

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生活與應用科學科

最佳團隊合作獎

040804

人工向日葵

學校名稱：國立嘉義女子高級中學

作者： 高二 林鈺維 高二 王柔文 高二 曾曼榕 高二 許倍溶	指導老師： 莊立山
---	------------------

關鍵詞： 太陽能、自動控制

壹、 摘要

由於太陽仰角隨著時間不斷變換，太陽能板的接收率因此無法隨時達到最高。如果太陽能板能像向日葵一樣持續面向太陽轉動，那麼將會大幅提升太陽能板單位面積的吸收效率。我們設計一個附有凹槽的面板，使特定方向的光源只能完全通過特定的一個凹槽。而這個特定方向的光源會到達驅動裝置，此裝置是利用【 $\text{N}_2\text{O}_4 + \text{熱} \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ 】在常溫下的平衡態在受熱後總莫耳數增加的原理，使氣體總壓增加，進而推動水，使驅動裝置對面板造成的力矩增加，帶動整個面板轉動，讓目標面向陽光。經數次測試發現，雖然面板會朝向光源轉動，但總與正確方向有些微偏差，沒有辦法很精準的指向光源，推測造成此狀況的因素不只一個，有待更進一步的改良。

貳、 研究動機

現今已有能用來蒐集太陽能的太陽能板裝置，但太陽能板的吸收效率只有在中午才能達到最高，日出和日落時，因太陽入射的仰角較低，以致單位時間內要吸收與中午時等量的陽光，需更大的面積。看見向日葵朝著太陽做週期性運動，我們便想到，如果蒐集能量的裝置能像向日葵一樣，無論光源如何移動，都能保持面向光源，如此便可使吸收能源的面板單位面積吸收效率達到最高。雖然市面上已有類似功能的產品，但幾乎都需外加電源，且只是隨著時間移動，並不是真的隨著光源移動。於是我們想製作出一樣擁有像向日葵向陽的機制卻不需要外加電能來驅動它的裝置。

參、 研究目的

- 一、 設計一個不需要外加電能裝置使之利用太陽的光或熱驅動。
- 二、 使裝置在光源出現時便轉向光源，對準光源後即隨著光源的移動而轉動。
- 三、 裝置可以每天週而復始的運轉。
- 四、 盡量增加裝置的穩定度。

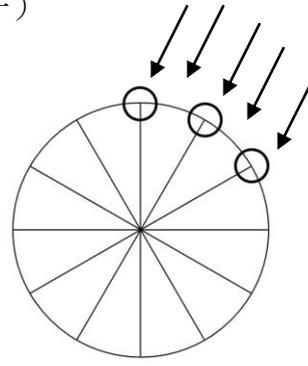
肆、 研究設備及器材

珍珠豪卡板、凸透鏡、平面鏡、齒輪、黏著劑、細塑膠軟管、空心球

伍、 研究過程或方法

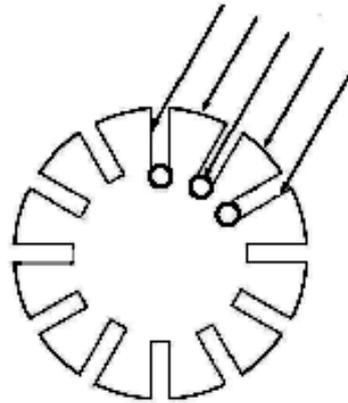
一、 設計基本向陽架構

(一) 最初構想：我們原本將遇光會產生變化的裝置裝在圓盤邊緣，但考慮當光源照射到其中一個感光裝置時，左右的感光裝置也會一併產生反應，無法只使正對光源的那「一個」感光裝置產生的效應最明顯。(如圖一)



圖一

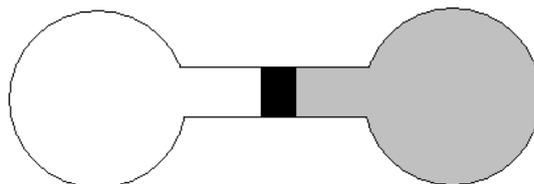
(二) 改良後：我們希望能讓特定方向的光線只照射其中「一個」特定的點，並且讓周圍的感光裝置所受的影響降到最低，所以我們設計具有吸收光線作用的凹槽，以達成此效果。(如圖二)



