

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 物理科

第二名

030109

光的奇「積」-探索地面海市蜃樓

學校名稱：高雄市立國昌國民中學

作者：	指導老師：
國二 蔣儀宣	謝宜和
國二 陳欣妤	呂台華
國二 張宜淳	

關鍵詞：海市蜃樓、全反射、折射

摘要

經常會看到前方的路面像有一灘積水在那兒，但近走過去看時卻發現什麼都沒有。我們查看物理方面的教課書籍及上網搜尋資料，發現這種現象是由於地面上的空氣因溫度變化，導致光線在空氣中的行進方向偏折而產生的全反射現象，其原理與沙漠中的海市蜃樓成因是一樣的。

我們發現了高中組科展的得獎作品中，居然得到與上述完全不同的結論，就是：炎熱路面的一灘積水是由於地面的單向反射造成，並非為空氣的折射現象。這也就引發我們做此次科展的強烈動機。

從尋找地面海市蜃樓在何處，與不斷改善觀察工具開始做起，接著再與師長同學討論，將光折射的證據從 1.改變觀察者位置的高低、2 溫差的影響、3. 地面性質等三方面逐步探索，並以雷射光徑說明：白天地面的海市蜃樓是光折射所造成。

光的奇「積」－探索地面海市蜃樓

壹、研究動機

在炎炎夏日經過一些柏油路面時，經常會看到前方的路面像有一灘積水在那兒，但走過去看時卻發現什麼都沒有。這讓我們感到十分奇怪，那灘水到底是怎麼形成的？為什麼靠近就看不到了呢？我們查看一些物理方面的教課書籍及上網搜尋資料，發現這種現象是一種由於地面上的空氣因溫度變化，導致光線在空氣中的行進方向偏折而產生的全反射現象，其原理與沙漠中的海市蜃樓成因是一樣的。

但在搜尋過程中，我們發現了在兩、三年前一件全國高中組科展首獎的作品(1)，居然得到完全不同的結論，就是炎熱路面的光積水區現象是由於地面的單向反射造成，並非為空氣的折射與全反射現象。他們在作品中呈現了一張利用螢光棒在夜間產生的倒影照片(圖 1-1)及日間產生的倒影照片(圖 2-1)，我靈機一動將一面小平面鏡放在電腦螢幕前去模擬單向反射，以數位相機拍得圖 1-2 及圖 2-2 的照片。

註：光積水區：是指白天時，觀察者在低姿勢且較遠處時所能看到的積水現象，但靠近時則否(圖 9-11)

	
圖 1-1 得獎作品中夜間產生的倒影圖片	圖 1-2 左圖與小平面鏡產生的像合影圖片
	
圖 2-1 得獎作品中白天產生的倒影圖片	圖 2-2 左圖與小平面鏡產生的像合影圖片

比較圖 1-1 及圖 1-2，我們發現夜間的倒影的確如同平面鏡的成像一樣，所以夜間的倒影的確是單向反射形成的。但是白天產生的倒影與平面鏡的成像有明顯的差異，傾斜的棒子在平面鏡中的像是斜的，但是白天傾斜的棒子產生的倒影幾乎是直的。

這讓我們心中非常驚訝及疑惑，到底白天的光積水區及倒影現象是由於地面的單向反射造成，還是空氣的全反射現象？這也就引發我們做此次科展的強烈動機。

貳、研究目的

以身邊可獲得的實驗裝置，去設計實驗探討炎熱路面的光積水區現象形成的真正原因到底是空氣的全反射現象還是地面的單向反射，並同時探討影響光積水區現象的物理因素。

參、研究設備與器材

- 一、可錄式 DV 攝影機 2 台(最高放大倍率各為 20 及 32)及數位相機一台
- 二、支架一座
- 三、A3 紙(黃、藍、白、粉紅、綠)各 15 張，黑色半開壁報紙數張
- 四、貼有彩色膠帶的標的物數個
- 五、雷射光筆(<5mW)
- 六、細砂一桶
- 七、小摺車 1 台
- 八、30 公分磁鐵條數支
- 九、螢光棒 1 支

肆、研究過程或方法

一、理論探討

關於光學的一些基本現象，我們將查到的資料作一簡單歸納整理，好幫助我們理解光積水區現象。

1、反射(見圖 3)

光直線前進，遇到障礙物返回原來介質，叫做反射。

A、反射定律

- (1)入射線與反射線分別位在法線的兩側，且三者共平面。
- (2)入射角=反射角。

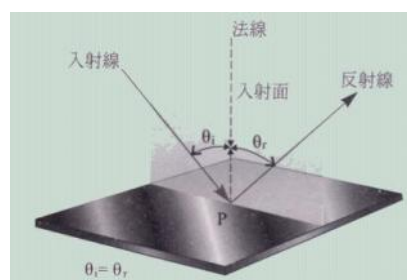


圖 3

B、反射的類型(見圖4)

- (1)單向反射：光滑表面產生的規則反射。
- (2)漫反射（漫射）：粗糙不平的表面產生的不規則反射現象。

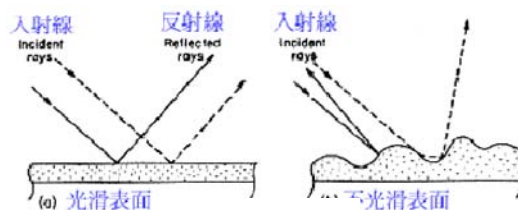


圖4

2、折射(見圖5)

一光由一介質射至另一介質，由於速率不同，在兩種介質界面發生行進方向改變的現象。產生折射的主要原因是因為光在兩介質中速率不同。如圖所示，光自第一介質進入第二介質時，入射線與法線的夾角稱為入射角，折射線與法線的夾角稱為折射角。當第二介質的光速較小時，折射光會偏向法線，折射角會小於入射角。而光線射到介面時，常是部份反射，部份折射，部份吸收。

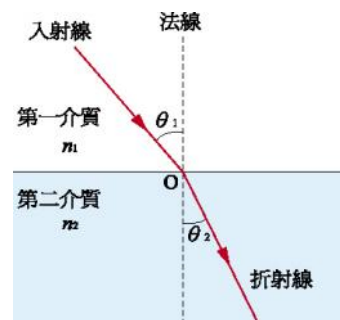


圖 5

3、全反射

光由光密介質(水)射向光疏介質(空氣)，其折射線將偏離法線，入射角愈大，折射角愈大。當折射線平行界面時，折射角等於 90° ，此時之入射角稱為臨界角。當入射角大於臨界角時，則光線不再折射，而依反射定律全部由界面反射回光密介質，此現象稱為全反射(如圖6)

圖 6 全反射示意圖

4、海市蜃樓

由於沙或路面的比熱較小，地面空氣溫度較高形成光疏介質，而上方空氣溫度較低形成光密介質，所以當光線由光密介質進入光疏介質時，當光線的入射角大於臨界角時，就會產生全反射現象(如圖7)，而出現海市蜃樓的倒影現象(如圖8)。

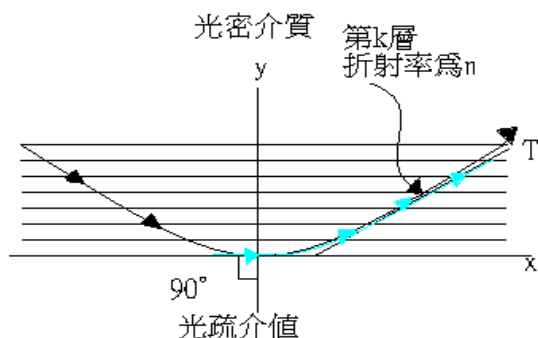


圖 7

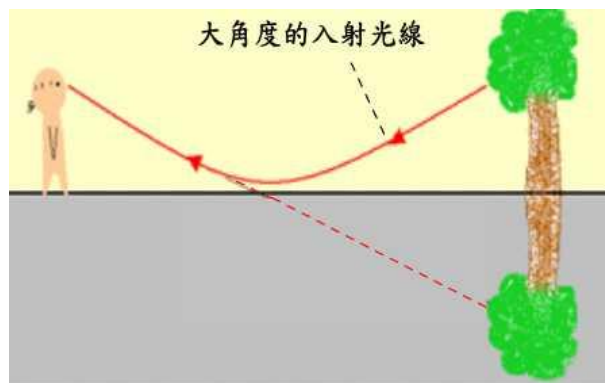


圖 8 海市蜃樓示意圖

二、實驗方法

(一)、尋找並觀察光積水區現象，並改良觀測記錄的工具

從網路中搜尋到的照片與文獻探討中綜合得知，需用較高倍的照相器材與(天文)望眼鏡搭配使用。從一連串嘗試中，我們在觀察工具上做了以下改進：

觀察工具	相關設備	優缺點評估
第一代	數位相機、雙筒望遠鏡	優點：可觀察到海市蜃樓 缺點：不易調整、視野較小
第二代	數位相機、天文望遠鏡	缺點：笨重、不易操作
第三代	DV(20 倍*1 台、32 倍*1 台)	優點：1.易攜帶、容易操作 2.儲存格式可播放及擷取 3.可適應、滿足觀察實際情況，可減少人力。

