

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080122

霧裡虹花~布洛肯彩光

學校名稱：桃園市龜山區長庚國民小學

作者： 小六 林明和 小六 王宸安 小六 許彥翎 小六 蕭可芸 小六 羅皓天 小六 蕭宇呈	指導老師： 張雪燕
---	------------------

關鍵詞：彩虹、霧氣、布洛肯光

摘要

生活中，常能看見美麗的彩光，除了偶然的巧遇外，藉由光碟、鏡子、防偽貼紙等簡單的材料及適當光源的配合，也能製造出彩光。利用不同顆粒大小的玻璃砂來模擬自然界中的小水滴，能夠產生霧虹及彩虹。布洛肯彩光第三代實驗環境下，證實可以在物距 1m，燈距 5、7.5、10、20m 及物距 2m、燈距 10m，跟物距 5m、燈距 20m 的條件下，以照相機模擬觀察者的眼睛，可以產生布洛肯彩光。研究結果可以破除人們對於布洛肯彩光的疑惑跟恐懼，使大家更加瞭解光和小水滴，所造成精彩、有趣的現象。

未來在特殊場景、都市美化及光線相關教學或是藝術創作的展現技巧方面，可利用第三代實驗環境方式，利用簡單的器材，就能營造出特別的光線變化，也兼具環保效益。

















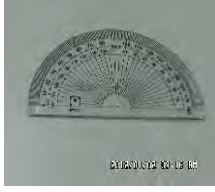













壹、研究動機

我們在四上自然課第三單元—「光的世界」以及在四下自然課—「水的移動」中學過，水氣在不同高度的環境有不同的形態，經由陽光的照射會產生彩光，再加上在五上第一單元「太陽」，讓我們了解到為什麼太陽高度角低時，才容易看到彩虹。而同學們無意間在光碟上看到了類似彩虹的光學現象，此時我們疑惑的猜想「為什麼光碟裡會有彩虹呢？要在什麼條件下才能製造出彩虹？」除了光碟片，還有哪裡會有彩虹出現嗎？在資料蒐集的過程中老師介紹我們看—「我在 MIT 燃燒物理魂」這本書，裡面提到「光環」這種奇妙的現象，西方稱為布洛肯光或是布洛肯幽魂，而在東方被稱為佛光或是觀音圈，這奇妙的現象讓我們想一探究竟：天空中有太陽和小水滴時，都會產生彩虹嗎？書中提到的玻璃砂經由光線的照射，也會出現彩虹嗎？為什麼會出現布洛肯彩光？不可能經由設計的實驗方式，製造出布洛肯彩光？布洛肯彩光在那些條件下，才容易看見？有沒有可能在家鄉起霧時，產生布洛肯彩光？

貳、研究目的

- 一、了解白光色散成彩光的原理。
- 二、尋找生活中常見的彩虹，並利用簡單的材料製造出彩虹。
- 三、利用玻璃砂和黑紙製造玻璃砂牆，配合光源產生彩虹。
- 四、經由實驗設計，製造布洛肯彩光。

參、研究設備及器材

				
黑布	帳篷	鐵架	相機腳架	娃娃
				
聚光燈	水管	玻璃砂	黑紙	黑色塑膠袋
				
水霧器 1 OMRON NE-S18	水霧器 2 無印良品	水霧器 3 升望 SW966	相機 1 Cyber shot DSC-HX300	相機 2 samsung F1.4
				
燒杯	量角器	噴膠	鐵尺	捲尺
				
TORCH ARCHEN V10S 手電筒	TOVATEC 水底燈	紙膠帶	透明膠帶	雙面膠
				
延長線	水晶燈	光碟	防偽貼紙	鏡子

肆、研究過程

一、文獻探討

(一)、彩虹形成的原因

在科學少年(周昆炫，2018)裡提到彩虹是因為太陽光(白光)照射到水滴時，部分光被反射掉，其他的光進入水滴，並發生了折射。水滴內的光線行進到水滴邊緣時，部分折射出水滴外，其他的光在水滴內反射。水滴內的光線再次行進到水滴邊緣時，部分在內部反射，其他光穿出水滴並折射，總計經過兩次折射、一次反射的太陽光，最後在進入眼睛時，光線的強度已經減少許多，而且分成七個顏色，形成美麗的彩虹。反射是指光被「反彈」的現象；折射是指光被「彎折」的現象。

在第 55 屆科展「『虹』透半邊天-全圓彩虹登場!」的這份作品中，提到當太陽仰角低，彩虹的位置就高，太陽仰角高，彩虹的位置就低。在一天中，太陽的仰角是從「低到高再到低」；彩虹仰角是從「高到低再到高」。在早上及下午時比較容易在大自然中觀察到彩虹，因為不容易被建築物遮住。在中午比較不容易在大自然看到彩虹，但在這時要噴水做全圓彩虹比較容易，上、下午也可以做出全圓彩虹，只是難度較高。

1.太陽光

太陽發出各種頻率的光，但唯有波長約在 380nm~750nm 範圍之內人類才可以看見，稱為「可見光」。不同波長的光進入眼睛後會呈現不同的顏色。

2.可見光

人眼可以看見的電磁波即是可見光，而可見光只是整個電磁波中的一個小波段，對於可見光的波長範圍有兩種定義：第一是在高中物理定義的 400~700nm；第二是在色彩科學與光學研究中所定義的 380~780nm。低於 380nm 的紫外線、X 射線、伽瑪射線及高於 780nm 的紅外線、微波、無線電波為不可見光。

3.色散

由於光是由不同頻率的光線組成，不同頻率的光線前進速度不同，當光線通過三稜鏡後，將散射成數種顏色，為紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等色彩，此現象稱為「色散」，也是出現彩虹的基本原理(項少龍，2015)。

4.光的組成

物理領域中有一個重要的實驗—雙狹縫實驗，這個實驗可以證明光是由波組成，兩個波加在一起會產生干涉效應。干涉是波的振幅可以線性疊加(superposition)的一種特性。而另外一個繞射現象，是指波遇到障礙物，若障礙物甚小或障礙物上有小孔(狹縫)，則波可繞過障礙物，而出現在障礙物後方繼續前進的現象(項少龍，2015)。

(二)、布洛肯光

布洛肯光是一種彩虹光環現象，過去有許多登山者在日出後不久，看到自己影子頭部周圍出現彩虹般的光環，也有人在飛機上看到飛機的影子周圍也有彩虹般的光環，這些光環稱為布洛肯光，在亞洲又稱為佛光、寶光、寶光環、觀音圈、觀音輪、反日華、光環等等，而在歐洲稱之為布洛肯幽靈(英文：Brocken Specter)、布洛肯虹(英文：Brocken Bow)或布洛肯現象(英文：Brocken Phenomenon)。

布洛肯光主要是因為影子的干涉與繞射而形成的，從不同的文獻資料上，我們可以發現，由於太陽光因為水滴而反向散射，產生稍微黯淡的不同顏色光環。當光線射入，再以近似於原本的路徑反射，而太陽、雲、觀察者又必須為特定排列，才有機會觀賞到彩光環，在彩光環形成的過程中，觀察者或飛機的影子沒有任何作用，它們跟光環唯一的關聯，就是影子一定出現在太陽的相反方向，代表彩光環是一種背向散射效應，讓陽光反轉了將近 180 度(努森斯維希，2012)。彩光環一定環繞在觀察者投射在雲上的影子周圍。光譜中的不同色光以略微不同的角度射回，形成類似彩虹的圖樣(項少龍，2015)。

以上這些情況，都會有一個非常詭異的現象發生，觀察者會看到自己的影子投射在霧氣上，然後被光環包圍起來，有些時候光環還會呈現出好幾個顏色的圓圈，這看起來確實有點靈異氣氛，所以這個現象又稱為布洛肯幽靈。

