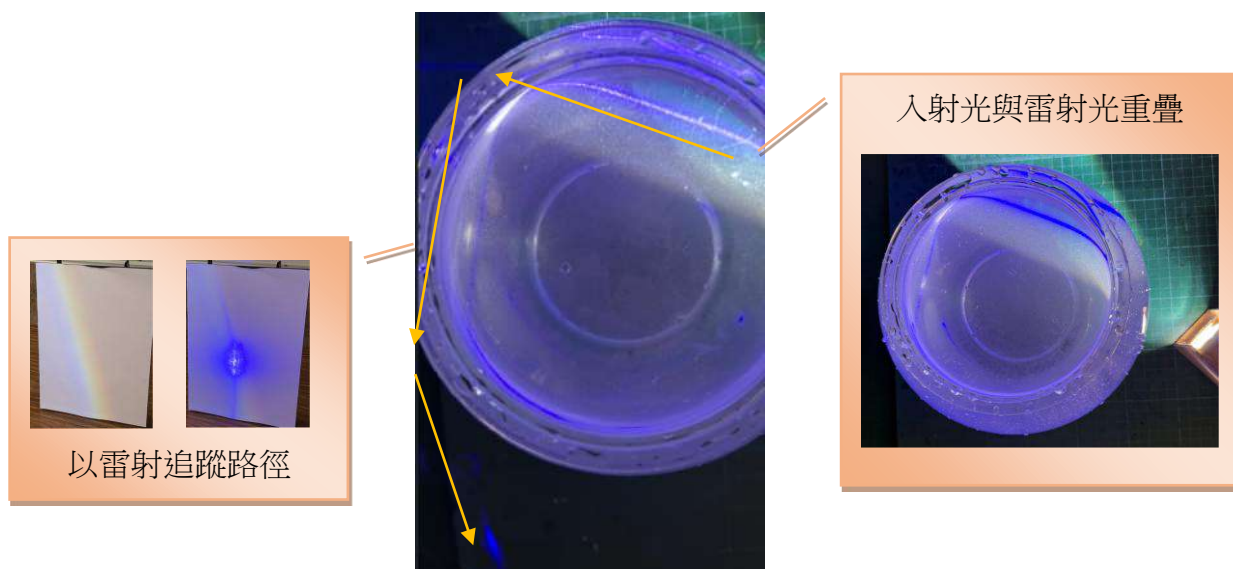


圖十：不同屏幕的紙張顏色對彩虹亮度的影響



固定光源角度、水缸、屏幕位置，固定距離來拍攝。

2.我們以前面所形成的彩虹實驗裝置，加以固定後(如上圖)，透過雷射筆追蹤光線在水中與空氣中的路徑，我們可以清楚的看到，雷射光的路徑(如下圖)在水滴中產生了折射與反射的路徑，這個路徑與參考資料的圖形相同，因此也證明了在圓形水滴中確實產生了兩次折射一次反射而形成彩虹的理論是正確的。同時也說明用圓形水族缸來模擬彩虹的形成是可行的。



四、探究不同性質的水滴對彩虹形成時的影響

想法：由於水滴形成時，可能會因外界環境條件而改變水滴的性質，我們討論可能有的不同因素包含：水滴的溫度、水滴的酸度、水滴的濁度、水滴的鹽分濃度等，想法如下表五說明，這些因素是否對於彩虹的產生有所影響？我們以前面的實驗裝置，拍攝相關圖片，以 ImageJ 做資料分析，並希望從資料中找出不同性質水滴對彩虹形成的影響差異。

表五：探究不同性質的水滴對彩虹形成時的想

探究變因	想法
水滴的溫度	由於我們看到彩虹時無法確認它位於哪個高度位置，而大氣中不同高度的溫度不一樣，再者，由於溫室效應加劇使地球溫度不斷升高，因此形成水滴時的溫度在較高時，也會造成水滴溫度的改變，我們想探討當外界溫度不同時，造成水滴溫度不同時，對於彩虹的形成有何影響。
水滴的酸度	空氣中由於污染的關係會有二氧化硫、氮氧化物、二氧化碳，這些氣體會造成水滴呈現酸性，這些酸性水滴對於彩虹的形成有什麼影響。
水滴的濁度	空氣中有許多粗懸浮微粒 PM10 與細懸浮微粒 PM2.5，當這些懸浮微粒溶於水滴中會影響水滴的濁度，不同濁度的水滴對於彩虹的形成有什麼影響。
水滴的鹽度	由於水蒸氣形成水滴時需要凝結核，而凝結核大多為灰塵或鹽粒，因此我們想知道水滴在不同鹽度時，對於形成彩虹的影響。

(一)不同溫度的水滴對於彩虹產生的影響

方法：1.以圓形水族缸當作水滴模型，調整水的溫度為 15℃。

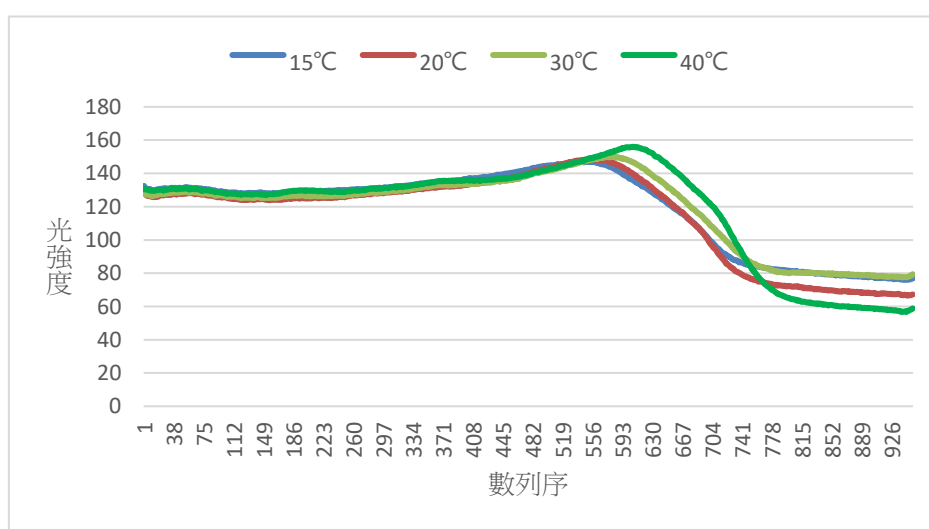
2.將水族箱加入調溫後的水至滿水位(約 4.8 公升)。

3.將光線射入水滴中，以相機拍攝三次彩虹照片。

4.重複步驟 1 到 3，並將水溫改為 20℃、30℃、40℃

5.以 imageJ 分析彩虹照片的數據並繪製成圖。

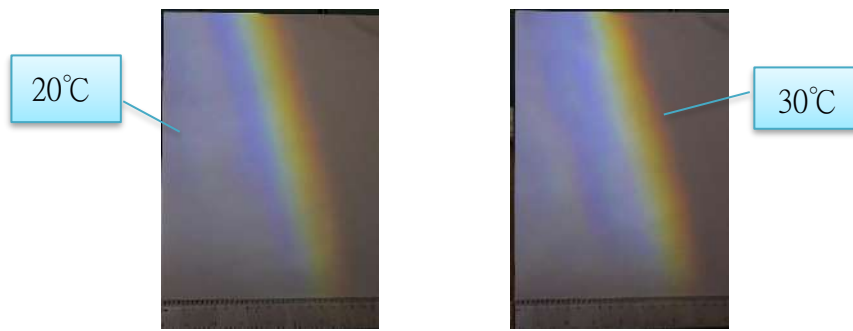
結果：如圖十一。



圖十一：不同溫度的水滴對於彩虹產生的影響

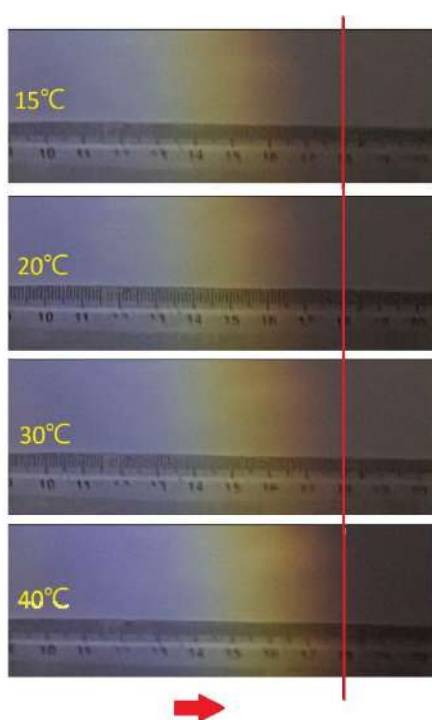
發現：水溫溫度較高時，彩虹產生的亮度較為明亮，最亮的波峰會往彩虹紅色的方向位移。

討論：1.我們對於數據上的顯示感到好奇，將所拍攝的圖片比對後(如下圖十二)，發現在高溫的情況下，彩虹形成時，藍、紫色的部分形成一個較寬的寬帶，因此使藍紫色光的部分數據上看起來較為明亮。我們猜想由於溫度不同時，水的體積也不同，因此密度上也不同，所以不同溫度的水可以看成不同的介質，因此當光穿透時，會有不同結果的色散現象。從比較的結果可以發現，當溫度越高時，水的體積會變大，因此密度相對變小，所以當光通過時的速度可能會較溫度低的水來得快，因此在第一次折射時會較溫度低的水相對較偏離法線，因此讓色散的結果向紅色光的部分偏移。

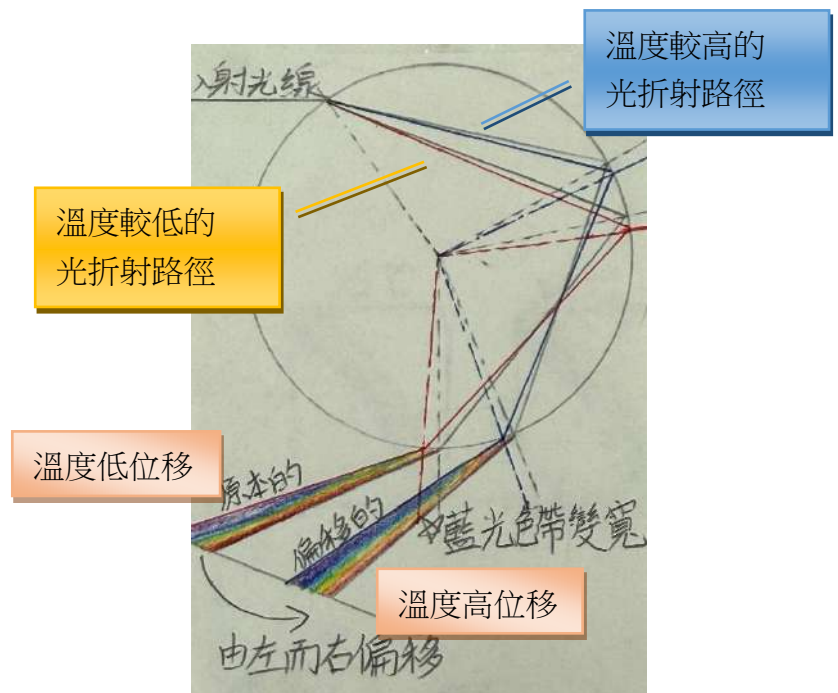


圖十二：光穿透不同溫度的水產生的色散

2.開始時我們設定的起始溫度是 10°C ，但由於溫度降到 10°C 時，圓形水族缸的外面因遇冷水蒸氣凝結於水缸外形成霧面，因此影響光穿透，雖有產生彩虹，但數據上少了許多，如果以此數據討論溫度的效應，會多了霧面的改變因素，因此我們將起始溫度設定為 15°C ，其他則保持不變。



圖十三：不同溫度的水滴形成彩虹的位移現象



圖十四：水滴在不同溫度下光的路徑圖

(二) 不同鹽分濃度的水滴對於彩虹產生的影響

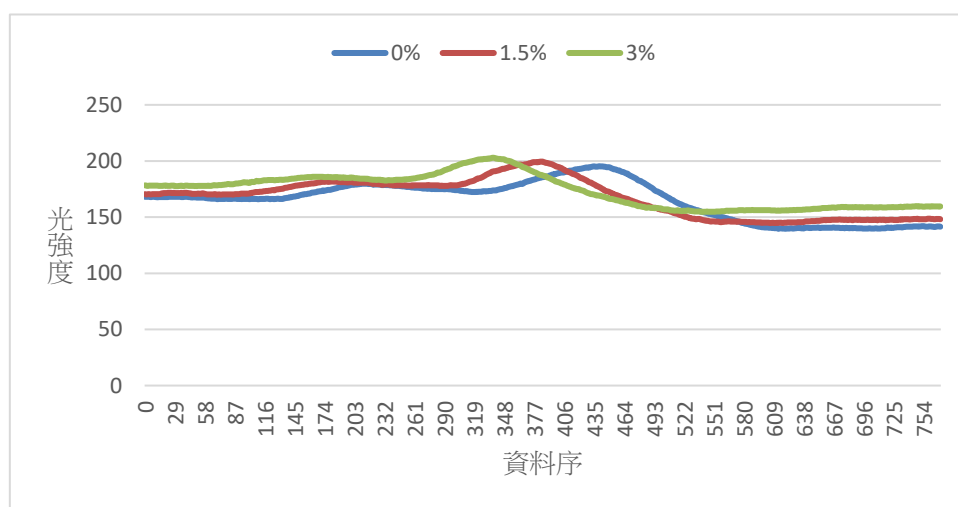
方法：1.以圓形水族缸當作水滴模型，將水族缸加入水至滿水位(約 4.8 公升)。

2.將光線射入水滴中，以相機拍攝三次彩虹照片。

3.重複步驟 1 到 2，但依次加入鹽，將水族缸內溶液的鹽水濃度調整為 1.5%、3%

4.以 imageJ 分析彩虹照片的數據並繪製成圖。

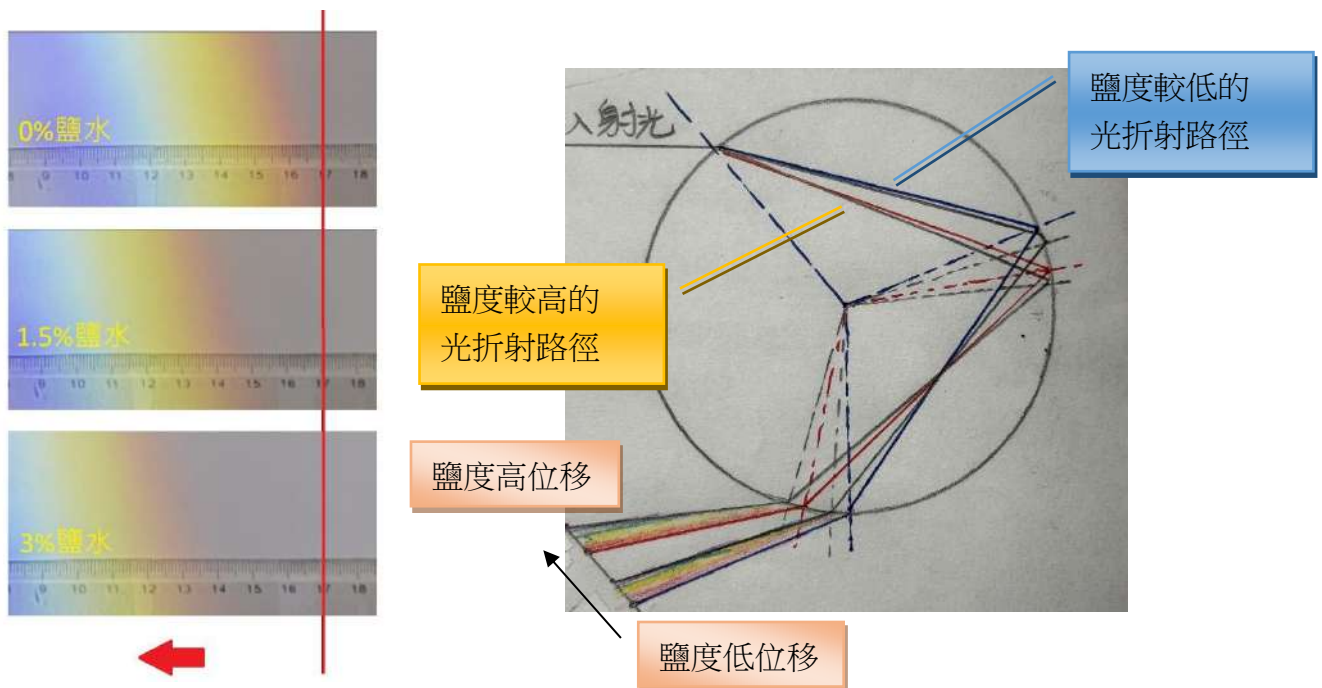
結果：如圖十五



圖十五：不同鹽分濃度的水滴對於彩虹產生的影響

發現：雖然隨著濃度增加，但是波峰的數值差不多，代表有差不多的亮度，然而在彩虹最亮的波峰則呈現向圖片中彩虹紫色的左方位移。

討論：由於鹽水的濃度會改變介質的濃度，因此當光穿過不同介質產生折射時，折射出的光線偏折角度也會不同，我們推測較高濃度的鹽水，會使水變成讓光前進速度較慢的介質，因此光由空氣進入水滴的折射時會偏向法線使折射角變小，我們以這樣的條件來繪製水滴中折射的圖形(如下圖十七)，與實驗中彩虹偏移的方向相同(如下圖十六)。當水滴中鹽水的濃度增加時，新的彩虹會較原有彩虹的位置更偏向紫色光的方向。