在實驗中我們想知道是否只有柏油路面才会有光積水區現象？其他性質的平坦區域可否看到光積水區現象呢？在研讀上述作品(參考資料一)時，當中有提到在晚上時小男孩趴在 PU 跑道上可以看到光積水區現象，這給了我們很大的啟發，只要觀察者能盡量貼在地面上觀察，就很可能看到光積水區現象。感謝現在的科技進步，發明了輕巧的 DV 攝影機，而且觀景用的 LCD 螢幕又可以翻轉，我們只要把 DV 攝影機放在地上，就可以去看炎熱路面的倒影區現象。而不需要辛苦的趴在熱呼呼的地上。

雖然在該作品中提到在白天平坦的 PU 跑道上，她們沒有看到光積水區現象，但我們還是拿 DV 攝影機放在 PU 跑道上拍攝，卻拍到了非常明顯的光積水區現象(圖 9)。其實不光是柏油路面(圖 10)、PU 跑道甚至連籃球場(圖 11)都可以看到光積水區現象，前提是觀察者的位置要夠低，能盡量貼在水平地面上。



圖 9、PU 跑道光積水區現象



圖 10、柏油路面光積水區現象

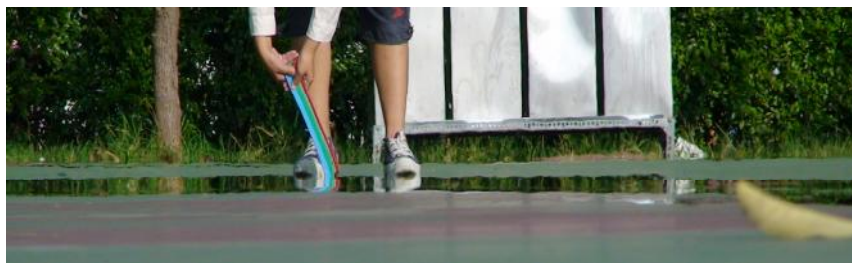


圖 11、籃球場光積水區現象

(二)、找出產生積水區現象的反射區

當我們確定：不論在柏油路面、PU 跑道、籃球場都可以觀察到光積水區現象後，我們開始著手去設計實驗探討「倒影區現象」。首先想到參考先前作品(1)的方法，

放置一長列的鏡子，但那實在是工程浩大。但後來想想若光積水區現象真是由於地面的單向反射的話，那就類似平面鏡成像，只要找出地面上單向反射區的分布，改變反射區的性質就好了，不用大費周章鋪設數十公尺長的鏡子。

其次我們想到的方法是由 DV 觀看倒影區並用竿子做指引(如圖 12)，以跳棋定位出反射區分布的位置，不過這種方法還是有點耗時。後來我們想到拖曳一張壁報紙或網子(如圖 13)，由 DV 觀看光積水區，只要拖到反射區，光積水區現象就立刻產生變化，就可以確定反射區位置了。此法迅速確實，只是拖曳過程中有些累，因為要蹲著移動網子或壁報紙。但最後發現，只要請人走過去，移動到 DV 中可以看到鞋子倒影的區域，就可以找到反射區了。

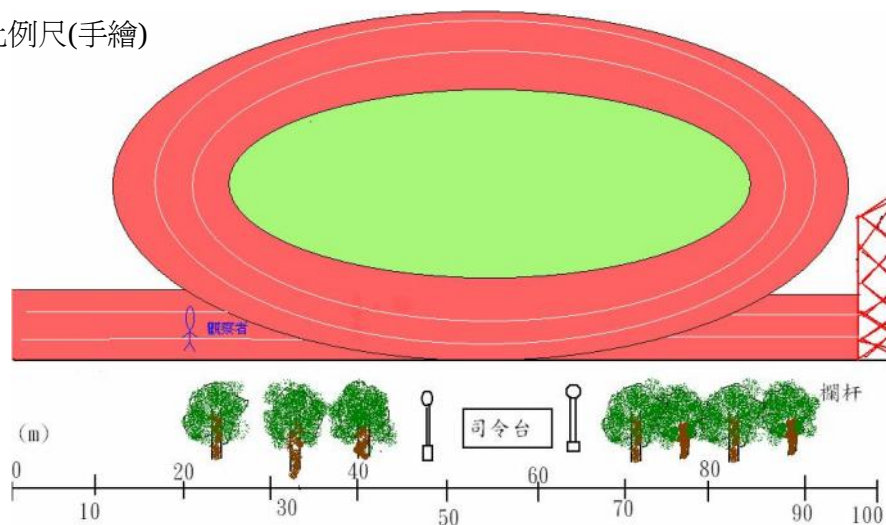


圖 12 用跳棋定位反射區

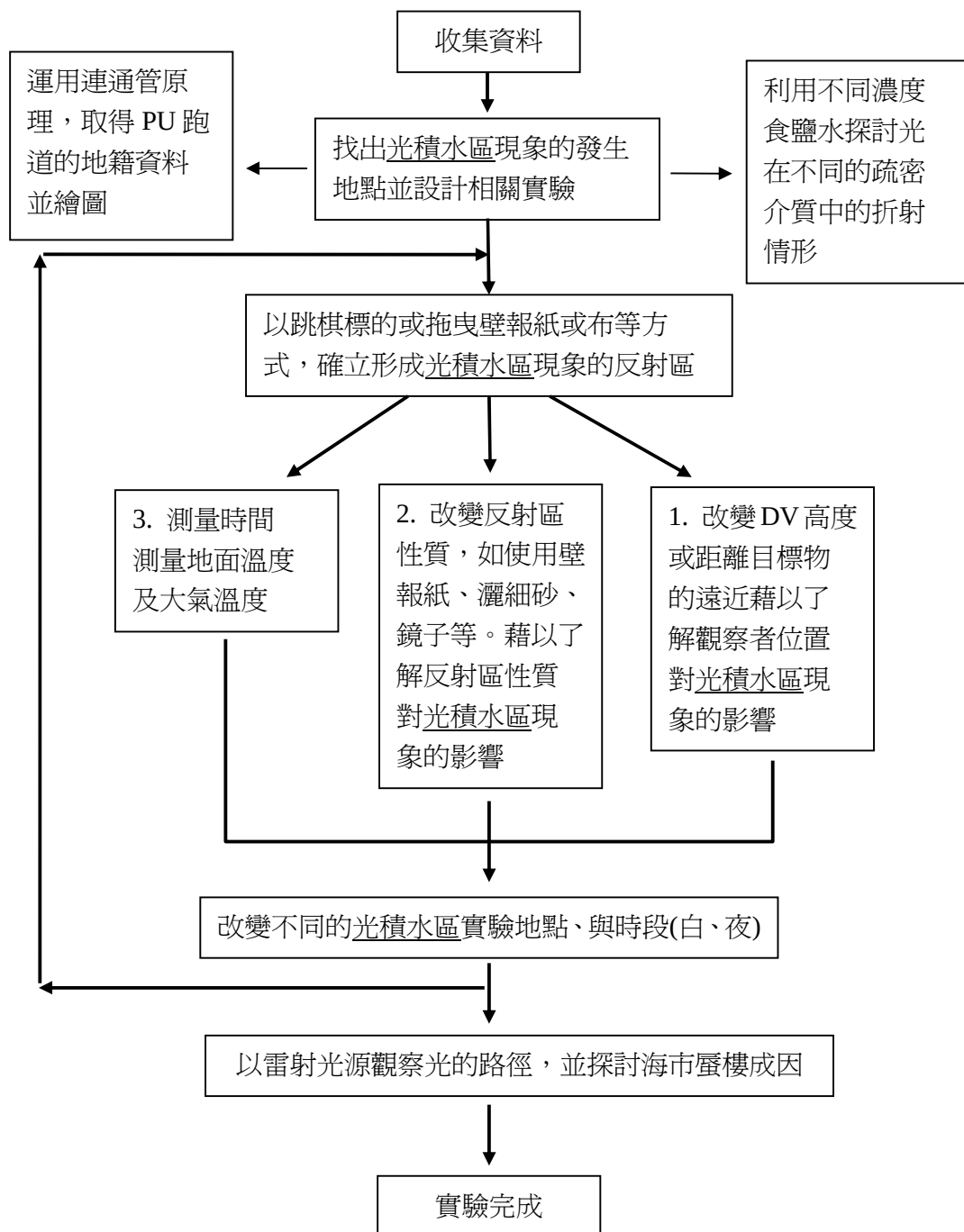


圖 13 用紙張或布定位反射區

本校 PU 跑道比例尺(手繪)



