

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

第二名

030813

明察秋毫-動態測微器

學校名稱：臺北市私立再興高級中學

作者： 國二 張若萱	指導老師： 朱哲民 蕭友為
---------------	---------------------

關鍵詞：光槓桿原理 測微器 自動控制

## 摘要

爲了要檢驗肉眼無法辨識的微小動態變化，例如：一小時內植物的生長量，或五分鐘內液體的蒸發量。本研究結合樂高積木與 LABVIEW 程式的控制，並利用光槓桿原理設計出可自動測量連續性微小變化的儀器。自實驗過程中，不斷嘗試改進儀器的精密度可達  $10^{-3}\text{cm}$ ，成功測得一滴水可增加的液面高度，與五分鐘內液體的蒸發量；並且可以知道在一小時內植物的生長高度變化量。希望能改善全國實驗室難以在短時間內測得動態變化的狀況。

## 壹、研究動機

看到後走廊的小盆栽，一個禮拜就長了很多！它是在甚麼時候長高的呢？一個小時又能長多高呢？看著放在那裡的盆栽，感覺不到它在長高，這表示它在短時間內的變化是非常小的。有甚麼方法可以測量這種微小的變化呢？這麼小的變化，眼睛一定看不到，必須要把刻度放大才行。理化老師曾經教過我們，光在反射時，入射角會等於反射角(南一版，第四冊，2-1 光的反射與折射)。當平面鏡旋轉一個角度，入射角的方向不變，反射線的方向將旋轉兩倍的角度(此敘述即爲光槓桿原理)。也許可以用這個方法測量植物的微小變化。

在小學的時候開始接觸樂高的 ROBOLAB，從小就很喜玩樂高的我，對機器人的結構及程式設計非常的有興趣。所以希望能在此實驗中運用所學。

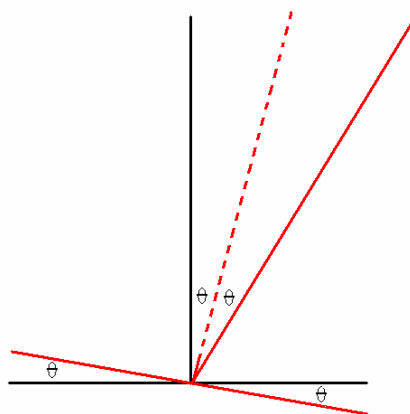
## 貳、研究目的

- 一. 利用光槓桿原理將微小動態變化放大到肉眼可觀察的大小。
- 二. 利用樂高積木與 LABVIEW 程式的結合，設計出可機動調整、自動控制並自動回傳數據的動態側微器。
- 三. 改善實驗室不易於短時間(一節課)測量微小變化的問題。

## 參、實驗原理

### 一. 光槓桿原理

若入射線的方向不變，當平面鏡旋轉某一角度  $\theta$  時，反射線的方向將旋轉  $2\theta$  角度。



## 二. 量尺的算法

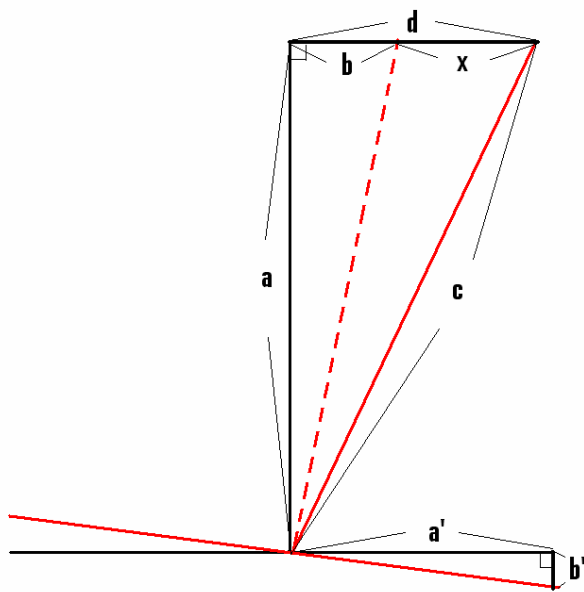
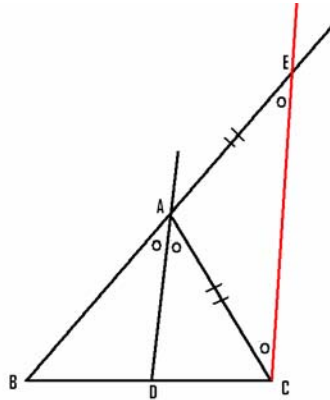
分角公式(角平分線定理)

利用相似三角可推得分角公式

$$\overline{AE} : \overline{AB} = \overline{BD} : \overline{DC}$$

$$\therefore \overline{AE} = \overline{AC}$$

$$\therefore \overline{AC} : \overline{AB} = \overline{BD} : \overline{DC}$$



根據三角形的內分角公式  $c:a=x:b$  得  $c = \frac{ax}{b}$

代入畢氏定理  $c^2 = a^2 + d^2 = a^2 + (b+x)^2$

(鏡面至光源感應器之垂直距離)

$$a = 50\text{cm} \quad a' = 1\text{cm}$$

$$50b' + \frac{50b(1+b^2)}{1-b^2} = d$$

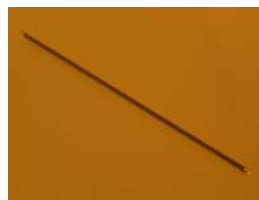
$$b' = \frac{-50 \pm \sqrt{25 + d^2}}{d}$$

## 肆、研究設備及器材

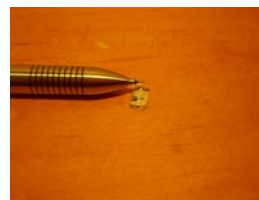
	名稱	用途
1	塑膠瓦楞片	測量待測物之變化
2	金屬棒	作為塑膠片的支點，讓塑膠片平衡
3	鏡子	反射雷射光
4	樂高積木	儀器的支架
5	RCX 控制器	程式運算
6	樂高馬達	帶動光源感應器
7	光源感應器	感應光源
8	雷射筆	射出雷射光
9	電池及電池盒	外接雷射筆電源
10	繼電器(RELAY)	控制雷射光開關



塑膠瓦楞片



金屬棒



鏡子



樂高積木



RCX 控制器



樂高馬達



光源感應器



雷射筆



電池及電池盒



繼電器(RELAY)