圖十六：不同鹽度水滴形成彩虹的位移現象 圖十七：水滴在不同鹽度下光的路徑圖

(三) 不同醋酸濃度的水滴對於彩虹產生的影響

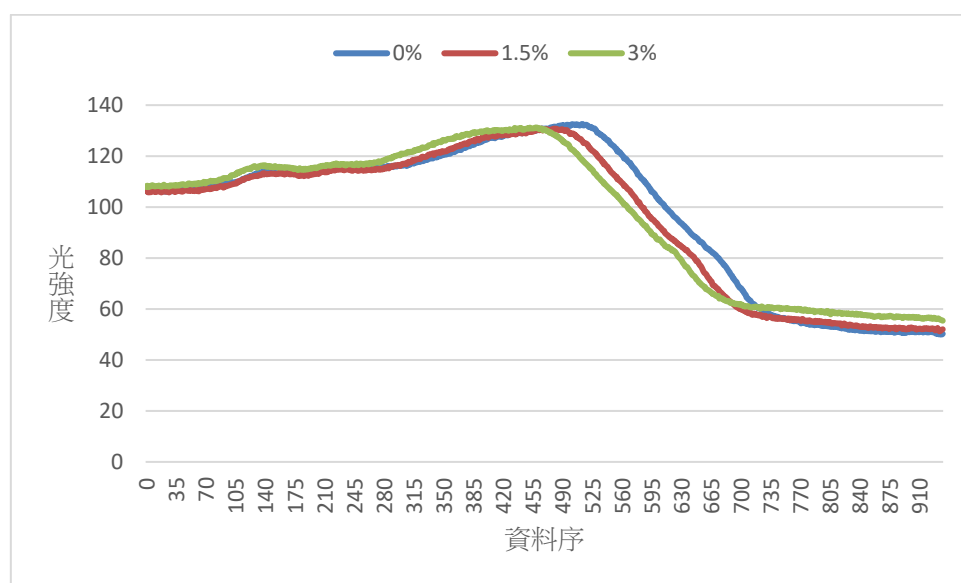
方法：1.以圓形水族缸當作水滴模型，將水族缸加入水至滿水位(約 4.8 公升)。

2.將光線射入水滴中，以相機拍攝三次彩虹照片。

3.重複步驟 1 到 2，但依次加入醋酸，將水族缸內溶液的醋酸濃度調整為 1.5%、3%

4.以 imageJ 分析彩虹照片的數據並繪製成圖。

結果：如下圖十八



圖十八：不同醋酸濃度的水滴對於彩虹產生的影響

發現：水滴中醋酸的濃度越濃，彩虹產生的波峰越往色光紫色的方向位移，且濃度越濃波峰的數值略低，代表亮度略微減少。

討論：由於醋的濃度會改變介質的濃度，因此當光穿過不同介質產生折射時，折射出的光線偏折角度也會不同，因此從實驗資料來看，當空氣中水滴含有醋而改變水滴的濃度時除了改變水滴的酸度，也會使光產生不同的偏角，也因此影響彩虹與地面的夾角，所以水滴中的酸度會影響彩虹出現的位置，並且濃度較濃時可能會使彩虹的亮度減少，因此我們推論當空氣汙染產生酸雨時，除了會改變彩虹產生的位置外，也會使彩虹的亮度減少，是個不利於彩虹產生的因素。



圖十九：不同酸度水滴形成彩虹的位移現象

(四) 不同懸浮微粒濃度的水滴對於彩虹產生的影響

方法：1.以圓形水族缸當作水滴模型，將水族箱加入水至滿水位(約 4.8 公升)

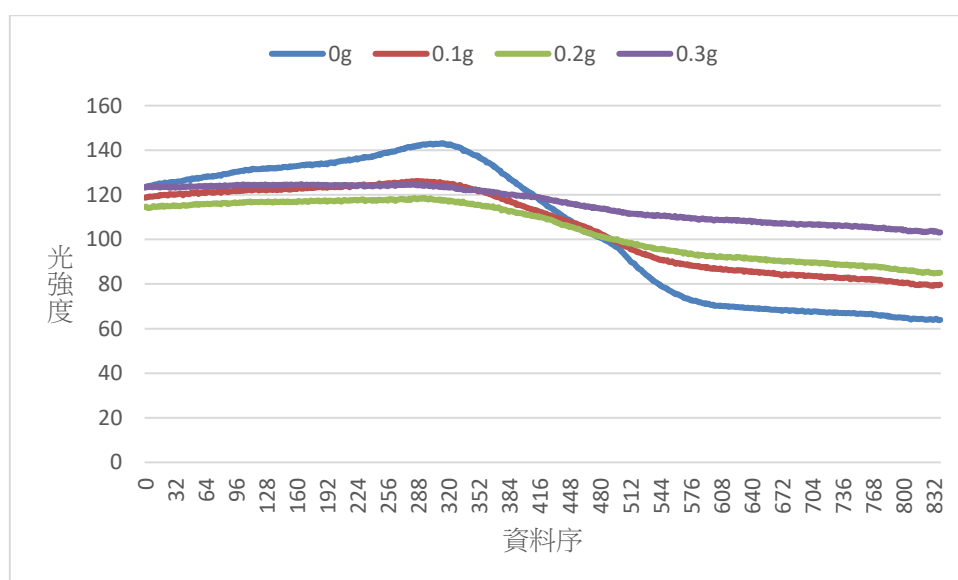
2.加入 0.1g 香灰模擬懸浮微粒

3.將光線射入水滴中，以相機拍攝三次彩虹照片。

4.重複步驟 1 到 3，並將加入的香灰改為 0.2g、0.3g

5.以 imageJ 分析彩虹照片的數據並繪製成圖。



結果：如下圖二十



圖二十：不同懸浮微粒濃度的水滴對於彩虹產生的影響

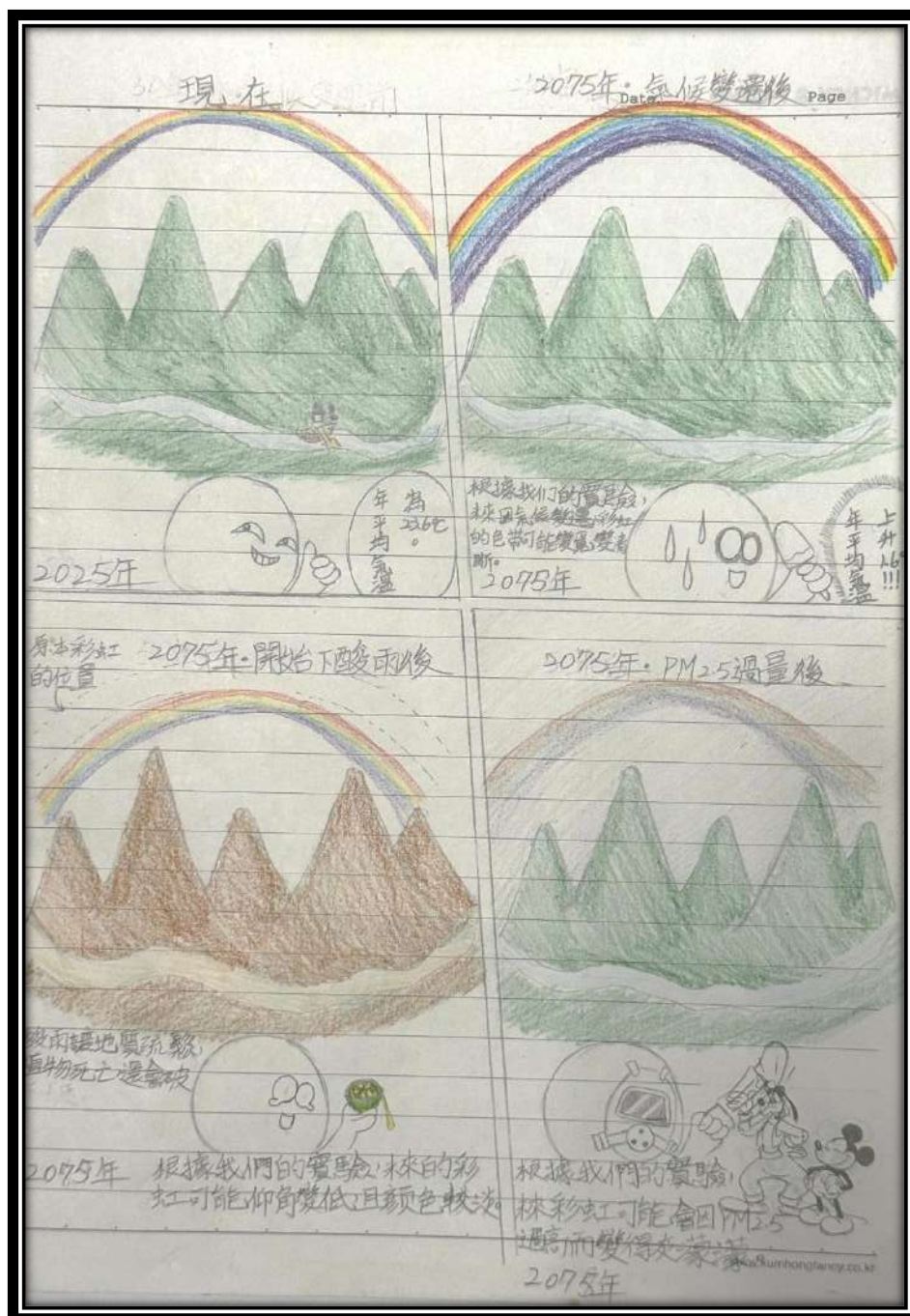
發現：隨著加入香灰越多，波峰的值會越來越低，代表亮度越來越少。

討論：從數據中說明水中的代表懸浮微粒的香灰含量越多時，屏幕上的亮度越差，而從照片中可以看到，在彩虹的左邊，當香灰含量越多時，亮度越暗，但是在彩虹的右邊，當香灰含量越多時，亮度越亮。我們猜想可能在沒有香灰前，彩虹右邊的光被折射而無法投映在屏幕上，因此較為暗，而當水中香灰增加時，除了遮蔽了亮度之外，也干擾了原來光線的折射，因此才会有這樣的現象。(如下圖二十一)

	
<p>沒有香灰時，彩虹右邊較暗。</p>	<p>0.3g 香灰有較淡的彩虹，彩虹右邊較亮些。</p>

圖二十一：水滴中不同量的香灰對彩虹的影響

小結：透過以上的實驗發現，如果未來環境條件有所改變，我們猜測看到的彩虹將可能與現在的彩虹略有所不同，其中如果溶於水的物質(鹽類、酸性氣體)，會使水的鹽度或酸度變濃，則彩虹將會向紫色的方位偏移，使得彩虹的仰角變低；如果是空氣中不溶於水的固體懸浮微粒變多，則看到的大氣環境視線較為模糊，因此看到彩虹較不明亮；如果因為溫室效應加劇而使溫度變高，則看見的彩虹會向紅色光的方向偏移，使得彩虹的仰角變高。我們嘗試將未來可能因環境惡化造成彩虹差異的想像繪製如下圖。



圖二十二：未來環境變遷形成的彩虹想像圖

五、探究模擬光透過真實圓形水滴而形成彩虹的可行性。

想法：由於彩虹的成因為空氣中存在水滴與冰晶折射光線所致，我們查詢資料發現水的折射率為 1.33、冰的折射率為 1.31，兩者相差不多，因此雖然我們無法以圓形水滴來折射光線，但是我們想設計一個接近於圓形水滴的物體，如果水與冰的折射率差不多，能否以冰球的薄壁內加水的方式，來更貼近的模擬水滴狀態，並以此為依據真正模擬出接近於圓形水滴透過光而形成彩虹的可行性。

(一)、找出以冰球矽膠模型製作最佳冰球的時間條件

方法：1.將相同大小的矽膠冰球模型裝入相同量的水

2.將裝水的冰球模型同時放於-19℃的冷凍室中

3.經過 3 小時後，每隔一小時拆開一個冰球模型觀察結冰的情形。

4.重複數次找出最佳時間

結果：如圖二十三，6 小時後，能夠有完整的冰球中空模型

			
3 小時： 模中有薄冰出現，大部分為冰水。	4 小時： 模中有完整的球形薄冰，但一碰就碎掉。	5 小時： 已有較厚的冰層形成，但仍不易脫模。	6 小時： 已有較厚且較容易脫模的中空冰球。

圖二十三：不同時間冰球結冰的情形

討論：起初我們想控制圓形的冰塊來模擬光線在水滴中色散形成彩虹的實驗，然而對於透明冰塊的製作要求較高，我們嘗試了許多次後發現不容易達成。因此我們採用冰球的外殼，在球中裝入冰水的方式來應對。我們將 6 小時後脫模的冰球中間加入冰水時，發現能夠在室溫中存在約半小時的時間，且注滿冰水的冰球呈現透明狀態(如下圖二十四)，可說是顆接近於水滴樣貌的冰球。



圖二十四：注滿冰水的透明的冰球

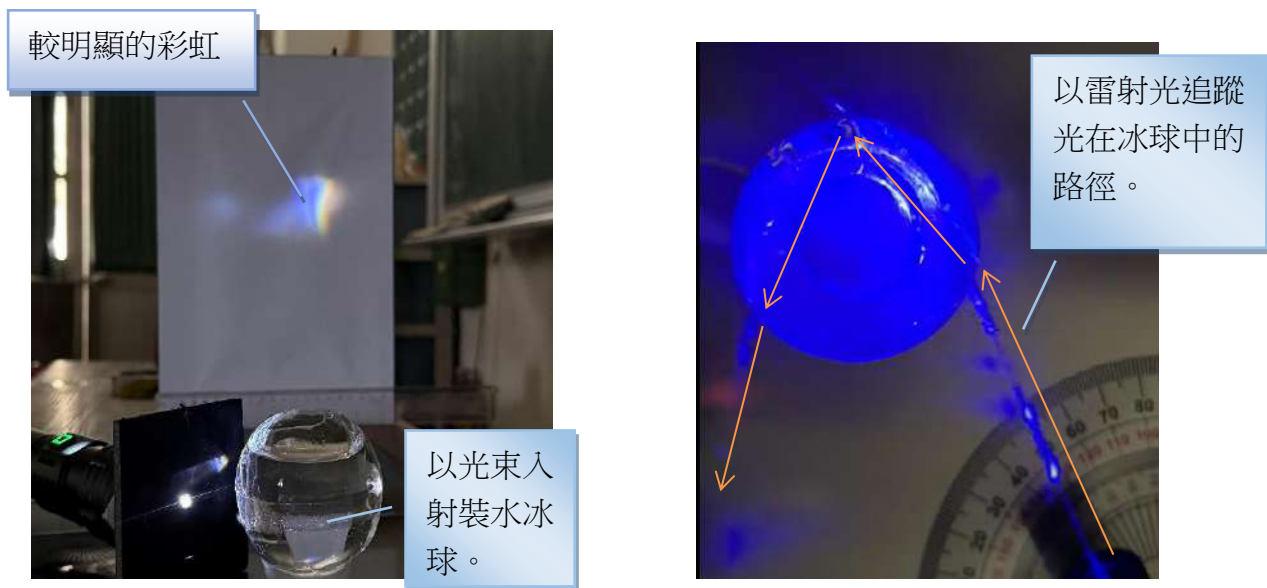
(二)、以冰球裝水模擬水滴形成彩虹的可行性

方法：以固定的角度將光源入射進冰球中，然後在屏幕上觀察是否有彩虹的形成。

結果：如下圖，有看到彩虹在屏幕上產生，但不清晰。



討論：由於彩虹的形成不如預想的清晰，我們猜想可能是相對於冰球而言，手電筒的光線較為分散，而四面八方光線經過折射後雖有色散現象，但是相對的較為複雜，因此我們在手電筒前加個擋板，並在擋板前挖個小洞，使手電筒的光線經過小洞時形成較小的光束再做實驗。結果如下圖二十五，有較清晰的彩虹形成了，同時也成功的說明以冰球裝水模擬水滴形成彩虹的可行。最後以雷射光追蹤光線於冰球中的移動路徑，可以成功找出冰球中也有兩次折射一次反射的移動路徑。



圖二十五：以雷射光追蹤以冰球形成彩虹時，光在冰球中的路徑。

肆、結論

一、探究彩虹出現時的時間以及太陽高度角

- (一) 在我們觀測的地區一天中最容易看到彩虹的時間是 16 點到 18 點，且早上也有可能會出現彩虹。
- (二) 最容易看到彩虹的月分是 5 月到 10 月間，相當於夏秋兩季時。
- (三) 彩虹出現時的太陽高度角均在 30 度以下。