我們實驗的流程圖如下圖



伍、研究結果

觀察地點的選定

觀測地點的選定，有三種地形：柏油路面、籃球場水泥路面與 PU 跑道。其比較如下：

	柏油路面	籃球場水泥路面	PU 跑道
平整度	最不平整(顆粒大)	次平整(顆粒小)	最平整(顆粒大)
安全性	最不安全	最安全	最安全
方便性	(實驗上)最不方便	次不方便	最方便
普遍性	最普遍	次普遍	較不普遍

經討論後，是以 PU 跑道為日後實驗的最主要地點。以下是我們在不同的地點分別改變觀察者位置地勢高低變化、反射區性質、溫差等因素，所產生的不同光積水區現象。最後以雷射光路徑來探討白天地面海市蜃樓的成因。

一、觀察者位置(地勢)高低與所見倒影區的關係

在實驗中我們發現不論在籃球場、PU 跑道等處觀察者位置(DV)越低，所拍攝到的光積水區面積越大，且 DV 放在地面時，有部分標的物沒入光積水區，如下圖所示。

甲校籃球場	甲校 PU 跑道
	
DV 放置在距地面約 10 公分	DV 放置在距地面約 10 公分
	
DV 放置在距地面約 3 公分	DV 放置在距地面約 2 公分

	
DV 放置在地面	DV 放置在地面

乙校附近柏油路面	
	
DV 距離小褶較近位置觀察到的影像 (圖中呈現部份輪胎的倒影)	DV 距離小褶較遠位置觀察到的影像 (光積水區面積較大，且輪胎下緣有部分陷在光積水區中看不到)

小結論：

- 1.在距目標物相同距離下，觀察者位置越高，所看到的光積水區越少，因為全反射後的大角度光線越少進入觀察者眼中。
- 2.在距地面相同高度下觀察者位置距離目標物越近，所看到的光積水區也越少，因為全反射後的貼近地面的光線越少進入觀察者眼中。另一種可能因素是對焦近處物體時，貼近地面的光線佔所有進入 DV 的光線比例減少，不利於地面海市蜃樓的觀察。

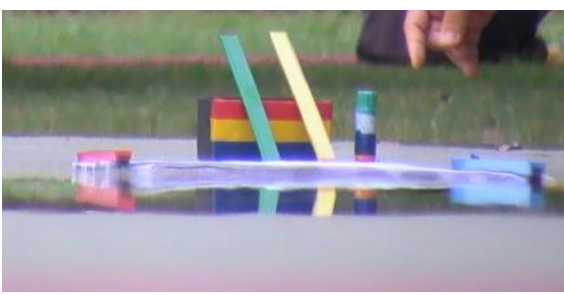
二、反射區性質改變(籃球場實驗結果)

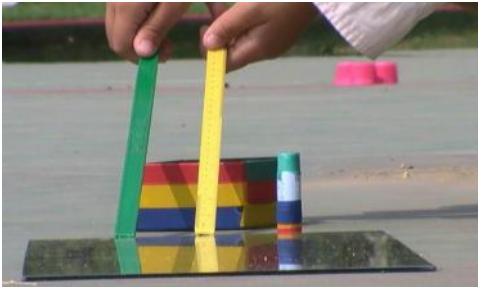
若光積水區是地面單向反射的結果，那改變地面特性是否會影響光積水區呢？所以我們在甲校與丙校籃球場、柏油路面去做一連串的實驗，但因柏油路面太多小碎石、雜物等，使照片結果較不理想。此處僅列出籃球場的實驗結果。我們先利用研究過程中尋找反射區的方法，到達正確的反射位置時，去改變地面的特性。我們準備了不同顏色的 A3 紙、黑色壁報紙、平

面鏡、細砂等去作相關的實驗探討。

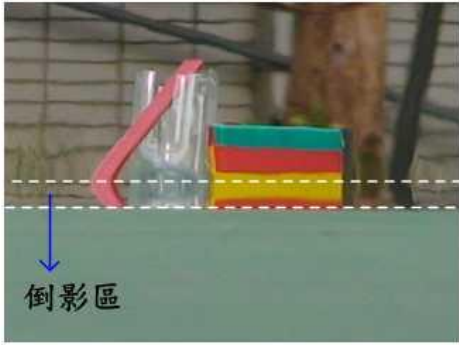
在甲校做實驗時，因當日風勢較大，導致光積水區的晃動較厲害，所以拍照結果有些較模糊。我們就照片中較清楚的結果加以陳列。右圖為甲校籃球場，沒有放置任何物體去改變地面性質的圖片



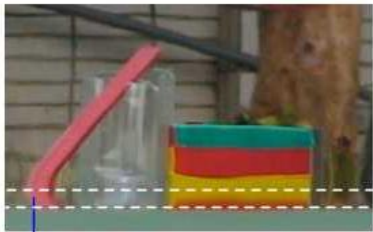
反射區 置放物	在地面放置不同顏色、材質物體，改變地面性質 實驗時間 97.10.19 15:20 左右，氣溫 31℃，地面溫度 37℃，甲校籃球場 標的物距離 DV 20.26 公尺，反射區距 DV 13.45 公尺 圖中藍色與紅色的磁鐵直尺是用來壓住紙張的，因當日有風	
白紙 (A3)		
	厚度：3 張	厚度：15 張
綠紙 (A3)		
	厚度：3 張	厚度：5 張
黑色 壁報紙 (半開)		
	厚度：1 張	厚度：3 張

灑砂		
	少砂	多砂
平面鏡 長 80cm 寬 30cm 厚 3mm		

下圖為丙校籃球場，沒有放置任何物體去改變反射區地面性質的图片

	
DV 放在距地高度 6 公分左右觀察，此時幾乎沒有 <u>光積水區</u> (圖中左方為一紅色長磁鐵條)	DV 放在地面上觀察，此時有 <u>光積水區</u> ，紅色長磁鐵條下端偏折為其部份倒影。

反射區 置放物	在地面放置不同顏色、材質物體，改變地面性質 丙校籃球場 實驗時間 97.11.23 11:30 左右，氣溫 30℃，地面溫度 41℃ 標的物距離 DV 16.50 公尺，反射區距 DV 11.20 公尺	
粉紅紙 (A3)	 倒影區(此處有加紙)	
	厚度：10 張	將 10 張紙一角提高
黃紙 (A3)		
	厚度：10 張	將 10 張紙一角提高
綠紙 (A3)		
	厚度：10 張	將 10 張紙一角提高
藍紙 (A3)		
	厚度：10 張	將 10 張紙一角提高

白紙 (A3)		
	厚度：10 張	將 10 張紙一角提高
平面鏡 長 80cm 寬 30cm 厚 3mm	 倒影區(地面上有平面鏡)	
	平面鏡平放	平面鏡些微抬高
黑色 壁報紙 (半開)		
	厚度：1 張	厚度：2 張
	半開黑色壁報紙整張鋪放於標的物前方，方框標示處為黑色壁報紙捲起部分	

小結論：

- 1、在丙校不論何種顏色的 A3 紙 10 張，光積水區與沒有改變地表的圖像是一致的，故在 10 張 A3 紙的厚度內均不影響到全反射的空氣層，所以倒影沒有改變。而紙張高度低於全反射空氣層時，全反射空氣層以下的紙張沒有漫射到 DV 的光線，所以放在地面的 DV 就無法拍到光積水區的紙張。
- 2、但在甲校實驗當天，地面與空氣間溫差較低，故全反射的空氣層較低，5 張紙左右的厚度就遮住。所以可以看到高出全反射的空氣層部分的紙張、細砂的漫射結果。
- 3、丙校實驗中黑色壁報紙除捲起的部分遮蓋到全反射的空氣層產生漫射現象，其餘部分倒影沒有改變。
- 4、丙校實驗中厚 3mm 的平面鏡仍不影響到該處全反射的空氣層，所以倒影依舊相同。
- 5、甲校實驗因全反射的空氣層較低，灑細砂會影響倒影區。

