

投稿類別：自然科學類

篇名：

你要光還是熱？克魯克斯輻射儀旋轉因素之探討

作者：

黃鈺婷。花蓮縣立自強國民中學。九年一班。

王宇森。花蓮縣立自強國民中學。九年七班。

指導老師：

紀博三老師

## 壹●前言

### 一、研究動機

有天，我們在實驗室裡找到很特別的實驗裝置，將它放在陽光底下竟然會開始快速轉動，向老師詢問後才知道，原來它是「克魯克斯輻射儀」(Crookes radiometer)，是科學家威廉·克魯克斯(William Crookes, 1832-1919)發明，用來測量輻射能的儀器。我們感到很好奇，是甚麼原因，讓輻射儀的葉片轉動？進一步搜尋資料之後發現，網路上的說法眾說紛紜，莫衷一是。於是，我們決定著手實驗與研究，想要找出真正讓輻射儀轉動的原因。

### 二、研究目的

- (一)探討克魯克斯輻射儀旋轉的原因。
- (二)探討克魯克斯輻射儀在各種環境條件下的轉速。

### 三、文獻探討

#### (一)克魯克斯輻射儀的發明

克魯克斯輻射儀(Crookes Radiometer)又名光能輻射儀，是英國物理學家、化學家克魯克斯(William Crookes, 1832-1919)於1875年所發明。其中是由四片極輕的葉片，葉片一面塗黑，一面銀白，置於尖針上，以減少扇葉轉動所受之阻力。

(如圖 1)



(圖 1)克魯克斯輻射儀

#### (二)克魯克斯輻射儀的轉動原理

(「克魯克斯輻射儀」以下皆簡稱為「輻射儀」)

1.光壓：威廉·克魯克斯在1878年發明此裝置時，提出輻射儀的運作是因為光線的壓力所造成的。當光線照射到輻射儀的葉片上時，光子撞擊葉片產生壓力，進而推動輻射儀的葉片產生轉動。

2.熱能：輻射儀內葉片的黑色面，吸收了輻射熱能使溫度升高，造成附近氣體分子平均動能升高，而白色面則反射輻射能，溫度不變，附近氣體分子平均動能不變；又當氣體分子由平面完全彈性碰撞時，其動量變化為2倍入射動量，故由黑面端反彈的分子，其動量變化大於白面端，即黑面端受力較白面端大，致使葉片順時針旋轉，當不再接受輻射熱而逐漸冷卻時，葉片則反向旋轉。

## 貳●正文

### 一、研究架構：



### 二、研究方法與結果：

我們將輻射儀編號，1、2、3 號和 4、5、6 號的葉片黑白面相反，所以我們會將結果分成正向輻射儀、反向輻射儀兩部分來討論。且我們會在以光為操作變因的實驗中，尋找可使輻射儀產生旋轉的變因，增加連續光照五分鐘的實驗，以利比較光照時間長短對輻射儀轉速的影響。