二、探究可能與彩虹形成的相關天氣因素

- (一) 彩虹形成的地面氣溫，多是在 25°C 到 35°C 間，呈現較為高溫的狀態。
- (二) 彩虹形成的相對溼度至少要在 60% 以上。
- (三) 在家鄉觀測彩虹發現有將近 39% 的彩虹，在出現前六小時內有下雨。以雷達合成回波圖統計家鄉方圓 50Km 內，在彩虹出現前六小時內則有高達 97% 的機會下雨。
- (四) 彩虹形成時，風速普遍不大，多落在 3.5M/S 以下。
- (五) 彩虹形成時，日射量較低，且多落在平均值 1.24(MJ/m²) 以下。
- (六) 彩虹出現時，雲族高度多數為低雲狀的雲。

三、探究模擬光透過圓形水滴而形成彩虹時的行徑路線可被觀察的可行性

- (一) 可透過圓形裝滿水的水族缸以 LED 手電筒在白色紙的螢幕上製造彩虹，且以雷射光追蹤光的路徑可看到兩次折射一次反射的路徑。

四、探究不同性質的水滴對彩虹形成時的影響

- (一) 水溫溫度較高時，彩虹產生的亮度除較為明亮，彩虹也會往紅色的方向位移。
- (二) 鹽水濃度增加亮度差不多，但彩虹會往紫色的方向位移。
- (三) 醋酸的濃度越濃，彩虹會往紫色的方向位移，亮度略微減少。
- (四) 隨著加入香灰越多，彩虹亮度越來越少。

【評語】 080503

研究主題與生活相關，該團隊觀察戶外真實彩虹，也於室內進行實驗，試圖瞭解氣候(以及雲的種類)與水對於彩虹的視覺影響(仰角高低，明暗等)。此團隊進行非常詳細的前人研究回顧，說明動機與探討問題與前人的差異。有系統地呈現相關成果，並且有邏輯地說明實驗發現與相關限制，是個值得鼓勵的研究成果。

作品海報

1

得不得了

摘要

由實際觀測彩虹出現時的資料，發現台灣中部地區彩虹出現的時間以夏秋雨季的傍晚4點到6點較多，這個時候的太陽高度角大多在30度以下。對應中央氣象署的觀測數據，發現是否下雨、地面的氣溫等天氣因素和氣象條件對形成彩虹也有關係，在出現的雲系上以低雲系較多。接著透過圓形水族缸模擬圓形水滴，以LED手電筒成功的產生彩虹，並以雷射光追蹤路徑，能找出形成彩虹時光在圓形水滴中符合兩次折射一次反射的路徑。之後操作水滴中不同的變因實驗我們發現，水滴中若溶有鹽、酸或溫度升高時會有彩虹位移的現象，而水滴溫度不同、懸浮微粒的多寡則會影響彩虹的亮度等。最後以自製的球形薄冰外殼，內加冰水可以更直觀且成功的模擬出彩虹的產生。

壹、前言

一、研究動機

彩虹在大氣中是難得一見的美景，由於中部地區每年可以觀測到的數量較少，在許多書上對於彩虹的敘述也僅有文字而已，因此這個部分激起了我們的好奇心，所以我們想要藉由實際的觀察與紀錄來探究彩虹出現在空中的時間以及與是否與當時的天氣狀況會有所關係？其次在我們能夠查到的資訊中，對於彩虹形成的實驗說明，多以三稜鏡或灑水器的方式為主，甚至在模擬彩虹的實驗中，也僅以水中放入鏡子，來呈現光的反射效果。可是我們卻沒有看到光線在單顆水滴中，光的兩次折射一次反射的路徑所造成色散形成彩虹的實驗，這部分是我們非常好奇的。所以我們對這個部分，希望能夠以自己設計的實驗，來驗證光透過水滴而形成彩虹的行徑路線，進而操作關於水滴裡的變因，以來探究不同性質的水滴對彩虹形成時的影響。**相關單元：5 上南一版，第一單元太陽與光**

二、文獻回顧

在研究虹與霓的產生原因中，我們從中央氣象署數位科普網，提到光線在進入水滴後會產生兩次折射一次反射而產生色散現象，因此會有彩虹的出現，如下圖一所示。但是在相關文獻資料的模擬實驗中我們並沒有看到這樣的實驗，因此我們在思考這件事情是否有辦法模擬出來呢？而用單純水滴是類似將泡沫串成項鍊的困難，所以首先我們嘗試以類似水滴圓形狀的裝水容器做實驗的探究。在我們閱讀的資料中發現水跟冰的折射率非常的接近，冰是1.31、水是1.33，因此我們採用冰球的外殼，在球中裝入冰水方式，想以這個為基礎嘗試還原書中所說的球形水滴產生色散現象的可能性。另外，我們從歷屆的全國科展作品中搜尋了與彩虹相關的作品發現只有4件，從作品摘要中摘錄與我們研究相關的發現如下：彩虹就在我身邊（42屆）：「實驗結果發現，製造出彩虹是容易的，只要具備噴霧器水量、無雲的陽光，在較暗的背景的情況下就可以很容易看到彩虹」；教室裡的彩虹（48屆）：「認為教室裡可以輕易製造出彩虹的色光，且利用太陽光源最棒。並且推薦利用切割過的白色珍珠板，可以找出光線在裝水公升杯中的行經路徑，看到光經過二種透明物質，發生二次偏折後，出現彩虹色光的秘密」；虹透半邊天-全圓彩虹登場（55屆）：「以噴水以及玻璃珠的方式來製造穩定的彩虹，實驗中發現，利用玻璃珠製造全圓彩虹比水滴簡單許多」；造一座彩虹橋（56屆）：「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，印證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」。我們發現四件作品中有三件作品關注如何製作出較為明顯的彩虹效果，一件作品則著重在光折射原理的探討，並沒有關於光在圓形水滴中產生2次折射1次反射的現象研究。最後因為地球環境的變遷，導致水滴中的組成成分有可能被改變，而這些不同性質的水滴如何影響彩虹的形成，相關研究更是鮮少看到，也引起了我們探究的慾望。

三、目的

基於前述的研究動機與文獻回顧，我們的研究目的如下：

- （一）探究彩虹出現時的時間以及太陽的高度角
- （二）探究可能與彩虹形成的相關天氣因素
- （三）探究模擬光透過圓形水滴而形成彩虹時的行徑路線可被觀察的可行性
- （四）探究不同性質的水滴對彩虹形成時的影響
- （五）探究模擬光透過真實圓形水滴而形成彩虹的可行性

貳、研究設備及器材

LED手電筒、藍光雷射(450nm)手電筒、9cm矽膠球形結冰模具、冷凍冰箱、方形水族缸、圓形水族缸、量角器、白紙、風扣板、電子天秤、醋酸、鹽、溫度計、相機、電腦、太陽測量師精簡版APP、ImageJ圖形分析軟體。

參、研究過程或方法

一、探究彩虹出現時的時間以及太陽的高度角

（一）實際觀測並記錄天空中彩虹出現的時間

方法：自113年5月13日開始至114年5月12日，每天白天時間，實際觀測天空中是否出現彩虹，並予以記錄。然後根據記錄結果做成圖表，分析家鄉中彩虹最容易出現的時間。（說明：本研究的觀測地點在中部地區，由於每個地方的氣象條件不完全一樣，因此我們所得到的結果只能呈現該地區的特徵，不見得可以推論到其他不同地區，這也是本研究的限制之一。）

結果：如圖二、三

- 發現：
1. 一天中最容易看到彩虹的時間是傍晚時分的16點到18點。
 2. 早上也有可能會出現彩虹，但是機率比較低。
 3. 在觀測時間內發現最容易看到彩虹的月分是5月到10月間，相當於夏秋雨季時。

討論：

1. 原本我們以為看到彩虹的機會會很小，但就我們一年的觀測，可看到彩虹的次數竟有36次，約8%，相當於一個月的天數之多。（扣除同一天出現的次數，共有31天出現彩虹， $31/365=0.084\dots$ ）
2. 家鄉中最容易看到彩虹的季節大約落在夏秋雨季，夏秋雨季氣溫較高，下雨天的日子也較頻繁，因此在空中水滴較充足的情況下，加上陽光的照射，導致形成彩虹的機會相對提升。而地面的溫度與溼度，甚至風速是不是也可以成為判斷彩虹是否出現的依據呢？因此，這部分也是我們接下來數據分析、探究的一環。
3. 彩虹最容易出現的時刻大約落在下午4-6點間，而觀測中發現早上也有可能出現彩虹但機率較低。我們可約略推出彩虹的出現多是太陽剛上升或將落下之際，因此後續我們也將就太陽的高度角、日射量進行進一步的分析。

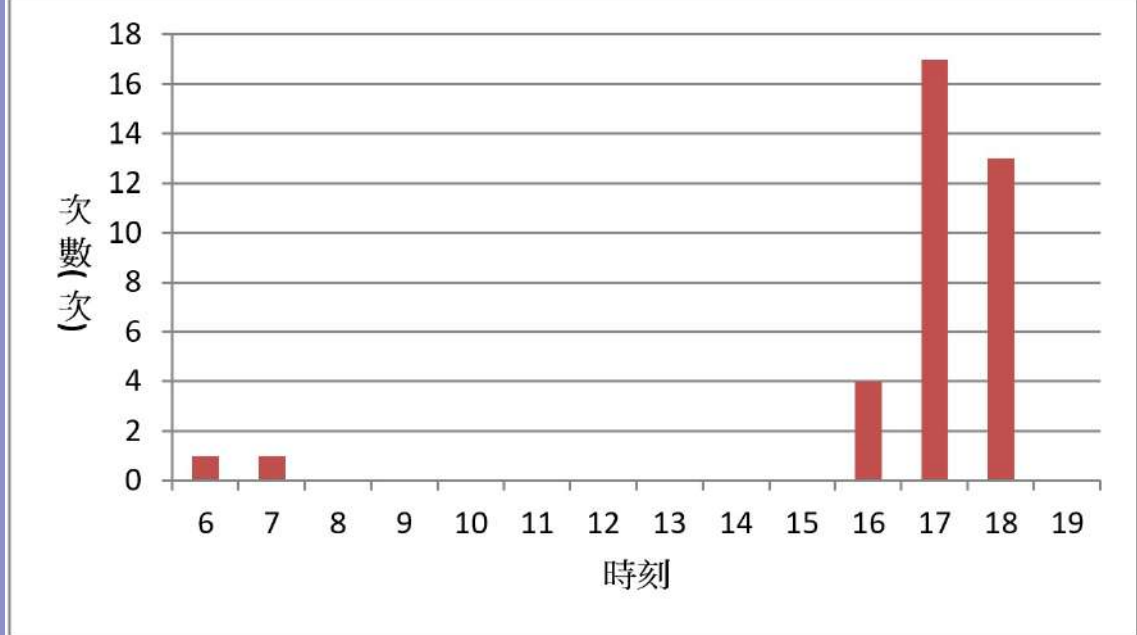
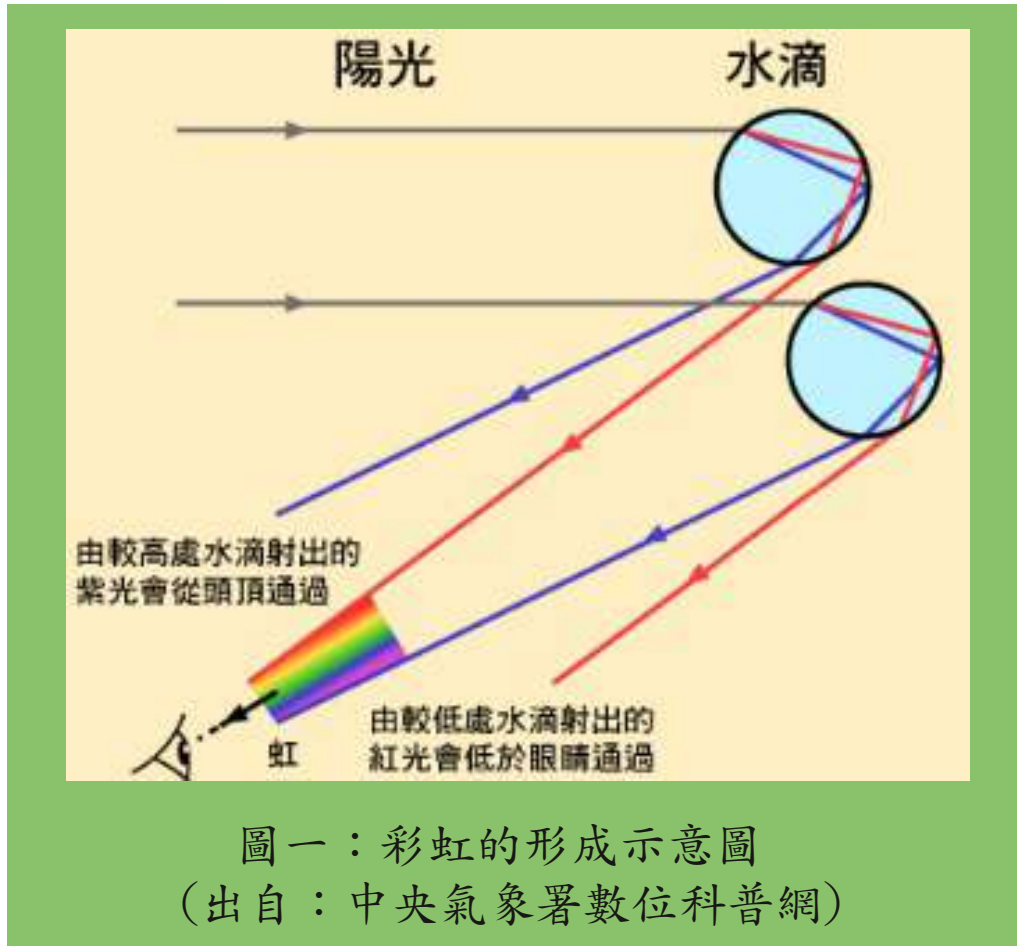
（二）彩虹形成時與太陽高度角的關係

方法：將觀察記錄到的彩虹時間，以太陽測量師精簡版APP，找出該時刻的太陽高度角，然後做成圖加以分析。

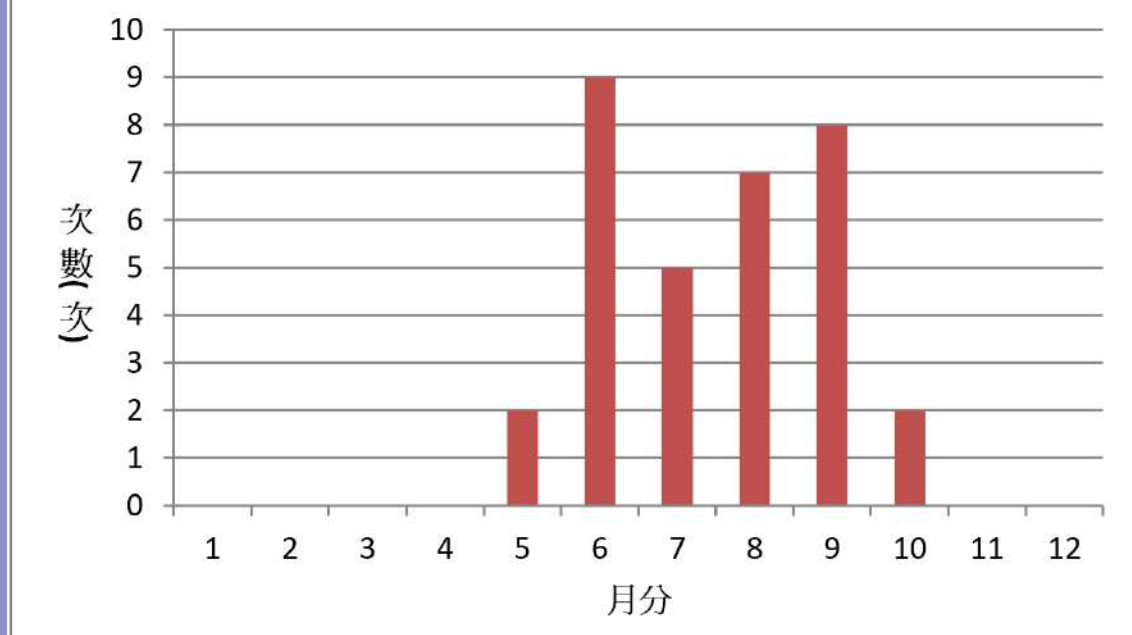
結果：如圖四。

發現：彩虹出現時的太陽高度角，均在30度以下出現。

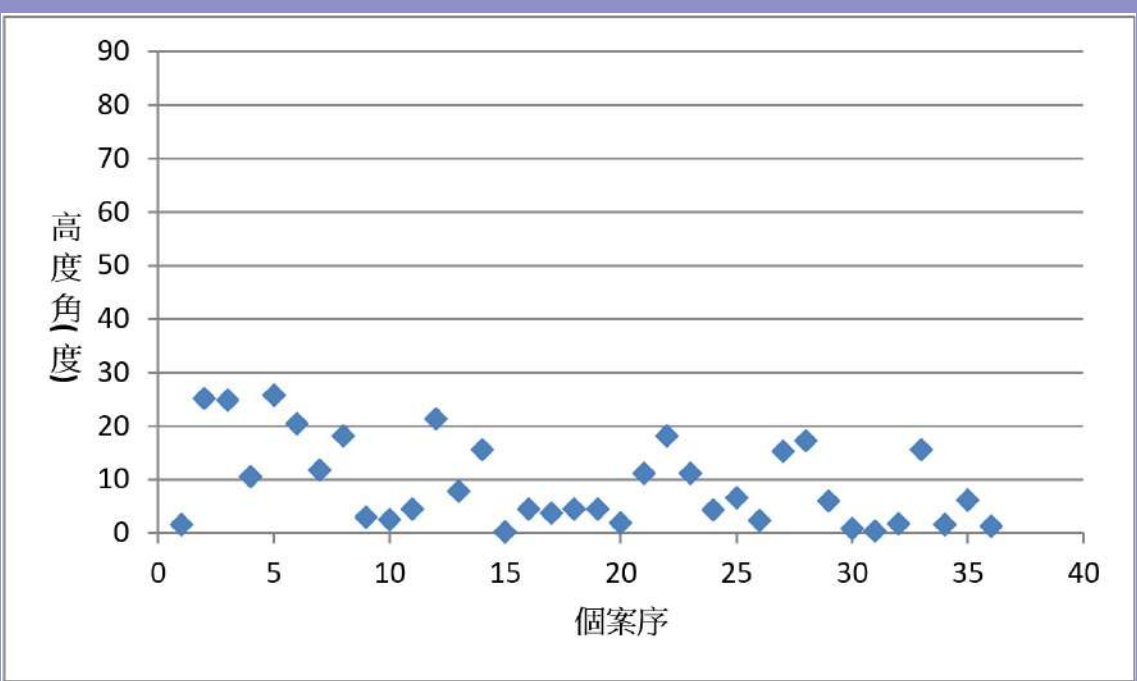
討論：我們認為因為彩虹形成在太陽的反方向位置，因此在高度角較低時，形成的彩虹相對在較高的位置，因此被看見的機會也較大。當我們再將高度角以5度為一間隔，做成圖加以分析，如圖五，更可發現彩虹出現時的太陽高度角，以5度以下出現的機會最高，且日落後，亦即太陽高度角為負值時(在地平面以下)，未能發現彩虹出現。再則在我們的觀測中也有發現，夏秋的陣雨一些在午後開始，然後接近傍晚結束，如此，我們推論在此時刻下，在空中的水滴充足，若再加上當時陽光角度配合，那麼形成彩虹的機會自然也就較大。