三、溫差對倒影區影響(柏油道路實驗結果) 觀察小摺輪子的倒影區(97/8/31)：

DV 距離小摺約 30 公尺，以開始錄影的 10 點 10 分爲起點，每隔 10 分鐘擷取一張畫面，探討車輪的倒影區變化。

時間	地面溫度	空氣溫度	
10:10	41.5℃	33.1℃	
	地面與空氣溫差：8.4℃		
10:20	42.3℃	33.3℃	
	地面與空氣溫差：9.0℃		
10:30	42.9℃	33.6℃	
	地面與空氣溫差：9.3℃		
10:40 (後輪下緣最大缺口)	44.3℃	33.8℃	
	地面與空氣溫差：10.5℃		

10:50	43.8℃	33.9	
	地面與空氣溫差：9.9℃		

光積水區 (在不穩定空氣層中)

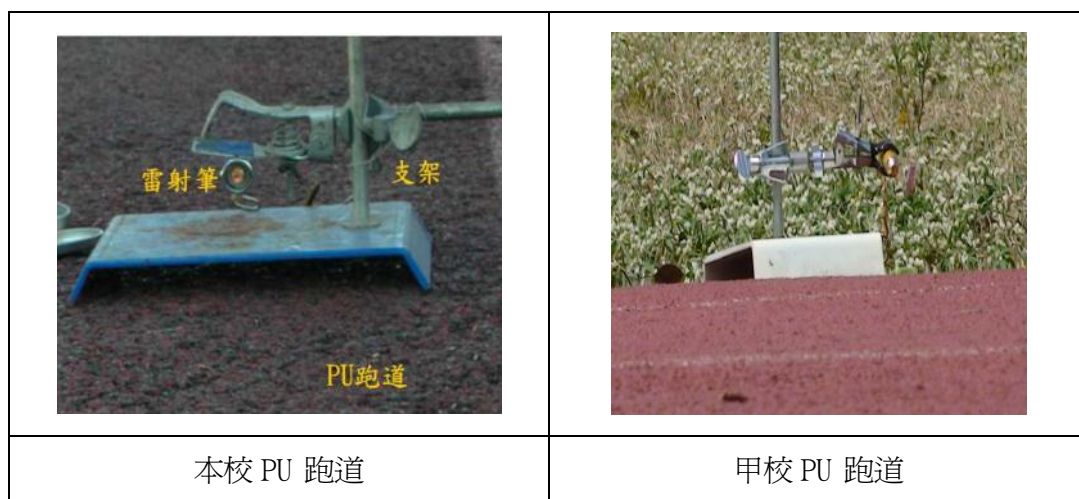
小結論：

1. 小褶的車輪在有溫差的空氣中可觀察到前輪的下緣逐漸消失，因為太陽照射越久地面與空氣間溫差越大(其實溫度差異不大，然不穩空氣層的高低是影響最明顯，此空氣層與溫差有關)，光積水的表面位置越高，低於光積水表面的車輪下緣部份因無光線進入 DV 就無法拍到了。
2. 隨著時間的變化，光積水區的表面會上升，隨後下降，前後輪的鋼圈會出現缺口，以前輪的缺口較明顯。
3. 後輪倒影的鋼圈與空氣中的鋼圈來做一比較，倒影鋼圈開口的半徑較大，因為光積水區影像是空氣折射加全反射形成，光線在不同層間的空氣折射，會有類似變形的放大效果。
4. 在空氣中的小褶後輪下半圓已呈現出被向下拉的橢圓(變形的半圓)，可見接近地面的光線會有被折射的現象。
5. 比較數張照片的斑馬線，是隨著時間不停的改變，若遠處的斑馬線的漫射光線在空氣中產生折射甚至全反射，而折射後的光線若不能到達放在地面的 DV，此時部份的斑馬線就看不見了。

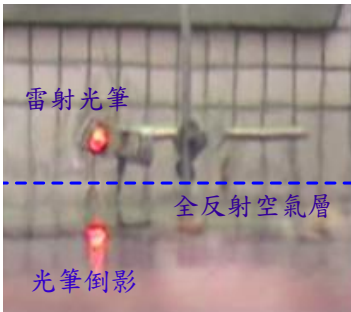


四、以雷射光徑探討地面海市蜃樓的成因

我們在本校和甲校的 PU 跑道架設一支架，裝設一支約少於 5 mW 的雷射光筆觀察其倒影的變化，並用一平板貼以方格紙去觀察雷射光的行進，藉以了解光的路徑及白天倒影形成的原因。本校實驗時間 97.2.25 下午 2:30 到 3:30，氣溫：31℃ 左右，地面溫度：39℃ 左右(因其會些微變動) 甲校實驗時間 97.3.01 中午 12:20 到 13:00，氣溫：28℃ 左右，地面溫度：37℃ 左右(因其會有些微變動)下圖是我們的實驗裝置圖與示意圖。



以下是我們將 DV 放在地面上，調整雷射筆方向至適當位置(可看到倒影後)所拍攝到不同時刻的實驗照片。

本校 PU 跑道 圖中雷射筆距地高度約 5-6 公分，雷射筆距 DV 約 20 公尺，因為靠近地面的空氣層對流擾動的很嚴重所以照片會模糊。	甲校 PU 跑道 圖中雷射筆距地高度約 3 公分 雷射筆距 DV 約 8 公尺
	
	
	
	

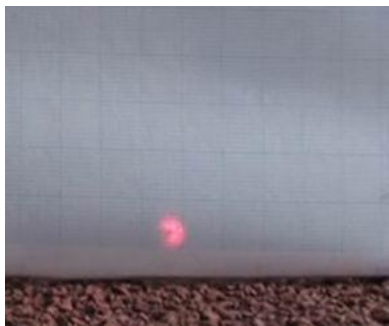
小結論：

1、照片中雷射光的兩個亮點影像會隨時改變，因為旺盛的空氣對流，造成擾動的空氣層，光

線的折射方向不斷在變化。

- 2、照片中雷射光的上方亮點影像較穩定，此為幾乎直進的光線所成的像；下方亮點影像較不穩定，此為大角度的光線折射加全反射所成的像，受空氣對流的影響較嚴重。

在甲校實驗時我們用一平板貼以方格紙並移動它，藉以觀察雷射光的行進時，發現本來雷射光射到方格紙上只有一個小亮點，但是平板移動到距雷射筆約 25 公尺後時會開始形成 2 個連在一起的亮斑，直到 DV 位置。距離雷射筆越遠，這 2 個的亮斑會變大，且強度變弱。我們本來以為是因為雷射光散開了，但思考後想到那就是 DV 拍到的 2 個亮點。

		
用一平板貼以方格紙並移動它，藉以觀察雷射光的行進		2 個連在一起的亮斑

在甲校做實驗時，我們並未發現雷射光有打到 PU 跑道。所以代表 DV 拍到的雷射光倒影絕非 PU 跑道單向反射形成。但在我們學校做實驗時，在距離光筆 87 公分的位置，有部份雷射光打到了 PU 跑道。這讓我們一度以為倒影可能是地面單向反射產生。不過我們用一白色塑膠封套墊在 PU 跑道的雷射亮點位置，並轉動白色塑膠封套改變反射區性質，但倒影區的雷射光影像沒什麼改變。這代表 DV 接受到的雷射光絕非地面單向反射的光線，因為如果是單向反射光線，我們改變反射區表面的法線方向，一定會造成倒影位置變化。但結果並非如此，所以雷射光的倒影應是由空氣折射加全反射所產生。



在本校做實驗時，雷射光射到 PU 跑道的產生雷射亮點照片

小結論：

- 1、甲校做實驗時，我們並未發現雷射光有打到 PU 跑道。所以代表 DV 拍到的雷射光倒影絕非 PU 跑道單向反射形成。
- 2、用一平板貼以方格紙並移動它，觀察雷射光的行進時，發現本來雷射光剛開始射到方格紙上只有一個小亮點，後來會形成 2 個連在一起的亮斑，那就是 DV 拍到的 2 個亮點。
- 3、白天校內實驗時有部份雷射光打到了 PU 跑道。我們墊了白色塑膠套於 PU 跑道的雷射光點位置，並上下轉動白色塑膠套改變反射區表面的法線方向，但 DV 中倒影位置沒什麼變化。所以雷射光的白天倒影應是空氣的折射與全反射造成的，與地面的性質及法線角度無關。