## 伍、研究步驟及過程

### 一. 構造

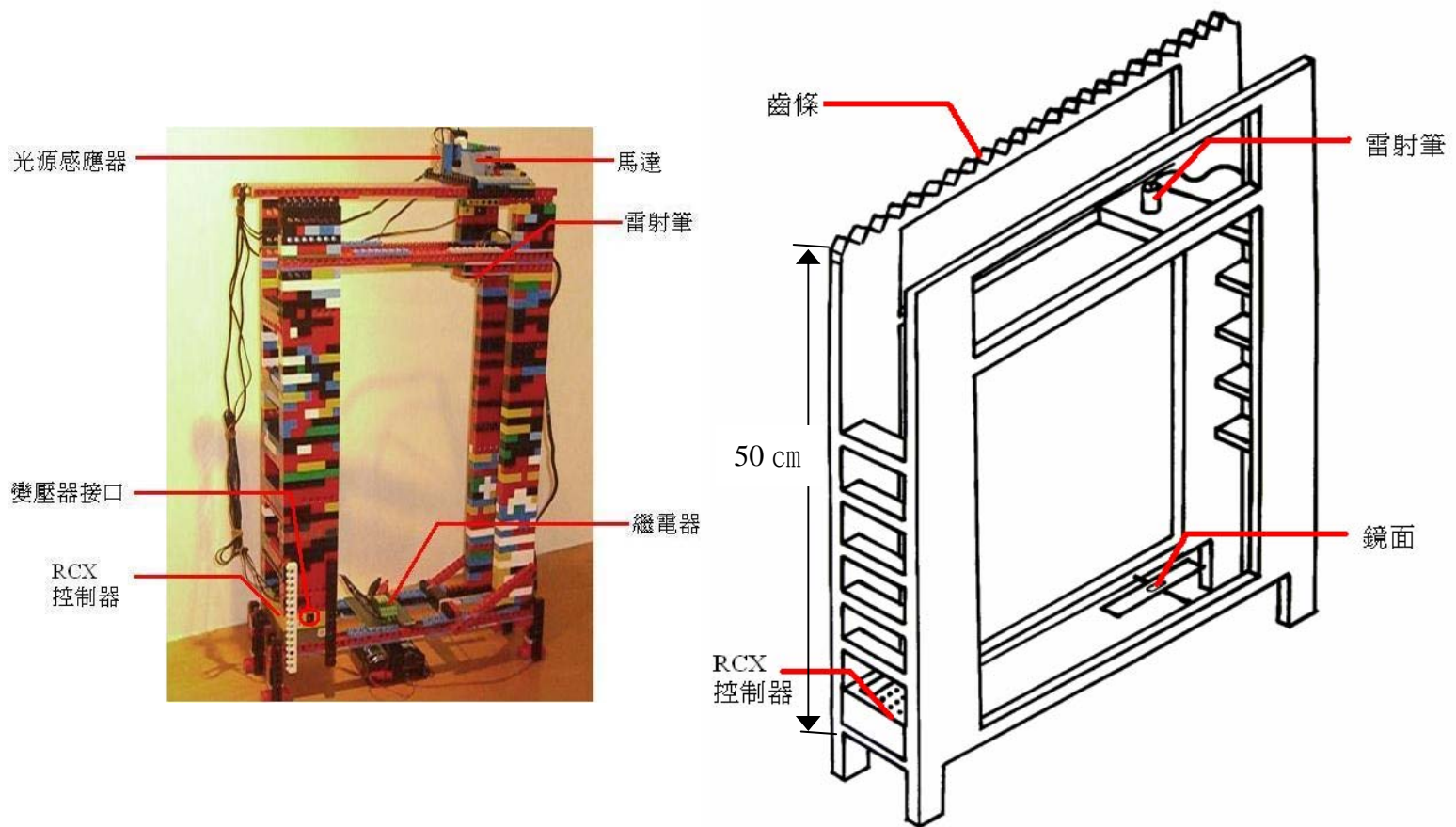
#### (一). 主結構

運用光槓桿原理構想出此構造。圖中灰色部分為鏡子，用來反射雷射光線；藍色部分為塑膠槓桿，黑色部分為金屬支點。光源由支點正上方進入鏡面。



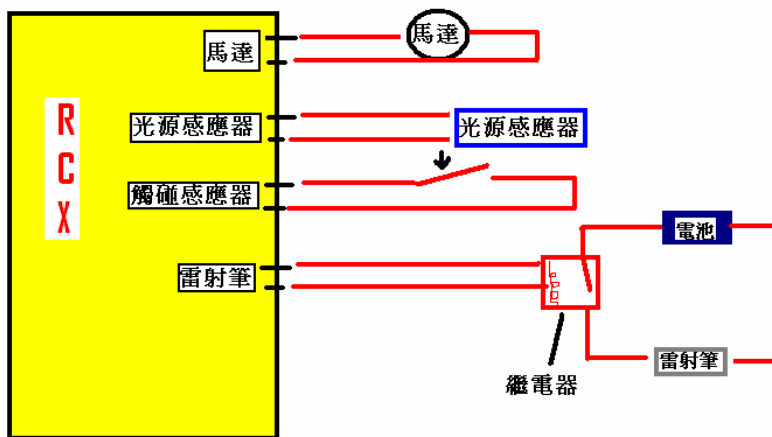
#### (二). 支架結構

利用樂高積木堆疊出下圖的結構，當成支撐光源，以及 RCX 控制器的支架，並於上方裝設齒狀積木，作為光源感應器的軌道。鏡面至光源感應器的距離為 50cm。



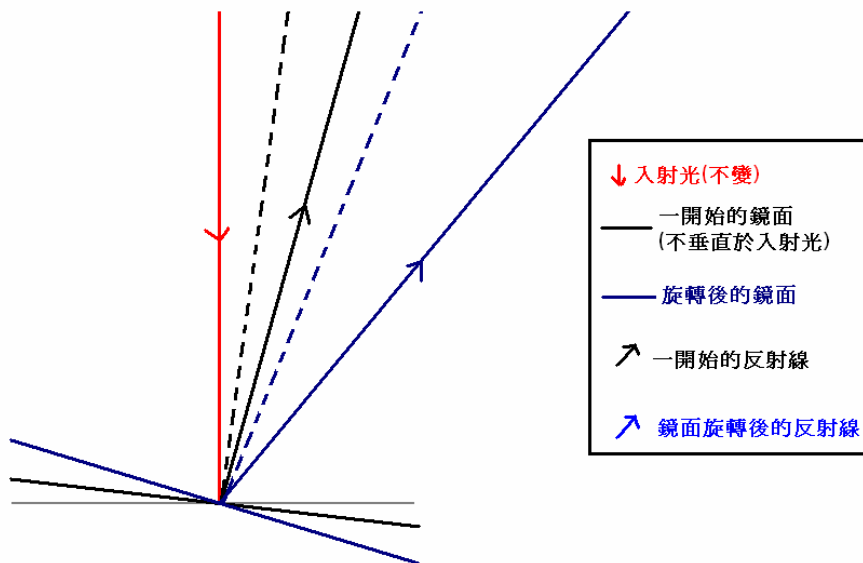
(三). 電路配置：

利用 RCX 控制器，控制馬達，並且接收光源感應器，以及觸碰感應器傳回的訊息。增加一組繼電器，使得雷射筆得以間歇啓動。



(四). 光的路徑

若入射線的方向不變，當平面鏡旋轉角度  $\theta$  時，反射線的方向將旋轉  $2\theta$  角度。



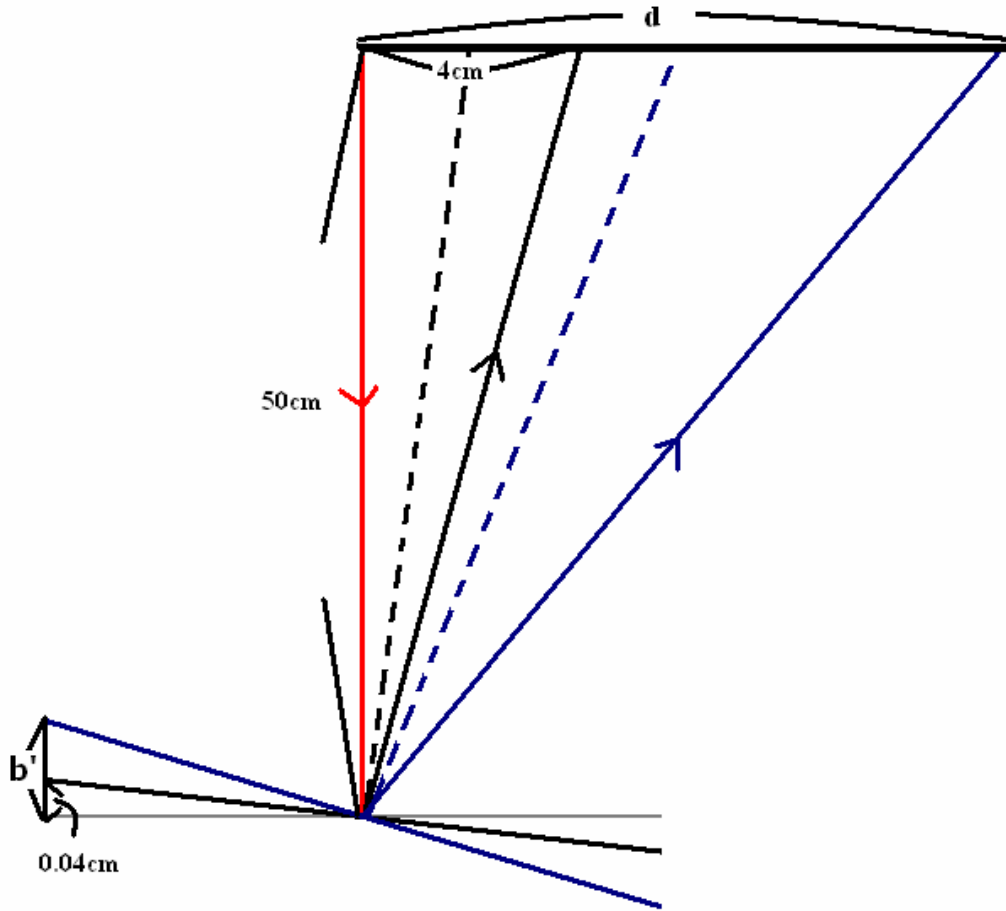
(五). 程式設計圖



1. 控制馬達的移動  
「先停一秒鐘(讓雷射光先亮)，馬達開始前進，遇亮後停止(表示測到鏡面的反射光)，向回走，直到碰到觸碰感應器(回到原點)，等待數十分鐘後再測一次。」
2. 記錄數據  
「時間歸零，光源感應器遇亮後記錄時間。」
3. 設定雷射筆開關的時間  
「啓動時發出聲音，由 RCX 控制繼電器打開雷射筆，三十秒後關閉。」
4. 以上三段程式皆是同時進行。
5. 因爲要紀錄的是時間的變化，所以要乘以馬達的速率  $\frac{26}{3} \cong 7.67 \text{ cm/s}$ 。

(六).量尺

利用畢氏定理及相似三角形的觀念製作量尺。



因爲一開始就將鏡面傾斜，使雷射光射入距離垂直入射線 4cm 的地方，所以  $b$  要減 0.04cm， $D$  要減 4cm。

