

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 生活與應用科學科

080836

光纖及雷射導光在建築物振幅及結構安全可行性之探討

學校名稱：臺北市萬華區龍山國民小學

作者：	指導老師：
小六 吳明松	翁進勳
小五 莊東哲	翁彰嶸
小五 劉嘉曜	
小六 游承儒	
小六 何宇培	
小五 洪瑜陽	

關鍵詞：光纖風向傳輸 全反射 光學槓桿原理

## 摘 要

元宵節路邊攤販，叫賣一種『滿天繁星』的小型手電筒，光源前面接著一串細細長長、顏色不一的透明塑膠「光纖」，把電池開關打開，細線頂端就會發亮！作者群首先意外發現光纖斷裂與轉折處，可透露建築物內部結構受損的訊息與方位；續而在應用雷射筆作全反射的實驗裡，再進一步發現「光纖雙向傳輸」及「光線槓桿原理」，可以用來偵測建築物的位移。「光纖」和「雷射光」相加乘，在生活中可發揮無遠弗屆的應用功能，值得大家來關注。

在整個實驗過程中，對光纖導光特質有更進一步的了解；並且經由文獻的探討：鐳射偵測準靜物的位移等，變因的操控、觀測、分析，學到了網路資源蒐尋與擷取、數位相機、放大量測等方法、收穫良多。

## 壹、研究動機

二月十二日中華電信在電視媒體廣告「**數位光纖到家**」，螢幕出現一條巨大橘色光束的光體，引起同學們對會發出亮光的『雷射筆』和『滿天繁星』塑膠光纖的興趣和討論。只要把電源打開，雷射筆的光點可以投射好遠！而滿天繁星細線頂端就會發亮，好像天上亮晶晶的星星！但卻有同學不小心弄折了幾隻，在細線轉折處可以很明顯看出「光點」，接著細線頂端的亮度也跟著暗了下來！而雷射筆的光點因有一次擺放在玩具小馬達上頭，旋轉時雷射筆的光點，由一個「點」變成一隻像「小毛蟲」、「小汽車」、「8字型」..等圖樣。大家覺得很奇怪，請教老師為何光纖頂端會亮出不同的顏色呢？雷射光「**焦點移位**」的變化，給我們的啓示又是如何呢？與我們三、四年級上過的教學單元『光的探索』、『美麗的彩虹』有關嗎？

台灣位處於地震帶，建築物的位移與內部結構的安全，影響大多數人的生命與財產的安全，老師跟我們說過：前幾年高屏大橋突然的塌陷，造成車輛及人員的受傷，橋樑兩端居民交通極大的不便！以及鄰近國家一連串的房屋倒塌、斷橋事件接二連三，造成的傷亡更是慘重。我們在想，如何應用「光纖雙向傳輸」以及光線「全反射」與「槓桿原理」，偵測建築物震幅及結構安全方面探討其可行性。

## 貳、文獻探討

我們從網路搜尋離我們學校最近的光纖公司實地參觀與訪問。得到的資料和圖片如下：

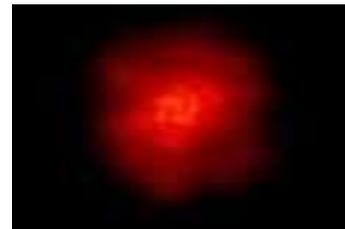


### 一、雷射光的由來和應用：

雷射，英文名字稱做” LASER” ，乃是由(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)的字首字母所組成的。意即：藉由受激所引發之輻射來進行光放大作用。此種觀念，最早是由愛因斯坦於西元 1917 年所提出的。過了三十幾年後，直到 1954 年，才由美國哥倫比亞大學的湯恩斯 (Townes) 將此觀念實現。發展至今，雷射的應用已伸展至各種領域，醫學、通訊、資訊儲存、雷射加工、精密量測.....等等。

### 二、雷射光的特點：

但回頭看，雷射光與其他的光源相比較，有四個特點：



#### (1) 高亮度 (Brightness)：

發光能力是選擇光源的重要參考指標；亮度即為其中之一。亮度的定義為單位面積及單位立體角所輻射出的功率大小。若是用大功率的脈衝雷射，更可高達  $10^{14} \sim 10^{17}$  瓦 / (厘米<sup>2</sup> 立體角) 故，使用雷射時，不可使眼睛正對雷射光。所以，雷射是亮度相當高的光源。

#### (2) 高方向性 (Directionality)：

意指雷射光有高度的指向性。普通的光源，如常見的燈泡、日光燈管等，其光發散角度都很大，即使光源本身有很高的強度，但向四面八方發散後，很快地就變弱了！可是，對雷射光，一般而言只有 1 毫弧度的發散角，看起來就是一條相當平行的光束。而這一特徵，就成為雷射光應用在測距、準直、通訊等各方面的基礎了。



#### (3) 單色性 (Monochromatity)：

一般光源，如太陽、白熾燈炮所發射出來的光線，乃是由許多不同頻率者所組成的，從牛頓以三稜鏡將太陽光散開成帶狀的彩色光譜即可得知。但雷射光的頻率組成範圍卻非常狹窄，以致從外觀看起來，雷射光束的顏色都非常地質純。同時，由於具有單色性，也形成了極佳的相干性。

#### (4) 高相干性 (Coherence)：

所謂相干性，就是指一束光在時間與空間上關連的程度。相干程度的高低，決定是否能形成干涉。普通光源的相干性是極差的，所以是很難看到干涉現象的，而雷射光卻不然，它有高度的相干性，很容易就能得到干涉結果。也就因此推動了干涉量測的發展，及與干涉相關連的全像攝影術和光資訊處理了！

### 三、雷射光的目的、原理和用途：

#### 目的：

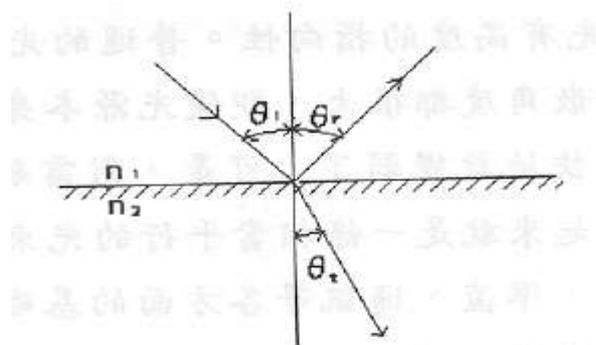
可藉由雷射光的特點，來進行普通光源所不易觀察到的現象。首先，利用雷射光之高方向性來做幾何光學的量測，其次則藉由其單色性及高相干性來做波動光學的實驗。

#### 原理：

##### (A) Snell's Law

這個在幾何光學中相當重要的定律，描述光線行進於不同介質間的關係。於此，再簡單地敘述一下。如圖所示：

光線由介質 1 入射至介質 2，有穿透，有反射。 $\theta_i$ 、 $\theta_r$ 、 $\theta_t$ ，分別代表入射角、反射角與折射角，而  $n_1$ 、 $n_2$  則分別為介質 1 與介質 2 的折射率。Snell's Law 指出，它們之間應遵守以下關係式： $\theta_i = \theta_r n_1$        $\sin\theta_i = n_2 \sin\theta_r$



**用途：**雷射光的用途用在醫學手術、顯微照相、天文望遠...功能快速發展中。



### 四、塑膠光纖是什麼？

塑膠光纖主要使用丙烯酸樹脂作為核心材料，外圍用含氟聚合物披覆，在光纖的直徑中，中心部分的 96% 是光傳輸的核心。

**五、光纖的種類和功能：**（一）石英光纖：適合於長距離傳輸，廣泛使用在通信傳輸。（二）玻璃光纖：廣泛的與塑膠光纖使用在照明。（三）塑膠光纖：用於電子器具和汽車的消費短距離傳輸光纖。

#### **六、塑膠光纖的特性：**

（一）塑膠光纖材質強韌可熱熔：

它能夠在牆上或其他狹窄區域內安裝，對在緊湊區域傳輸也很合適，對光纖傳輸來說共通的方式是熱熔法。利用其可塑性，在光纖末端加熱軟化，然後加壓或其他方式製成一個鏡面並可重覆修正。

