

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

第三名

081502

高不可攀

學校名稱：彰化縣彰化市平和國民小學

<p>作者：</p> <p>小五 萬家佑</p> <p>小五 李孟柔</p> <p>小五 彭士晉</p> <p>小五 陳育慈</p> <p>小五 吳俊榮</p> <p>小五 鍾欣純</p>	<p>指導老師：</p> <p>陳世財</p>
--	-------------------------

關鍵詞：高度角、測高儀器、鐳射光

『高』不可攀

摘要：

利用鐳射光的聚光性投射物體，並因此求出高度角和物體假影長，並對照自製高度角表，而求出實際物體的實際高度，然後再依據需要進行儀器改進製作。

壹、研究動機

五年級上學期自然老師上：「觀測太陽」單元中「太陽高度角」的時候作了一個實驗觀察（如圖 13），再確定所在地的方向（東西南北），利用太陽光照射木棍所產生的影子，並在木棍頂端拉起一條綿線到棍子的影子端，然後測量綿線和影子的高度。在實驗的過程中，發現影子愈短，高度角愈高，影子愈長，高度角愈低。因此本組發現一個問題：那就是棍子的高度並未改變，可是影子的長短卻和高度角高低有著明顯的關係。因此我們就討論是否可因「影子」和「高度角」來測量棍子或物體的實際高度呢？

貳、研究目的：

- 一、找出高度與高度角和影長的關係
- 二、不使用光源照射測量小物體的高度（自製高度角表）
- 三、利用自製儀器測量大物體影長
- 四、利用自製儀器測量大物體的高度
- 五、改進自製儀器。

參、研究問題：

- 一、找出高度角、影子和實際高度的關係是什麼？
- 二、找出測量高度的公式是什麼？
- 三、實驗計算出的高度跟實際高度的誤差多少？
- 四、找出高度表。
- 五、依照限制自製簡易測高儀器。
- 六、依照限制自製改進測高儀器。
- 七、依照限制如何自製測距離儀器？
- 八、改進自製測距儀器。
- 九、改進自製測高儀器。
- 十、以自製儀器測量各種高度。
- 十一、自製一人操作的測高與距離儀器。
- 十二、自製測量更遠的一人測高儀器。

肆、研究儀器：

三角板、量角器、直尺、布條尺、捲尺、手電筒、鏡子、綿線、鐳射筆、滾輪玩具、三腳架、鑽孔工具、奶粉罐、棍子、鐵絲、鋸子、望遠鏡



圖 1：自製測距儀器



圖 2：自製 45 度測高儀器



圖 3：自製鏡子測高儀器



圖 4：自製盒形測高儀器



圖 5：測高儀器

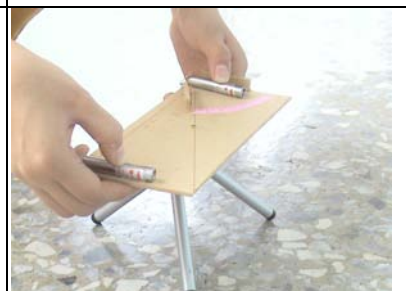


圖 6：自製測距儀器

伍、研究方法與結果：

問題（一）同一時間，找出高度角、影子和實際高度的關係是什麼？

實驗（一）利用測量太陽高度角的儀器，紀錄在相同時間的影子和高度角的關係。

結果（一）

物體	實際高度	影長	高度角	實際高度 ÷影長
30 公分直尺	31.8	37.7	40	0.843501
木棍	97.2	117	39	0.830769
氣窗擦高度	184.5	214	41	0.86215



圖 7：氣窗擦測太陽高度角



圖 8：量角器量測高度角

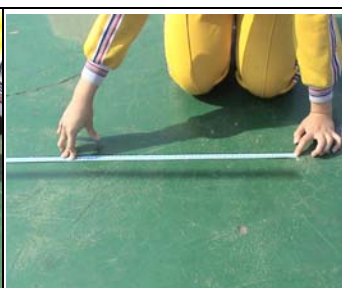


圖 9：測量影長



圖 10：物體要垂直地面



圖 11：短棍測太陽高度角



圖 12：直尺測太陽高度角

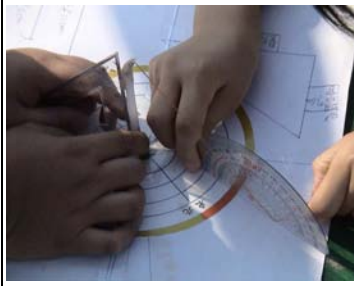


圖 13：太陽觀測器

我們的歸納：同一時間不管所量測的物體高度多少，其高度角約略相同，而物體愈高的其影長就愈長。

我們的疑問：不管物體為何，當高度角相同時，其實際高度÷影長【以下稱為 T 值】也約略相同。所以我們就想到：那不同時間所量測的影長、高度角和實際高會有什麼相關性呢？

