

中華民國第 53 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

080816

一舉一動，光知道！

—探討雷射光的掃描原理與應用

學校名稱：臺北市士林區天母國民小學

作者： 小六 陳律臻 小六 楊家蘊 小六 張允欣 小六 簡伊晨	指導老師： 羅文杰 鄭蕙蘭
---	-----------------------------

關鍵詞：雷射光、立體掃描、測震儀

摘 要

五年級學到透鏡單元時，對雷射一字光的實驗器材感到興趣，在拆解並隨意掃描後，發現光對物體的反應時突發奇想，看看能否自製立體掃描器？於是便針對物體表面的顏色、高度、弧度與震動情形，對各角度與型態一字光投射的影響，在設計與進行實驗後發現：

- 1.物體表面的顏色、高度、弧度與震動，都會對不同形態的一字光投射造成影響
- 2.利用一字光，對物體顏色與高度的反應，發明了立體掃描器與光測滑鼠尺
- 3.利用一字光，對反光物體弧度與震動的反應，發明了曲面弧度測量器與三維測震儀

沒想到利用簡單的雷射一字光，對不同型態物體的掃描實驗，不僅解決了我們對掃描原理的疑惑，過程中還驚喜連連，意外設計出許多有趣的發明，真可說是小兵立大功呢！

關鍵詞：雷射光、立體掃描、測震儀

壹、研究動機

五年級自然課的「為什麼眼鏡可以矯正視力」單元中，我們學到各種光的現象與原理，也對實驗用的雷射一字光感到好奇，沒想到透過特殊設計的透鏡，也能將一束光變成細薄的一字光，就像條碼機的光，一掃便知內容般的神奇，就在斜著掃描時我們發現光的線條會隨立體模型表面的起伏而彎曲。接著便靈光乍現的想到，要是能夠利用雷射光的線條對立體表面的反應，進行探討與應用，說不定會有意想不到的火花產生，甚至還能幫我們設計出有趣又實用的工具來！

貳、研究目的

- 一、探討物體表面的各種型態，對雷射一字光線條的影響。
- 二、利用雷射光線條對物體高度的反應，設計立體掃描器。
- 三、利用雷射光線條對物體曲面的反射，設計曲面測量器。
- 四、利用雷射光線條的光槓桿原理，設計掃描式的測震儀。
- 五、利用雷射光線條測量滑鼠位移座標，設計光測滑鼠尺。
- 六、改良並提高自製雷射光線條測定儀器的精度和靈敏度。

參、研究設備及器材

一、雷射一字光實驗組

(一)自製檢測工具






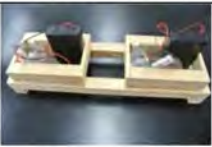


- 1.立體掃描器：雷射光(一字×2)，活動軌、支撐架
- 2.光測滑鼠尺：雷射光(一字)，滑鼠、電腦、滑軌、固定架
- 3.曲面測量器：雷射光(一字×2)、支撐架、弧形投影幕、方格紙，活動軌
- 4.三維測震儀：雷射光(十字、點狀)、支撐架、方格紙、平面投影幕、活動軌

(二)測試模型組










- 1.立體模型：珍珠板、方格紙、噴漆(紅、白、透明亮光)
- 2.滑動底板：珍珠板、滑軌、木座底板
- 3.震動底板：三維震動馬達、馬達固定架、避震彈簧、珍珠板、木座底板

二、實驗儀器：數位相機、筆記型電腦、電腦軟體(Excel、小畫家)






三、自製檢測工具組件材料

名稱	組 件 名 稱				
立體掃描器	 掃描器外觀	 雷射掃描模組	 掃描組活動軌	 掃描器主體	 支撐架
光測滑鼠尺	 滑鼠尺外觀	 雷射光定位組	 滑鼠	 支撐固定架	 電腦
曲面測量器	 測量器外觀	 掃描器主體	 曲面反射投影幕	 曲面測量組	 支撐架
三維測震儀	 測震儀外觀	 雷射光測震模組	 震動反射投影幕	 投影幕活動軌	 支撐架

四、測試模型組

立體模型	 凹面盆地模型	 凸面山地模型	 臺灣立體模型	 大屯山立體模型	 模型底板
滑動底板	 滑動板	 拉出滑動板	 珍珠板	 木座底板	 滑軌
震動底板	 馬達震動組	 馬達控制組	 震動板	 吸震彈簧	 木座底板

五、實驗儀器與軟體

名稱	 數位相機	 電腦	 電腦軟體 Excel	 基線修正演算法	 高度修正演算法
----	---	---	---	---	--

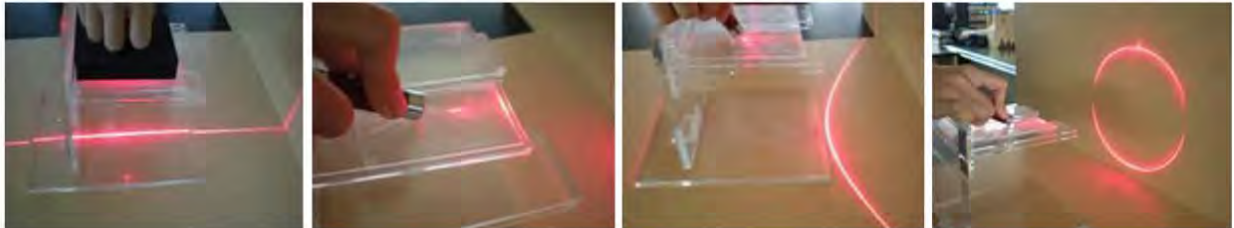
肆、研究過程與方法

一、儀器自製流程

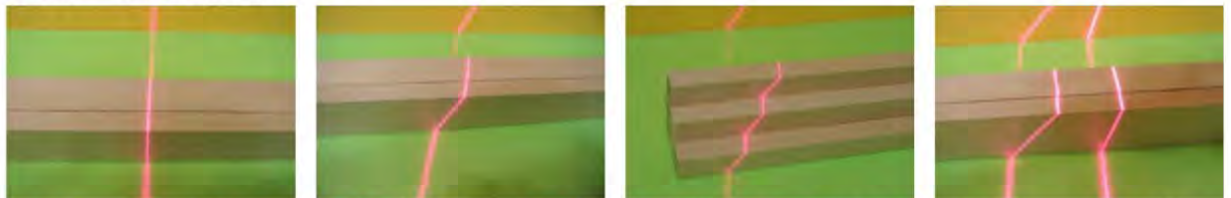
(一)立體掃描器的設計與製作

1. 拆解並分析雷射一字光的原理後發現

- (1)雷射光穿過透明圓柱體時，會形成一字光的線條
- (2)光磚柱體向前傾，線條兩側會往上彎，後傾則下彎
- (3)光磚越傾斜，兩側彎曲更明顯，甚至連接成圓形
- (4)光磚繼續傾斜，圓形光線會慢慢縮小



2. 雷射一字光掃描發現



直射，線條沒彎曲 傾斜，光線條彎曲 同角度，越高越彎曲 同高度，越斜越彎曲

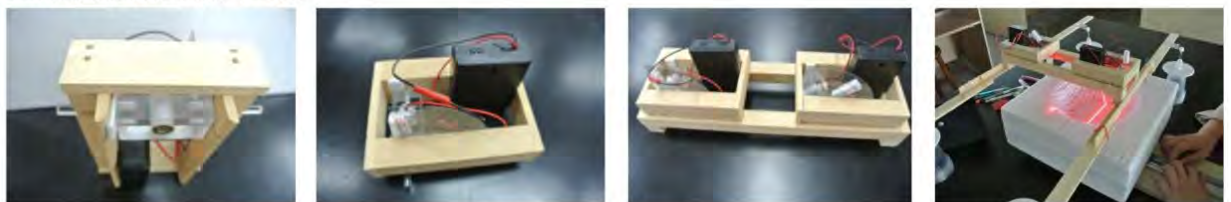
3. 歸納：雷射一字光照射物體時，線條彎曲度受到

- (1)照射角度：角度越斜，線條越彎曲
- (2)物體高度：高度越高，線條越彎曲

4. 應用：利用斜射一字光照射高低不同表面時，線條因彎曲所產生的距離差，就代表線條下方物體的高度。



5. 立體掃描器製作過程



固定雷射光頭→ 組裝雷射光模組→ 完成立體掃描器→ 測試立體掃描器

(二)光測滑鼠尺的設計與製作

原理應用：利用雷射一字光可以遠端定位，測量時連帶移動滑鼠，便可在電腦(小畫家)留下軌跡線條，只要計算滑鼠游標移動的像素，便可反推測量的長度

製作過程



雷射光結合滑鼠→



雷射光可瞄準定位→



移動滑鼠可測距→

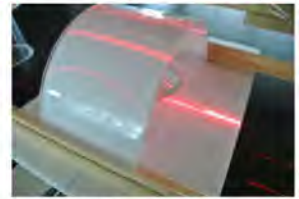
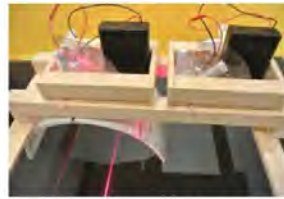
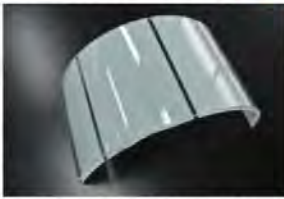