（二）塑膠光纖對長距離傳輸不合適：

用光來傳播聲音要比電線來傳遞困難多了，電線架在電線杆上，可以不受天候、地形的影響。用光來傳音訊，空氣中的雨滴霧氣、地上的大樓高山都會阻礙光的前進。

#### **七、原理與應用：**

（一）光在光纖內是以不斷反射的方式由一端傳遞到另一端，若進入光纖的入射角過大，在入光纖內碰到外圍材料後便折射出光纖，無法在光纖中傳遞。

（二）光纖的重量輕、體積小，每一股玻璃纖維只能做單工傳輸，所以纜線內有兩股纜線位於分開的護套裡，以達到雙向的傳輸。

#### **八、生活中的創意設計和應用：**

「光纖」可用於內科醫生的透視眼—內視鏡：我們到醫院照胃鏡、大腸鏡。醫生不用開刀，就可以從螢光幕裡看見我們身體內臟的情況，並可動用切除多餘的息肉。這都是靠「光纖」與「雷射刀」的幫助。

### **參、研究目的與問題：**

一、了解『滿天星』光纖亮光的原理？並且動手設計觀測台。

二、探討光在水、冰塊、空氣之中如何進行？三者有無不同？

三、在生活中可透光的材質有哪些？光線「全反射」、「槓桿原理」為何？

四、光纖彎曲轉折或切斷再銜接，端點聚光強度會改變嗎？

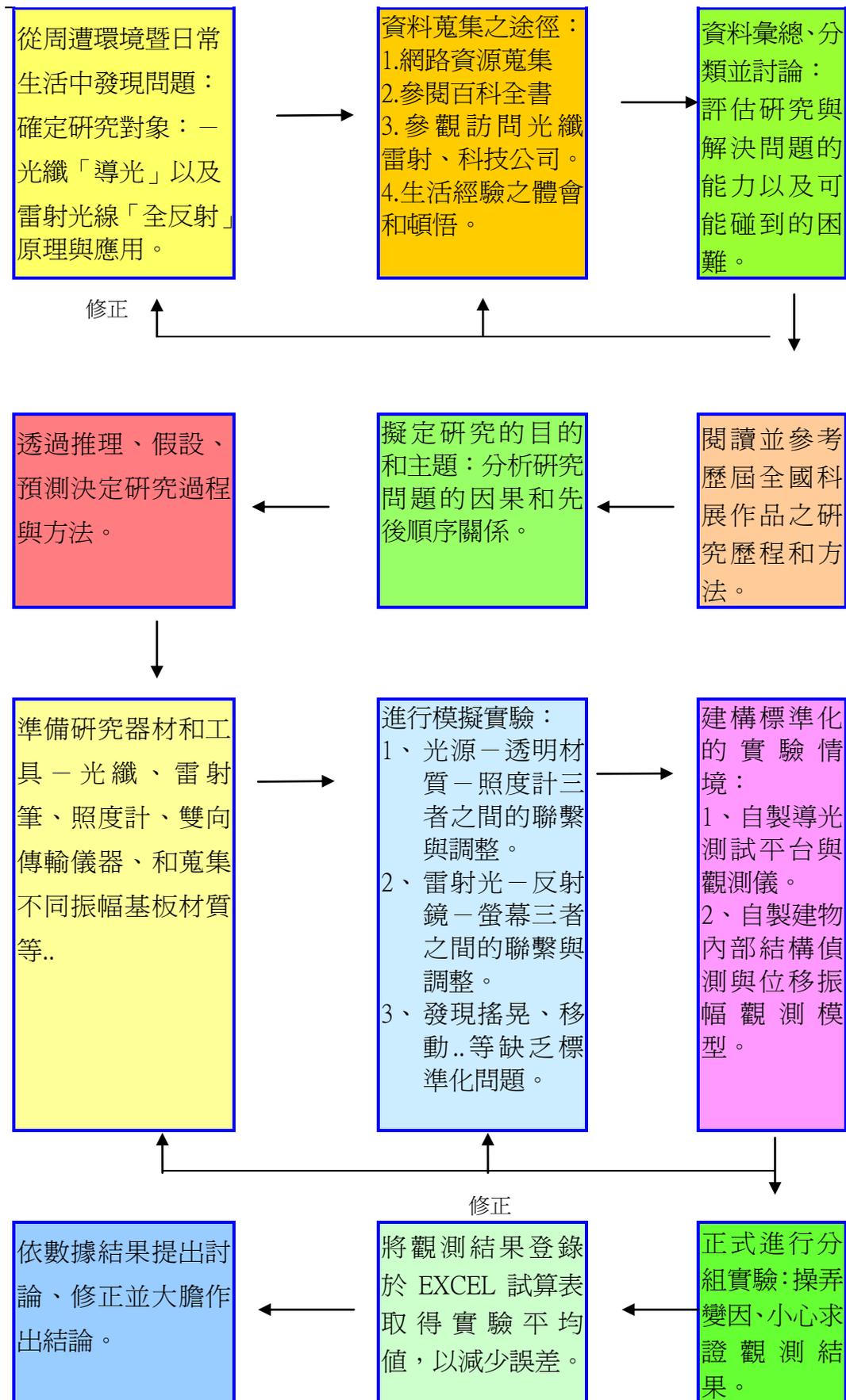
五、將兩股光纖如位於分開的護套裡，如何達到雙向傳輸的功能？

六、如何將導光材質有效應用於日常生活中？

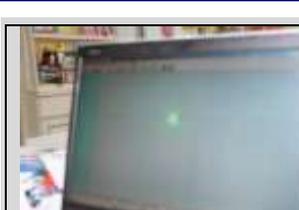
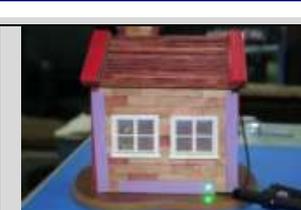
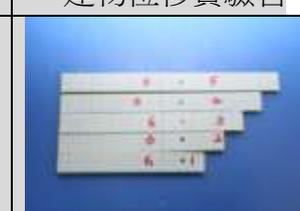
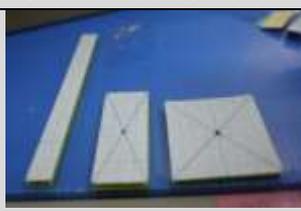
七、如何應用光纖的導光特性偵測建築物內部結構的安全？

八、如何應用光線「全反射」、「槓桿原理」偵測建築物的位移？

## 肆、研究過程與方法



## 伍、研究設備與器材

			
紅、綠色雷射筆架	綠色雷射光	綠色雷射光	異形綠色雷射光
			
導光觀測實驗台	振幅量測工具	瓦楞板及美工刀	360 度旋轉手電筒
			
玻璃板實驗底座	塑膠瓦楞板實驗底座	沙質實驗底座	乳膠實驗底座暨情境
			
電腦液晶螢幕	反射光記錄螢幕	建物結構光纖檢驗台	建物位移實驗台
			
光纖雙向傳輸主機	雙向傳輸光纖端頭	面積變因旋轉葉片	不對稱旋轉葉片
			
半徑不同旋轉葉片	面積同、形狀異葉片葉	旋轉葉片之小馬達	實驗模型

## 陸、研究問題

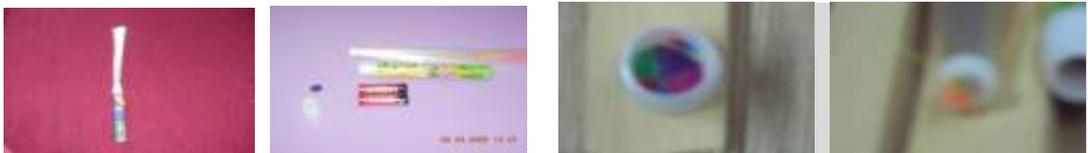
### 一、了解『滿天星』光纖亮光的原理？並且動手設計觀測台。

#### (一) 實驗方法：

我們從攤販購買手電筒細長絲亮光玩具六支，人手一支並進行觀測、分析和討論。

#### (二) 觀測分析：

- 1.經由手電筒細長絲亮光玩具的觀測，我們發現可以拆解為三大部分如下：
  - (1) 圓形手電筒（含小電池兩個）。
  - (2) 彩色圓形套環濾光片（紅、綠、藍、深紫、紫紅色等五色）。
  - (3) 塑膠光纖一束（有長短不同淺綠、深綠、紫紅、白色等色條叢聚，並以圓形套環束緊）。
2. 以上三大部分，依基座：圓形手電筒—中間套上彩色圓形套環濾光片—上面接著再套塑膠光纖，三者環環相扣、構造簡單。如下圖：