#### 研究一：讓輻射儀轉動的因素是「光」還是「熱」？

我們的想法：觀察輻射儀在太陽底下的情形，發現它的葉片轉得很快。蒐集文獻後，發現旋轉的因素可能是「光」或「熱」，於是我們設計了幾個初步的實驗，想找出解答。

#### 實驗 1、不同的光對輻射儀轉速的影響

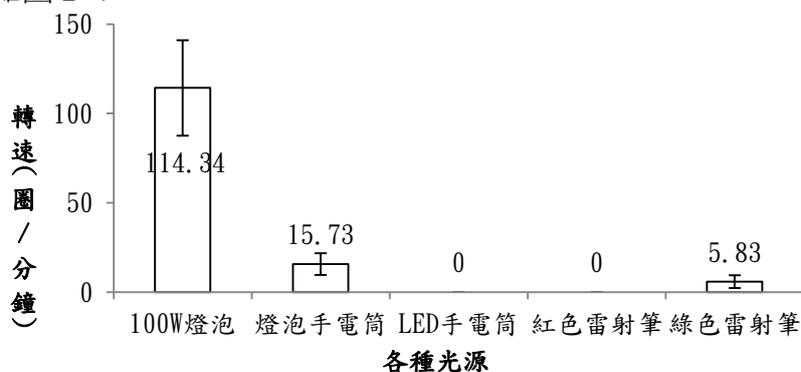
##### (一)步驟

將光源與輻射儀的距離設為 10cm，葉片轉動時以手機攝影，之後將影片放慢以計算圈數。

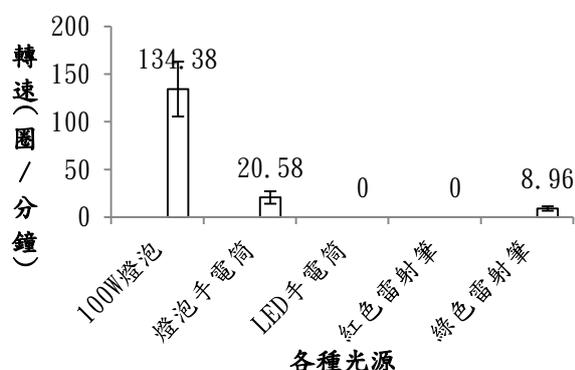
##### (二)結果

測量不同的光對輻射儀轉速的影響，並且分別將正/反向輻射儀結果分開呈現。所謂的正向輻射儀是指：黑色面推動白色面是以順時針方向旋轉；而反向輻射儀是指黑色面推動白色面是以逆時針方向旋轉。

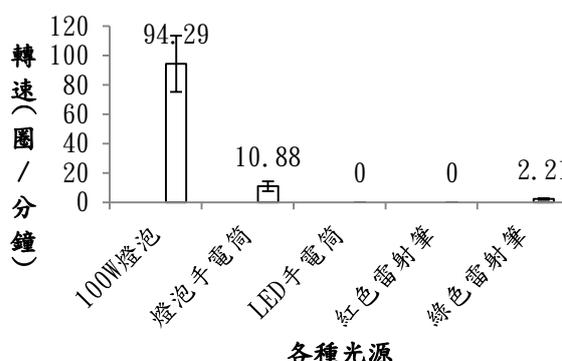
實驗結果如圖 2~4：



(圖 2)不同的光對輻射儀轉速的影響



(圖 3)不同的光對正向輻射儀轉速的影響



(圖 4)不同的光對反向輻射儀轉速的影響

結果說明：

- 1.以 100W 燈泡照射輻射儀時，轉速最快。
- 2.以 LED 手電筒和紅色雷射筆照射輻射儀時，無法使輻射儀葉片產生轉動。
- 3.正向輻射儀與反向輻射儀都會受到 100W 燈泡手電筒與綠色雷射筆所驅動，也都不會受到 LED 手電筒、紅色雷射指示筆所驅動。而正向輻射儀的轉速是明顯快於反向輻射儀。