問題（二）找出測量高度的公式是什麼？

實驗（二）利用測量太陽高度角的儀器，紀錄在不同時間的「實際高度÷影子」和高度角的關係。

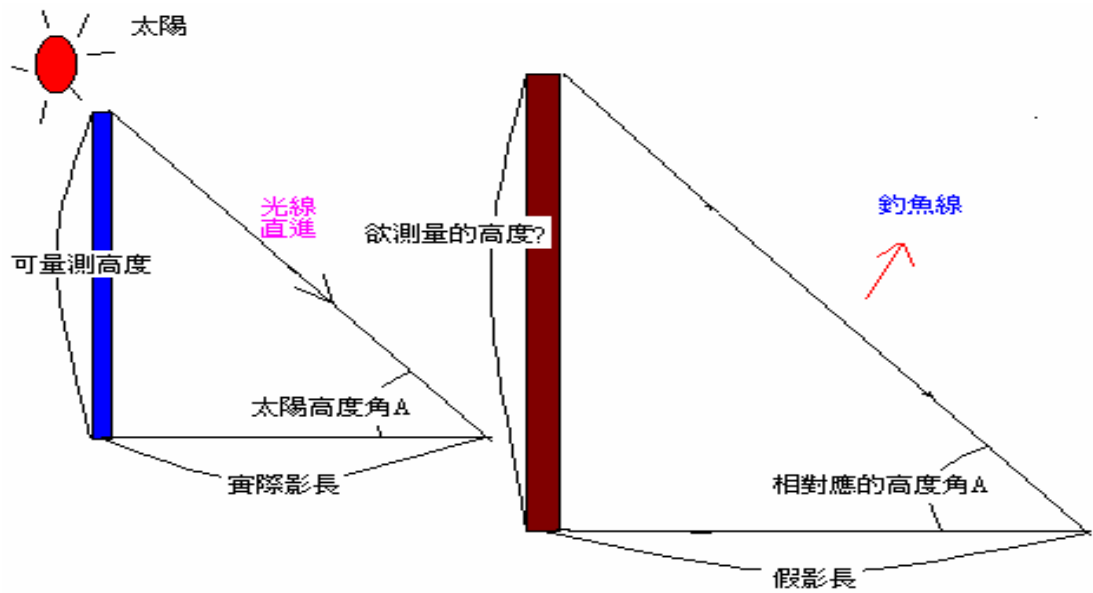
結果（二）

用太陽照射物體求取高度角和影長				
時間	實際高度(cm)	影長 (cm)	高度角 (度)	實際高度÷影長
8:00	7.2	25.18	17.7	0.285941223
8:10	7.2	23.26	19	0.309544282
8:20	7.2	21.19	21	0.339782916
8:30	7.2	19.07	23.4	0.377556371
8:40	7.2	17.65	25.6	0.407932011
8:50	7.2	16.36	27.9	0.4400978
9:00	7.2	15.51	29.55	0.464216634
9:10	7.2	14.02	33.21	0.513552068
9:20	7.2	13.05	36.03	0.551724138
9:30	7.2	12.53	37.75	0.57462091
9:40	7.2	11.88	40.27	0.606060606
9:50	7.2	11.08	43.83	0.649819495
10:00	7.2	10.49	46.2	0.686367969
10:10	7.2	9.96	49.3	0.722891566
10:20	7.2	9.46	52.6	0.761099366
10:30	7.2	8.96	55.8	0.803571429
10:40	7.2	8.56	59.2	0.841121495
10:50	7.2	8.23	62.2	0.874848117
11:00	7.2	7.89	66.7	0.912547529
11:10	7.2	7.73	68.7	0.931435964
11:20	7.2	7.54	71.6	0.954907162
11:30	7.2	7.38	74.5	0.975609756
11:40	7.2	7.16	78.2	1.005586592
11:50	7.2	7.05	80.5	1.021276596
12:00	7.2	6.94	84.1	1.037463977

直接用釣魚線和高度角來測量（虛）影長			
實際高度（cm）	影長（cm）	高度角（度）	實際高度÷影長
6.8	80	5	0.085
6.8	42.2	10	0.161137441
6.8	27	15	0.251851852
6.8	19.8	20	0.343434343
6.8	13.6	25	0.5
6.8	10.8	30	0.62962963
6.8	8.8	35	0.772727273
6.8	7.5	40	0.906666667
6.8	6.7	45	1.014925373
6.8	5.8	50	1.172413793
6.8	4.5	55	1.511111111
6.8	3.8	60	1.789473684
6.8	2.6	65	2.615384615
6.8	2	70	3.4
6.8	1.8	75	3.777777778
6.8	1	80	6.8
6.8	0.6	85	11.333333333

我們的歸納：高度角和影長似乎呈現反比的關係（高度角愈高影長愈短），且高度角與 T 值成正比關係（高度角愈高，實際高度÷影長 會愈大）

我們的疑問：是否可因為實驗一與實驗二,製作出一個『高度角表』,而使得我們以後只要對照高度角表後,將「影長×T」即可得到實際高度；意即：實際長=影長×T



問題 (三) 找出高度角表。

實驗 (三) 先自製簡易測量器 (拉釣魚線)，固定測量器的物體高，再將按照度數找出高度角和假影長。

結果 (三) $T = \text{棍長} \div \text{假影長}$

高度角	假影長	棍長	T 值	高度角	假影長	棍長	T 值
1	5157	98.5	0.01910025	46	95	98.5	1.03684211
2	2655	98.5	0.03709981	47	92	98.5	1.07065217
3	1920	98.5	0.05130208	48	89	98.5	1.10674157
4	1383	98.5	0.07122198	49	84	98.5	1.17261905
5	997	98.5	0.09879639	50	83	98.5	1.18674699
6	920	98.5	0.10706522	51	80	98.5	1.23125
7	800	98.5	0.123125	52	75	98.5	1.31333333
8	698	98.5	0.14111748	53	74	98.5	1.33108108
9	619	98.5	0.15912763	54	72	98.5	1.36805556
10	559	98.5	0.17620751	55	68	98.5	1.44852941
11	504	98.5	0.19543651	56	66	98.5	1.49242424
12	463	98.5	0.21274298	57	64	98.5	1.5390625
13	421	98.5	0.23396675	58	61	98.5	1.6147541
14	398	98.5	0.24748744	59	59	98.5	1.66949153
15	364	98.5	0.2706044	60	57	98.5	1.72807018
16	340	98.5	0.28970588	61	54	98.5	1.82407407
17	325	98.5	0.30307692	62	52	98.5	1.89423077
18	300	98.5	0.32833333	63	50	98.5	1.97

19	283	98.5	0.34805654	64	48	98.5	2.05208333
20	275	98.5	0.35818182	65	45	98.5	2.18888889
21	255	98.5	0.38627451	66	44	98.5	2.23863636
22	241	98.5	0.40871369	67	42	98.5	2.3452381
23	233	98.5	0.42274678	68	40	98.5	2.4625
24	222	98.5	0.44369369	69	38	98.5	2.59210526
25	208	98.5	0.47355769	70	35	98.5	2.81428571
26	200	98.5	0.4925	71	34	98.5	2.89705882
27	195	98.5	0.50512821	72	32	98.5	3.078125
28	184	98.5	0.53532609	73	30	98.5	3.28333333
29	179	98.5	0.55027933	74	28	98.5	3.51785714
30	172	98.5	0.57267442	75	25	98.5	3.94
31	165	98.5	0.5969697	76	24	98.5	4.10416667
32	155	98.5	0.63548387	77	23	98.5	4.2826087
33	150	98.5	0.65666667	78	21	98.5	4.69047619
34	145	98.5	0.67931034	79	19	98.5	5.18421053
35	139	98.5	0.70863309	80	17	98.5	5.79411765
36	134	98.5	0.73507463	81	16	98.5	6.15625
37	129	98.5	0.76356589	82	14	98.5	7.03571429
38	125	98.5	0.788	83	12	98.5	8.20833333
39	119	98.5	0.82773109	84	10	98.5	9.85
40	117	98.5	0.84188034	85	9	98.5	10.9444444
41	112	98.5	0.87946429	86	7	98.5	14.0714286
42	108	98.5	0.91203704	87	5	98.5	19.7
43	106	98.5	0.92924528	88	3	98.5	32.8333333
44	102	98.5	0.96568627	89	2	98.5	49.25
45	97	98.5	1.01546392	90	?	98.5	?