圖二

二、 設計基本驅動裝置的構造

我們需要一個基本機制，使光源照射時會有變化，無光源時便回復成原本的狀態(如圖三)。



圖三

此為一個密閉系統，灰色部分為照光即莫耳數增加或加熱即體積增加的氣體，中間黑色部分為活塞。氣體照光或加熱後膨脹，推動中間的活塞，使整個機制的左半部與右半部的重量不同。我們使用照光或加熱會分解且為可逆反應的氣體來測試。

三、 組裝

(一) 決定用珍珠豪卡板為基本架構，劃分為 12 等份並在需要的位置上裝上凹槽和凸透鏡、驅動裝置，且在中央設置一雙面鏡以反射光線。

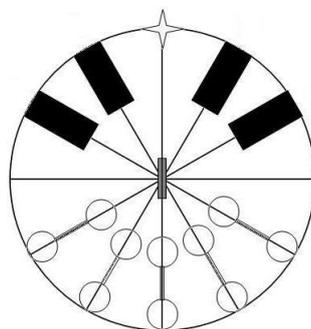
(二) 利用入射的光經由平面鏡反射至相對應的裝置，使氣體膨脹向外推動裝置內的活塞，改變力矩，進而轉動圓板。

(三) 驅動裝置：我們需要一種加熱或照光後總體積會增加的氣體，且熱源或光源消失後，會回復到原始狀態的可逆反應。在我們所學之中最常見且最容易製備的氣體為【 $N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$ 】之中的 NO_2 ，所以決定利用此平衡態。