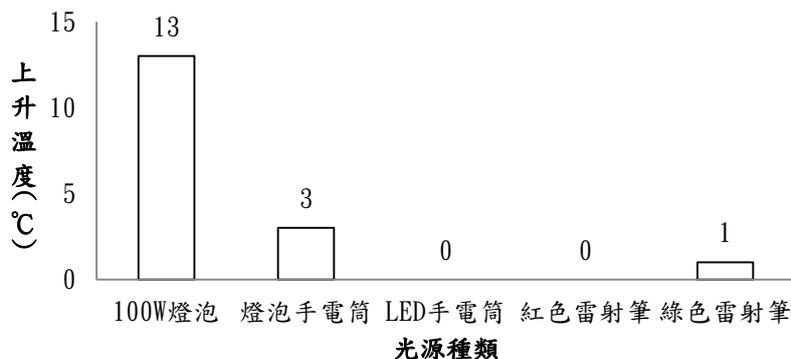
## 實驗 2、利用實驗 1 的五種光源照射溫度計，觀察溫度變化

### (一)步驟

將光源與溫度計距離定為 10cm，並以光源照射溫度計的酒精球，三十分鐘後觀察溫度變化

### (二)結果

以實驗 1 的五種光源照射溫度計時，實驗結果如圖 5：



(圖 5)五種光源照射溫度計 30 分鐘後上升溫度

結果說明：

- 1.用 100W 燈泡照溫度計 30 分鐘，溫度上升最多。
- 2.用 LED 手電筒和紅色雷射筆照射溫度計 30 分鐘，溫度皆不會上升
- 3.上升溫度：100W 燈泡>燈泡手電筒>綠色雷射筆>LED 手電筒、紅色雷射筆。  
會使輻射儀轉動的光源，都能讓溫度計上升，且使溫度計溫度上升多者，輻射儀轉速越快；相反地，不能使輻射儀轉動的光源溫度較低，都不能讓溫度計上升。  
因此，從上述實驗得知，輻射儀轉動的主要原因是「熱」。

### 研究二：熱對輻射儀轉速的影響？

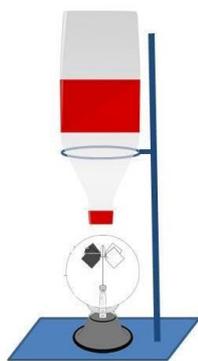
我們的想法：我們已經確定輻射儀是因為「熱」而轉動了，於是我們想進一步探討，熱源的距離、強弱及溫度對輻射儀轉速的影響。

#### 實驗 3-1、不同溫度的熱水對輻射儀轉速的影響

##### (一)步驟

將輻射儀放入寶特瓶下方，打開出水孔後以手機拍攝並計時 10 秒鐘，再將影片放

慢以計算圈數



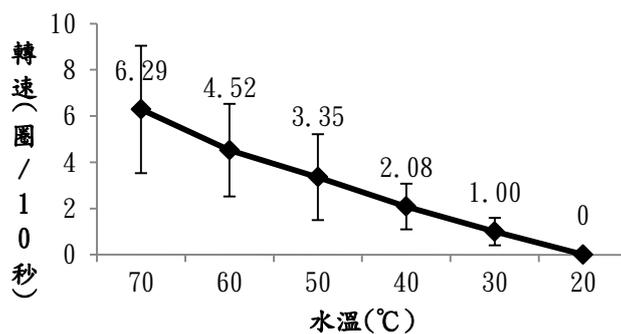
(圖 6)不同溫度的水對於葉片轉速的影響實驗示意圖



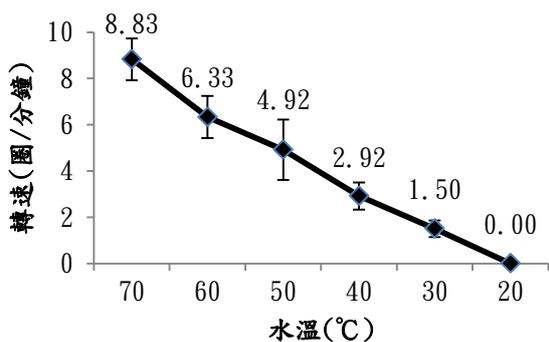
(圖 7)「熱水是否會造成輻射儀轉動？」之實驗狀況

(二)結果

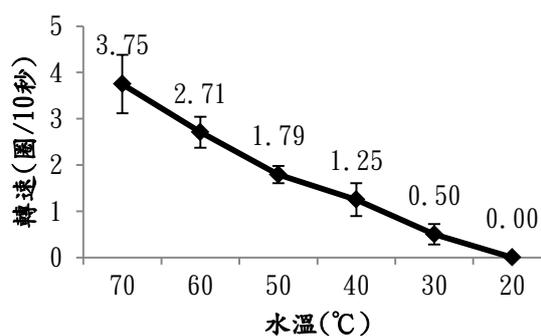
測量不同的水溫對輻射儀轉速的影響，並且分別將正/反向葉片分開呈現。實驗結果如圖 8~10：