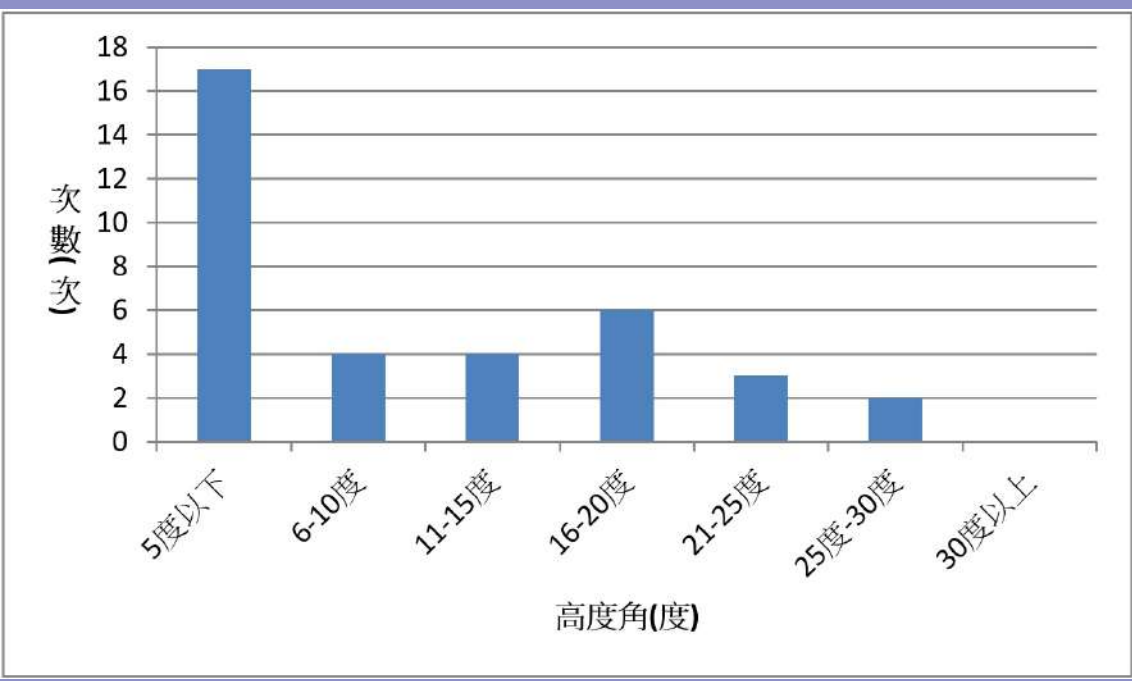
圖二：不同時刻彩虹出現的次數圖



圖三：不同月分彩虹出現的次數圖



圖四：每道彩虹出現時的太陽高度角



圖五：彩虹出現時，太陽的高度角次數圖



二、探究可能與彩虹形成的相關天氣因素

方法：我們向中央氣象局就家鄉附近的氣象站申請研究期間內的相關數據，然後就相對應的時間找出欲研究因素的相對應數據，最後再做成圖表加以分析。

（一）彩虹形成與氣溫的關係

方法：依照彩虹出現時，就相對應的時間找出相對應的氣溫數據，最後再做成圖表分析。

結果：如圖六。

發現：從圖中可以看出彩虹形成的地面氣溫，幾乎多是在25°C到35°C間，呈現較為高溫的狀態。

討論：觀測中發現彩虹形成的地面氣溫，幾乎多是在25°C到35°C間，比起年平均24.6°C，呈現較為高溫的狀態。我們推測所以如此，是因為這樣的溫度容易使水分蒸發到空中，使得空中擁有較多的水滴，而增加了彩虹形成的機會。另外一方面，在較高的氣溫之下，會增加空氣中的水蒸氣含量，使得在空氣中水滴不容易凝結出來，因此，如果太低溫水分較難被蒸發，氣溫太高又反較為無法凝結出水氣，或許這正也是氣溫不能過低或過高的原因。因此，地面氣溫的高低會影響空氣中水滴的多寡，而水滴的多寡恰巧又是否形成彩虹的重要因素，況且，在對流層內，氣溫通常也會隨高度增加而下降，而使得水氣的多寡有所改變，因此地面氣溫的高低雖然不直接卻也間接成了彩虹形成的天氣因素之一。

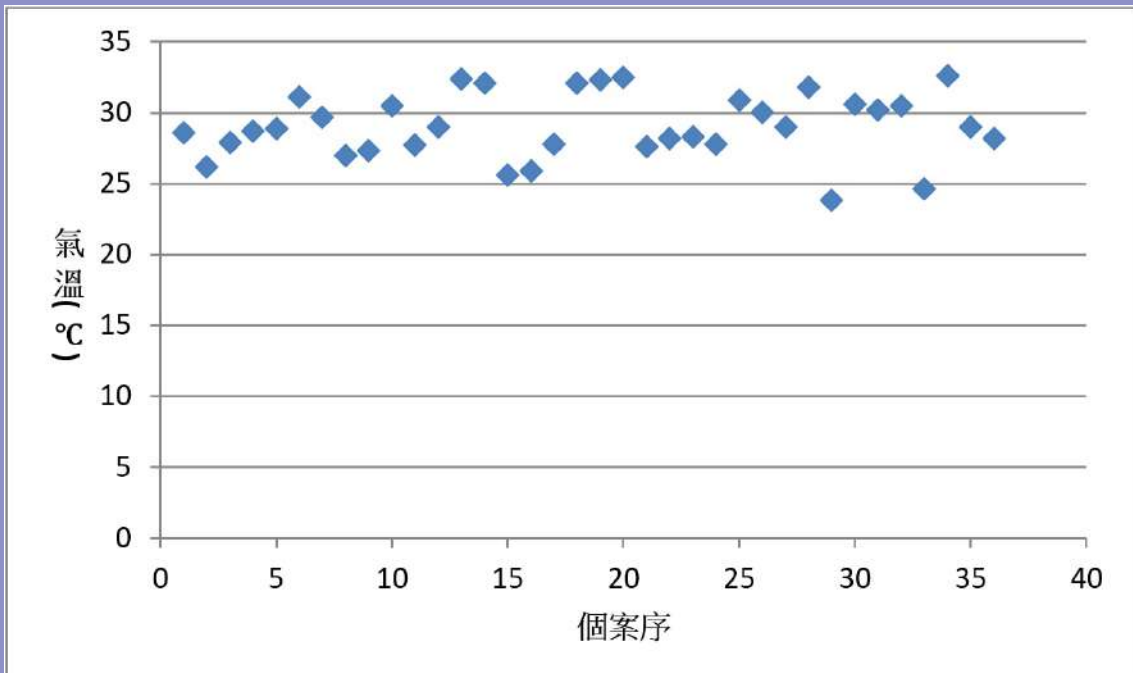
（二）彩虹形成與相對溼度的關係

方法：依照彩虹出現時，就相對應的時間找出相對應的相對溼度數據，最後再做成圖表加以分析。

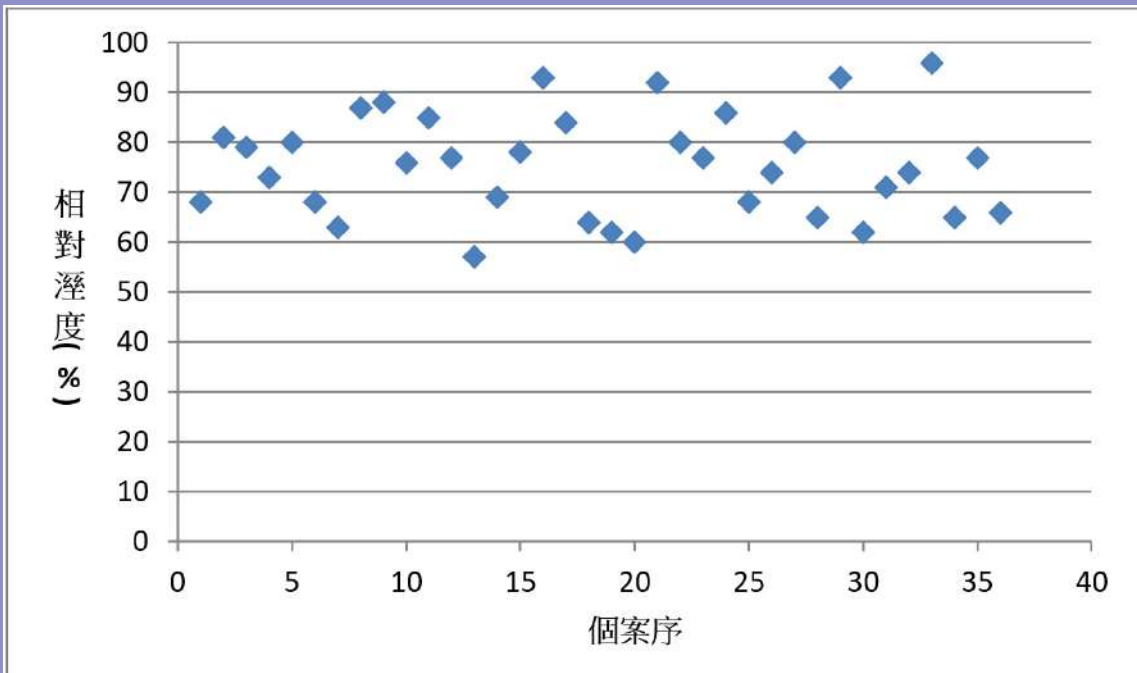
結果：如圖七。

發現：相對溼度至少要在60%以上，才有可能在空中形成彩虹。

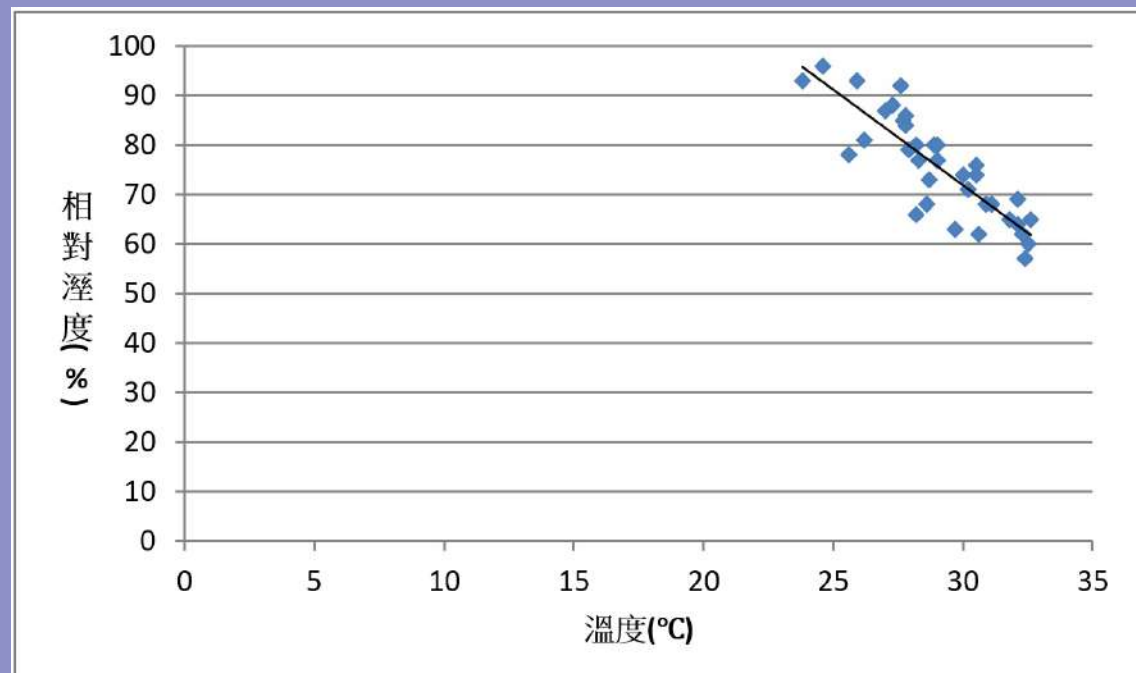
討論：我們知道天空中彩虹的形成除了陽光之外，主要關鍵因素還是在於水滴的多寡，因此過於乾燥的環境中，是不易形成水氣的。而相對溼度指的正是在該溫度下所能容納的最大水氣量，因此相對溼度越高亦代表在該溫度下正擁有較多的水氣。而從圖中我們也可看出相對溼度至少也要在60%以上，才有可能在空中形成彩虹。當我們將氣溫與相對溼度綜合成圖八時可以發現，通常在較低溫的環境下，也擁有較高的相對溼度。同時，一般而言，高度上升時，氣溫則會隨高度而下降，而較冷的空氣無法容納太多的水氣之下，而使得相對溼度有所改變，因此也間接對彩虹的形成，造成了些許影響。



圖六：彩虹形成與氣溫的關係圖



圖七：彩虹形成與相對溼度的關係圖



圖八：彩虹形成時，氣溫與相對溼度的關係圖

(三)彩虹形成與是否下雨的關係

方法：以彩虹出現的時間為基準往前三小時內，若下雨總計達到 0.1 毫米或以上的雨量時則標註為下雨。將下雨天數除以出現彩虹總天數即為出現彩虹的機會。

結果：如下表一

發現：彩虹形成前三小時及六小時內，觀測所在地區分別有 36 %、39 %的機會是有下雨的。

討論：1. 由上表一可知，彩虹出現前未必下雨，但彩虹出現的前三小時內約有 36 % (=13/36=0.36...)的機會會下雨，而彩虹出現的前六小時內，則有 39 %的機會呈現下雨的，也就是在空氣中有較足夠的水滴情況下，那麼透過陽光形成彩虹的機會就會更大。
2. 由於彩虹出現前出現下雨的情形並未如預期，我們認為或許是因為看到的彩虹並不是出現在我們觀測地的上空，因此我們再向中央氣象署申請雷達合成回波圖，並在本地方圓 50Km 內進行彩虹出現前三小時、六小時是否下雨的探究，然後統計其下雨次數並計算出下雨的機會，結果如表二，發現彩虹出現的前三小時內約有 94 %有下雨，而彩虹出現的前六小時內更是高達 97 %下雨，果然說明了彩虹出現前，幾乎是會下雨的，只是並不一定落在觀測者所在的區域就是了。

(四)彩虹形成與風速的關係

方法：依照彩虹出現時，就相對應的時間找出相對應的風速數據，最後再做成圖表加以分析。

結果：如圖九。

發現：彩虹形成時，風速普遍不大，多落在 3.5M/S 以下。

討論：我們覺得若是風速過大，那麼雲層移動的速度亦較快，所以即使出現了可能形成彩虹的條件，也會因為雲層的遮擋等因素，導致陽光無法能一直持續的照射在水滴上，即使形成了彩虹，也可能只是短暫，甚至只是形成不太明顯的彩虹而已。