(四) 以下我們為此裝置設計出二種驅動機制，分別應付：a.由暗到亮（清晨→天亮）和 b.由亮到亮，也就是光源持續緩慢的由東向西移動（天亮→傍晚）

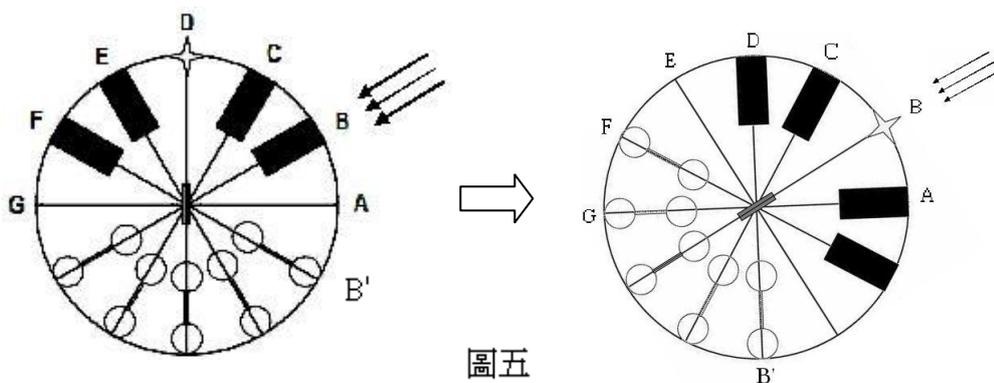
1. a.由暗到亮（清晨→天亮）：（以右邊為東）

我們希望此裝置在無光時，能回復到原本的狀態，使星形處（集能裝置）因重力的關係而朝上。（如圖四）



圖四

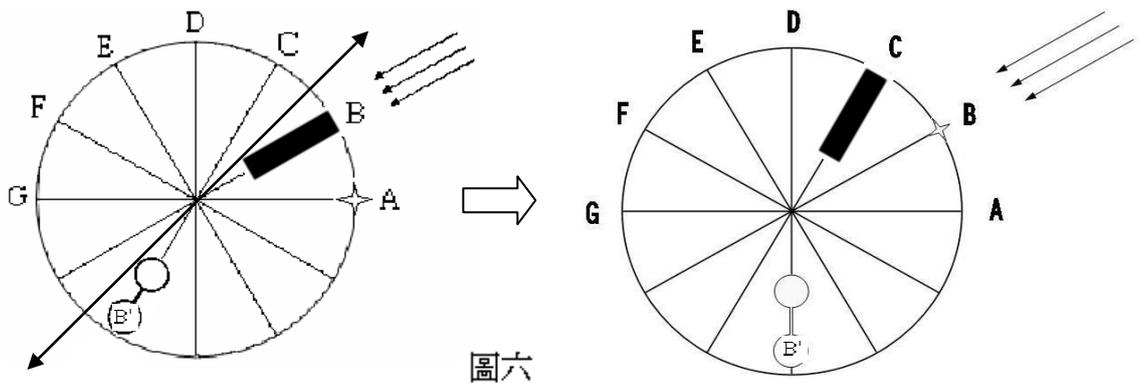
從清晨到第一次太陽出現時，星形處必須隨即指向太陽，因此設計一個對稱的裝置，以下簡稱「X 機制」。欲使從 B 射入的光線經由中央的鏡子反射至 B'，使 B' 位置的裝置機制受熱，推動活塞向外，讓星形處轉向光源。（如圖五）【以下 A~G 為絕對方位，B'~G' 為驅動裝置的代號】



圖五

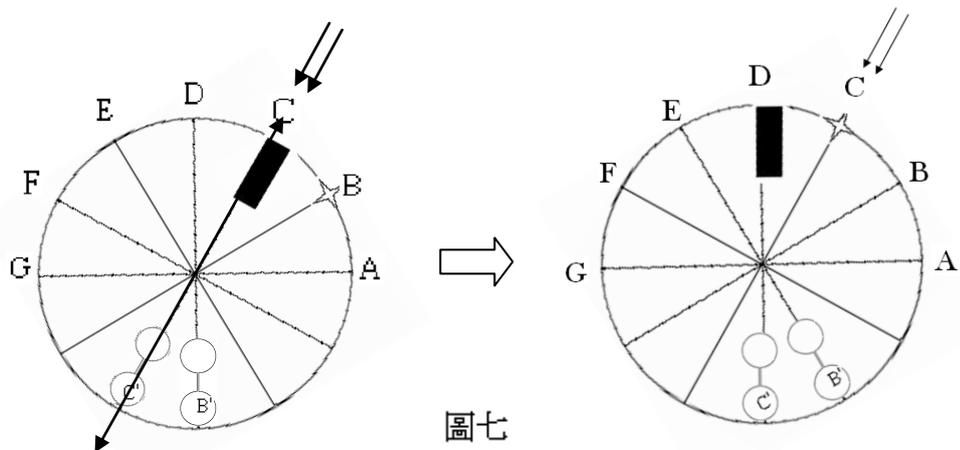
即使一整個上午都是陰天，陽光直到下午（E 或 F 處）才出現，也可以用另一面鏡子反射，使星形處指向光源（機制同圖五）。

2. b.由亮到亮，也就是光源持續緩慢的由東向西移動（天亮→傍晚）：
 假設從天亮到傍晚一直是晴天，星形處已經指著 A 的方向，太陽經兩小時移動到 B 處，這時欲使星形處對著 B，便無法使用上述的 X 機制。因為接下來光源會持續緩慢的由東向西移動，每次當星形處對準光源，下一次光線入射處必定會是星形左邊的凹槽，所以之後當光線每次都從星形左邊的同一個凹槽射入時，必須要反射至不同的地方，因此鏡子（以雙箭號表示）也需跟著旋轉（但鏡子轉速與圓盤不同），才能讓星形一直指向太陽，此機制我們簡稱為「Y 機制」。現在我們希望將從 B 處入射的光線射至 B'，使 B' 驅動裝置力矩增加而下降，造成整個圓盤逆時針轉三十度，星形順勢轉至 B 處。（如圖六）



