

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 物理科

080115

焦點在這裡-凸透鏡焦距之研究

學校名稱：基隆市七堵區長興國民小學

作者： 小六 邱浩哲 小六 張西遴 小六 李鈺潔	指導老師： 莊旭瑋 林宣辰
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：凸透鏡、水凸透鏡、太陽能熱水器

# 焦點在這裡—凸透鏡焦距之研究

## 摘要

我們利用透明片、珍珠板、玻璃及水等材料製作出水凸透鏡，利用這些自製的水凸透鏡，我們針對凸透鏡折射原理、凸透鏡厚度、單凸及雙凸透鏡的比較、凸透鏡曲率、凸透鏡材質等相關問題來研究焦距的關係。根據實驗結果我們找到了凸透鏡曲面的法線，發現鏡片厚度、曲率、材質會影響凸透鏡的焦距，且單凸透鏡會是雙凸透鏡焦距的 2 倍。最後我們利用自製的水凸透鏡設計出太陽能熱水器，並發現我們的水凸透鏡太陽能熱水器吸收太陽能的效率是比目前市面上的太陽能熱水器要好。

## 壹、研究動機

之前五年級有上過一個單元“透鏡”當時就對凸透鏡的折射與聚焦產生好奇。在一次偶然的機會下，我看到自然老師將 3 片玻璃拼成三角形，在裡面加水就成了三稜鏡，並用雷射筆的光穿進去就形成了「折射」。這讓我突發奇想，想到了這樣的方法可不可以用在凸透鏡上，於是就和幾位有興趣的同學找老師一起討論，展開了這次的研究實驗。

## 貳、研究目的

瞭解影響凸透鏡焦點距離的原因。

## 參、研究問題

- 一、瞭解凸透鏡曲面與光折射的關係。
- 二、瞭解凸透鏡厚度對焦距的影響。
- 三、瞭解雙凸透鏡與單凸透鏡焦距的關係。
- 四、瞭解凸透鏡曲率半徑對焦距的影響。
- 五、瞭解凸透鏡材質對焦距的影響。
- 六、瞭解同一材質不同密度時對凸透鏡焦距的影響。
- 七、水凸透鏡對太陽能熱水器的應用。


## 肆、研究設備及器材

1. 自製凸透鏡（透明片、珍珠板、保麗龍膠）
2. 水、酒精、鹽水、糖水、醋、沙拉油
3. 筆、圓規、剪刀、美工刀、紙
4. 焦距測量軌道平台（木板、珍珠板、直尺）
5. 平行雷射光線組（綠光雷射筆）

## 伍、研究過程或方法

### 實驗一：瞭解凸透鏡曲面與光折射的關係。

#### 實驗方法：

- 一、利用珍珠板、透明片及玻璃片作成半徑 5 公分、高 3 公分的半圓柱狀 (  ) 平凸透鏡。並從圓心分別畫出與玻璃片垂直線夾角 10 度、15 度、20 度、30 度、40 度、45 度、50 度的半徑射線。
- 二、將半圓柱狀的平凸透鏡內加水，用綠光雷射以垂直於玻璃片的方

式射入平凸透鏡，並量出在平凸透鏡曲面上入射角（水中）10度、15度、20度、30度、40度、45度、50度時的折射角（空氣中）角度。（拍照列印後，量出角度）。

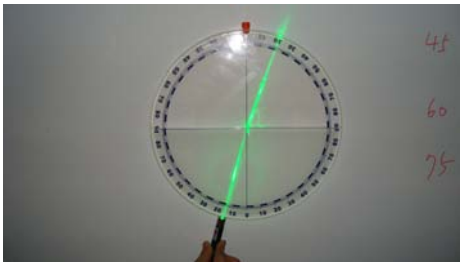
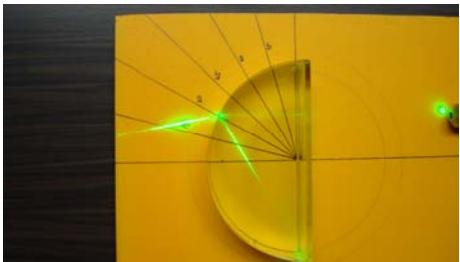
三、利用水的折射實驗教具及綠光雷射筆，分別量出綠光從水中進入空氣時，入射角（水中）10度、15度、20度、30度、40度、45度、50度時的折射角（空氣中）角度。

四、分析步驟二與步驟三的折射角角度。

**實驗結果：**

折 射 角 項 目	入射 10°	15°	20°	30°	40°	45°	50°
水平面	13°	20°	27°	44°	59°	70°	全反射
凸透鏡 曲面	12°	19°	28°	45°	58°	70°	全反射

(表一)