(五)彩虹形成與太陽日射量的關係

方法：先扣除夜晚的日射量為 0 的資料，再將白天的日射量加以平均，然後再等差將其定義分類。

再依照彩虹出現時，就相對應的時間找出相對應的日射量數據，最後再做成表加以分析。

結果：白天的日射量平均約為 1.24(MJ/m²)，再將其以 0.6(MJ/m²)為一等級定義分級製表，如表三。

發現：彩虹形成時，日射量較低，且多落在平均值 1.24(MJ/m²)以下。

討論：從表中可以計算出彩虹形成時，約有 92%的天數日射量在平均值 1.24(MJ/m²)以下。

可見較大的日射量似乎不利彩虹的形成。

(六)彩虹形成與雲的高度、種類的關係

方法：依照彩虹出現時，就相對應的時間找出相對應的雲的高度及種類，最後再做成圖表加以分析。

結果：如表四。

發現：就雲族高度而言，彩虹出現時，多數為低雲狀的雲。

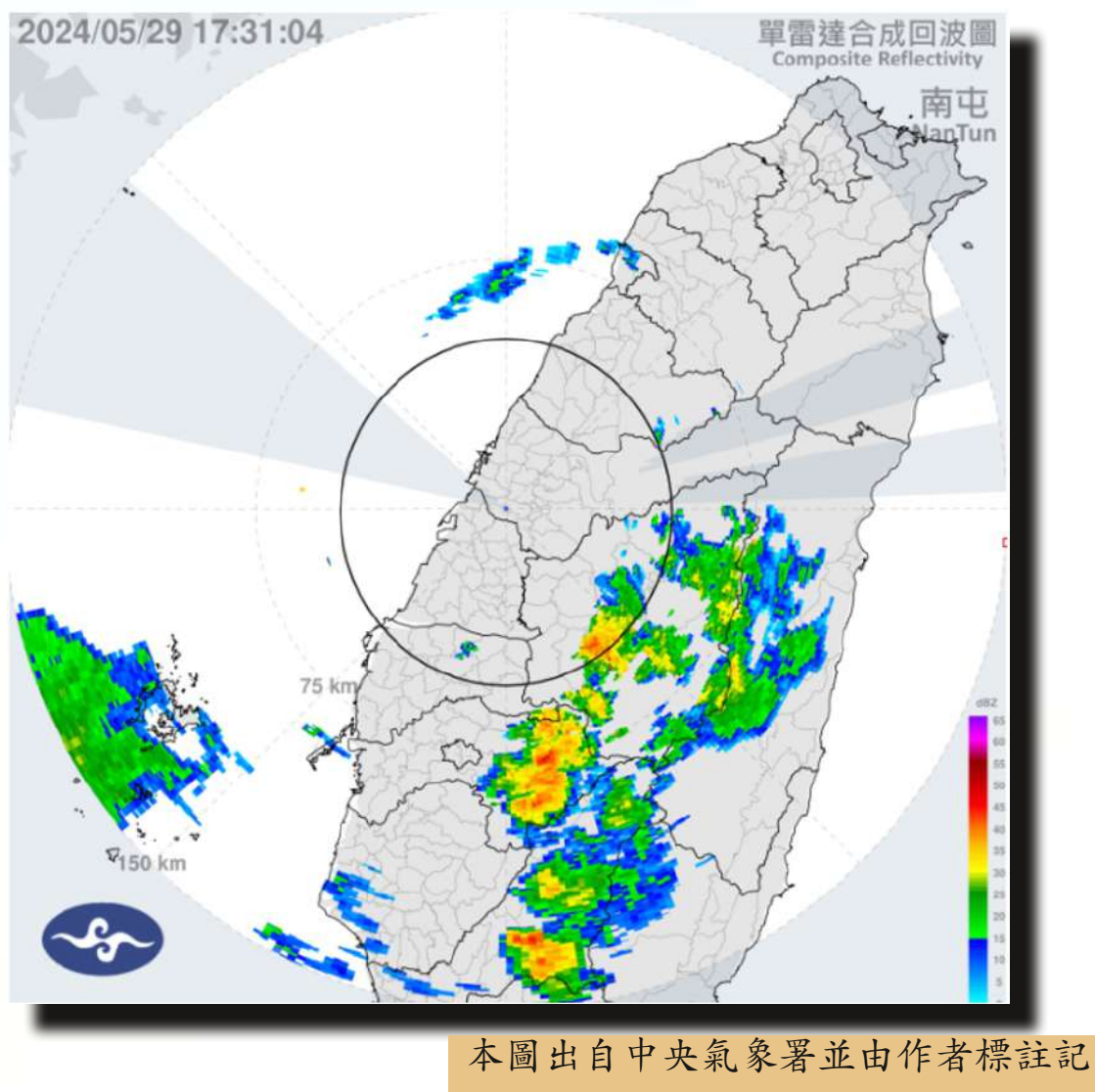
討論：因為陽光和水滴是是否形成彩虹的重要因素，而通常屬低雲狀中的層雲、層積雲或積雲就含有較多的水滴，再加上像層雲、層積雲或積雲這樣的雲種亦較容易形成陣雨，而在陣雨之間，若陽光恰巧照射在無雲或薄雲區域裡的水滴上，那麼，形成彩虹的機會也就會相對提高了。

表一：彩虹出現時間與可能下雨(本地)的次數表

下雨時間	前三小時內	前六小時內
下雨次數	13	14
下雨機會	36%	39%

表二：彩虹出現時間與可能下雨(與本地相距方圓 50Km 內)的次數表

下雨時間	前三小時內	前六小時內
下雨次數	34	35
下雨機會	94%	97%



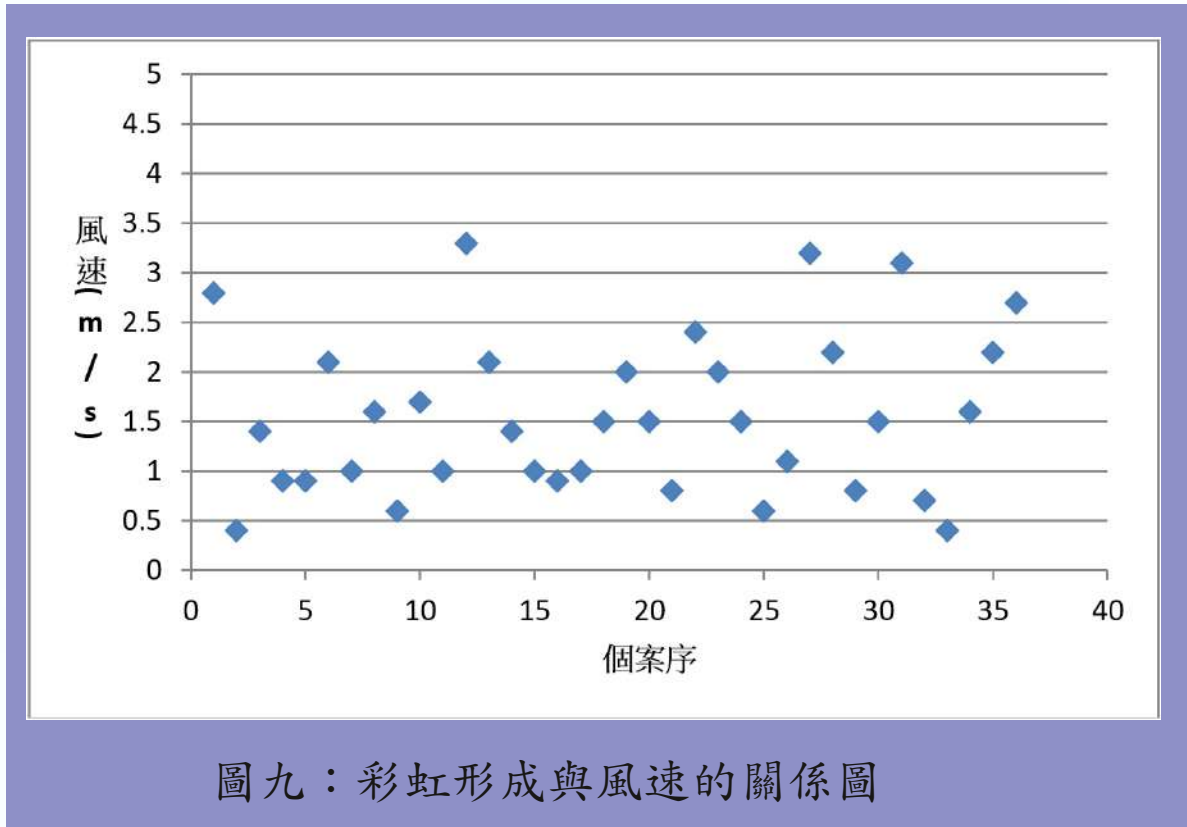
本圖出自中央氣象署並由作者標註記

表三：彩虹出現時，各級全天空日射量(MJ/m²)出現次數表

分級	較低	低	普通	高	較高
日射量(MJ/m ²)	0.6 以下	0.6-1.2	1.2-1.8	1.8-2.4	2.4 以上
次數	19	14	3	0	0

表四：彩虹形成與雲族高度的關係表

雲族高度	高雲狀	中雲狀	低雲狀
合計	0	6	16



圖九：彩虹形成與風速的關係圖

三、探究模擬光透過圓形水滴而形成彩虹時的行徑路線可被觀察的可行性

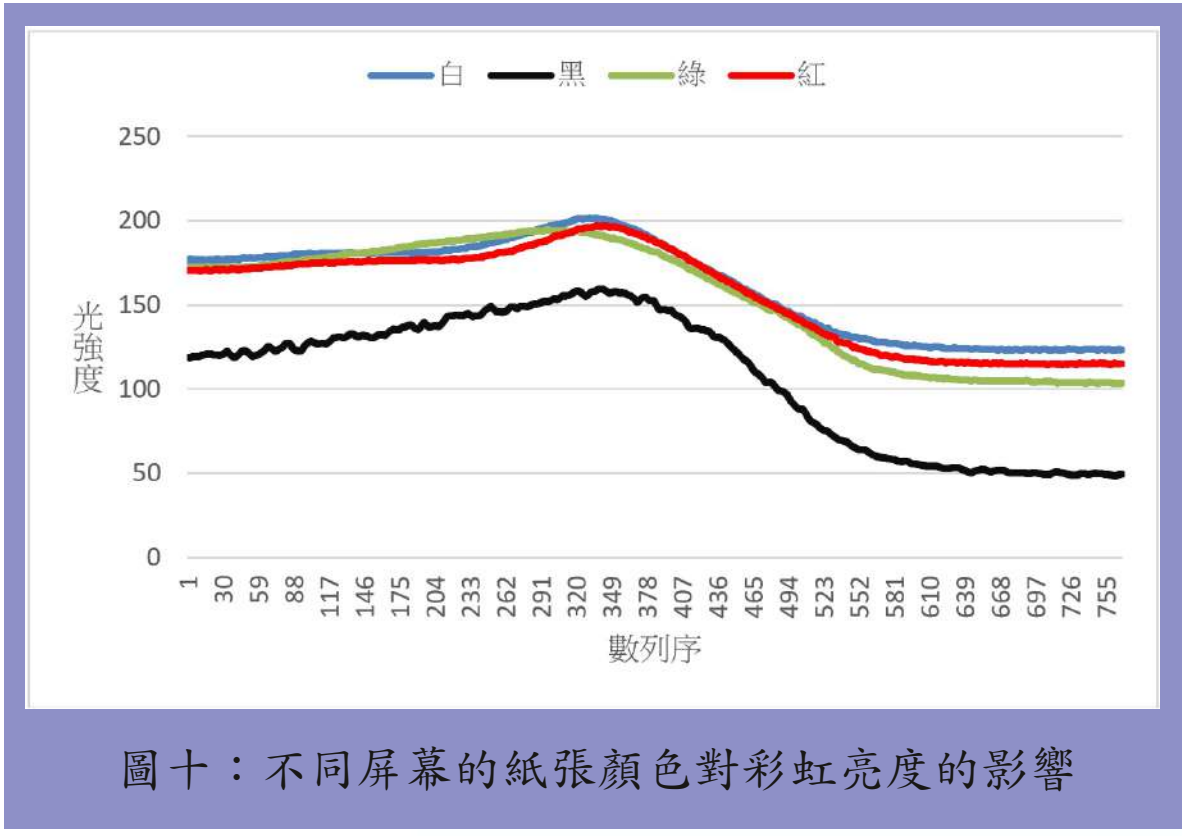
想法：從前面的分析，我們知道彩虹的出現和空氣中的水滴有很大關係，再者我們從資料上看到彩虹的形成是光線透過圓形水滴後，經過兩次折射一次反射後所產生的色散現象。但是在我們所查到的資料中，所有關於彩虹的實驗大多都是以水噴霧的方式產生色散所形成的彩虹。這個部分讓我們產生了很大的疑問，書上圓形的水滴是否真的能夠產生彩虹呢？如果真的如參考資料上所說的方式能夠出現兩次折射一次反射後的彩虹，為什麼沒有以此為依據所呈現的實驗呢？

(一) 前置實驗：

先找一個方形水族箱，將水族箱加滿水，後將手電筒的光源從水族箱下方射入並觀察是否有彩虹的產生。

結果：產生了清晰可見的彩虹。

討論：為了確認產生彩虹時光行進的路線，因此我們用雷射筆的光源，從強光 LED 手電筒的位置射出，當雷射光點與彩虹位置重疊時，觀察水中雷射光行進的路線以確認光行進的過程，如圖。我們發現光經過方形水族箱形成彩虹時，光的路徑為兩次折射而沒有觀察到有反射的現象，與彩虹產生所述的原理中，所提到的兩次折射一次反射不同。為此我們嘗試希望以圓形的水滴模型，做出模擬彩虹生成的實驗，以確認彩虹的產生是否真的有兩次折射一次反射的路徑。由於圓形的水滴模型不容易模擬，因此我們先用圓形的且厚度較薄的 PE 水族缸來代替，透過強光 LED 電筒來模擬彩虹的產生。



圖十：不同屏幕的紙張顏色對彩虹亮度的影響

(二)探究以圓形水族缸模擬形成彩虹的可行性

方法：1. 以圓形水族缸當作水滴模型，將水族箱加入水至滿水位(約 4.8 公升)

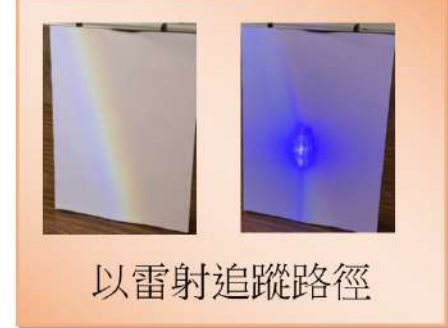
2. 將光線射入水滴中，並觀察是否有產生彩虹的現象。

結果：如圖，能夠在白色的牆上看到彩虹的產生。

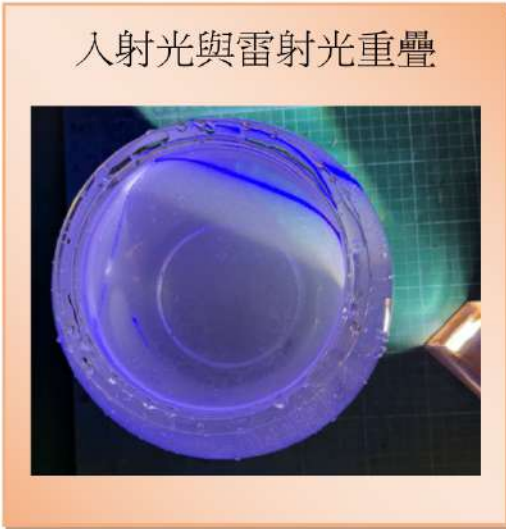
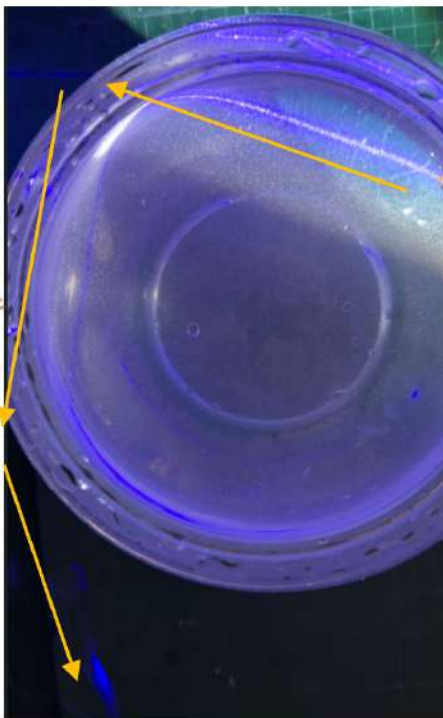
討論：1. 為了能夠更清楚的觀測彩虹與測量實驗數據，因此我們將彩虹投影在屏幕上，並討論哪一種顏色的屏幕較有利彩虹形成。我們將彩虹投影在不同顏色的屏幕上，以 imageJ 圖形分析軟體，分析彩虹照片的數據，由於我們拍攝時以固定位置的方式拍攝，透過軟體處理成圖形數據，其中相同數列序位置代表相同色光的位置，且該位置在分析時數值越高代表其灰階值越高，也就是亮度越大，並透過 Excel 將數據繪製成比較的圖形如下圖十。圖中縱軸「光強度」表示亮度相對的比較值，因此沒有單位；而橫軸「數列序」則是 ImageJ 轉換成資料時，因每一個像素相對應一個光強度值，而數列序則表示一筆資料的 X 值，X 的最小值與最大值分別代表該次截圖的最左邊與最右邊，由 1000 筆左右資料與相對應的光強度值繪製成比較的圖形，而由圖中可發現在白色屏幕上有較明顯的顏色，因此之後的實驗以白色屏幕為投影螢幕。
2. 我們以前面所形成的彩虹實驗裝置，加以固定後(如上圖)，透過雷射筆追蹤光線在水中與空氣中的路徑，我們可以清楚的看到，雷射光的路徑(如下圖)在水滴中產生了折射與反射的路徑，這個路徑與參考資料的圖形相同，因此也證明了在圓形水滴中確實產生了兩次折射一次反射而形成彩虹的理論是正確的。同時也說明用圓形水族缸來模擬彩虹的形成是可行的。



