

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物及地球科學科

佳作
最佳創意獎

031727

做一個能輕易測得地球半徑的人--利用太陽光求地球半徑

學校名稱：彰化縣立員林國民中學

作者：	指導老師：
國二 張廷安	李政修
國二 劉彥辰	許文鴻
國二 吳尙儒	

關鍵詞： 竿影、仰角、半徑

做一個能輕易測得地球半徑的人--利用太陽光求地球半徑

摘要

在校園中，利用光的直進性、重力及連通管原理，設計出一套器材，利用兩支可伸縮活動的塑膠桿及一根中間穿了洞的木桿，使用尼龍繩垂吊一個 500 公克的鉛垂來設計出絕對的垂直，在鉛垂底下擺一塊一公尺長、厚一公分的木板，並在木板四周裝上螺絲，方便調整水平，利用水平儀來維持絕對的水平，利用 google earth 找出同經度不同緯度的兩個地點，並利用中央氣象局的日出日落表找出實驗當天太陽通過子午線的時間，然後藉由測量同時間、同經度不同地點，兩地尼龍繩上的標的物高及標的物影子的中心到鉛垂中心的距離，並利用三角函數算出太陽的仰角，藉由同時間、同經度不同地點兩地的仰角差及兩地的距離來算出地球的半徑。我們得出地球半徑平均為 6367.9 公里。

壹、研究動機：

我們從國中二上自然教材中，學習到有關光的特性，其中以光的直進性最為著名，也是常被當作精準的測量工具。回想曾經閱讀過科學書刊，故事內容正好提供最好的應用例子，利用「光的直進性」來做精確計算。故事主角是希臘科學家，他利用在今亞斯旺的一口井，在夏至當天的中午，陽光可直射井底，但此時於 800 公里外的亞歷山大港，太陽以 7.2° 斜射亞歷山大港，他據此算出地球的周長約三萬九千六百公里，此與實際數值極為接近，我們將此值除以 π 再除以 2 即可得出地球半徑。以上是西元前三世紀，由埃拉托斯特尼利用當地的牆與陽光所做的精密且範圍大的實驗，可是仍有誤差，埃拉托斯特尼可用 800 公里的距離作測量以求精確，我們設計實驗將相對測量點的距離縮小於台灣，使用在校園中易取得的材料，測量地球的半徑並將誤差縮小。

貳、研究目的：

在台灣地區南北長約四百多公里的島上，利用光的直進性、重力及連通管原理，設計出一套器材，並在同一經度不同緯度的兩地點上，同一時間測量中午太陽入射角的角度差，再由角度差及兩地的距離算出地球半徑。

參、研究設備及器材：

一、器材：

鉛垂（利用萬有引力設計出絕對垂直）	尼龍繩	可伸縮支架
水管（連通管原理）	水平儀（連通管原理）	木板
螺絲（調整水平）	螺帽（調整水平）	直尺
標示器材（剪裁過的信用卡、黏土、髮夾）	捲尺	紙筆
中央氣象局日出日落表（如附表一所示）	G P S（google earth）	工程計算機

二、器材設計流程：

（一）改良前：

一開始我們先利用剪裁過後的信用卡來標記竿頂（尼龍繩最上方），然後放置一個 50 公分矩形的木板在鉛垂下方，再使用連通管原理來維持木板的水平。

缺點：

- 1.標記點－因為太陽不是個點光源，而是面光源，所以會產生半影（較不明顯）和本影（較明顯），使得影子的中點因需估算而標記不易。
- 2.木板－因木板太短，會使影子超出木板，因必須移動木板，導致實驗精確度相對下降。
- 3.水管－難以較精確的找出水平，且裝設時間太長，應用上比較麻煩。

（二）第一次改良：

改良前一次實驗器材的缺點，把竿頂標記改成黏在尼龍繩上的黏土，換一塊 1m 的木板，使木板可以容納影長，把水管換成攜帶式水平儀。

缺點：標記點－黏土的中心點不易標記，也不易訂出物高。

（三）第二次改良：

由於第一次改良後，標記處還是不易標記，所以我們直接打一個結在尼龍繩上，使得半影縮小，且較易固定物高，再次縮小誤差值。



改良前之實驗器材總圖



改良後用長方形木板之設備

三、器材圖片：



鉛垂



尼龍繩



可伸縮支架







水平儀



正方形木板



1公尺長木板

		
黏土及髮夾	木頭橫桿	箭頭標記物
		
直尺	捲尺	螺絲螺帽

肆、研究過程：

一、找出方法

有了動機之後，我們便去找老師討論，老師說測量地球半徑通常有兩種方法，第一種方法是利用不同高度觀測日出或日落的時間差，測量出地球自轉的角度；第二種方法是在同經度不同緯度的兩地點，測量中午太陽入射角的角度差。由於選用方法一來觀測日出或日落，必須至台灣東岸觀測，對於我們位在西部的學生不易觀測，且地形受到影響。由於方法二會用到的知識如光的直進性、地心引力、連通管原理及三角函數等，我們剛好都有學到，所以我們決定採用方法二，利用光的直進性找出標記處的影子，再算出標記處和鉛垂的距離。利用地心引力來確保鉛垂及地平面的垂直。利用連通管原理－水平儀確保和鉛垂垂直，最後可利用三角函數算出太陽的仰角，並在同一經度不同緯度的兩地點上（竹南附近及鵝鑾鼻；墾丁及草屯雙冬），同一時間測量中午太陽入射角的角度差，再由角度差及兩地的距離算出地球半徑。