水折射實驗教具	水平凸透鏡曲面折射器材
	
測量水折射角	全反射



### 討論：

1. 根據折射原理，法線為垂直於水面的直線，而由圓心到圓周上某一點的射線會垂直於這一點的切線，所以我們猜想由圓心到圓周上某一點的射線會是這一點的法線。
2. 根據表一的實驗結果發現，凸透鏡曲面的折射角與水平面的折射角相差都在正負  $1^\circ$  以內，所以可以驗證我們推測凸透鏡曲面上某一點的法線為這點到圓心的直線是正確的。
3. 由凸透鏡曲面的折射實驗中，發現在鏡片中間入射角比較小，折射角也比較小；越接近透鏡邊緣的入射角較大，折射角也較大。入射角超過  $50^\circ$  時，就會產生全反射。

### 實驗二：瞭解凸透鏡厚度對於焦距的影響。

#### 實驗方法：

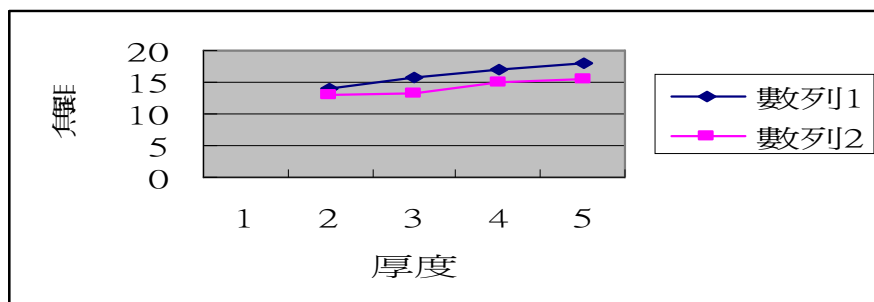
- 一、利用珍珠板、透明片及玻璃片作成半徑 5 公分、高 3 公分，但是中心厚度分別為 2 公分、3 公分、4 公分、5 公分的不同厚度平凸透鏡。
- 二、開始實驗，分別將製好厚度為 2 公分、3 公分、4 公分、5 公分的平凸透鏡加水放在焦距測量軌道平台上，將玻璃片對齊刻度 0

位置，開啟平行雷射光線組，並將焦距(數據-厚度/2)一一記錄下來。

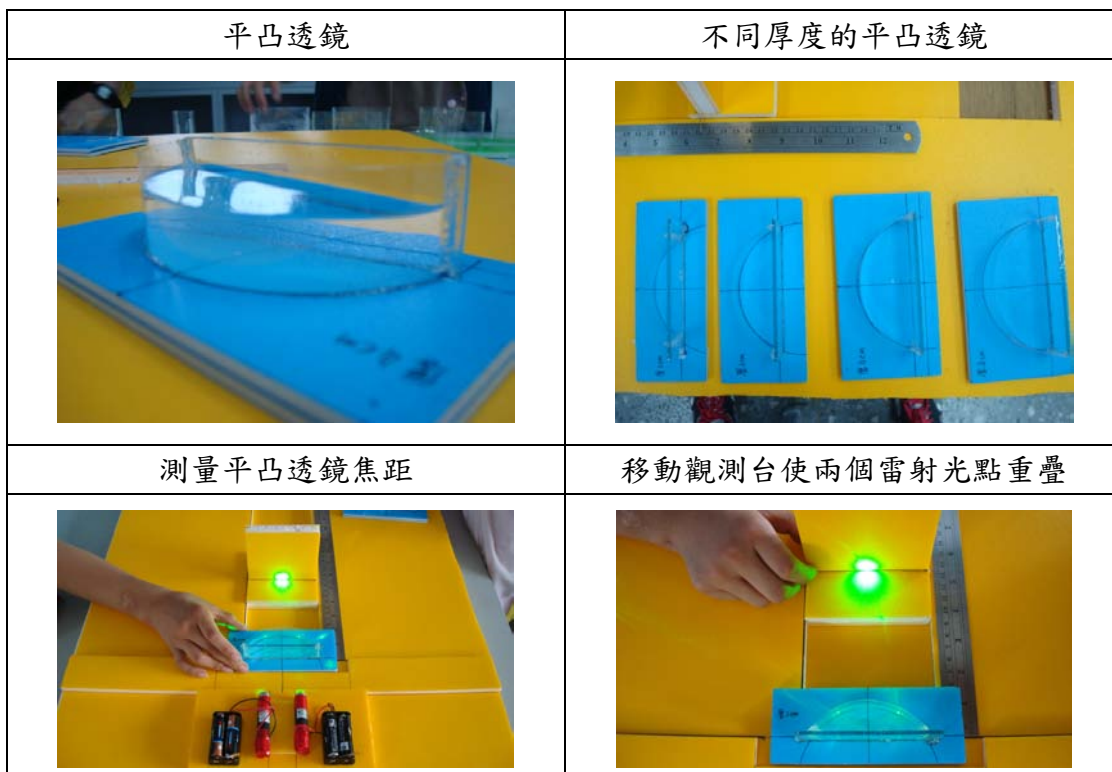
**實驗結果：**

中心厚度(公分)	2cm	3cm	4cm	5cm
原始數據	13.9	15.7	16.9	18
焦距(公分)	12.9	13.2	14.9	15.5

(表二)