連接電腦可精算距離

(三) 曲面測量器的設計與製作

原理應用：利用半圓形投影幕，收集一字光反射在物體上線條變化，可反推曲面角度

製作過程



將半圓弧形投影幕 → 裝在立體掃描器上 → 便完成曲面測量器 → 測試曲面測量器

(四) 三維測震儀的設計與製作

原理應用：利用投影板收集反射在震動平面上，雷射十字光(X、Y)與圓形光(Z)的線條，由線條擺動幅度，可反推三個方向的震動程度

製作過程



十字與點狀雷射頭 → 固定在投影板上 → 由圓棒控制圓形光 → 測試三維測震儀

(五) 三維震動平台的設計與製作

原理應用：將震動馬達以 X、Y、Z 軸方向固定，透過調速器便可分析三個方向的震動

製作過程



用塑鋼土固定螺帽 → 完成震動馬達 → 可調三方向的震動 → 完成震動平台

二、自製儀器照片



1. 立體掃描器



2. 光測滑鼠尺



3. 曲面測量器



4. 三維測震儀



5. 三維震動平台

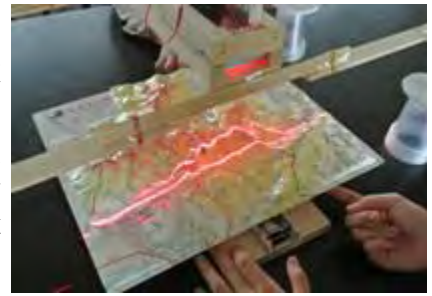


6. 滑動板

三、變項探討與實驗設計

測試器材時發現像平面**顏色**、**反光度**、曲面**弧度**、**高度**等會影響**一字光線**的**投射**，有時變項間還會相互影響。

為了解立體模型**表面**，對雷射光投射有何影響，便要對這些變項進行探討，希望透過實驗設計，能瞭解並掌握設計立體掃描器的關鍵技術。

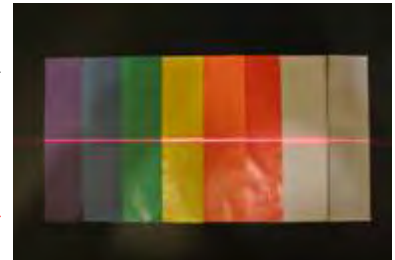


(一) 物體表面**顏色**和**反光度**，對一字光投射的影響

操作：將紅色的雷射一字光，分別投射到**亮面**及**平光**的**銀、白、紅、橙、黃、綠、藍、紫色**的色紙上，觀察並記錄雷射一字光，對各色亮面及平光的反應

記錄：雷射一字光投射的**亮度**、**清晰度**與**反光度**

分析：根據一字光投射在色紙上反應，找出**適合觀察**的**顏色**與方便記錄**反射角度**的模型規格



(二) 物體**垂直高度**的變化，對不同**角度**一字光**偏移**的影響

操作：將雷射一字光以 **15°~75°(間隔 15°)**，分別投射高度 **0、2、4、6、8、10 (cm)**模型上，測量一字光偏移情形

記錄：基線與高度線的**距離差**

分析：兩線的距離差會隨一字光投射角度而改變，角度斜(陡)距離差增加(縮小)，若找出**投射角度**與**垂直高度**關係，就能針對各種高度差的模型，調整適合的**投射角**



(三) 立體模型的**高度差**，對一字光**偏移**的影響

操作：將一字光線以 **1cm** 為單位，掃描盆地模型 **30*30*10 cm**，並以 **1cm** 為間隔，測量 **30 條**掃描光線**偏移**情形

記錄：基線與高度線的**距離差**

分析：由掃描 30*30cm 模型，從解析 **900 個**垂直**高度點**，以 Excel 的曲面圖來呈現掃描**立體圖**，並比較一字光**掃描**與**實際模型**的差別



(四) 物體曲面**角度**和垂直**高度**，對一字光線投射的**相互影響**

操作：比較**高度**為 **0 cm** 的鏡子，改變**角度(0~90°，間隔 10°)**與**平放**的鏡子，改變**高度(0~3cm，間隔 0.5cm)**，兩種一字光反射在投影幕的異同

記錄：雷射一字光反射到投影幕的**角度**

分析：物體曲面**角度**和**高度**，都會影響一字光反射角度，若能**修正**因**高度**產生的**誤差**，就可得到**正確**的**曲面角度**

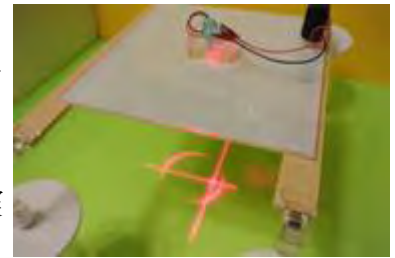


(五) 反光表面的**震動型態**對十字光投射的影響

操作：比較不同方向**一字光(X、Y、Z 軸)**，因物體震動，反射在投影幕上，一字光擺動幅度的異同

記錄：X、Y、Z 方向，雷射一字光**擺動的幅度**

分析：由 X、Y、Z 方向，三軸互相垂直的雷射一字光，對震動體**反射投影的幅度**，可分析**三種方向的震動情形**



四、根據雷射一字光實驗，訂定檢測的標準

(一) **垂直高度**：當掃描立體模型時

1. **高度測量線**：**45°斜射**的雷射一字光，會**隨模型高度偏移**

2. **基線**：**90°直射**的雷射一字光，線條形狀則**不變**

利用「**水平距離=垂直高度**」的關係，便可透過**表面兩線的距離差**，來測出模型內部**看不到的高度**。



(二) **曲面弧度**：掃描立體反光模型時，雷射一字光反射受到

1. **高度**：弧度相同，**高度越高**，反射到投影幕的**角度就越高**

2. **弧度**：高度相同，**弧度越陡**，反射到投影幕的**角度就越低**

而從**基線與高度測量線的距離差**，便可**修正高度所造成投影的角度誤差**，最後得到**真正的曲面弧度**。



(三) **震動幅度**：掃描震動反光模型時，雷射光線的反射可看出

1. **X 軸**：十字雷射**橫線**，反射到投影幕的**縱向震動幅度**

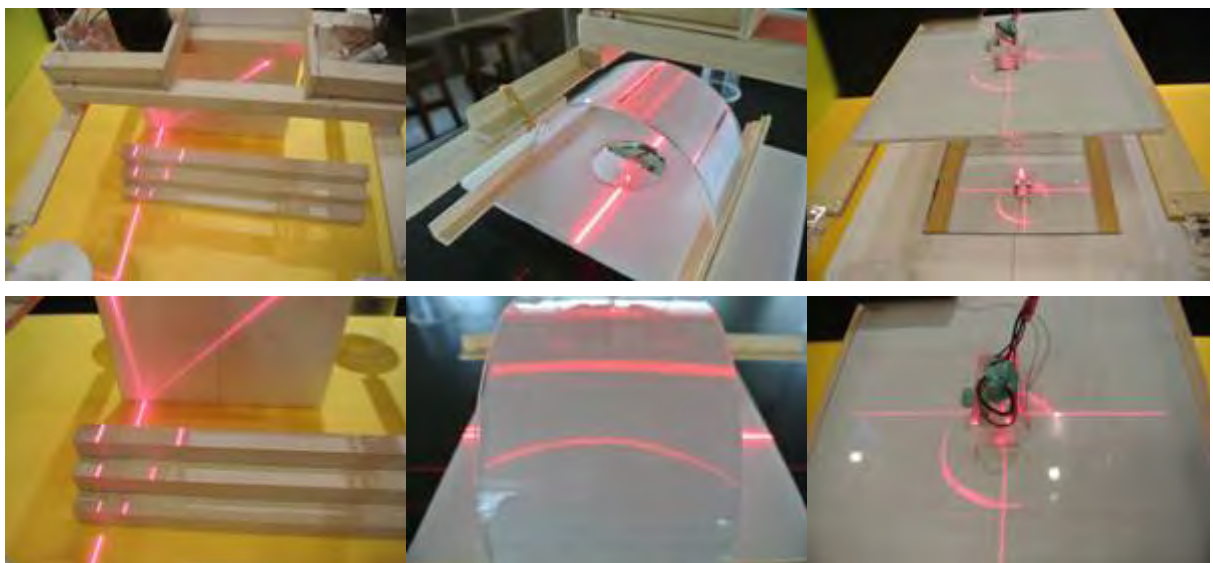
2. **Y 軸**：十字雷射**直線**，反射到投影幕的**橫向震動幅度**

3. **Z 軸**：**圓形**雷射線，反射到投影幕的**垂直震動幅度**

記錄投影幕上反射的**十字與圓線**，便可知**三方向震動**。



五、自製**立體掃描**、**曲面弧度**與**三維測震**實測照片



垂直高度測量

弧面角度測量

震動幅度測量



伍、研究結果

實驗一：物體表面顏色和反光度對一字光投射的影響

說明：將紅色的雷射一字光，分別投射到亮面及平光的銀、白、紅、橙、黃、綠、藍、紫色的色紙上，觀察並記錄雷射一字光，對各種亮面及平光色紙，在亮度、清晰度與反光度的比較

