

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

第一名

081567

照過來!看我為太陽能板擺 POSE

學校名稱：臺北市北投區明德國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳羿瑋	吳柏菱
小六 李翊維	楊世昌
小五 熊心瑜	
小五 李宜瑾	
小五 林聖超	

關鍵詞：太陽能發電、太陽位置、放大鏡聚光

摘 要

本研究是爲了瞭解太陽運行的軌道與規律，找出使用太陽能板發電時擺放的最佳位置。實驗後發現一天當中相同時間間距的高度角變化幅度差異不大，但正中午時變化的速度較緩慢。方位角於早晚時間變化速度較慢，越接近中午，方位角變化越劇烈。且一年中在冬至過後接近春分時，和秋分過後接近冬至，一天的竿影連線都會有機會成東西向的水平線。

太陽能板擺放方位分別在早晚的時間對太陽能板的發電量影響力較大；調整太陽能板仰角則是在正午前後的 2 個小時的時間影響力較大。整體而言，春季時，在台北地區，將太陽能板面向正南方，且將角度調高至 30° 或 40° 時，太陽能板的發電量會最佳。另外，放大鏡擺放在一倍焦距處，可以使太陽能板產生更大的發電量。

壹、研究動機

在上自然課的「能源應用和空氣污染」單元時，我們得知太陽原來是地球上最主要的能源，只要太陽一出來，就提供給大地上所有生物最基本的能量。此外，現在全球爆發嚴重的能源短缺危機與空氣污染破壞環境等問題，因此近年來人類投入很多心力在研究新興能源「太陽能」，特別是太陽能板只需接受太陽光的照射，就可以無污染、無廢棄物的產生電能；而且可以承受風吹日曬雨淋，陰天也能發電，使用上更不會有危險，是個很值得研究的新能源。所以我們覺得自己也應該對太陽能板如何吸收太陽能轉換成電力的現象多一些了解。後來回顧五年級自然課的「太陽的觀測」單元時，我們也對太陽位置的變化有一些基礎認識，所以引發我們產生了想要研究「如何擺放太陽能板位置，才能讓太陽能板產生最多的發電量」的念頭，因此便開始了我們的研究。

作品與教材相關性：

自然與生活科技領域 康軒版 第五冊 第一單元 太陽的觀測

自然與生活科技領域 牛頓版 第八冊 第三單元 能源應用和空氣污染

貳、研究目的

- 一、探討太陽燈入射太陽能板角度對太陽能板發電量的影響
- 二、探討太陽燈照射太陽能板方位對太陽能板發電量的影響
- 三、觀測一天中太陽高度角與方位角的變化規律，作為戶外實驗的設計參考
- 四、探討在戶外環境中調整太陽能板傾斜角〈太陽光入射角〉對太陽能板發電量的影響
- 五、探討在實際環境中調整太陽能板方位角對太陽能板電功率的影響
- 六、比較方位角和高度角何者為影響太陽能板發電量的關鍵影響力
- 七、觀察將放大鏡焦光在太陽能板上是否能夠增加太陽能板的發電量
- 八、研究調整放大鏡焦距對太陽能板發電量的的影響
- 九、研究調整放大鏡傾斜角度對太陽能板發電量的影響

參、文獻探討

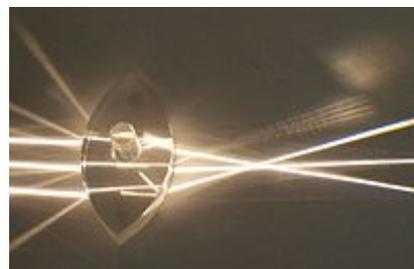
- 一、太陽能板：「太陽光電的發電原理，是利用太陽電池吸收 $0.2\ \mu\text{m}\sim 0.4\ \mu\text{m}$ 波長的太陽光，將光能直接轉變成電能輸出的一種發電方式，好處是它完全是無電磁波的。由於太陽電池產生的電是直流電，因此若需提供電力給家電用品或各式電器則需加裝直/交流轉換器，將直流電轉換成交流電，才能供電至家庭用電。」這樣的能源對全球能源危機和人體健康都是有益無害呢！

「在無外在因素干擾的情況下，由於台灣在北回歸線緯度北緯 23.5 度，太陽行經的軌跡永遠偏南，因此將太陽能板的板面朝南並設定仰角為 23.5 度可以得到最大的日照效應，也就是最佳的電功率。」但由於這純屬理論值，並非實際研究的結果，因此在此實驗中，這種說法或許還有待檢驗，也能讓「最佳擺放位置」得到實際的驗證。

二、太陽位置：「太陽在不同季節，光照射至台灣的角度不同，夏至當天，太陽直射北回歸線，正中午幾乎以垂直角度照射台灣的嘉義、瑞穗，因此對台北而言，太陽能板朝南擺放電功率會較佳。而隨著季節的遷移，冬至當天，太陽直射南回歸線，對台灣來說卻是斜射，單位面積所獲的能量最少。」由上可知，越接近夏至，使用太陽能板所獲得的電功率最多。而一天當中，中午的太陽高度角高，所獲得的太陽能板電功率最佳。

三、發電量〈電功率〉：「電流的變化情形大於電壓」，這也就能合理解釋為何實驗時稍微調整太陽能板角度，電流就會明顯的起伏不定，而電壓則是就算大幅度調整也不會有太大的變化。也因此，由於電壓變化不那麼明顯，電流卻容易更動，使得影響電功率之間差距的主要因素成為電流。

四、凸透鏡：「光線會透過凸透鏡表面圓弧所造成的折射而於一倍焦距處集結於焦點」因此我們認為一倍焦距處光最集中，電功率會最好，但雖集中卻僅限於一點，若調整凸透鏡的焦距，使聚光範圍擴散，或許有可能再加強太陽能板電功率。另外，若是調整凸透鏡的角度，原本集中的光點將成為橢圓形，同時，也有些許光線能直射太陽能板，因此我們想從中尋找平衡，得知凸透鏡的最佳擺放位置。



五、照度：「照度定義係指被照面上光亮程度」因此推知照度可直接影響太陽能板的電功率，因此在戶外實際測量時，因為光線時常變化快速，必須時時注意照度的起伏，因為在天氣不穩定時，照度的變化是十分劇烈的，而這也會影響電功率的測量結果產生誤差，導致實驗的不精確，降低可信度，因此照度成了影響電功率的主因之一，為了克服此困難，我們特別在每一次的測量訂下標準，不得差距過大，以免影響實驗數據。

六、鉛錘：「鉛錘線只要不碰地，就能保持垂直，並不受限於地形，是建築工程上常用來測量水平與垂直的工具。」因此縱使實驗地方的地不平，也不會有太大的誤差，相較以前用架子的陰影，只要地面稍有不平就會造成誤差，甚至連架子本身都不直，完全得不到可靠的數據，但鉛錘線若遇到大風時，便很難找到準確的影子，但如果用玻璃蓋住，光又可能會被干擾，因此我們嘗試加重鉛錘，使其降低受大風影響的程度。

肆、研究器材〈詳細介紹請參閱各實驗設計〉



伍、研究過程

針對前述九項研究目的，我們一共設計了六項實驗和一項觀測計畫來逐步進行研究。而每一項實驗，我們都按照自然科上課學習到的實驗假設驗證方法，仔細認真的做實驗，並將實驗過程書寫成報告。以下我們就分別呈現每一個實驗的詳細設計、觀測紀錄、結果分析與討論。但是由於戶外實驗的數據資料太多了，所以我們只呈現圖表作說明。

實驗〈一〉探討太陽燈在不同高度角時對於太陽能板發電量的影響

實驗〈二〉探討太陽燈在不同方位角時對於太陽能板發電量的影響

觀測〈一〉探究太陽的方位角及高度角在一天當中隨時間變化的情形

實驗〈三〉探討太陽能板傾斜角度對於太陽能板發電量的影響

實驗〈四〉探討太陽高度角和方位角何者是影響太陽能板發電量的關鍵

實驗〈五〉探討放大鏡在不同焦距時對於太陽能板發電量的影響

實驗〈六〉探討放大鏡在傾斜角度不同時對於太陽能板發電量的影響

實驗〈一〉探討太陽燈在不同高度角時對於太陽能板發電量的影響

- (一) **實驗假設**：太陽燈高度角越接近 90° ，能使太陽能板的電功率越大。
- (二) **假設依據**：因為太陽能板的入光量越大，電功率就越大。太陽高度角 90° 時，光線是直射在太陽能板上，入光量最大；若太陽高度角降低，則入光量也會隨之減少，因此 90° 時的電功率會是最大的。
- (三) **變因控制**：
1. 操縱變因：太陽燈入射高度角(分別為 0° 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 90°)
 2. 不變變因：

器材	環境	操作
太陽能板的規格	教室光線保持黑暗	太陽能板擺放的方位一致
太陽燈的規格	將實驗區域用黑布圍起來	太陽燈和太陽能板的距離
電阻要相同(300Ω)	實驗者全穿暗色布面衣服	太陽方位角

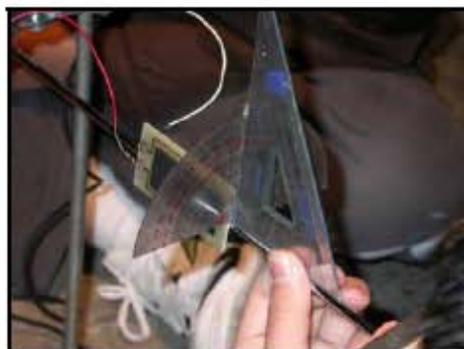
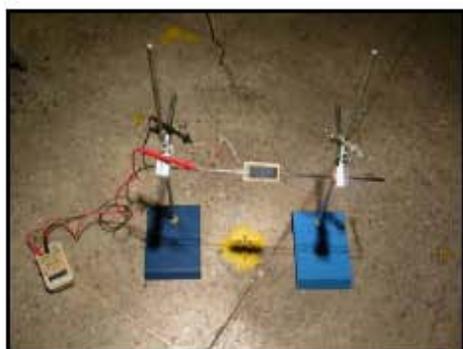
3. 應變變因：電功率〈電壓 × 電流〉