$b' - 0.04$	$d - 4$	$b' - 0.04$	$d - 4$	$b' - 0.04$	$d - 4$	$b' - 0.04$	$d - 4$	$b' - 0.04$	$d - 4$
0.005	0.509	0.015	1.517	0.025	2.528	0.035	3.542	0.045	4.562
0.006	0.610	0.016	1.618	0.026	2.629	0.036	3.644	0.046	4.664
0.007	0.710	0.017	1.719	0.027	2.730	0.037	3.746	0.047	4.766
0.008	0.811	0.018	1.820	0.028	2.832	0.038	3.848	0.048	4.869
0.009	0.912	0.019	1.921	0.029	2.933	0.039	3.950	0.049	4.971
0.01	1.013	0.02	2.022	0.03	3.034	0.04	4.052	0.05	5.073
0.011	1.113	0.021	2.123	0.031	3.136	0.041	4.153		
0.012	1.214	0.022	2.224	0.032	3.238	0.042	4.256		
0.013	1.315	0.023	2.325	0.033	3.339	0.043	4.358		
0.014	1.416	0.024	2.426	0.034	3.441	0.044	4.460		

單位：cm



## 二. 實驗一<測量一滴水的高度>

### (一). 計算水滴體積

- 1、用滴管往 10 毫升量筒內一滴一滴的加水，直到 1 毫升為止，計算 1 毫升的水需要用滴管滴多少滴水。
- 2、用 1 毫升除以水滴數，求得一滴水的體積。  
利用【體積=面積×高】計算水滴高度。
- 3、取一杯口直徑為 2.8 cm 的杯子。
- 4、一滴水的體積÷杯子的底面積=一滴水滴入後增加的高度。