雖然布洛肯光以古典波動光學已經可以完整解釋成因，仍然有此一有趣的新論述：

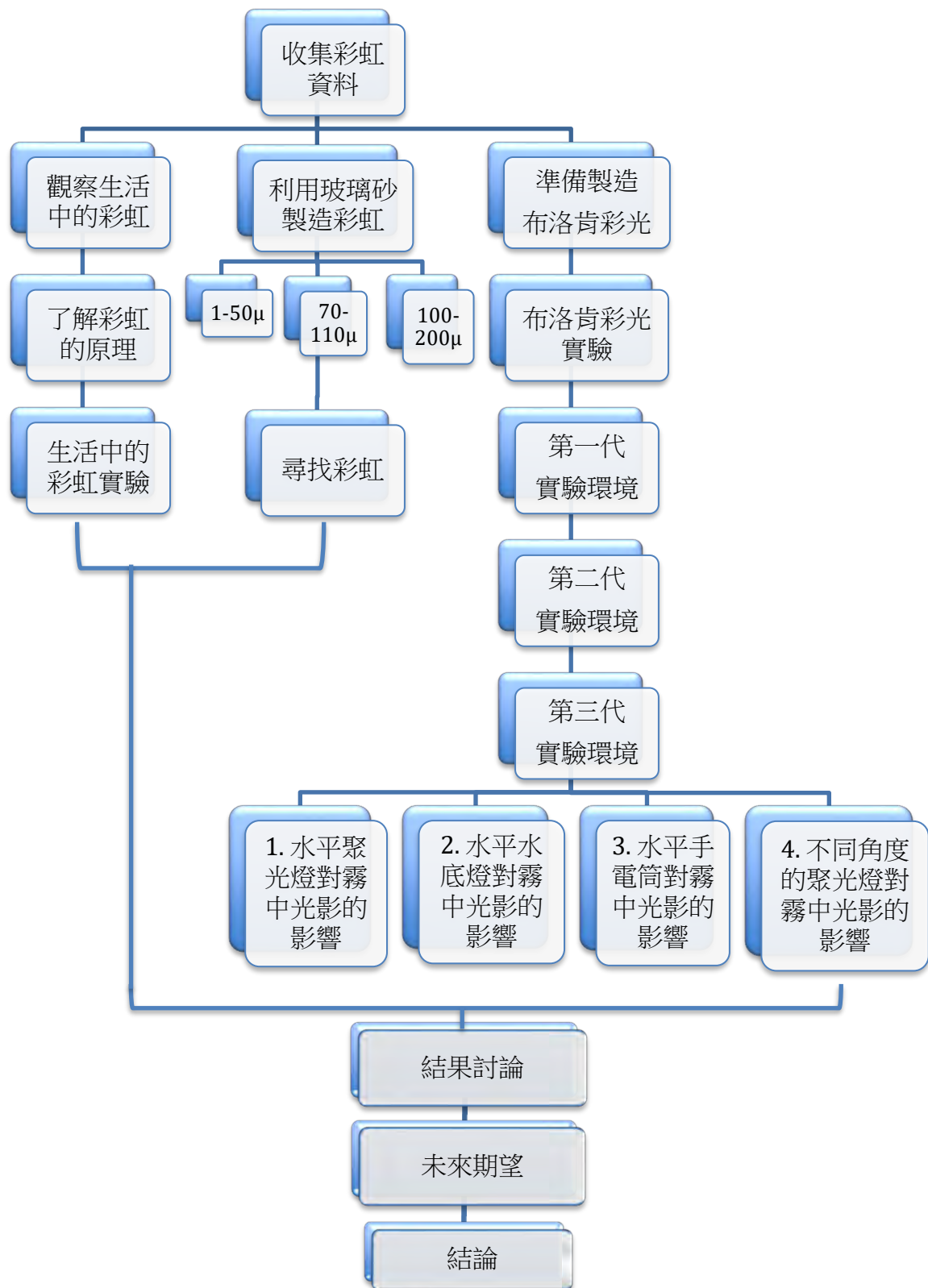
(三)、穿隧效應

波動，尤其是光波——擁有相當特異的「穿隧」能力，也就是越過障礙的能力。有些情況下，光看似應該留在介質裡，卻會滲漏出去。在玻璃或水等介質中傳播的光，接觸到折射率較低的其他介質(如空氣)的交接面時，如果入射角夠大，通常會全部被反射。不過，即使光全部反射回來，電磁場在交接面上也不會完全消失，而會延伸一小段距離，形成衰減波。如果在距離交接面不遠處有第三種介質，而且會接觸到衰減波，衰減波就可能會在第三種介質內繼續向外傳播，並將能量傳遞出去，使原始介質中的內部反射減弱。原本扮演障礙角色的中間介質，現在則因穿隧效應而被穿過。要出現可察覺的穿隧效應，間隔的寬度不可超出波長太多——以可見光而言，大約是 0.5 微米以下。但早在 1675 年，牛頓就已經觀察到這個現象。當時他將凸透鏡放在玻璃板上，研究現在稱為「牛頓環」的干涉圖形。

穿隧效應相當違反直覺，出生在俄國的伽莫夫(George Gamow)於 1928 年首先將他運用在量子力學中，解釋某些放射性同位素如何放射 α 粒子。但與一般想法不同的是，穿隧效應並不是只出現在量子世界，古典波動也可能發生這種現象。當陽光通過雲中的小水珠附近時，就會完全違反直覺，經由穿隧效應進入水滴，參與彩光環的形成過程，彩光環是光穿隧效應的巨觀表現。(努森斯維希，2012)

通常入射光波來自遙遠的光源，因此可視為平面波。努森斯維希卻發現，有一些不該接觸球體的分波，會以穿隧的方式穿過球體附近的空氣層，進入球體，在球體內形成共振後，再穿隧離開球體，由於其散射波幾乎沿入射方向折回，而且強度夠強，所以是形成彩光環的主要機制。(張明哲，2012)

二、流程圖



伍、研究方法與結果

在日常生活中，只要我們注意觀察，常常能在不經意之間，看到彩光的出現。例如：雨後路上的油漬，可看見彩紅！(如圖一)；在晴天時，將水管壓扁，往空中噴灑，可以看見彩虹！(如圖二)；在瀑布、噴水池旁邊，也常可見到彩虹。(如圖三)；在樹林中，從濃密的樹葉間，透出的陽光中，可看到彩虹。(如圖四)