(四) 實驗器材：

實驗器材	量角器	旋轉架	太陽燈泡	太陽能板	電阻	三用電表
數量	1 個	1 個	1 顆	1 個	1 個	1 臺

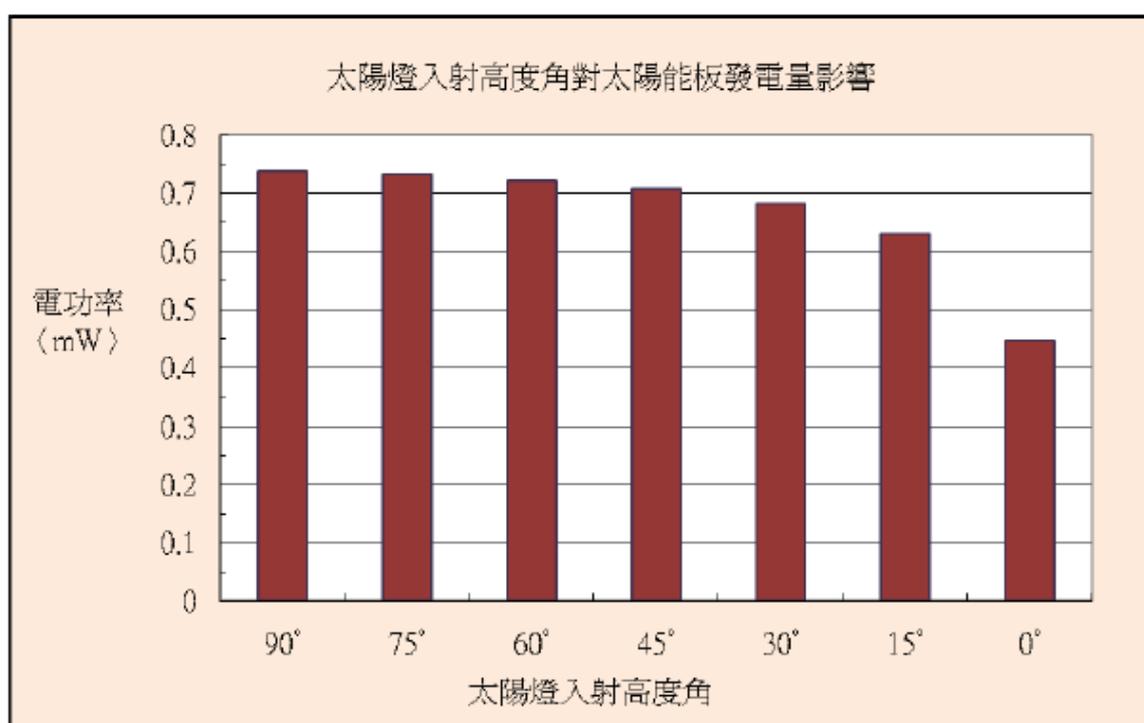
(五) 實驗步驟：

1. 用兩個夾子分別夾住軟木塞並架設在鐵架上，然後以細鐵杆穿過軟木塞，形成一個旋轉裝置。
2. 以熱熔膠將太陽能板黏在鐵棍上。(如附圖)
3. 把旋轉架上的太陽能板平行地面，並將中心對準太陽燈正下方。
4. 旋轉細鐵杆，將太陽能板調至不同的角度，使太陽燈入射的角度〈高度角〉不同，然後以三用電表測量電壓和電流。



(六) 實驗紀錄：

觀測方式 電功率 (mW)	東西向擺放：		南北向擺放：		平均電功率 (mW)
	向南轉	向北轉	向東轉	向西轉	
太陽燈入射高度角					
90°	0.743	0.732	0.734	0.738	0.737
75°	0.737	0.730	0.730	0.729	0.731
60°	0.728	0.714	0.721	0.726	0.722
45°	0.716	0.690	0.710	0.713	0.707
30°	0.696	0.642	0.691	0.696	0.681
15°	0.678	0.588	0.586	0.663	0.629
0°	0.506	0.475	0.397	0.407	0.446



(七) 實驗結果：我們的假設獲得支持，太陽燈入射高度角在 90°時，電功率最大。太陽燈入射高度角愈小，電功率就愈小。

(八) 實驗討論：

結果分析

1. 太陽入射高度角在 90°~45°時，太陽能板接收光轉換的電功率均為良好且可接受的範圍，差異不大，但隨著高度角愈來愈低，電功率的差距逐漸增大，因此推測實際在戶外操作時，只要太陽入射角高於 45°，便可得到良好的效果，我們將會在戶外實驗時驗證我們的推測。

一般科學現象說明

1. 實驗過程中，以三用電表測量電壓及電流時，經常發生測量的數據會以很慢的速

度一點一點往下降，非常不穩定，而且很久都不會停，導致紀錄上的困擾。而當我們把三用電表拿走，過一會兒再將它裝設回去時，三用電表上所顯示數據會比斷電前最後的數字還小。儘管做了把三用電表的探針以及電阻壓緊……等一些技術上的修正，這種情況依然沒有明顯改善。後來經過討論推測，可能是太陽燈泡持續發光和太陽能板吸收光再轉換成電能都是一個動態的過程，或是因為電流本身並不是很穩定，因此在經過一段時間的測量中，電流會逐漸改變。

裝置技術改進

1. 在這個實驗中，我們起初利用鉛垂線來定出太陽能板的放置位置，認為在太陽燈正下方的位置接受到的光線是最亮的，但是以照度計測量時，鉛垂點右側約 7.8 公分位置的照度竟比鉛垂點更高，經過更仔細的檢查發現原來是燈泡旋鈕進燈座時，有稍微向左傾斜的狀況，因此照光方向沒有對準正下方。因此我們用膠帶細綁太陽燈的旋轉處做調整，並在切換電源時，盡量小心避免大力拉扯，減少實驗誤差產生的機會。
2. 在實驗初期測量電流時，數值有時會出現不穩定的波動，經過仔細觀察，發現我們在實驗桌旁的活動明顯會影響測量值，另外我們也嚐試在米白色實驗桌上用黑布遮蔽，並盡量穿著深色不反光衣物，都使數值的不穩定現象得到改善。
3. 這次實驗所使用的自製旋轉架並不是一開始就有的構想，而是經過一番反覆的修正後才產生的。一開始，由於太陽燈不能移動，本來是想要在太陽燈周圍做一個半圓形軌道，但製作難度太高，軌道弧度的精準性很難控制，以致太陽燈和太陽能板之間的距離可能會有變動，因此有了「太陽能板不動」的想法，也就是只要旋轉太陽能板的角度，就能達到和「改變高度角」相同的效果。經過各種設計與修正後，我們決定用鐵架、鐵夾、軟木塞和細鐵棍，並以熱熔膠作為太陽能板和鐵棍之間的接著劑，做出了可以快速調整太陽能板傾斜角度的旋轉架。

數據分析檢討

1. 我們知道實驗的次數愈多，結果的可信度就愈高，因此我們做了 4 次實驗，結果都是將太陽能板調整倒入射角為 90°時可以獲得最大的電功率。
2. 我們用「旋轉架」撐起太陽能板，為了確認角度的精準性，所以用書本撐起裝水的水箱，讓太陽能板對齊水位，然後將太陽能板調至水平 0 度，分別測量了 0、15、30、45、60、75 度與 90 度七個角度。但是在後來分析數據時，我們才發現自己的想法不正確，因為太陽能板的擺放角度並不等於陽光的入射角。太陽能板的「0 度」是完全平放在地上，所以起初將這個放置角度定為「0 度」，但是如果太陽光直射下來，入射角便會是 90 度；所以經過反省之後，我們計算出太陽照射的入射角度是【90 度-太陽能板旋轉的角度】，因此將所有測量記錄的角度修正過來，才得到正確的結果。
3. 另外，我們也很好奇，若到戶外測量上下午相同高度角的太陽能板發電量，那麼空氣影響反射或折射的情況不同，電功率是否會有落差，將是一項值得探討的方向，而我們正進行實驗中，待暑假時再分享我們的實驗結果。

實驗〈二〉探討太陽燈在不同方位角時對於太陽能板發電量的影響

- (一) **實驗假設**：太陽燈方位角不管在幾度，太陽能板的發電量都一樣。
- (二) **假設依據**：如果高度角相同，從不同方位照射光線至相同面積的太陽能板上，入光量一樣，所以電功率也會相同。
- (三) **變因控制**：
1. 操縱變因：太陽的方位角（總共比較八個方位，每個方位間隔 45° ，以北方為 0° ）
 2. 不變變因：

器材	環境	操作
太陽能板的規格	教室光線保持黑暗	太陽能板擺放方位一致
太陽燈的規格	將實驗區域用黑布圍起來	太陽燈和太陽能板的距離
電阻要相同(300Ω)	實驗者全穿暗色布面衣服	太陽燈的高度角(定為 70°)

3. 應變變因：電功率（電壓 \times 電流）

(四) 實驗器材：

方位測量	照度計	指北針	量角器	棉線
數量	1 臺	1 個	1 個	1 條
方位測量	鉛垂	長尺	膠帶	油性筆
數量	1 個	1 把	1 捲	1 枝
實驗器材	太陽燈泡	太陽能板	電阻	三用電表
數量	1 顆	1 個	1 個	1 臺



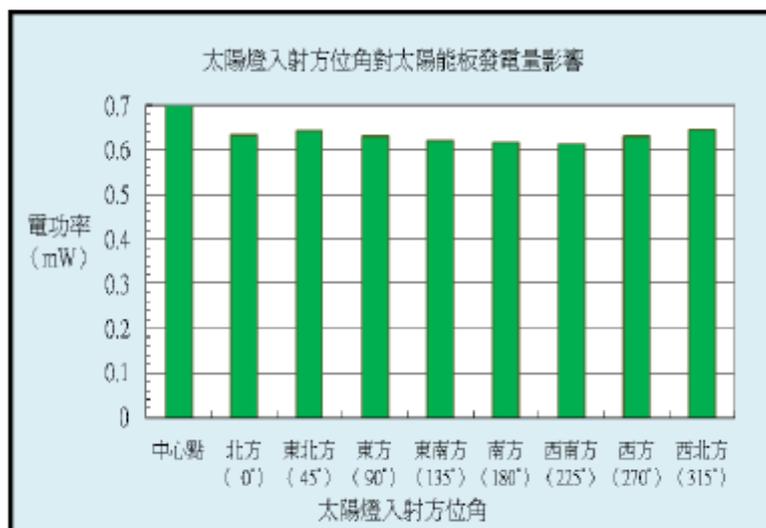
(五) 實驗步驟：

1. 先將鉛垂線貼在太陽燈的中心，讓線自然垂到地板上方，地面上的影子就是太陽燈向下照射的中心點。
2. 為求方位精確，再次使用照度計放在標記附近，確認照度值為最高。
3. 將指北針放在標記處，定出八個方位。
4. 將鉛垂線往北方延伸，在與地面夾角成 70° 的位置畫上方位標記，並測量中心標記與方位標記的距離。
5. 以相同的距離，在八個方位同樣做標示。
6. 使用照度計測量出八個方位的照度值。
7. 將太陽能板與三用電表串聯，測量出電壓、電流，並算出電功率。