二、準備措施

放置一個板子，輔助測量時的穩定，用板子四周的螺絲配合水平儀調整至水平，然後在地上擺兩根可伸縮塑膠竿當支架，在支架上方的凹槽橫放一根木棍，將木棍中間穿一個孔，利用尼龍繩垂吊鉛垂來確保與地平面垂直，讓鉛垂停置在板子上，並使尼龍繩繃緊不鬆弛，在尼龍繩上貼標記物。接著將測量紙放置在板子上，再把測量紙調整到標記物的影子下，並讓影子投射在測量紙上，每隔兩分鐘測量一次，每次測量 20 分鐘。

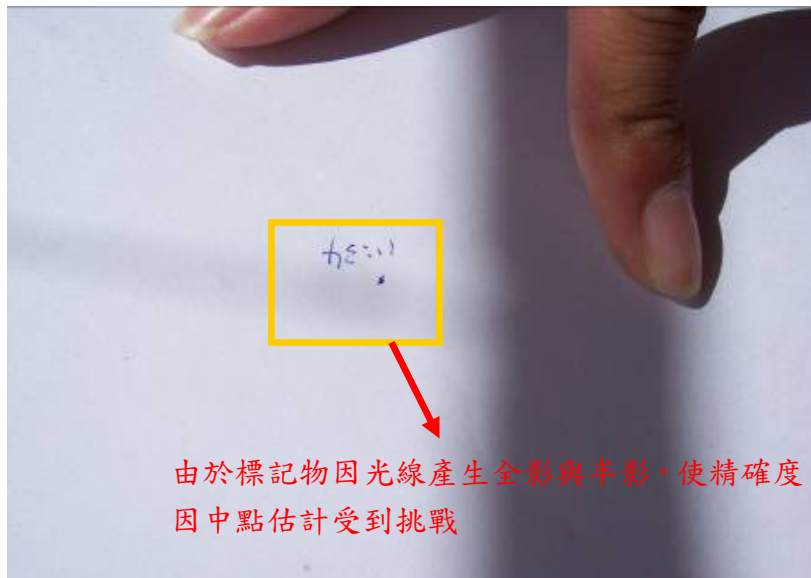
三、操作練習

由於最佳測量時間在日正當中（太陽在子午線，陽光朝北照射，使兩影子可在同一直線上）。我們利用學校午休時間到走廊來進行操作練習。準備措施完善後，我們將測量紙上，從標記處投射的影子做記號，記號要標記在影子之中心點處（如圖一所示）。當標記時，需兩地同時標記才精確，並每隔一段時間紀錄一次，在操作之時，測量紙為了避免移動，

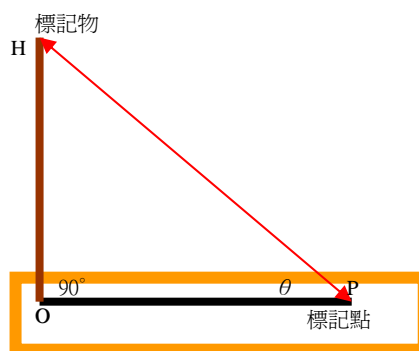
我們將水平儀放置其上。當我們標記完成後，使用捲尺將鉛垂觸碰到木板的接觸點，至標記物的中點作長度測量（線段 HO ）後，也將標記點至鉛垂觸碰到木板的接觸點作長度測量（線段 PO ），如圖二所示。經由此兩數據的產生，我們利用簡易三角函數中的正切函數來輔助並準確算出 $\tan \theta$ 的值，標記物與標記物影子（標記點）的連線與木板的夾角，即是太陽仰角，兩地所測得的太陽仰角角度差即是本實驗的重要數據。

作法：計算 θ 角（太陽仰角）

太陽仰角的求法等於直角三角形中 θ 角的對邊（物高）除以鄰邊（影長），再變換成 \tan 函數就可以得出 θ 角（對照函數表可知 θ ）



圖一：標記影子記號(為 12 點 34 時的中點記錄)



圖二：太陽仰角計算示意圖

分別計算出兩實驗的太陽仰角後，因為我們所測量的兩地距離較短，所以我們藉由中央氣象局的日出日落表找出中午太陽最高點後，配合利用上面函數換算後兩地角度差的數據，判斷每次實驗（如練習紀錄）的準確度，差距必須小於 0.01 度，才會精確。