我們的歸納：高度角愈小時，釣魚線拉得較長，估角度難度較高，而高度角到將近 90 度左右時，我們並無法估算出 T 值來，不過可預見的是其值相當大。

我們的疑問：高度角的數值裡，相接近的度數，它們的 T 值要到小數後第二位以上，才會區別開來，所以 T 值要能準確到小數第二位以上才會準確。因為我們使用的是坊間學生用量角器，所以刻度最多只到一度而已，對於 0.1 甚至於 0.01 度以下的刻度卻沒辦法克服與測量，而這在 T 值愈大的地方似乎更為需要，因為倍數的變化非常大，相對的當假影長乘以 T 值時，誤差就

相當大了！而且當我們用人眼看角度時，一度與一度間的差距，可能也都因為人為的晃動，和釣魚線的鬆緊，可能都會有一兩度的誤差，而這也都是我們必須在更為嚴謹克服的。而 T 值表的正確性與否都決定我們以下的實驗呢！

問題（四）實驗計算出的高度跟實際高度的誤差多少？

實驗（四）利用實驗（二）的數據，用太陽光測量物體影長及高度角（利用拉線）並算出「估算的實際高度與實際高度」的誤差。

結果（四）單位：公分

物體	實際物高 (H)	高度角	影長	公式高度： (L=影長×T)	誤差 = (L-H)/H	備註
1.小籃球架	320	32	516	328	2.50%	
2.球門	230	26	460	226	-1.74%	
3.羽球架	154	65	71	155	0.65%	
4 大象溜滑梯	234	36	315	234	0.00%	
5 校園圍牆	207	41	240	211	1.93%	
6 飲水機	135	64	65	133	-1.48%	
7 遊戲區爬網	264	56	180	269	1.89%	
8 遊戲飛機	316	36	421	309	-2.22%	
9 遊戲區溜滑梯	278	47	250	267	-3.96%	
10 風雨走廊	392	53	291	387	-1.28%	
11 大籃球架	390	62	207	392	0.51%	
12 日晷	123.5	69	45	117	-5.26%	
13 斑馬	151	52	124	163	7.95%	
14 長頸鹿	231	51	192	236	2.16%	
15 駱駝	167	51	143	176	5.39%	
16 便當架	190	46	186	193	1.58%	
17 機車棚	205.5	33	326	214	4.14%	
18 女兒牆	108	65	48	105	-2.78%	

我們的歸納：依據以上誤差分析，發現誤差約在 2.61% ~ -2.67 之間，而其 T 值是可被接受的。也就是說，實驗二所測出的高度角表示可被信任的，所以可以當成是未來儀器測量時的 T 值表，也是我們以下實驗的重要依據。

問題（五）依照限制如何自製簡單測高儀器？

實驗（五）先製成一個 45 度角的三角板，將鐳射筆固定於斜邊，另一鐳射筆固定於底邊（如圖 2），依照等腰直角三角形的特性，得出影長等於實際高度

結果（五）

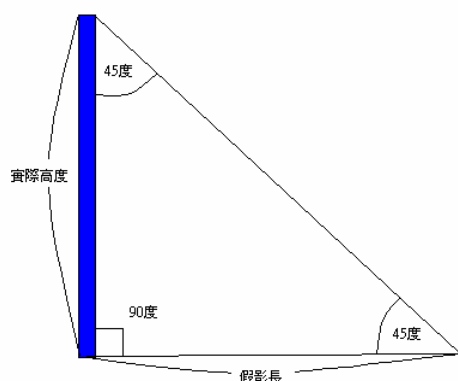


圖 14：45 度角測高儀器測籃球板高度 圖 15：45 度角測高儀器測司令台高度

物體	高度角	假影長	儀器量測高度	實際高度	備註
羽球架	45	150	150	154	
教室鐵櫃	45	182	182	187	
活動中心大門	45	207	207	204	
便當架	45	186	186	190	
教室窗戶	45	228	228	219	
女兒牆	45	107	107	108	
教室高度	45	345	345	338	
機車棚	45	201	201	205.5	
籃球架	45	322	322	320	
司令台	45	647	647	644	

我們的歸納：依照等腰直角三角形的性質，只要找出假影長，就會相當於得

到欲量測的物體高。即 假影長 = 實際物體高 (如下圖)



我們的疑問：因為每次測量的假影長會剛好等於物體高，所以當物體愈高時，所走的距離越長，也造成測量上的困擾和難度。因此要想法子克服這種瓶頸。

問題 (六) 依照限制 (五) 自製改進測高儀器？

實驗 (六) 先將一面可折式鏡子固定於木板上，並在約離鏡子 8 公分處架設一座鐳射筆，而其反射點正好在可折式鏡子的中心點上。將可折式鏡子調到適當的角度，使得鐳射光反射至欲測量的物體高度處，然後測量高度角及物體到測高儀器的距離即可。(如圖 16)



圖 16：鏡子測高儀器操作



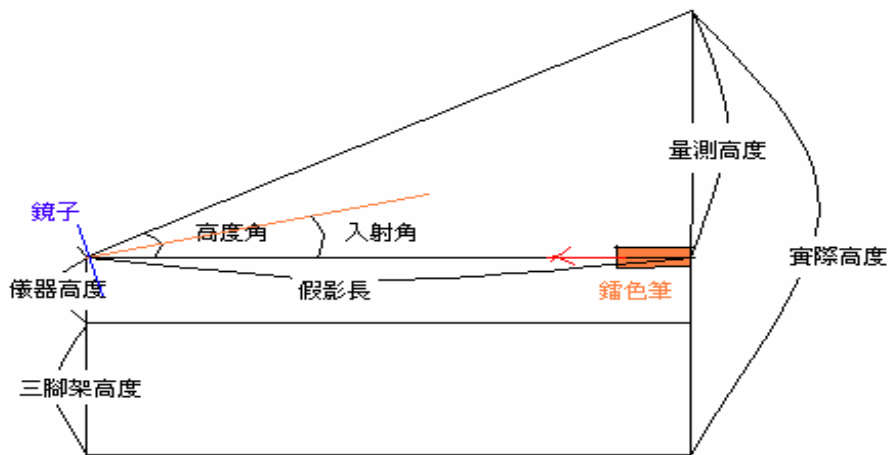
圖 17：在黑夜中操作 (鐳射紅點)

結果 (六)

物體	高度角 (度)	假影長 (cm)	儀器量測高度 (cm)	實際高度 (cm)	備註
爬網器材	32	253	$161 + 88.6 = 249.6$	293	
大象溜滑梯	58	160	$258 + 88.6 = 346.6$	340	
明禮樓二樓	32	761	$484 + 88.6 = 572.6$	615	
明禮樓三樓	46	761	$789 + 88.6 = 877.6$	981	
明禮樓四樓	54	761	$1042 + 88.6 = 1130.6$	1338	
鐵軌陸橋	62	521	$987 + 88.6 = 1075.5$	1328	
明禮樓二樓	68	205	$505 + 88.6 = 593.6$	615	

尚義樓二樓	20	1286	$461 + 88.6 = 549.6$	565	
【儀器高度 = 鏡架高度 + 腳架高度 = $7.9 + 80.7 = 88.6$ cm】					
【儀器量測高度 = 公式計算高度 + 儀器高度】					

我們的歸納：因為入射角等於反射角的關係，而我們的儀器上對準量角器的鐵線垂直於鏡子（鐳射反射的中心位置），所以高度角 = 入射角 $\times 2$ ，而由高度角算出的物體高度還要加上儀器本身的高度和三腳架的高度，才會等於實際物體的高度（如下圖）



我們的疑問：因為每次測量都要先歸零（即鏡面要與鐳射垂直），所以我們就在鏡後作了簡單的『歸零器』（如圖 18），並且再測量時都會利用三腳架水平儀調整水平（如圖 19、20）