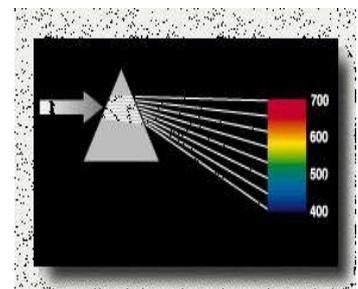
#### (三) 發現：

(1) 白天時，由塑膠光纖圓形套環底部觀測，我們發現有青綠色、深藍色、紅色、白色等四種顏色聚在一起，同樣在未使用手電筒照明之下，觀測結果以「青綠色」、「紅色」、「深藍色」線端聚光最為明亮，而白色則最不明顯，為何？

(2) 夜晚熄燈時，室內照度=0 lux，經不同燭光照射後，我們發現青綠色、深藍色、紅色、白色等四種顏色都會發出亮光，原先不會亮光的白色也亮了！其亮度並且與燭光的大小成正比，我們高興得鼓掌歡呼。但留下一個疑問給我們：為何？經由燈泡黃色燭光的照射，不管黑夜與白天，各種顏色的線端都會發出彩光，尤其黑夜時，更像『滿天的星斗』那麼漂亮、迷人！。

#### (四) 結果與討論：

為了解答上述兩個問題，我們請教自然科學老師，老師告訴我們自然界中的光可分『可見光』與『不可見光』，要我們從網路去搜尋，經由搜尋的資料『可見光』乃指人的眼睛可看見的範圍：如右列圖表：



人眼對於『白光』的感覺應該是源自於對於太陽光的感受。只要光線含有與太陽光類似比例的不同頻率光線，便都會產生『白光』的感覺。在日光下，人的眼睛對於紅、橘、黃、綠、藍光範圍的光線最敏感。因此，可以證驗上述觀測與實驗結果：

由於進行觀測時：光源－透明材質－照度計三者之間缺乏標準的實驗情境，發現有搖晃、移動..等問題，經由大家熱烈的討論，決定製作一個觀測的實驗台。(如下圖)

### (五) 觀測實驗台的設計與創作：



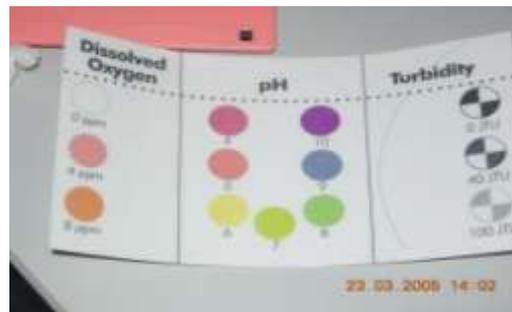
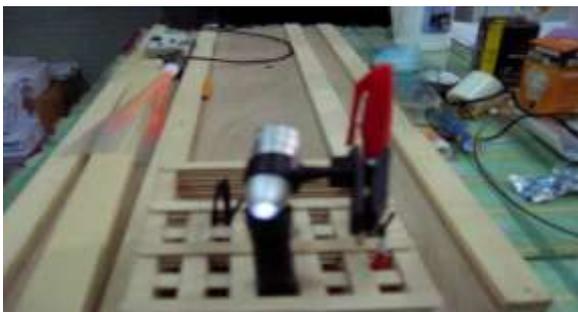
我們在老師的指導之下，終於完成一台像『台糖小火車』；可以在軌道滑行的觀測台(上面可以裝設觀測桿、實驗器材等)，以便進一步觀測不同的導光材質，有了它，我們就可觀察水、冰以及空氣的導光性能如何？

## 二、探討光在水、冰塊、空氣之中如何進行？三者有無不同？

### (一) 實驗方法：

暑假參加水質監測的活動：有刻度的實驗試管及濁度、溫度、酸鹼度的對照表。可以在固定容積(10ml)的試管中，觀測空氣、液體、固體導光有何不同？

爲了尋找實驗的光源，我們尋找各式各樣的手電筒，好不容易找到一支管徑密合度高、長短適中又有旋轉 360 度夾子的手電筒，夾在實驗桿的伸長臂之上剛剛好。於是我們開始分項進行以下導光照度的實驗。



(二) 實驗結果：

1.數據一：

在固定容積空氣.水.冰塊中的導光照度實驗紀錄—實驗室內光照強度(268lux)								
實驗次數	1	2	3	4	5	總計	平均	備註
一般空氣中	412	407	411	415	415	2060	412	lux
固定容積空氣中 10ml	1338	1339	1340	1341	1342	6700	1340	lux
固定容積水中 10ml	2595	2625	2470	2764	2681	13135	2627	lux
固定容積冰塊中 10ml	180	181	182	183	184	910	182	lux

2.數據二：

在不同容積空氣.液體.固體中的導光照度實驗紀錄—實驗室內光照強度(268lux)								
實驗次數	1	2	3	4	5	總計	平均	備註
一般空氣中	412	407	411	415	415	2060	412	lux
固定容積空氣中 10ml	1190	1191	1192	1193	1194	5960	1192	lux
固定容積水中 10ml	2595	2625	2470	2764	2681	13135	2627	lux
固定容積水中 5ml	1630	1630	1625	1626	1627	8138	1627.6	lux
固定容積水中 2.5ml	1480	1481	1482	1483	1484	7410	1482	lux

3.數據三：

在不同混濁度的水中導光照度實驗紀錄—實驗室內光照強度(268lux)								
實驗次數	1	2	3	4	5	總計	平均	備註
水中混濁度 0JTU 10ml	2595	2625	2470	2764	2681	13135	2627	透明
水中混濁度 40JTU 10ml	856	851	848	853	862	4270	854	半透明
水中混濁度 100JTU 10ml	209	210	211	211	209	1050	210	不透明



0JTU



40JTU



100JTU

4.數據四：

在不同透明度的固體中導光照度實驗紀錄—實驗室內光照強度(268lux)								
實驗次數	1	2	3	4	5	總計	平均	備註
透明壓克力 10ml	2595	2625	2470	2764	2681	13135	2627	lux
半透壓克力 10ml	460	440	441	442	443	2226	445	lux
不透明壓克力 10ml	0	0	0	0	0	0	0	lux

(二) 結果與討論：

- 1.由實驗結果一：發現在相同距離以同樣的手電筒照射，透過 10ml 的實驗試管遠比在一般空氣中所得的照明度要好。而同樣容積的水又要比空氣及固體（水結冰）要好得很多。從文獻探討中：光在空氣中進行，空氣中的雨滴霧氣、地上的大樓高山都會阻礙光的前進。而固體的冰同樣會產生霧氣，當然會影響光的進行。
- 2.由實驗結果二：發現在液體中，容積成比例的減少，其導光照明度也逐漸的下降。我們的推理是：經過空氣的距離愈長（即經液體中愈短、空氣中則愈長），照明度減弱，與實驗一的推論，可以相互印證。
- 3.由實驗結果三：發現混濁度愈高，其導光照明度愈差。因為混濁度愈高愈不透明，其導光度也愈弱。
- 4.由實驗結果四：證實同樣容積的壓克力中，透明度愈高，其導光照明度愈好，其次是半透明，最差的是不透明。透明度愈高有助於光的進行嗎？是否如此？我們進行下列研究問題三的探討。

### 三、探討在日常生活中可透光的材質有哪些？了解其透光的原理為何？

#### (一) 實驗方法：

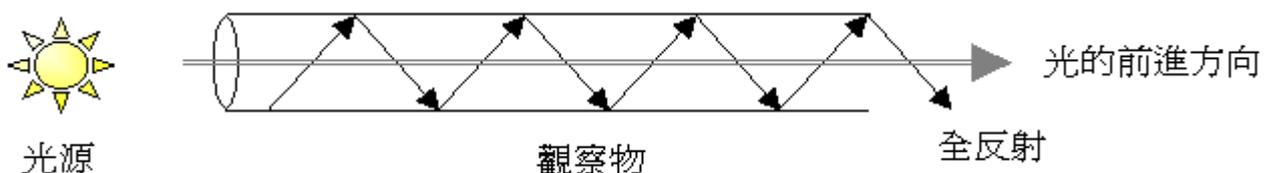
爲了瞭解不同材質的透光現象，從日常生活中去搜尋，總共找了下列幾種材料來觀測。並且把它分爲可透光與不透光兩種。