結果：

表一：物體表面顏色和反光度對一字光投射的影響

質地	投射效果	色紙顏色								實測照片							
		銀	白	紅	橙	黃	綠	藍	紫	銀	白	紅	橙	黃	綠	藍	紫
平光紙	亮度	8	2	1	4	3	5	6	7								
	清晰度	8	2	1	3	4	5	7	8								
	反光度	3	1	2	4	5	6	7	8								
亮面紙	亮度	8	1	2	3	3	5	6	7								
	清晰度	8	2	1	4	3	5	7	8								
	反光度	1	2	3	5	4	6	7	8								

Ps:順序比較，以 1 最高，到 8 最低表示

發現：

- 紅色的雷射一字光，投射到物體的效果
 - 亮度：紅色(平光)與白色(亮面)最好
 - 清晰度：紅色 > 白色
 - 反光度：白色(平光)與銀色(亮面) > 白色(亮面)與紅色(平光)
- 雷射光對紅色系(紅、橙、黃)與白色的投射效果較好，而藍色系(藍、紫)較差
- 由平光或亮面紙顏色的比較看出，和雷射光顏色(紅)接近的色紙，效果投射越好
- 同色系顏色可提高投射的亮度與清晰度，而反光效果則受到表面平滑度的影響

思考：

- 投射到物體的雷射光，亮度高受到周圍光線干擾就小，清晰則有利精確判讀位置，而反光度則可用於測量物體表面角度或震動幅度。但不是所有的模型表面都適合紅光雷射的投射，當掃描太暗或不清楚時，便可用噴漆噴成方便觀察的亮光或紅、白色系。
- 但採適合雷射光交叉投射的模型顏色，可測出模型的垂直高度，但要是模型的

- 高低落差大，使高度測量線跑出模型外，無法與基線交叉測高度(左)
- 高低落差小，使高度測量的靈敏度降低，無法精準測出細微變化(右)



要是調整高度測量線的投射角度，雖然能配合不同高低落差的模型，但可能造成無法從距離測出高度的問題，除非找出各投射角度的測量線，對應高度所產生的距離差？

實驗二：物體垂直高度的變化對不同角度一字光偏移的影響

說明：

- 1.將雷射一字光以 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 五種角度，分別投射到高度 0 、 2 、 4 、 6 、 8 、 10 (cm) 的模型上，測量基線與高度線的距離差
- 2.調整並記錄投射角度，使基線與高度線的距離差，剛好等於高度的 0.5 、 1 與 2 倍

結果：

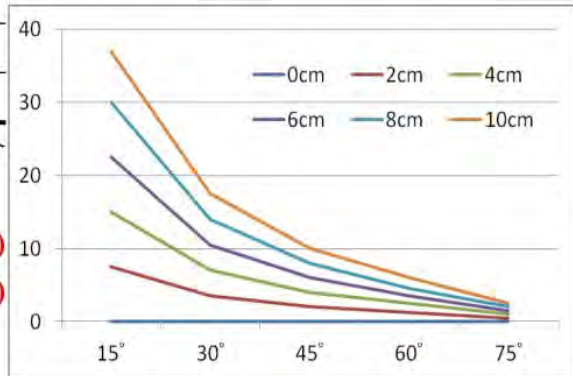
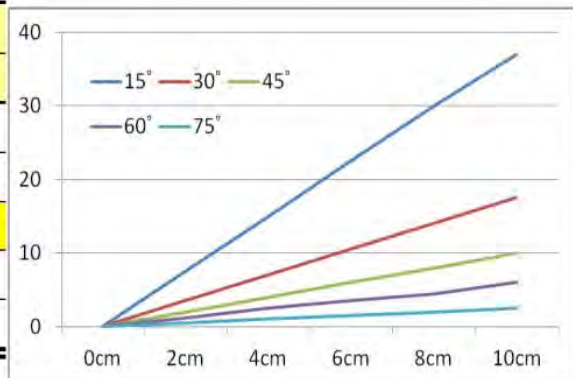
表二：物體垂直高度變化對光投射角度的影響

投射角度		模型高度(公分)					
		0	2	4	6	8	10
固定 角度 距離	15°	0	7.5	15	22.5	30	37
	30°	0	3.5	7	10.5	14	17.5
	45°	0	2	4	6	8	10
	60°	0	1.2	2.5	3.5	4.5	6
	75°	0	0.5	1	1.5	2	2.5
高度 倍數	$63.5^\circ(x0.5)$	0	1	2	3	4	5
	$45^\circ(x1)$	0	2	4	6	8	10
角度	$27^\circ(x2)$	0	4	8	12	18	20

距離差單位：公分

發現：

- 1.高度相同，**投射角越大(小)**，**距離差就越小(大)**
- 2.投射角相同，**高度越高(低)**，**距離差就越大(小)**
- 3.**投射角對距離差的影響**，比**高度**明顯
- 4.投射角 45° 時，距離差和高度**相同**； 63.5° 時，為高度的一半； 27° 時，為高度的**兩倍**
- 5.可利用基線與高度線的距離差，來測量模型內看不見的垂直高度
- 6.投射**角度小**，距離差雖然明顯，不易掃描**高度變化大**的模型
- 7.投射**角度大**，距離差距不明顯，不易解析**高度變化小**的模型



圖：物體高度與光投射角度的相互影響

思考：

- 1.利用一字光投射在模型**表面**的**距離差**，便可測量到**內部**看不見的**高度**變化，加上**投射角**對**距離差**的影響，比**高度**明顯，所以就算起伏程度再大(或不明顯)，都可以透過**改變投射角度**，來調整**掃描的靈敏度**

- (1)**低解析掃描**：高低變化**大**，投射角 63.5° ，距離差為 **0.5 倍高度**(左)
- (2)**高解析掃描**：高低變化**小**，投射角 27° ，距離差為 **2 倍高度**(右)



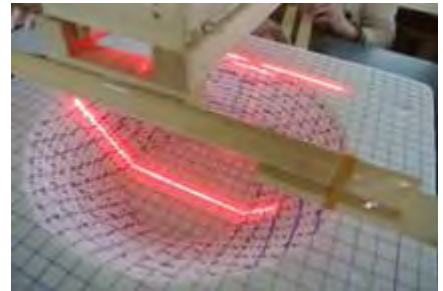
實驗三：立體模型的高度差對一字光偏移的影響

說明：

- 1.將雷射一字光以 **1cm** 為單位，掃描盆地與山地模型 **30*30*10 cm**，並以 **1cm** 為間隔，測量 30 條掃描一字光偏移情形
- 2.將 **900 個**測量結果，以 30 欄*30 列的排列方式，輸入到 Excel 的表格中，以內建的統計圖表中的**曲面圖**呈現，最後再調整到最佳視角後輸出

結果：

- 1.比較掃描曲面圖與盆地模型的差別
 - (1)掃描**垂直**邊緣及上部**平面**，與實際模型相同
 - (2)掃描盆地**斜面前後**，呈**前擠後拉**的不對稱變形
 - (3)掃描盆地**斜面左右**，呈**左、右對稱**的擠、拉變形
 - (4)掃描盆地**底部平面**，沒有產生變形
- 2.模型高度越高，掃描所需的**長度**也會增加
- 3.掃描時雷射一字光與模型**接觸角度**不同，便會產生不同的變形
- 4.**凹面盆地模型**與掃描結果



實際模型視角	同實際模型掃描視角	上方視角
橫側邊視角	側邊視角	上方視角等高線

5.利用基線與高度測量線掃描時

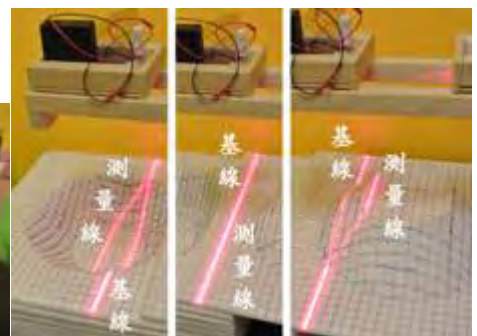
- (1)當**兩線交叉**時，表示掃描器水平定位**傾斜**，需調整支撐架高度，校正到重疊為止
- (2)掃描**平面**，當兩線**重疊**時表示掃描器**水平定位正常**
- (3)掃描**凹面**，高度線移到基線**前**，距離差(高度)為**負**
- (4)掃描**凸面**，高度線移到基線**後**，距離差(高度)為**正**