固定光源角度、水缸、屏幕位置，固定距離來拍攝。



以雷射追蹤路徑



入射光與雷射光重疊

四、探究不同的水滴對彩虹形成時的影響

想法：由於水滴形成時，可能會因外界環境條件而改變水滴的性質，我們討論可能有的不同因素包含：水滴的溫度、水滴的酸度、水滴的濁度、水滴的鹽分濃度等，想法如下表五說明，這些因素是否對於彩虹的產生有所影響？我們以前面的實驗裝置，拍攝相關圖片，以 ImageJ 做資料分析，並希望從資料中找出不同性質水滴對彩虹形成的影響差異。

(一)不同溫度的水滴對於彩虹產生的影響

方法：1. 以圓形水族缸當作水滴模型，調整水的溫度為 15℃。

2. 將水族箱加入調溫後的水至滿水位(約 4.8 公升)。

3. 將光線射入水滴中，以相機拍攝三次彩虹照片。

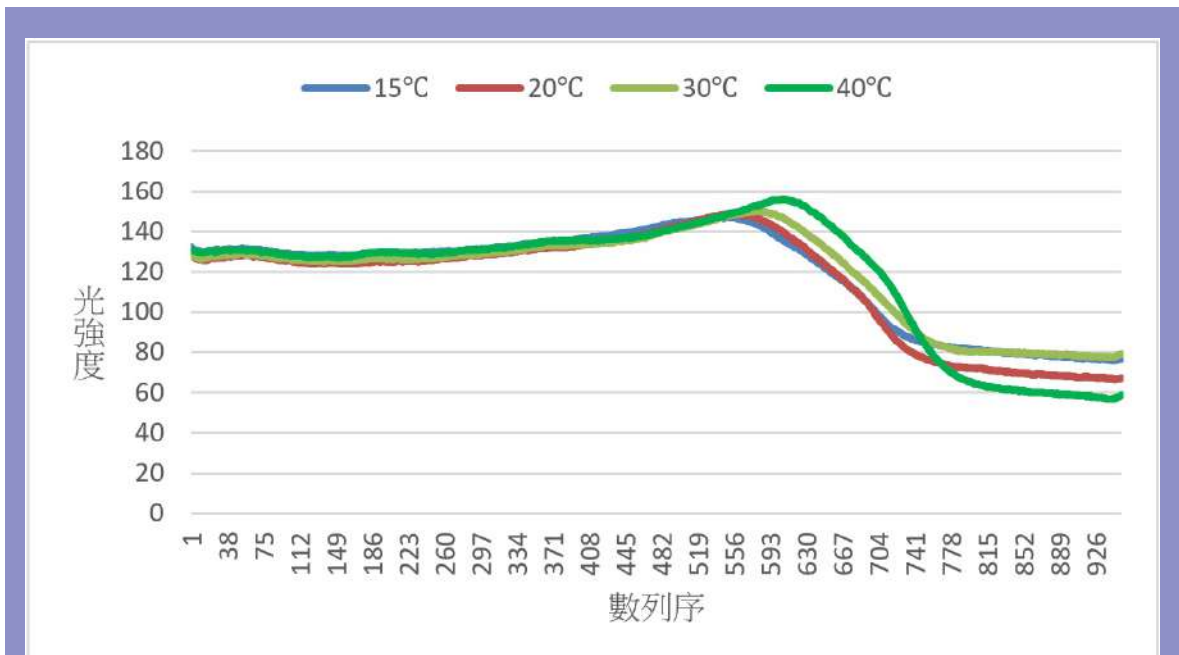
4. 重複步驟 1 到 3，並將水溫改為 20℃、30℃、40℃

5. 以 imageJ 分析彩虹照片的數據並繪製成圖。

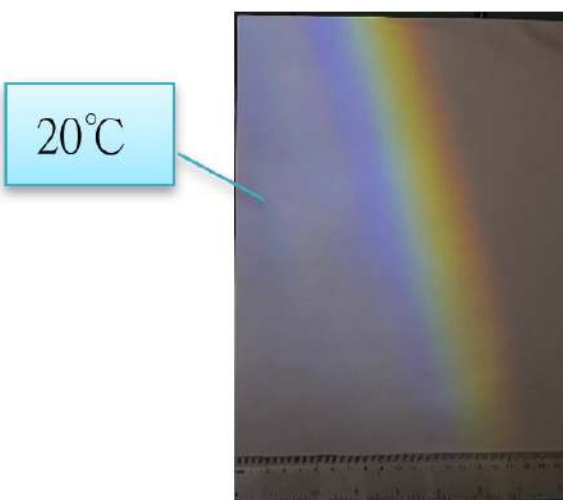
結果：如圖十一。

發現：發現：水溫溫度較高時，彩虹產生的亮度較為明亮，且最亮的波峰會往彩虹紅色的方向位移。

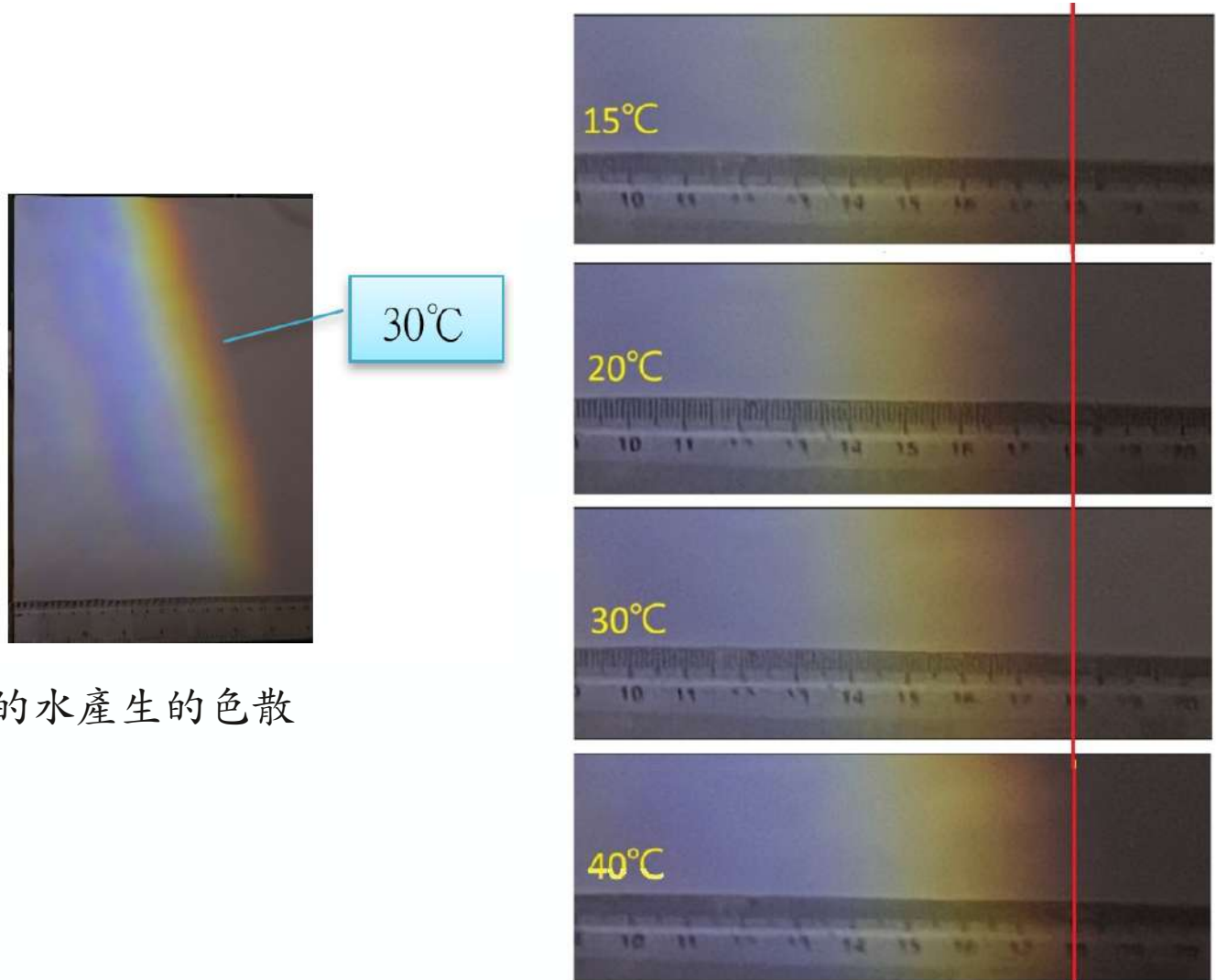
討論：1. 我們對於數據上的顯示感到好奇，將所拍攝的圖片比對後(如下圖十二)，發現在高溫的情況下，彩虹形成時，藍、紫色的部分形成一個較寬的寬帶，因此使藍紫色光的部分數據上看起來較為明亮。我們猜想由於溫度不同時，水的體積也不同，因此密度上也不同，所以不同溫度的水可以看成不同的介質，因此當光穿透時，會有不同結果的色散現象。從比較的結果可以發現，當溫度越高時，水的體積會變大，因此密度相對變小，所以當光通過時的速度可能會較溫度低的水來得快，因此在第一次折射時會較溫度低的水相對較偏離法線，因此讓色散的結果向紅色光的部分偏移。
2. 開始時我們設定的起始溫度是 10℃，但由於溫度降到 10℃時，圓形水族缸的外面因遇冷水蒸氣凝結於水缸外形成霧面，因此影響光穿透，雖有產生彩虹，但數據上少了許多，如果以此數據討論溫度的效應，會多了霧面的改變因素，因此我們將起始溫度設定為 15℃，其他則保持不變。



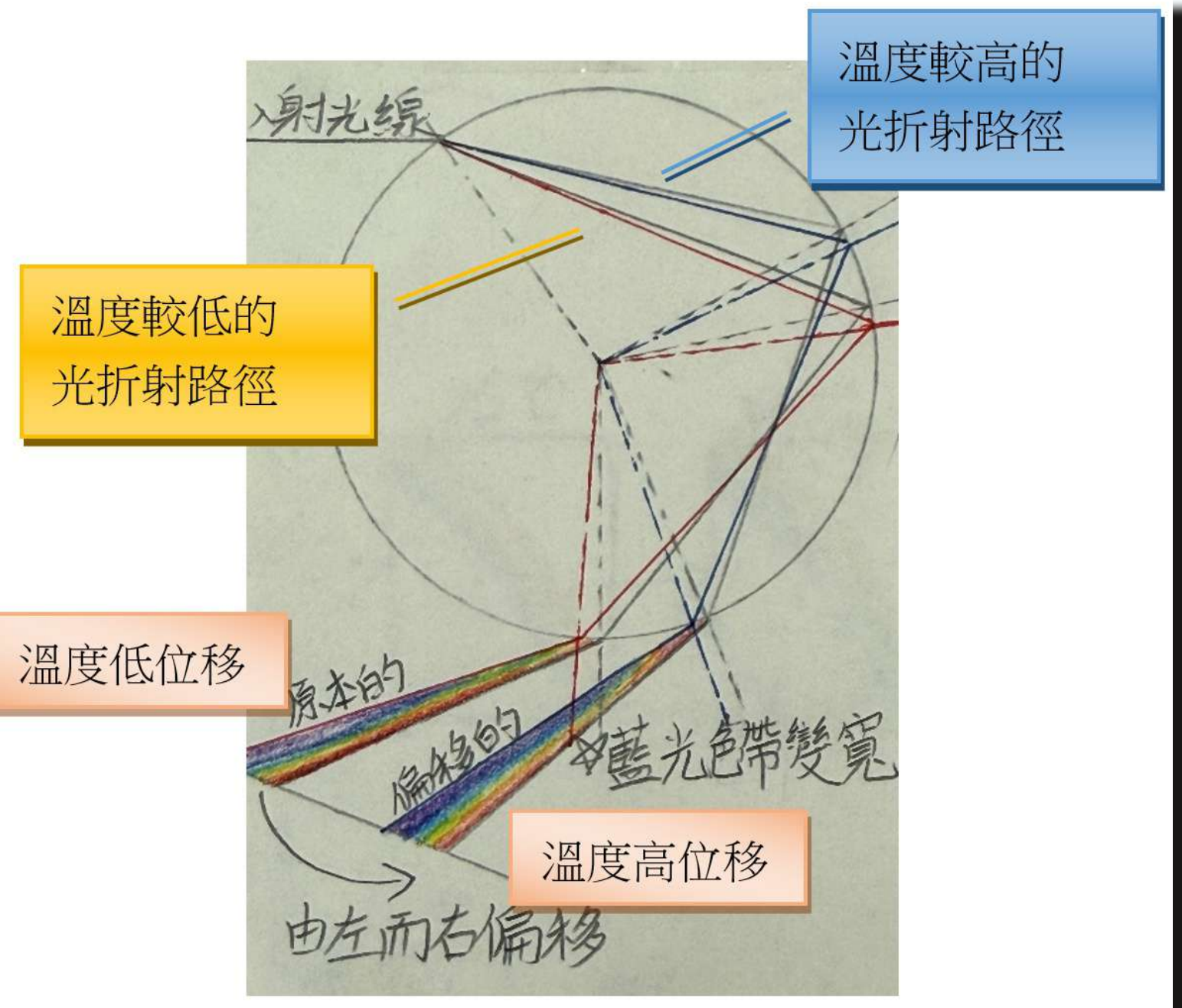
圖十一：不同溫度的水滴對於彩虹產生的影響



圖十二：光穿透不同溫度的水產生的色散



圖十三：不同溫度的水滴形成彩虹的位移現象



圖十四：水滴在不同溫度下光的路徑圖

(二) 不同鹽分濃度的水滴對於彩虹產生的影響

方法：1. 以圓形水族缸當作水滴模型，將水族缸加至滿水位(約 4.8 公升)
2. 將光線射入水滴中，以相機拍攝三次彩虹照片。
3. 重複步驟 1 到 2，但依次加入鹽，將水族缸內溶液的鹽水濃度調整為 1.5%、3%
4. 以 imageJ 分析彩虹照片的數據並繪製成圖。

結果：如圖十五
發現：雖然隨著濃度增加，但是波峰的數值差不多，代表有差不多的亮度，然而在彩虹最亮的波峰則呈現向圖片中彩虹紫色的左方位移。
討論：由於鹽水的濃度會改變介質的濃度，因此當光穿過不同介質產生折射時，折射出的光線偏折角度也會不同，我們推測較高濃度的鹽水，會使水變成讓光前進速度較慢的介質，因此光由空氣進入水滴的折射時會偏向法線使折射角變小，我們以這樣的條件來繪製水滴中折射的圖形(如下圖十七)，與實驗中彩虹偏移的方向相同(如下圖十六)。當水滴中鹽水的濃度增加時，新的彩虹會較原有彩虹的位置更偏向紫色光的方向。

(三) 不同醋酸濃度的水滴對於彩虹產生的影響

方法：1. 以圓形水族缸當作水滴模型，將水族缸加至滿水位(約 4.8 公升)
2. 將光線射入水滴中，以相機拍攝三次彩虹照片。
3. 重複步驟 1 到 2，但依次加入醋酸，將水族缸內溶液的醋酸濃度調整為 1.5%、3%
4. 以 imageJ 分析彩虹照片的數據並繪製成圖。

結果：如下圖十八
發現：水滴中醋酸的濃度越濃，彩虹產生的波峰越往色光紫色的方向位移，且濃度越濃波峰的數值略低，代表亮度略微減少。
討論：由於醋的濃度會改變介質的濃度，因此當光穿過不同介質產生折射時，折射出的光線偏折角度也會不同，因此從實驗資料來看，當空氣中水滴含有醋而改變水滴的濃度時除了改變水滴的酸度，也會使光產生不同的偏角，也因此影響彩虹與地面的夾角，所以水滴中的酸度會影響彩虹出現的位置，並且濃度較濃時可能會使彩虹的亮度減少，因此我們推論當空氣汙染產生酸雨時，除了會改變彩虹產生的位置外，也會使彩虹的亮度減少，是個不利於彩虹產生的因素。