透光性質				
名稱	透明塑膠長尺	透明實驗試管針筒	鐵鉗	半透明風葉
可透光	@	@		@
不透光			@	

透光性質				
名稱	玩具塑膠纖維	玻璃纖維	磁碟片	玻璃燭臺
可透光	@	@		@
不透光			@	

#### (二) 結果與討論：

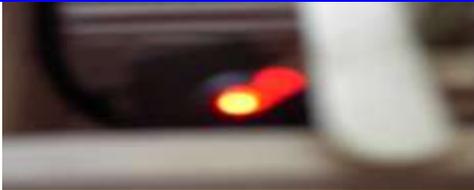
- 1.我們發現不透明的材質無法透光，能透光一定是透明或半透明的材質。
- 2.觀察可透光的物質時，可以看見光線會從觀察物的側面發散出來，這是光線折射的結果；而且在某些可透光的材料末端看到明亮的光點，原來是由於光線在「直線前進」時，不斷進行全反射的結果。如下圖尖底透明玻璃燭臺重疊後經由 Led 白光照射成「一條直線」進行。



- 3.我們發現光源的遠近會影響透光的程度，光源愈接近觀察物透光度愈好，愈遠則愈差。

4.我們從所有可透光的材質中發現以塑膠光纖、玻璃光纖透光的程度最好，並且從網路蒐尋到光纖的類別、構造與原理。進一步整理出玻璃光纖與塑膠光纖的比較表。讓我們對光纖有更深一層的認識（如下圖）。

#### 5.玻璃和塑膠光纖比較表

光纖類別	玻璃光纖	塑膠光纖
光纖導光照片		
對光的穿透率 短距離量測(<10m)	高於20%	因光易轉換為熱能散失，使光線穿透率降低。
彎曲度	佳	若彎曲的曲率半徑小於光纖直徑之八倍，光會在光纖彎曲處形成熱點，轉換為熱能散失，光線傳輸的距離會因而縮短。
對光傳輸影響性	佳	形成熱點轉換為熱能消失光線傳輸的距離會因而縮短

6.從上面光纖的圖表：我們知道：光在光纖內是以不斷反射的方式由一端傳遞到另一端。由於光纖本身的反射率大於光纖外圍材料的反射率，因此射入光纖的光線必須以一定的入射角進入才能在光纖中傳遞。若進入光纖的入射角過大，在入光纖內碰到外圍材料後便折射出光纖，無法在光纖中傳遞。

7.從我們整理的玻璃和塑膠光纖比較表：我們對於塑膠光纖的『彎曲度』、「傳輸性」感到特別好奇！因此我們決定從這些方面進行探討和研究。

### 四、光纖彎曲轉折或切斷再銜接，端點聚光強度會改變嗎？

#### (一) 實驗方法：

我們從訪問參觀的光纖公司，購買規格不同的光纖素材及切割光纖的專用刀片。實地體會光纖的硬度和彎曲度，並試著使用刀片，把光纖截成實驗所需要的長度和條數。

1. 我們將直徑 0.25 公分光纖以打結的方式，把它彎曲至圓形，分別量其曲徑半徑的長度 0.5 公分~4 公分。觀察彎曲處是否聚光(熱點)？
2. 我們將直徑 0.25 公分長 30 公分的光纖以彎曲轉折的方式放進半透明塑膠瓦楞紙的小孔中，觀察彎曲轉折的次數愈多是否影響端點的聚光強度？

3. 我們將直徑 0.25 公分，長度 30 及 40 公分的光纖按比例截斷，並依序放在半透明塑膠瓦楞紙的小孔中銜接，以觀察銜接處的多寡，是否影響端點的聚光強度？

## (二) 實驗結果：

### 1. 結果一：

直徑 0.25 公分光纖彎曲曲率半徑長度度數影響聚光實驗紀錄								
曲率半徑	0.5 公分	1 公分	1.5 公分	2 公分	2.5 公分	3 公分	3.5 公分	4 公分
彎曲處聚光(○)	形成○	形成○	形成○					
彎曲處不聚光(●)				●	●	●	●	●
備註	2 公分以下形成熱點			臨界點	2 公分以上未形成熱點			

### 2. 結果二：

長度 30 公分直徑 0.25 公分光纖每隔 3 公分轉折一次影響聚光實驗紀錄 (Led 紅光照射)								
光纖轉折數	1 折	2 折	3 折	4 折	5 折	6 折	7 折	8 折
端點聚光	●	●	●	○	○	●	●	●
端點聚光描述	紅光	紅光	紅光	轉弱	變弱	光線微弱	無光	無光
備註	變化不明顯			臨界點	轉折數增加光線逐漸變弱			

### 3. 結果三：

直徑 0.25 公分不同長度的光纖截斷後銜接次數影響聚光實驗紀錄 (Led 紅光照射)									
總長度	30 公分	30 公分	30 公分	30 公分	40 公分				
截斷長度	30 公分	15 公分	10 公分	5 公分	40 公分	20 公分	10 公分	5 公分	4 公分
截斷數	1	2	3	6	1	2	4	8	10
銜接處	0	1	2	5	0	1	3	7	9
聚光	●強	○中	●弱		●強	○中	●弱		
不聚光				●				●	●
備註									



### (三) 發現與討論：

- 1.我們發現光纖若彎曲的曲率半徑的長度小於光纖直徑之八倍，光會在光纖彎曲處形成熱點，並轉換為熱能散失，光線傳輸的距離會因此而縮短。轉折的次數愈多則會降低端點的聚光強度。
- 2.我們觀察到光纖截斷處超過三處以上，端點的亮光逐漸暗淡最後熄燈沒有亮光，在銜接處，可以看到半透明塑膠瓦楞片之側面透出微微的黃光。
- 3.在觀察可透光的固體時，可以看見光線會從觀察物的側面發散出來，這是光線折射的結果。

## 五、一股光纖僅具單功能，如何達到雙向傳輸的功能？

### (一) 實驗方法：

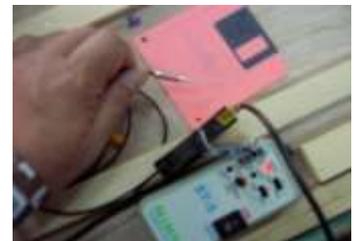
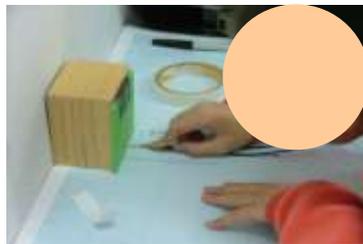
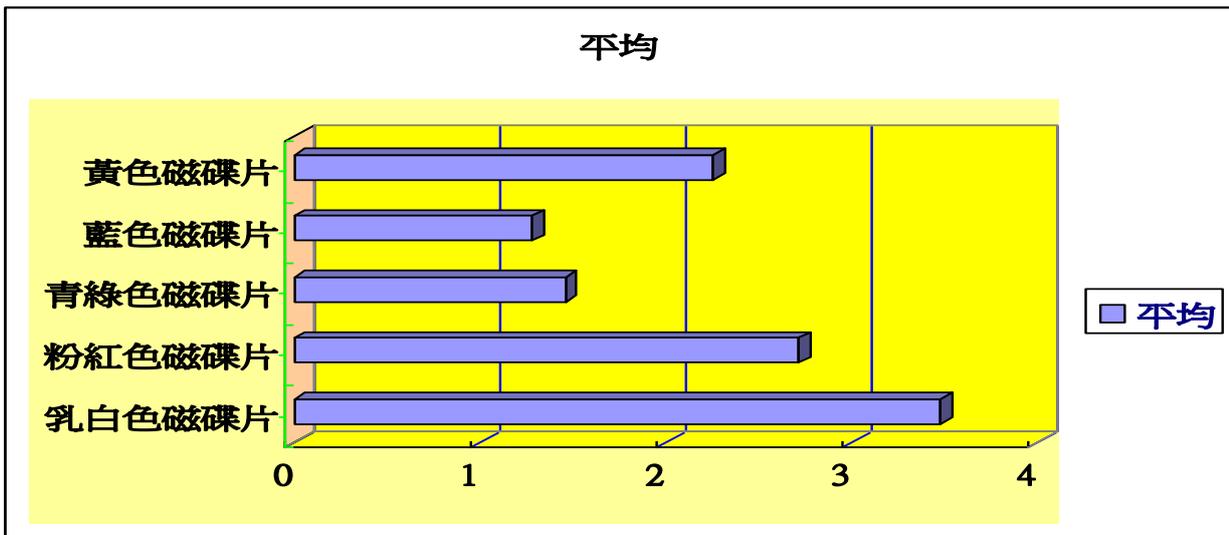
我們利用家裡面廢棄不用的監視器感測 LED 燈源，在相連的兩個插孔分別插進兩條光纖，一條接觸 LED 的紅光，另一條接觸 LED 旁小洞並連結音響。當 LED 的光源透過光纖的端頭之聚光接觸到東西反射時，另一條光纖的端頭則接收反射的光再傳輸回來，觸動音響發出『滴滴』的聲音。