圖六

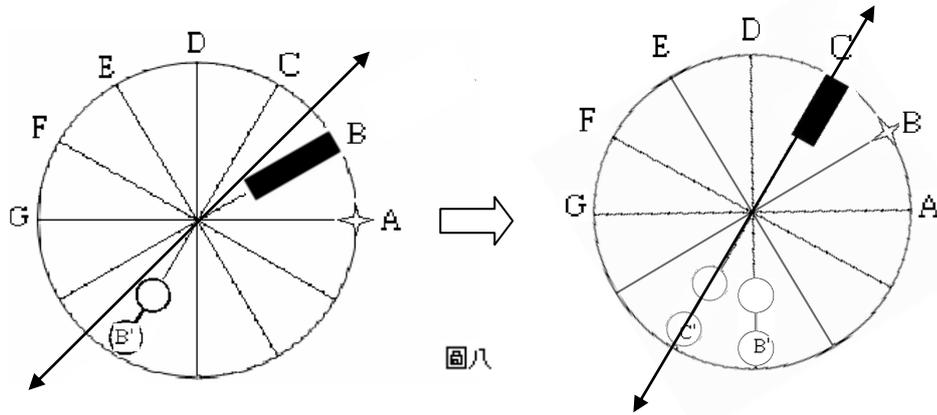
此時星形處已經指著 B 的方向，太陽再度經兩小時移動到 C 處，我們希望將從 C 處入射的光線射至 C'，使 C' 驅動裝置力矩增加而下降，造成整個圓盤逆時針轉三十度，星形轉至 C 處。（如圖七）



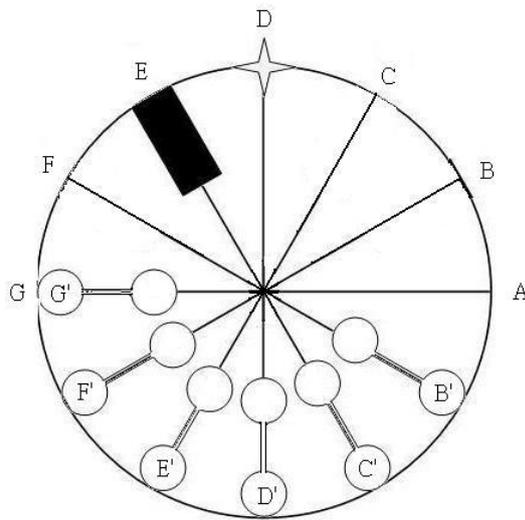
圖七

之後的情況以此類推。

由圖八（圖六的左圖和圖七的左圖）發現，當太陽仰角增加 30 度時，鏡子必須逆時針轉 15 度才能使從同一個凹槽入射的光線反射至對應的驅動裝置，不管從哪一個仰角入射同一個凹槽皆是如此，因此我們想設計出利用半徑 1：2 的齒輪組來使鏡子轉速和原盤轉速為 1：2 的裝置。



以下（如圖九）為啓動 Y 機制時，光線射入的特定凹槽（黑色長條）持續從 B 移動到 G（因為星形最多只能下降到正東方，所以凹槽最多從 B 開始），在全天皆為晴天的情況下，圓盤上至少在 B'~G' 的位置都必須有驅動裝置才能順利運轉。（在除了星型處和已設置加裝驅動裝置處以外的地方必須加裝和驅動裝置造成的力矩相同的重物，才能使原盤在無光時回復到原始狀態。）