(圖一)




## 討論：

1. 由表一及圖一的實驗結果可知：厚度越厚的平凸透鏡焦距會變大，但是不成正比。

## 實驗三：瞭解雙凸透鏡與單凸透鏡焦距的關係。

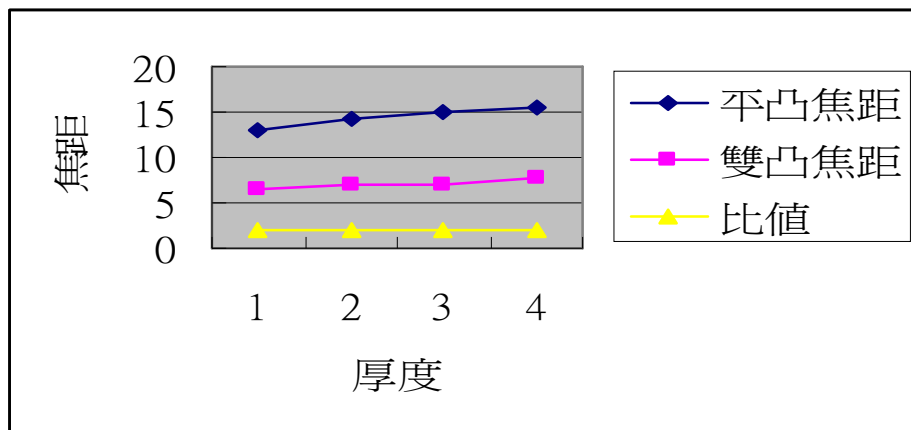
### 實驗方法：

- 一、利用珍珠板、透明片做成中心厚度分別為 2 公分、3 公分、4 公分、5 公分的雙凸透鏡 (  ) 模型。
- 二、分別將製好厚度為 2 公分、3 公分、4 公分、5 公分的雙凸透鏡加水放在焦距測量軌道平台上，開啟平行雷射線組，並將焦距(數據-厚度/2)一一記錄下來。
- 三、並與實驗一單凸透鏡的數據列表如下。

### 實驗結果：

中心厚度(公分)	2cm	3cm	4cm	5cm
單凸透鏡 焦距(公分)	12.9	14.2	14.9	15.5
雙凸透鏡 焦距(公分)	6.5	6.9	7.1	7.8
比值	1.98	2.06	2.1	1.99

(表三)



(圖二)



**討論：**

1. 由上述的實驗結果可知，單凸透鏡與雙凸透鏡的焦距比值都很接近 2，由此可證明單凸透鏡的焦距會是雙凸透鏡的 2 倍。
2. 不同厚度的雙凸透鏡，焦距較為一致。不像單凸透鏡焦距相差較大。所以接下來的實驗都使用誤差較小的雙凸透鏡。



## 實驗四：瞭解凸透鏡曲率半徑對焦距的影響。

### 實驗方法：

一、分別製作中心厚度為 3 公分，但半徑為 4 公分、5 公分、6 公分、7 公分、8 公分不同曲率半徑的雙凸透鏡。

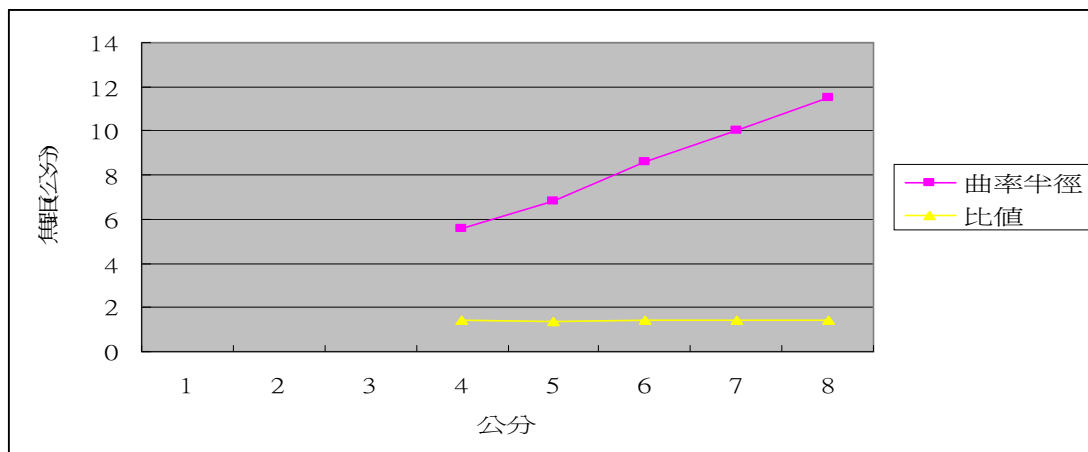
二、分別將製好半徑為 4 公分、5 公分、6 公分、7 公分、8 公分的雙凸透鏡加水放在焦距測量軌道平台上，開啟平行雷射線組，並將焦距一一記錄下來。