(六) 實驗紀錄：

太陽燈入射方位角	電功率 (mW)
中心點	0.702
北方〈 0° 〉	0.634
東北方〈 45° 〉	0.642
東方〈 90° 〉	0.632
東南方〈 135° 〉	0.621
南方〈 180° 〉	0.617
西南方〈 225° 〉	0.612
西方〈 270° 〉	0.631
西北方〈 315° 〉	0.645



(七) 實驗結果：在室內，太陽能板無論放置在何種方位角，測得的電功率差異皆不大（約 0.03mW 之內），也就表示方位角不會對太陽能板發電量造成影響。

(八) 實驗討論：

結果分析

1. 在本次實驗中，我們定出了八個方位，想要測量是否每個方位的電功率都一樣。在一開始，我們測量了八個方位的照度，發現了每個照度值都差不多，唯一較高的是西北方。根據我們的推測，覺得可能是上次在擦拭太陽燈時，不小心移動到了；或是太陽燈某一個地方比較亮，才会有這樣的結果。而從測量的結果顯示，西北方的電功率較高應該就是這個原因。所以對太陽能板而言，無論從什麼方位照射，對電功率都影響不大。

裝置設計說明

1. 我們之所以將高度角定在 70 度，是因為根據每個季節的太陽高度角變化資料，我們知道太陽高度角在不同緯度和不同時間，都會不同。例如在夏至，在北回歸線上的區域，高度角最高可到達 90 度；在冬至，太陽高度角只有 40 多度。也就是在四季內，太陽高度角差異很明顯，所以我們想要取一個中間值，以當作我們測量方位角的不變變因。
2. 在使用八個指北針定方位時，我們意外的發現每一個指針都指向不同的方向，且有的落差很大，使我們相當困惑，因為指北針應該要指向相同方向。後來，我們看到每一塊地板周圍都圍繞著寬約一毫米的金屬細條，便猜測金屬含有鐵的成分，因而擾亂指針的方向。於是我們把其中一個指北針改變位置，那個指北針的指針又指向另一個方向，證明明確有干擾物影響指針方向，而干擾物非常有可能是地板的金屬，我們便以中心的方位當標準，用「平移」的方式，找出八個方位。

觀測〈一〉探究太陽的方位角及高度角在一天當中隨時間變化的情形

(一) **觀測動機**：由於前幾次到戶外進行太陽能板發電情形的初步觀測時，我們觀察每節下課測量的紀錄，發現方位角和高度角都會增加 10 幾度，但是每節課〈40 分鐘〉增加的數據又不一致，所以開始懷疑究竟是我們測量的技術不夠準確，還是太陽的位置變化真的不規律，所以在進行後續各項實驗的同時，有必要對太陽的位置變化規律作一番仔細的觀察。

(二) **觀測前的假設**：一天中，太陽方位角或高度角每個小時的變化量應該都各自相同。

(三) **觀測步驟**：以下簡略說明我們測量與逐步修正的過程。

1. 作法一：使用舊的教具「太陽方位及高度角觀測器」測量。

狀況：測量結果與天文館公佈的台北市中天時間仰角資料進行比對後不符，高度角誤差達 4 度，方位盤的指南針受地面干擾嚴重，每次測量到中午時間，方位角都不在正南方，而且誤差很大。



2. 作法二：回歸原始測量方式，以架子紀錄竿影位置和長度變化，盡量多蒐集一些數據。

狀況：地面不平、架子不正，測量上產生更大的誤差，還是與天文館公佈的台北市中天時間仰角資料不符合。



3. 作法三：以砝碼和繩子製作鉛垂線，替代竿子並記錄影子的位置變化，並用量角器立刻拉線測量太陽高度角

狀況：砝碼不夠重，鉤子形狀不對稱使重心不穩，加上風吹影響，使鉛垂線不停旋轉。

4. 作法四：使用建築用的鉛錘，改善作法三的缺點。

狀況：方位測量較準確，以中天時間測量到的方位為正南方，再用量角器反推回去測量各時間的方位。但是地不平，量角器無法確實水平擺放，產生高度角的誤差。



5. 作法五：沿用作法四的方法，在鉛錘下方放置圓形方位紀錄紙，先在紙上點出各時刻的影子頂點，一整天觀測結束後再畫線〈線長與影長垂直，連接鉛錘線頂點與影子頂點〉，測量高度角。

狀況：中午的時候標記的影子太短，會和鉛錘的影子重疊，導致我們沒有辦法明確記錄標記影子的位置。另外，由於早晚的陽光強度較弱，且外在光線干擾嚴重，導致半影的產生，使觀測時點的記錄位置不準確，無法清楚的看到本影。



6. 作法六：沿用作法五，用支撐架撐起紀錄紙，並將鉛錘懸吊在木板下方，以避免鉛垂干擾到正中午鉛垂線標記點的紀錄，而且，爲了不讓懸吊鉛垂的木桿影子與鉛垂標記的影子重疊，我們在左右各擺一個可移動的支撐桿，上下午各調整一次。另外，爲了克服半影的問題，我們用紙箱自製一個能夠遮擋外在光的罩子，且已懸空的方式，以免是木板凹陷，影響觀測結果。



狀況：桌子的木板太薄，中間木板有些下陷，正商請學校負責修繕的叔叔按照我們設計製作的儀器另外再訂製一個更厚更堅固的觀測架。

(四) 觀測結果：

1. 意外發現：3/15 和 3/16 兩天的觀測紀錄顯示〈入右下圖〉，一天中，各時刻的影子頂點竟然連成一條沿東西向水平水平線。



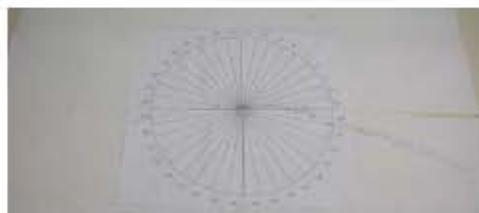
思考與啓發：

- (1) 根據 3/15 和 3/16 兩天的觀測紀錄，原本我們以爲每天的影子頂點變化連線一定是接近東西向水平，但因爲在台北市科展評審過程中，評審提到影子連線應是一條弧線，因此讓我們重新思考爲何會畫出一條水平線。後來我們又查到了第四十六屆全國科展應用科學第二名的作品-「陽陽得意」中所測量的秋分、夏至、冬至時一整天的影子連線，發現冬至的影子連線成上揚的對稱拋物線，而秋分則是接近水平的下垂拋物線，夏至則是向下垂的對稱拋物線。



因此，我們推測在冬至到夏至這段時間內線段的弧度方向是會漸漸改變的〈向上凹變下凹〉，因此在逐漸改變方向的過程中，弧度會漸漸變平，成爲一條東西向水平的直線，而這條直線出現的時機應該會是在春分和秋分的前後，這也就應證了我們在 3/15 測量的意外發現是可能存在的。

後來，我們又參考自然課本上的嘉義春分、夏至、秋分、冬至的太陽位置數據，自己繪製成預想圖〈如右上圖〉，並且繼續測量不同時間〈5/28 和 5/29〉的竿影連線〈如右圖的向下垂的對稱拋物線〉，又再次映證了我們的推測。而只要天氣好的話，我們也會繼續做觀測紀錄。

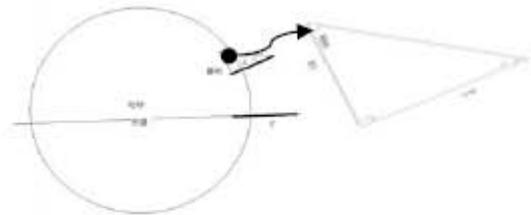


〈2〉 根據已經知道的科學知識而排除太陽繞地球公轉的可能，我們接著也推測到，科學家們為什麼說地球的自轉軸是傾斜的，應該就是蒐集一整年竿影連線的曲線紀錄，發現這一條曲線會來回變化，所以地球的自轉軸不是與太陽和地球的連線保持垂直。

〈3〉 雖然我們沒有到其他地方做實驗，但是我們推測，利用相同的鉛錘裝置〈高度相同〉，如果同一時間做實驗，各地中午的影子應該會不同，影子越長，代表當地緯度越高；影子越短，當地緯度越低。所以如果能找到一個標準〈赤道〉的竿影長度，就可以利用竿影長度計算出各地的緯度了。

〈4〉 下圖為正中午的情形圖：

角 A = 緯度



2. 太陽高度角觀測結果：一天當中高度角變化有一定的規律，雖數字比計算出的理論數據小，但就變化情形而言，規律相同，每一時間的變化幅度差異不大，但約 11：00~1：00 之間，變化的速度較緩慢。

3. 太陽方位角觀測結果：一天當中，方位角於早晚時間變化速度較慢，越接近中午，方位角變化越劇烈，約 8：30~15：30 的期間變化較明顯、較快速。

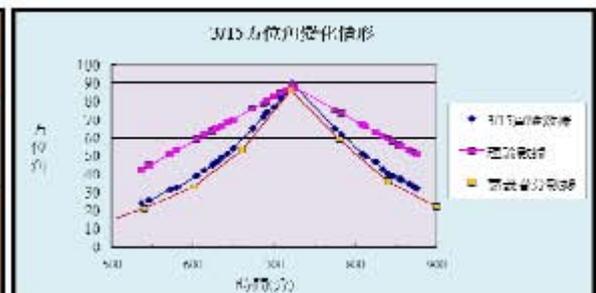
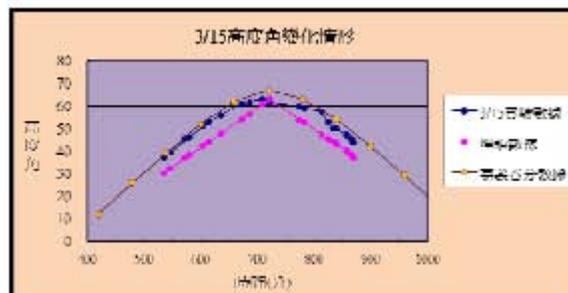
以下用圖表說明我們的實際測量結果，並和課本上提供的嘉義地區相關數據以及我們原本運用天文館提供的相關資訊做等速變化推算的結果做比較。