(圖 8)不同溫度的水對輻射儀轉速的影響



(左)(圖 9) 不同溫度的水對正向輻射儀轉速的影響



(右)(圖 10) 不同溫度的水對反向輻射儀轉速的影響

結果說明：

- 1.在輻射儀上倒上不同水溫的水，70°C時轉速最快。
- 2.在輻射儀上倒下不同水溫的水，20°C時轉速為 0。
- 3.不同水溫的水對輻射儀轉速的大小比較：70°C>60°C>50°C>40°C>30°C>20°C
- 4.正向輻射儀與反向輻射儀都會受到溫度 30°C(含)以上的熱水所驅動。而正向輻射儀的轉速是明顯快於反向輻射儀。

### 實驗 3-2、不同溫度冷水對輻射儀轉速影響

從上述實驗中，我們發現澆淋溫度約達 25°C 的水可使輻射儀轉動。

熱水能讓輻射儀轉動是因為「熱」還是「溫差」？「冷」能使輻射儀轉動嗎？

因此我們利用冰塊調整水溫，想了解冷水是否也會使輻射儀發生轉動。

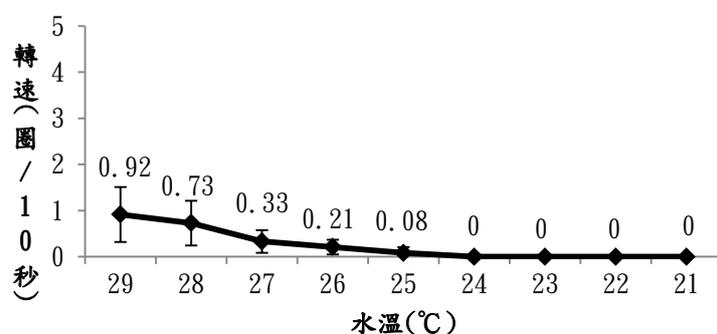
我們在室溫 23°C 的環境下操作。

(一)步驟

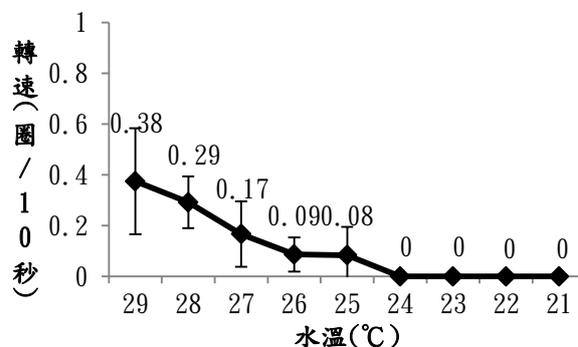
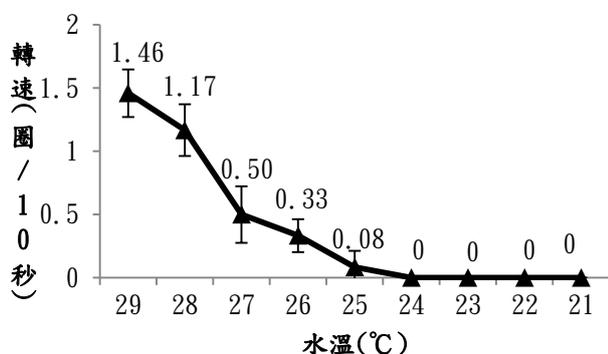
利用冷水、冰塊調出低於室溫的水溫，將輻射儀放入寶特瓶下方，打開出水孔後以手機拍攝並計時 10 秒鐘，再將影片放慢以計算圈數。