因此，我們想利用手邊的材料，製造出彩虹，也參考「我在 MIT 燃燒物理魂」一書中提到的，利用玻璃砂製造彩虹。更想經由設計的實驗，製造出布洛肯彩光！



圖一：油漬彩虹



圖二：噴水彩虹



圖三：瀑布旁彩虹



圖四：樹葉間彩虹

一、生活中的彩虹：

實驗目的：利用手邊的材料製造出彩虹

(一) 實驗名稱：水彩虹

實驗器材：1.全透明燒杯

2.水

3.白光手電筒

實驗步驟：1.在關燈的教室將水杯放在桌上。

2.手電筒由上往下照，調整手電筒與桌面的夾角，直到可以看到彩虹。

實驗結果：手電筒與桌面的夾角較小時，較易在杯底看到彩虹(如下圖五)。

(二) 實驗名稱：水晶珠彩虹

實驗器材：1.水晶珠

2.圓形透明容器

3.白光手電筒

實驗步驟：1.將水晶珠放入圓形透明容器，在關燈的教室將手電筒由容器側面照向水晶珠。

2.調整手電筒角度，直到可以看到彩虹。

實驗結果：水晶珠可以模仿小水珠，在牆面上形成彩虹(如下圖六)。

(三) 實驗名稱：水晶燈彩虹

實驗器材：1.水晶燈

2.白光手電筒

實驗步驟：1.在關燈的房間將手電筒照在水晶燈上。

2.調整手電筒角度，直到可以看到彩虹。

實驗結果：光線在水晶燈中產生色散，在牆面上形成彩虹(如下圖七)。

(四) 實驗名稱：防偽貼紙彩虹

實驗器材：1.防偽貼紙

2.白紙

3.白光手電筒

實驗步驟：1.在關燈的教室把防偽貼紙平放在桌上。

2.用白光手電筒照向防偽貼紙。

3.再將白紙放在白光的反射位置，就可以在白紙上看到彩虹(如下圖八)。

實驗結果：光的入射角小於 90 度時，可以在白紙上看到彩虹。

(五) 實驗名稱：光碟彩虹

- 實驗器材：1.光碟
2.白紙
3.白光手電筒

- 實驗步驟：1.在關燈的教室，用手電筒照向光碟
2.把白紙立在光碟後方
3.調整手電筒角度，直到可以在後方白紙上看到彩虹。

實驗結果：手電筒照向光碟的記憶洞，即可反射出彩虹(如下圖九)。

(六) 實驗名稱：鏡子彩虹

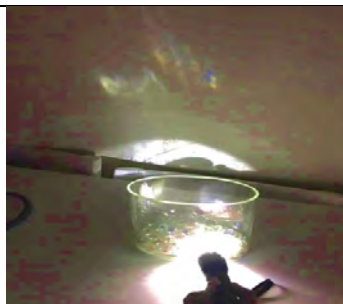
- 實驗器材：1.鏡子
2.圓形容器
3.白光手電筒

- 實驗步驟：1.在關燈的教室，將圓形容器裝水
2.把鏡子放入水中
3.把手電筒照向在水中的鏡子，調整手電筒與鏡面的角度，直到可以在後方牆上看到彩虹。

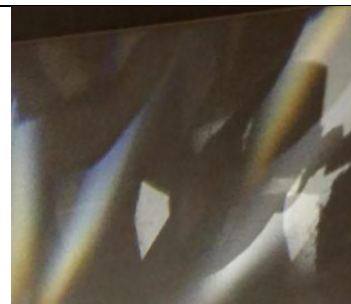
實驗結果：當手電筒和鏡面角度約為 40 度時，最容易製造出彩虹(如下圖十)。



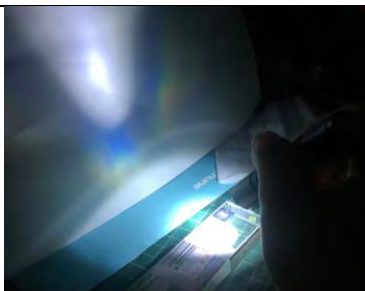
圖五、水彩虹



圖六、水晶珠彩虹



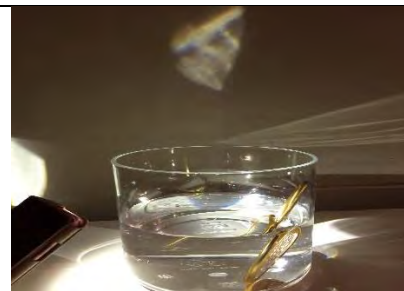
圖七、水晶燈彩虹



圖八、防偽貼紙彩虹



圖九、光碟彩虹



圖十、鏡子彩虹

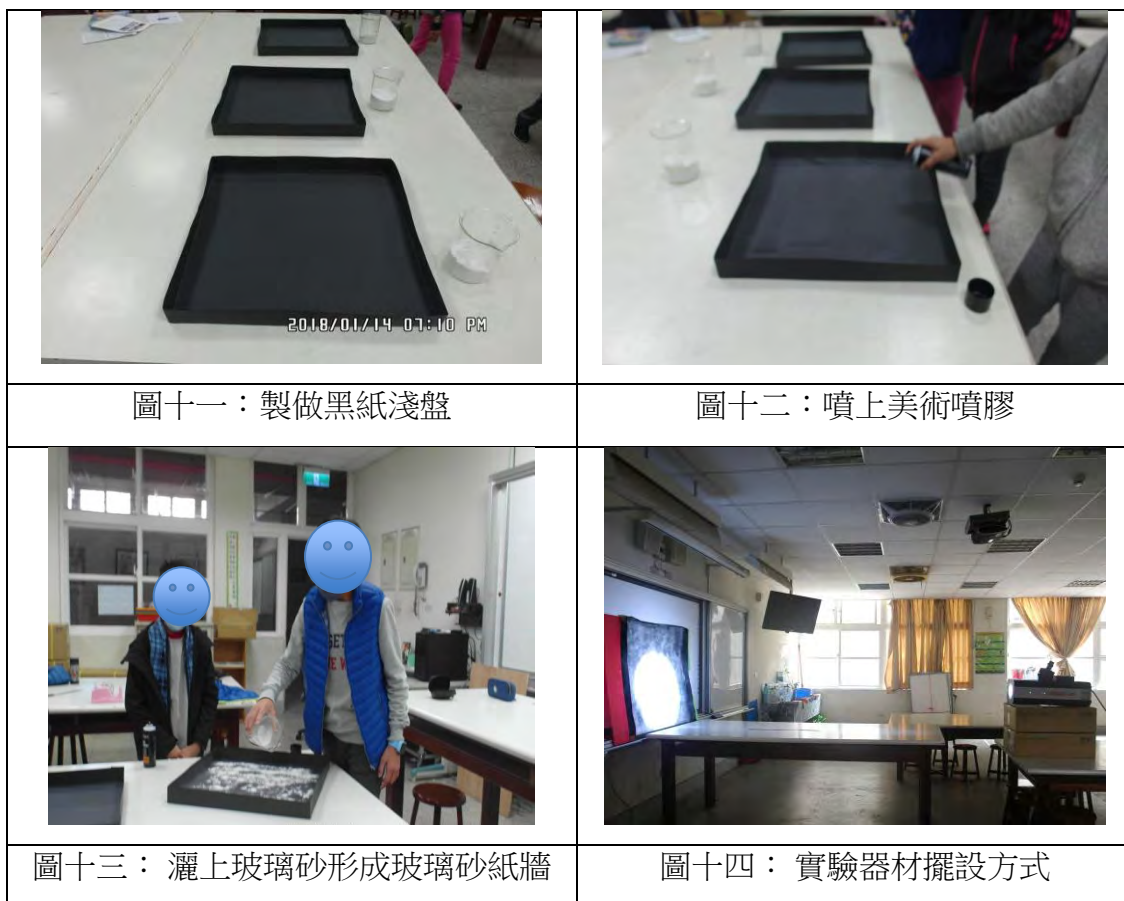
二、玻璃砂彩虹：

我們參考了「我在MIT燃燒物理魂」一書中，第五章「將彩虹握在手中」的內容，激發了我們製作玻璃砂彩虹的興趣。在這本書中作者看到在地上玻璃砂折射出全圓彩虹，因此我們嘗試了以下的實驗。

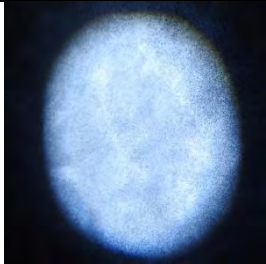
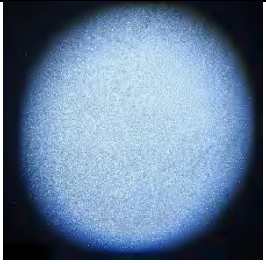


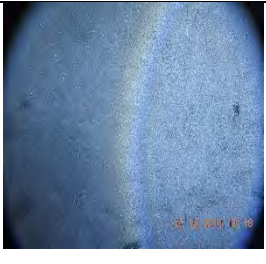

(一) 實驗目的：利用玻璃砂製造出彩虹。

(二) 實驗步驟：

1. 裁剪 50*50cm 和 100*100cm 的黑紙，並做成淺盤(如下圖十一)。
2. 在淺盤上面均勻噴灑美術噴膠(如下圖十二)。
3. 均勻灑上三種尺寸 G1~50 μ 、G70~110 μ 、G100~200 μ 的玻璃砂，製作成玻璃砂紙牆(如下圖十三)。
4. 關燈之後，讓玻璃砂紙牆與聚光燈呈現垂直，將 380 瓦 LED 聚光燈平放在距離玻璃砂紙牆三公尺並照射(如下圖十四)。
5. 面向玻璃砂紙牆，調整觀看角度，約在 45 度左右，可以看到一部分的彩虹或霧虹。(如下圖十五~圖二十)



(三)實驗照片：

玻璃砂尺寸 紙牆大小	G1~50 μ	G70~110 μ	G100~200 μ
50*50cm	 圖十五：產生霧虹	 圖十六：產生霧虹	 圖十七：產生霧虹
100*100cm	 圖十八：產生霧虹	 圖十九：產生彩虹	 圖二十：產生彩虹

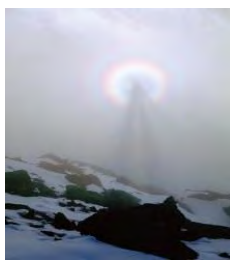
(四)實驗結果：1.透過這個實驗我們知道，玻璃砂可以模擬自然界中的小水滴。

2.玻璃砂顆粒越大，玻璃砂紙牆尺寸越大，越容易製造出彩虹。

三、布洛肯光

(一)實驗動機：

布洛肯光是一種陽光透過雲霧反射、並經由雲霧中的水滴發生繞射與干涉、最後形成一圈彩虹光環的光學現象、在光環中經常包含觀察者本人的陰影。網路上查詢的內容中，有人在峨嵋山上看到布洛肯光，或是在山谷裡看到自己的影子被彩虹包圍，經過查證之後，我們發現此現象在自然界裡非常罕見，通常是在太陽高度角低且有霧氣時會發生(如下圖二十一)。而在網站上查到的發生條件資訊都非常籠統，因此我們想經由設計的實驗製造布洛肯光。



照片來源: <http://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?Unit=featurearticles&id=1908>

圖二十一 自然界中的布洛肯光

(二)前置作業：

第一代實驗環境：

1. 將帳篷立於教室內並在帳篷內放進水霧器，啟動並等待 20 分鐘，待霧氣充滿帳篷(如下圖二十二)。
2. 同學坐在帳篷前，當作光源干擾物，並將聚光燈放於 7.5 公尺處，照向同學。
3. 我們發現此設置雖然可以將同學影子投射在帳棚內的霧氣上，但無法產生布洛肯光(如下圖二十三)。
4. 我們嘗試將光源干擾物換成手掌大的小娃娃，影子也能投影在帳篷內的霧氣上，但也無法產生布洛肯光(如下圖二十四)。

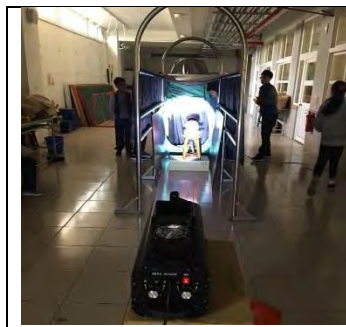
第二代實驗環境：

1. 我們覺得教室內的空間有限，影響調整燈源與帳篷的距離，所以我們將實驗器材移至教室外走廊。
2. 重複水霧器啟動與設置聚光燈位置，將光源干擾物從小娃娃換成大娃娃，投影後發現拍攝效果不佳(如下圖二十五)。



第三代實驗環境：

1. 把燈源放置在距離帳篷 5、10、15、25 公尺處，距離地面高度 43 公分，跟大娃娃平行。
2. 將帳篷裡貼滿黑布，避免光線反射干擾。
3. 在地面上標註距離。
4. 擺放相機與大娃娃的位置。
5. 在帳篷外設置擋光用鐵架，並將鐵架外圍罩上黑布(如下圖二十六、二十七)
6. 並以第三代實驗環境來進行以下布洛肯彩光實驗。



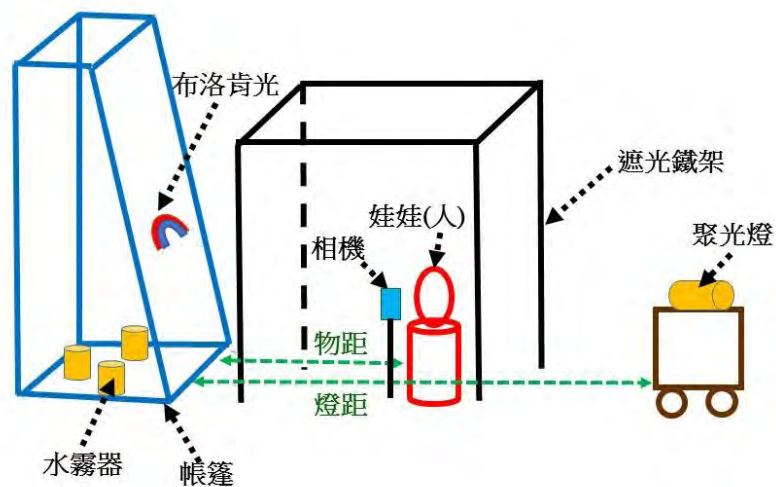
圖二十六

第三代實驗環境正面照



圖二十七

第三代實驗環境側面照



實驗器材擺設位置簡圖

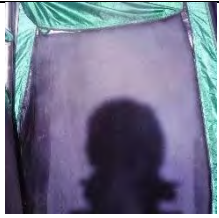
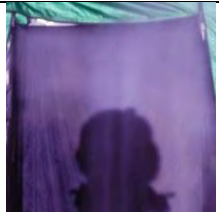
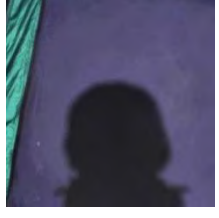
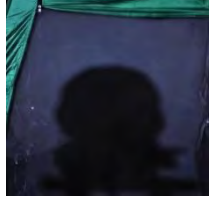
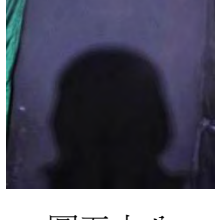
(四)實驗步驟：