陸、研究分析與討論

一、白天倒影之物理因素討論：

1、白天、夜晚的倒影與觀察者位置高低關係

由前面實驗結果得知在距目標物相同距離下，觀察者位置越高，所看到的光積水區越少，因為全反射後的大角度光線越少進入觀察者眼中。而在距地面相同高度下觀察者位置距離目標物越近，所看到的光積水區也越少，因為全反射後貼近地面的光線也是越少進入觀察者眼中。我們在此仍用示意圖 6-1 說明。

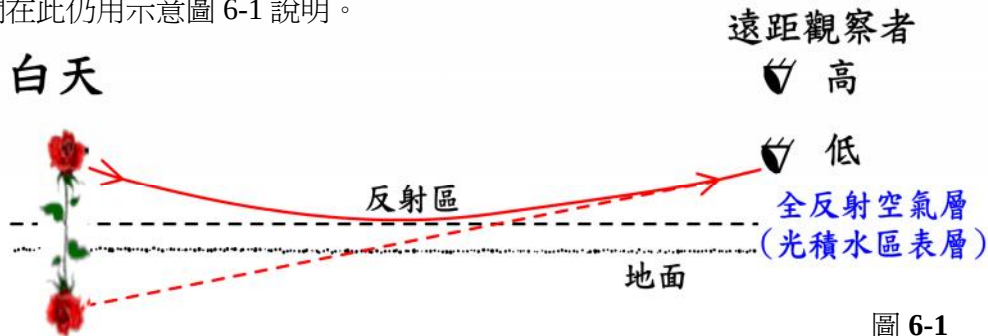


圖 6-1

白天時，大角度光線可能會折射至某空氣層產生全反射。距離地面越高的觀察者越不易接收到此種貼近地面的光線，所以越不易看到光積水區和倒影。

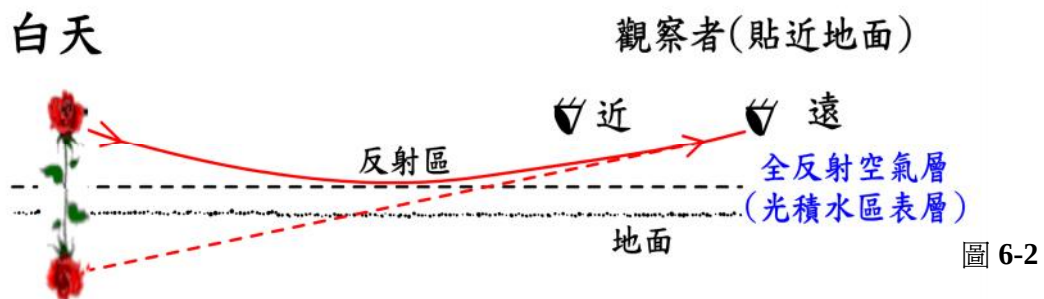
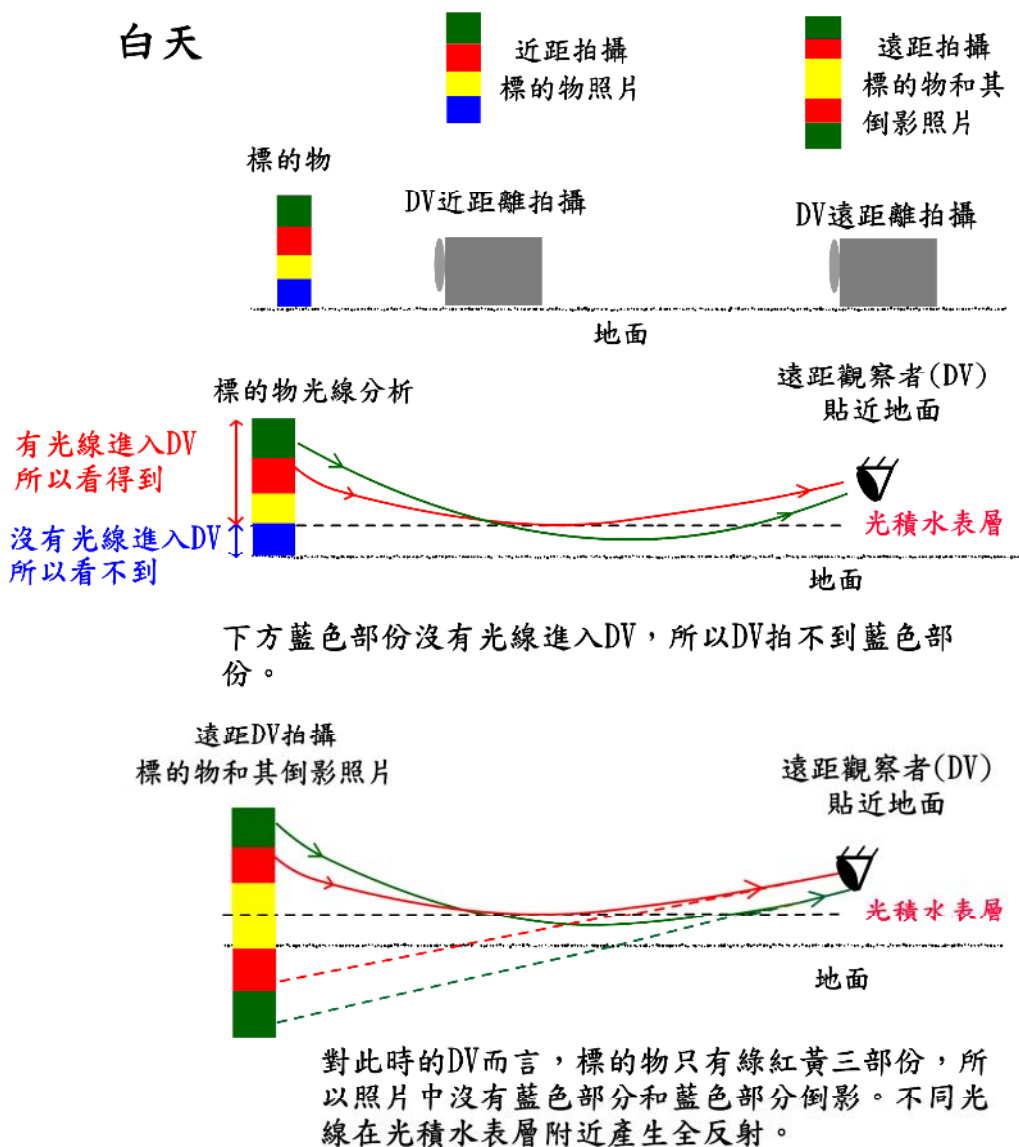


圖 6-2

白天時，大角度光線可能會折射至某空氣層產生全反射。距離目標物越近的觀察者越不

易接收到此種貼近地面的光線(如圖 6-2)，所以越不易看到光積水區和倒影。尚有一種可能是當 DV 對焦近處的物體時，貼近地面的光線佔所有進入 DV 光線的比例變得較少，使 DV 較不易拍出光積水區和倒影。

在小摺的照片中可看出放在地面的 DV 去拍遠處的小摺，小摺有部份輪胎會隱沒於光積水區內拍不出。在此我們嘗試用下列示意圖 6-3 說明。



小摺近照



小摺遠照

圖 6-3

2、白天倒影與 全反射區及地面 關係

而在白天的實驗結果可以發現，不論在籃球場、柏油路面，不論在地上放置平面鏡，或是墊在地上的紙改變顏色、材質，只要厚度不要高到遮住了光積水表層，對於光積水區都不會產生影響。爲了要更清楚表示出白天的倒影與地面置放物的關係，我們用下列的圖 6-4 加以說明。

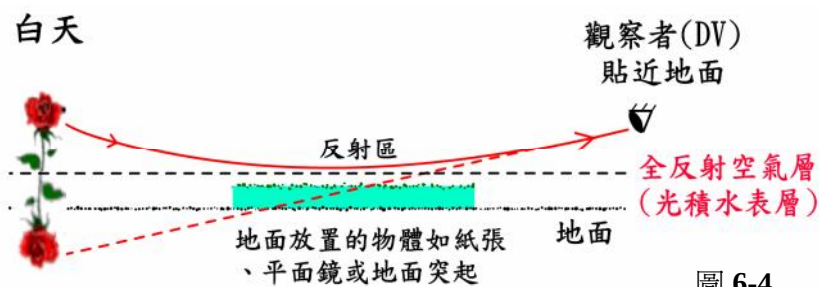


圖 6-4

大角度光線至某層空氣產生全反射時，地面所墊物體厚度只要低於光積水表層，就不會影響倒影區。且此時觀察者看不見所放置的紙張(或平面鏡等)，因爲此時紙張無法漫射大角度的光線到眼中。