等速理論數據計算公式：

高度角計算

上午：中天高度角 x 〈測量時間—日出時間〉 / 〈中天時間—日出時間〉

下午：中天高度角 x 〈測量時間—日沒時間〉 / 〈中天時間—日沒時間〉



方位角計算

上午：東偏南日出方位+90 度 x 〈測量時間—日出時間〉 / 〈中天時間—日出時間〉

下午：西偏南日沒方位+90 度 x 〈測量時間—日沒時間〉 / 〈中天時間—日沒時間〉

實驗〈三〉探討太陽能板傾斜角度對於太陽能板發電量的影響

- (一) **實驗動機**：在室內進行實驗時，發現調整太陽能板角度對太陽能板發電量的影響是有規律的，但是在戶外時，太陽光的照射範圍較大，在任何位置好像都可以照射到足夠的光，而且陽光會從四面八方射入太陽能板。所以，我們想知道把太陽能板擺在室外時，調整太陽能板角度是否還會規律的影響太陽能板發電量，並找出能使太陽能板得到最佳電功率的角度。
- (二) **實驗假設**：調整太陽能板角度，使太陽光入射角接近 90° ，能使太陽能板的電功率越大。
- (三) **假設依據**：根據室內用太陽燈進行高度角對發電量影響的實驗結果推測，因為太陽能板的入光量越大，電功率就越大，太陽高度角調成 90° 時，光線是直射在太陽能板上，入光量最大；若高度角降低，則入光量也會隨之減少，因此 90° 時的電功率會是最大的。
- (四) **變因控制**：
1. 操縱變因：旋轉太陽能板角度使太陽光入射角不同〈模擬不同高度角〉
 2. 不變變因：

器材	環境	操作
太陽能板的規格	測量地點都要空曠，無遮蔽	太陽能板擺放的方位一致
電阻要相同(300Ω)	選擇陽光充足，天空萬里無雲或少雲的天氣	照度計擺放的位置相同
指南針的規格		方位的觀測定位與相同
高度角測量儀的規格	測量當時的照度要相同	太陽能板旋轉的定位標準要一致

3. 應變變因：電功率〈電壓 \times 電流〉

(五) **實驗器材**：

1. 方位與高度角測量：自製太陽方位及高度角觀測器〈指南針、量角器、鉛垂懸吊架、方位紀錄表、長尺、固定在量角器的棉線、膠帶〉
2. 太陽能板高度角調整：太陽能板、長方形木板、可調整高度的鐵架、棉線、量角器、油性奇異筆。
3. 電功率測量：照度計〈選擇測量時機〉、三用電表、電阻、紀錄表〈參閱附件〉
4. 其他：手錶〈紀錄測量時間〉



(六) 實驗步驟：

研究過程中，針對規格不同的太陽能板，我們運用不同的測量技術；此外，隨著觀測數據的分析，我們思考應將測量範圍逐漸縮小，以下分階段說明：

階段一：選用【小太陽能板】做實驗，測量同一時間，相同方位，不同太陽能板傾斜角度對太陽能板電功率的影響：

1. 先將太陽能板固定於可方便調整高度角及方位角的旋轉架上，然後將架子固定，放置在空曠且上下午都可照到陽光的环境。
2. 準備一個裝水的水箱，作為水平位置的參考標準；然後調整旋轉架兩側的高度，使太陽能板對齊水位並與地面保持平行。
3. 用指南針與高度角測量器測量出某一時間的太陽高度角、方位角，並測量完太陽光入射太陽能板角度為 0° 時的電流與電壓。
4. 盡量在短時間內將太陽能板分別旋轉成讓太陽光入射角為 30° 、 60° 和 90° 的情形，然後測量電流與電壓，算出電功率。
5. 將資料輸入電腦，用 excel 計算比較分析：同一時間太陽在相同方位角但入射太陽能板角度不同時，對小太陽能板電功率的影響。



階段二：選用【大太陽能板】做實驗，測量同一時間，相同方位，不同太陽能板傾斜角度對太陽能板電功率的影響：

1. 先將太陽能板固定於可方便調整高度角及方位角的調整架上，面向正南方，並把太陽能板和三用電表、電阻串聯。
2. 將大太陽能板調整成不同傾斜角度（以平行地面為 0° ，每隔 10° 調整一次，測量 $0^\circ \sim 60^\circ$ ），改變太陽光入射角，分別測量電流與電壓，算出電功率。
3. 再次比較分析：同一時間太陽在相同方位角但入射太陽能板角度不同時，對大太陽能板電功率的影響。

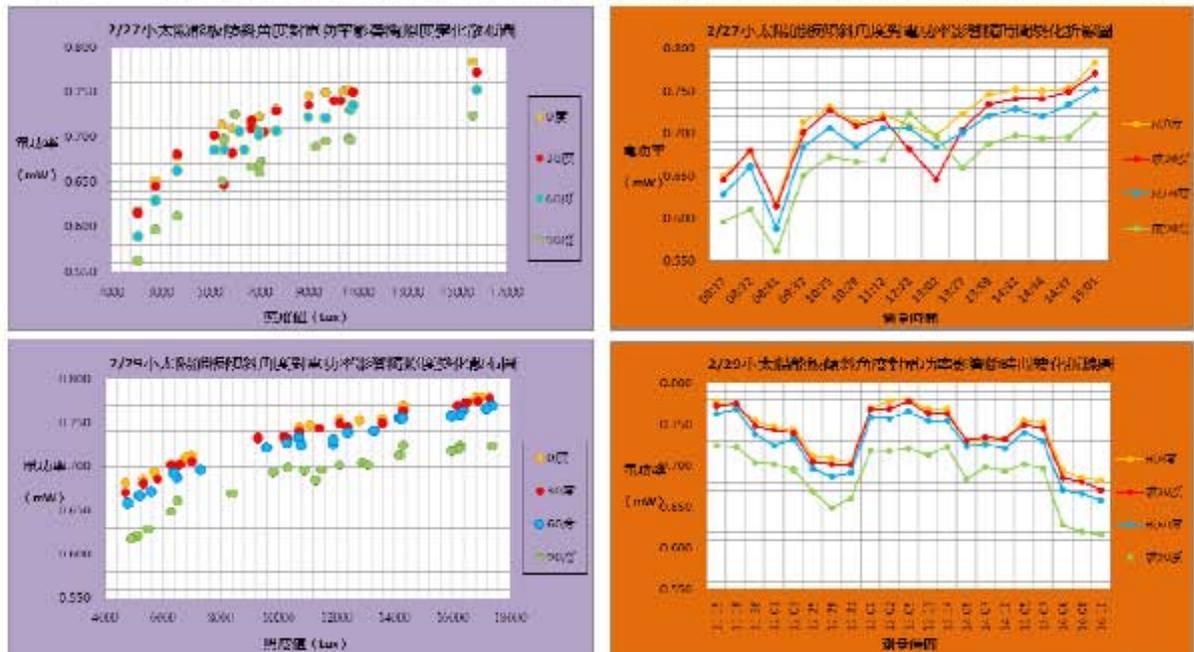


階段三：比照階段二的方法，盡量每節下課做一次觀測紀錄，大量收集太陽在各種高度角時，調整太陽能板傾斜角度對太陽能板電功率的影響。

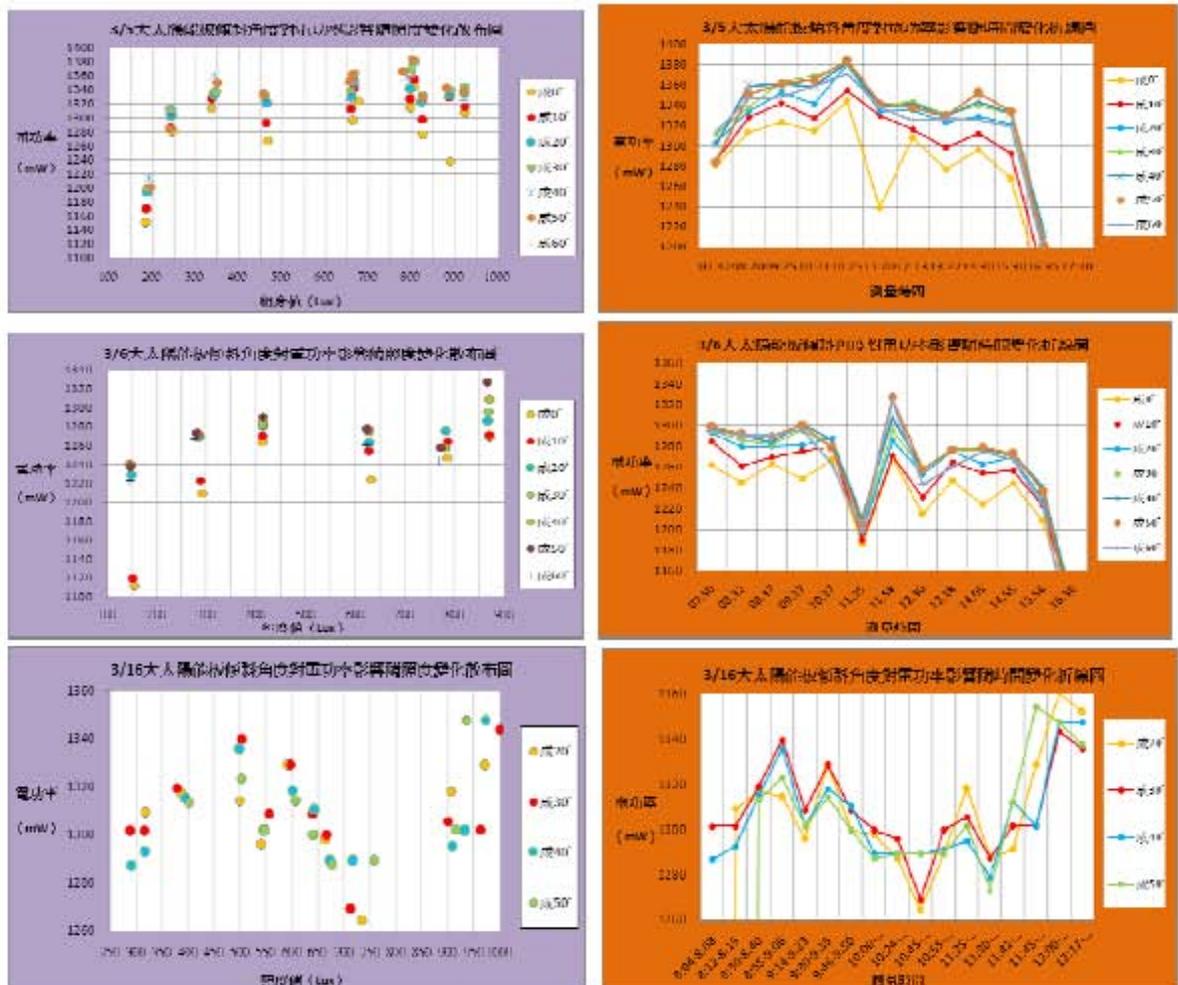
階段四：從不同天（每隔一個月左右）的數據資料中，取出方位角相同，但高度角不同的電功率數據，分析高度角對太陽能板發電功率的影響。（目前仍持續觀測蒐集當中）