(二)結果

測量不同的水溫對輻射儀轉速的影響，並且分別將正/反向輻射儀分開呈現。實驗結果如下圖 11~13：



(圖 11)不同溫度冷水對輻射儀轉速影響



(圖 12)不同溫度冷水對正向輻射儀轉速影響

(圖 13)不同溫度冷水對反向輻射儀轉速影響

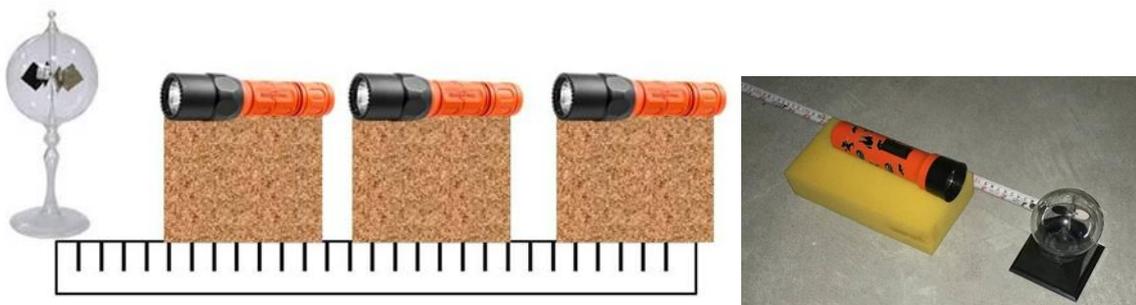
結果說明：水溫只需低於室溫 1°C，而正向輻射儀轉速明顯快於反向輻射儀。但我們發現澆淋冷水時，輻射儀會呈現倒轉的現象。