※經操作練習後發現實驗器材仍有進步空間，於是我們對實驗方便性及準確度等方面進行器材改良。（如器材設計流程）

四、練習紀錄

編號	日期	時間	地點 1	物高 cm	影長 cm	太陽 仰角	地點 2	物高 cm	影長 cm	太陽 仰角	角度差
1	12 月 4 日	12:59	學校	48.6	55.4	41.25	學校	45.9	52.5	41.16	0.096
2		13:10	學校	48.6	56.9	40.50	學校	45.9	54.4	40.15	0.345
3	12 月 7 日	13:01	學校	45.85	53.2	40.75	學校	31.6	37.45	40.15	0.598
4		13:09	學校	45	53.6	40.01	學校	31.65	38.39	39.50	0.511
5	12 月 10 日	12:59	學校	39.3	44.4	41.51	學校	39.6	46.95	40.14	1.367
6		13:05	學校	37.4	44.85	39.82	學校	39.6	48.45	39.26	0.563
7	12 月 11 日	12:59	學校	46	54.1	40.37	學校	39.6	46.6	40.35	0.016
8		13:06	學校	45.6	55.9	39.20	學校	39.6	47.8	39.64	-0.434
9	12 月 19 日	13:02	學校	47.85	55.4	40.81	學校	31.6	37.4	40.19	0.622
10	12 月 20 日	13:05	學校	45.3	54.4	39.78	學校	47	50.05	43.19	-3.415
11	12 月 25 日	12:51	學校	39	46.45	40.01	學校	49	57.5	40.43	-0.419
12	12 月 26 日	13:10	學校	49	59.8	39.33	學校	39	47.5	39.38	-0.056
13	1 月 10 日	13:00	學校	39	43.1	42.14	學校	43	47.65	42.06	0.077
14	1 月 11 日	13:00	學校	39	42.1	42.81	學校	49	53.5	42.48	0.324
15		13:20	學校	62	71.6	40.89	學校	49	56.85	40.75	0.131

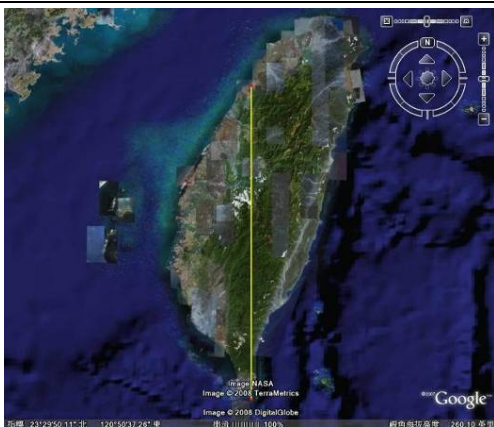
五、實地操作：

我們經過多次的校園練習之後，便開始計畫實地操作。爲了尋找合適的地點，我們使用 google earth 軟體找出相同經度、不同緯度的兩地－竹南附近及鵝鑾鼻，墾丁及草屯雙冬來當作我們的測量地點。我們利用日正當中時（時間經由中央氣象局日出日落表算出太陽在正上方的時間）在兩地同時進行標記與測量。

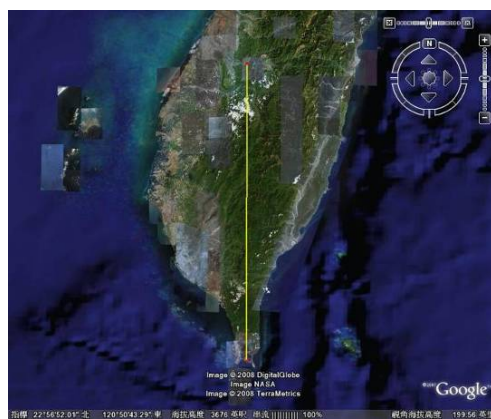
第一天（97 年 1 月 22 日）我們分兩小隊，一隊前往墾丁鵝鑾鼻，一隊前往苗栗竹南鎮進行實地演練，兩地經度是東經 $120^{\circ} 51'04''$ 相距 306.17 公里，如圖三所示。

第一組在開始測量的時候，因當天鵝鑾鼻的風太強，便把我們的實驗器材吹倒，於是我們只好用手扶著竹竿，避免被吹倒。在 5 分鐘後，我們重新測量，這次天空的雲層變厚，不時遮擋住了陽光，因陽光露臉的時間不長，且光線較弱，使半影加長，難以測量，所以我們這組只能利用陽光出現時標記，兩組以行動電話聯繫標記時間，以兩組相同時間標記的測量結果來當作我們實地操作的結果。

第二組在竹南鎮塹內社區活動中心附近進行測量，天氣多雲，太陽時有時無，北風也很強，我們商借附近民家的車庫前平坦空地來設置實驗器材，以行動電話聯繫標記時間。



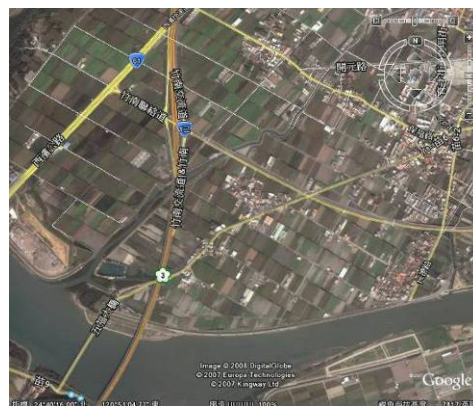
竹南附近到鵝鑾鼻(東經 120° 51'04")



草屯雙冬到墾丁(東經 120° 47'57")



鵝鑾鼻停車場(東經 120° 51'04")



國道 3 號竹南交流道附近(東經 120° 51'04")