(七) 實驗紀錄：階段一至階段三的詳細紀錄請參閱附件，以下僅以圖表呈現實驗結果與發現。

1. 階段一：用【小太陽能板】測量不同太陽能板傾斜角度對太陽能板電功率的影響：



2. 階段二、三：用【大太陽能板】測量不同太陽能板傾斜角度在一天中不同時間對太陽能板電功率的影響：



(八) 實驗結果：

1. 在春季時，將小太陽能板（開路電壓 0.5 伏特，短路電流 150 毫安培）擺放在戶外可照到陽光的地方，調整板面傾斜角度為 0° ~ 90° 時，皆可以達到一定的發電量（0.6 毫瓦）以上，但是 0° ~ 60° 明顯優於 90° 。

電量平均 (mW)	傾斜 0°	傾斜 30°	傾斜 60°	傾斜 90°
2/27 實驗	0.716	0.704	0.694	0.667
2/29 實驗	0.740	0.736	0.725	0.689

2. 在春季時，將大太陽能板（最大發電量為 10 瓦）擺放在戶外可照到陽光的地方，調整板面傾斜角度為 0° ~ 60° 時，皆可以達到一定的發電量（1 瓦）以上，但是 20° ~ 50° 普遍且明顯優於 0° 和 60° 。

電量平均 (mW)	傾斜 0°	傾斜 10°	傾斜 20°	傾斜 30°	傾斜 40°	傾斜 50°	傾斜 60°
3/5 實驗	1241	1263	1280	1289	1290	1287	1277
3/6 實驗	1230	1245	1256	1261	1263	1263	1255

3. 春季時，一天中隨著太陽高度角和方位角不斷變化時，將大太陽能板旋轉 30° 到 40° 時的電功率平均值優於 20° 和 50° 的電功率平均值。

電量平均 (mW)	傾斜 0°	傾斜 10°	傾斜 20°	傾斜 30°	傾斜 40°	傾斜 50°	傾斜 60°
3/16 實驗			1224	1307	1303	1143	

(九) 實驗討論：

2. 我們思考造成實驗結果的原因之後，推測這是因為春季的中午太陽高度角多半介於 50° 到 60° 之間，所以將太陽能板旋轉至 30° 到 40° 時，陽光入射角剛好可以接近 90° 。而且陽光入射角接近 90° 時，多半是發生在一天中陽光照度較強的時間，對於平均發電量的影響較大。
3. 比較一天中不同時間的電功率可以發現：只要太陽不被雲遮住，任何時間的電功率都可以達到一個基礎的量值，但是仍以中午的電功率最大。
4. 根據我們查到的文獻建議，應將太陽能板仰角設定為 23.5° 度（因為台灣位於北迴歸線上，而北迴歸線緯度為北緯 23.5° 度），但是根據我們的實驗發現，卻是將太陽能板仰角設定為 30° 到 40° 時最佳，這除了可能和我們的實驗地點的緯度（北緯 25° 度）有關之外，最主要就是和太陽高度角的變化有關。

特別值得思考的是：我們推測夏天時，或許是以 23.5° 度的仰角最佳（夏季時的中午太陽高度角約 80° 度至 90° 度），但是夏季日照強烈，太陽光入射太陽能板的角度只要不要太傾斜，發電量應當都會相當足夠，但是在春天或秋天時，甚至是冬天時，傾斜角度如果適當，才有助於在陽光較不足時，得到最多的發電量，所以實驗結果應該是具有重要的參考價值。

實驗〈四〉探討太陽高度角和方位角何者是影響太陽能板發電量的關鍵

- (一) **實驗動機**：在戶外進行高度角變化實驗時，發現太陽的方位和高度角不斷變化。在高度角較低時，太陽方位較偏東或西；而高度角較高時，太陽方位較偏南。所以將發電量的影響因素只歸因在高度角，好像不太有把握，所以在戶外實驗時，也應該再次比較太陽方位對太陽能板發電量的影響。
- (二) **實驗假設**：太陽高度角對太陽能板發電量的影響力比太陽方位角大。
- (三) **假設依據**：根據室內用太陽燈進行高度角及方位角對發電量影響的實驗結果推測，高度角的影響力極大，方位角則微乎其微。可是我們發現即使太陽能板傾斜角度已經配合當時高度角調整〈面向正南，斜角為 90° -當時高度角〉，對太陽能板而言太陽仍然是斜射，只有將方位一併調整到 90° -當時方位角，太陽光才算直射太陽能板，所以太陽方位對太陽能板發電量的影響也不可以忽視。
- (四) **變因控制**：
1. 操縱變因：太陽入射太陽能板的角度
 - 【情況一】將太陽能板沿東西或南北方向水平擺放。
 - 【情況二】將太陽能板面向南，調整傾斜角度為： 90° -當時太陽高度角
 - 【情況三】將太陽能板水平擺放，並將方位旋轉為： 90° -當時太陽方位角
 - 【情況四】將太陽能板方向與角度皆旋轉，綜合情況二和情況三的調整方式。
 2. 不變變因：參閱前一實驗，但是角度與方位的調整不同

器材	環境	操作
太陽能板的規格	測量地點都要空曠，無遮蔽	照度計擺放的位置相同
電阻要相同(300Ω)	選擇陽光充足，天空萬里無雲或少雲的天氣	方位和高度角的觀測定位要相同
指南針的規格		
高度角測量儀的規格	測量時的照度和時間要相同	

3. 應變變因：電功率〈電壓 \times 電流〉

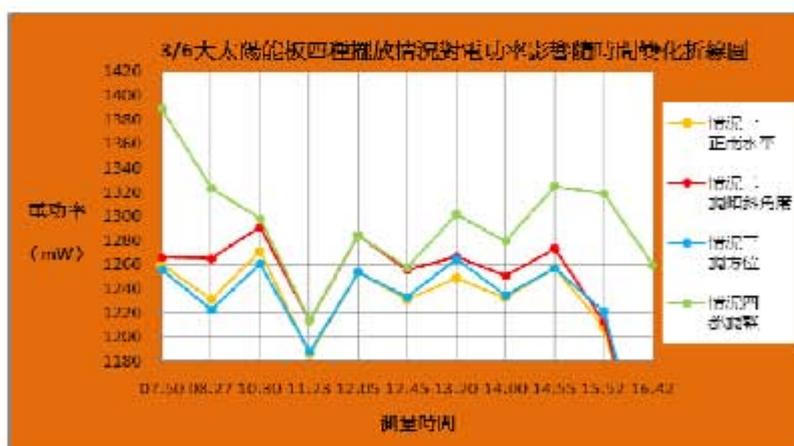
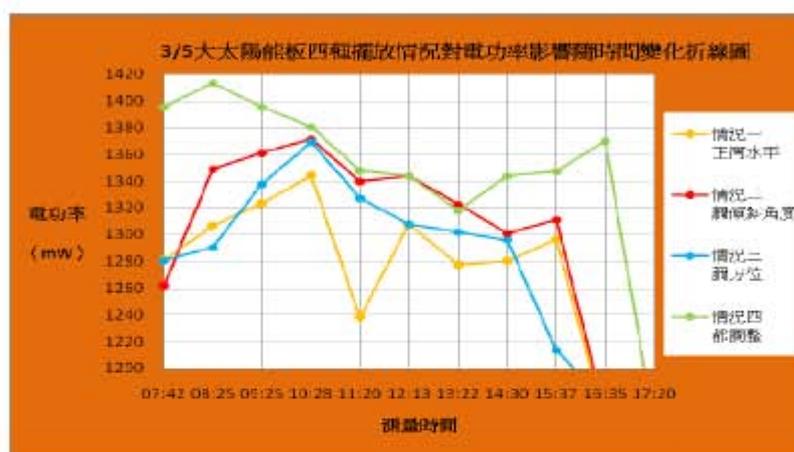
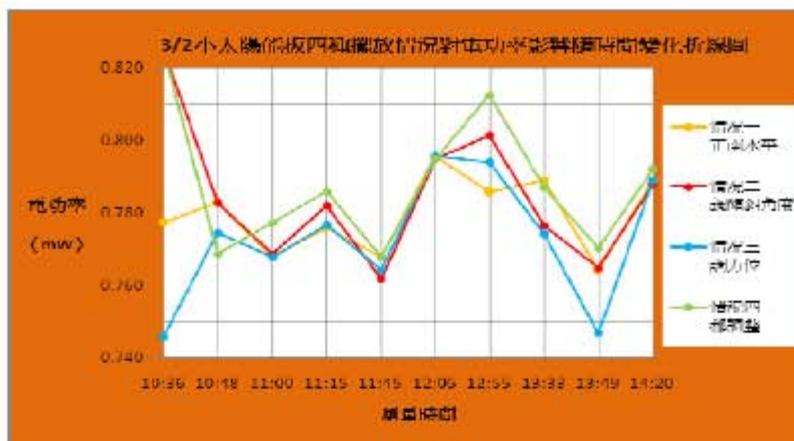
(五) **實驗器材**：參閱前一實驗。

(六) **實驗步驟**：

1. 分別選用【小太陽能板】和【大太陽能板】做實驗，測量同一時間太陽能板擺放成四種情況時的發電量。
2. 盡量在一天當中〈每節下課〉多做幾次測量，蒐集不同時間的數據，比較兩項因素對太陽能板的影響是否會隨時間而有差別。
3. 比較分析調整太陽能板傾斜角度和方位角度何者是影響太陽能板發電量的關鍵因素。



(七) 實驗紀錄：詳細觀測紀錄請參閱附件，以下僅以圖表呈現實驗結果與發現。

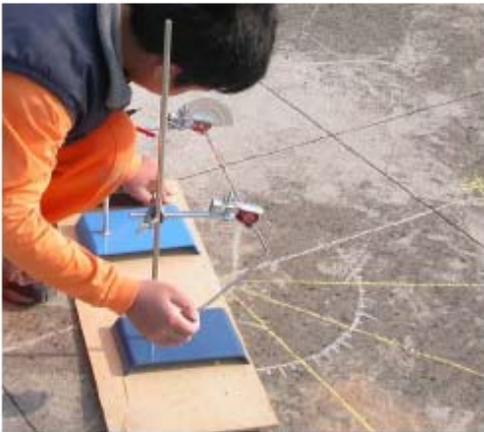


電功率平均 (mW)	情況一 正南水平	情況二 調傾斜角度	情況三 調方位	情況四 都調整
3/2 (小太陽能板) 實驗	7.796(討論2)	7.846	7.729	7.882
3/5 (大太陽能板) 實驗	1227	1251	1231	1347
3/6 (大太陽能板) 實驗	1221	1240	1224	1296
分析比較	最小	次大	和情況一 差異不大	最大