(四) 不同懸浮微粒濃度的水滴對於彩虹產生的影響

方法：1. 以圓形水族缸作水滴模型，將水族箱加至滿水位(約 4.8 公升)
2. 加入 0.1g 香灰模擬懸浮微粒
3. 以不同的角度將光線射入水滴中，以相機拍攝三次彩虹照片。
4. 重複步驟 1 到 3，並將香灰改為 0.2g、0.3g
5. 以 imageJ 分析彩虹照片的數據並繪製成圖。

結果：如下圖二十
發現：隨著加入香灰越多，波峰的值會越來越低，代表亮度越來越少。
討論：從數據中說明水中的代表懸浮微粒的香灰含量越多時，屏幕上的亮度越差，而從照片中可以看到，在彩虹的左邊，當香灰含量越多時，亮度越暗，但是在彩虹的右邊，當香灰含量越多時，亮度越亮。我們猜想可能在沒有香灰前，彩虹右邊的光被折射而無法投射在屏幕上，因此較為暗，而當水中香灰增加時，除了遮蔽了亮度之外，也干擾了原來光線的折射，因此才有這樣的現象。(如下圖二十一)

小結：透過以上的實驗發現，如果未來環境條件有所改變，我們猜測看到的彩虹將可能與現在的彩虹略有不同，其中如果溶於水的物質(鹽類、酸性氣體)，會使水的鹽度或酸度變濃，則彩虹將會向紫色的方位偏移，使得彩虹的仰角變低；如果是空氣中不溶於水的固體懸浮微粒變多，則看到的大氣環境視線較為模糊，因此看到彩虹較不明亮；如果因為溫室效應加劇而使溫度變高，則看見的彩虹會向紅色光的方向偏移，使得彩虹的仰角變高。我們嘗試將未來可能因環境惡化造成彩虹差異的想像繪製如下圖。

五、探究模擬光透過真實圓形水滴而形成彩虹的可行性。

想法：由於彩虹的成為空氣中存在水滴與冰晶折射光線所致，我們查詢資料發現水的折射率為 1.33、冰的折射率為 1.31，兩者相差不多，因此雖然我們無法以圓形水滴來折射光線，但是我們想設計一個接近於圓形水滴的物體，如果水與冰的折射率差不多，能否以冰球的薄壁內加水的方式，來更貼近的模擬水滴狀態，並以此為依據真正模擬出接近於圓形水滴透過光而形成彩虹的可行性。

(一)、找出以冰球矽膠模型製作最佳冰球的時間條件

方法：1. 將相同大小的矽膠冰球模型裝入相同量的水
2. 將裝水的冰球模型同時放於-19℃的冷凍室中
3. 經過 3 小時後，每隔一小時拆開一個冰球模型觀察結冰的情形。
4. 重複數次找出最佳時間

結果：如圖二十三，6 小時後，能夠有完整的冰球中空模型
討論：起初我們想控制圓形的冰塊來模擬光線在水滴中色散形成彩虹的實驗，然而對於透明冰塊的製作要求較高，我們嘗試了許多次後發現不容易達成。因此我們採用冰球的外殼，在球中裝入冰水的方式來應對。我們將 6 小時後脫模的冰球中間加入冰水時，發現能夠在室溫中存在約半小時的時間，且注滿冰水的冰球呈現透明狀態(如下圖二十四)，可說是類接近於水滴樣貌的冰球。

(二)、以冰球裝水模擬水滴形成彩虹的可行性

方法：以固定的角度將光源入射進冰球中，然後在屏幕上觀察是否有彩虹的形成。

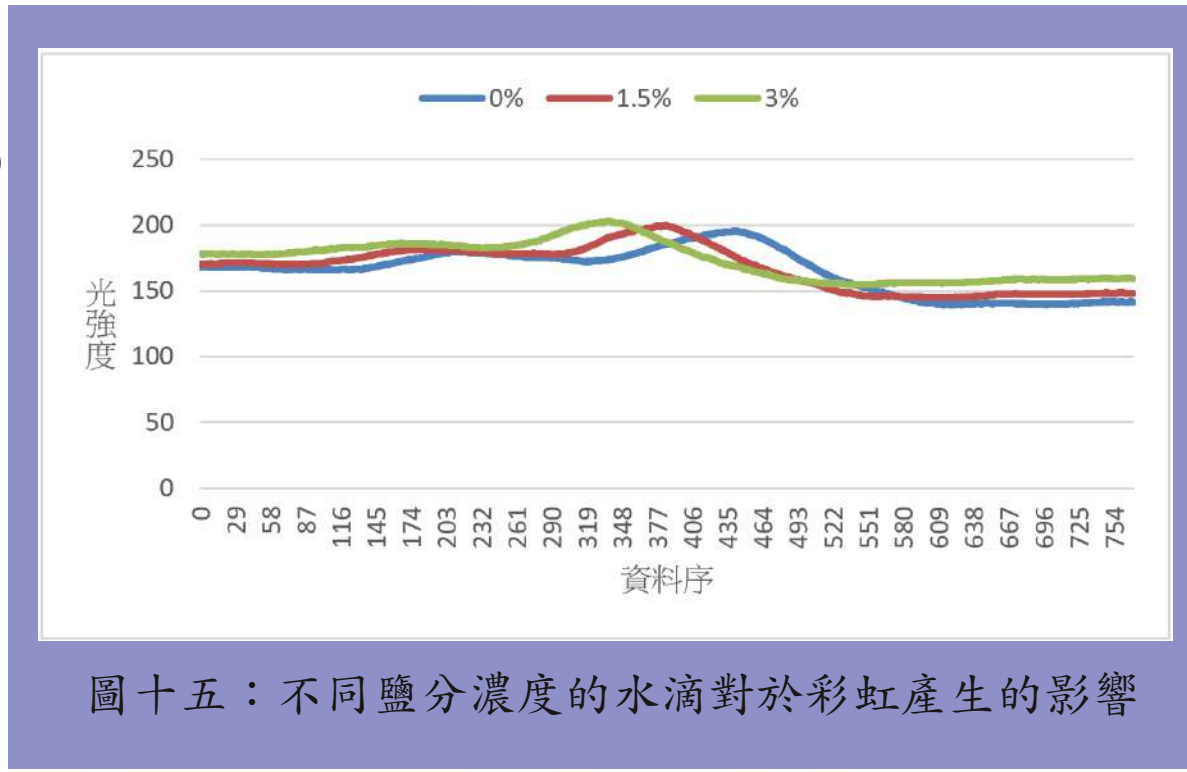
結果：如下圖，有看到彩虹在屏幕上產生，但不清晰。
討論：由於彩虹的形成不如預想的清晰，我們猜想可能是相對於冰球而言，手電筒的光線較為分散，而四面八方光線經過折射後雖有色散現象，但是相對的較為複雜，因此我們將手電筒前加個擋板，並在擋板前挖個小洞，使手電筒的光線經過小洞時形成較小的光束再做實驗。結果如下圖二十五，有較清晰的彩虹形成了，同時也成功的說明以冰球裝水模擬水滴形成彩虹的可行。最後以雷射光追蹤光線於冰球中的移動路徑，可以找出冰球中也有兩次折射一次反射的移動路徑。

肆、結論

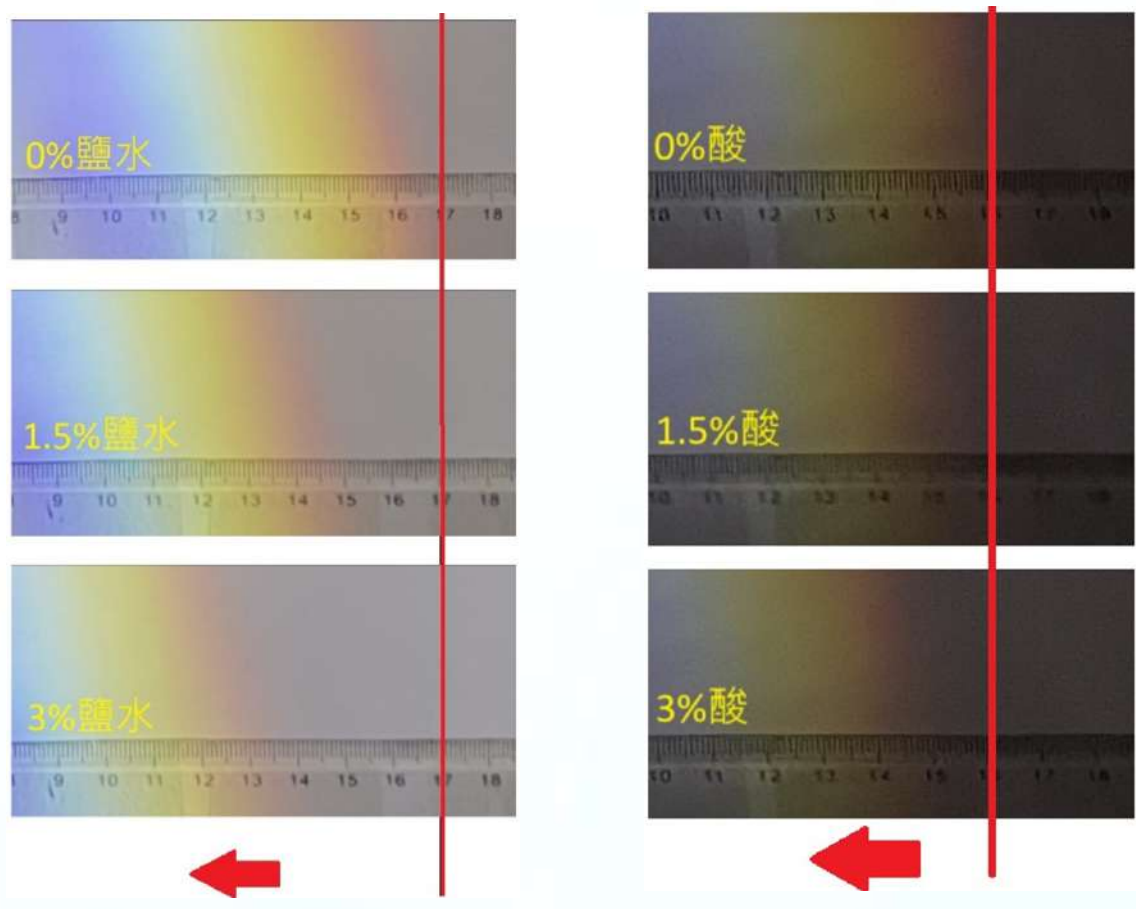
- 一、探究彩虹出現時的時間以及太陽高度角
 - (一) 在我們觀測的地區一天中最容易看到彩虹的時間是 16 點到 18 點，且早上也有可能會出現彩虹。
 - (二) 最容易看到彩虹的月分是 5 月到 10 月間，相當於夏秋雨季時。
 - (三) 彩虹出現時的太陽高度角均在 30 度以下。
- 二、探究可能與彩虹形成的相關天氣因素
 - (一) 彩虹形成的地面氣溫，多是在 25℃ 到 35℃ 間，呈現較為高溫的狀態。
 - (二) 彩虹形成的相對溼度至少要在 60% 以上。
 - (三) 在家鄉觀測彩虹發現有將近 39 % 的彩虹，在出現前六小時內有下雨。以雷達合成回波圖統計家鄉方圓 50Km 內，在彩虹出現前六小時內則有 97 % 的機會下雨。
 - (四) 彩虹形成時，風速普遍不大，多落在 3.5M/S 以下。
 - (五) 彩虹形成時，日射量較低，且多落在平均值 1.24(MJ/m²) 以下。
 - (六) 彩虹出現時，雲族高度多數為低雲狀的雲。
- 三、探究模擬光透過圓形水滴而形成彩虹時的行徑路線可被觀察的可行性
 - (一) 可透過圓形裝滿水的水族缸以 LED 手電筒在白色紙的螢幕上製造彩虹，且以雷射光追蹤光的路徑可看到兩次折射一次反射的路徑。
- 四、探究不同性質的水滴對彩虹形成時的影響
 - (一) 水溫溫度較高時，彩虹產生的亮度除較為明亮，彩虹也會往紅色的方向位移。
 - (二) 鹽水濃度增加亮度差不多，但彩虹會往紫色的方向位移。
- 五、探究真實模擬光透過圓形水滴而形成彩虹的可行性
 - 以直徑 9cm 的矽膠球形模具，在-19℃的環境下冰凍 6 小時，可得球形的冰薄壁，在球形的冰塊薄壁內裝入冰水，以 LED 燈前方加上挖開直徑約 1mm 小洞的隔板所形成的光束照射入球形冰塊中，可在白色屏幕上形成彩虹，可真實模擬出光透過圓形水滴而形成彩虹。最後若以雷射光追蹤光線於冰球中的移動路徑，也可以找出冰球中也有兩次折射一次反射的移動路徑。

伍、參考文獻資料

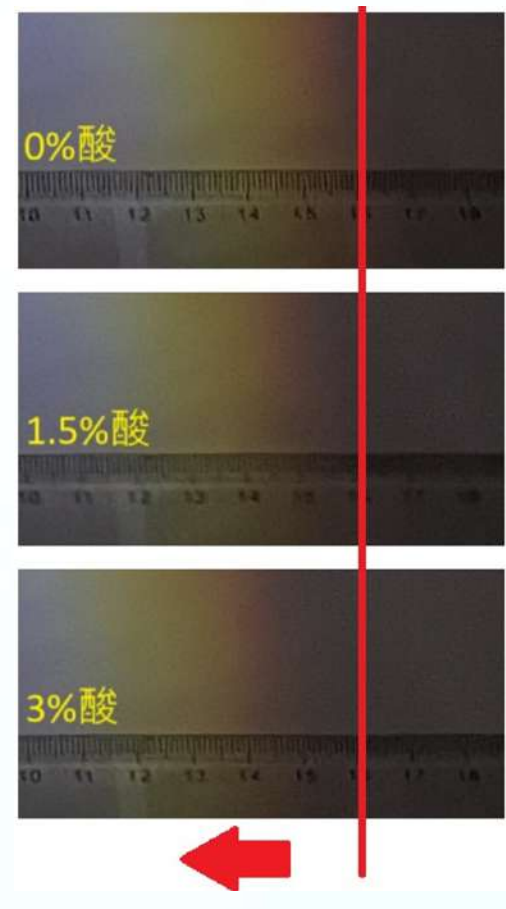
1. 大氣科學研究與應用資料庫。https://asrad.pccu.edu.tw/dbar/data-download/。
2. 中央氣象署數位科普網，光象一虹、霓、暈、華。
https://edu.cwa.gov.tw/PopularScience/index.php/weather/356-%E5%85%89%E8%B1%A1%E2%80%94%E8%99%E3%80%81%E9%9C%E3%80%81%E6%9A%88%E3%80%81%E8%8F%AF
3. 如何看懂雷達回波圖：即時降雨預測教學。
https://schoolaa.net/2024/10/04/%E5%A6%82%E4%BD%95%E7%9C%8B%E6%87%82%E9%9B%B7%E9%81%94%E5%9B%9E%E6%B3%A2%E5%9C%96%E6%BC%9A%E5%8D%B3%E6%99%82%E9%99%8D%E9%9B%A8%E9%A0%90%E6%B8%AC%E6%95%99%E5%AD%B8/
4. 物理馬戲團 (民 98)。沃克著。葉偉文譯。台北市。天下遠見。
5. 國立台灣科學教育館。https://twsf.ntsec.gov.tw/
6. 維基百科 https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%8A%98%E5%B0%84%E7%8E%87