### (二). 利用儀器測量水滴高度

- 1、在杯口直徑為 2.8 cm 的杯子中裝水，在表面放一塊保麗龍。
- 2、讓保麗龍頂到塑膠板上離中心 1 cm 的特定位置，並平衡。
- 3、調整雷射筆，讓鏡面的反射光射入光源感應器。
- 4、用滴管在杯中滴水，測量水面高度的變化。
- 5、將數據從 RCX 控制器傳回電腦並計算。

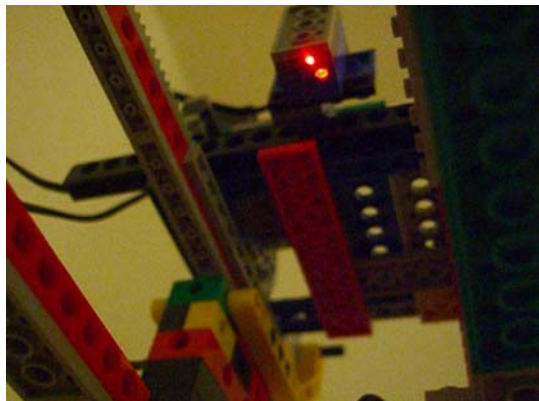
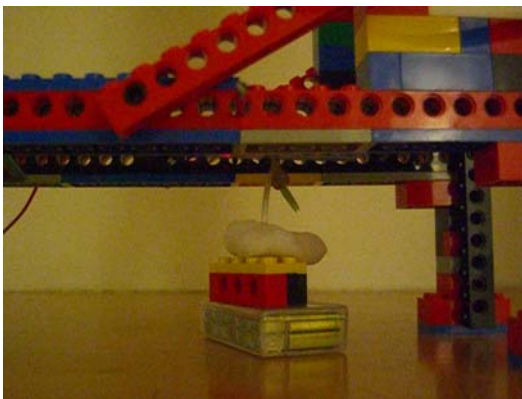
## 三. 實驗二<測量一小時植物生長高度變化>

### (一). 觀察 8 小時的高度變化

- 1、測量並紀錄綠豆芽的高度。
- 2、八小時後再測量一次高度，觀察其變化。
- 3、算出平均每八小時的變化除以八，為一小時長的平均高度。

### (二). 利用儀器測量

- 1、取一綠豆芽，調整高度直到綠豆芽頂端與塑膠板接觸於離支點 1 cm 處。
- 2、調整雷射筆，讓鏡面的反射光射入光源感應器。
- 3、開始每十分鐘測試一次的程式。
- 4、將數據從 RCX 控制器傳回電腦並計算。



## 陸、研究結果

### 一. 水滴高度

#### (一). 計算值

1. 一毫升的水平均可以用 24 滴滴完，一滴水為  $\frac{1}{24}$  毫升，體積約為  $0.04166 \text{ cm}^3$
2. 一滴水在杯口直徑為 2.8 cm 的杯子中，高度約為 0.006769 cm

#### (二). 測量值

1. 共測量 26 次，測量出一滴水平均會使水面升高 0.0073 cm
2. 測量值比計算值大，多了 0.000531 cm  
 $0.0073 \text{ cm}(\text{測量值}) - 0.006769 \text{ cm}(\text{計算值}) = 0.000531 \text{ cm}$

### 二. 植物生長高度

#### (一). 計算值

單位：cm

	植物 1	植物 2	植物 3	植物 4	植物 5	植物 6	植物 7	植物 8
7:30	18.5	14.5	13	7	9	13.5	10	11.7
15:30	19.2	15.3	13.8	8	10.1	14.2	10.8	12.4
八小時 變化	0.7	0.8	0.8	1	1.1	0.7	0.8	0.7

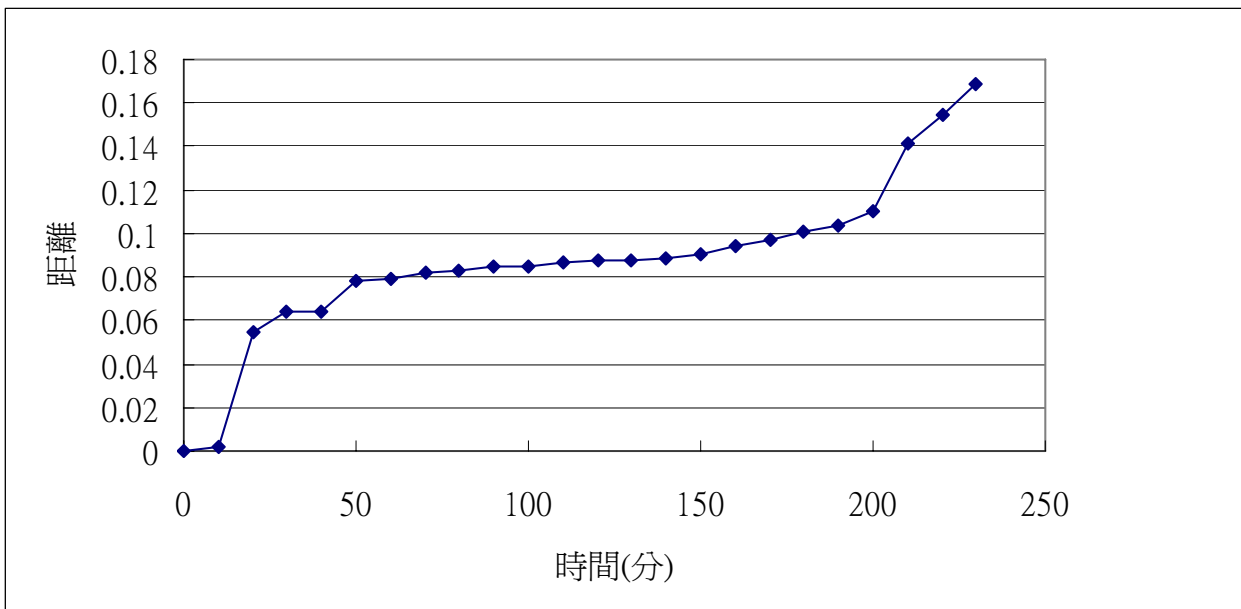
- 每八小時長 0.7~1.1 cm 之間，平均每時長 0.0875~0.1375 cm 之間

(二). 測量值(每小時變化情形)

單位：cm

時間	17:00	17:10	17:20	17:30	17:40	17:50	18:00	18:10	18:20	18:30	18:40
位移	0	4.07	4.3	9.51	10.5	10.5	11.96	12.04	12.27	12.43	12.58
生長的 高度	0	0.04	0.043	0.093	0.102	0.102	0.116	0.117	0.119	0.12	0.122
時間	18:50	19:00	19:10	19:20	19:30	19:40	19:50	20:00	20:10	20:20	20:30
位移	12.66	12.81	12.89	12.89	13.04	13.19	13.58	13.88	14.27	14.5	15.19
生長的 高度	0.122	0.124	0.124	0.124	0.126	0.127	0.131	0.133	0.137	0.139	1.145

