

中華民國 第 49 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

030802

「爐」日中天

學校名稱：基隆市立建德國民中學

作者： 國二 張晉 國二 李睿宇	指導老師： 蔡坤龍 丁一萍
------------------------	---------------------

關鍵詞：太陽爐、拋物線、焦點

「爐」日中天

摘要：

本實驗主要探討八上自然與生活科技課本中，3-2 面鏡成像單元提到的太陽能集熱器是「利用平行主軸的太陽光，經凹面鏡反射後聚於焦點」。於是我們設計並製作一個焦距為 10 公分、口徑 60 公分的拋物面鏡太陽爐，並以赤外線燈研究其聚焦性質，及做太陽下實際的測試。

研究一：利用數學繪圖軟體 GeoGebra 設計一個焦距為 10 公分、口徑 60 公分、24 片組合的太陽爐單片模型，並以厚 3mm 的壓克力板來製作、組合。

研究二：以 500W 赤外線燈做輻射源，對拋物面太陽爐焦點及其附近作溫度的測試，及探討入射角度的影響。

研究三：把太陽爐拿到戶外做焦點溫度測試，及實際煮物(米、蛋、水)。

壹、研究動機：

在八年級上學期自然與生活科技南一版的課本，3-2 面鏡成像中就有有關拋物面聚焦的實驗，剛好與太陽爐的原理相同；4-3 比熱中則有熱量的計算公式；4-4 中有關於熱的傳播的解說，不但教了我們如何製作一個既可有效的吸熱，又可保溫的好容器，還教了我們由於熱上升原理，加熱必須在容器的底部，食物的受熱才會平均。

我們查資料得知，在美國加州有一個太陽爐利用很多平面鏡，把光線匯聚在一平方公尺，爐心溫度高達 1800℃，用以加熱空氣推動渦輪發電，於是我們決定製作一個太陽爐。

貳、研究目的：

- 一、研究一：設計並製作一個焦距為10公分、口徑60公分，拋物面鏡的太陽爐。
- 二、研究二：以 500W 赤外線燈對拋物面太陽爐作聚焦的性質測試。
- 三、研究三：太陽下實際測試拋物面太陽爐的聚焦性質，及煮物的可行性和太陽爐功率。

參、研究設備及器材：

壓克力板(3mm)、照度計、燈座、定位鐵架、尺、100 瓦燈泡、剪刀、電鋸、美工刀、透明膠帶、雙面膠、厚紙板、溫度計、燒杯、試管、鏡子、鋁箔紙、鋁箔包、零食內袋、赤外線燈(500w)、相機、碼表、護目鏡、烤箱、膠水、筆、鐵片、鋁片、燒瓶(300ml)、銅環、塑膠布、蛋、米、軟木塞、鐵鎚、紙黏土、廣告顏料、雷射筆、風速計



肆、研究過程或方法：

一、研究一：焦距為10公分、口徑60公分，拋物面鏡太陽爐的設計與製作

(一)研究拋物線的性質和電腦繪圖

1、首先查資料得知，拋物線的方程式為 $y = \frac{1}{4} \frac{1}{a} x^2$ ，焦點的座標(0, a)，其焦距 $f = a$ 。

2、利用數學繪圖軟體 GeoGebra，繪出一個焦距為 10 公分的拋物線， $y = \frac{1}{4} \frac{1}{10} x^2$ 曲線的一邊(如圖 1)。

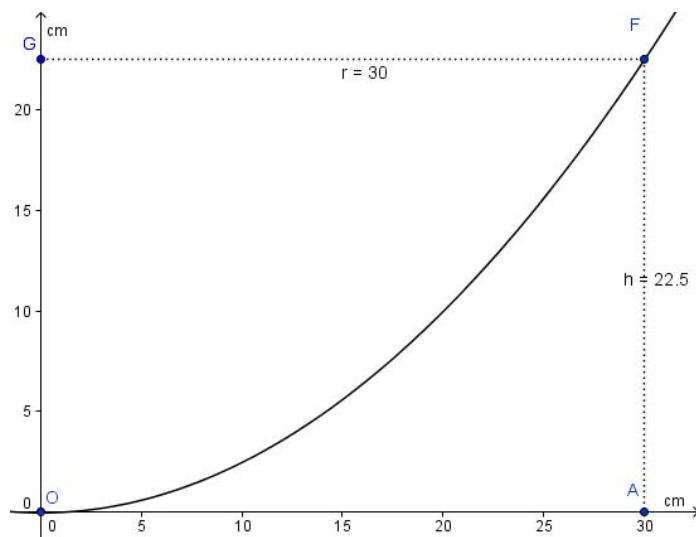


圖 1 焦距為 10 公分的拋物線： $y = \frac{1}{4} \frac{1}{10} x^2$

(二)拋物面鏡太陽爐單片模型的電腦繪製

1、查資料得知，微小弧長為： $di = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} = \sqrt{dx^2 + dy^2} = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$

$$\text{又 } \frac{dy}{dx} = \frac{x}{20}$$

$$\text{是故積分爲 } \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx = \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{1 + \frac{x^2}{400}} dx$$