1. 在帳篷內放進水霧器並啟動。
2. 等待 20 分鐘，待霧氣充滿帳篷，使娃娃的影子能映照在霧氣上。
3. 設定物距(娃娃到帳篷前端)的距離及燈距(燈源前端到帳篷前端)的距離，燈源包括聚光燈、水底燈及手電筒三種。
4. 調整燈距和物距，每個位置連續拍 10 張照片。
5. 檢查拍攝的照片。

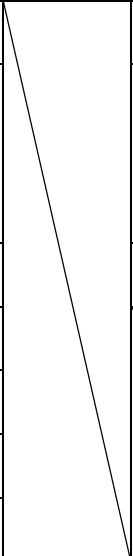
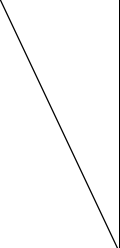
(五)實驗 1-1：水平聚光燈對霧中光影的影響

1. 實驗目的：測試各種燈距及物距對霧中光影呈現的影響。
2. 控制變因：燈源與娃娃呈 0 度角。
3. 操作變因：物距(娃娃到帳篷前端的距離)、燈距(聚光燈前端到帳篷前端的距離)。
4. 實驗結果：照片如下

燈距 物距	5m	10m	15m	20m
1m	 <p>圖三十</p>	 <p>圖三十一</p>	 <p>圖三十二</p>	 <p>圖三十三</p>
2m	 <p>圖三十四</p>	 <p>圖三十五</p>	 <p>圖三十六</p>	 <p>圖三十七</p>
3m	 <p>圖三十八</p>	 <p>圖三十九</p>	 <p>圖四十</p>	 <p>圖四十一</p>
4m	<p>影子過大</p>	 <p>圖四十二</p>	 <p>圖四十三</p>	 <p>圖四十四</p>
5m	<p>影子過大</p>	 <p>圖四十五</p>	 <p>圖四十六</p>	 <p>圖四十七</p>

6m	無法測量(物距大於燈距)			
		圖四十八	圖四十九	圖五十
7m	無法測量(物距大於燈距)	影子過大		
			圖五十一	圖五十二
8m	無法測量(物距大於燈距)	影子過大		
			圖五十三	圖五十四
9m	無法測量(物距大於燈距)	影子過大		
			圖五十五	圖五十六
10m	無法測量(物距大於燈距)	影子過大		
			圖五十七	圖五十八



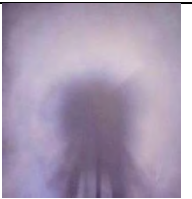
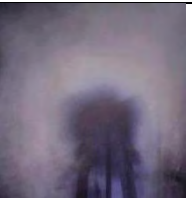
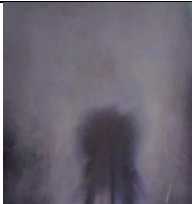

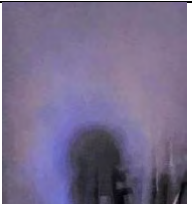
5.實驗結果統計表(V 明顯出現彩光； Δ 彩光顏色淺薄；X 沒有出現彩光)

燈距 物距	5m	10m	15m	20m	
1m	Δ	V 圖 三十一	Δ	V 圖 三十三	
2m	X	Δ	Δ	Δ	
3m	X	Δ	Δ	Δ	
4m		Δ	Δ	Δ	
5m		Δ	Δ	V 圖 四十七	
6m		X	Δ	Δ	
7m				X	X
8m				Δ	X
9m				X	X
10m				Δ	X

實驗 1-2：水平聚光燈對霧中光影的影響

在實驗 1-1 中，我們發現，當物距為 1m 時，所看到的布洛肯彩光最清楚，出現的次數也最多，因此我們針對物距 1m，縮短燈距再進行實驗。

1. 實驗目的：測試各種距離的聚光燈，物距在 1m 對霧中光影呈現的影響。
2. 控制變因：燈源與娃娃呈 0 度角。
3. 操作變因：燈源距離(5m、7.5m、10m、12.5m、15m、17.5m、20m)。
4. 實驗結果：照片如下

燈距 物距	5m	7.5m	10m	12.5m
1m	 圖五十九	 圖六十	 圖六十一	 圖六十二
1m	15m	17.5m	20m	
	 圖六十三	 圖六十四	 圖六十五	

5. 實驗結果統計表(V 明顯出現彩光； Δ 彩光顏色淺薄；X 沒有出現彩光)

燈距 物距	5m	7.5m	10m	12.5m	15m	17.5m	20m
1m	X	V 圖 六十	V 圖 六十一	Δ	Δ	Δ	Δ

6. 實驗結果：在實驗 1-1、1-2 中，我們發現物距 1m，燈距 7.5m、10m、20m 及物距 5m，燈距 20m 可形成布洛肯彩光。

實驗 2：水平水底燈對霧中光影的影響

1. 實驗目的：測試 TOVATEC 水底燈在不同物距下，對霧中光影呈現的影響。
2. 控制變因：燈源與娃娃呈 0 度角。
3. 操作變因：物距(娃娃到帳篷前端的距離)、燈距(水底燈前端到帳篷前端的距離)。
4. 實驗結果：照片如下

燈距 物距	5m	10m	15m	20m
1m	 圖六十六	 圖六十七	光源太暗， 無法拍攝	光源太暗， 無法拍攝
2m	 圖六十八	 圖六十九	 圖七十	光源太暗， 無法拍攝
3m	影子過大	 圖七十一	 圖七十二	光源太暗， 無法拍攝
4m	影子過大	 圖七十三	 圖七十四	光源太暗， 無法拍攝
5m	影子過大	 圖七十五	 圖七十六	光源太暗， 無法拍攝

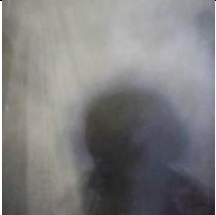


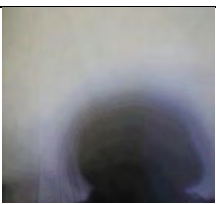


5. 實驗統計表(V 明顯出現彩光； Δ 彩光顏色淺薄；X 沒有出現彩光)

燈距 物距	5m	10m	15m	20m	
1m	X	Δ	/	/	
2m	X	V 圖 六十九			Δ
3m	/	X			X
4m		X			X
5m		X			X

6. 實驗結果：我們發現物距 2m，燈距 10m 可形成布洛肯光。

實驗 3：水平手電筒對霧中光影的影響

1. 實驗目的：測試 TORCH ARCHEN V10S 手電筒在不同物距下，對霧中光影呈現的影響。
2. 控制變因：燈源與娃娃呈 0 度角。
3. 操作變因：物距(娃娃到帳篷前端的距離)、燈距(水平手電筒前端到帳篷前端的距離)。
4. 實驗結果：照片如下

燈距 物距	5m	10m	15m	20m
1m	 圖七十七	 圖七十八	 圖七十九	燈源太暗 無法成像。
2m				燈源太暗 無法成像。

	圖八十	圖八十一	圖八十二	
3m	 圖八十三	 圖八十四	燈源太暗 無法成像。	燈源太暗 無法成像。
4m	影子過大。	 圖八十五	燈源太暗 無法成像。	燈源太暗 無法成像。
5m	影子過大。	 圖八十六	燈源太暗 無法成像。	燈源太暗 無法成像。





5. 實驗統計表(V 明顯出現彩光； Δ 彩光顏色淺薄；X 沒有出現彩光)

燈距 \ 物距	5m	10m	15m	20m
1m	X	X	X	/
2m	Δ	X	X	
3m	X	X		
4m		X		
5m		X		

6. 實驗結果：我們發現物距 2m，燈距 5m 可產生顏色淺薄的彩光。

實驗 4：不同角度的聚光燈對霧中光影的影響

1. 實驗目的：測試燈距與燈源角度對形成布洛肯彩光的影響。
2. 控制變因：物距 1m、燈源由水平向下調整 5 度。
3. 操作變因：燈距。
4. 實驗照片：照片如下

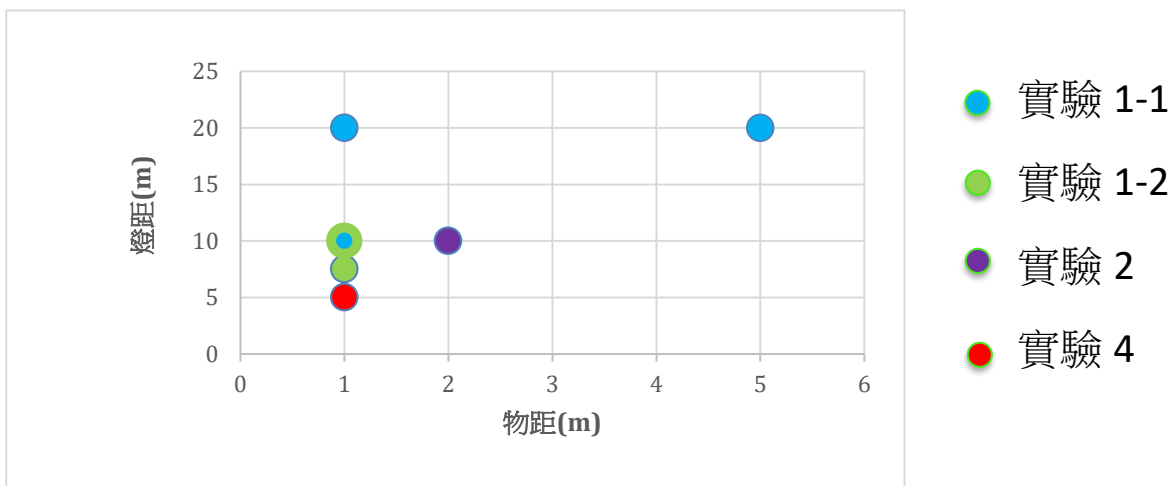
聚光燈 角 度	聚光燈 距 離	實驗照片	聚光燈 角 度	聚光燈 距 離	實驗照片
5°	5m	 圖八十七	5°	10m	 圖八十八
5°	15m	 圖八十九	5°	20m	 圖九十