單位：cm

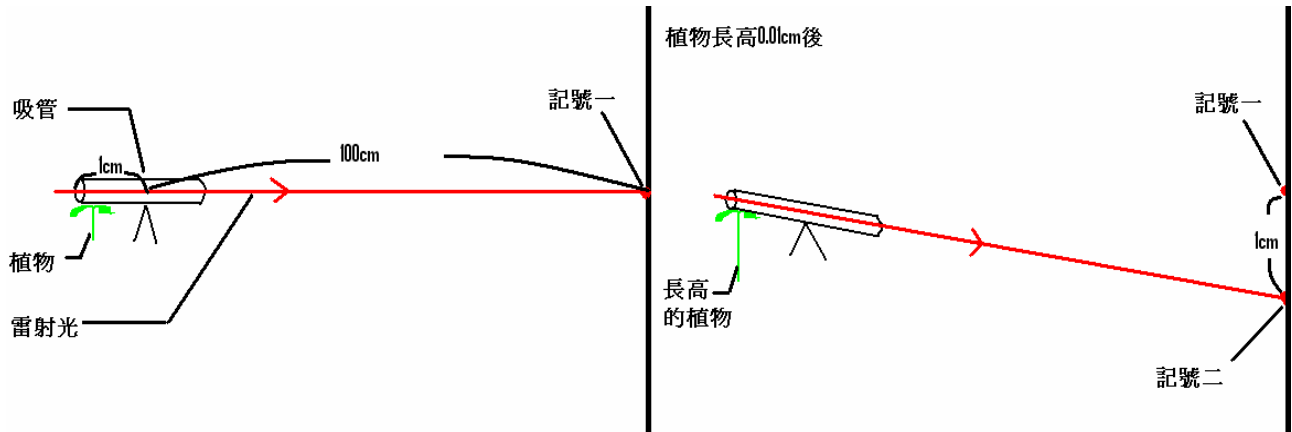


## 柒、研究討論

### 一、槓桿原理和光槓桿原理的比較

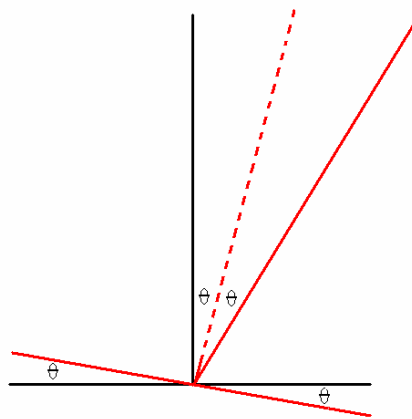
(一) 在研究的初期曾經考慮使用槓桿原理，因為比較簡單，但是卻有需要較大空間的問題，改用光槓桿原理之後，可以縮短所需的操作空間。

#### 1. 槓桿原理



#### 2. 光槓桿原理

當平面鏡旋轉一個角度，入射角的方向不變，反射線的方向將旋轉兩倍的角度。



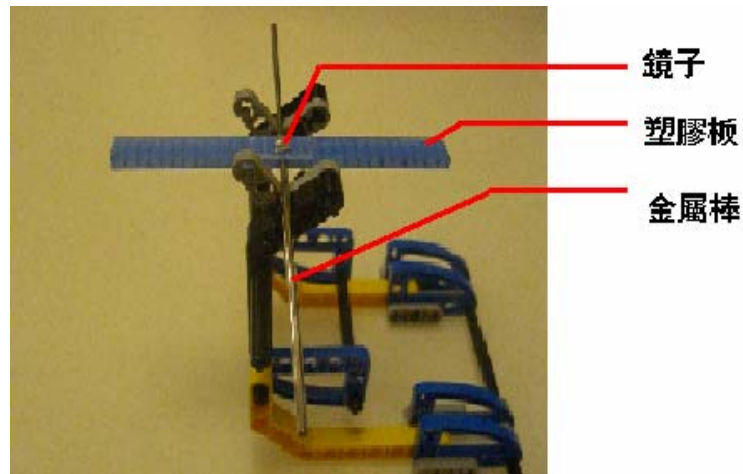
### 二、為什麼用樂高（LEGO）？

在日常生活中有許多可以用來製作裝置的材料，例如：竹筷、木頭、冰棒棍…等。但是這些材料會因為外界環境的影響而發生形變。而像壓克力、金屬架…等，都需要訂做。小時候，很喜歡玩樂高，對它的熟悉度也很高。所以我清楚的知道每一塊樂高積木都有一定的規格，讓我在製作這裝置時能運用自如，降低實驗的誤差。

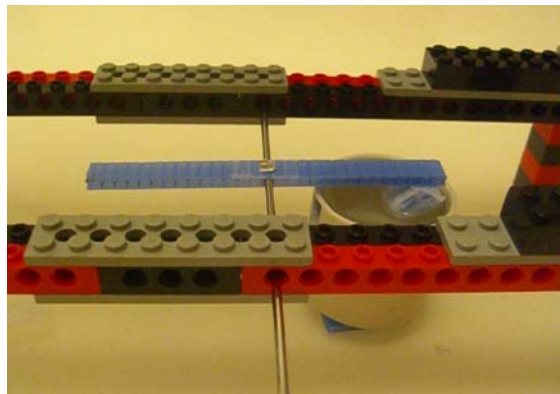
### 三、器材改良的演進過程與想法

#### (一)裝置結構

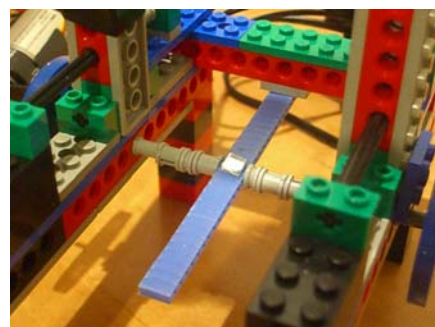
1. 第一代：根據光槓桿原理用樂高積木製作此測量裝置。但是量尺跟鏡面間的距離不好控制。