而地面所置物體厚度若高於光積水表層，就會影響倒影區(如圖 6-5)。此時觀察者已看不到原先全反射的像，只會看到光積水表層上方的置放物漫射(如紙張)或單向反射(如平面鏡)的結果。

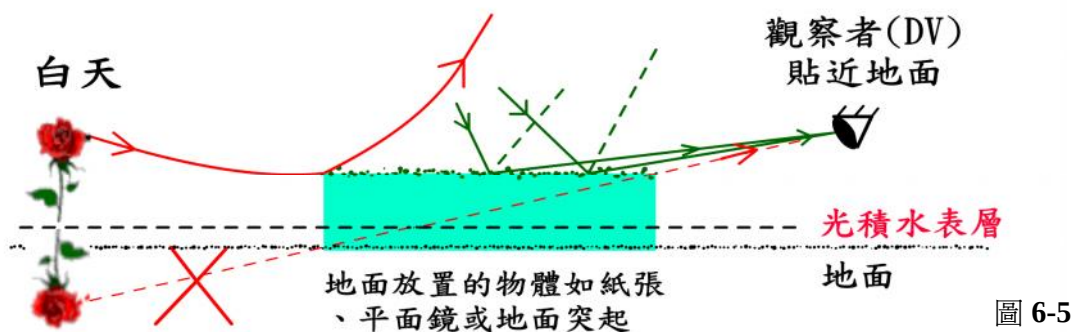
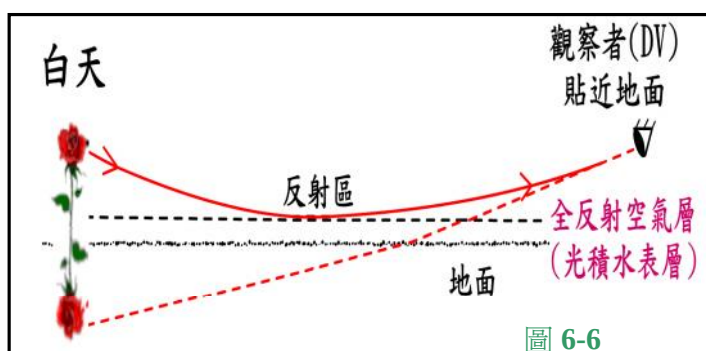


圖 6-5

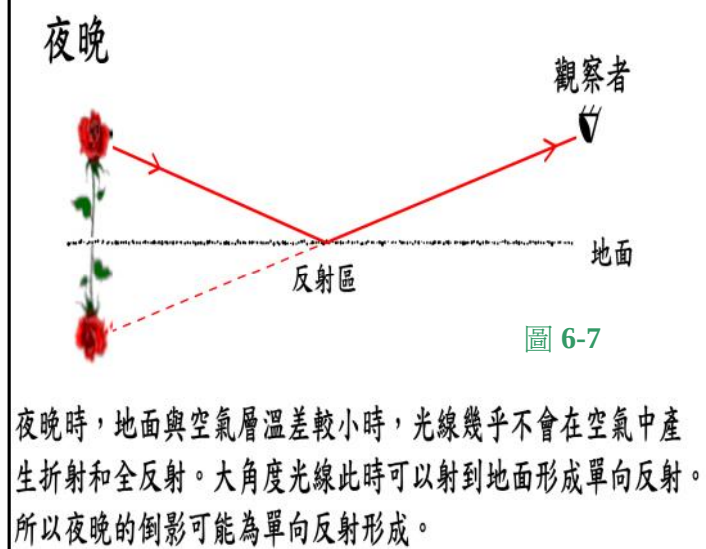
3、白天、夜晚的倒影與空氣、地面間的溫差關係

由實驗中可發現白天空氣間溫差越大，大角度光線對應的光積水表層位置越高，光積水區越大。而在實驗中因爲低於光積水表層的物體沒有光線進入放在地面的DV，故小摺車輪下緣有部份就拍不到了。

參考資料(1)裡作者提到光積水區現象及倒影主要的成因是「路面的單向反射」而非「空氣的折射與全反射」。她們以粗糙面在高亮度入射光的入射角接近90度時，可發生單向反射的模型解釋炎熱路面的光積水區現象。在這裡我們要特別強調，海市蜃樓或炎熱地面的光積水區現象(參考2)，本來就是由大角度(貼近地面)的入射光所形成。藉由參考(1)的照片，我們做了一些分析比較。由前面圖1-1和1-2比較，明顯可看出由平面鏡反射的影像和參考(1)夜晚倒影區的影像幾乎一樣。因為平面鏡的影像是經由單向反射產生，所以參考資料(1)中夜晚的地面倒影應是由地面的單向反射形成。但將圖2-1和2-2比較，明顯可看出由平面鏡單向反射的影像和白天光積水區的影像有明顯的不同，所以她們拍攝的白天光積水區的倒影應非地面的單向反射產生。我們為了呈現出白天、晚上的倒影形成原因的差別，分別用左圖6-6、6-7加以說明。

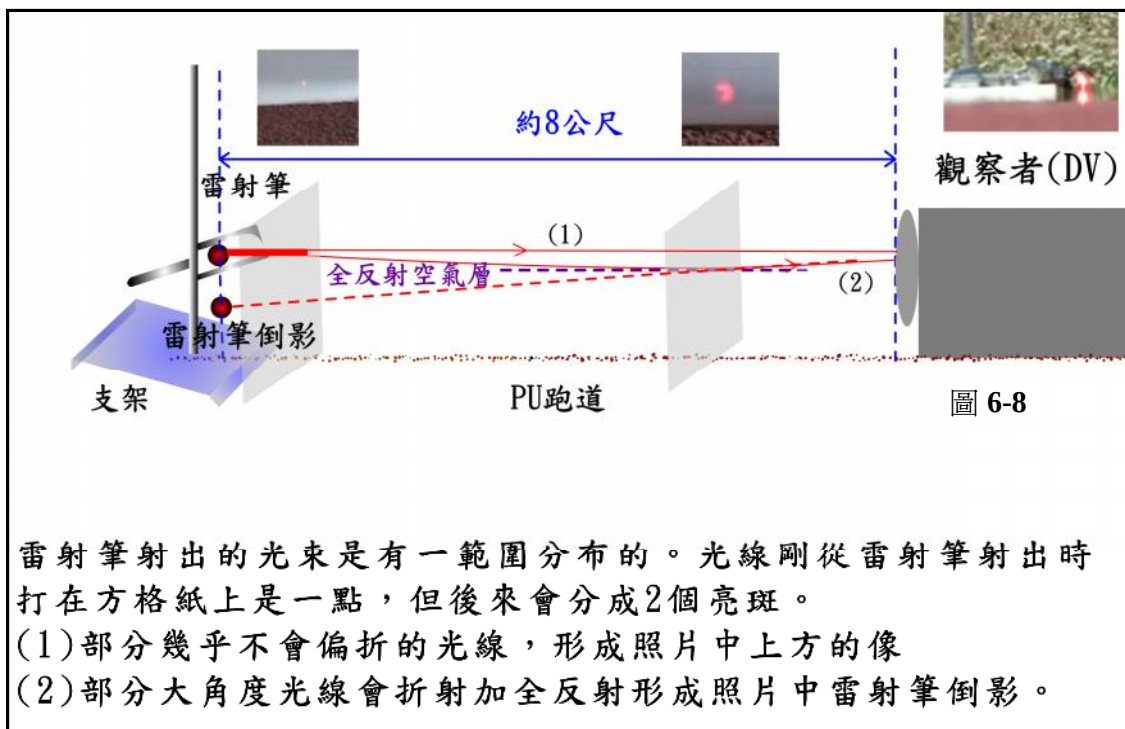


白天時，地面與空氣層間溫差較大，大角度光線會折射，至某空氣層產生全反射。大角度光線若經全反射空氣層反射，就不會射到地面形成單向反射。



夜晚時，地面與空氣層溫差較小時，光線幾乎不會在空氣中產生折射和全反射。大角度光線此時可以射到地面形成單向反射。所以夜晚的倒影可能為單向反射形成。

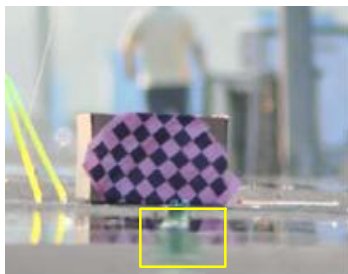
而由前雷射光實驗結果也同樣顯示出白天光積水區的影像絕非地面的單向反射產生。圖 6-8 為我們的實驗結果說明。因為在甲校的雷射光倒影實驗，我們並未發現雷射光有打到 PU 跑道。所以代表 DV 拍到的雷射光倒影絕非 PU 跑道單向反射形成。同時我們用一平板貼以方格紙並移動它，觀察雷射光的行進時，發現本來雷射光剛開始射到方格紙上只有一個小亮點，後來會形成 2 個連在一起的亮斑，那就是 DV 拍到的 2 個亮點。