三、將焦點距離除以曲率半徑所得的比值紀錄下來，並完成下表。

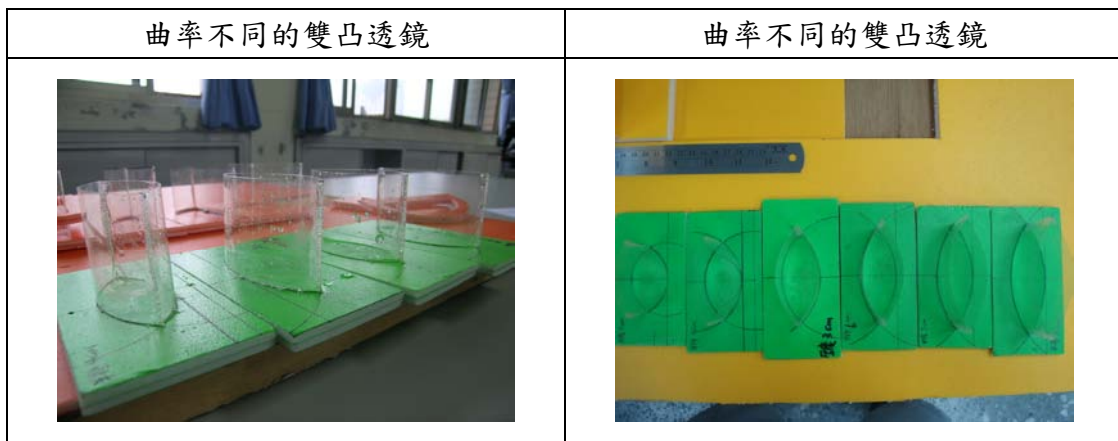
### 實驗結果：

水 (比重:1)					
曲率半徑	4 cm	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm
焦距	5.3 cm	7.2 cm	8 cm	10 cm	11.3cm
比值	1.33	1.44	1.37	1.42	1.41

(表四)



(圖三)



### 討論：

1. 從（表二）的實驗結果可知：曲率半徑越大，焦距就越長。
2. 從（圖二）可見焦距的落點約成為一條斜直線，表示“焦距和曲率半徑成正比”並且比值約為 1.4 正負 0.07。

### 實驗五：瞭解凸透鏡材質對焦距的影響。

#### 實驗方法：

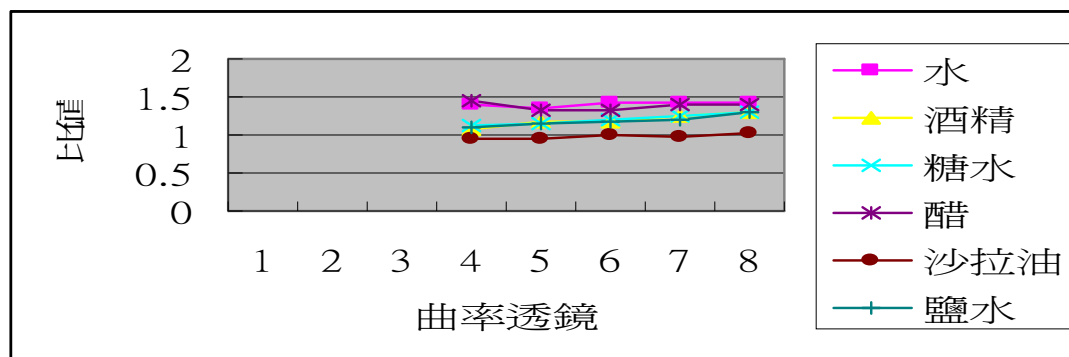
- 一、 利用天平測量出燒杯的重量(約 35g)。再分別倒入 100c. c 的水、糖水、酒精、醋、沙拉油和鹽水來測量重量（液體重+燒杯重），再減去燒杯重，得到 100c. c 的液體重。已知密度=重量 / 體積。所以各液體的密度為水=1、酒精=0.76、糖水=1.06(飽和溶液)、醋=0.93、沙拉油=0.92、鹽水=1.19(飽和溶液)。
- 二、 使用實驗三曲率半徑為 4~8 公分的雙凸透鏡，分別將水、酒精、糖水、醋、沙拉油和鹽水倒入透鏡放在焦距測量軌道平台上，開啟平行雷射線組，並將焦距一一記錄下來。
- 三、 分別將焦點距離除以曲率半徑所得的比值紀錄下來，並完成下