(八) 實驗結果：

1. 在同一時間將太陽能板調整為與太陽方位角及高度角都成垂直〈情況四〉時，太陽能板發電量為最佳，得到的電功率數據明顯高於其他任何一項。
2. 若只調整高度角或方位角其中一項時，平均來說，調整高度角的影響力大於方位角。
3. 從整體電功率數據看來，在太陽能板傾斜角度不調整〈水平擺放〉的情況下，調整方位對太陽能板的發電量幾乎沒有影響；但是調整傾斜角度後，再調整方位，卻又可以增加很大的發電量，尤其是在上午 10 點以前和下午 2 點以後，影響最為明顯。

(九) 實驗討論：

1. 經過實驗中的實際觀察，我們注意到無論只調整高度角或方位角，太陽光都還算是斜射到太陽能板上，而只有兩者都調整的話，太陽才會真正直射至太陽能板上，因此電功率才會明顯的變大。
2. 在架設實驗儀器時，我們發現小太陽能板的水平位置不易調整，討論後決定先拿一個裝滿水的箱子，在底下墊書，讓水平線靠近太陽能板再調整太陽能板，確定太陽能板是呈水平再進行測量。但是從得到的實驗數據看來〈小太陽能板的水平位置，在每次調整完傾斜角度後再迅速調回水平時，似乎都會有誤差〉，表示我們設計的小太陽能板高度角旋轉架還是不夠精準，所以和大太陽能板得到的實驗結果有部分落差，我們應該要再改進與修正，讓儀器的調整兼顧操作方便與測量精準兩項功能。
3. 根據我們已在室內所做的實驗知道放大鏡會增加太陽能板電功率，如果把放大鏡運用在室外效果應該會更好，而放大鏡該在何時運用是個問題，後來想到應該是上下午比較早或晚時使用放大鏡，因為我們發現太陽能板電功率有個極限，太陽光強時太陽能板馬上就達到極限，太陽光較弱，還沒達到極限時，放大鏡把光聚集，會使光增強增加電功率，達到更好的效果。不過光線不強的時間，太陽高度角不高，放大鏡聚出來的光點是橢圓形的，光並不強，所以要使放大鏡把光增強，就必須改變太陽能板角度，才能得到最好的太陽能板電功率。

實驗〈五〉探討放大鏡在不同焦距時對於太陽能板發電量的影響

- (一) **實驗假設**：我們推測放大鏡在 1 倍焦距時，能使太陽能板的電功率最大。
- (二) **假設依據**：因為放大鏡是凸透鏡，而凸透鏡能將光聚在一倍焦距處，形成焦點，焦點的光最強，因此能使太陽能板的發電量增加。
- (三) **變因控制**：

1. 操縱變因：太陽能板和放大鏡間的距離。

對照組：沒有用放大鏡聚光

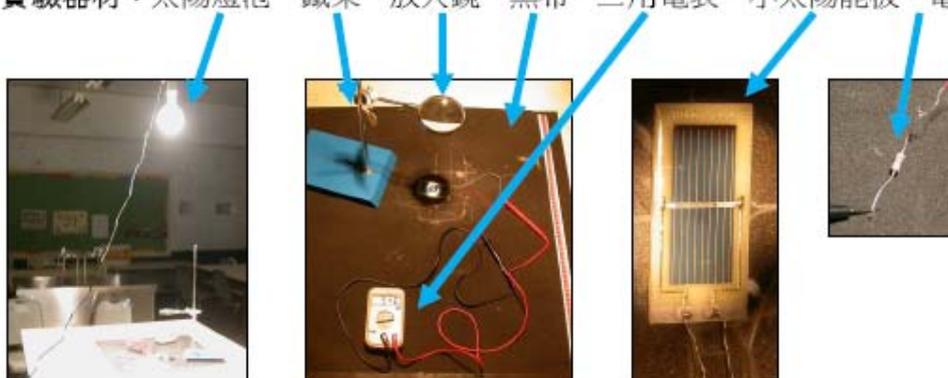
實驗組：在太陽能板上方 0.5 倍焦距、1 倍焦距、1.5 倍焦距、2 倍焦距處放置放大鏡聚光。

2. 不變變因：

器材	環境	操作
太陽能板的規格	教室光線保持黑暗	放大鏡的傾斜角度(0 度)
太陽燈的規格	桌子罩上黑布	電阻要相同(300 Ω)
放大鏡的規格	實驗者全穿暗色布面衣服	放大鏡和太陽能板的對應位置(焦點對準太陽能板的正中心)
		太陽燈和太陽能板的距離

3. 應變變因：電功率〈電壓 \times 電流〉

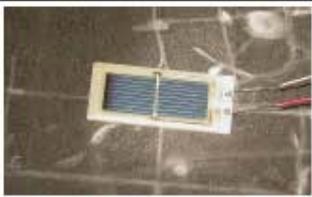
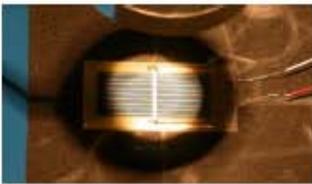
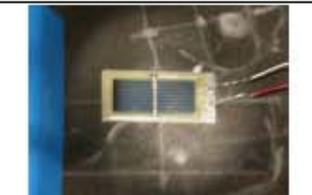
- (四) **實驗器材**：太陽燈泡、鐵架、放大鏡、黑布、三用電表、小太陽能板、電阻、照度計

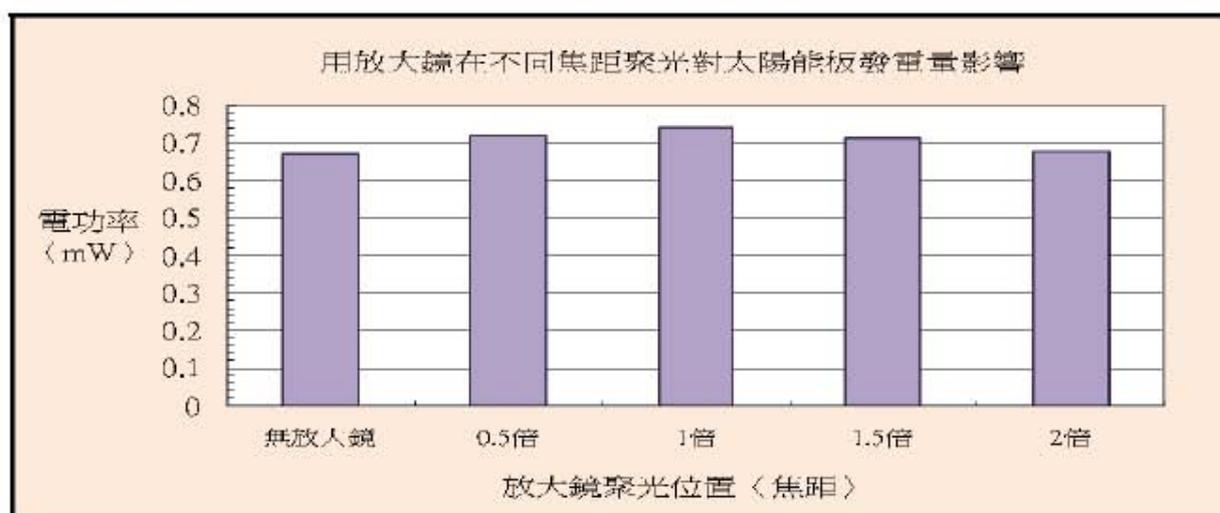


- (五) **實驗步驟**：

1. 將太陽燈泡固定在太陽能板上方(本實驗選擇高度為 121 公分)。
2. 用鐵架將放大鏡固定至太陽能板上方。
3. 將太陽能板、300 Ω 電阻及三用電表連接如前項(四)實驗器材的附圖。
4. 測量放大鏡焦距，分別將放大鏡的高度調整至 0.5 倍、1 倍、1.5 倍、2 倍焦距。
5. 分別三用電表測量在不同放大鏡焦距下的太陽能板電壓和電流，並用照度計測量太陽能板中間與兩側的照光情形。

(六) 實驗紀錄：

測量項目 發電 操縱 情形 變因	電壓 (V)	電流 (mA)	電功率 (mW)	聚光情形				
				聚光範圍		太陽能板上的照度變化 (x1000 流明)		
				圖示	左側	中間	右側	說明
無放大鏡	0.530	1.268	0.672		056	051	045	光的分布平均，沒有明顯聚光情形。
0.5 倍 (12.5cm)	0.543	1.322	0.718		096	185	151	聚光範圍是一個直徑 4.5cm 的圓圈，照光面積約占太陽能板 9/10。
1 倍 (25cm)	0.550	1.347	0.741		014	213	011	聚光範圍是一個直徑 3.4cm 的圓圈，照光面積約占太陽能板 6/10。
1.5 倍 (37.5cm)	0.542	1.316	0.713		063	105	144	聚光範圍是一個直徑 7.5cm 的圓圈，照光面積約占太陽能板 10/10。
2 倍 (50cm)	0.522	1.297	0.677		045	066	069	聚光範圍是一個直徑 12.5cm 的圓圈，照光面積約占太陽能板 10/10。



(七) **實驗結果**：我們的假設有獲得支持，將太陽能板放在放大鏡下方一倍焦距處獲得最大的電功率。進一步說明如下：

1. 根據電壓與電流的測試結果計算，我們發現使用放大鏡將光聚焦在太陽能板上，不管是放在多少倍焦距的位置處，明顯都比不使用放大鏡聚光的情形時測到更大的電功率，其中又以在 1 倍焦距時的效果最佳，電功率增加約為原來的 1.10 倍。