2、本拋物面鏡太陽爐，設計將以 24 片組合，將拋物線 $y = \frac{1}{4} - \frac{1}{10} x^2$ 繞著對稱軸旋轉一圈即成一拋物面，再分別以 $x=5、10、15、20、25、30$ 公分為半徑，其圓周長的二十四分之一的弧長，即為水平切面的長度；將拋物線被 $x=5、10、15、20、25、30$ 分成的六段弧積分，其值即為單片模型垂直 Y 的座標。

3、利用數學軟體 GeoGebra，把函數 $g(x)=Y = \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{1 + \frac{x^2}{400}} dx$ ，依 x 範圍代入，即可得六段弧的長。

4、利用以上所得數據，先將點作出，再將各點以線段連接的方式，即可繪得「單片模型」。

(三)拋物面鏡太陽爐材料的選用

- 1、挑選其常見的材質，如厚紙板、鋁片、鐵片、壓克力板。
- 2、將其製作成單片模型(如圖 2)。
- 3、比較製作的情形及使用優缺點。



圖 2 分別為電腦繪圖、厚紙板、鋁、鐵、壓克力的單片模型

(四)爐面反射材質的選用

- 1、選取常見的材質，如壓克力板噴銀漆、鏡子、飲料鋁箔包、零食內袋、鋁箔紙。
- 2、根據反射定律，分別將上述反射材質以 45 度擺設於紙箱中並調整位置，使入射光源反射後垂直入射到照度計(如圖 5)。
- 3、記錄各反射材質在照度計的讀數。



圖 3 箱中的擺設位置



圖 4 照度計的擺設位置

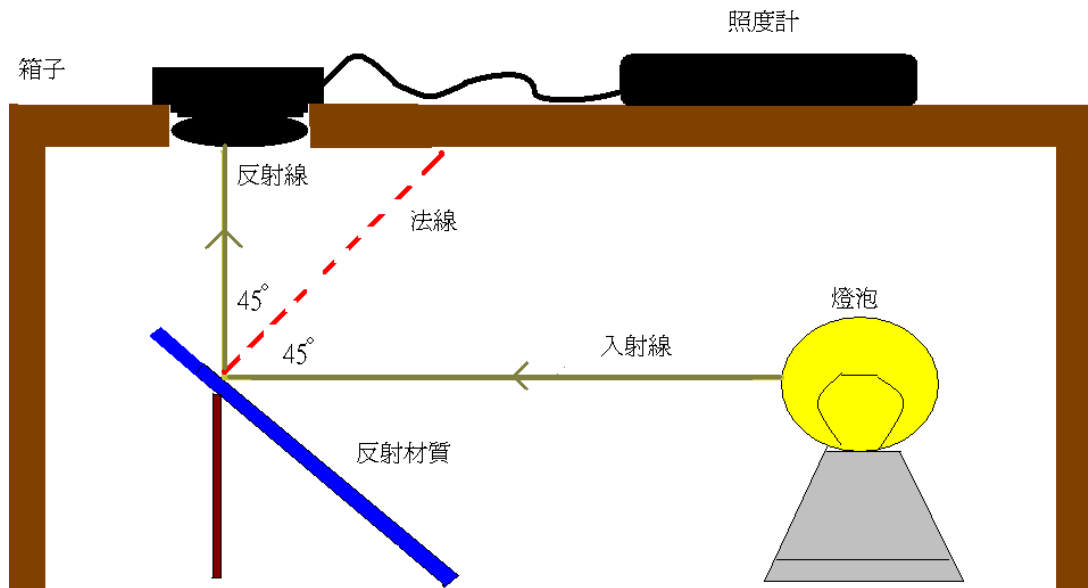


圖 5 反射材質的反射能力測試示意圖

(五)壓克力板拋物線形單片模型的製作

- 1、將拋物線圖貼於木板上，在拋物線的兩側約 2mm 的位置訂上數根釘子(如圖 6)。
- 2、將裁切的壓克力板的「單片模型」，依弧度壓入模子(如圖 7)。
- 3、放入 100°C 的烤箱 12 分鐘，讓壓克力板軟化，取出冷卻 10 分鐘即定型，即可得「拋物線形單片模型」。