表(比值越大代表焦距越長)。

**實驗結果：**

凸透鏡曲率半徑		4cm	5cm	6cm	7cm	8cm
水 密度：1	焦距	5.3	7.2	8	10	11.3
	比值	1.33	1.44	1.37	1.42	1.41
酒精 密度：0.74	焦距	4.3	5.9	7.1	8.7	10.5
	比值	1.08	1.18	1.18	1.24	1.31
糖水 密度：1.06	焦距	4.5	5.8	7.2	8.8	10.3
	比值	1.12	1.16	1.2	1.26	1.29
醋 密度：0.93	焦距	5.8	6.6	7.9	9.8	11.2
	比值	1.45	1.32	1.32	1.4	1.4
沙拉油 密度：0.92	焦距	3.8	4.8	6.1	6.9	8.3
	比值	0.95	0.96	1.01	0.98	1.03
鹽水 密度：1.19	焦距	4.1	5.7	7.1	8.5	10.3
	比值	1.1	1.14	1.18	1.21	1.29



(表五)



(圖四)

材質	酒精	沙拉油	醋	水	糖水	鹽水
密度	0.74	0.92	0.93	1	1.06	1.19
平均 比值	1.19	0.98	1.37	1.39	1.2	1.18

(表六)

測量不同液體密度	觀察醋透鏡的焦距
	

### 討論：

1. 從表三的實驗結果可知：水的焦距最長（比值約為 1.39）依次、醋（比值約為 1.37）、糖水（比值約為 1.2）、酒精（比值約為 1.19）、鹽水（比值約為 1.18）、最短為沙拉油（比值約為 0.98），所以不同的透鏡材質會影響其焦距。
2. 從表五中分析，可得知鹽水的密度最大，比值不是最大；沙拉油密度為第三，比值卻最小。所以可知焦距的長短，與透鏡材質的密度無關。
3. 因為我們覺得透鏡的密度會影響焦距的長短，所以上網查了一些物體密度與折射率的關係，發現物體的折射率與物體密度無關。於是我們就想如果同一種物體，但是密度不同是否會影響焦距的長短，所以做了下一個實驗。

### 實驗六：瞭解同一材質不同密度時對凸透鏡焦距的影響。

#### 實驗方法：

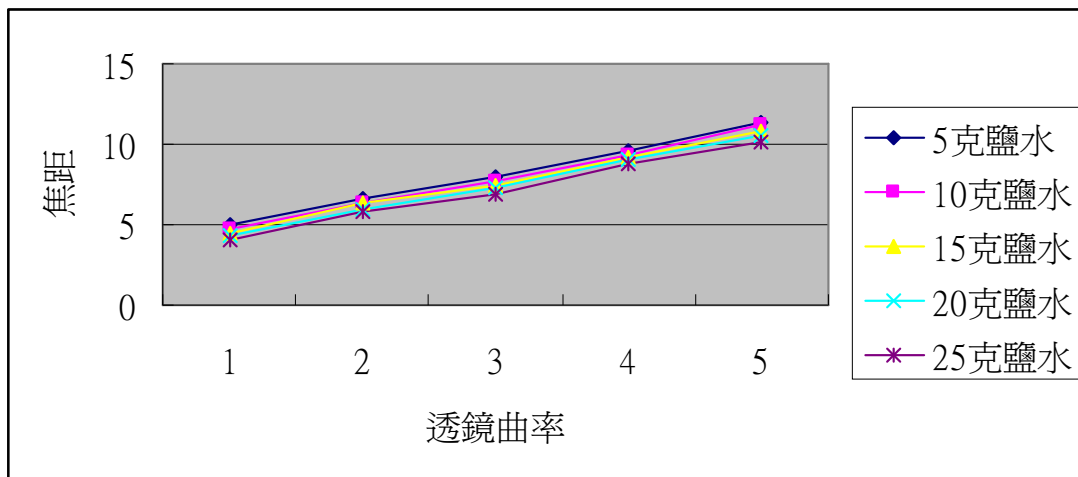
一、把 5 公克、10 公克、15 公克、20 公克、25 公克的鹽分別放在不同的燒杯裡，把水加到 100 毫升並且攪拌使其溶解，接著測量其密度分別為 5 公克鹽水(密度 1.03)、10 公克鹽水(密度 1.08)、15 公克鹽水(密度 1.12)、20 公克鹽水(密度 1.15)、25 公克鹽水(密度 1.18)。