6.基線與高度測量線的相對位置可判斷地形

- (1)兩線**交叉、重疊**：
表示地形**左右傾斜**(左)
- (2)高度線**前、後移動**：
表示地形**下、上傾斜**(右)



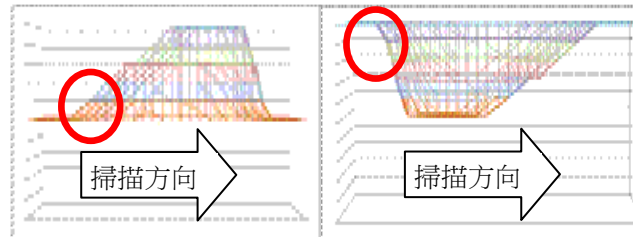
水平定位**傾斜**



掃描**凹面、平面與凸面**情形

7.掃描相同斜度的凸面模型時

- (1)基線與高度測量線的**前後**位置會**相反**
- (2)前後不對稱擠拉變形的**方向**會**相反**
- (3)斜面左右，呈對稱的擠、拉變形
- (4)垂直邊緣及上部平面，沒有產生變形



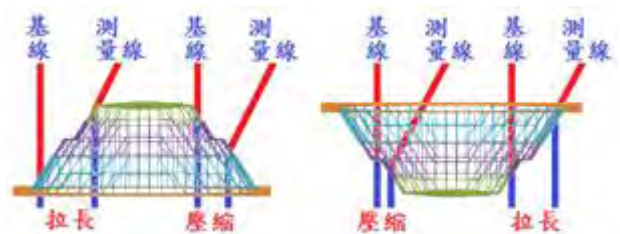
掃描凸面時前拉後擠 掃描凹面時前擠後拉

8.凸面山地模型與掃描結果

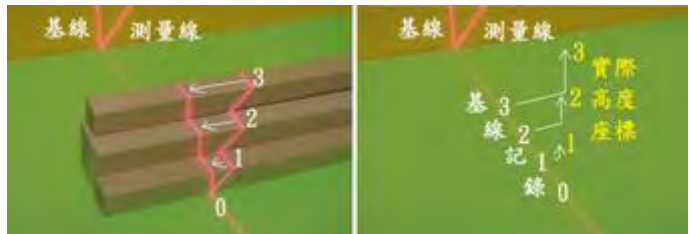
實際模型視角	同實際模型掃描視角	上方視角
橫側邊視角	側邊視角	上方視角等高線

思考：

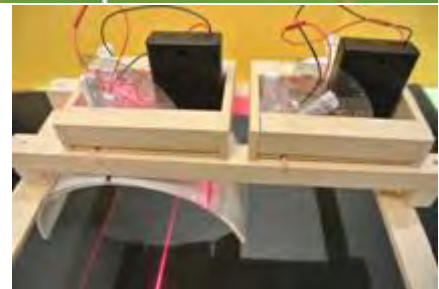
- 1.掃描時產生的擠拉變形，應該和高度測量線，與掃描斜面間的角度有關
 - (1)等於 45°時，不產生變形(垂直與水平面)
 - (2)大於 45°時，產生擠壓變形(凹面或下傾)
 - (3)小於 45°時，產生拉長變形(凸面或上傾)



- 2.掃描時高度測量線與基線不在同一位置(距離差)，但測量時卻以**基線座標**，記錄**高度測量線座標上的垂直高度**，所以必須再經過**座標修正轉換**，才能還原真正的立體形狀



- 3.但利用一字光交叉投射，只能測出模型的**垂直高度**，無法量出各高度點之間的**曲面弧度**。討論後發現，要是能測量到**反射**在模型上一字光的角度，就能反推出**曲面的弧度**，為了最小改裝的目的，便想到在現有掃描器結構的下方，加裝**半圓筒形投影幕**，希望我們設計的掃描器，也能具有測量**曲面弧度**的功能。



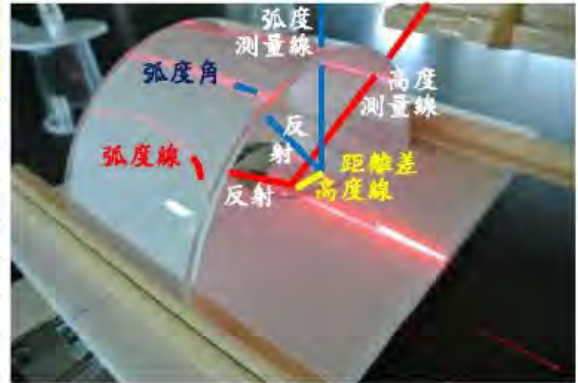
實驗四：物體曲面角度和垂直高度對一字光投射的相互影響

說明：比較高度為 **0cm** 的鏡子，改變**角度(0~90°，間隔 10°)**與**平放**的鏡子，改變**高度(0~3cm，間隔 0.5cm)**時，一字光反射在投影幕的異同

結果：

表四：曲面角度和高度對直射光(90°)的影響

曲面高度	曲面角度						增減
	0°	10°	20°	30°	40°	45°	
0cm	90	70	50	30	10	0	-90
0.5cm	90	71	52	33	14	4	-86
1cm	90	72	54	36	17	7	-83
1.5cm	90	73	57	40	20	11	-79
2cm	90	74	59	42	22	13	-77
2.5cm	90	75	61	44	25	17	-73
3cm	90	76	63	46	28	20	-70
增減	0	6	13	16	18	20	角度



Ps:1. **弧度測量**時**基線**便成為**弧度測量線**，反射到投影幕上便成為曲面的**弧度角**；**高度測量線**反射到投影幕上，則可看出曲面**弧線**的**形狀**。

2. 基線與高度測量線間的**距離差**，可測出曲面的**高度**；而兩線的**前後**位置，則可看出曲面的**凹凸**情形。

發現：

1. 曲面高度和角度，都會影響一字光反射的角度

(1) 曲面**高度**越**高(低)**，反射角度越**高(低)**

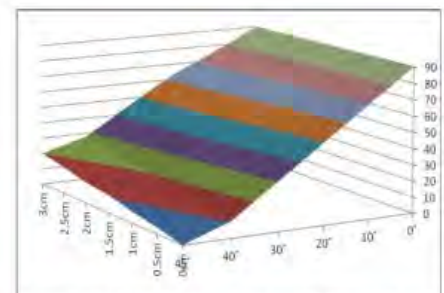
(2) 曲面**角度**越**大(小)**，反射角度越**低(高)**

(3) 曲面角度固定，增加高度可均勻**減緩**反射角度

(4) 曲面度固定，角度增加，反射角度降幅則**先快後慢**

2. **曲面角度**對一字光反射角度的影響，比**曲面高度**明顯

3. 受限於半圓型投影筒的設計，**直射**的**弧度角測量線**，可測**±45°**的範圍，而**斜射**的**高度測量線**(可看出弧面形狀)，則可測**-67.5°~+22.5°**的範圍



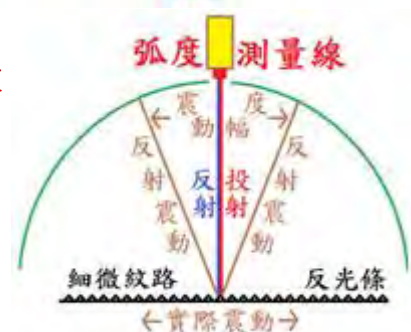
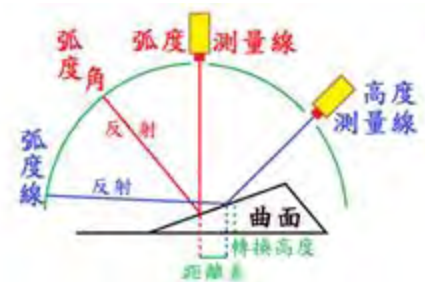
角度與高度對反射的交互影響

思考：

1. 由於曲面**高度**會**干擾**曲面**弧度**測量，而實驗已知高度影響的程度，加上所交叉出的**距離差**，剛好可推算出高度，正好可做為**修正高度誤差**的參考，再加上能找出**公式換算**的話應該會更方便

2. 實驗發現光線反射受曲面弧度影響很大，曲面弧度移動一點，馬上就反應在光線反射上。這讓我們覺得有趣：透過**掃描移動模型**時，**反射弧面**變化，所產生的**弧度線**來回晃動，應該就是反應出物體移動(**震動**)的情形。

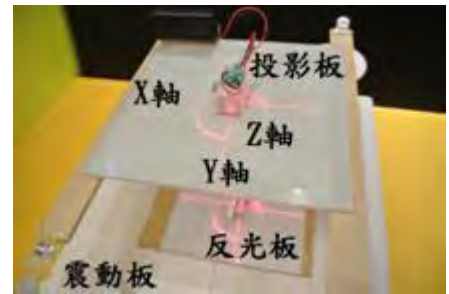
3. 於是我們突發奇想，大膽推論：要是將**條紋狀**的反光條貼在**震動體**上，利用雷射一字光對條貼上**細小弧面**，因**震動**使投影的**弧度線**產生來回晃動，由**幅度**可知**震動程度**。配合**震動方向**，應可設計出測量三向(X、Y、Z)震動的儀器。