利用 GPS 找出目的地



1/22 竹南附近當日測量情形



廟前民宅之車庫為測量地點	實驗器材設置情形
	
鵝鑾鼻停車場之測量橫桿被風吹落而斷裂，只好用手扶著	竹南鎮塹內社區之測量

圖三：竹南與鵝鑾鼻實地測量經過

第二天（97 年 1 月 23 日）兩地分別在南投草屯雙冬附近（東經 $120^{\circ} 51'04''$ ）及墾丁青年活動中心，兩地相距 **226.43 公里**。

第一組在墾丁青年活動中心的廣場進行測量與標記，剛開始我們選用學堂旁的平坦空地進行測量，但因沒有建築遮擋強風以致標記不易。後來我們便平移至學堂另一側，讓我們的實驗不受到風的影響。在標記前我們便和另一組人員訂好標記時間，這樣子我們的測量時間就會更加一致，也可增加更多數據。

第二組的測量地點位於南投縣草屯鎮雙冬附近，利用衛星定位系統找到同經度的萊紐庭園咖啡店，向店老闆接洽好後開始設置實驗器材，當天中午前後太陽均很明亮，咖啡店前又可遮風，所以竿影標定很順利，從 11 時 30 分一直到 12 時 20 分每隔 5 分鐘標定一次，如圖四。

	
墾丁活動中心器材設置情形	雙冬附近萊紐庭園咖啡店前設置器材

	
墾丁青年活動中心（東經 120° 51'04"）	南投草屯雙冬附近（東經 120° 51'04"）

圖四：草屯與墾丁青年活動中心實地測量經過

六、地球半徑的測量

（一）概述：

由於我們在兩次實地操作後，得到很多數據，所以我們先利用校內實驗的基礎，也就是相對距離較短的實驗。利用短距離的兩實驗，兩實驗直接測量出標記點的影子到鉛垂接觸木板的長度及標記點到木板的長度，利用這兩個數據可以間接使用三角函數及角的特性算出兩實驗的夾角，如圖五。但有時候可能因測量影子中點無法準確，所以一定有誤差產生，而且不管多精確的儀器，**海森堡的測不準原理**（Heisenberg uncertainty principle）說明－不論儀器如何精密，我們是無法同時獲得一組精確的物理量，比如：位置與速度；能量與時間。

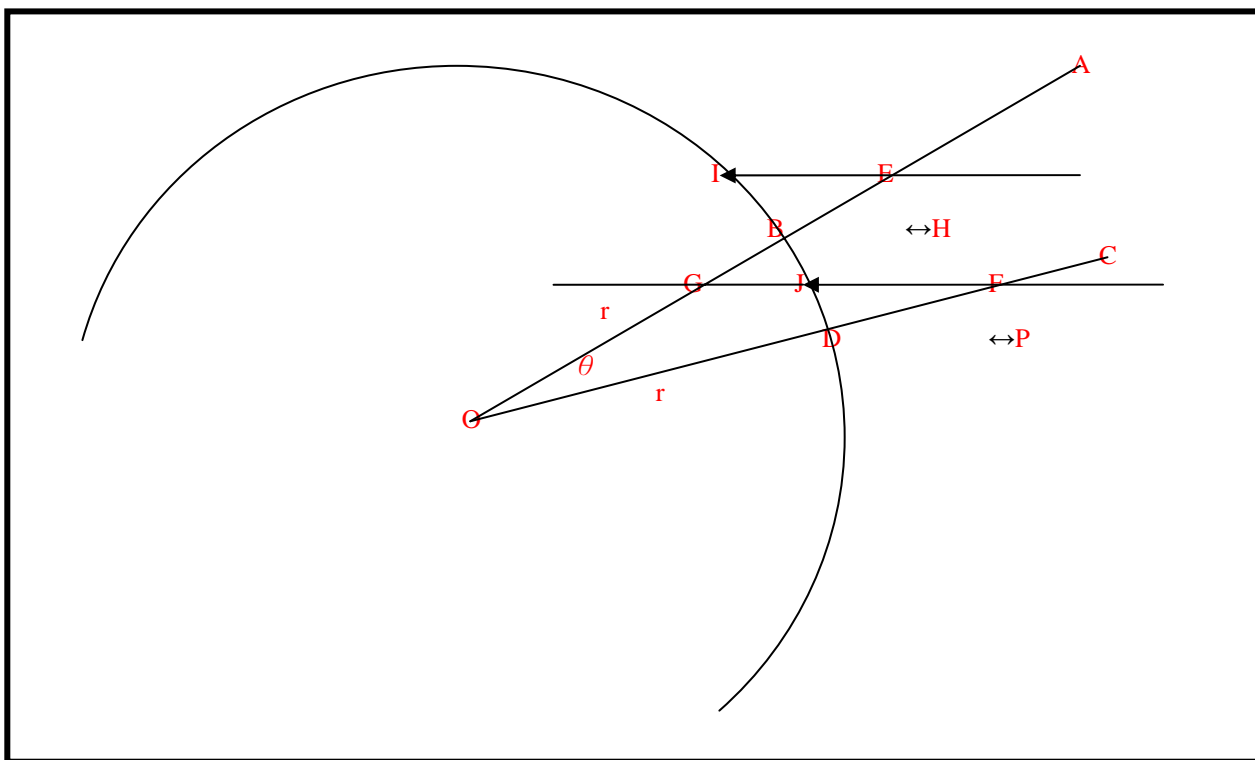
但追求極小誤差並非不可能，經由實驗工具精確度及每次實驗的結果比較發現，在校測量的距離小，因此誤差值限於 **0.1 以內**。在精密測量的情況下隨著距離增大，兩地誤差也就隨之減小了。