5. 實驗統計表：(V 明顯出現彩光；△彩光顏色淺薄；X 沒有出現彩光)

聚光燈 角 度	聚光燈 距 離	實驗結果	聚光燈角度	聚光燈 距 離	實驗結果
5°	5m	V 圖八十七	5°	10m	X
5°	15m	X	5°	20m	X

6. 實驗結果：燈源由水平向下調整 5 度、聚光燈距離在 5m，可產生布洛肯彩光。

(六) 實驗 1-1、1-2、4 明顯出現彩光 (實驗統計表為黃底框之物距、燈距)點狀圖如下：



陸、討論

一、玻璃砂實驗結果討論：

(一)玻璃砂與光源的距離及角度對製造彩虹的影響？

在我們的實驗中，燈距 3 公尺垂直照射玻璃砂紙牆時，發現站在約 45 度角時，可以看到一部分的彩虹出現，但是無法拍出全圓彩虹，因此我們可能需要更好的設備拍照。另外也可設計更多的燈光角度測試來比較玻璃砂產生彩虹的情況，以及設計不同燈距看看對彩虹形成的變化，以進行更深入的討論。

(二)玻璃砂顆粒的大小對製造出彩虹的影響？

玻璃砂顆粒越小，光在裡面反射、折射時容易互相影響，因此不容易產生彩虹，而易顯出白色的霧虹。所以當玻璃砂顆粒越大，彩虹就會比較容易出現，當光在水滴內反射、折射時，比較不會重疊，自然就變清楚了。

二、布洛肯光實驗結果討論：

(一)布洛肯光三代實驗環境比較

	環境	優缺點
第一代 實驗環境	1.教室內。 2.光線直接在開放空間照射干擾物。 3.干擾物由人換成小娃娃。	1.室內燈距短。 2.空間較小。 3.雜光多。 4.無法產生布洛肯彩光。
第二代 實驗環境	1.教室外走廊。 2.干擾物由小娃娃換成大娃娃。 3.光線直接在開放空間照射干擾物。	1.教室外燈距可以加長。 2.開放空間雜光多。 3.無法產生布洛肯彩光。
第三代 實驗環境	1.教室外走廊。 2.帳篷前增加遮光鐵架，鐵架外罩滿黑布。 3.光線通過遮光鐵架照射干擾物。	1.教室外燈距可以加長。 2.經由罩住黑布的遮光鐵架，減少環境雜光。 3.可以產生布洛肯彩光。

(二)為什麼需要三種不同的水霧器來產生布洛肯彩光？

因為要模擬自然界中不均等的大小水滴，所以使用三台不同廠牌、型號的水霧器。

(三)布洛肯彩光實驗干擾物如何選擇？

一開始我們在教室做實驗時，是以同學當作光源的干擾物，但是都無法出現布洛肯彩光。我們認為有以下幾點可能的原因：

1. 干擾物對帳篷而言可能太大，而無法有足夠的空間成像。
2. 我們將干擾物換成小娃娃，也無法產生布洛肯彩光，我們推測可能是干擾物過小，對光線的干擾不足，無法產生布洛肯彩光。
3. 當我們將實驗場地移至教室走廊後，將干擾物換為大娃娃，就能產生布洛肯彩光。

(四)布洛肯彩光實驗中娃娃跟不同燈距的影響？

當娃娃距離燈光太近，我們的帳篷不夠寬敞，影子太大，沒有呈現布洛肯彩光的空間；但距離太遠會讓娃娃影子太小，實驗結果不佳。

(五)光源的種類會不會對布洛肯彩光的實驗結果有所影響？

雖然在自然環境中看見布洛肯彩光都是經由太陽光的照射，而太陽的光源強度難以用人工的方式取代，我們在這次實驗中使用的光源是聚光燈、水底燈和手電筒，雖然光源強度不強，但由於帳篷空間不大，才能產生布洛肯彩光。

(六)調整不同聚光燈的角度，對形成布洛肯彩光的影響？

我們發現當調整聚光燈角度時，因為帳篷內的地板為磁磚，有些燈距光線反射過於強烈無法觀察，相機也無法對焦，像實驗 4 的圖八十九、圖九十。所以我們覺得此項實驗結果並不理想，應該在地面上也要鋪上黑布或黑色塑膠袋。

(七)在第三代布洛肯彩光的實驗環境下，依在實驗中明顯出現彩光的物距、燈距分佈之點狀圖，分析在哪些條件下，容易出現明顯的布洛肯彩光？

依 20 頁的點狀圖來分析，在物距 1m、燈距分別在 5m、7.5m、10m、20m 的條件下，皆出現明顯的布洛肯彩光。所以在物距 1m 的條件下，雖然在不同的燈距或使用不同的燈具，都比較容易出現明顯的布洛肯彩光。

(八)在平地(學校操場)起霧時，是否能夠以聚光燈做出布洛肯彩光？

學校位在台地上，冬季、春季常常起霧，在寒假起霧時，曾在學校操場做過實驗，雖然天空中霧氣看起來很濃，但在接近地面的地方，霧氣仍然過於稀薄，聚光燈在戶外強度不足，配合干擾物無法在霧中成影，所以無法做出布洛肯彩光。

(九)學校附近的電廠，發電時造成的空氣污染，對布洛肯彩光出現的頻率，可能造成的影響？

當空氣中的汙染物增加時，也就是凝結核變多、變大後，也增加了空中的水氣凝結成小水滴的機會。因此，對於光線透過小水滴造成的反射、折射、干涉或繞射的機會，也會增加，所以出現布洛肯彩光的頻率也增加了。

三、未來展望

在第三代的布洛肯彩光實驗環境下，希望能使用更多種不同的白光燈具，並設計更多不同的測量距離，或將環境設計在更小範圍、可控制因素如濕度、溫度、雜光、霧氣量……等等更確實，希望找出在更多種的條件下，期望都能見到美麗又虛幻的布洛肯彩光！

在一些需要特殊場景、都市美化及光學教學或是藝術創作的展現技巧方面，可利用第三代實驗環境下的方式，利用簡單的器材，就能營造出如此特別的光線變化，既有趣、又新奇，因為只需製霧器和適當光線，就能製造出這種效果，因此也兼具環保效益。

柒、結論

利用簡單的材料，如：光碟片、水晶、鏡子，都能夠製造出彩虹。而玻璃砂可以模擬自然界中的小水滴，產生霧虹及彩虹。

在第三代實驗環境下，證實可以在物距 1m，燈距 5m、7.5m、10m、20m 及物距 2m、燈距 10m，跟物距 5m、燈距 20m 的條件下，經由照相機模擬觀察者的眼睛，產生布洛肯彩光。相信本研究結果可以破除人們對於布洛肯彩光的疑惑跟恐懼，使大家更加瞭解光和小水滴，所造成的各種精彩有趣的現象。

捌、參考資料

- 1.華爾達.盧文、沃倫.高斯坦(2012)·將彩虹握在手中·載於我在 MIT 燃燒物理魂(127-158 頁)·臺北市:遠流。
- 2.黃鴻博(2015)·國小自然與生活科技四上·新北市:南一。
- 3.黃鴻博(2016)·國小自然與生活科技四下·新北市:南一。
- 4.黃鴻博(2016)·國小自然與生活科技五上·新北市:南一。
- 5.中華民國第 50 屆中小學科學展覽會。地球科學科。080511「『霧』會大了」。
- 6.中華民國第 52 屆科學展覽會。物理科。040107「彩虹分身了-SupernumeraryRainbows」。
- 7.中華民國第 55 屆科學展覽會。物理科。080114「『虹』透半邊天-全圓彩虹登場!」。
- 8.Gomdori co.(2012)·科學實驗王 18·臺北市:三采文化。
- 9.努森斯維希(2012)·神蹟?彩虹?彩光環知多少?·科學人雜誌,120,40-45。
- 10.張明智(2012)·從光波穿隧到彩光環·科學人雜誌,120,46-47。
- 11.許葳(2016)·漫畫大英百科-光與聲音 臺北市:三采文化。
- 12.周昆炫(2018)·科學少年·臺北市:遠流。
- 13.項少龍(2015)·物理進階講義-光的折射·取自
<http://lms.learnmode.net/upload/flip/book/7a/7ae8838e85fb4175/52985e875426.pdf>
- 14.項少龍(2015)·物理進階講義-波的折射、干涉與繞射·取自
<http://www.learnmode.org/upload/flip/book/c5/c50a1681f186c8f6/8d557daf1844.pdf>

【評語】 080122

經由相對簡單的實驗裝置，本作品驗證了彩光的生成，觀測到發生頻率很低的自然現象，實屬難得。研究計畫周全，過程詳細，唯著重於實作展現現象，於物理原理之探究可再進一步加強。