實驗五：反光表面的震動型態對十字光投射的影響

說明：

- 1.將雷射**十字**與**圓形**光，對準不同表面形狀的反光物，根據投射效果，選出適合的**測震反應體**
- 2.將反應體固定在震動平台上，以十字與圓形光瞄準
- 3.調整震動平台下**X、Y、Z**軸向的震動馬達，從投射光的**震幅**，記錄**三個軸向**的震動情形



定義**投射效果**：

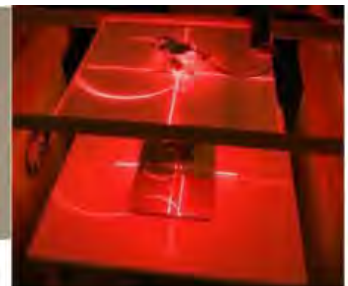
- 1.**縮放**程度：十字線正對反光弧面中心後，調整投影板**高度**，直到十字線與投影板大小**相同**時的高度，距離高(低)代表倍率小(大)
- 2.**擴散**程度：比較照射平面玻璃與測震反應體，兩者投射到投影板的十字**線條粗細**比率
- 3.**偏移**程度：比較十字線照射測震反應體，十字線**最大**與**最小擺幅**的比率
- 4.**靈敏度**：比較相同震動下，不同測震反應體，在投影板上線條的**最大擺幅**

結果：

- 1.物體表面形狀與反光，對光投射影響
 - (1)表面越**光滑平整**，投影效果越好
 - (2)**凹(凸)面**，會使一字光**縮小(擴散)**
 - (3)表面**弧度越大**，一字光移動越**靈敏**
 - (4)**體積小(大)**的反光面，**凸(凹)**面比**凹(凸)**面清楚



測震反應體與測試

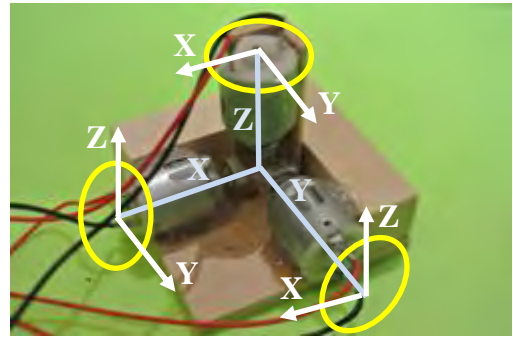


- (5)十字光中心點，要對準弧面最高(或最低)處，投影線條才不會扭曲
 - (6)表面紋路越大或不一致，投影線條變形的程度就越明顯
 - (7)表面顏色對投影的效果：**銀色 > 紅色 > 白色**
- 2.實際測震時考慮到方便與準確，希望能找出體積小、清楚、靈敏度高的反光物，測試的結果：**A > B > D > G > H > F > I > E > J**，根據結果選出**A、B、D、G**四種反光體，進行**測震清晰**與**靈敏度**實驗

表：物體表面的型態對光投射的影響

A 反光鏡凹面	B 反光鏡凸面	C 凹面反光鏡(小)	D 凸面反光鏡(小)	E 金屬鐵蓋
面積大、線條清晰	面積大、線條擴散	弧度緩、線條縮小	體積小、線條擴散	線條擴散不清
F 塑膠圓蓋	G 化妝品蓋(大)	H 化妝品蓋(小)	I 紅色反光貼條	J 花紋反光鋁板
線條不明顯	線條清晰、靈敏高	線條擴散、靈敏高	線條擴散不穩	線條不穩變形

- 由十字光對四種測震反光體的擺動可看出
 - (1) **X 軸** 方向震動，會使**縱向**與**圓形**光產生擴散
 - (2) **Y 軸** 方向震動，會使**橫向**與**圓形**光產生擴散
 - (3) **Z 軸** 方向震動，會使**縱向**與**橫向**光產生擴散
- 比對反射投影與震動馬達的擺動方向，證實測震反光體，能測出物體真正的**震動方向**，但實際的測震效果，則要根據定義的**投射效果**來判斷



表：測震反光體的型態對光投射的影響

測震 反光體	A 反光鏡凹面	B 反光鏡凸面	D 凸面反光鏡(小)	G 化妝品蓋(大)	
震源 方向	X 軸				
	Y 軸				
	Z 軸				

5.根據定義比較測震反光體，在**縮放**、**擴散**、**偏移**與**靈敏度**等投射效果

測震反光體	A	B	D	G	鏡子
縮放比(cm)	17.8(反)	4.7	6.3	3.7	固定
擴散度	1.7	1.5	1.8	2.3	1
偏移度	7.5	3.5	4.3	5.7	1
靈敏度	1	4	3	2	無



Ps:以**平面玻璃**為對照組，做為比對投射效果的標準。(左：震動前、右：震動後)

- 凸面反光鏡(B、D)可**放大**影像，但會**擴散**、**不清晰**；凹面雖清晰，但影像小而不**靈敏**
- 加大凹面鏡(A)可**放大**影像又**清晰**、**靈敏度**提升，但體積變大，可能**干擾震動**
- 加凸並**縮小**凸面鏡(G)可**放大**影像與提高**靈敏度**及**減少擴散**，但表面不光滑影響清晰
- 加大測震體可**提高**投射**效果**但會**干擾震動**；**縮小**測震體可**減少干擾**但會**降低**投射**效果**
- 歸納測震反光體條件：**鏡面光滑**、**體積小**、**凸面明顯**。故決定以 **A、G** 做為測震反光體
- 由投射效果證實：**透過測震反光體**，進行**非接觸式三維測震**的構想確實可行，如此一來，**不用怕接觸而干擾測量結果**，加上**光槓桿的放大作用**，還能**觀察到細微的震動**呢！

陸、討 論

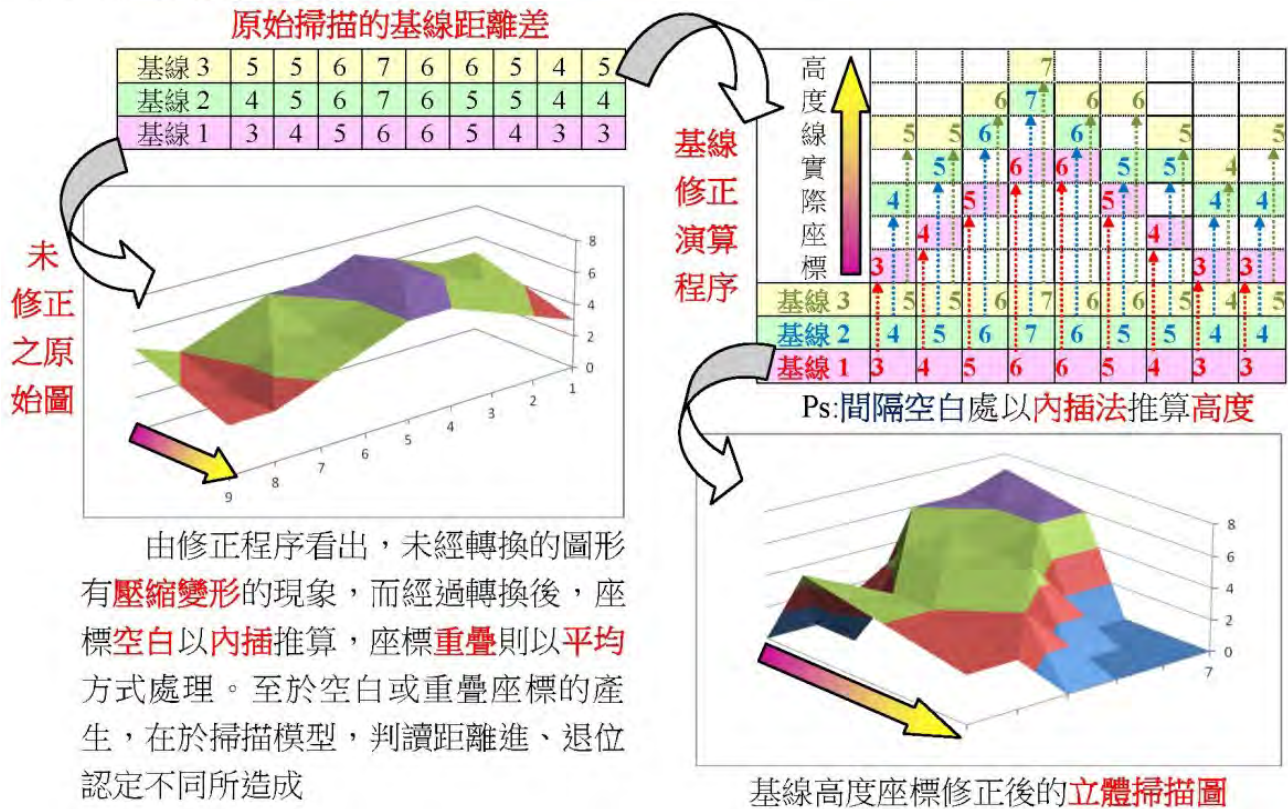
討論一：設計修正轉換的程序演算法

一、建立修正基線誤差的轉換程序

(一)座標修正轉換程序

- 1.將高度測量線所測得的高度，記錄在基線的座標上
- 2.根據「**高度=距離差**」關係，將記錄在**基線座標**上的**高度**，轉換為座標**距離差**，還原到原本**高度測量線**所在的**座標**上，便完成**基線修正**的程序