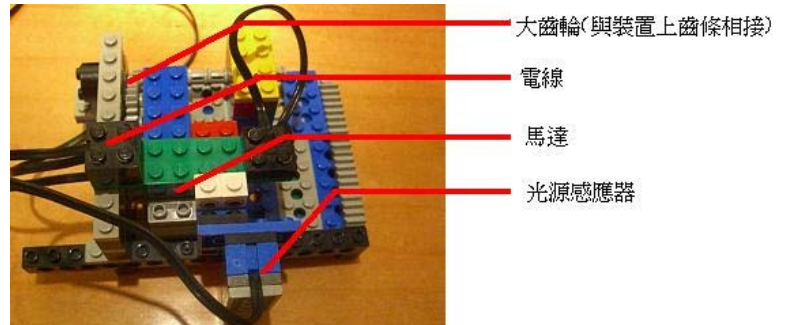
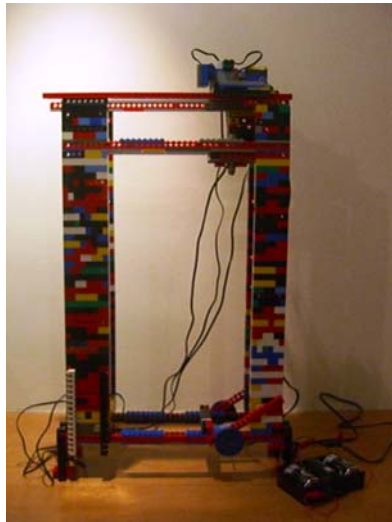
2. 第二代：改用桿子製作了量尺和鏡面間距離固定的「第二代」裝置。但是因為使用桿子製作，結構容易搖晃，導致雷射光無法精確射入鏡面，而造成測量誤差。



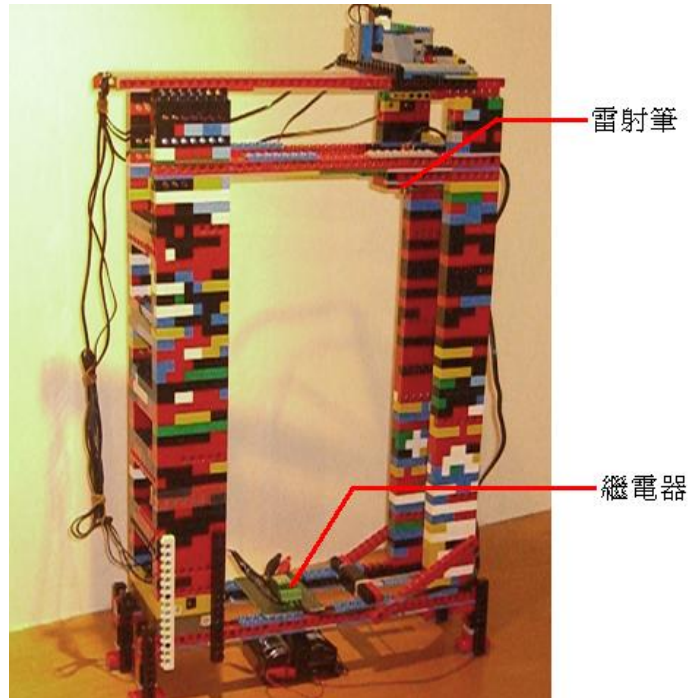
3. 第三代：改良後將桿子換成實心的積木增加支撐力，使裝置更為穩固。



4. 第四代：為了使實驗更為方便，所以製作出一個能自動測量，並能將數據傳回電腦的儀器，於是決定在架子上加裝馬達和光源感應器，為了支撐上面的重量，製作出一個更堅固的裝置。

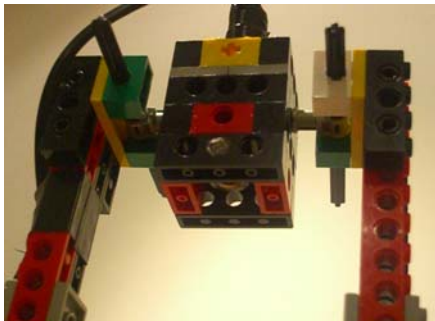


5. 第五代：在實驗的過程中發現，雷射筆因為長期使用而容易耗損，使光源越弱。於是在第五代的裝置上加裝了繼電器，連接雷射筆跟 RCX 控制器，用程式控制雷射筆的開與關。

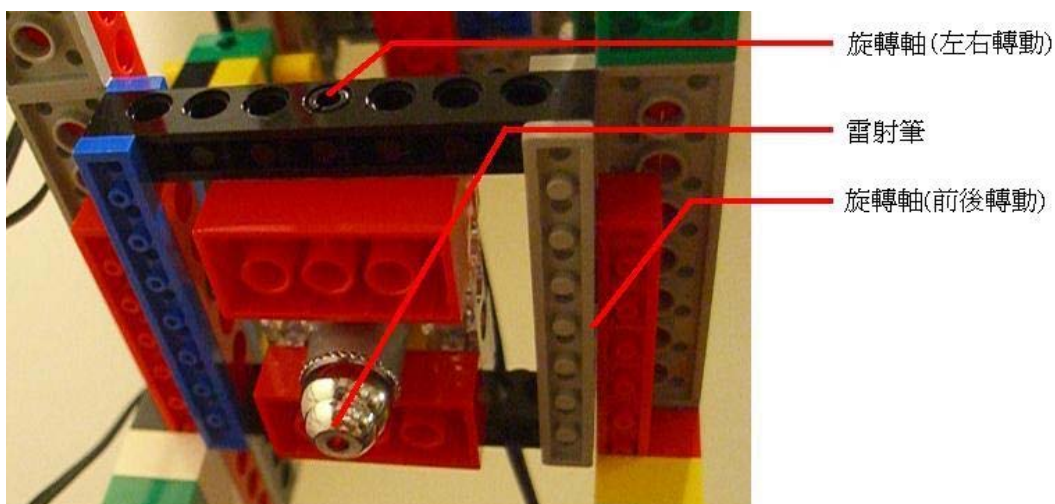


### (一)雷射筆

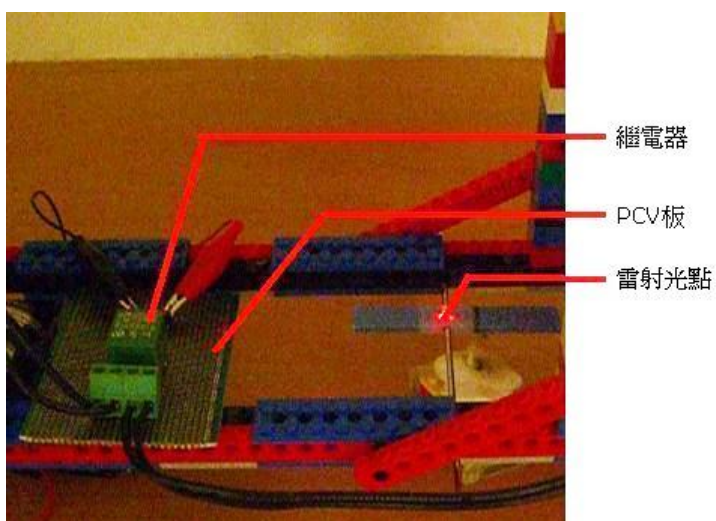
1. 使用第一、二代裝置時，是將雷射筆固定在透明壓克力盒子上測試。
2. 到第三代時，用橡皮擦將雷射筆固定於積木製成的正方形中，讓雷射筆能夠微調，但仍然不容易控制。