項目	倍數
無放大鏡	1
0.5 倍焦距	1.07
1 倍焦距	1.10
1.5 倍焦距	1.06
2 倍焦距	1.01

2. 在測量電功率時，我們同時運用照度計做輔助，觀察太陽能板上不同位置的照光情形，結果發現：將太陽能板放置在放大鏡下方 1 倍焦距處時，雖然光線只集中在太陽能板上一個較小的範圍，其它部分則幾乎照不到光，但是照光部分的照度卻是原本的 4.18 倍，整個太陽能板的總發電功率也是最高的。可見得在 1 倍焦距時，不僅光線強，且所有光源應該都能被太陽能板吸收。與其他照光範圍較大的聚焦情形比較，光線照射下來很平均，但是光線都不怎麼亮，而且由於照射面積過大，範圍甚至比整個太陽能板還大，導致許多光線並沒有照射在太陽能板上，能量因而流失。

焦 距	左側照度倍數	中間照度倍數	右側照度倍數	平均照度倍數
無 放大鏡	1	1	1	1
0.5 倍焦距	1.71	3.63	3.36	2.90
1 倍焦距	0.25	4.18	0.24	1.56
1.5 倍焦距	1.13	2.06	3.20	2.13
2 倍焦距	0.80	1.29	1.53	1.21

3. 比較聚光位置在放大鏡的 0.5 倍和 1.5 倍焦距處，結果發現各項觀測值的差異皆不大，甚至有幾處完全相同，只有中間的照度值差距較大。

(八) **實驗討論**：

影響結果的因素分析

1. 從這個實驗中我們發現將放在放大鏡置於 1 倍焦距處，測得的太陽能板電功率是最強大的，而利用放大鏡聚成的照光面積愈大，太陽能板的電功率就會越少。我們推測，因為一倍焦距的高度能把光聚集，可以讓放大鏡將附近的光吸收並完全作用，一倍焦距才能得到最高的電功率；而其他聚光情形的面積雖然較廣且光線較均勻的照在太陽能板上，但光都比較弱，且有些光還會超出太陽能板，當然無法作用，超出太陽能板的光線就浪費了。

實驗啟發與反思

2. 在用照度計分析太陽能板各位置發電情形，我們發現在放大鏡一倍焦距下的太陽能板中間的照度明顯比其他的數據高很多，但是它的左右兩旁的照度卻是非常小，幾乎沒有照到光線，但是它的總電功率仍然最大，特別是其它倍焦距下的三組照度值總和幾乎都比一倍焦距時的三組照度值總和高。所以我們應該嘗試將放大鏡做組合，讓太陽能板上各位置的光線都像 1 倍焦距下的聚光量，才能讓太陽能板發揮更大的發電效果。

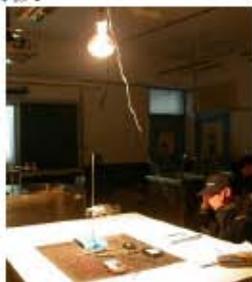
實驗〈六〉探討放大鏡在傾斜角度不同時對於太陽能板發電量的影響

- (一) **實驗假設**：我們推測放大鏡在傾斜角度為 45° 時，能使太陽能板的發電量最大。
- (二) **假設依據**：我們推測放大鏡在傾斜角為 45° 時，放大鏡的入光量中等，但一半的面積光線能夠直射，且由放大鏡聚光後照射太陽能板的光面也較大，各項都為平均，因此發電功率會最大。

(三) **變因控制**：

1. 操縱變因：放大鏡的傾斜角度，對照組 0° 和實驗組 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 90°
2. 不變變因：〈參閱實驗五〉
3. 應變變因：發電功率〈電壓 x 電流〉

(四) **實驗器材**：太陽燈泡、鐵架、放大鏡、黑布、三用電表、太陽能板、電阻、照度計量角器、玻璃板



(五) **實驗步驟**：

1. 將太陽燈泡固定在太陽能板上方(121 公分)，並將放大鏡固定至太陽能板上方一倍焦距處。
2. 將太陽能板、 $300\ \Omega$ 電阻及三用電表串聯連接。
3. 將放大鏡的傾斜角度調整至 0° 並聚光在太陽能板中心，用三用電表測量太陽能板產生的電壓和電流。
4. 重複上述步驟測量放大鏡傾斜角為 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 90° 時，太陽能板產生的電壓和電流。
5. 將放大鏡中心對準太陽能板左或右半側，重複上述步驟分別將放大鏡往順時針和逆時針旋轉至各角度，測量太陽能板產生的電壓和電流。



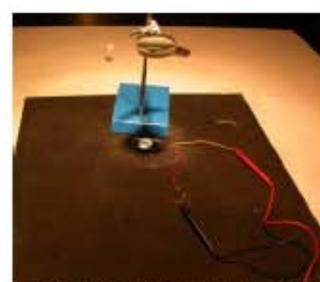
6. 實驗操作圖說：



A 測量放大鏡傾斜角度

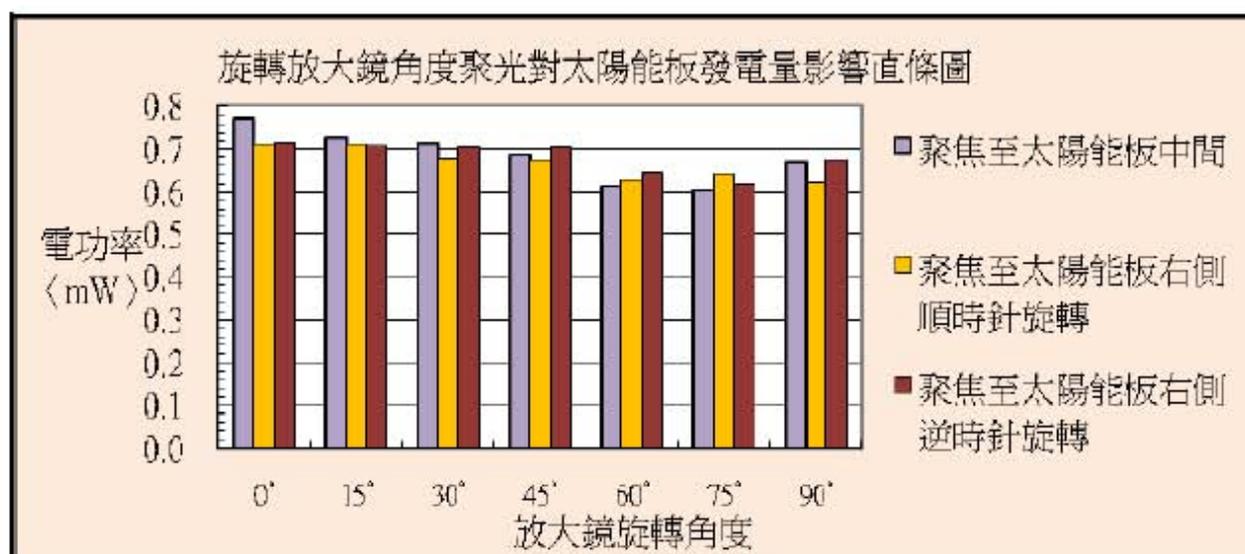


B 測量太陽能板上各位置照度



C 測量太陽能板產生的電量

(六) 實驗紀錄：



1. 聚焦位置在太陽能板中心

觀測項目 發電量 角度	電壓 (V)	電流 (mA)	電功率 (w)	聚光情形				
				聚光範圍 圖示	太陽能板上的照度變化 (流明)			
					左側	中間	右側	說明
0°	0.565	1.366	0.772		23	335	37	聚光範圍是一個直徑 3cm 的圓圈，照光面積約占太陽能板 6/10。
15°	0.541	1.346	0.728		19	353	19	照光面積約占 7/10，照光部分為橢圓形，右側光線比左側集中。
30°	0.538	1.325	0.713		64	240	88	照光面積約占 9/10，照光部分為橢圓形，右側光線比左側集中。
45°	0.526	1.304	0.686		55	107	106	照光面積約占太陽能板 10/10，照光部分似梯形，右側光線比左側集中。
60°	0.497	1.238	0.615		26	29	37	照光面積約占 10/10，照光部分為橢圓形，平均分散。
75°	0.495	1.220	0.604		42	3	16	照光面積約占 6/10，中間被放大鏡周圍鐵的影子遮住，太陽能板吸收的光皆為直射，和放大鏡無關。
90°	0.521	1.287	0.671		56	29	38	照光面積約占 9/10，中間被放大鏡周圍鐵的影子遮住，且影子極細，太陽能板吸收的光皆為太陽燈直射，和放大鏡無關。

2. 聚焦位置在太陽能板右半側〈順時針旋轉傾斜〉：

觀測項目 角度 電量	電壓 (V)	電流 (mA)	電功率 (w)	聚光情形				
				聚光範圍 圖示	太陽能板上的照度變化 (流明)			
					左側	中間	右側	說明
0°	0.540	1.320	0.713		3	234	238	聚光範圍是一個直徑 2.7cm 的圓圈，外圍比中心亮，照光面積約占 5/10。
15°	0.538	1.324	0.712		2	217	187	照光面積約占 7/10，照光部分為橢圓形，右側光線比左側集中。
30°	0.535	1.265	0.677		41	153	252	照光面積約占 9/10，照光部分為橢圓形，右側光線稍微比左側集中，但已超出太陽能板感光部分。
45°	0.522	1.292	0.674		67	68	131	照光面積約占 10/10，照光部分平均分散。
60°	0.504	1.248	0.629		18	25	31	照光面積占 10/10，照光部分平均分散，光線很暗。
75°	0.505	1.228	0.640		43	5	19	照光面積約占 4/10，中間被影子遮住，太陽能板吸收的光和放大鏡無關。
90°	0.505	1.235	0.624		55	13	40	照光面積約占 9/10，中間被細影子遮住，太陽能板吸收的光和放大鏡無關。

3. 聚焦位置在太陽能板右半側〈逆時針旋轉傾斜〉：

觀測項目 角度 電量	電壓 (V)	電流 (mA)	電功率 (w)	聚光情形				
				聚光範圍 圖示	太陽能板上的照度變化 (流明)			
					左側	中間	右側	說明
0°	0.548	1.306	0.716		2	197	393	聚光範圍是一個直徑 2.8cm 的圓圈，外圍比中心亮，照光面積約占 5/10。
15°	0.534	1.327	0.709		2	218	375	照光面積約占 4/10，照光部分為橢圓形，左側光線比右側集中。
30°	0.536	1.313	0.704		2	176	290	照光面積約占 6/10，照光部分為橢圓形，左側光線稍微比右側集中，右側已超出太陽能板感光範圍。
45°	0.535	1.316	0.704		15	205	185	照光面積約占 10/10，照光部分平均分散。
60°	0.509	1.263	0.643		57	35	24	照光面積占 10/10，照光部分平均分散，光線微弱。
75°	0.501	1.236	0.619		44	11	6	照光面積約占 6/10，中間被影子遮住，太陽能板吸收的光和放大鏡無關。
90°	0.523	1.288	0.674		56	29	19	照光面積約占 9/10，中間被細影子遮住，太陽能板吸收的光和放大鏡無關。