(二)座標修正轉換過程圖解



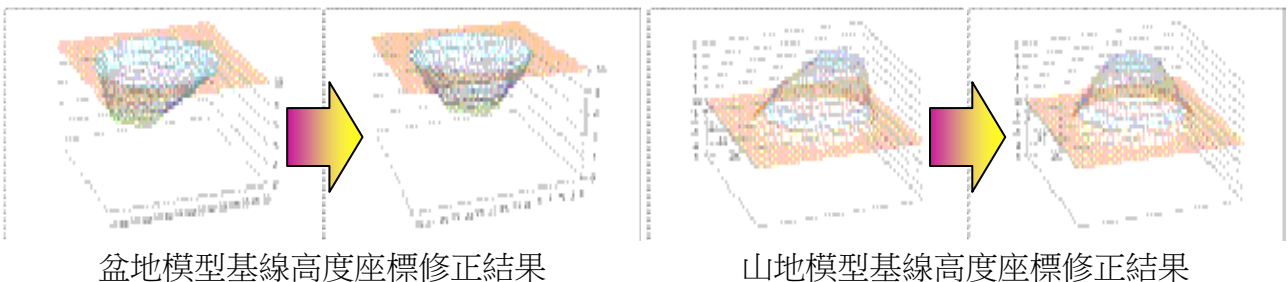
(三)實際測試修正轉換程序

雖然每次掃描只能處理 **900 筆**座標，但只要熟練程序，空白或重疊座標便可減少。下圖證明轉換程序，可修正一字光掃描時的先天誤差，所以我們確定：

- 1.利用兩道雷射一字光，所交叉出的**距離差**，轉換來測量內部**高度**的**原理**可行
- 2.透過基線高度的座標修正，來還原立體模型的**程序**可行



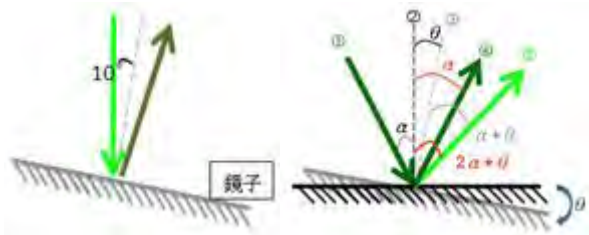
基線修正計算



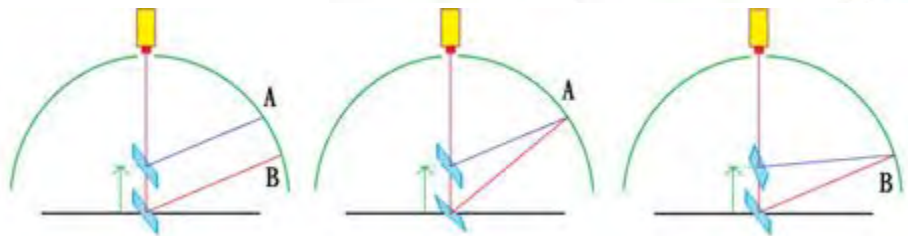
二、建立修正曲面高度誤差的轉換程序：由實驗四知道曲面**高度**會**干擾**曲面**弧度**測量，原本想利用**距離差**推算高度**修正誤差**後，來找出**公式換算**應該會很方便

(一)思考轉換程序原理

- 1.利用光反射推算曲面弧度：鏡子反射光時，**入射角**會等於**出射角**，當鏡子轉動時，為保持這種關係，會使反射角度改變。故入射角固定，只要看反射角度，就能推算鏡子斜度



- 2.了解曲面弧度與高度的相互影響後，排除**高度**所造成的干擾，便能從光的反射角度知道曲面弧度

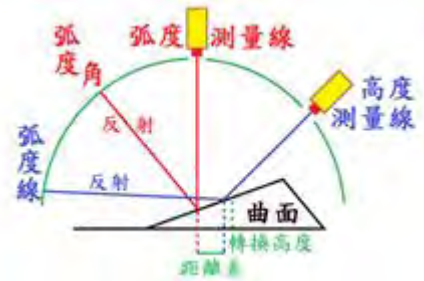


(二)利用公式修正曲面高度造成的誤差

整理以上的原理後，老師幫我導出高度修正公式

$$\sin(\text{實際角度}) = \frac{\sin(A) - \text{曲面高度}}{\text{投影幕半徑}}$$

接著老師只說代入**曲面高度**及**投影幕的半徑**後，算出的數值查表就能知道實際的反射角度。不過說實在的，我們真的看不太懂，所以只能再想其他方法



(三)設計計算尺進行高度修正

由於代入公式對我們來說有點難以理解，只好再想一種能夠理解且簡單、易懂，最好是可以操作的方法...想著想著，老師再給我們一個方向，就是設計一種**計算尺**，只要在特殊的板子上推、拉、轉，就可以算出。但前題是：東西要自己設計，接著便提示

弧度不變，高度改變，反射角度只有反應**高度**的變化





高度不變，弧度改變，反射角度只有反應**弧度**的變化

於是我們便自行奮鬥、討論，一連好幾天都不斷的在想原理圖與測量過程。後來終於看出：**高度和弧度表面上看似會相互影響，但卻都可以各自抽離**，因為

當**弧度不變，高度改變**→只要將曲面移到**正確高度**，便知**曲面弧度**

當**高度不變，弧度改變**→所以反射角度的**所有變化**，都是**曲面弧度**所造成

加上**高度**可由**弧度測量線**與**高度測量線**交叉出**距離差**得知，這時突然覺得(腦筋打結)，這麼簡單的關係竟想了那麼久，但無形中也幫我們指點了計算尺的設計方向→將曲面弧度測量的**程序倒轉**便可

			
投影幕測得 反射角與距離差	由距離差得知 高度 後 將計算尺推到 真正的高度	在計算尺的 投影圈 中 點出 反射角 的位置	將反射角的位置 透過 投影圈 的 換算尺 便對應出曲面的 弧度

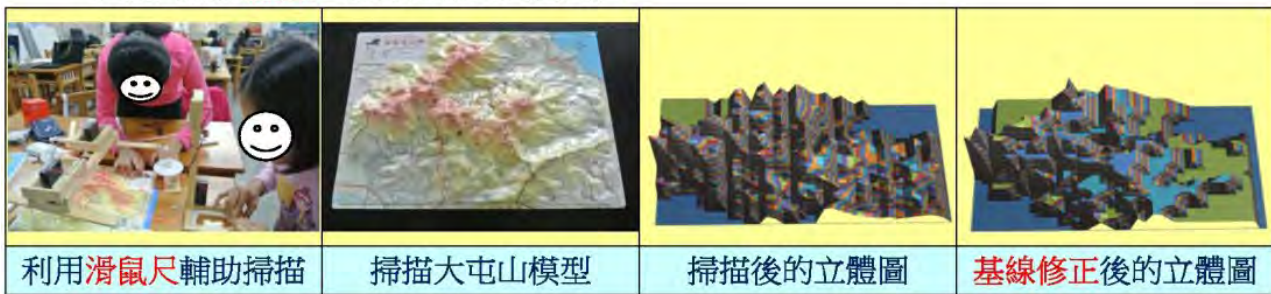
討論二：尋求提高掃描器效能的方法

一、設計提高掃描解析度的方法

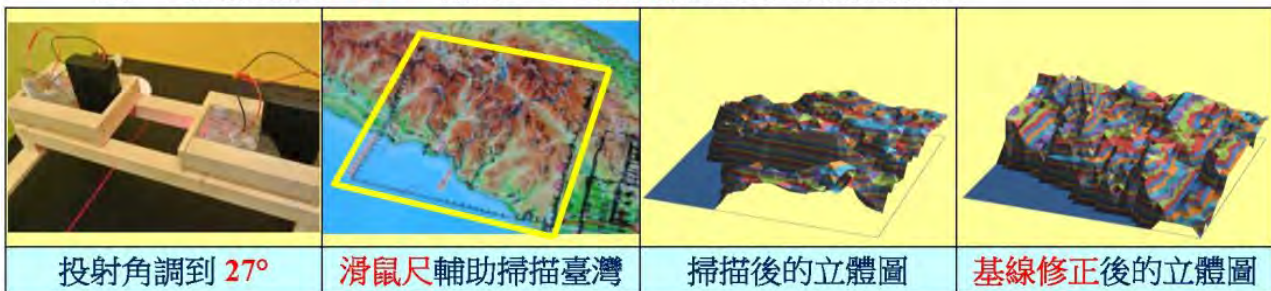
(一)光測滑鼠尺輔助：由於山地與盆地模型有經緯線，在掃描時方便對齊，但一般模型則無經緯線輔助，所以只能在滑動板的周圍畫上刻度。於是我們便又突發奇想，針對一字光的特性，來設計輔助對齊的裝置(需先調整滑鼠靈敏度，和實際移動一致才行)