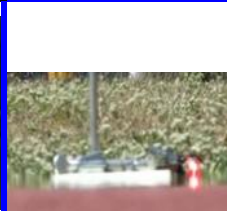


校內雷射光的倒影實驗，有部份雷射光打到了 PU 跑道。為了證實雷射光倒影與地面單向反射無關，在實驗中我們墊了白色塑膠封套於 PU 跑道的雷射光打中的位置，並扭動白色塑膠封套改變反射區表面的法線方向，但倒影位置沒什麼變化，所以雷射光的白天倒影應是由空氣折射加全反射所產生。



最後我們將本實驗的照片與參考資料(1)的照片作一比較說明

參考資料一	本實驗	比較說明
	 倒影區(地面上有平面鏡)	左圖：平面鏡會影響 <u>光積水區</u> 。 右圖：平面鏡不會影響 <u>光積水區</u> 。 可能原因： 1、因為我們用 DV，她們用天文望遠鏡。我們的位置較低，對 <u>光積水區</u> 觀察更有利。 2、因兩邊環境不同，所以讓她們可以看到倒影的全反射空氣層可能較接近地面，會被平面鏡擋住而無法看到倒影。 3、左圖中因她們鋪設了長達 50 公尺的平面鏡，因為近距離不利於光積水現象的觀察，所以照相機拍到了比較近的面鏡。
兩者均放置平面鏡，左上圖方框內為平面鏡，但右上圖中的平面鏡則看不出來。		
 黑布	 2 張半開黑色壁報紙	兩者均發現黑布(壁報紙)幾乎不影響 <u>光積水區</u> ，因為全反射空氣層都沒被遮住。 左方方框：黑布。 右方方框：黑壁報紙捲起部分。
		左圖：棒子斜的，倒影近似直的。 右圖：小瓶子直的，倒影斜斜的。 證明倒影是由大角度光線在空氣中折射及全反射產生，而非地面的單向反射造成。

 打開電風扇			左：因為該組實驗的夜晚空氣與地面溫差較小，光線幾乎不折射，故此時的夜間倒影為地面單向反射形成，怎麼吹空氣都不會對倒影產生影響。
 電風扇關閉後 五分鐘			右：(藍框部分)白天光積水區為空氣折射與全反射產生，空氣流動會對雷射的倒影產生影響。 即使是夜晚光積水區，只要地面與空氣溫差夠大，還是空氣折射與全反射產生，空氣流動仍會對螢光棒的倒影產生影響。

柒、結論

一、本實驗中證明白天時因地表溫度升

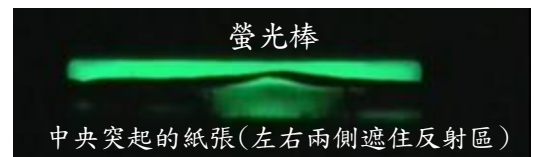
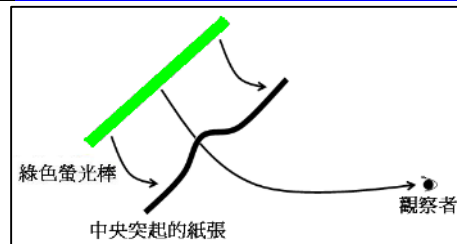


圖 7-1 圖 7-2

高，使地表與空氣的溫差較大，造成大角度的入射光線在空氣中產生折射及全反射而形成光積水區及地面倒影。

二、夜晚時因為地表溫度下降，空氣與地表的溫差較小，使大角度的入射光線在空氣中不易折射及全反射，而會射到地面形成單向反射的倒影區。

三、白天時只要地面放置的物體厚度沒有超過光積水表層，光積水區不因地面的性質變化而改變；而放置的物體厚度在低於光積水表層時，因置放物沒有光線可漫射到放在地面的DV，所以就無法拍出光積水表層以下的置放物。

四、但地面所置物體厚度若高出光積水表層，就會影響光積水區。此時觀察者已看不到原本全反射的像，只會看到置放物漫射(如紙張)或單向反射(如平面鏡)的結果。

五、地面與空氣溫差越大時，光積水區越大，大角度光線對應的光積水表層位置越高。

六、在距目標物相同距離下，觀察者位置越高，所看到的光積水區越少，光積水表層位置較低；在距地面相同高度下觀察者位置距離目標物越近，光積水表層位置也較低，所看到的光積水區也越少。因這兩種情形下全反射後的大角度光線越少進入觀察者眼中。

七、經觀察夜晚海市蜃樓活動後 (圖 7-1、7-2)，由於夜晚的溫差不大。因此，在圖 6-6 中的全反射空氣層會下降，若此層很接近地面時，此刻就會近似於單向反射的效果。

八、尚有一些怪奇的現象未能解釋清楚：在圖 7-3 中後輪的倒影是成葫蘆狀，在圖 7-4 中較接近觀察者的影像是正立的，這都是我們值得努力去求證的方向。



圖 7-3

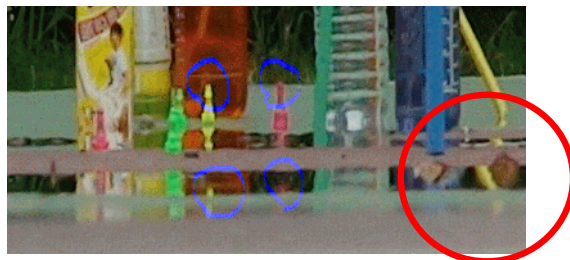


圖 7-4

九、在考量地面形成地面海市蜃樓的形成因素中，尚未考慮的太陽光的位置、強度的影響程度及在光源與觀察位置之間的地勢高低扮演著何種角色。

在此次實驗中，參考(1)給我們許多的靈感，在此我們要非常感謝此件作品的作者。如果不是文中她們提到臉貼在 PU 跑道的小孩可以看到倒影，我們絕對想不到要把 DV 放在地上拍攝，因為通常沒人會這麼做。熬夜拍攝夜間倒影，讓我們更加體會實驗的甘苦。此次科展讓我們對地面的海市蜃樓現象有更深入的了解；從參考資料文獻的物體與觀察者兩點相距約 75 公尺縮小約 20 公尺，再縮小約 8 公尺簡化觀察實驗的困境，也讓我們體會到放低位置，會看到完全不一樣的世界。

捌、參考資料

一、李璇、陳冠樺、戴君容 中華民國第四十六屆中小學科展高中組物理科第一名
：國王的海市蜃樓。

二、折射Refraction。民97年3月1日，取自：<http://mintaka.sdsu.edu/GF/explain/optics/refr.html>

三、<http://www.islandnet.com/~see/weather/elements/infmrg.htm>

四、97 南一版自然與生活科技第三冊 南一出版社 P.74 面鏡成像

五、圖 3。民 97 年 3 月 1 日，取自：<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/rainbow/docs/reflection.html>

圖 4。民 97 年 3 月 1 日，取自：<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/rainbow/docs/reflection.html>

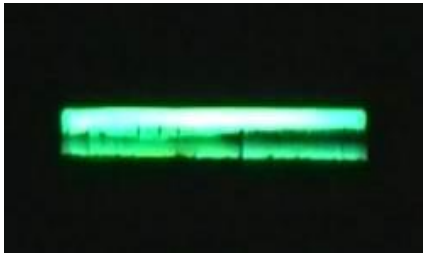
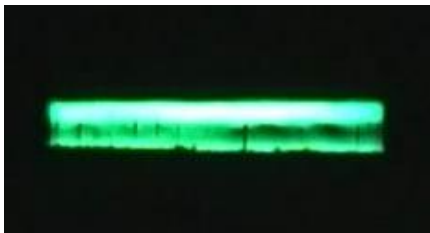
圖 5。民 97 年 3 月 1 日，取自：