### (二) 觀測發現：

- 1.我們發現光纖端頭之聚光碰到任何東西都會發出『滴滴』的聲音，但反應的距離有長有短！大楊說：跟東西的大小或形狀有關。小婷則說：跟東西的顏色有關？  
到底誰對呢？
- 2.我們經由一連串的測試排除跟東西的大小或形狀有關。發現光纖端頭聚光與接觸物體的顏色有密切的關係！於是蒐集不同顏色的磁碟片實地觀測反應的距離。

(三) 實驗結果：

光纖對不同顏色磁碟反應距離實驗紀錄 (公分)      實驗室內光照強度( 263 )lux								
實驗順序	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	總計	平均	備註
乳白色磁碟片	3.5	3.5	3.4	3.5	3.5	17.4	3.48	
粉紅色磁碟片	2.7	2.8	2.7	2.7	2.7	13.6	2.72	
青綠色磁碟片	1.5	1.4	1.5	1.4	1.5	7.3	1.46	
藍色磁碟片	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	6.4	1.28	
黃色磁碟片	2.3	2.2	2.3	2.3	2.2	11.3	2.26	



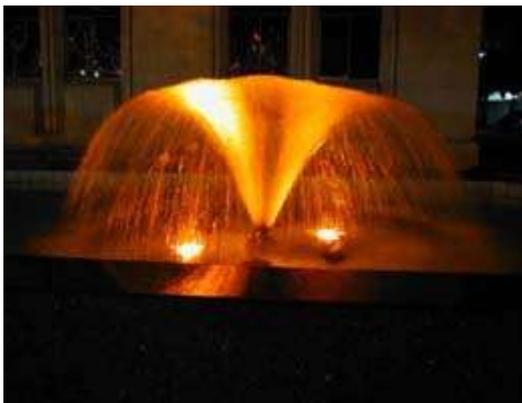
(三) 結果與討論：

1. 一股光纖具備單一功能，兩股光纖如位於分開的護套裡，確實可以達到雙向傳輸的功能，若有更多的光纖束功能愈多、用途也更廣。
2. 我們發現光纖對五種不同顏色磁碟的反應距離，以乳白色最長，其次為粉紅色、土黃色、藍色、青綠色。我們推理是白色對光線的反射較其他顏色強。因此夏天穿白色衣服可避免吸收過多的陽光。

## 六、如何將導光材質有效應用於日常生活中？

### (一) 水的導光應用：

- 1.光在傳播之時，若經兩個不同「介質」的介面，由於介質傳遞光的的速度不同，就會產生「折射」，例如插入水中的筷子好像折斷一般。
- 2.噴水池爲了夜晚時有美觀的效果，經常會在水池中放置五顏六色的燈光，從水中射出來的光集中在燈中間部分，而在水及燈的周圍卻有光暈，這些光暈就是因爲「全反射」。
- 3.利用水與燈光結合的美景：



利用光暈「全反射」的原理造就水與燈光結合的美景

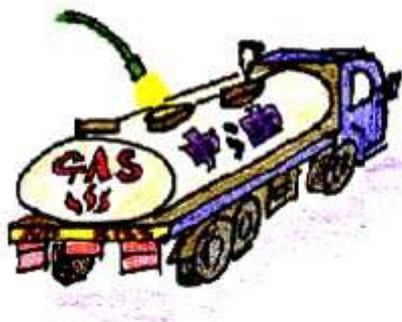
### (二) 光纖的應用：

- (1) 從我們的研究當中「光纖」是根據「全反射」的原理來傳輸「光波」，而在「全反射」的狀況下，整條「光纖」就像一條周圍都是鏡子的管線，一旦光線進入這條管子，它再也跑不出來，只有乖乖地從進口的這一端跑到出口的那一端，完成「光波」的傳輸。
- (2) 玻璃做的光纖，品質好，價格貴，漏出的光量較少；塑膠做的光纖，價格較低廉，但相對地漏光量也較大，可是無論漏光量的大小，聰明的工程師們，都有因應的辦法：把「玻璃光纖」使用在傳真度較高的訊號傳輸。把漏光量大的「塑膠光纖」，應用到照明與感測用途上，省電、安全兼具藝術的效果。如下圖：

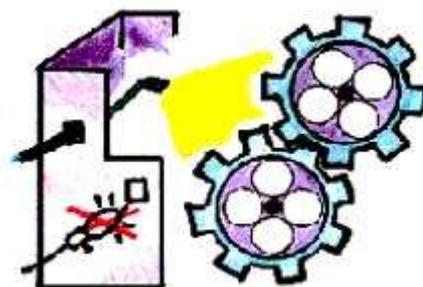
### (3) 裝潢照明：



### (4) 感測產品應用：



防 爆 檢 測



安 全 感 測

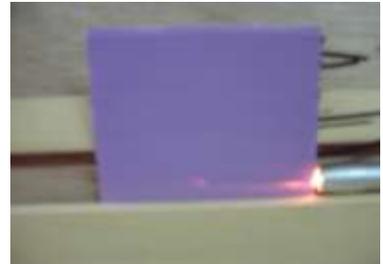
### (三) 結果與討論：

我們由上述導光的材質和光纖的物理特性，有效被應用於生活當中，引起作者群相當的興趣，尤其防爆、防震安全的感測。自美國「911」恐怖份子爆破紐約雙子星大廈震撼全球，以及台灣「911」集集大地震、高屏大橋斷橋事件，造成人心極大的傷害。我們從研究問題四：發現光纖彎曲轉折與銜接處的會影響端點的聚光強度。以及研究問題五：光纖的雙向傳輸對顏色反應距離的不同，和光線進行「全反射」直行的原理，是否可以作為建築物震動位移和內部結構安全偵測的探討。

## 七、如何應用光纖的導光特性偵測建築物內部結構的安全？

### (一) 實驗構思與推理：

1. 我們由研究問題四：光纖彎曲轉折與銜接處的會影響端點的聚光強度。如下列圖示：在老師的指導下進行討論：



2. 小高突發奇想：「半透明的塑膠瓦楞片，好比一道牆壁，如果埋設光纖在裡面，透過光的穿透作用，可以從外表檢查銜接處的聚光點和光纖端點的透明度」！如果像 921 大地震，危險教室牆壁、建築結構內部是否龜裂、彎曲、破壞等！從端點的透光度所顯現出來的訊息（逐漸暗淡）便可知道牆壁、建築物結構有問題了！

3. 老師補充我們的話：建築物的結構安全，除了重視「基礎」的穩固外，最重要的是建築物的「橫」樑及「直」柱結構的安全，因此，光纖的佈置應以橫樑及直柱為主。

### (二) 實驗模型與光纖安置設計：



1、樣品屋、光纖、瓦楞片



2、橫樑直柱鋪半透明瓦楞片



3、屋脊貼半透明瓦楞片



4、透明瓦楞片孔鋪光纖



5、光纖端頭安置導光源



6、作品完成

### (三) 進行導光驗證：

以高功率的綠色光「雷射筆」射進光纖的端頭，如建築物內部構造不受地震影響，埋藏在裡頭的光纖沒有破損、彎曲變形仍正常的情況下，從輸出的另一端頭觀測光線的亮度與否？便可得知內部結構受損的訊息與方位。

#### 1.建築物內部構造正常：



光線直行無礙  
端頭露出亮光

#### 2.建築物內部構造受損：



光線直行受挫  
銜接處燈光黯淡

### (四) 心得與聯想：

由上述光纖彎曲轉折或切斷再銜接，端點聚光強度的確會改變？如以光纖的雙向傳輸功能、斷裂處的方位也可以迅速查出，如同光纖大腸鏡發現直腸哪個方位有內痔或息肉，在另一端的輸出螢幕顯現正確的方位與訊息。有效偵測高樓大廈及建築物內部構造與安全，尤其台灣地理斷層多處！一年到頭大小的地震頻傳，如能在建築物構造之初，即能和室內寬頻網路線一齊建構，有效發揮偵測的功能。