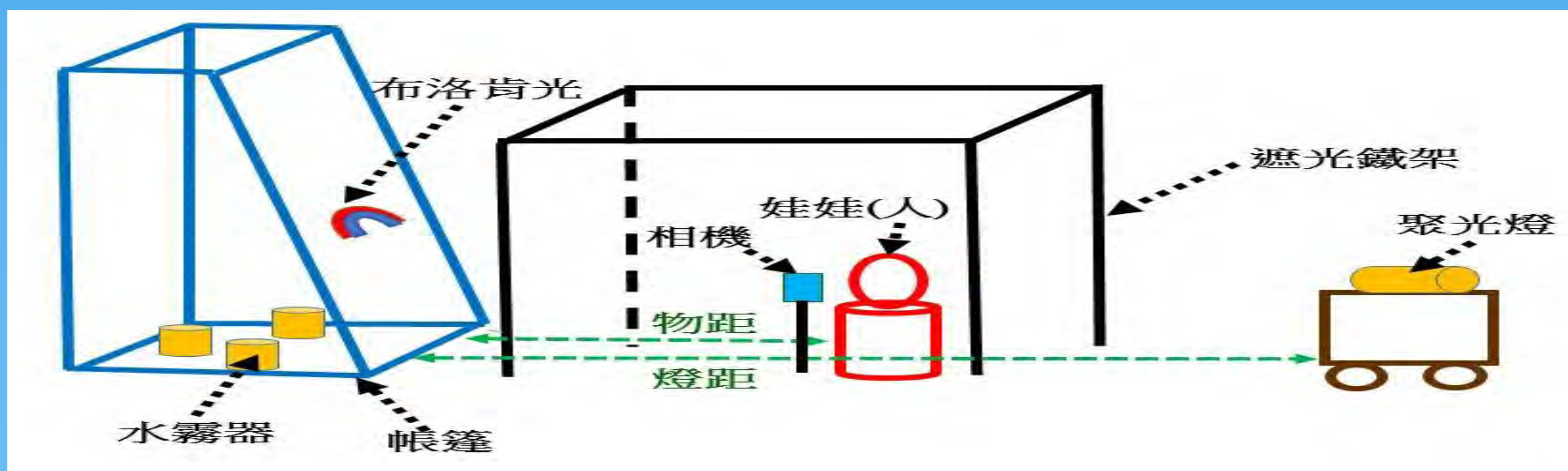
摘要

日常生活中，常能看見美麗的彩光，除了偶然的巧遇外，藉由光碟、鏡子、防偽貼紙等簡單的材料及適當光源的配合，也能製造出彩光。利用不同顆粒大小的玻璃砂來模擬自然界中的小水滴，能夠產生霧虹及彩虹。在布洛肯彩光第三代實驗環境下，證實可以在物距1m，燈距5、7.5、10、20m及物距2m、燈距10m，跟物距5m、燈距20m的條件下，以照相機模擬觀察者的眼睛，可以產生布洛肯彩光。研究結果可以破除人們對於布洛肯彩光的疑惑跟恐懼，使大家更加瞭解光和小水滴，所造成精彩、有趣的現象。

未來在特殊場景、都市美化及光線相關教學或是藝術創作的展現技巧方面，可利用第三代實驗環境方式，利用簡單的器材，就能營造出特別的光線變化，也兼具環保效益。

壹、研究動機

我們在四、五年級的自然課「光的世界」、「水的移動」單元中學過，水氣在不同高度有不同的形態，經陽光的照射會產生彩光，而在「太陽」這個單元，我們了解到太陽高度角低時，才容易看到彩虹。進而想研究在什麼條件下才能製造出彩虹？在資料蒐集的過程中老師介紹我們看——「我在MIT燃燒物理魂」這本書，裡面提到「彩光環」這種奇妙的現象，西方稱為布洛肯光，而在東方被稱為佛光，這種奇妙的現象讓我們想一探究竟：天空中有太陽和小水滴時，都會產生彩虹嗎？書中提到的玻璃砂經光線的照射，也會出現彩虹嗎？為什麼會出現布洛肯彩光？可能經由以下的「實驗器材擺設位置簡圖」的方式，製造出布洛肯彩光？布洛肯彩光在那些條件下，才容易看見？有沒有可能在家鄉起霧時，產生布洛肯彩光？



實驗器材擺設位置簡圖

貳、研究目的

- 一、了解白光色散成彩光的原理。
- 二、尋找生活中常見的彩虹，並利用簡單的材料製造出彩虹。
- 三、利用玻璃砂和黑紙製造玻璃砂牆，配合光源產生彩虹。
- 四、經由實驗設計，在那些條件下，可以製造出布洛肯彩光。

參、研究設備及器材

黑布	帳篷	鐵架	相機腳架	娃娃
聚光燈	水管	玻璃珠	黑紙	黑色塑膠袋
水霧器1 OMRON NE-S18	水霧器2 無印良品	水霧器3 升望 SW966	相機1 Cyber shot DSC-HX300	相機2 samsung F1.4
燒杯	量角器	噴膠	鐵尺	捲尺
TORCH ARCHEN V10S手電筒	TOVATEC 水底燈	紙膠帶	透明膠帶	雙面膠
延長線	水晶燈	光碟	防偽貼紙	鏡子

肆、研究流程

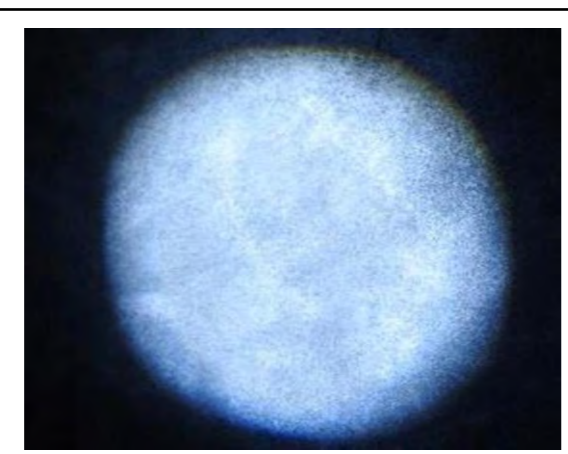
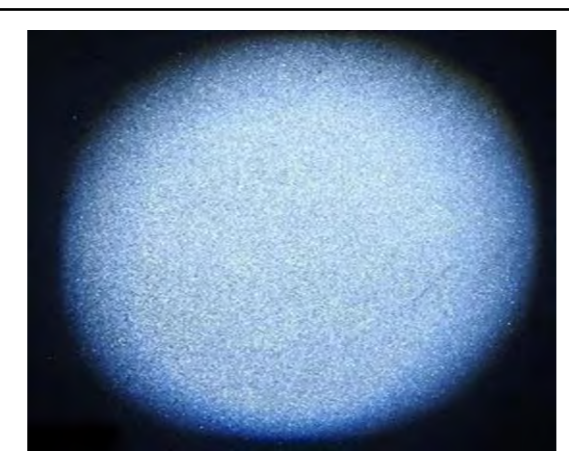
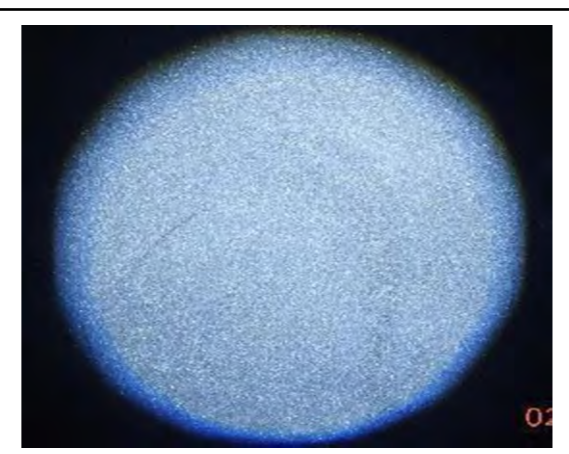

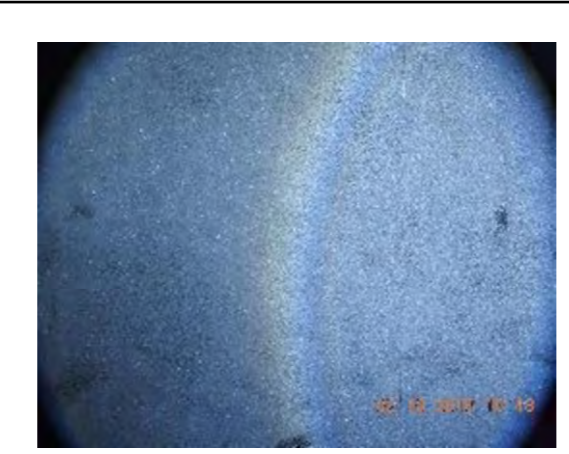
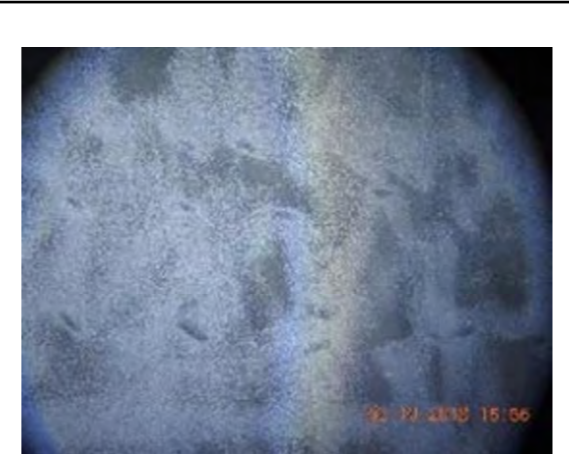