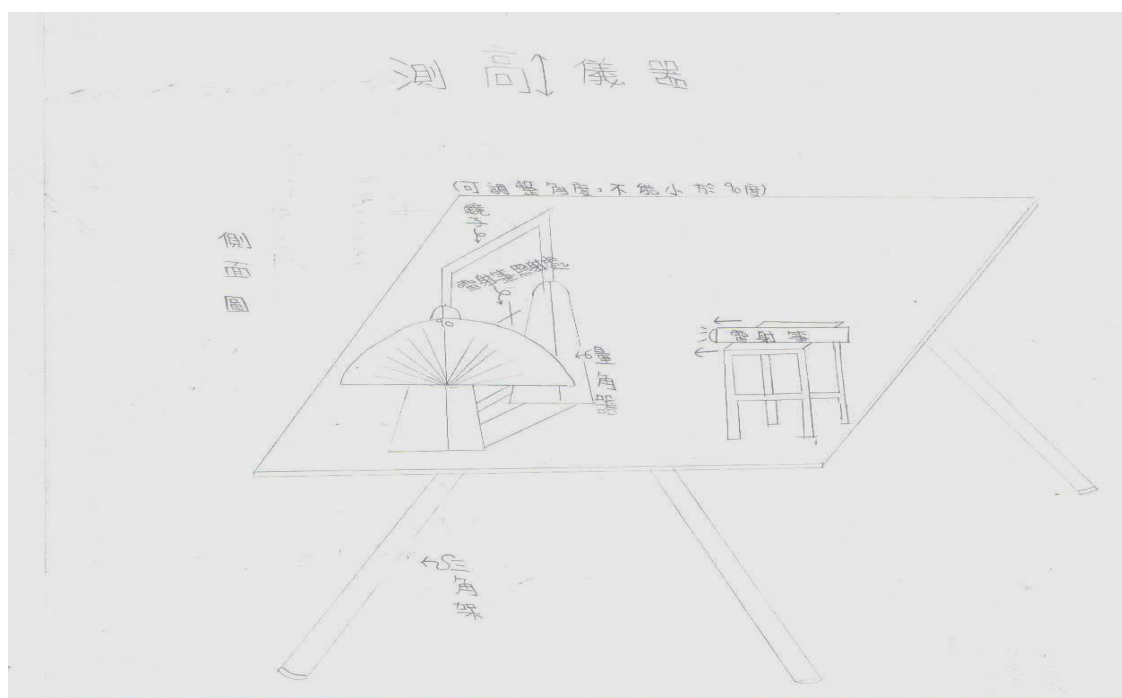
圖 18：歸零裝置



圖 19：水平裝置



圖 20：水平裝置位置



問題（七）依照限制如何自製測距離儀器？

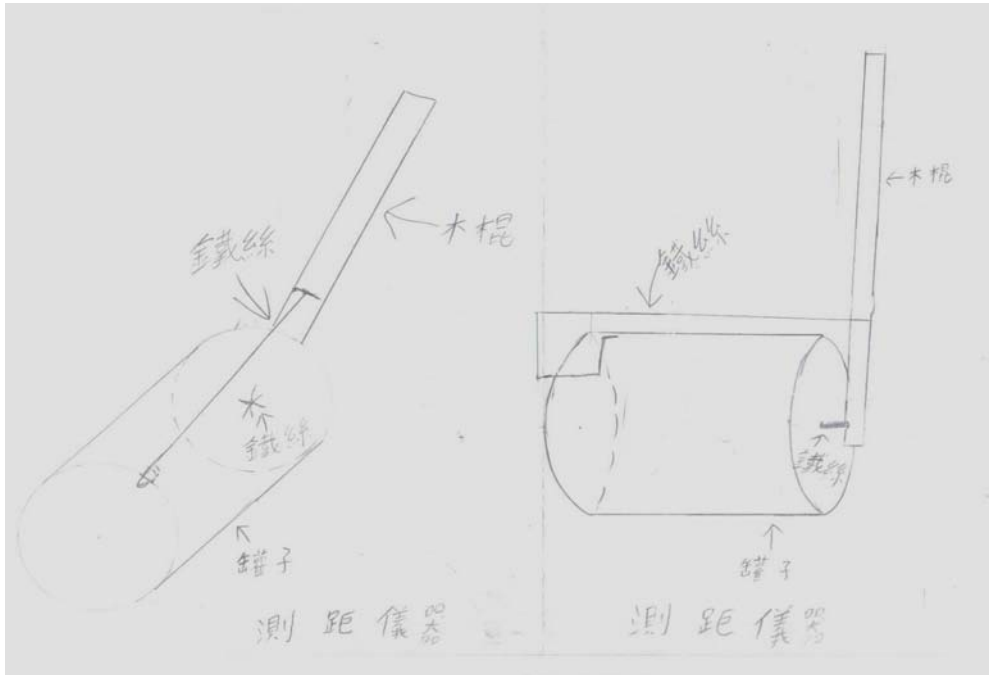
實驗（七）利用滾輪（圓周）的性質，測量兩端的距離。（如圖 1）先測量出滾輪的直徑，再將直徑乘以圓週率，求得滾輪繞一圈的距離。然後使用滾輪從欲測量的一端滾到另一端，算出滾輪的圈數，則兩端的距離公式 = 圈數 × 滾輪圓周

結果（七）

量測物體	實際長度	奶粉罐滾輪（直徑 = 12.9cm，圓周 = 40.5cm）	玩具滾輪（直徑 = 13.5cm，圓周 = 42.4cm）	備註
教室牆壁	119	40.5×3 （圈） = 121.5	42.4×3 （圈） = 127.2	
教室走廊	10519	$40.5 \times 261 = 10570$	$42.4 \times 248 = 10515$	
100 公尺跑道	10000	$40.5 \times 243 = 98415$	$42.4 \times 241 = 10218$	
二、三棟的距離	2841	$40.5 \times 67 = 2714$	$42.4 \times 66 = 2798$	
教室寬度	901	$40.5 \times 23 = 932$	$42.4 \times 21 = 890$	
校門口到噴水池	1752	$40.5 \times 43 = 1742$	$42.4 \times 42 = 1780$	

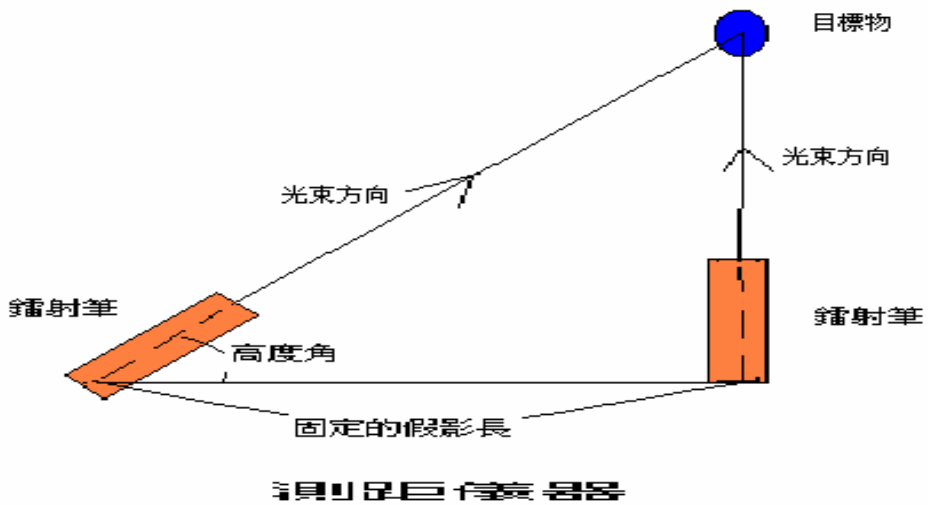
我們的歸納：相同距離，當滾輪愈大，其滾動圈數愈少；滾輪愈小，滾動次數愈大。所以再選擇測距器時，應選擇適用，在我們的實驗裡，我們忽略了不到一圈的圈數，但採取過半圈就進一圈，未過半就不算的計數方式