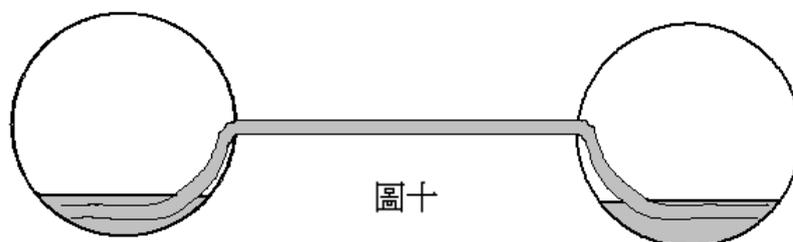
圖九

3. 由亮到暗（傍晚→夜晚）：

在無光時，由於靜力平衡，會回復到原始狀態，也就是星型朝上。

陸、 研究結果

- 一、 由於活塞移動的順暢與否受限於活塞與管壁之間的摩擦力，若將摩擦力降低則又會增加氣體逸散的可能性。實際測試後，發現驅動裝置的其中一邊加熱到 60 °C，活塞仍然沒有明顯的移動，所以我們決定設計新的驅動裝置（如圖十）。



此裝置是由兩個空心球和細塑膠軟管組成的密閉系統，球內的液體是普通的水，軟管中充滿水，球內氣體則是【 $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ 】的平衡態，利用裝置一端氣體受熱，擠壓該端球內的水移動至另一端，造成兩端的重量改變，進而使其裝上轉盤後造成整個轉盤力矩改變，而使整個轉盤轉動。

- 二、 我們將圖十的裝置左右各裝滿水，利用硝酸加入銅製備 NO_2 ，在球上鑽動洞用針筒將氣體打入，並將一端置於電子秤上，另一端置於探照燈前，中間用木板隔開，讓光透過凹槽照射乒乓球（如照片一）。



照片一

(一) 照光加熱裝置的其中一邊，並記錄水量改變的重量。

實驗一：不加凹槽直接照光

實驗二：實際上的進光量為凹槽的口徑，所以架設一個長寬高分別為 4 cm、4 cm、15 cm 的四角柱。結果如下：

時間 (min)	總增加量 (g)	
	實驗一 (不加凹槽)	實驗二 (加凹槽)
2	0.71	0.14
4	1.28	0.28
6	1.66	0.45
8	1.91	0.95
10	2.22	0.94
12	2.27	0.94
14	2.30	0.95
16	2.28	0.94

(二) 測試加上凸透鏡集光，是否會使效果增加。

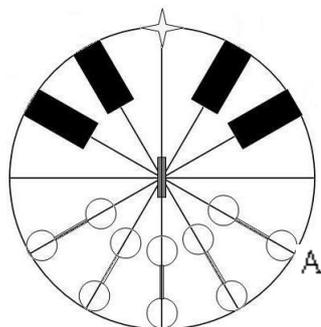
實驗三：僅加凹槽

實驗四：加凹槽並加裝一個半徑 2 cm、焦距 15 cm 的凸透鏡，置於驅動裝置前，使之焦點位於球內。結果如下：

時間 (min)	實驗三		實驗四	
	總增加量 (g) (未加凸透鏡)		總增加量 (g) (加上凸透鏡)	
	第一次	第二次	第一次	第二次
0.5	0.37	0.2	0.26	0.26
1	0.46	0.5	0.31	0.37
1.5	0.31	0.53	0.27	0.37
2	0.36	0.44	0.23	0.3
關燈 (切斷光源)				
2.5	-0.15	0.04	-0.13	0.01
3	-0.46	-0.26	-0.44	-0.32
3.5	-0.51	-0.5	-0.56	-0.56
4	-0.64	-0.65	-0.69	-0.73
4.5	-0.76	-0.77	-0.77	-0.87
5	-0.90	-0.85	-0.89	-0.95
5.5	-0.99	-0.91	-0.98	-1.01

三、 測試圓盤至少須多少合力矩才能克服軸承間的摩擦力並開始轉動。

假設光源從仰角 30 度射入，反射至 A 處的驅動裝置（如圖十一）。測試 A 處驅動裝置的內側球須移動多少重量到外側球，才能使整個轉盤轉動。我們用黏土分別黏在 A 處驅動裝置的內側和外側球的位置上，每次將內側的黏土移動一點點至外側處，發現至少須 0.7 克才會開始轉動，而且大約轉了 30 幾度就停止了，若要使之轉到底則須 2.18 克。