伍、實驗過程、方法與結果

生活中的彩虹

玻璃砂彩虹

- (一) 實驗目的：利用玻璃砂製造出彩虹。
- (二) 實驗步驟：
1. 裁剪50*50cm和100*100cm的黑紙，並做成淺盤，上面均勻噴灑美術噴膠。
 2. 均勻灑上三種尺寸：G1~50 μ 、G70~110 μ 、100~200 μ 的玻璃砂，製作成玻璃砂紙牆。
 3. 關燈後，讓玻璃砂紙牆與聚光燈呈現垂直，將380瓦LED聚光燈平放在距離玻璃砂紙牆三公尺處並照射。
 4. 面向玻璃砂紙牆，調整觀看角度，約在45度左右，可以看到一部分的彩虹或霧虹。

玻璃砂尺寸 紙牆大小	G1~50 μ	G70~110 μ	G100~200 μ
50*50cm	 圖十五：產生霧虹	 圖十六：產生霧虹	 圖十七：產生霧虹
100*100cm	 圖十八：產生霧虹	 圖十九：產生彩虹	 圖二十：產生彩虹

- (三) 實驗結果：
1. 玻璃砂可以模擬自然界中的小水滴。
 2. 玻璃砂顆粒越大，玻璃砂紙牆尺寸越大，越容易製造出彩虹。

布洛肯彩光



實驗器材擺設位置圖

實驗步驟及過程

1. 在帳篷內放進三台水霧器並啟動，等待20分鐘，待霧氣充滿帳篷，使娃娃的影子能映照在霧氣上。
2. 設定燈距(燈源前端到帳篷前端)及物距(娃娃到帳篷前端)的距離，燈源包括聚光燈、水底燈及手電筒三種。
3. 調整燈距和物距，每個位置連續拍10張照片。
4. 檢查拍攝的照片。

實驗1-1：水平聚光燈對霧中光影的影響

1. 實驗目的：測試各種燈距及物距對霧中光影呈現的影響。
2. 控制變因：燈源與娃娃呈0度角。
3. 操作變因：調整不同的物距、燈距。(如右圖所示)
4. 實驗結果統計表：如右圖黃色區塊為明顯產生布洛肯彩光；V為明顯出現彩光； Δ 彩光顏色淺薄；X沒有出現彩光。

燈距 物距	5m	10m	15m	20m
1m	Δ	V 圖三十一	Δ	V 圖三十三
2m	X	Δ	Δ	Δ
3m	X	Δ	Δ	Δ
4m		Δ	Δ	Δ
5m		Δ	Δ	V 圖四十七
6m		X	Δ	Δ
7m			X	X
8m			Δ	X
9m			X	X
10m			Δ	X

實驗1-2：水平聚光燈對霧中光影的影響

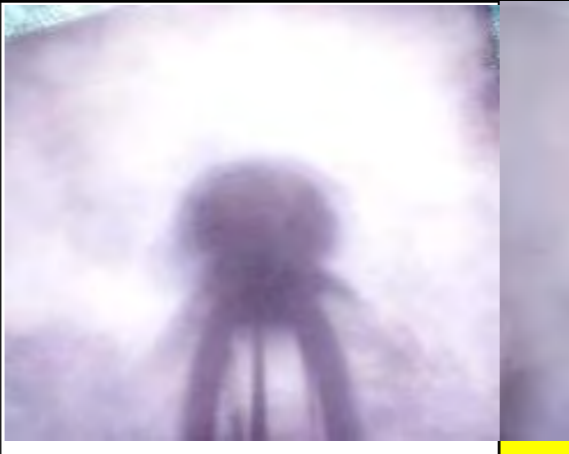
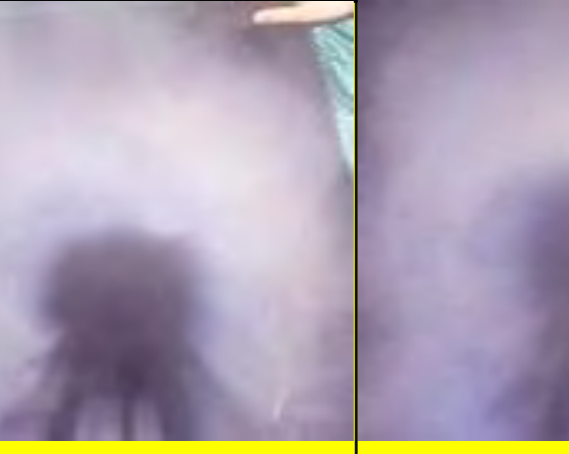
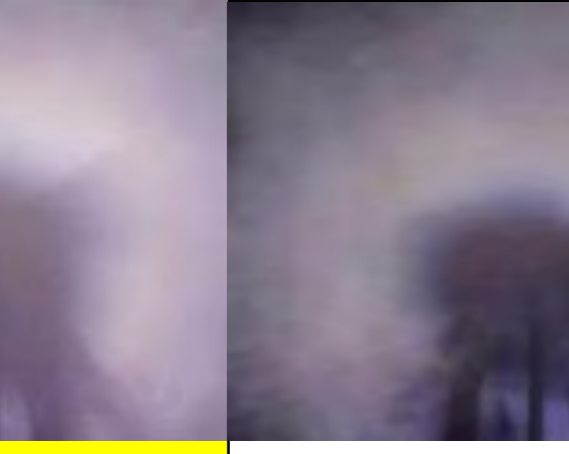
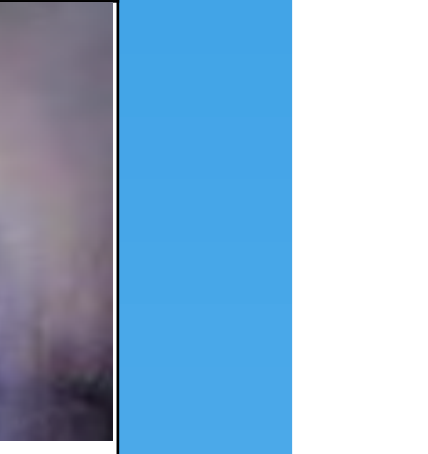

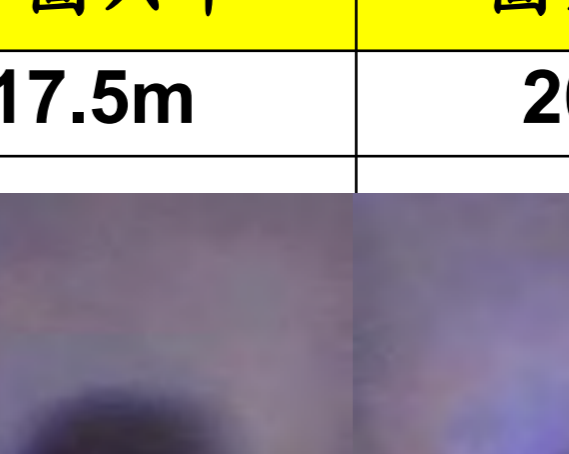
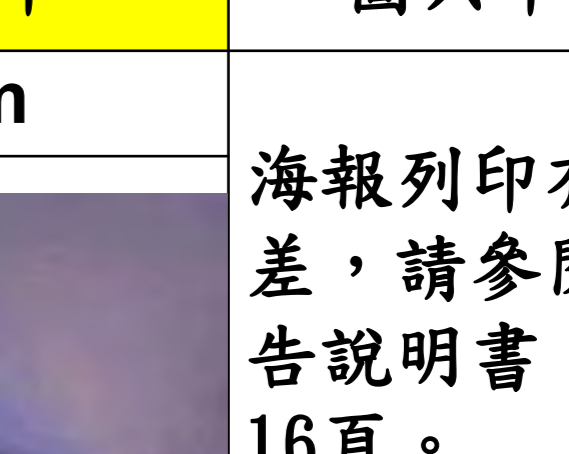
在實驗1-1中，物距為1m時，所看到的布洛肯彩光最清楚，因此我們針對物距1m，縮短燈距再進行實驗。

1. 實驗目的：物距在1m時，測試各種距離的聚光燈，對霧中光影呈現的影響。
2. 控制變因：物距1m、燈源與娃娃呈0度角。
3. 操作變因：調整不同燈源距離(如下圖所示)。
4. 實驗結果統計表(如下圖)。

燈距 物距	5m	7.5m	10m	12.5m	15m	17.5m	20m
1m	X	V 圖六十	V 圖六十一	Δ	Δ	Δ	Δ

5. 實驗1-1、1-2結果：在實驗1-1、1-2中，我們發現物距1m，燈距7.5m、10m、20m；物距5m，燈距20m可形成布洛肯彩光。

6. 實驗結果照片如下：

燈距 物距	5m	7.5m	10m	12.5m
1m	 圖五十九	 圖六十	 圖六十一	 圖六十二
5m	 圖六十三	 圖六十四	 圖六十五	海報列印有色差，請參閱報告說明書，第16頁。

實驗2：水平水底燈對霧中光影的影響

1. 實驗目的：測試TOVATEC水底燈對娃娃在不同距離所呈現之霧中光影的影響。
2. 控制變因：燈源與娃娃呈0度角。
3. 操作變因：調整不同影距、燈距。
4. 實驗結果統計表如右圖。
5. 實驗結果：我們發現物距2m，燈距10m可形成布洛肯光。

燈距 物距	5m	10m	15m	20m
1m	X	Δ		
2m	X	V 圖六十九	Δ	
3m		X	X	
4m		X	X	
5m		X	X	

實驗3：水平手電筒對霧中光影的影響

1. 實驗目的：測試TORCH ARCHEN V10S手電筒對娃娃在不同距離所呈現之霧中光影的影響。
2. 控制變因：燈源與娃娃呈0度角。
3. 操作變因：調整不同的物距、燈距。(如右圖)
4. 實驗結果統計表如右圖。
5. 實驗結果：我們發現物距2m燈距5m可產生顏色淺薄的彩光。