我們的疑問：因為按照滾輪的設計，目前只能用目視並且計數，所以使用時必須相當專心，且滾動時並非完全全的直線距離，所以誤差也會有，不過以概數來說，還是可以容忍的範圍，但應有改進空間。



問題（八）改進自製測距離儀器？

實驗（八）利用測高儀器改進測距儀。（如下圖）



結果（八）

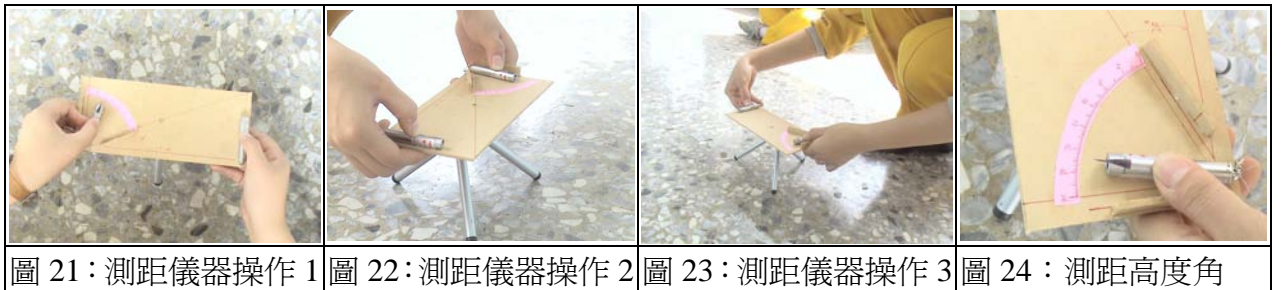


圖 21：測距儀器操作 1 圖 22：測距儀器操作 2 圖 23：測距儀器操作 3 圖 24：測距高度角

物體	實際距離	高度角(度)	假影長 (cm)	測量距離 (cm)	誤差	備註
----	------	--------	----------	-----------	----	----

				=假影長×T 值		
教室牆壁（隨取）	119	80	20	115	3.36%	
二三棟距離	2841	89	20	985	-68.85%	
教室長度	901	89	20	985	-9.32%	
第二棟到椰子樹	1435	89	20	985	-31.36%	
圍牆	172	83	20	164	-4.65%	
兩學生距離（1）	565	87	20	394	-30.27%	
大門口到水池	5310	89	20	985	-81.45%	
校門與對街距離	4317	89	20	985	-77.18%	滾輪估算
黑板	100	79	20	104	4%	
兩學生距離（2）	427	87	20	394	-7.73%	

我們的歸納：誤差值太大，只適用於 4、5 百公分左右，不適合當測量儀器。

我們的疑問：這次的實驗誤差相當的大，根據觀察：通常高度角都相當的大（不管距離多遠），甚至於很接近 90 度，這令我們產生懷疑，因為不可能不同距離卻有相同的高度角。

問題（九）以自製儀器測量各種高度。

實驗（九）實際測量各種物體高度，並且測量可實際量度的物體實際高度，（如下圖）。

結果（九）



圖 25：測高儀器操作 1



圖 26：測高儀器操作 2



圖 27：測便當架高度

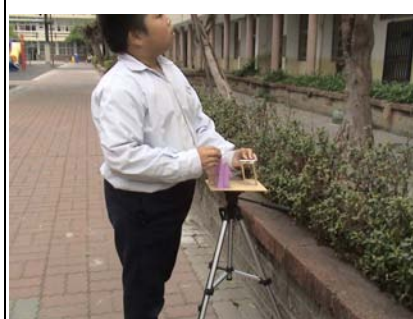


圖 28：測明禮樓高度 1



圖 29：測明禮樓高度 2



圖 30：測明禮樓高度 3



圖 31：夜間測量明禮樓



圖 32：夜間測量溜滑梯



圖 33：測量椰子樹高度



圖 34：測量水塔高度

測量物體	高度角	假影長	T 值	估算物體高	實際物體高	誤差
溜滑梯	36	412	0.73507463	303	328	-7.62%
籃球架	41	452	0.87946429	398	380	4.74%
學校三樓 女兒牆	62	521	1.89423077	987	981	0.61%
教室窗戶	59	135	1.66949153	225	219	2.74%
活動中心 大門	34	312	0.67931034	212	204	3.92%
教室鐵櫃	51	148	1.23125	182	187	-2.67%
水塔	25	458	0.47355769	217	230	-5.65%
椰子樹	73	116	3.283333333	381	?	?

我們的歸納：依此發現誤差值約在 -5%~3% 之間。而椰子樹的實際高度因為無法測量，因此誤差也無法估算。在測量的實驗中，我們發現，如果我們爲了要測量假影長方便，可以靠近測量物體一點，反正只是測量的高度角變高，但並不會影響估算物體的高度，也可以減少測量假影長的誤差。夜間測量的效果比日間測量的效果更佳，測量的距離也可以較遠，但相對的這也是它的缺點，在白天的紅點愈遠愈不明顯，若測量只能近距離，限制就大了一點。