### 實驗 4、光照的距離對於輻射儀轉速的影響

我們調整光源與輻射儀的距離，觀察其是否會造成輻射儀的轉動。示意圖如圖 14、15

(一)步驟

將光源與輻射儀的距離設為 10cm、20cm、30cm，葉片轉動時以手機攝影，之後將影片放慢以計算圈數。



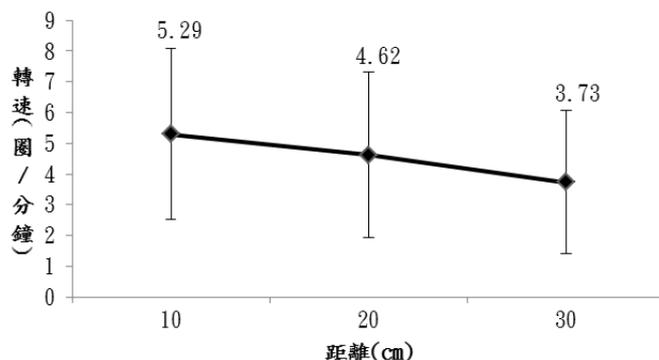
(左)(圖 14)不同距離的光對輻射儀轉速的影響—實驗裝置示意圖

(右)(圖 15)不同距離的光對輻射儀轉速的影響—實驗裝置照片

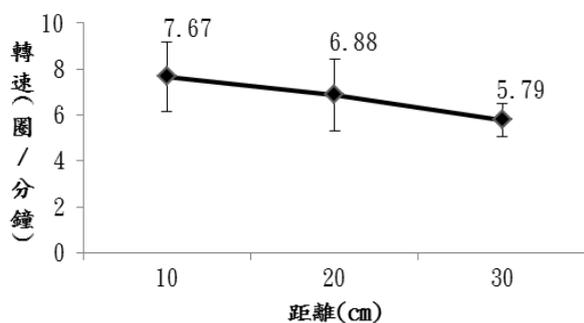
(二)結果

測量綠色雷射筆、100W 燈泡在不同距離對輻射儀轉速的影響，並且分別將正/反向輻射儀分開呈現。實驗結果分別如圖 16~19、20~23。

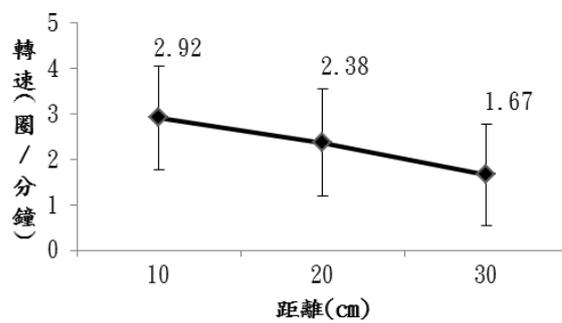
1.綠色雷射筆：



(圖 16)綠色雷射筆在不同距離下對於輻射儀轉速的影響

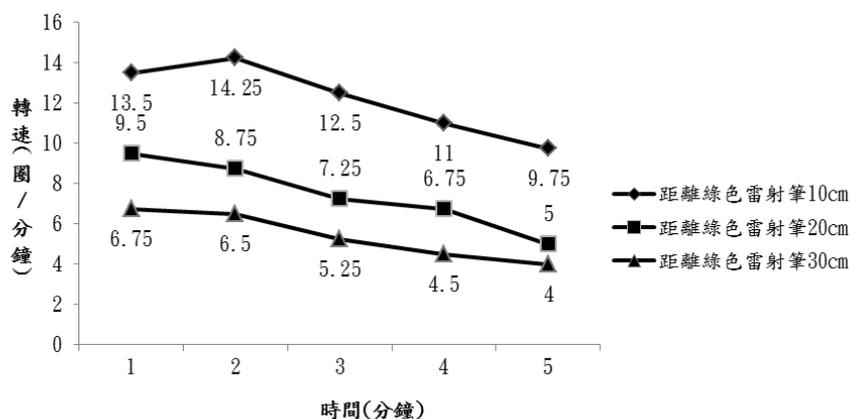


(左)(圖 17)綠色雷射筆在不同距離下對於正向輻射儀轉速的影響



(右)(圖 18)綠色雷射筆在不同距離下對於反向輻射儀轉速的影響

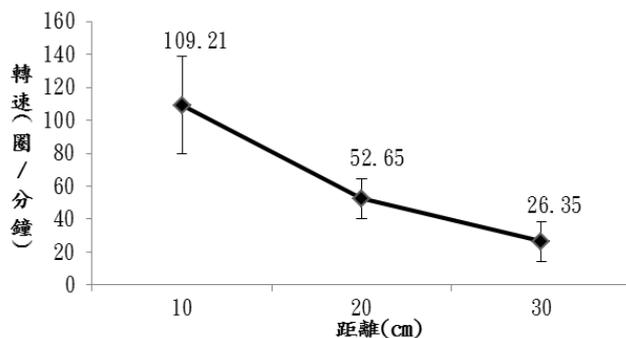
你要光還是熱？克魯克斯輻射儀旋轉因素之探討



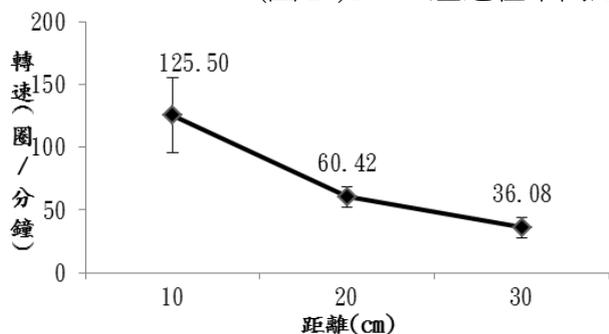
(圖 19)綠色雷射筆距離 10cm、20cm、30cm 處連續照射 5 分鐘時，每分鐘轉速之關係圖結果說明：

- 1.以綠色雷射筆照射輻射儀，距離為 10cm 時轉速最快。
- 2.以綠色雷射筆照射輻射儀，距離為 30cm 時轉速最慢。
- 3.綠色雷射筆在不同距離下對於輻射儀之轉速比較轉速：10cm>20cm>30cm。
- 3.正向輻射儀及反向輻射儀都會受綠色雷射筆在不同距離照射下所驅動。而正向輻射儀的轉速明顯快於反向輻射儀的轉速。
- 4.連續照射五分鐘時，距離 10cm 的轉速在第 2 分鐘上升、第三分鐘下降，距離 20cm 及 30cm 的轉速在第 2 分鐘開始下降，五分鐘內轉速的下降量依序為 20cm>30cm>10cm。