(七) 實驗結果：我們的假設沒有獲得支持，放大鏡在傾斜角度為 0°時，電功率最大。進一步說明如下：

1. 實驗中若只將聚光焦點對準太陽能板中心的部份做比較，會發現 0°的電功率最大，接下來便逐次下降，60°時通常最低，但之後到了 90°時，電功率又稍為往上升了一些，不過此時的數據卻和放大鏡無關，因為圍繞在放大鏡旁邊的鐵遮住了部份的光線，使得放大鏡完全接收不到光線，無法發揮任何作用，所有接收到的光都是由太陽燈直接照射。
2. 我們發現如果將放大鏡傾斜，其聚光照射面積也會隨之向外擴展，且若向左旋轉，那麼太陽能板上左側的光線也會較為集中，以此類推，旋轉方向的光線會比較集中，不過要是到了太大的角度，光線集中部分便會超出太陽能板所能接收光源的範圍，因此放大鏡聚光發電的功效就會減低。
3. 後來我們想到如果把放大鏡的焦點對準太陽能板的其中一側邊緣，那麼聚光面積擴展時剛好覆蓋在太陽能板上，就可增加發電量。不過實驗結果發現：聚光在旁邊的電功率值反而比聚光在中間的少，證明這麼做並無法提升電功率，但我們又觀察到應該是因為我們操作時將焦點對在右側，且把放大鏡向右旋轉，導致光線真正集中的部份已超出太陽能板範圍，因此無法產生最大的電功率。

(八) 實驗討論：

影響結果的因素分析

1. 我們發現放大鏡的焦點對在太陽能板的中心再調整角度，大部分的數值都比焦點對準太陽能板右側再調整來得高，我們推測原因應該是放大鏡對準右側時，光是斜射進入放大鏡再到達太陽能板的，所以光線在一開始就已經較弱。
2. 從下表流明值的比較可以明顯看出，放大鏡在每一個角度時，聚焦位置在太陽能板中間都比聚焦位置在太陽能板右側高，因此聚焦位置在中間的電功率同樣比聚焦位置在右側還高。

聚焦位置在太陽能板中心

放大鏡角度	電功率 (mW)	左側照度	中間照度	右側照度
0°	0.772	23	335	37
15°	0.728	19	353	19
30°	0.713	64	246	88
45°	0.686	55	107	106
60°	0.604	26	29	37
75°	0.604	42	3	16
90°	0.671	56	29	38

聚焦位置在太陽能板右半側

放大鏡角度	電功率 (mW)	左側照度	中間照度	右側照度
0°	0.713	3	234	238
15°	0.712	2	217	187
30°	0.677	41	153	252
45°	0.674	67	68	131
60°	0.629	18	25	31
75°	0.640	43	5	19
90°	0.624	55	13	40

陸、研究討論

一、瞭解太陽運行規律的重要性：

戶外和室內光線是不一樣的，室內光線是方向固定的一束光源，戶外的太陽光則是從四面八方而來，且方位角及高度角隨著季節的變更，時時刻刻都在改變。因此，在戶外進行的實驗需要密切注意太陽的運行，如果對太陽的運行瞭解的不夠透澈，那就無法測量出實驗中主要的關鍵數據。

二、裝置技術改進：

在進行許多實驗時，設備常會不夠精良，在進行小太陽能板旋轉角度的實驗時，太陽能板無法精確對準量角器，但並不會差很多。在測量太陽高度角時，因找來當鉛垂的砝碼不夠重，被風吹就會搖晃，重心又不穩，太陽高度角又很重要，因此我們便買來一個正式工程用的鉛垂以解決這個問題。

三、樣本次數的意義：

剛開始做戶外實驗時，有些許數據明顯和多數數據的規律不符，不過由於數據太少，使的它在實驗中的影響力很高，不過若是多蒐集些，則不準確的數據便可以被合理的忽略，而且此研究希望能了解太陽的運行規律，但若是數據不足，可信度就不足以說服別人。

四、外在因素干擾控制：

此研究的戶外實驗由於季節的關係，天候變化十分不穩定，也因此使實驗產生了許多誤差，爲了克服這種情況，我們盡力排除外在因素的干擾，如下：

1. 首先是實驗場地中的干擾物品，因爲通常周圍都有許多容易造成反光的物體，因此我們特別選在空曠的頂樓，並選擇在對其地點而言南邊無過多會造成干擾建築物的地方，因爲對台灣而言一年四季太陽永遠偏南，陽光由南邊照射，不能有物體反光或遮擋。
2. 由於雲層遮蔽陽光，產生了光線強弱的差異，也因此而間接影響到了太陽能板的發電，所以我們以照度做區分，在每次實驗測量時，儘可能選擇差異不大的照度範圍，藉此排除雲量的干擾。
3. 差不多過了中午以後，我們發現架子會把鉛垂線的影子遮住，使得有一段時間都因爲看不到鉛垂線而無法測量高度角。所以我們討論後，打算要把架子的位置移到鉛垂線影子的後方，這樣就不會擋到鉛垂線的影子，除了天氣干擾外，應該一整天都能測到高度角，便可以蒐集到更多的數據做比較。
4. 從那張畫有影子點的紀錄紙可以看出，每一個時間的點都在一條平行線上，我們推測這條平行線如果到冬天時，垂直線段會比較長，到夏天會比較短，原因是太陽高度角夏天高冬天低的緣故。另外，我們還發現，早上太陽方位移動的速度比靠近中午的速度還慢，乍看之下好像並沒有什麼明顯分割的時間，不過還有很多數據並沒有測量到，因此還不能完整的比較一整天的數據。

柒、研究結論

在經過這麼長時間的研究後，瞭解了很多有關太陽運行和電學的知識，也瞭解進行科學研究的辛苦，儘管辛苦，倒也值得。我們的實驗由室內慢慢轉到戶外，實驗也越來越複雜，以探討各種變因對太陽能板電功率的影響。以下是各實驗得到的結論：

一、太陽高度角方位角變化規率：

- 由我們春季時在台北一整天實際觀測的結果發現，高度角的變化還算規律，約每小時改變 11° ；但是約在 11:00~13:00 之間，高度角的變化是一天當中最慢的時段，約每小時改變 3° 。
- 由我們春季時在台北一整天實際觀測的結果發現，方位角的變化並不規律，早晚時間的太陽方位角變化較緩慢，約每小時改變 7° ；但在 8:30~15:00 則約每小時改變 10° 以上。
- 一年中除了冬季之外，其他季節的竿影連線都是成下垂的拋物線，而冬季則是上揚的弧線，且竿影連線變化是逐漸由下垂變化成上揚的拋物線，所以可能會有兩天是呈東西向水平直線，若按照我們參考嘉義的數據所畫成的圖推算，一年中會出現在冬至過後接近春分，和秋分過後接近冬至時。

二、太陽方位角對太陽能板發電量的影響力：

- 在室內進行調整太陽能板方位角的實驗時，方位角不具影響力；
- 在戶外進行實驗時，方位角在接近日出和日沒就具有關鍵影響了，不過這兩段時間的太陽光照度都不強，因此不是擺放太陽能板時應該挑選的最佳方位。

三、太陽高度角對太陽能板發電量的影響力：

- 在室內進行實驗時，太陽燈高度角明顯會影響太陽能板發電量；
- 在戶外實驗時，太陽高度角越接近正午時，對太陽能板發電量的影響力越大。
- 但是對於光源照射範圍廣大的情況下，只要不要刻意遮蔽或角度過斜，都能得到一定的發電量（約九成以上）。

四、方位角與高度角對太陽能板發電量影響力比較：

- 方位角及高度角在不同時間有各自的影響力，因此太陽能板方位及傾斜角都調整，可以得到最佳的太陽能板電功率。
- 若只能調整一項，建議參考各季節太陽中天時間的高度角，取【 90° -太陽高度角】為最佳選擇。
- 太陽能板方位的選擇，則必須面向正南（以台北地區而言），其他地區則必須根據所在地緯度而定。但我們也持續收集更多數據資料，想要了解太陽在相同高度角時，上下午不同方位的太陽照度是否一樣，因為我們初步的觀察發現似乎有一些差異，這可能和空氣成分變化與光線的折射或反射有關係。

五、用放大鏡聚光對太陽能板發電量的影響：

- 使用放大鏡聚光在太陽能板上時，明顯會增加太陽能板的發電量。
- 將放大鏡調至一倍焦距處，太陽能板的發電量會最佳，但太陽能板的反應部位只集中在小範圍內，其他區域並沒有充分發揮，值得思考放大鏡的架設角度設計。
- 使用放大鏡時，放大鏡鏡面與太陽能板夾角度為 0° 〈平行〉時，太陽能板的電功率最佳。但在戶外測試時，則因情況與需求不同，還須進一步做研究。

最後，我們希望實驗裡知道的器材改良方法可以協助老師未來教學時能更準確指導學弟妹觀測太陽的位置，像我們一樣發現更多太陽變化的有趣規律。而我們也希望未來可以集滿一年四季太陽的變化規率，一定會是件有意義的事。另外，我們也會繼續研究增強太陽能板發電量到達極限的各種方法，為開發新能源貢獻我們的力量，使大家的生活更加美好。

捌、參考資料

1. 經濟部.太陽光發電示範系統資訊網 <http://210.69.121.54/moea/Docs/index.html>
2. 台灣師大物理系 物理教學示範教室 <http://www.phy.ntnu.edu.tw/moodle/index.php>
3. 天文館 日出、日沒、曙暮光時刻 http://www.tam.gov.tw/cgi-bin/SM_theme?page=47181acf
4. 維基百科 電流 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%e9%9b%bb%e6%b5%81>
5. 維基百科 凸透鏡 成像特點 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%87%B8%E9%80%8F%E9%95%9C>
6. 奈米科技研發中心 <http://www.ntrc.itri.org.tw/dict/content.jsp?newsid=948>
7. 陽陽得意 全國科展 46 屆作品集 國小組 生活與應用科學科
8. 陽陽陽，大家一起來抓陽 全國科展 43 屆作品集 國小組 自然科 地球科學類

【評語】 081567

能在實驗中反覆測試自製儀器，確立實驗的準確性，尤其在太陽高位角與方位角的導入太陽能板的過程，表現精采，並具創造思考能力，對評審的提問可以即席提出不同解決方案，得獎，實至名歸！