（二）作法：

已知兩實驗與地平面垂直且兩實驗因此而平行，可將此計算運用在平面作圖上。假設以圓為地球，兩實驗由兩線段代替（分別是 **AB** 及 **CD**），兩線段分別與地球之切線垂直，且與圓心相連成線段 **AO** 與線段 **CO**，而兩線段在圓心交一夾角 θ （則此兩線段不平行），為了取得此數據，需要陽光（平行光）的協助，陽光分別是 **H** 及 **P** 射線，**H** 與 **P** 互為平行且通過兩實驗線段 **AB**（**實驗器材簡圖**）與線段 **CD**，除了須太陽的平行光協助外，我們利用之前的兩實驗中，測得的兩數據搭配兩地距離，及 θ 角等實驗數據進行地球半徑測量。已知線段 **BO** 與線段 **DO** 同為半徑 r ， r 可以利用**夾角及兩地距離**計量出來，不過要計算出 θ 角之前，我們必先著手於兩地實驗中兩數據的計算，因數據分別是 $\angle EIB$ 及 $\angle FJD$ ，且利用兩平行線上 **H** 與 **P**，推出

$$\begin{aligned}
 \angle EIB &= 90^\circ - \angle BEI & \angle \theta &= \angle BGJ - \angle DFJ \\
 \angle FJD &= 90^\circ - \angle DFJ & &= \angle BEI - \angle DFJ \\
 \angle BGJ &= \angle DFJ + \angle \theta & &= (90^\circ - \angle EIB) - (90^\circ - \angle FJD) \\
 \angle BEI &= 90^\circ - \angle EIB & &= \angle FJD - \angle EIB \\
 \angle DFJ &= 90^\circ - \angle FJD
 \end{aligned}$$

推導出由 $\angle \theta = \angle \text{FJD} - \angle \text{EIB}$ 可知 $\angle \theta$ 等於兩數據相減取絕對值
算出 $\angle \theta$ 後代入 $2 \times r \times \theta \div 360 = \text{兩地實驗的距離} = \text{弧 BD}$



圖五：測量地球半徑輔助圖

（三）誤差值的範圍與控制

我們了解由兩實驗數據到算出整個地球半徑的過程中，基於每次實驗精確度範圍的認定，需要由**角度差**判定。因為影長被控制於太陽，為不變性的週期變化，使圖表中兩實驗成平行排列，時間因接近中午呈下降的趨勢，中午過後持續攀升，如表一。兩地距離及物高、時間、地點為定值而不討論，所以角度差（即太陽仰角）因時間不同需要討論。經由圖表可以看出成**弧狀**的情形產生，搭配影長的規則及數學計算，找出**影長越大，仰角越小**的關係，一方面由太陽不同角度照射，一方面根據前面**海森堡的測不準原理**告訴我們，操作儀器要達最大準確也是可能發生，但有不可預期的誤差。

不論是使用角的性質還是簡易三角函數，測量地球半徑不只有一種方法，而最重要的即是理解到「由小範圍準確的擴張到大距離的精密計量」的體認。

伍、研究結果：

根據我們在鵝鑾鼻和竹南，草屯雙冬和墾丁青年活動中心所得結果，兩地太陽仰角角度差，如表一所示，經由公式測得本實驗測得知地球平均半徑為 **6367.9 km**。

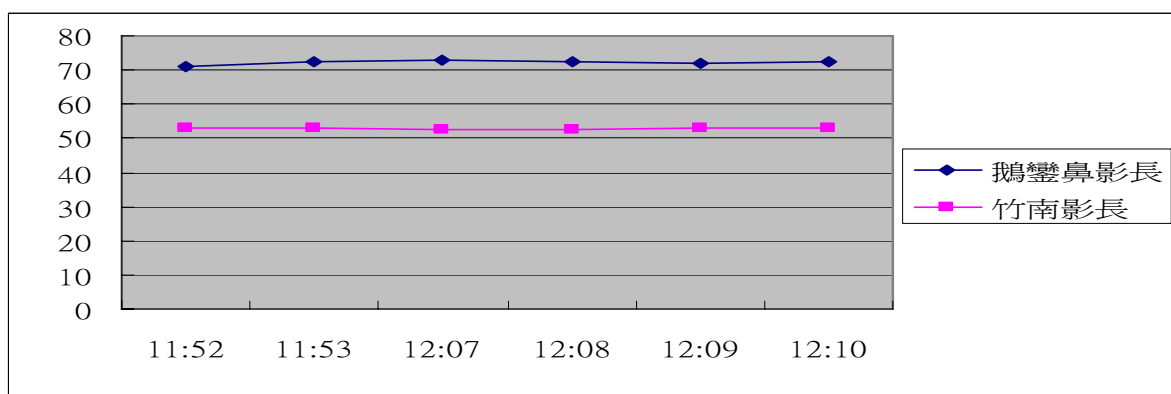
表一：兩地實際測量之太陽仰角角度差及估計地球半徑一覽表

編號	日期	時間	地點 1	物高 cm	影長 cm	太陽 仰角	地點 2	物高 cm	影長 cm	太陽 仰角	角度差	兩地 相距 Km	估計 地球 半徑
1	1/22	11:52	鵝鑾鼻	80.9	71	48.73	竹南	53.9	53.1	45.43	3.30	306.17	5314.9