圖十一

柒、 討論

一、 由實驗一、實驗二發現，雖然改變的水量足以使整個轉盤轉動，但並不足以讓裝置的星形處確實指向光源，而且由實驗的數據顯示出此反應過程相當不穩定，測出來的重量偶爾會突增或突減甚至停止不動一段時間。

由實驗三、實驗四的數據發現，加上了凸透鏡，效果反而比沒加凸透鏡來得差，且實驗三、四的測試樣本在加熱一段時間後，將光源切斷，理論上應該要下降回原本的重量，但事實上卻比原本的重量還低許多，此外，此樣本最大的增加量也不到能使轉盤轉動的 0.7 克，而且重量的變化也如同實驗一、二，不甚穩定。

我們猜測可能是因為二氧化氮略溶於水關係而產生以下的化學變化



且驅動裝置經過三、四天後，連接的細塑膠軟管有明顯變黃，推測可能是硝酸或亞硝酸造成的影響。

因為以上這些原因，即使做出來的成品第一天能成功達到我們的要求，也無法保證在接下來的日子裡能夠穩定的運轉，更何況，此裝置的穩定性不夠高，所以第一次做出來的成品能成功運轉的機率也不高，再加上實驗所使用的氣體本身不易製備，因此，我們決定否決掉使用【 $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ 】的方法。

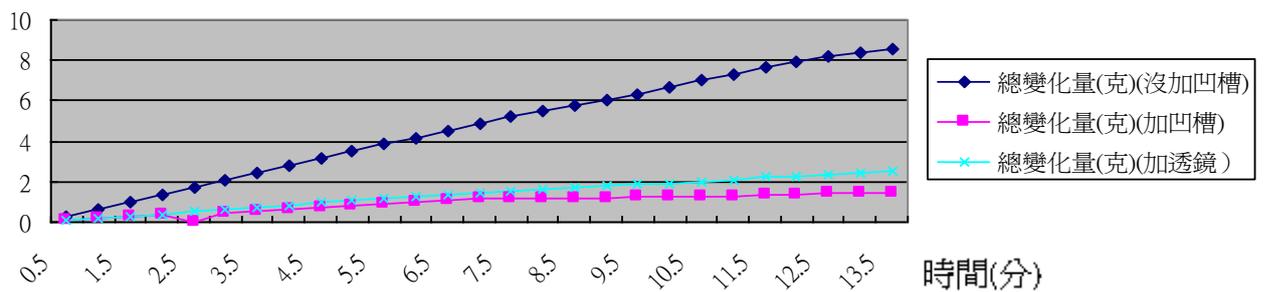
二、 能使轉盤轉動的 0.7 克，並無法確實轉動到正確的方向。因為往下轉的過程中，力臂會不斷縮短，所以變重的那一端無法轉動至最下端是必然的結果。如果一開始增加的重量就能突破足以使之轉動到最底的 2.18 克，或許就能解決這個問題。我們發現一般的有機溶劑的沸點幾乎都不高，也就是說，有機溶劑的蒸氣壓與相同溫度下的其它液體比起來會高得多，所以決定以沸點低的有機溶劑代替水和 N_2O_4 、 $2NO_2$ 的平衡態。

有機溶劑	沸點	蒸氣壓
乙醚	34.6°C	422 mm Hg 20°C
丙酮	56.2°C	180 mm Hg
正戊烷	36°C	500 mm Hg 25°C
甲基環戊烷	72°C	100 mm Hg 17.9°C
己烷	68.7°C	124 mm Hg
乙醇	78.4°C	44.3 mm Hg
二硫化碳	46.3°C	360 mm Hg 25°C

一般高中化學實驗室幾乎都沒有正戊烷和甲基環戊烷，且價格昂貴。二硫化碳為管制品。剩下的除了危險性高的乙醚之外，沸點最低的就只有丙酮了，但由於丙酮有極性，會溶解大部分的塑膠，使原本測試時所使用的乒乓球三分鐘之內就被溶解了，因此改用玻璃瓶代替乒乓球。丙酮的測試結果如下：