問題（十）利用不同高度角測量物體高度，檢驗準確度。

實驗（十）利用不同位置（高度角）去量測同一物體，所量測的高度。

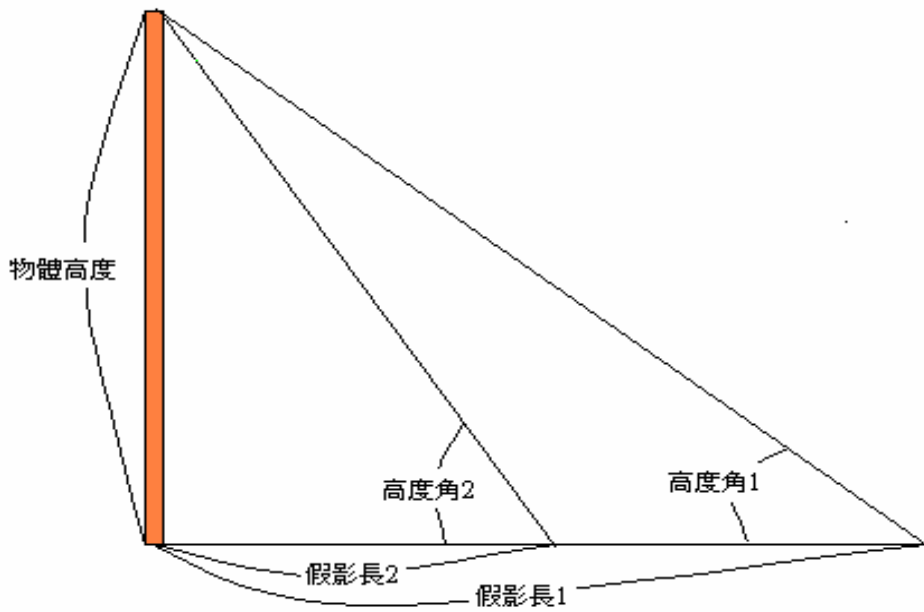
結果（十）

測量物體	高度角 (cm)	假影長 (cm)	T 值	估算物體高 (cm)	實際物體 高 (cm)	誤差
溜滑梯	65	152	2.188888889	333	328	1.52%
	32	511	0.635483871	323		-1.52%
籃球架	71	81	2.897058824	235	234	0.43%
	43	248	0.929245283	230		-5.98%
學校三樓 女兒牆	67	421	2.345238095	987	981	0.61%
	47	925	1.070652174	990		0.92%
教室鐵櫃	78	41	4.69047619	192	187	2.67%
	35	274	0.708633094	194		3.74%
教室高度	48	298	1.106741573	330	338	-2.37%
	33	512	0.656666667	336		-0.59%

我們的歸納：測同一個物體，雖然在不同的位置量測（如下圖），爲了讓實驗更爲有效，我們將兩個角度的差距拉大一點作實驗，發現其高度誤差約 -2.61% ~1.65% 間，因此是個可用的測高儀器。

我們的疑問：角度的準確度與否，對於物體的高度準確與否，是有很大的

關係的，所以希望能紀錄高度角時（=入射角 $\times 2$ ），能有更好的方式才是。



問題（十一）如何一個人操作測高和測距離儀器？

實驗（十一）製作一個『盒形的測高儀器』。（如圖 38）

結果（十一）（如圖）



圖 35：盒形測高儀內部 1



圖 36：盒形測高儀內部 2

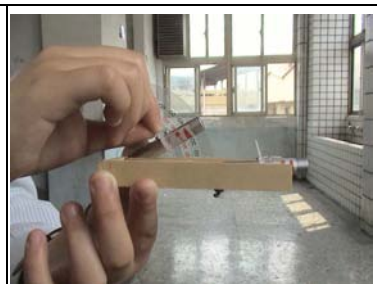


圖 37：盒形測高儀量角器



圖 38：盒形測高儀外觀



圖 39：盒形測高儀的測距量角器



圖 40：操作測距鐳射



圖 41：盒形測高儀測滑梯

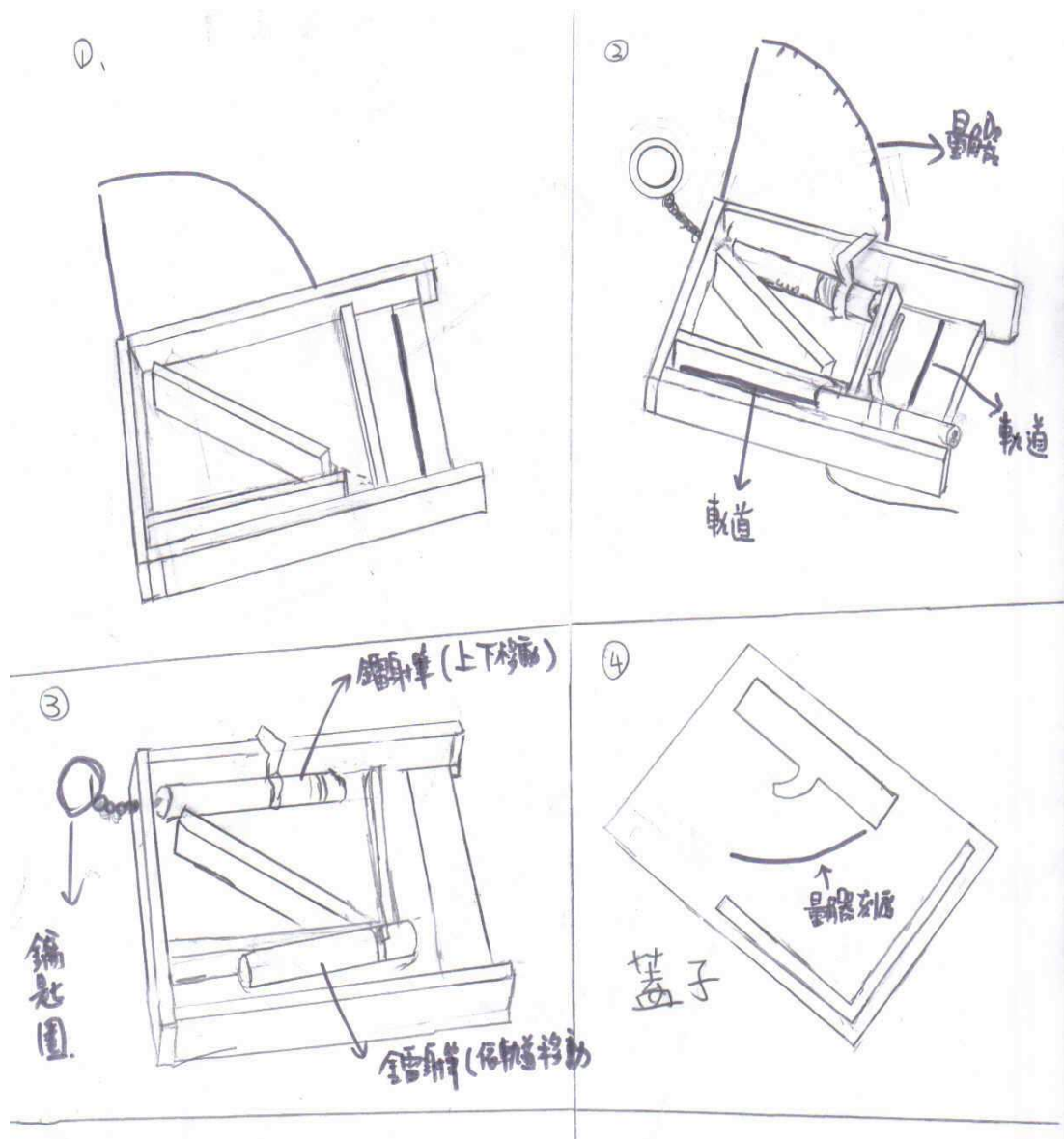


圖 42：盒形測高儀測陸橋

測量物體	高度角 (距離)	估算假影 長(滾輪)	高度角 (高度)	估算物體高	實際物體高	誤差
溜滑梯	?	610	31	364	328	10.98%
籃球架	?	312	54	416	380	9.47%
學校三樓女兒牆	?	683	58	1103	1035	6.57%
教室窗戶	?	228	49	267	219	21.92%
活動中心大門	?	111	64	228	204	11.76%
教室鐵櫃	?	233	41	205	187	9.63%
水塔	?	78	69	202	230	12.17%
陸橋	?	1028	50	1220	1328	8.13%