2		11:53	鵝鑾鼻	80.9	72.2	48.25	竹南	53.9	53.1	45.43	2.82	306.17	6211.8
3		12:07	鵝鑾鼻	80.9	72.85	48.00	竹南	53.9	52.7	45.64	2.35	306.17	7457.8
4		12:08	鵝鑾鼻	80.9	72.6	48.10	竹南	53.9	52.5	45.75	2.34	306.17	7492.8
5		12:09	鵝鑾鼻	80.9	72.1	48.29	竹南	53.9	52.8	45.59	2.70	306.17	6494.3
6		12:10	鵝鑾鼻	80.9	72.5	48.13	竹南	53.9	52.88	45.55	2.59	306.17	6780.9
7	1/23	11:34	墾丁	80.7	73.4	47.71	雙冬	57.2	55.91	45.65	2.06	226.43	6301.6
8		11:35	墾丁	80.7	73.1	47.83	雙冬	57.2	55.66	45.78	2.05	226.43	6337.2
9		11:37	墾丁	80.7	72.85	47.93	雙冬	57.2	55.34	45.95	1.98	226.43	6553.1
10		11:40	墾丁	80.7	72.5	48.06	雙冬	57.2	55.26	45.99	2.08	226.43	6250.7
11		11:43	墾丁	80.7	72.3	48.14	雙冬	57.2	55.11	46.07	2.08	226.43	6248.1
12		11:45	墾丁	80.7	72	48.26	雙冬	57.2	54.8	46.23	2.03	226.43	6380.5
13		11:47	墾丁	80.7	71.8	48.34	雙冬	57.2	54.71	46.27	2.07	226.43	6281.3
14		11:50	墾丁	80.7	71.45	48.48	雙冬	57.2	54.66	46.30	2.18	226.43	5955.9
15		11:52	墾丁	80.7	71.4	48.50	雙冬	57.2	54.55	46.36	2.14	226.43	6061.0
16		11:54	墾丁	80.7	71.4	48.50	雙冬	57.2	54.5	46.38	2.11	226.43	6136.2
17		11:55	墾丁	80.7	71.3	48.54	雙冬	57.2	54.46	46.41	2.13	226.43	6082.0
18		11:57	墾丁	80.7	71.1	48.62	雙冬	57.2	54.43	46.42	2.20	226.43	5904.6
19		11:58	墾丁	80.7	71.2	48.58	雙冬	57.2	54.4	46.44	2.14	226.43	6058.3
20		12:00	墾丁	80.7	71.15	48.60	雙冬	57.2	54.4	46.44	2.16	226.43	6002.3
原計算實驗數據地球半徑平均為 6315.3 km													
去除誤差數據（黃色部份）後測得的地球半徑平均為 6367.9km													