時間(分)	總變化量(克)(沒加凹槽)	總變化量(克)(加凹槽)	總變化量(克)(加透鏡)
0.5	0.3	0.07	0.08
1.0	0.66	0.15	0.19
1.5	0.99	0.24	0.29
2.0	1.38	0.32	0.40
2.5	1.74	0.40	0.50
3.0	2.07	0.47	0.63
3.5	2.45	0.57	0.74
4.0	2.77	0.66	0.85
4.5	3.16	0.75	0.95
5.0	3.50	0.80	1.05
5.5	3.85	0.91	1.19
6.0	4.16	1.01	1.30
6.5	4.53	1.08	1.37
7.0	4.90	1.14	1.44
7.5	5.20	1.17	1.53
8.0	5.53	1.17	1.61

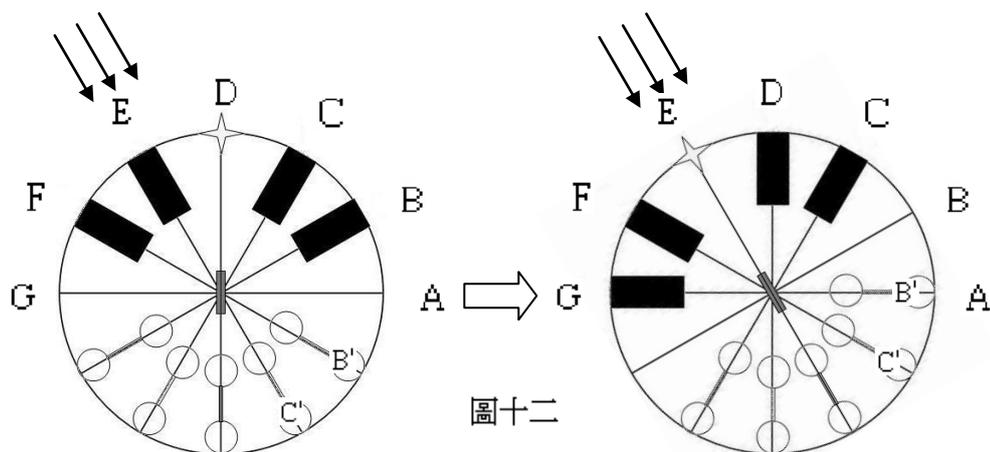
8.5	5.79	1.18	1.70
9.0	6.00	1.19	1.76
9.5	6.35	1.23	1.86
10.0	6.68	1.24	1.91
10.5	7.01	1.27	1.99
11.0	7.32	1.30	2.10
11.5	7.64	1.33	2.21
12.0	7.94	1.38	2.27
12.5	8.21	1.45	2.36
13.0	8.41	1.45	2.44
13.5	8.58	1.43	2.49
切斷光源			
14.0	丙酮已全流至另一端	1.37	2.49
14.5		1.27	2.48
15.0		1.17	2.47
15.5		1.05	2.45
16.0		0.97	2.37
：			
：			
36.0	2.68	-0.08	0.45