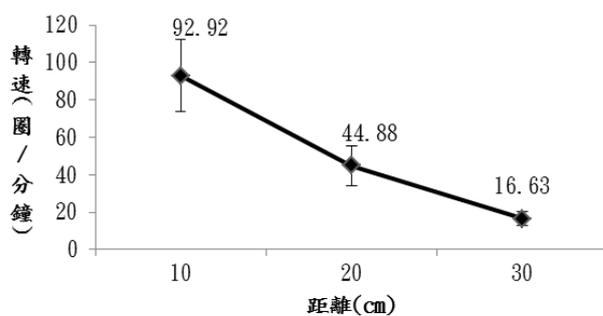
2.100W 燈泡：



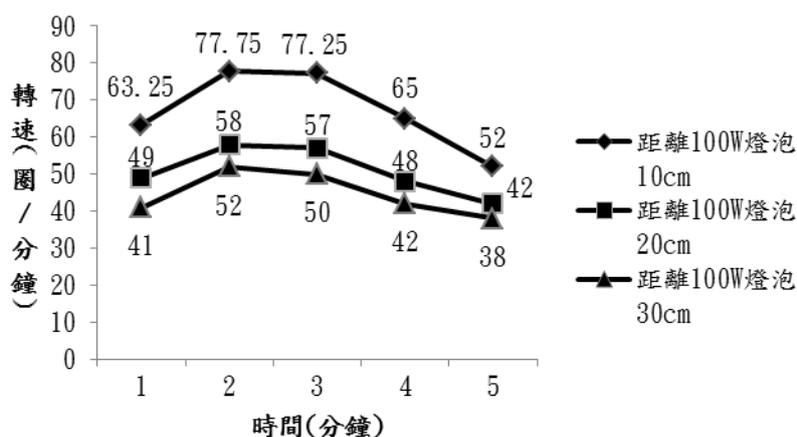
(圖 20)100W 燈泡在不同距離下對輻射儀轉速的影響



(左)(圖 21)100W 燈泡在不同距離下對正向輻射儀轉速的影響



(右)(圖 22)100W 燈泡在不同距離下對反向輻射儀轉速的影響



(圖 23)100W 燈泡距離輻射儀 10cm、20cm、30cm 處連續照射 5 分鐘時，每分鐘轉速之關係圖結果說明：

- 1.以 100W 燈泡照射輻射儀，距離為 10cm 時轉速最快。
- 2.以 100W 燈泡照射輻射儀，距離為 30cm 時轉速最慢。
- 3.100W 燈泡在不同距離下對於輻射儀之轉速比較：10cm>20cm>30cm。
- 4.正向輻射儀及反向輻射儀都會受 100W 燈泡在不同距離照射下所驅動。而正向輻射儀的轉速明顯快於反向輻射儀的轉速。
- 5.連續照射五分鐘時，三者皆在第 2 分鐘開始上升，第三分鐘開始下降，五分鐘內轉速的下降量依序為 30cm>20cm>10cm。

### 三、討論

- (一)凡 30 分鐘內能使溫度上升 1°C 的光源，都能使輻射計轉動；30 分鐘內無法使溫度上升 1°C 的光源，不能使輻射儀轉動。且無光環境下以熱風吹拂輻射儀、熱水澆淋輻射儀皆能使其轉動。所以推論：輻射儀轉動的主要因素，不是「光」，而是「熱」。
- (二)觀察不同水溫的水對輻射儀造成的影響，水溫越高，輻射儀轉速越快。可知熱水的溫度與轉速的關係是正相關的。淋水下去時，會對輻射儀造成一些震動，可能會影響轉速。但因為裝置都是固定的，使每個輻射儀造成的震動影響也一樣，故此變因產生的誤差不影響轉速的趨勢。
- (三)澆淋低於室溫的冷水時，水溫越低，輻射儀的轉速越快。與澆淋冷、熱水之結果，可知溫差與轉速的關係是正相關的。但與淋熱水不同的是：淋冷水會有倒轉的現象(黑色面在前、白色面在後的方向。我們推論：因為黑色面吸熱、散熱快；白色面吸熱、散熱慢。因此在澆淋冷水時，黑色面失去較多的熱量，使白色面溫度較高，因此會呈現倒轉的情形。