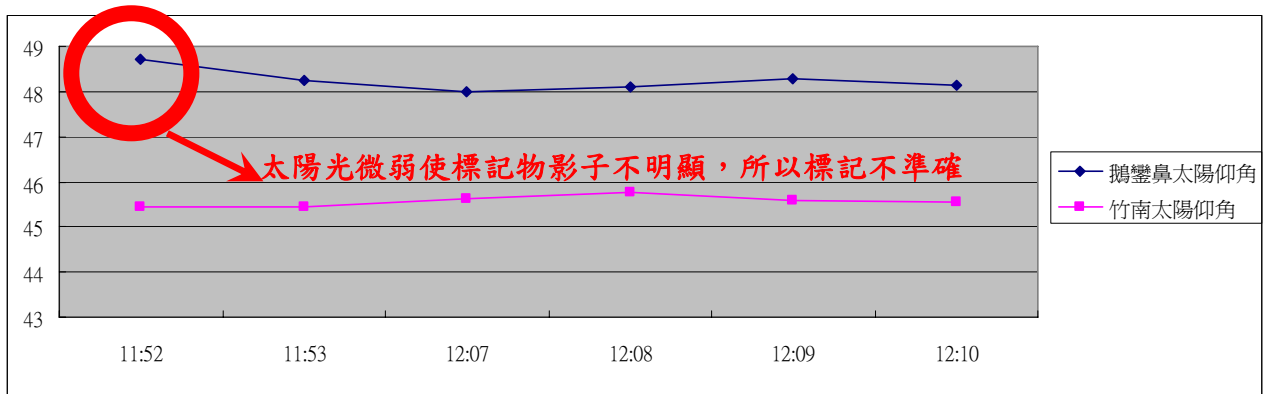
一、97 年 1 月 22 日鵝鑾鼻與竹南測量影長及太陽仰角之對照圖表

圖六：鵝鑾鼻及竹南影長變化折線圖



兩地影長隨太陽週期成平行排列，影長先增後減，在 12 點 09 分達最小，以後又增加，表示與入射角度有關。

圖七：鵝鑾鼻及竹南太陽仰角變化折線圖

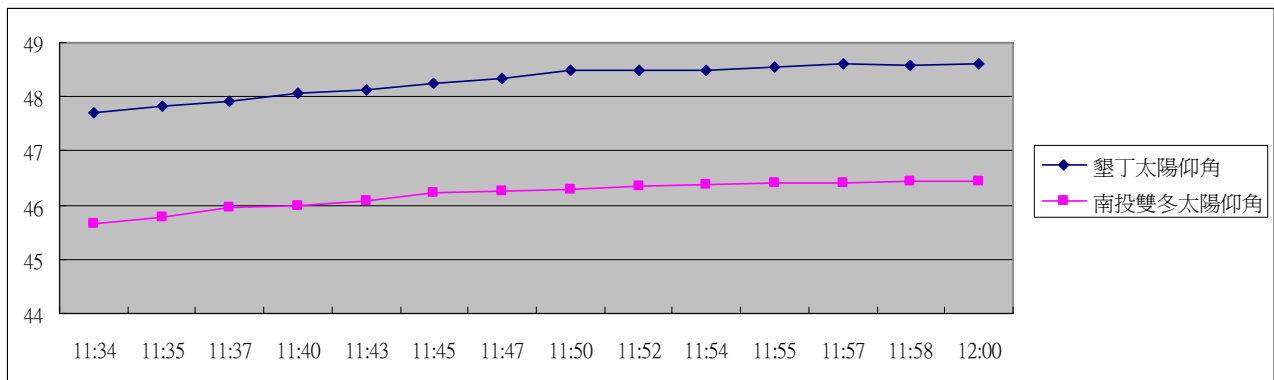
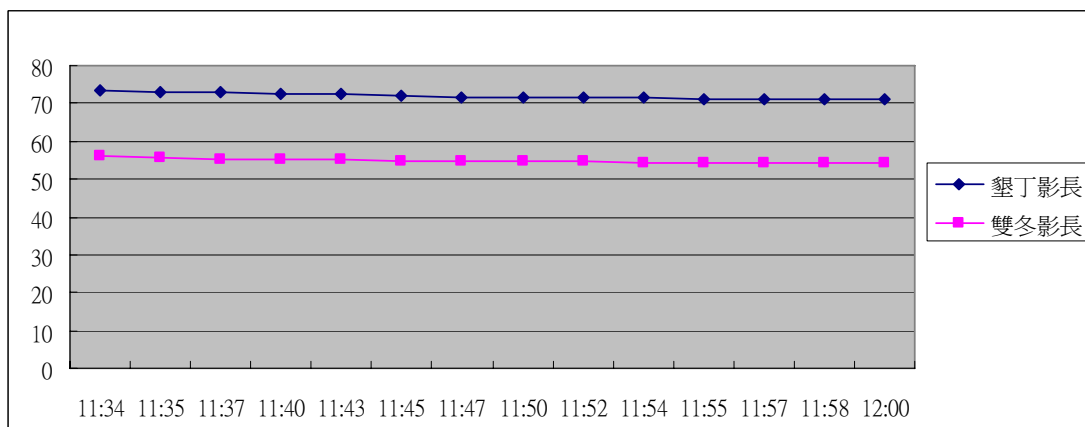


我們經由折線圖發現當太陽通過子午線時，太陽仰角最大，超過子午線時太陽仰角就逐漸變小。而太陽仰角的變化成圓弧狀，如圖八及圖九，而我們經由折線圖發現我們在鵝鑾鼻 11:52 分時所做的測量值，和其他測量值並沒有成圓弧狀，而且太陽仰角在太陽通過子午線時是最大的，而我們在鵝鑾鼻 11:52 分時所測得的太陽仰角比太陽通過子午線時明顯大出許多，所以我們將它視為誤差數據，不予取用。

二、97 年 1 月 23 日墾丁與南投雙冬測量影長及太陽仰角之對照圖表

兩地影長隨太陽週期成平行排列，在接近中午時影長漸減。

圖八：鵝鑾鼻及雙冬影長變化折線圖



圖九：鵝鑾鼻及雙冬太陽仰角變化折線圖

兩地太陽仰角隨陽光變化，在太陽光入射角接近 90 度（經過子午線）時變化最大，太陽仰角跟著上揚，由於沒有 12 點以後的測試，不過可規則呈現一直增加的狀態，**半弧形**產生。

陸、討論：

我們利用實驗結果及圖表分析出幾項必要的論點來探究，比對現今常見測量地球半徑的三個方法，A 實驗 – 根據 1976 年國際天文聯合會分析**衛星測量**所得之資料，地球赤道（東西的半徑）為 6378.14 公里，而兩極（南北）的半徑則為 6356.76 公里。B 實驗 – 根據**太空梭**在太空做的測量，地球的圓周長為 40,070 公里，半徑為 6378 公里，而其直徑為 12,756 公里。C 實驗 – 1735 年 5 月 16 日，一艘法國軍艦護送著一支由天文學家、數學家和製圖學家組成的考察隊，從法國的拉夢舍爾港出發，直駛南美。艦上配備著當時最新的測鏈、轉鏡經緯儀、望遠鏡等儀器。經過 8 年的考察，1743 年，他們宣佈了直徑的數值：12707216 米，約 12707.216 公里，半徑為 6353.608 公里。而我們所測得之地求半徑為 6367.9 公里，和前人所作較精密的方法與我們所做的方法加以比較，發現將上述差別歸類如表二。