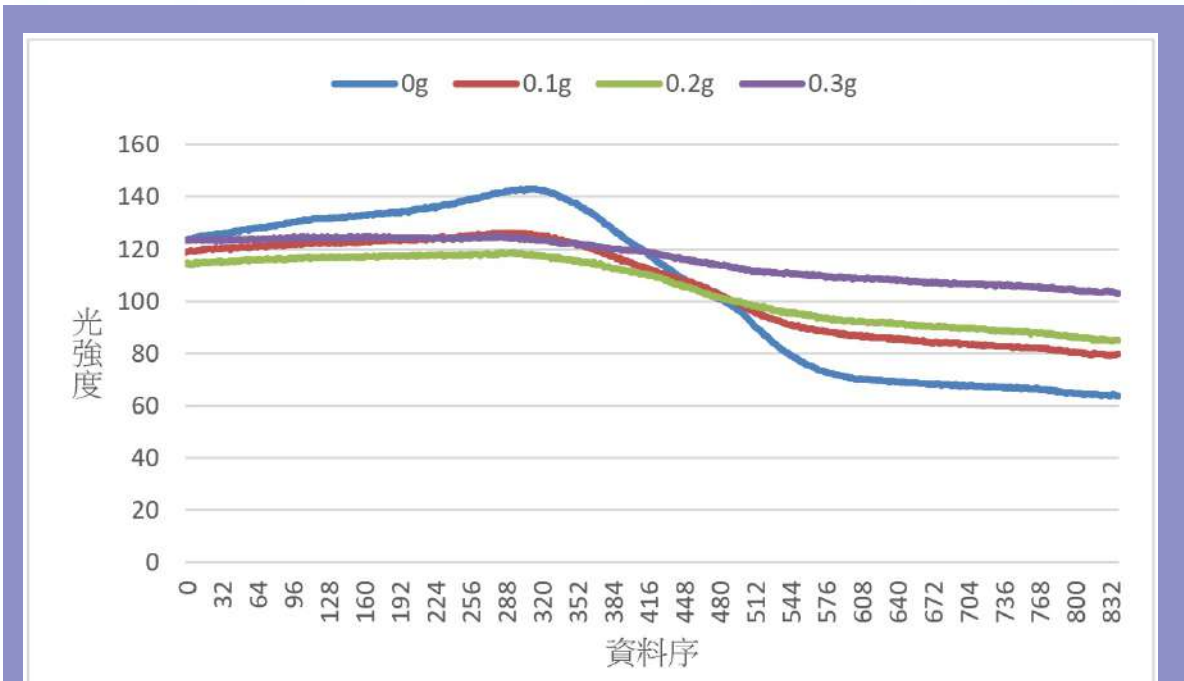
圖十五：不同鹽分濃度的水滴對於彩虹產生的影響



圖十六：不同鹽度水滴形成彩虹的位移現象



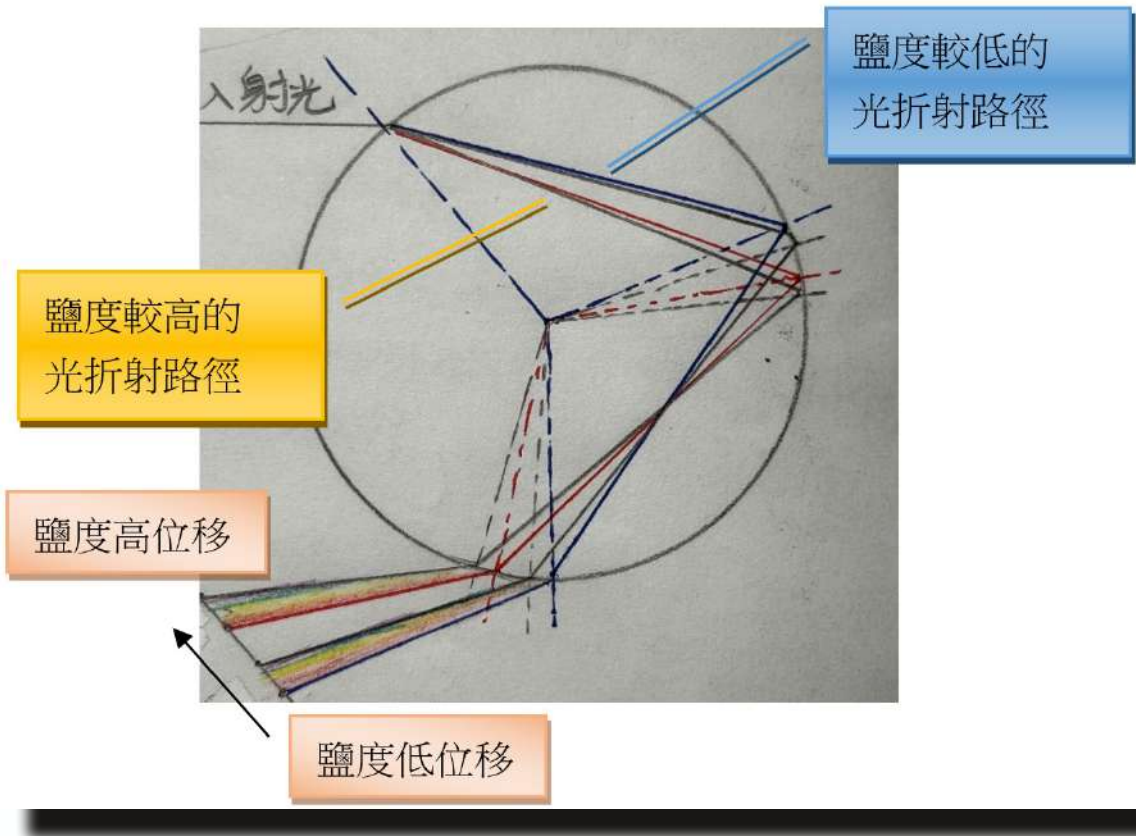
圖十九：不同酸度水滴形成彩虹的位移現象



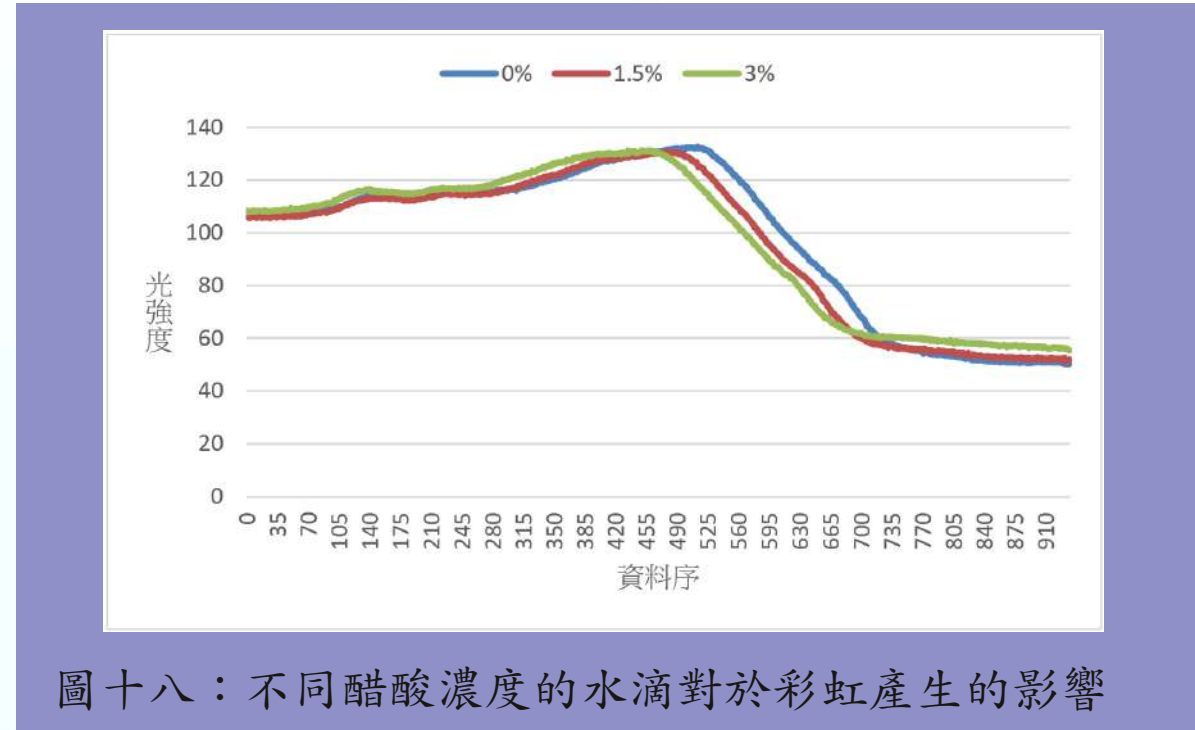
圖二十：不同懸浮微粒濃度的水滴對於彩虹產生的影響



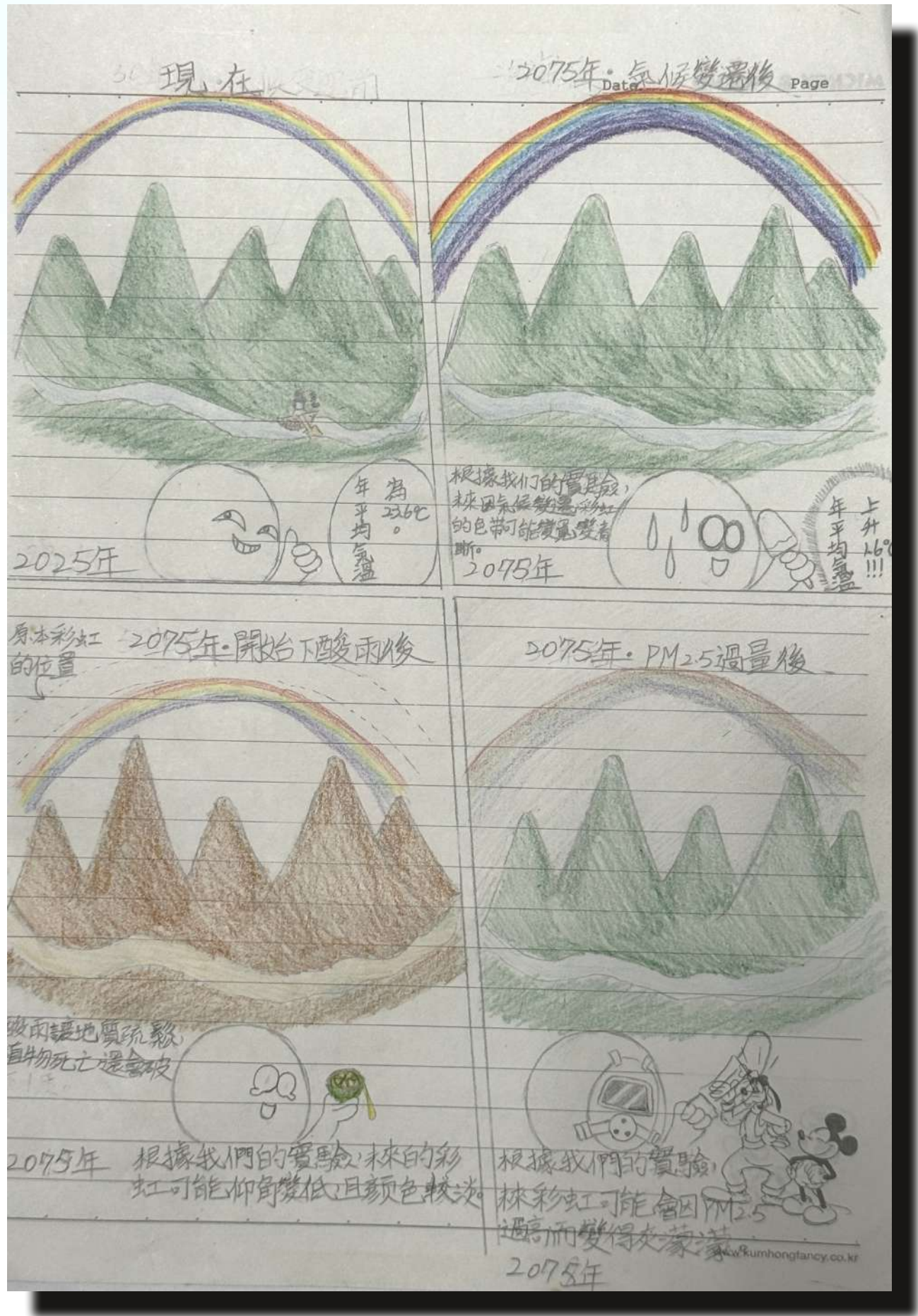
圖二十一：水滴中不同量的香灰對彩虹的影響



圖十七：水滴在不同鹽度下光的路徑圖



圖十八：不同醋酸濃度的水滴對於彩虹產生的影響



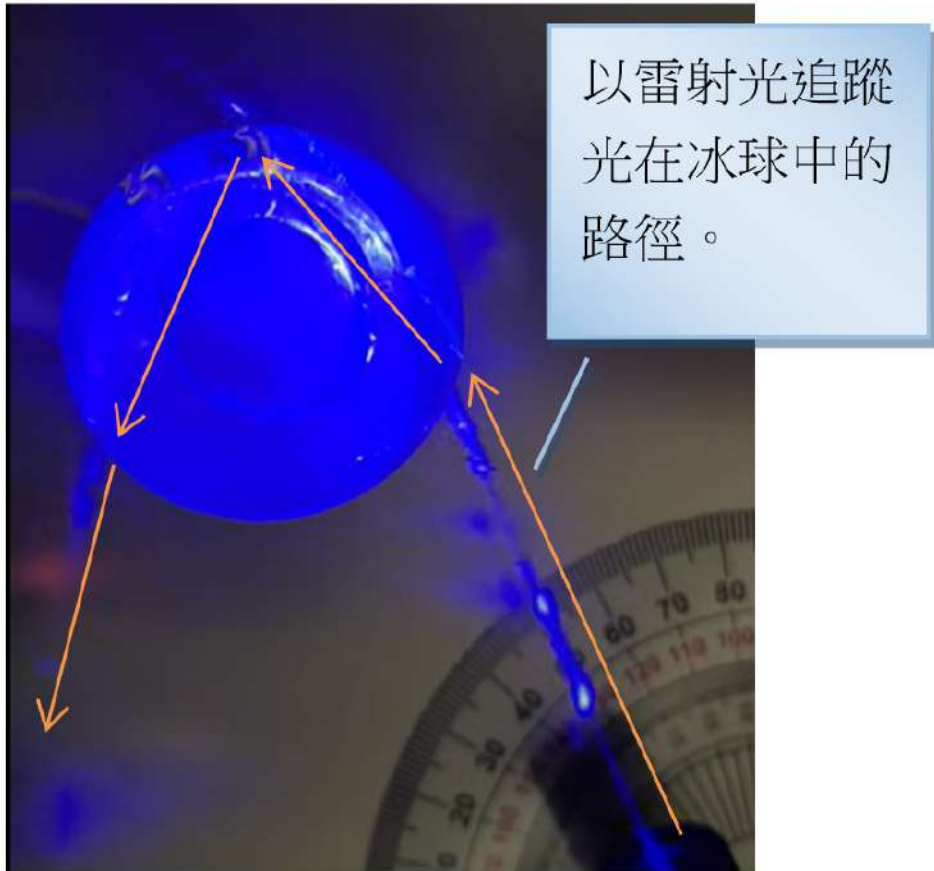
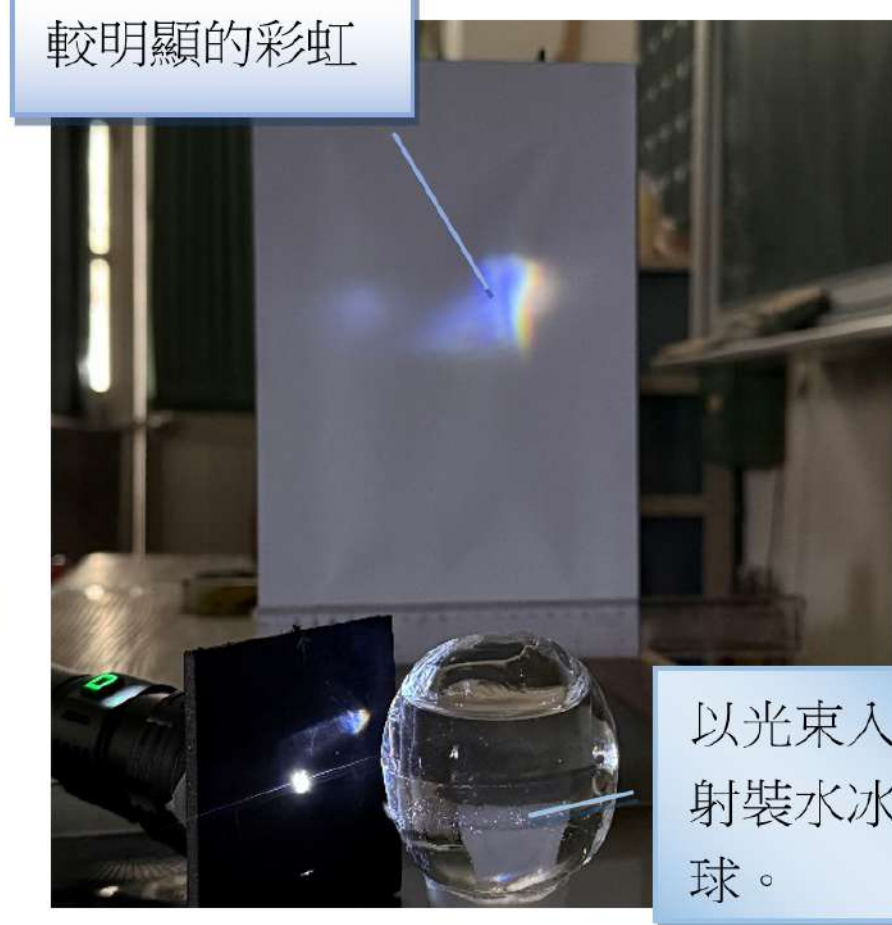
圖二十二：未來環境變遷形成的彩虹想像圖

			
3 小時： 模中有薄冰出現，大部分為冰水。	4 小時： 模中有完整的球形薄冰，但一碰就碎掉。	5 小時： 已有較厚的冰層形成，但仍不易脫模。	6 小時： 已有較厚且較容易脫模的中空冰球。

圖二十三：不同時間冰球結冰的情形



圖二十四：注滿冰水的透明的冰球



圖二十五：以雷射光追蹤以冰球形成彩虹時，光在冰球中的路徑

- (三) 醋酸的濃度越濃，彩虹會往紫色的方向位移，亮度略微減少。
- (四) 隨著加入香灰越多，彩虹亮度越來越少。