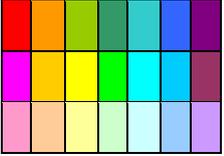
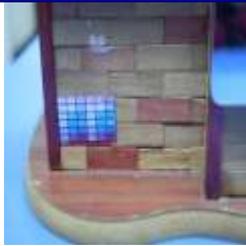
## 八、如何應用雷射光的焦點位移偵測建築物的振輻？

### (一) 實驗構思一：

建築物內部結構安全固然重要，但來自外力的振輻所產生的位移，也常神不知鬼不覺、一點一滴侵蝕我們的安全。就像我們老師說的：「滴水能夠穿石」，每天奔馳的砂石車、遊覽車等大大小小的車輛，如同「猛龍過江」來回穿梭華江橋上，使得靠近橋邊的四樓教室感覺如地震般的振輻。我們懷疑教室是否會產生位移，首當其衝的橋墩是否更厲害？

光纖雙向傳輸功能，除了能有效偵測建築物內部構造與安全外，其對磁碟片外表不同顏色的反應距離，亦可提供我們應用。如同超商對我們購買東西「條碼」的掃描，就可得知品名及價格，並輸進電腦螢幕作運算。因此，我們有一個天真的想法：把建築物或橋樑某個方位也貼上有顏色的「條碼」，利用光纖雙向傳輸功能偵測其位移。

## 1、創意與設計：

				
應用 EXCEL 軟體設計不同顏色的條碼。	將有顏色，貼在建築物易於偵測的方位。	打開電源把光纖端頭瞄準貼有顏色條碼的方位。	光纖端頭接觸各種不同顏色產生不同的反應距離與鳴聲。	建物如移位後，接觸不同的顏色發出響聲。再經由光纖另一端頭傳回移位的訊息

## 2、心得與應用：

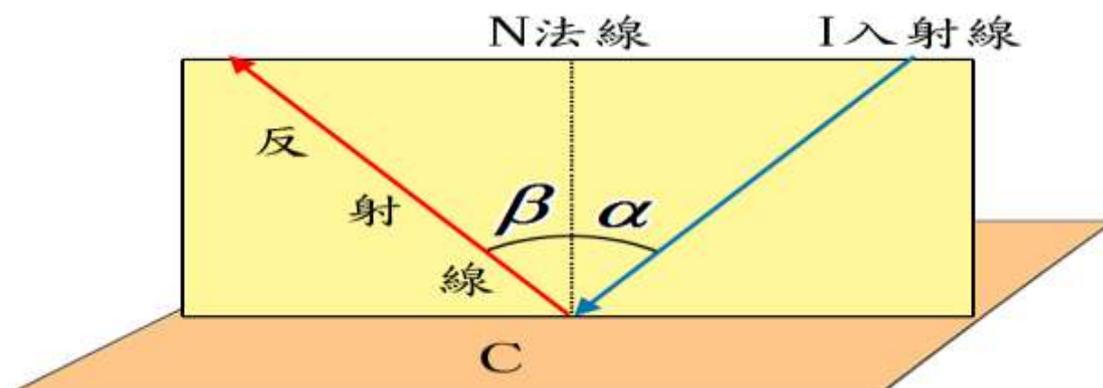
我們由上述的創意設計：光纖端頭接觸各種不同「顏色條碼」，產生不同的反應距離，應用在建築物移位的偵測，提出了「拋磚引玉」的構想。同學們也互相討論除了這個方法以外，還有沒有其他的方法可以偵測？

### (二) 實驗構思二：

喜歡玩雷射筆的小高，常常對準教室的一面鏡子玩反射光點的遊戲，提出一個嶄新的構想：既然建築物可以貼「顏色條碼」，同樣的也可以貼鏡子阿！然後靠著雷射光的反射焦點，判斷是否位移？而且可以實際偵測位移的長度及形狀。透過螢幕方格紙的觀測，或則數位相機拍攝、放大影像實際量化以及描繪！

### 1、實驗設計：

(1) 由文獻探討中：我們可以應用光線「全反射」入射角等於反射角的原理，設計「雷射光偵測建築物位移」的實驗模型。



## (2) 實驗模型與標準化情境的設計：

				
半開方格紙作為紀錄投射光的螢幕。	每邊 25 公分正方的木框底座，套上乳膠手套裁剪之彈性膠皮。	將建築物模型加上平面鏡等，配合紅、綠雷射筆的高度。	將實驗模型裝上小馬達，放置在木框膠皮底座之正中央。	室內無風標準化的實驗情境。螢幕－實驗模型－雷射筆。

## (三) 實驗方法：

我們購買了一個小馬達，用四支圖釘固定在房子的制高點－煙囪。並利用塑膠瓦楞板設計了不同半徑、不同面積、不對稱的旋轉葉片、分別安置在小馬達的軸心上。

建築物放在不同材質的地板，只要打開馬達，旋轉葉片會產生如地震般的振幅。再從架設的雷射台上，觀察雷射光對準建築物鏡片反射在螢幕上光點的變化。並以單眼相機拍攝下來，加以記錄和描繪。同時也可以光纖對準此變化，傳輸圖像至監視螢幕。

### 1、不同半徑（等寬不同長度）旋轉葉片的振幅觀測：

#### (1) 實驗設計：

將方格紙貼在塑膠瓦楞板上，裁剪成：寬 1 公分、長分別為半徑 1 公分、2 公分、3 公分、4 公分、6 公分長方形的旋轉葉片。分別安置在小馬達的軸心上。打開馬達，觀察雷射光對準建築物鏡片反射在螢幕上光點的變化（螢幕與反射距離 2 公尺）。



#### (2) 推理與假設：

我們認為旋轉葉片轉動時，半徑愈大，產生的離心力也愈大，因此建築物振幅會更明顯。

#### (3) 控制變因：

旋轉葉片固定寬度 1 公分，操作五種不同半徑的長度。並以單眼相機拍攝下來，並且貼上方格紙，以利記錄和描繪。同時也可以光纖對準此光桌，傳輸圖像至監視螢幕。



#### (4) 實驗結果：

寬度 1 公分	寬度 1 公分	寬度 1 公分	寬度 1 公分	寬度 1 公分
半徑 1 公分	半徑 2 公分	半徑 3 公分	半徑 4 公分	半徑 6 公分
面積 2 平方公分	面積 4 平方公分	面積 6 平方公分	面積 8 平方公分	面積 12 平方公分
				
				
光桌像眼睛，中間眼球明亮約 0.2cm。	光桌像眼睛，中間眼球明亮約 0.2cm。	光桌像眼睛，中間眼球明亮約 0.2cm。	光桌像眼睛，中間眼球明亮約 0.2cm。	光桌像眼睛，中間眼球明亮約 0.2cm。

#### (3) 心得與討論：

實驗結果振幅幾乎一樣，與我們的假設明顯有出入：我們發現旋轉葉片因寬度固定 1 公分，在馬達軸心旋轉的結果，實際上都是一個直徑 1 公分的圓形，面積太小（重量輕），產生的振幅相當有限。我們在討論振幅是否跟旋轉葉片的面積大小、或旋轉後圓的面積大小有關呢？如果把旋轉葉片面積擴大，振幅會有什麼變化呢？

#### 2、面積擴大振幅的觀測：



##### (1) 實驗設計：

將方格紙貼在塑膠瓦楞板上，裁剪成：長 12 公分、寬分別為 1 公分、1.5 公分、2 公分、2.5 公分、3 公分、4 公分長方形的旋轉葉片。分別安置在小馬達的軸心上。打開馬達，觀察雷射光對準建築物鏡片反射在螢幕上光點的變化。並以單眼相機拍攝下來，加以記錄和描繪。

##### (2) 推理與假設：

我們的假設：旋轉葉片寬度呈倍數增加，面積相對放大許多，旋轉出來的圓形也更大！產生的離心力會使振幅更為明顯。

**(3) 控制變因：**

旋轉葉片控制同樣長度 12 公分（即半徑長度 6 公分），寬度則逐次增加，使旋轉葉片面積成倍數擴張，循序觀測旋轉葉片面積與振幅大小有否相關？

**(4) 實驗結果：**

半徑長度 6 公分	半徑長度 6 公分	半徑長度 6 公分	半徑長度 6 公分	半徑長度 6 公分
寬度 1 公分	寬度 2 公分	寬度 2.5 公分	寬度 3 公分	寬度 4 公分
面積 12 平方公分	面積 24 平方公分	面積 30 平方公分	面積 36 平方公分	面積 48 平方公分
				