二、使用實驗三曲率半徑為 4~8 公分的雙凸透鏡，分別將不同密度的鹽水倒入透鏡放在焦距測量軌道平台上，開啟平行雷射線組，並將焦距一一記錄下來。

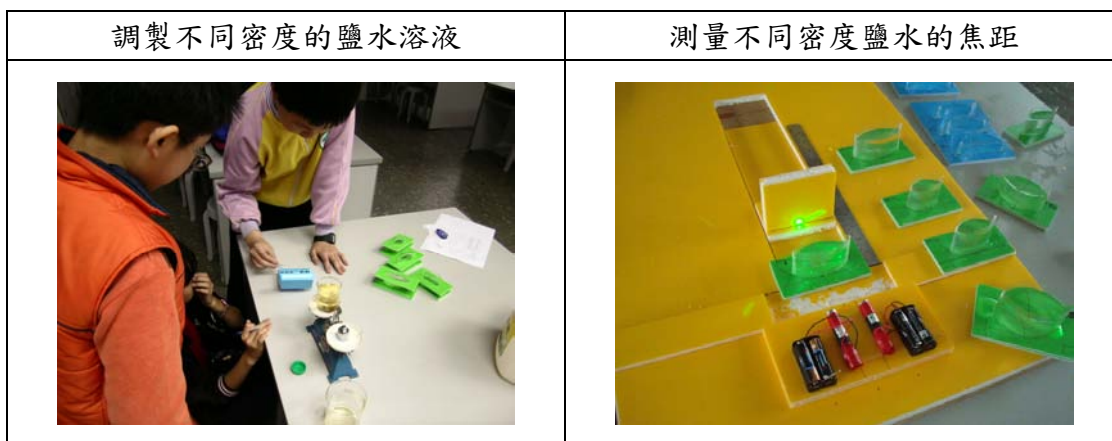
### 實驗結果：

鹽水溶液	4cm	5cm	6cm	7cm	8cm
5g(密度 1.03)	5	6.6	8	9.6	11.3
10g(密度 1.08)	4.7	6.4	7.7	9.3	11.2
15g(密度 1.12)	4.5	6.3	7.4	9.2	10.8
20g(密度 1.15)	4.3	6	7.3	9.1	10.6
25g(密度 1.18)	4.1	5.8	6.9	8.8	10.2
飽和溶液 (密度 1.19)	4.1	5.7	7.1	8.5	10.3

(表七)



(圖五)



**討論：**

1. 由表六及圖四可得知，鹽水溶液密度越大，會讓雙凸透鏡的焦距變短。
2. 當我們將鹽加到 30 克時，已經成為飽和溶液，所以我們只做到 25 克的鹽水溶液。

**實驗七：水凸透鏡對太陽能熱水器的應用。**

**實驗方法：**

- 一、上網查詢太陽能熱水器的構造，發現它是利用水流經鐵管吸收太陽熱能讓溫度升高後，將熱水儲存起來利用。

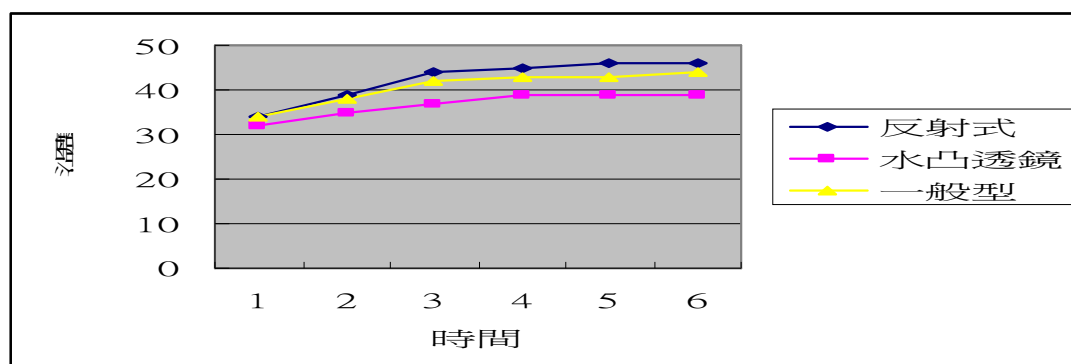
二、 取三支 23 公分相同的鐵管並漆成黑色，當作太陽能熱水器的加熱管。第一支鐵管在其下方架設一半徑 7 公分、長 29 公分、寬 10 公分的長方形反射鏡(利用錫箔紙當作鏡面)。第二支在鐵管上方架設曲率半徑 7 公分、長 29 公分的長型水凸透鏡。第三支鐵管則不加裝任何裝置。