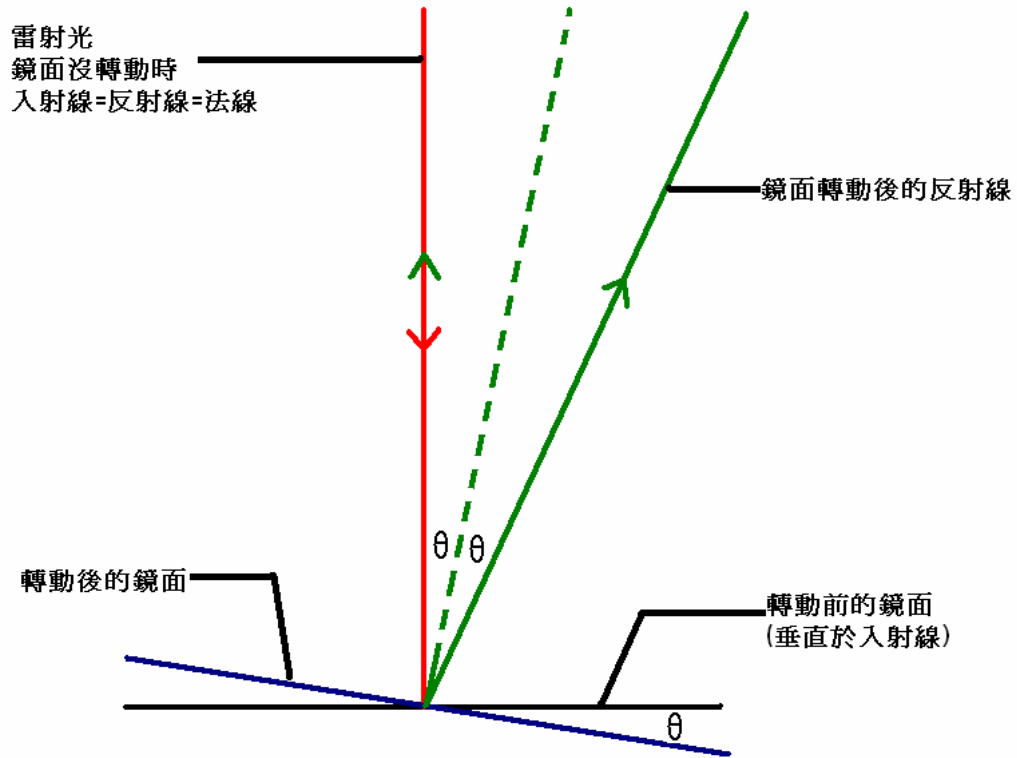
3. 第四代時運用積木製作出旋轉軸，讓雷射筆能向能前後、左右轉動。



4. 因為雷射筆長期使用，光源會變弱。第五代的雷射筆運用了繼電器將雷射筆跟 RCX 控制器連接，運用程式來控制雷射筆的開關。



#### 四、第一、二、三代裝置 光的行進路線



#### 五、程式演進

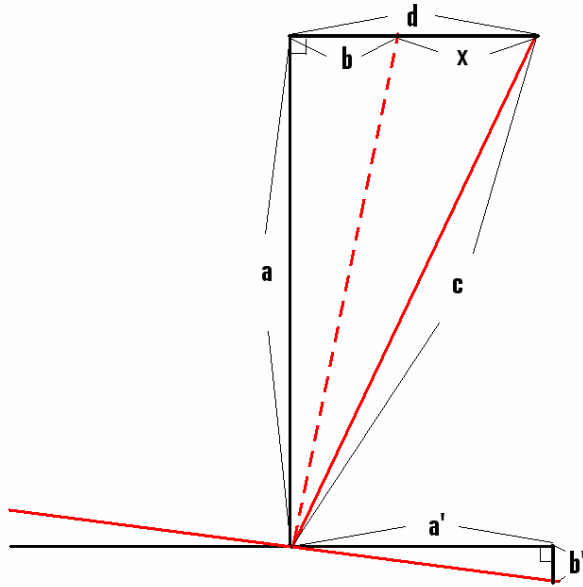
##### 第四代裝置的程式



後來在第五代的程式中爲了不讓雷射筆光源變弱，另寫一個程式設定了雷射筆開關的時間。



## 六、計算方法



$$a = 50\text{cm} \quad a' = 1\text{cm}$$

$$\frac{c^2}{a^2} = \frac{x^2}{b^2}$$

$$\frac{a^2 + (b+x)^2}{a^2} = \frac{x^2}{b^2}$$

$$b^2 a^2 + b^2 (b+x)^2 = a^2 x^2$$

$$b^2 a^2 + b^2 (b^2 + 2bx + x^2) = a^2 x^2$$

$$b^2 a^2 + b^4 + 2b^3 x + b^2 x^2 = a^2 x^2$$

$$(a^2 - b^2)x^2 - 2b^3 x - (b^2 a^2 + b^4)$$

$$x = \frac{2b^3 \pm \sqrt{4b^6 + 4(a^2 - b^2)(b^2 a^2 + b^4)}}{2(a^2 - b^2)} = \frac{2b^3 \pm \sqrt{4b^2 a^4}}{2(a^2 - b^2)} = \frac{2b^3 \pm 2ba^2}{2(a^2 - b^2)}$$

$$\frac{2b(b^2 - a^2)}{2(a^2 - b^2)} = -b \text{ (不合)}$$

$$\frac{2b(b^2 + a^2)}{2(a^2 - b^2)} = \frac{b(a^2 + b^2)}{(a^2 - b^2)}$$

$$50b' + \frac{50b(1+b^2)}{1-b^2} = d$$

$$b' = \frac{-50 \pm \sqrt{25 + d^2}}{d}$$

在第四、五代中一開始就將鏡面傾斜，使雷射光射入距離垂直入射線 4cm 的地方，所以 b 要減 0.04cm，D 要減 4cm。

## 七、討論計算值和測量值的誤差和接受程度

(一) 誤差值約為 0.000531 cm。

(二) 因誤差值小於肉眼辨識的範圍(肉眼可清楚辨識大小約為 0.1cm)，所以這個誤差可以被忽略。

## 八、植物生長的 8 小時平均值與每小時紀錄值的優劣以及能呈現的訊息有何不同

在一般狀況下，無法在短時間內感受到植物的生長，但是根據結果發現，植物每段時間內的生長速率不一定相同，這得要仰賴這次研究的成果-動態測微器才能得到此結果，這個結果不但可以知道微小的變化，也可以協助植物學家在觀察植物生長時，得到更精確的結果。