與 NO₂ 相比，有機溶劑的效果較為顯著，且增加的幅度也穩定得多，所以我們決定朝有機溶劑的方向繼續研究。

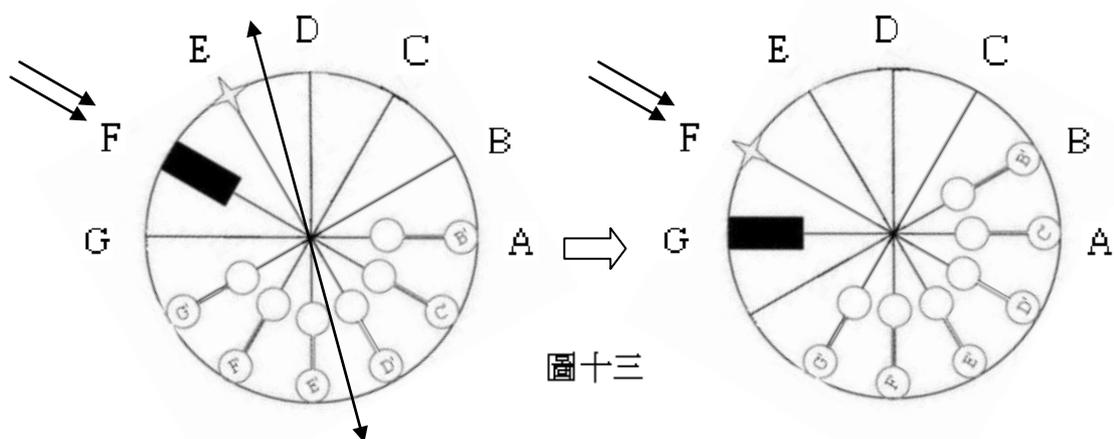
最後為了使受熱的一端效應明顯，我們將受熱端塗上黑色顏料。非受熱端不能被加熱，所以塗上白色顏料，以增加兩端的溫度差。

三、 裝設後：由於實際天氣不一定整天都是晴天，所以要考慮各種可能出現陰天的狀況。舉例：假如太陽由 A 出現，由 X 機制旋轉至 A，經兩小時後太陽移動至 B，星形由 Y 機制轉至 B。此時雲層增厚遮住了陽光，圓盤因靜力平衡而使星形朝上。假設太陽再經六小時從西邊仰角 60 度處出現，則再由 X 機制旋轉至 E。(如圖十一)



圖十二

再經兩個小時太陽移動至 F，啓動 Y 機制使入射光反射至 F'，星型轉向 F。(如圖十二)



圖十三

四、 考慮 X 機制與 Y 機制的交互作用：當光源突然出現時（清晨→天亮）X 機制會帶動 Y 機制，但 Y 機制不會影響 X 機制，因為 Y 機制的凹槽只有一個，且和光源的方向不同。當光源持續移動時（天亮→傍晚），Y 機制會牽動 X 機制，但 X 機制也會接受到光線並干擾 Y 機制，我們希望此時 Y 機制的液體變化量能大於 X 機制的液體變化量，使之受 X 機制干擾的程度降低，所以我們分別調配 X、Y 機制中的驅動裝置的液體重，使 Y 機制能移動的液體量最大值大於 X 機制，如此便能達到此效果。

捌、 結論

一、 使用沸點低的有機溶劑反應較單純且穩定，在裝設驅動裝置時也比較方便，可以明確的定量且拆裝方便。改用透明玻璃瓶在初步測試時較易觀察瓶內細管是否保持在液面下，比透明度低的乒乓球更容易掌握整個實驗的精確性。

二、 【一天的流程為：清晨→天亮→傍晚→夜晚】（以右邊為東）

（一）清晨→天亮：利用 X 機制啟動，原理同伍－三－（四）－ 1。

（二）天亮→傍晚：X 機制啟動後，利用 Y 機制繼續移動，原理同伍－三－（四）－ 2。

（三）傍晚→夜晚：無光時，裝置回復到原本的狀態，使星形處因重力的關係而朝上。

三、 即使中途遇到了陰天，整個裝置還是能夠正常運轉，原理同 陸－二 遇到陰天即相當於在一個持續晴朗的日子裡黑夜提早到來，由陰轉晴即代表由黑夜至天亮。

四、 未來努力方向：

（一）希望未來能找到更適合的有機溶劑使整個效果更好。

（二）希望此裝置能結合太陽爐或太陽能板，以提高收集能量的效果。

玖、 參考資料及其他

高中物理第二冊第十一章 分子動力論

高中物理第三冊第十四章 光學

網站：物質安全資料表

【評語】 040804

本作品在轉輪上配置數組連通瓶，當陽光照射到特定連通瓶時，瓶壓的增加會壓迫液體流到另一端，這將改變轉輪重心，而能使輪指向陽光。本作品具初步成功的機構，但仍有些因素需要考慮，整體上研究動力充足，具團隊研發之精神。