我們的歸納：平均誤差值在 11.33% 左右，仍是可以估算高度的有效儀器。
在儀器的使用時，

我們的疑問：剛開始使用「鏡子」的雛形測高器，過於複雜，因此我們將鏡子取消，只保留「鐳射筆和量角器」，並加以改進。(如圖 36、37) 但是因為滾輪需要再走回原地，才有辦法測量出，因此我們就將測高器(因為高度也是一種距離)加以變形成為測距器(如圖 35、39、40)。製作出來後經過測試，原理應該沒問題，但就出在儀器製作的精緻度是否精細，會影響測量的誤差大或小。而此盒形測距的高度角問題與實驗八相同，因此還是用滾輪測量距離。(無法克服高度角表的更小角度值)



問題（十二）如何測得更高更遠的物體高度和距離？

實驗（十二）製作一個改進望遠鏡的測高儀器。（如圖 43）

結果（十二）使用兩點成一直線的概念，再加上望遠鏡和量角器即可。



圖 43：非光源測高器



圖 44：非光源測高器操作



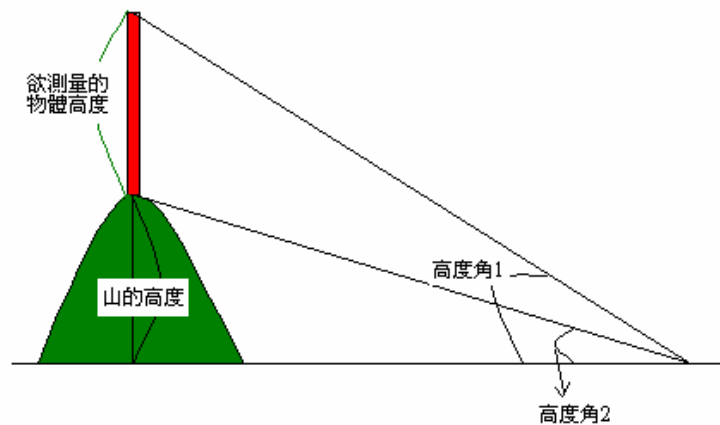
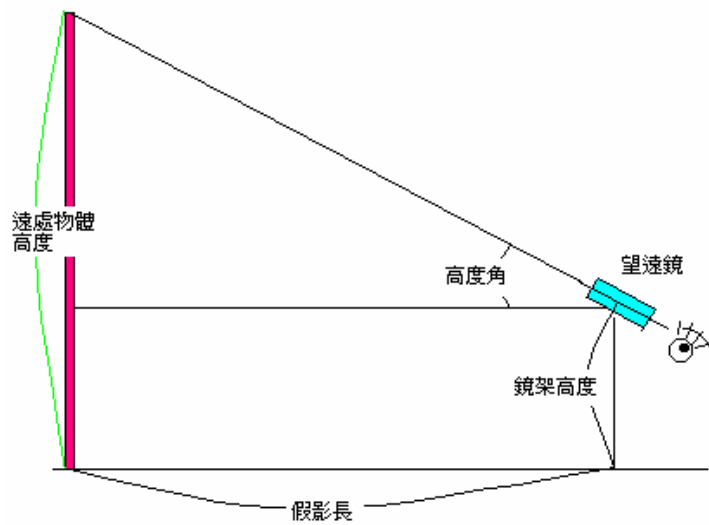
圖 45：測量遠方水塔高度



物體	實際高度 (cm)	高度角 (度)	假影長 (cm)	估算高度 (cm) =公式高度+儀器高度	備註
學校水塔	1690	7	12520	$1542+120=1662$	
大佛(1)	2200	9~12	52800	$11233-9303+120=2050$	假影長用「電子地圖網」估算
大佛(2)	2200	3~14	11420	$2826-586+120=2340$	假影長用滾輪估算

我們的歸納：此方法可以減少鐳射筆的電池使用量，更可以在一般的情況下使用（不管在白天或晚上），因此克服了鐳射筆的主要缺點，而在測量遠距物體時，我們就需要運用到電子地圖的使用，因為在測量物體時，儀器跟物體可能不在同一水平面上，因此測量時就必須同時測量兩個高度角，然後算出兩個高度，再相減才能算出物體真正的高度。（如下圖）

我們的疑問：遠距離的假影長一樣可以用望遠鏡來測得其長度，原理相同，但若距離太遠時（或者有遮蔽物時），必須還是需要用到電子地圖，甚至於可能要先知道兩點的座標才行。



陸、討論：

本組實驗的理念在於，希望能製造簡單的設備來測量物體的高度，而作出了一系列的思考和實驗。

剛開始因為自然老師在五上時，上了一課太陽高度角的單元，雖然只是提到「太陽光照射物體會產生影子，並經由物體頂端拉棉線到影子端時，即可發現太陽的高度角」，但是本組討論時發現：太陽高度角會因為時間的改變之外，還發現高度角愈高時，影長就愈短；相反的，高度角愈低時，影長愈長。而且不管用什麼物體作高度角實驗，我們都會發現，**同一時間所量的高度角都會相等**。所以我們就對高度角的量度開始感到好奇起來了。

首先我們發現，同一時間所量的**高度角相等**，那就表示不同物體影長和

實際長度，會有一定的比率，所以我們試著把實際長度除以影長（以下稱爲 T 值），赫然發現：**相同的高度角竟然會有相同的 T 值**。於是有人提議，是否可以把**所有角度的 T 值**找到（1~90 度），也許也是個創舉。

有人提問，那 T 值找出來了，那有用嗎？大家也對這個問題感到疑惑，也決定著我們要不要做下去。突然組長就說：相同高度角，會有相同的 T 值。那如果我們能測量出物體的高度角之後，只要再測量影長，那可不就可以測出實際高度了嗎！（**實際長度 = 實際長度 / 影長 × 影長**）。因此，大家對於實驗也開始有了動力。

於是我們開始展開對於 T 值的測量。剛開始我們使用太陽光來測量高度，但可惜的是這有其限制：（影子在其他物體上、建築物越高越困難、晚上不易等。）不過也因為如此，才讓我們想到，是否可以不用光源來找出高度角？因為我們在自然課實驗時，就是用**棉線代替光線**，那我們就用線來呈現就好了呀！況且我們只要固定物體高度，直接拉線到量角器，直接按照度數順序，找出相對應的**假影長**，那就可以得到各個高度角的 T 值了。

我們知道如果測量**高度角愈小，影長會愈長**，所以我們就用了較長的釣魚線來作測量。本來隨便找個棍子加上繩子，就開始測量，但是發現棍子用手拿的垂直穩定度不夠（誤差可能也會變大），所以就有人提到：可否固定在牆壁上拉線？此時有人看到身後的羽球架，便說那個可以嗎？於是大家認爲羽球架在**垂直、可移動性、固定的高**的特性上確實可以改進高度角的測量，所以我們就立刻改用**羽球架求取高度角表**。當然我們第一個發現的問題就是，當高度角很小時（1~5 度間），釣魚線要拉很長，所以在估算角度和影長困難度很高。所以我們的儀器在測量時就會考慮到這點，來調整自己的位置，使得高度角能在適當的數值上，況且我們所要測量的物體，我們都會就近測量，因此**高度角的範圍大約在 30 度到 80 度應該都綽綽有餘**。