(表 1)各種光源照射溫度計 30 分鐘後上升溫度

各種光源	5mW 紅色雷射筆	50mW 綠色雷射筆	2.5W 燈泡手電筒	50W LED 手電筒	100W 燈泡
上升溫度(°C)	0.0	1.0	3.0	0.0	13.0
轉動與否	×	○	○	×	○

- (四)在可以使輻射儀葉片產生轉動的光源中，綠色雷射筆與燈泡手電筒的功率只有 50mW 與 2.5W，可是 28W 以下的白熾燈泡卻無法使輻射儀葉片產生轉動。照射時，燈泡手電筒光線是朝向四周發散，熱能易散失到環境中；而綠色雷射筆將光線集中於一點發射，可使熱能集中於輻射儀葉片上，使輻射儀產生轉動。所

以光源功率可以影響輻射儀轉速，但不可以作為輻射儀轉速的決定因素，仍須考慮到光源的光束發散度等。

(五)在實驗結果轉速較快的處理中持續照射時，使轉速下降的圈數較多、時間較短；在實驗結果轉速較慢的處理中持續照射時，使轉速下降的圈數較少、時間較長。此現象是因為持續的照射，在照射過程中，黑色面吸熱，白色面放熱。內部氣體分子溫度漸漸趨於平衡，使溫差逐漸減少，導致轉速減慢。在實驗結果轉速較快的處理中，因為提供的熱量較多，因此在內部氣體分子平衡後，溫度較高導致溫差較小，使轉速減慢；在實驗結果轉速較慢的處理中，因為提供的熱量較少，溫度較在實驗結果轉速較快的處理中低導致溫差較大，但溫差仍會逐漸降低，因此使轉速減慢，但降低的時間點較轉速較快的處理晚。

(六)其他

- 1.我們以六個不同的輻射儀輪流做實驗，並編號為 1、2、3、4、5、6 號。發現不同輻射儀的實驗結果會有些許差異，例如：1、2、3 號的轉速明顯大於 4、5、6 號的轉速，這是非常有趣的現象，目前無法得知對於轉速造成影響的原因，有待日後深入探討。
- 2.輻射儀內部有特定的壓力，我們將輻射儀打破，取出葉片，發現在一大氣壓下輻射儀並不會轉動。我們也試著控制內部的氣壓，但無法在一分鐘內維持穩定的氣壓，希望未來能調整裝置或向更高的學術單位商借精密儀器，解決此問題，以探討內部壓力對輻射儀轉速的影響。

## 參●結論

- 一、造成輻射儀轉動的主要因素為「溫差」，光源產生的溫度越高，與室溫溫差越大，輻射儀轉速越快；與室溫溫差越小，輻射儀轉速越慢。且無光環境下對輻射儀加熱，也能造成轉動。
- 二、熱水與冷水皆能使輻射儀轉動。倒熱水時，黑色面吸熱較白色面快，旋轉方向為白色面在前、黑色面在後；倒冷水時，黑色面散熱較白色面快，旋轉方向為黑色面在前、白色面在後。
- 三、光源距離會影響轉速。光源距離越近，溫度越高，輻射儀轉速越快；光源距離越遠，輻射儀轉速越慢。且光束發散度越大，不同距離的轉速間的趨勢越明顯。
- 四、長時間照射輻射儀時，轉速較快的處理使輻射儀轉速下降的圈數較多；轉速較慢的處理使輻射儀轉速下降的圈數較少

## 拾、參考資料

- 一、David Wolfe& Andres Larraza& and Alejandro Garcia(2016). A Horizontal Vane Radiometer: Experiment, Theory, and Simulation.*Phys. Fluids*28, 037103.
- 二、廖冠翔、陳光祥、蕭景文(2008)。光風車性質之相關研究。第 48 屆臺灣中小學科學展覽會高中組物理科科展作品。