				
與雷射原點不相上下焦點圓明亮約 0.2cm。	焦點成扁圓形兩端拉長約 1cm 明亮周圍有光暈。	焦點扁圓明亮，向兩端拉長約 1.5cm 周圍有光暈。	焦點扁圓明亮，向兩端拉長約 3cm 周圍有光暈。	焦點扁圓明亮，向兩端拉長約 4cm 周圍有光暈。

**(5) 心得與討論：**

由上述的研究發現：旋轉葉面積越大、反射光桌振幅面積也越大！如果旋轉葉面積相同，而形狀不同，振幅是否會受到影響呢？

**3、旋轉葉片面積相同，而形狀不同，振幅是否有變化？：**

**(1) 實驗設計：**

將方格紙貼在塑膠瓦楞板上，裁剪成面積相同的三組：1 公分\*12 公分，2 公分\*6 公分，3 公分\*4 公分，長方形的旋轉葉片。並找出幾何中心點，分別安置在小馬達的軸心上。打開馬達，觀察雷射光對準建築物鏡片反射在螢幕上光點的變化。（螢幕與反射距離 2 公尺）。並以單眼相機拍攝方格紙的光桌，再電腦螢幕放大影像，進一步比較振幅的大小。



**(2) 推理與假設：**

上述三組旋轉葉片雖然面積相同，但因形狀不同，我們認為在軸心轉動時，如果產生的圓形半徑愈大，產生的離心力也會愈大，因此振幅會較明顯。

**(3) 控制變因：**

為避免重心不穩，採取旋轉葉片對角線交叉的方法，找出幾何中心點，進而在小馬達的軸心上，觀察三種不同形狀所旋轉出來的圓形大小為何？

**(4)、實驗結果：**

控制不變的因素	面積 12 平方公分	面積 12 平方公分	面積 12 平方公分
操作可變的因素	1 公分*12 公分	2 公分*6 公分	3 公分*4 公分
實驗動態照片			
圓形直徑觀察	1 公分	2 公分	3 公分
振幅觀測			
結果說明	焦點圓形明亮約 0.2cm，兩端有點狀光暈。	焦點成扁圓形兩端拉長約 0.6cm 明亮周圍有光暈。	焦點成扁圓形兩端拉長約 0.7cm 明亮周圍有點狀光暈。

**(5) 心得與討論：**

三組長寬不同的組合，面積雖然相同，但旋轉後，分別形成三個不同大小的圓形（直徑 1、2、3 公分、），以第一組葉片直徑 1 公分，振幅最小。再次證驗我們的假設是正確的。這如同家裡面的脫水機，衣服放的很鬆散不集中、重心不穩，振幅及聲音就愈大的道理是一樣的！旋轉葉片重心越穩定，會影響振幅的大小嗎？

**4、 旋轉葉片重心穩定與否？和振幅之大小有關嗎？**



**(1) 實驗設計：**

將方格紙貼在塑膠瓦楞板上，裁剪成右上圖不對稱的五組：分別是 6—5 公分、6—4 公分、

6-3 公分、6-2 公分、6-1 公分，再和對稱的 6-6 公分作比較。分別安置在小馬達的軸心上。打開馬達，觀察雷射光在螢幕上光點的變化。並以單眼相機拍攝方格紙的光桌，透過電腦螢幕放大影像，進一步觀測，比較振幅的大小。

### (2) 推理與假設：

我們的假設：旋轉葉片安置在小馬達的軸心上。如果兩邊不一樣長，可能會造成轉動的不順暢，就像我們玩竹蜻蜓一樣，兩邊如一長一短，無法飛翔，而且搖搖晃晃很快的掉下來！

### (3) 控制變因：

旋轉葉片重心的長度控制為 6-6 公分，逐次遞減一公分，會造成槓桿的失衡，重心的不對稱；循序操作五組不對稱的旋轉葉片與振幅大小有否相關？

### (4) 實驗結果：

6-6 公分	6-5 公分	6-4 公分	6-3 公分	6-2 公分	6-1 公分
					
					
焦點圓形明亮約 0.2cm，兩端有點光暈。	焦點成一字形明亮，向兩端拉長寬約 2.5*1cm 周圍有光暈。	焦點成一字形明亮，向兩端拉長寬約 3*1cm 周圍有光暈。	焦點成 8 字形明亮，向兩端拉長約 4*1cm 周圍有光暈。	焦點成 8 字形明亮，向兩端拉長約 5*1cm 周圍有光暈。	焦點成 8 字形明亮，向兩端拉長約 6*1cm 周圍有光暈。

### (3) 心得與討論：

由實驗結果：我們發現旋轉葉片愈不對稱，重心愈不穩，由「一字形」變化為瘦長的「8 字形」。振幅非常的大，這也說明了為什麼砂石車高速通過馬路或碰到橋樑有坑洞時，為什麼感覺像地震般的震撼！我們在想建築物如果處在不同材質的地基，振幅是否受到影響呢？

## 5、不同地基材質的振幅觀測：

### (1) 實驗設計：

不同地基材質的實驗設計：依彈性、硬度、鬆軟度、取乳膠皮、玻璃、河砂、塑膠瓦楞板等四種材質。將建築物實驗模型置於這四種不同地基材質之上。取半徑長 6 公分、

寬為 1 公分之長方形旋轉葉片。安置在小馬達的軸心上。打開馬達，觀察雷射光對準建築物鏡片反射在螢幕上光點的變化。

#### (2) 推理與假設：

我們認為乳膠皮極富彈性，旋轉葉片轉動時，會產生離心力，帶動乳膠皮上下跳動，因此會比其他三種材質的振幅來得大。

#### (3) 控制變因：

控制不變的因素，相同建築物的實驗模型，操作四種可變的因素－不同地板材質。

#### (4) 實驗結果：

地基材質	乳膠皮	玻璃	河砂	塑膠瓦楞板
特性	彈性佳	硬度高光滑	鬆軟會下陷	軟硬彈性適中
實驗照片				
振幅觀測				
結果說明	焦點圓形約 0.2cm 明亮兩端有點光暈。	焦點圓形明亮約 0.3cm 兩端有點光暈。	焦點近蛋圓形周圍光暈拉長約 0.7cm	焦點圓形約 0.2cm 明亮兩端有點光暈。

#### (5) 心得與討論：

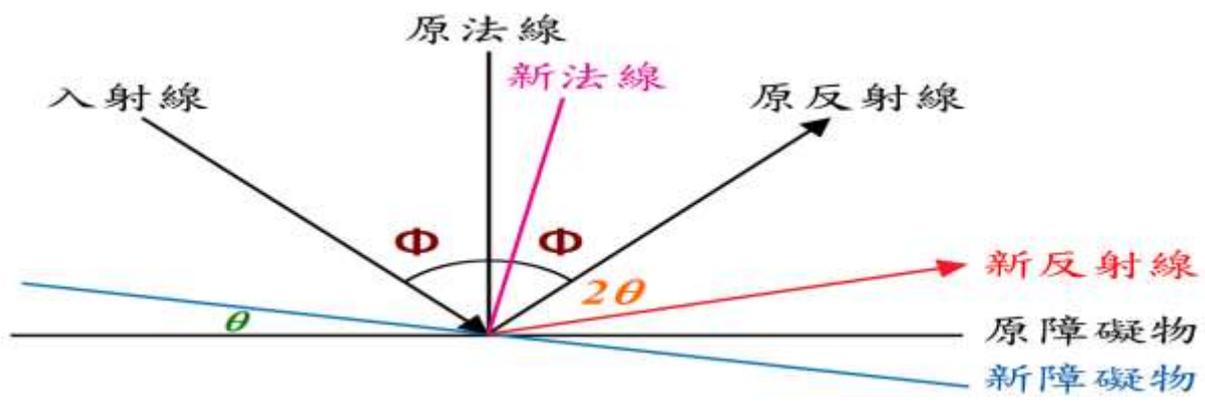
實驗結果我們發現：乳膠皮雖然極富彈性，旋轉葉片轉動時，光點成波狀似的上下跳動，但 30 秒後焦點逐漸穩定，和玻璃、塑膠瓦楞板振幅差不多，振幅都很小，而以河砂振幅最大，因為河砂無法吸收振幅。