## 九、與現有測微器之比較：

在自然課中介紹過「游標尺」和「螺旋測微器」，這兩種工具所測量的東西都必須是固體，且被測量物的大小沒有改變。本實驗所製造的儀器，其精密度優於上述二者，且可測量一體或固體的體積變化，但目前無法如游標尺能測量內徑與深度。

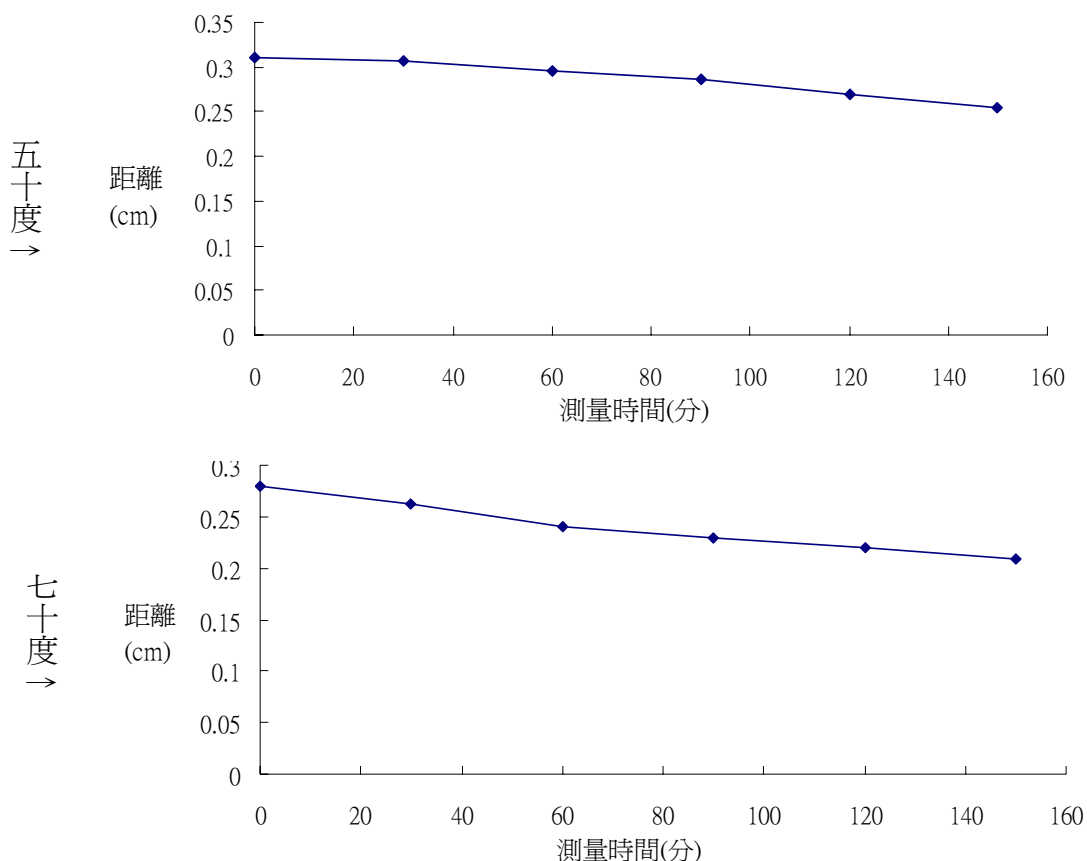
## 十、動態測微器的應用範圍：

### (一) 測量液面的微小變化

1. 在杯子裡加一滴水，動態測微器可測得每一滴水增加的液面高度。

2. 水面蒸發的微小變化

自然課本裡面有提到：溫度越高，水的蒸發速率越高。雖然在真正的實驗過程中可以看出這個現象，但是實際上還有一個變因，就是水溫將隨著時間逐漸下降使得與理論有落差。一旦採用本研究提出的動態測微器，則可在短時間內測得水面因蒸發而改變的高度，將水溫因時間而下降的干擾降到最低。如下圖所示，在五分鐘內測量兩種不同水溫的蒸發率，可發現蒸發率的确與水溫成正比關係，同時也發現數據呈直線變化。



若將觀察的時間延長，則可發現蒸散率的曲線有斜率上的變化。其原因就是水溫下降導致蒸發率下降。

## (二) 測量植物生長

在自然課本中的實驗，從來沒有在實驗室裡觀察植物生長課程，主要是因為植物生長緩慢，一節課的時間，不足以用肉眼觀察到植物生長的變化。經由本研究的結果顯示，往後將可以在自然課實驗中設計植物生長的實驗。在一節課的時間內觀察植物因各種因素而產生的各樣生長變化。

## 十一、 未來展望：

- (一) 證實植物遭遇環境變化時，有立即的生長反應。
- (二) 在儀器中間加裝鏡子，縮減儀器所需的空間。
- (三) 製作可配合待測物而調整儀器高度的裝置。

## 捌、研究結論

### 一、功能

動態測微器可將刻度放大 1000 倍，協助觀察並測得各種微小且動態的變化。例如：短時間內植物生長，水面蒸散，紙張受潮，種子泡水膨脹等。

### 二、優點

- (一). 可放大刻度，將微小變化放大到肉眼可見的程度。
- (二). 可測量連續性變化。
- (三). 自動測量並紀錄數據。

## 玖、參考資料及其他

- 一、陳可崗 譯(2004)。觀念物理 IV 聲學、光學。天下文化。117-118。
- 二、商兆編輯部/編。實用物理公式定理辭典。商兆文化。
- 三、國中數學部編版第四冊，第二、三單元商高定理、一元二次方程式。
- 四、國中理化南一版，3-2 面鏡成像。

**【評 語】**        030813 明察秋毫-動態測微器

本作品利用雷射光反射原理，進行微小距離之精密測量，先由理論公式的推導，再巧妙地運用積木快速完成系統之建置。作者有充分的實驗以驗證系統之準確度，為一優良作品。未來若能加入誤差校正與克服機構震動、轉軸穩定度之問題，將更能突顯作品之貢獻度。