透過滑鼠尺輔助掃描大屯山模型後發現，不用再靠模型上的經緯線對齊外，還可以提高掃描速度，讓掃描器更具實用性。



(二)調整一字光投射角度：由實驗二發現，相同高度下，一字光投射角度越小，所產生的距離差越大。利用這種特性，於是我們針對臺灣模型，把掃描投射角調到 27°(放大兩倍)、間距縮短到 0.2cm，觀察 6*6cm(黃框)面積模型的細部掃描



(三)利用解析照片像素提高精度

既然滑鼠尺可以透過小畫家尺規上的像素來計算距離，那我們也可以把掃描時模型上的一字光拍成照片，直接經由小畫家計算距離，來提高精確度達 0.05cm



二、利用電腦輔助提高修正程序演算速度

在將掃描資料經過修正轉換與輸入電腦時，每次掃描處理 900 筆資料後，利用小畫家的**像素判讀**，發現能大幅**提昇解析度**，要是這些工作(**間隔掃描**、**距離判讀**、**輸入電腦**、**基線修正**、**輸出立體圖**)也能由**電腦**取代，不僅可以**提高解析度**還能**減少處理時間**。

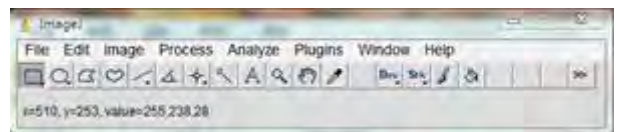
- (一)**利用數位相機間隔拍照，記錄掃描結果**：可用**數位相機**或**網路攝影機**，以**間隔距離**拍下**基線與高度線的距離差**照片，但為方便電腦資料的連貫處理，考慮以**網路攝影機**來拍攝掃描影像



- (二)**利用照片像素差距，進行距離轉換計算**：

將每張照片中，**基線與高度線**兩條線，計算在各**間隔長度**的**距離**。在上網蒐尋後

幸運發現有 **ImageJ** 免費影像分析軟體，可由拍攝照片中分析距離並換算**長度**。



- (三)**將數據資料輸入電腦，方便試算與分析**：

我們用的影像距離計算軟體，本身就有內建**數據自動輸入**的功能，在測出距離後，就能把資料直接存成 **Excel** 的檔案，非常實用且方便



ImageJ 資料

ImageJ 操作界面

- (四)**利用試算表軟體，進行演算法修正計算**：早先在將距離差的資料輸入電腦前(900 筆)，老師都要求我們要先進行**基線修正**，這樣一來每次掃描就要處理 **1800 筆**的資料，真的很累！其實老師早就已經寫好試算表的**基線修正程式**，只是一直不給我們用，聽說是要我們**熟悉**所有**細節**，和**測試**各種**狀況**，後來應該是看我們太辛苦，加上**電腦化**也是必然的趨勢，終於教我們操作與用到的**函數語法**，如此一來便完成電腦化的所有環節了！



原始資料整筆匯入

- (五)**利用試算表軟體，曲面圖呈現立體模型**：有了原始資料與**基線修正程式**後，**立體模型圖**依舊沿用先前的方法，以內建的**曲面圖**來呈現最後掃描的結果



轉換與圖形同步完成

經過電腦輔助後的確大幅提高**速度(由 6hr→30min)**與**精度(2mm→0.5mm)**，雖然市面上也有類似產品(但很貴，將近幾十萬)，也有更好更快的軟體(也很貴)，但我們的重要發現在

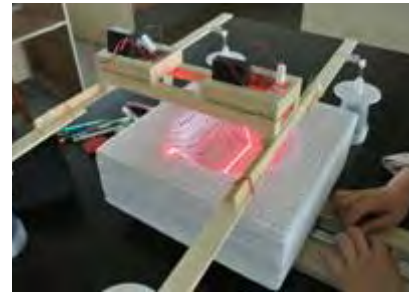
- 1.利用**基線與測量線**，**交叉掃描**立體模型的**原理**是我們所**獨創**的
- 2.所有器材製做(不到 500 元)與選用的軟體(免費)，經費**便宜**且**精度高**
- 3.完全**應用所學**，面對問題解決困難，而有全新的發現

討論三：利用實驗發現改裝檢測工具設計出實用的工具

(一)立體掃描器---測量立體模型各點的高度資料

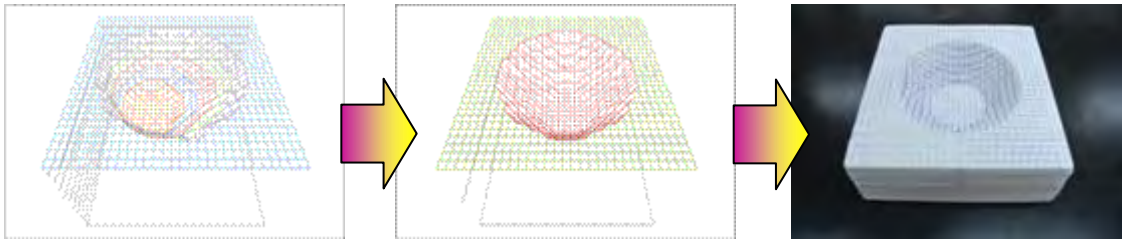
原理：利用斜射的雷射一字光，投射在立體模型時，因**高度變化**產生**偏移**，加上直射的一字光，便可交叉出**距離差**，透過距離差便可掃描出立體的**高度變化**

方法：將交叉出的**基線**與**測量線**，掃描立體模型，記錄每一條掃描線各間隔的距離差，透過電腦便可轉換為各座標點高度的**電腦數值圖**

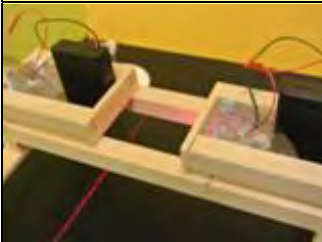

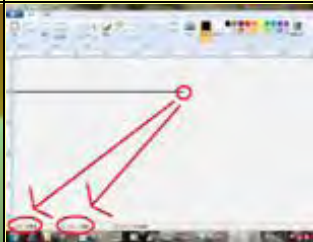
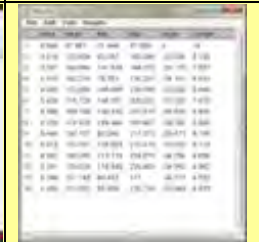


驗證：

1.將掃描時的距離差，透過基線轉換，再輸入電腦並以曲面圖輸出後比對模型



2.接著可透過以下各種方法來提高解析度

調整一字光投射角度	光測滑鼠尺	小畫家像素計算	ImageJ 像素測距
			
投射角調到 27° 可放大 兩倍 距離差	可提高目視測距 精度達 0.2cm	結合 滑鼠尺 提高目視 測距精度達 0.2cm	可提高像素測距 精度達 0.05cm

特色：

- 1.可透過**非接觸式**的掃描，來測量各種物體表面的**高度變化**
- 2.掃描器每個組件都可相互搭配或調整，以適應各種高度變化的模型
- 3.透過電腦輔助可**提高速度**(<30min)與**精度**(<0.05cm)
- 4.掃描**原理簡單**，利用電腦輔助的程式取得容易(免費)，且程式設計與操作很簡單
- 5.製作材料取得容易且便宜，製作簡單且精確度、穩定度高
- 6.從未有過類似原理的應用，設計的**原創性高**



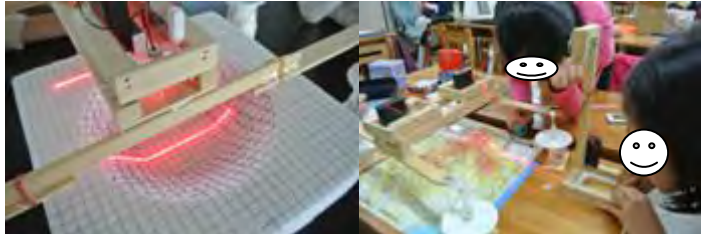
(二)光測滑鼠尺----測量立體模型各點的高度資料

原理：利用雷射一字光連動滑鼠，輔助瞄準與定位，滑鼠移動時，透過遠端一字光便可遙測，只要測量近端滑鼠移動距離，便可知道遠端所測的長度

方法：一字光瞄準目標後移動滑鼠，測量完成計算滑鼠移動距離(尺、小畫家)，便是一字光所遙測的距離

驗證：

- 1.比較掃描時，透過光測滑鼠尺的輔助，目視所能判斷的最小距離：一般遠端目視(1m)只能分辨**0.8cm**的距離變化，透過滑鼠尺則可提昇到**0.2cm**