#### (四) 原理再應用：

1、經由上述五項影響震幅變因的控制實驗，我們深深體會牛頓第一運動定律「靜者恆靜、動者恆動」的道理。也就是建築物與雷射筆皆靜止不動時，反射的焦點是固定在投射板螢幕的一個點上。假設建築物（含鏡面）受外力影響震動時，或者是雷射筆本身移動時，反射的

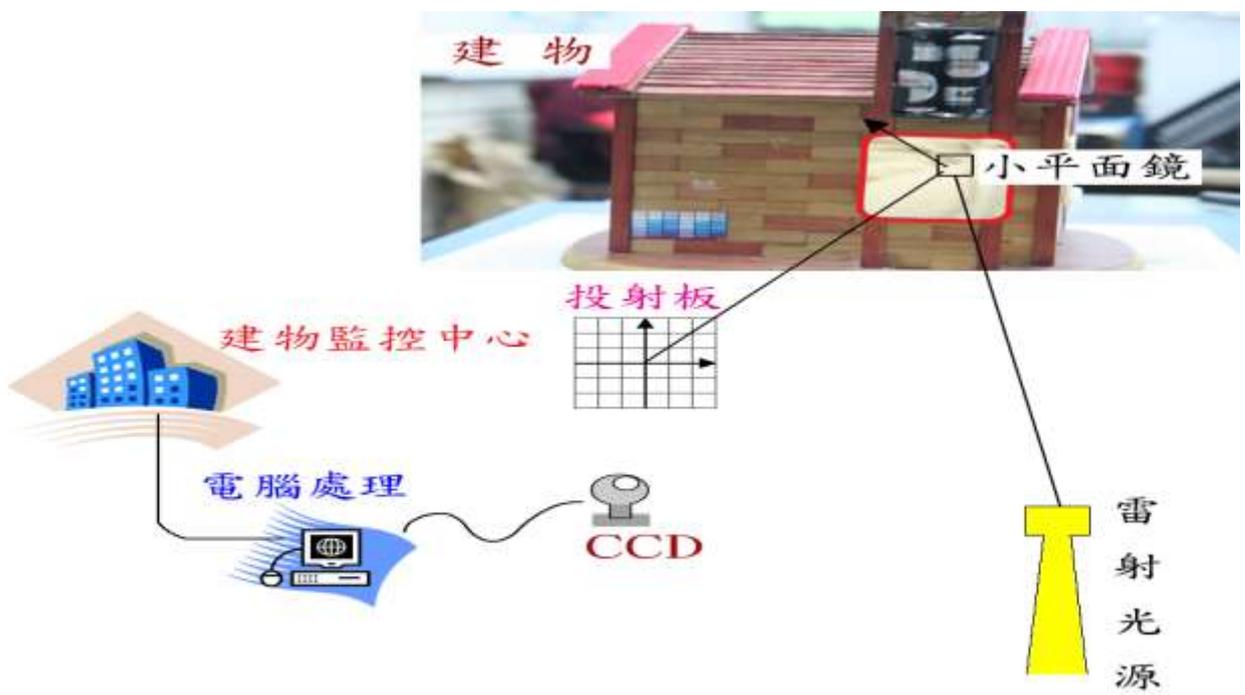


焦點  
一步  
入射  
  
跟著  
時鐘



這就是「四兩撥千金」的奧妙，我們稱他為「光學槓桿原理」，尤其當投影板距離入射點愈遠時，原反射線和新反射線在投影板上的投影位置差距將會愈大！

(五) 創意構想與設計：



## 柒、研究結果與結論

- 一、由研究問題一：我們終於了解『滿天星』的構造與原理：透過手電筒的照射，光線通過彩色濾光片，再經由光纖細絲群聚彩光於端頭。
- 二、由研究問題二：我們發現同樣容積的水又要比空氣及冰導光好。而混濁度愈高的水，愈不透明，其導光度愈差。因此，水是最便宜、最親近我們的導光材質。
- 三、由研究問題三：觀察可透光的物質時，可以看見光線會從觀察物的側面發散出來，這是光線折射的結果。而且在末端看到明亮的光點，是由於光線在前進時，不斷進行全反射的結果。而光源的遠近會影響透光的程度，光源愈接近觀察物透光度愈好，愈遠則愈差。
- 四、由研究問題四：我們發現光會在光纖彎曲轉折處形成熱點，並轉換為熱能散失，光線傳輸的距離也會因此而縮短。光纖截斷處愈多或破損，端點的亮光逐漸暗淡。在銜接處可以看到半透明塑膠瓦楞紙側面透出微微的黃光。
- 五、由研究問題五：了解光纖具備雙向傳輸的功能，更多的光纖集束其功能愈多、用途也更廣。我們也發現光纖對不同顏色的反應距離，以乳白色最長我們推理是白色對光線的反射較其他顏色強。因此夏天穿白色衣服可避免吸收過多的陽光。
- 六、由研究問題六：具備導光效能的水與光纖應用於日常生活中：有照明、感測與通訊三大用途。高雄愛河越夜越美麗即是利用人的親水性與科技光纖的結合體！
- 七、由研究問題四、五、六、七的研究成果：建築物的結構安全，最重要的是建築物的「橫」樑及「直」柱結構的安全，因此，光纖的佈置應以橫樑及直柱為主，透過光纖的導光，光線直行無礙端頭露出**亮光**，光線直行受挫，轉折銜接處燈光**黯淡**！
- 八、由研究問題八的研究成果：實驗構思一引用研究問題五的成果：光纖端頭接觸各種不同顏色，產生不同的反應距離。進一步設計如商場購物的「顏色條碼」，應用在建築物移位偵測的另類思考。也進而促進同學們的實驗構思二：光線「直線進行」、「全反射」、「槓桿原理」的二度應用，爲了建構我們偵測的王國，把家裡面的建物模型、鏡子、雷射筆都帶來了！
- 九、爲偵測五項影響振幅變因的控制實驗，所有的工具小馬達、雷射筆、單眼相機、筆記型電腦…都用上了，雖然耗費太多的時間和心力在裡頭，但我們學會了觀測、推理、假設、操控變因、證驗結果！我們不覺得苦，因爲我們樂在其中。

## 玖、參考資料：

- 一、書籍－黃忠偉 中山文庫-科技系列/光電漫談。
- 二、書籍－小牛頓科學百科：小牛頓出版股份有限公司。
- 三、網頁-認識光纖 <http://www.bud.org.tw/Hu/essay45.htm>
- 四、網頁-光纖是什麼 [http://pei.cjrh.tc.edu.tw/chem\\_30\\_7.htm](http://pei.cjrh.tc.edu.tw/chem_30_7.htm)
- 五、網頁-雷射光的特性 <http://www2.nsysu.edu.tw/optics/laser/lasercha.htm>
- 六、網頁-雷射光的原理和應用 <http://tw.knowledge.yahoo.com/question>

## 拾、感謝：

- 一、永鉅電機公司創辦人接受本校科展師生參觀訪問。
- 二、萊震光纖科技公司工程師接受本校科展師生參觀訪問。
- 三、瑞文光學精品專賣有限公司提供雷射應用產品目錄。
- 四、感激中小學科展評審委員犧牲時間陪孩子們成長。

- 二、書籍—小牛頓科學百科：小牛頓出版股份有限公司。
- 三、網頁-認識光纖 <http://www.bud.org.tw/Hu/essay45.htm>
- 四、網頁-光纖是什麼 [http://pei.cjrh.tc.edu.tw/chem\\_30\\_7.htm](http://pei.cjrh.tc.edu.tw/chem_30_7.htm)
- 五、網頁-雷射光的特性 <http://www2.nsysu.edu.tw/optics/laser/lasercha.htm>
- 六、網頁-雷射光的原理和應用 <http://tw.knowledge.yahoo.com/question>

## 拾、感謝：

- 一、永鉅電機公司創辦人接受本校科展師生參觀訪問。
- 二、萊震光纖科技公司工程師接受本校科展師生參觀訪問。
- 三、瑞文光學精品專賣有限公司提供雷射應用產品目錄。
- 四、感激中小學科展評審委員犧牲時間陪孩子們成長。

【評 語】 080836 光纖及雷射導光在建築物振幅及結構安全  
可行性之探討

本作品以市售的光纖，探討光在水，冰塊及空氣中之傳播，瞭解反射，雙向傳輸等原理與功能，並應用光纖的導光特性偵測建築物內部的變位、移動等性質，小朋友的構思活潑，試驗項目多樣，但若能針對一、二項深入研究，比較能得到實用性之成果。