三、 在三支鐵管上插入溫度計，面向陽光放置，每十分鐘觀察溫度計，並將溫度計錄下來。

### 實驗結果：

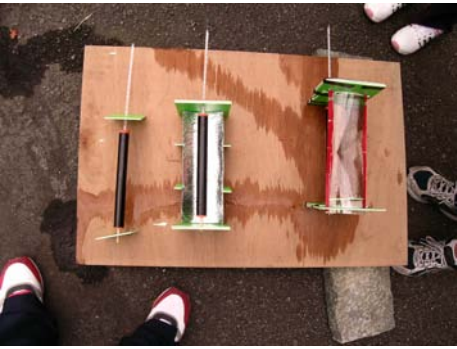

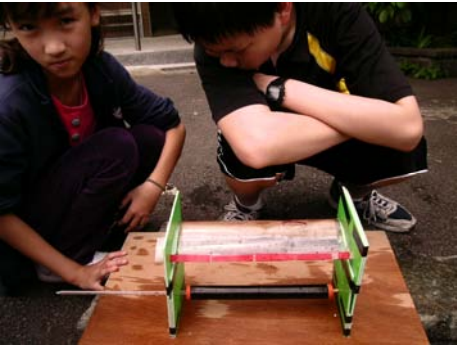

太陽能熱水管	初始溫度	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘	60 分鐘
反射型	28°C	34°C	39°C	44°C	45°C	46°C	46°C
水凸透鏡型	28°C	32°C	35°C	37°C	39°C	39°C	39°C
一般型	28°C	34°C	38°C	42°C	43°C	43°C	44°C

(表八)



(圖六)



三種形式太陽能熱水器	第一代水凸透鏡熱水器
	
觀察水凸透鏡太陽能熱水器	焦距因太陽移動而偏移
	

### 討論：

1. 根據實驗結果(表七)，反射式的水溫上升溫度最高，這也是目前市面上大部分太陽能熱水器所採用的方式。
2. 水凸透鏡式的前十分鐘溫度上升最快，因為能將光線聚焦在熱水管上，但是隨著太陽的移動位置，陽光就無法聚焦在熱水管上，所以接下來溫度就無法繼續上升，表現比無任何裝置的一般型還差。
3. 實驗結束後，我們測量水凸透鏡的水溫為  $30^{\circ}\text{C}$ ，比初始溫度要上升  $2^{\circ}\text{C}$ ，所以若能將水凸透鏡內的水與熱水管連結，讓水在進入儲熱統時可在水凸透鏡內持續吸熱，同時產生聚焦作用。
4. 根據上述的結果，我們想說如果我們結合反射式及水凸透鏡式的太陽能熱水器，效果會不會更好，於是便製作了第二代太陽能熱水



器。

## 第二代太陽能水凸透鏡熱水器

### 實驗方法：

- 一、 我們製作了結合水凸透鏡及反射式的太陽能熱水管。
- 二、 同時也發現反射式熱水管的黑色水管，並未在其反射鏡的焦距上，所以又修改了位置。
- 三、 將三型太陽能熱水管，於上午九點放置於陽光下，每一小時記錄其溫度變化。

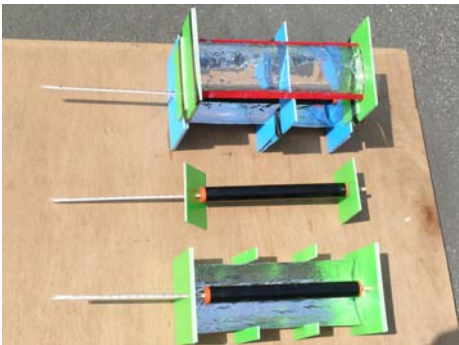


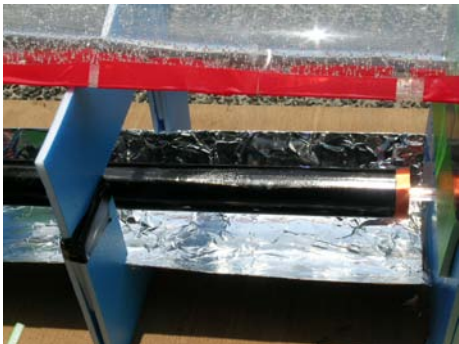
### 實驗結果：

太陽能熱水管	初始溫度 (9 點 AM)	1 小時 (10 點 AM)	2 小時 (11 點 AM)	3 小時 (12AM)	4 小時 (1 點 PM)
反射型	27°C	45°C	58°C	74°C	72°C
水凸透鏡型 (第二代)	27°C	34°C	42°C	56°C	55°C
一般型	27°C	38°C	48°C	57°C	54°C