燈距 物距	5m	10m	15m	20m
1m	X	X	X	
2m	Δ	X	X	
3m	X	X		
4m		X		
5m		X		

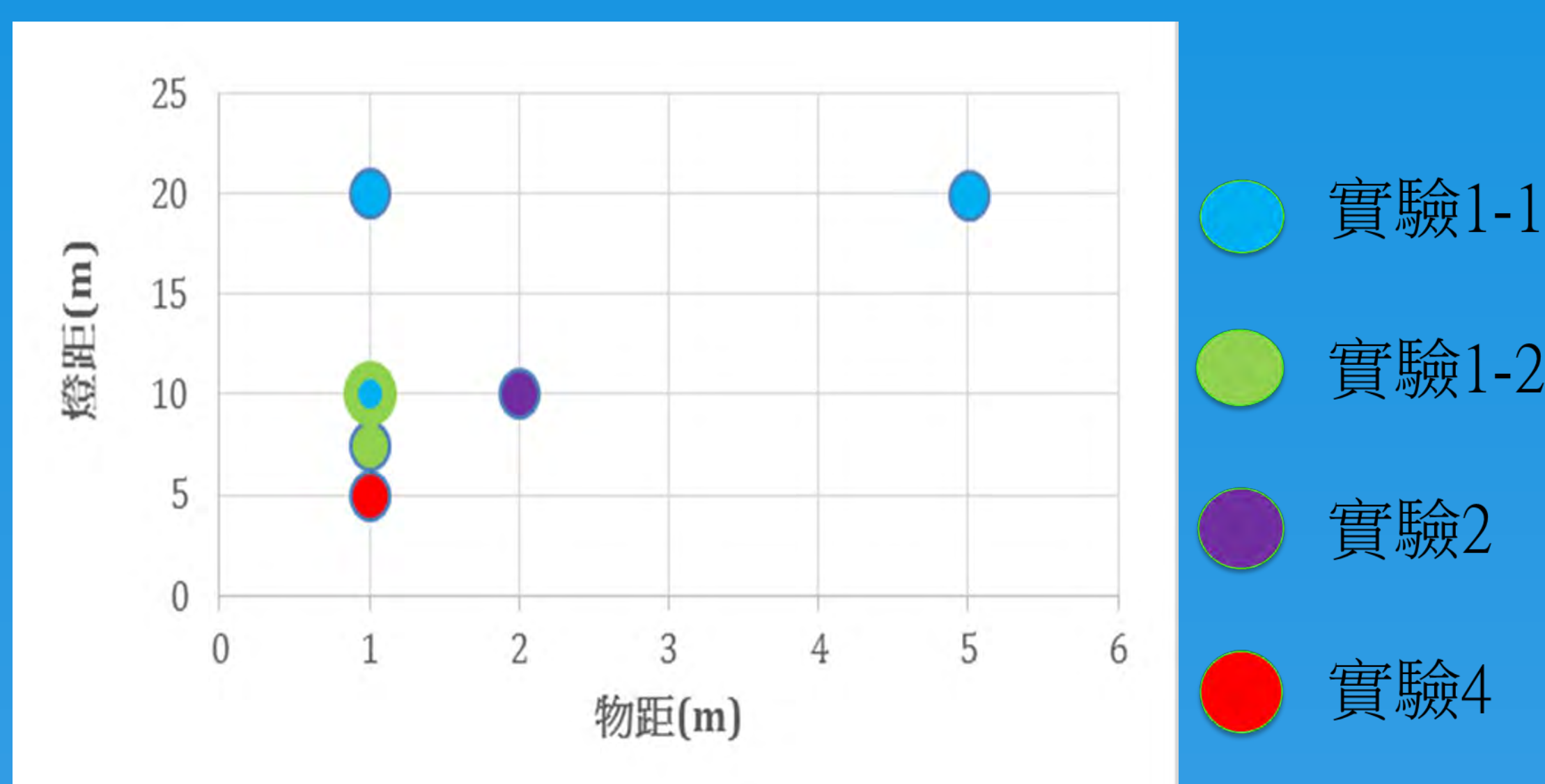
實驗4：不同角度的聚光燈對霧中光影的影響

1. 實驗目的：測試燈距與燈源角度對形成布洛肯彩光的影響。
2. 控制變因：物距1m，聚光燈5度。
3. 操作變因：調整不同的燈距(如右圖)。
4. 實驗結果統計表如右圖。

燈距 物距	5m	10m	15m	20m
聚光燈角度5度	V 圖八十七	X	X	X

5. 實驗結果：當角度在5度、聚光燈距離在5m時，可產生布洛肯彩光。

布洛肯彩光實驗中明顯出現**彩光點狀圖**如下：
（實驗統計表為黃底框之物距、燈距）



陸、討論

一、玻璃砂實驗結果討論：

(一)玻璃砂與光源的距離及角度對製造彩虹的影響？

實驗中，燈距3公尺垂直照射玻璃砂牆，發現站在約45度角時，可以看到約1/4的彩虹，但是無法拍出全圓彩虹。因此，可能需要嘗試使用較好的設備、更多種的燈光角度、玻璃砂、不同燈距等等，來看看對彩虹形成的變化。

(二)不同大小的玻璃砂顆粒對製造出彩虹的影響？

玻璃砂顆粒越小，光在裡面的反射、折射作用容易互相影響，因此不容易產生彩虹，而顯出白色的霧虹。所以玻璃砂顆粒越大，彩虹會比較容易出現。

二、布洛肯彩光實驗結果討論：

(一)布洛肯彩光三代實驗環境比較

	環境	優缺點
第一代實驗環境	1. 教室內 2. 光線直接在開放空間照射干擾物 3. 干擾物由人換成小娃娃	1. 室內燈距短 2. 空間較小 3. 雜光多 4. 無法產生布洛肯彩光
第二代實驗環境	1. 教室外走廊 2. 干擾物由小娃娃換成大娃娃 3. 光線直接在開放空間照射干擾物	1. 教室外燈距可以加長 2. 開放空間雜光 3. 無法產生布洛肯彩光
第三代實驗環境	1. 教室外走廊 2. 帳篷前增加遮光鐵架，鐵架外罩滿黑布 3. 光線通過遮光鐵架照射干擾物	1. 教室外燈距可以加長 2. 經由罩住黑布的遮光鐵架，減少環境雜光 3. 可以產生布洛肯彩光

(二)布洛肯光實驗干擾物如何選擇？

一開始在教室做實驗時，是以同學當作光源的干擾物，但是無法產生布洛肯彩光。我們認為可能的原因：

1. 干擾物對帳篷而言可能太大，無法有足夠的空間成像。

- 我們將干擾物換成小娃娃(高17cm、寬13cm、厚7cm)，也無法產生布洛肯彩光，我們推測可能是干擾物過小，對光的干擾不足，所以無法產生布洛肯彩光。
- 當我們將實驗場地移至教室走廊後，將干擾物換為大娃娃(高28cm、寬23cm、厚12cm)，就能產生布洛肯彩光。

(三)光源的種類會不會對布洛肯彩光的實驗結果產生影響？

在自然環境中看見布洛肯彩光，都是經由太陽光照射，而太陽的光源強度難以用人工的方式取代。我們在這次實驗中使用的光源是聚光燈、水底燈和手電筒，雖然光源強度遠不如太陽光，但由於帳篷空間不大，才能夠產生布洛肯彩光。

(四)實驗中使用的光源，為什麼能夠產生布洛肯彩光？

我們使用的光源中，不管是聚光燈、水底燈、強力手電筒，都配有透鏡或是反光杯，可用來聚集光源，增強光源強度。

(五)在平地(學校操場)起霧時，是否能夠以聚光燈做出布洛肯彩光？

學校位在台地上，冬季、春季常常起霧，在寒假起霧時，曾在學校操場做過實驗，雖然天空中霧氣看起來很濃，但在接近地面的地方，霧氣仍然過於稀薄，再加上聚光燈在戶外強度不足，配合干擾物無法在霧中成影，所以無法做出布洛肯彩光。

(六)學校附近的電廠，發電時造成的空氣污染，對布洛肯彩光出現的頻率，可能造成什麼影響？

當空氣中的污染物增加時，也就是凝結核變多、變大後，也增加了空中的水氣凝結成小水滴的機會，所以出現布洛肯彩光的頻率可能也會增加了。

未來展望

在第三代的布洛肯彩光實驗環境下，希望能再使用更多種不同的白光燈具、測量距離，將環境設計在更小範圍，使可以控制的因素如：雜光、霧氣量、濕度、溫度…等等更確實，以期能找出在更多種的條件下，都能見到美麗又虛幻的布洛肯彩光！

在一些需要特殊場景、都市美化及光學教學或是藝術創作的展現技巧方面，可利用我們所創新設計的，布洛肯彩光第三代實驗環境方式，利用簡單的器材，就能營造出如此特別的光線變化，既有趣、又新奇！因為只需水霧器和適當光線，就能製造出這種效果，因此也兼具環保效益。

柒、結論

利用簡單的材料，如：光碟片、水晶、鏡子、雷射貼紙等等，都能夠製造出彩虹。而玻璃砂可以模擬自然界中的小水滴，產生霧虹及彩虹。

在第三代實驗環境中，證實可以在適當的物距、燈距的條件下，以照相機模擬觀察者的眼睛，可以產生布洛肯彩光。相信研究結果可以破除人們對於布洛肯彩光的疑惑跟恐懼，使大家更瞭解光和小水滴，所造成的各種精彩有趣的現象。