高度角表出來之後，我們就開始必須作檢驗，**檢驗高度角表的可用性**。於是我們就需要有測量的工具出來。所以我們就先找能夠**實際量測到高度**的物體來作檢驗，然後再依據影子長來檢驗高度表，並且加以修正誤差，來製作一個最接近正確值的高度角表。

剛開始量測太陽高度角的實驗時，我們發現當**太陽高度角約略等於 45 度時，物體影子長會等於物體長**。我們檢驗了等腰直角三角形的特性發現確實如此。因此剛開始的檢驗就是利用此簡單儀器來檢驗高度角表。

剛開始要測量假影長時，近距離的沒問題，使用一般的直尺、布尺，甚至於更長的捲尺來量度。但是一想到更遠的距離時該怎麼辦？有同學提到就用**捲尺的倍數**來算就好，因此我們只加了一隻粉筆就解決了。可是大家覺得這樣太麻煩的，況且也不像有科學實驗的態度和作法。

於是有人提議：之前老師有教過圓周的問題，我們**利用圓周在地面滾動的圈數來計算距離**，應該可行。於是大家開始討論，那用什麼圓來進行測距儀器呢？使用呼拉圈，太大且不方便使用；使用童玩滾鐵圈，要用跑

得且不是每個人都會使用、、、。那就不用奶粉罐加鐵線穿孔，在架一枝棍子（童玩滾鐵圈的變形），於是大家就展開了製作（如圖 1）。測驗的結果也相當不錯。不過在實驗一陣子之後，同學在賣場看到了一個附糖果的滾輪玩具，就買了下來（如圖 1），告訴大家她的發現。於是我們就開始用此測量距離。

測量距離一陣子過後，測量距離的同學反映：滾輪的桿太短，彎腰走路太累，而且重要的原因是太多人注意了！難道沒有更好的方法嗎？組長說：我們的目的是測高度，而**距離不就是高度的變形**，那我們用測高儀器來測距離，應該也可以吧？於是我們就作了實驗，同樣用測量高度的方式來測量距離，固定準心與物體，並調整鐳射筆來測出角度，便可算出我們的距離了。（如圖 21~24）但可惜的是，我們做出來的儀器，誤差值過於龐大，並無法準確測量。經由討論，發現當高度角度大時，每相差一度，其 T 值得變化就相當的大，所以應該在**一度內再建立更細的高度角表**。（例如：89.1、89.2、89.3、89.4...度，甚至於 89.11、89.12....度）

幾次的測量後，有時因同組同學有事無法前來實驗，為了解決這個問題，我們就想到：是否可以製造一個**同時測量高度與距離的可行性**（儀器縮小並可量產），而且只需要一個人作簡單的操作就可。於是我們就激發想像可能，經過一番討論後，我們決定還是使用兩支鐳射筆，來實驗看看並製作儀器。

我們為了檢驗測高器的精準度，也使用了不同高度角來測量同一物體的高度，而檢驗的結果也令人滿意。不過**鐳射光除了夜間測量較為明顯的缺點外，還會因為距離越長，其聚光效果越差**，而測量誤差也會越遠越差。為了檢討鐳射筆會因為距離愈遠或愈高，其聚光性變弱（小點變大點），所以為了改進，就想到是否可以不用光源，而又看到遠目標的，因此就立刻想到望遠鏡。使用鐳射光的目的是要能**瞄準目標物的頂端**和找出**高度角**的刻度，所以望遠鏡就必須有這兩個功能。所以我們就想到將眼睛、望遠鏡和標的物能成一直線那就可克服了，因此就在望遠鏡前後中心點位置畫上十字，測量時只要兩個十字與標的物重疊的話，那就能保證一直線了。因此**運用兩點成一直線的原理**，藉由改進望遠鏡，則無光源也可以測量。

至於量角器的測量誤差，由於自製儀器中，當鐳射筆對準物體頂端後，其高度角的準確度，需要更為準確，而且當光點對準物體頂端時，無法將鐳射筆固定，亦是我們無法克服的問題。所以我們的自製儀器，只能說是我們依科學原理所作出來的雛形（模型），期待能有廠商願意把它按照模型，變成一個更小更便利的隨身測高儀器。

因物體太**高實在不可使用攀爬**來測量高度，我們所製的儀器也確實可約略估算高度，只要將精細的高度角表輸於微型電腦，並結合微型望遠器材，組合成盒型微型測高儀器，加上掛於胸前的項鍊，便可隨身攜帶，美觀又實用。

我們都希望能成爲一個創新的小科學家，雖然遭遇到種種的困難，但是我們都一一克服了！我們發揮了無限的想像，製作出來的儀器也不能說是最完美，但是我們學到了討論與解決問題的重要性，我們繪製了很多的設計圖，並且不斷的更改，相互討論與改變我們的儀器（替代品的更換、軌道的路線、儀器外殼材質...），當它變成我們獨有的儀器時，那種感動是很難比擬的！如今，我們製造了測高及測距儀器，期待將它散播出去，讓科學不藏私，讓科學更爲廣泛。

柒、結論

- 一、使用太陽光只能用在物體小，或者影子沒有障礙物時。
- 二、高度角愈高影長愈短，高度角愈小影長愈長。
- 三、同一高度角時，物體實際高度與影長有一定的比率（T 值）。
- 四、用高度角和假影長（L），即可測得物體的高度（H）。 $H=L \times T$
- 五、等腰直角三角形，假影長＝實際物體高
- 六、高度角表的製作。
- 七、光線的入射角等於反射角，所以高度角＝入射角 $\times 2$
- 八、圓周＝直徑 $\times 3.14$ （用布繩直接量圓周），兩端的距離＝圓周 \times 圈數
- 九、距離是高度的變形。
- 十、縮小及簡化測高儀器，製作成一人操作儀器。
- 十一、 兩點成一直線，製作非光源測高儀器。
- 十二、 『發現與創新、實驗與錯誤』是我們最好的科學探索。

捌、參考書目

- 一、 牛頓出版社。自然課本五上第一單元「觀測太陽」
- 二、 Demolab 物理教學示範實驗教室。鏡子的反射與成像，取自 <http://www.phy.ntnu.edu.tw/moodle/mod/resource/view.php?id=159>
- 三、 維基百科。光的反射定律
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E7%9A%84%E5%8F%8D%E5%B0%84%E5%AE%9A%E5%BE%8B>
- 四、 台灣電子地圖服務網。彰化孔廟到大佛距離，取自 <http://www.map.com.tw/>

【評語】 081502

本作品詳細探討高度角和影長的關係並且自製簡單的儀器測量大物體的高度，研究結果具有實用性。若能將此儀加以改進，增加其穩定度及精密度，可當成自然科教學教具。表情清楚流利。