(表九)

	算式	吸收熱能
反射式	$(72-27)*100*1=4500$	4500 卡
第二代	$(55-27)*100*1+(42-27)*700*1=13300$	13300 卡
一般型	$(54-27)*100*1=2700$	2700 卡

(表十)

改良後三種形式太陽能熱水器	第二代水凸透鏡熱水器
	
陽光聚焦於熱水管上	陽光聚焦於熱水管上
	

### 討論：

1. 反射式太陽能熱水器，因將其熱水管修正於其反射鏡的焦距上，所以溫度上升特別快，而且到達中午時溫度最高可達  $72^{\circ}\text{C}$ 。
2. 第二代水凸透鏡型太陽能熱水器溫度上升最慢，但是到中午時溫度卻和一般型相差不多，觀察發現早上因為太陽斜射，陽光被水凸透鏡支架擋住一部分，所以溫度不易上升，到中午後因為太陽由正上方直射，所以溫度上升速度較快。
3. 我們觀察水凸透鏡能將陽光聚焦在熱水管上，但是溫度上升表現卻無法如反射式的好，我們測量了水凸透鏡內的水，發現其溫到達  $42^{\circ}\text{C}$ ，表示陽光經過水時會被水吸收部份熱能。

4. 我們測量了水凸透鏡內的水量，約為熱水管內水量(100ml)的 7 倍。若計算三種熱水器吸收的熱量(公式為上升溫度\*水量\*比熱 1) 分別為反射式(4500 卡)、第二代水凸透鏡(2800+10500=13300 卡)、一般型(2700 卡)。可知第二代水凸透鏡雖然溫度上升不是最高，但對於吸收太陽能的效率卻是最好的。

## 陸、結論

- 一、根據實驗一的結果可知：『凸透鏡曲面上某一點的法線為這點到圓心的直線』。當平行光射入凸透鏡時，離鏡片中心越遠的光線折射角越大，所以才會造成光線聚焦。而且半圓形平凸透鏡的邊緣會因為造成全反射，光線無法射出，所以市面上找不到半圓形的平凸透鏡。
- 二、根據實驗一的結果可知：鏡片厚度會影響到焦距，而且『較厚的鏡片焦距較長』。所以購買凸透鏡時不要認為較大較厚，其放大倍率越高。
- 三、根據實驗二的結果可知道平凸透鏡的焦距約為雙凸透鏡焦距的 2 倍，而與我們預期的 2 倍相符。
- 四、根據實驗三的結果可知：『曲率半徑越大，焦距越長』，而且焦距和曲率半徑成正比。
- 五、從實驗四結果可知：不同的透鏡材質會影響其焦距。且焦距的長短和透鏡材質的密度無關，而是和材質的折射率有關。根據折射

定律，光由空氣進入介質後，在介質的行進速度越慢折射率越大。光經過“沙拉油”的凸透鏡其焦距最短，所以折射率最大，可以推論光在沙拉油中行進的速度最慢。

六、根據實驗五的結果可知：『同一種溶液其密度越大，焦距就越短。』

所以在同一種溶液中，密度越大折射率就越大，光的行進速度就越慢。

七、根據實驗三、實驗四的結果可推論：凸透鏡的焦距與曲率半徑的比值為一固定值，數學式為「 $\text{焦距}/\text{曲率半徑}=\text{常數}(k)$ 」，常數(K)值隨著透鏡的材質而有不同。

八、太陽能熱水器是利用吸收太陽能來加熱水的環保裝置，但這些太陽能熱水器大部分都在中南部使用，北部很少在使用，尤其在我們冬天常下雨的基隆，若能提升太陽能的吸收效能，達到使用效果，就能讓北部民眾接受。我們提出了水凸透鏡的太陽能熱水器的想法，確實能夠提高太陽能的吸收效率，但是要製成一大面的實用型太陽能熱水器，還有很多技術及實驗要驗證，但這可以做為未來發展的參考方向。

## 柒、參考書目

一、潘志輝（民 85）孩子的為什麼—地球科學，曉群出版社，P. 66 ~P. 67。

二、王蘭榮（民 80）十萬個為什麼？，輔新書局，P. 21~P. 23。

三、黃福坤 Demolab 物理教學示範實驗教室，

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/>

四、旺安太陽能熱水器 <http://www.wangaun.com>.

五、維基百科

<http://zh.wikipedia.org/zh/%E6%8A%98%E5%B0%84%E7%8E%87>

## **【評語】 080115**

- 1.主題及方法可再多些創意，題材具實用性，但原理探討宜再深入。
- 2.探究態度及研究精神可佳。