特色：

- 1.透過雷射一字光的投射，可測量各種遠端物體的距離
- 2.可提高目視測量的精度，在1m端可分辨**0.2cm**的距離變化，透過小畫家像素計算，更可精算距離(<0.2cm)
- 3.測距原理簡單，可獨立使用或輔助其他測量工具，還可結合電腦現成軟體來提高精度
- 4.製作材料取得容易且便宜，製作簡單且精確度、穩定度高
- 5.將電腦用品做另類應用，設計的原創性高



(三)曲面測量器----測量立體模型曲面的弧度資料

原理：利用雷射一字光反射模型表面，透過半圓柱形投影幕記錄反射角，只要修正因模型高度對反射角所造成的誤差，便可從反射角來反推曲面弧度

方法：將投影幕上的反射角和一字光所交叉出的距離差，透過計算尺進行高度修正後，便知曲面弧度

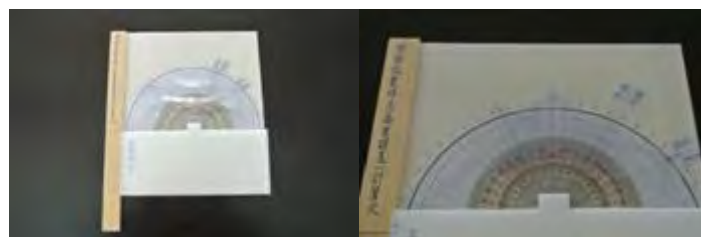
驗證：

- 1.直接測量有弧度的曲面，透過計算尺算出弧度後，再以量角器實際測量，比較兩種方式的測量結果，誤差不到 $\pm 2^\circ$ ，證實所設計的曲面弧度測量器可實際應用



特色：

- 1.透過非接觸式，可測量各種不規則物體表面弧度
- 2.掃描器改裝，製作簡單且計算尺操作容易，簡化複雜計算又不失精準
- 3.掃描器功能延伸應用，設計原創性高



(四)三維測震儀----測量物體三種方向的震動資料

原理：利用雷射**十字光**與**圓形光**，反射**震動**物體表面，透過投影幕記錄三種方向的雷射光線，從測量投影光線的**震幅**，便可知道**三種方向**的震動程度

方法：測量投影幕上的十字光和圓形光擺動的幅度，可看出**縱向(X)**、**橫向(Y)**與**垂直(Z)**等三種方向的震動

驗證：

- 1.透過自製的三維震動平台，調整**縱向(X)**、**橫向(Y)**與**垂直(Z)**三種方向的震動
- 2.選擇適合的**測震反光體**，從反射到投影幕上的光線**震幅**(實驗五結果)，證實可有效測震



產生十字光和圓形光



三維震動平台

特色：

- 1.透過**非接觸**的方式，就可測量物體的震動，不會干擾測量結果
- 2.可將三種方向的震動，全部集中在同一個投影板上，方便觀察、比較與記錄
- 3.可將震動區分為三種不同方向，可分析與描述震動的型態與特徵
- 4.結合**測震反光體**，可**放大**細微的震動，還可視測震的需求，改換適合的反光體，相當具有彈性
- 5.所應用的測震**原理簡單**，可**單獨**測震或結合其他測量工具，提供多元用途
- 6.製作材料取得容易且便宜，製作簡單且精確度、穩定度高
- 7.從未有過類似原理的應用，設計的**原創性高**



柒、結 論

一、原本只是對雷射一字光，投射在物體表面時，所產生的變化感到好奇，在探討後發現：光線投射角度、物體高度與曲面弧度，甚至連震動都會對一字光產生有趣的反應。利用這些發現，成功設計出非接觸式的立體掃描器、曲面弧度測量器、三軸掃描式測震儀與光測滑鼠尺等實用的工具發明

二、研究發現整理

(一)雷射一字光對物體表面的反應

- 1.表面顏色：與光線顏色接近(紅>白)，可提高亮度、清晰度，有利掃描判讀；反光度則以鏡面(銀>白)效果好，方便觀察記錄光反射角度與震動幅度
- 2.物體高度：投射角度越低(高)，物體高度越高(低)，一字光的線條就越彎曲(直)
- 3.表面弧度：曲面弧度越平(陡)，曲面高度越高(低)，一字光反射角度就越小(大)
- 4.震動幅度：可測一字光線條垂直方向震動；表面弧度越大(小)，對震動擺幅反應越大(小)

(二)立體掃描器所應用的雷射一字光原理

- 1.基線(直射 90°)與高度測量線(斜射 45°)，兩線在適當投射高度重疊後，掃描高度不同的物體時，兩線所產生的距離差
- 2.將高度測量線因距離差而記錄在基線座標上的高度，修正回高度測量線所在的座標上
- 3.高度測量線所產生的誤差，會隨物體表面高度、凹凸與傾斜情形而有不同變化

(三)弧度測量器所應用的雷射一字光原理

- 1.弧度測量線(直射 90°)與高度測量線(斜射 45°)，兩線在適當投射高度重疊、掃描曲面後，從兩線的距離差算出高度，與弧度測量線因高度、弧度兩者作用所反射的角度
- 2.將弧度測量線的反射角度，扣除因高度所產生的誤差後，便是曲面實際的弧度

(四)掃描測震儀所應用的雷射一字光原理

- 1.利用測震反射體，表面弧度與水平(X、Y 軸)震動方向不一致時，產生光槓桿放大測震
- 2.利用雷射光圈投影時，因震動(Z 軸)產生的距離變化，由光圈大小改變程度來測震

(五)提高雷射一字光測量的精度與速度

- 1.立體掃描器：利用光測滑鼠尺提高目視測量精度、調整高度測量線投射角度、電腦化輔助(小畫家像素解析、ImageJ 自動解析、數值輸入、基線轉換、數值立體圖)
- 2.弧度測量器：曲面弧度修正(高度誤差)計算尺，輔助複雜難懂的公式換算
- 3.掃描測震儀：找尋適合的測震反射體(體積小、重量輕、弧度大、平滑反光)
- 4.光測滑鼠尺：小畫家輔助像素解析

三、研究的重要性

(一)利用一字光交叉掃描立體模型的原理與方法，查資料後證實是我們獨創的概念

(二)透過一字光非接觸式掃描，不會因接觸而干擾資料真實性，在遠端就可測到物體高度、曲面弧度與不同方向的震動情形，而且還是全面完整的資料，而非單點的數值

(三)利用手邊的材料與工具，自製出簡單又實用的一字光掃描相關儀器，很有成就感

(四)結合並延伸課堂所學，利用一字光與模型的排列組合，設計並進行能力所及的光學變項實驗

四、未來發展

- (一)掃描電腦化程式---受限電腦程式設計的能力，無法寫出全程掃描的自動化程式，但從蒐集資料中發現早有軟體支援，希望未來能加強電腦方面的知識，讓掃描器更好用
- (二)整合掃描器週邊---簡化、縮小掃描器，結合雷射光、滑鼠、網路攝影機與電腦，整合成一體，讓掃描更有效率

五、心得與感想

在這次科展中，我們做了許多有關雷射一字光的實驗，也對它的用途有更深入的了解和認識。利用實驗發現，我們製做了 3D 掃描器、三維震動儀、光測滑鼠尺、弧度測量器等有趣的發明。從實驗中知道許多關於光的基本概念，也學會許多課堂中不曾學過的課外知識，如：雷射一字光的產生與影響變項間的相互關聯、調整投射的角度可增加靈敏度…等；不只如此，我們在實驗中還有用到一些公式，如：基線修正演算、高度誤差的計算…等。從結合到延伸課堂所學，沒想到簡單的一字光，竟能研發出這麼多的實用產品，真是令人興奮。

捌、參考資料

顏紹裘、湯家瑜、林珮懷、許鬲文哲(2005)：它真的看的見-利用雷射光偵測微小位移之研究。中華民國第 45 屆中小學科學展覽會。

伍從心(2011)：條碼識圖-影像式條碼辨識系統。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會。

陳思彤、高頊言、楊閔翔、蕭博瀚(2011)：果凍多色？我知道！-探討光在不同型態介質下的反應。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會。

李盈瑱、杜祐誠、張楷維(2011)：光知我的輕！。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會。

Chiu-king Ng。用 Java 學物理。網址：<http://ngsir.netfirms.com/index.htm>

【評語】 080816

1. 利用一字型雷射光來掃描立體的表面或結構，可以達到遠距測量或非接觸檢測的好處，值得鼓勵。
2. 根據設計所推算的高度或曲度在實際應用實例的實驗中，應該可以加強在準確度的探討。
3. 關於電腦輔助可以提高精度與高度和曲度互相影響部份，應該可以作更清楚的說明及進一步的研究。
4. 與前案的異同應作比較。