<http://asptest.myphysics.dyndns.org/wordpress/wp-content/Chapter16ppt.pdf>

附錄：觀察夜晚地面海市蜃樓

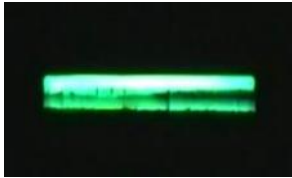
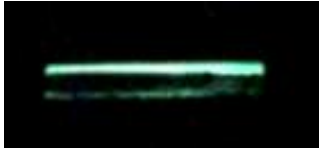
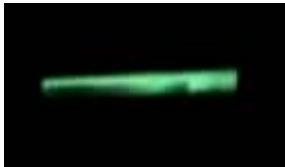
在參加區域科展後，評審老師建議我們拍攝夜間的倒影，我們後來在 5 月 16 日凌晨 0:00 起到 5:00 止於本校 PU 跑道每隔 1 小時拍攝螢光棒的夜間倒影並測量空氣、地面溫度及反射區位置等相關物理量。夜晚時我們仍用 DV 做連續攝影，發現像白天一樣 DV 抬高時就拍不出倒影，須放在地面上才能拍到倒影。且白天在本校 PU 跑道 DV 距目標物只要 20 公尺就可拍出清楚的倒影，但夜晚拍攝倒影時，DV 距目標物卻要在 21-35 公尺間才可拍出清楚倒影。(實驗裝置如下圖說明。)

	實驗時發現螢光棒以橫放在 PU 跑道上拍攝倒影效果最清楚，只要將 DV 擺在地面上連續拍攝即可，無須使用長時間曝光的處理。 我們有準備 2 台 DV 拍攝，其中一台因放大倍率為 20，拍出的螢光棒顏色較暗；另一台放大倍率為 32 但其拍攝時容易失焦，所以下列實驗照片會有 2 台分別的拍攝結果。
---	---

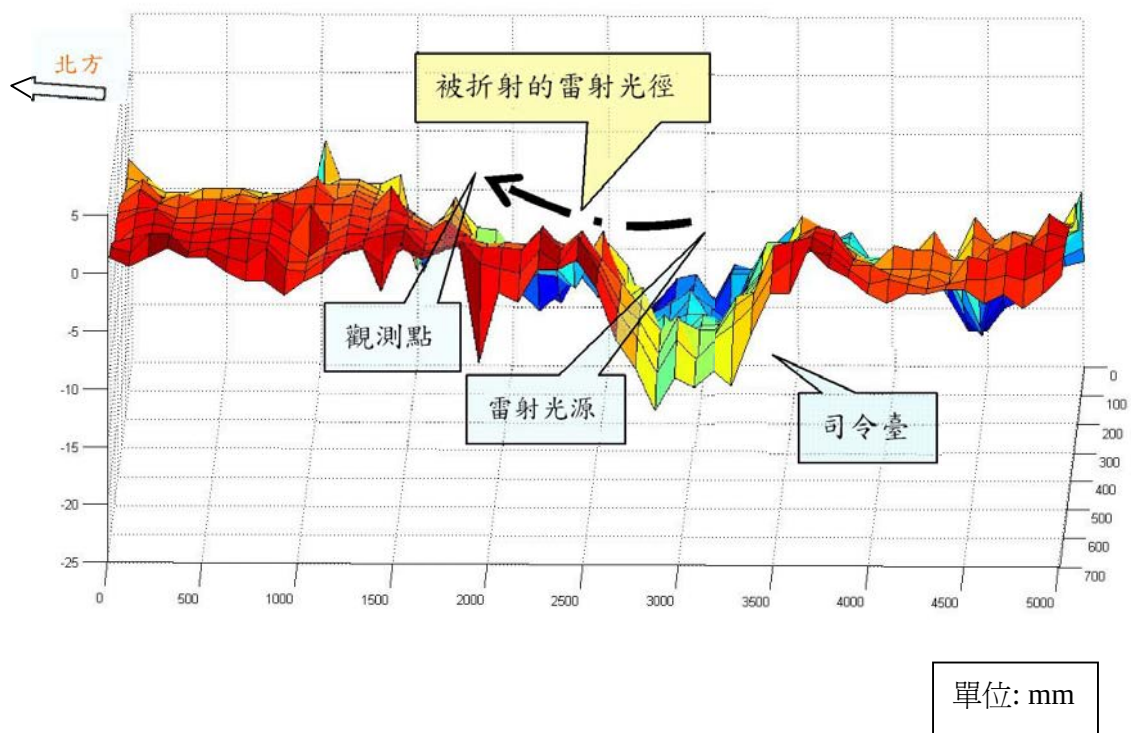
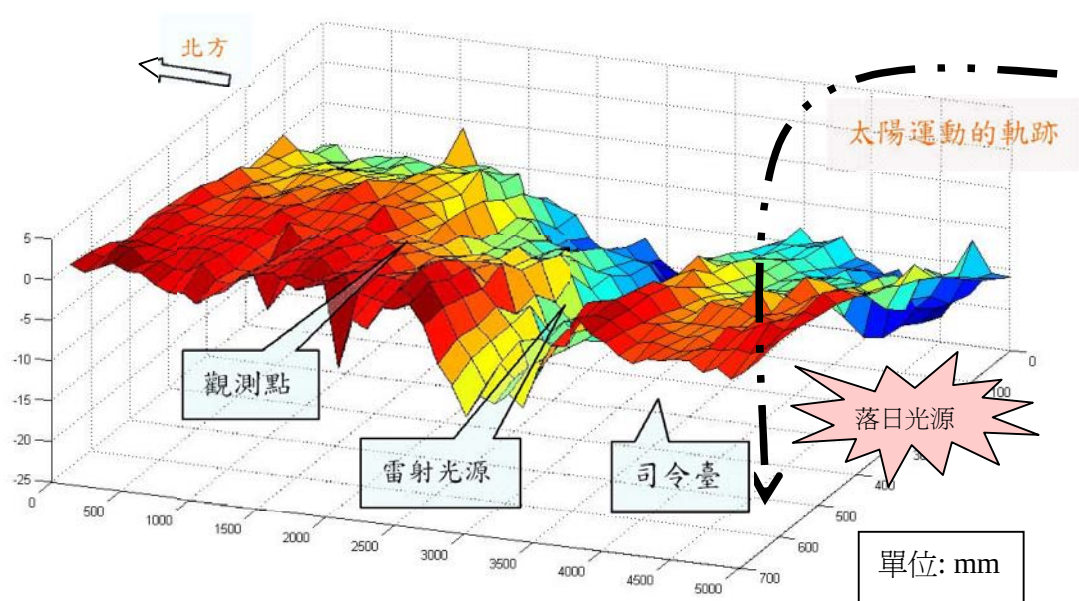
	
DV 距離螢光棒較近位置觀察到的影像	DV 距離地面約 1cm 拍攝到螢光棒的影像
	
DV 距離螢光棒較遠位置觀察到的影像	DV 放在地面上拍攝到的螢光棒影像

下列圖表是我們的夜間實驗結果。

(拍攝距離越遠，照片會較不清楚，下列實驗照片有 2 台 DV 分別拍攝的結果)

時間	溫度(℃)	與 DV 間距離(m)	夜間倒影照片	以紙張或平面鏡遮住 反射區後照片
0:00	地面：34.8 空氣：29.6 溫差：5.2	螢光棒：21.54		
		反射區：14.32		
1:00	地面：33.5 空氣：29.5 溫差：4.0	螢光棒：27.00		
		反射區：15.21		
2:00	地面：33.1 空氣：29.3 溫差：3.8	螢光棒：28.48		
		反射區：16.48		
3:00	地面：30.7 空氣：27.3 溫差：3.4	螢光棒：30.85		
		反射區：17.55		
4:00	地面：30.0 空氣：26.6 溫差：3.4	螢光棒：30.85		
		反射區：17.55		
5:00	地面：29.9 空氣：26.9 溫差：3.0	螢光棒：34.50		
		反射區：18.65		

附件：測量本校 PU 跑道地籍資料的實驗（測量原理、原始數據、結果 皆以附件呈現）



【評語】 030109

1. 本作品系統化從事實驗探討觀察與分析。重視實驗現象與觀察及提出假設與探討。
2. 本作品可貴之處乃針對之前既有研究作品之結論原因檢討，認為海市蜃樓現象不僅單由反射因素，又可能由於空氣折射因素所致成觀察到影像，並建立良好探討分析，並得到構想驗證。
3. 可以深入從事模擬與分析，將反射與折射兩項因素釐清貢獻於蜃樓影像之成因。