表二：本次實驗和前人實驗儀器及**地球直徑差距表**

	儀器	實驗特色	實驗地點	和我們測出的地球半徑差
A 實驗	衛星	需利用高科技	太空	和赤道相比：10.24 公里 和兩極相比：11.14 公里
B 實驗	太空梭	需利用高科技	太空	約 10.1 公里
C 實驗	測鏈、轉鏡經緯儀、望遠鏡	需費較多人力時間	南美洲海域	約 14.292 公里
我們的實驗	鉛垂、尼龍繩、可伸縮支架、水管、水平儀、木板、螺絲、螺帽、直尺、捲尺、標示器材、紙、筆、G P S、工程計算機、日出日落表。	可利用小範圍、簡易自製的實驗器材和短時間來計算出地球半徑。	有強烈陽光之平地	無

我們利用的方法適合與地形的類別來做考量，氣候、太陽的日出與日落、竿影的標定、利用捲尺測量長度的誤差，以上的誤差雖然極小，但綜合後與別種比較理應有誤差，綜合比較兩種不同方式的特色，如實驗特色、實驗地點、儀器、誤差值等。以前的埃拉托斯特尼利用影子測出半徑的誤差，與今日用器材較準確的測量值**差不到百分之五**，大概古希臘人利用**兩地較長距離來縮小誤差**構成相對距離較長的特色，也因地勢平坦，光線能使竿影呈現也是特色。而經由上述各種情況下，我們的方法配合台灣地區內所有的情形，達到地形氣候、緯度、時間、相對距離及日出日落的精確控制下，進行測量太陽仰角的行動，本實驗求得之地求半徑與 B、C 實驗差距分別為 **0.16%**和 **0.22%**，相對於較準確的方法，我們的實驗特點是**可利用小範圍、簡易自製的實驗器材和短時間**來精確估算地球半徑。

柒、結論：

古希臘數學家埃拉托斯特尼的估計包含幾項不精確與不確定的因素，但我們改良它的做法，把實驗的位置利用現代科技精確的方法確定，並把距離縮小。我們在同時間、經度不同地點兩地中計算出兩地的太陽仰角加上兩地的距離，藉此可利用三角函數算出地球的半徑。

測得本實驗測得之地球平均半徑為 6367.9 公里，我們利用 google earth 來精確的算出兩地的距離，利用 GPS 衛星定位系統來標定我們的實驗位置，本實驗求得之地球半徑與前人測得之實驗差距分別為 0.16%和 0.22%，相對於較準確的方法，我們的實驗特點是可利用小範圍、簡易自製的實驗器材和短時間來精確估算地球半徑。

捌、參考資料及其他：

一、康軒文教事業 自然與生活科技教科書第三冊 第四章光

二、古希臘科學家埃拉托斯特尼

資料來源: <http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1005022305575>

三、中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>

四、Google 地球

五、百度知道 <http://zhidao.baidu.com/>

六、可道書房 光的故事..發現第二個愛因斯坦

附表一：彰化地區 97 年日出日沒時刻表

中華民國 97 年日出日沒時刻表

彰 化 地 區												
日 期	1 月		2 月		3 月		4 月		5 月		6 月	
	日出	日沒	日出	日沒	日出	日沒	日出	日沒	日出	日沒	日出	日沒
20	06:43	17:35	06:28	17:55	06:03	18:09	05:33	18:21	05:13	18:36	05:10	18:48
21	06:42	17:36	06:27	17:56	06:02	18:09	05:32	18:22	05:13	18:36	05:11	18:48
22	06:42	17:36	06:27	17:56	06:01	18:09	05:31	18:22	05:12	18:37	05:11	18:48
23	06:42	17:37	06:26	17:57	06:00	18:10	05:30	18:23	05:12	18:37	05:11	18:49
24	06:42	17:38	06:25	17:58	05:59	18:10	05:29	18:23	05:12	18:37	05:11	18:49
25	06:42	17:39	06:24	17:58	05:58	18:11	05:29	18:24	05:12	18:38	05:12	18:49
30	06:40	17:42			05:53	18:13	05:25	18:26	05:10	18:40	05:13	18:50
31	06:40	17:43			05:52	18:13			05:10	18:41		

※由日出日落時間算出太陽通過子午線時間為 12 時 09 分

【評語】 031727

優點：

基本概念正確，理論亦可，日影操作技術合理且利用簡易測量工具，獲得可信結果。使用 google 獲得兩地點之經度、緯度，大致符合現況。整體想法具創意。

缺點：

本觀測之誤差與海森堡測不準原理無關，屬於一般之誤差理論。

計算地球半徑應只有正午時刻所得之角度可用，而非任何時刻之角度。

建議改進事項：

觀測時間應從 11：30 至 12：30，而從 11：00-13：00 最好。

11：30-12：00 無法獲得精確度高的正午時刻。

應考慮克服例如天候（風）等相關造成誤差之因素