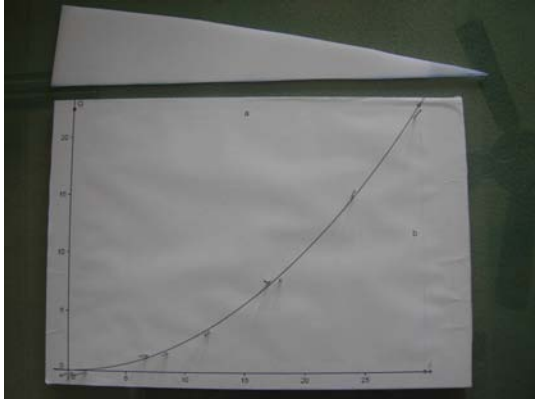


圖6

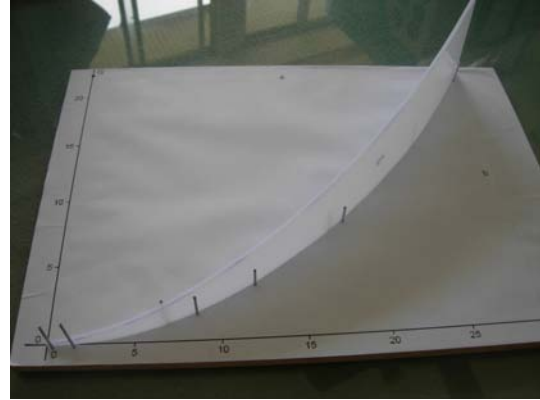


圖7

(六)壓克力板拋物線形單片模型的焦點測試

- 1、由 GeoGebra 繪出拋物線 $y = \frac{1}{4} - \frac{1}{10}x^2$ ，且口徑為 60 公分，格線為 2 公分(如圖 8)。
- 2、將兩拋物線形單片模型，依弧度放於拋物線上，並用紙黏土固定好(如圖 9)。
- 3、入射兩平行主軸的雷射光，記錄其反射後與y軸的交點位置，間距每次加大4公分，重複6次。

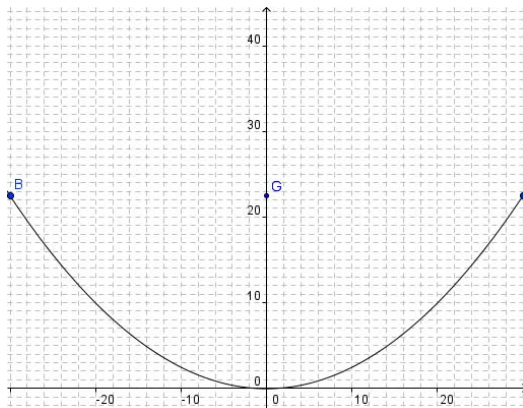


圖 8

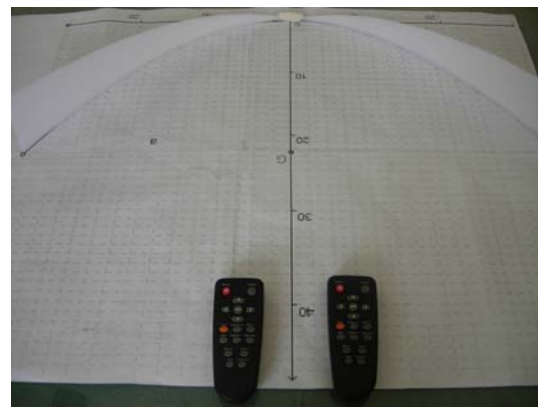


圖 9

(七)壓克力板拋物線形單片模型的組合

- 1、將 24 片「拋物線形單片模型」，先以膠帶組合成型，再塗上保麗龍膠。
- 2、等保麗龍膠乾後，再以銀色的亮光漆噴在內面，即完成拋物面鏡太陽爐。

二、研究二：以赤外線燈(500w)對拋物面太陽爐的性質測試

(一)爐心(焦點 F)溫度測試

- 1、取一溫度計，置於太陽爐的焦點上(如圖 10)。
- 2、以赤外線燈對準爐心使光線入射，並調整赤外線燈與爐心的距離為 100 公分。
- 3、觀察溫度計的變化，並每隔 5 分鐘記錄 1 次溫度。
- 4、取一透明試管並且加上穿孔橡皮塞，將溫度計插入試管中央，並將溫度計置於焦點上(如圖 11)，重複步驟 2、3。
- 5、如步驟 4，把試管塗成黑色(如圖 12)，重複步驟 2、3。

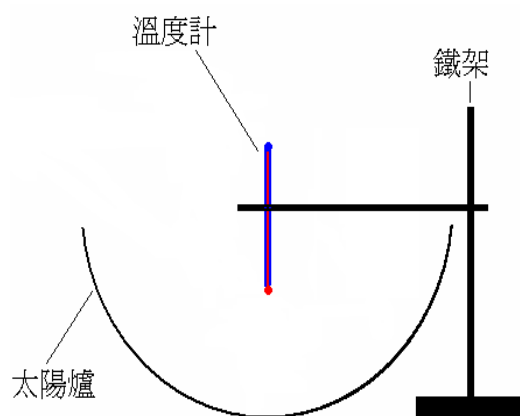


圖 10 焦點溫度測試裝置圖



圖 11 套上透明試管的焦點溫度測試



圖 12 套上黑色試管的焦點溫度測試

(二)太陽爐焦點附近溫度的測試

- 1、如圖 13，在焦點 (F 點)、焦點上方 5 公分(H 點)、焦點下方 5 公分(L 點)、焦點右方 5 公分(T₁ 點)、焦點右方 10 公分(T₂ 點)等處擺設溫度感應器。
- 2、以赤外線燈對準爐心使光線入射，並調整燈與爐心的距離為 100 公分。
- 3、每 5 分鐘記錄溫度的讀數。

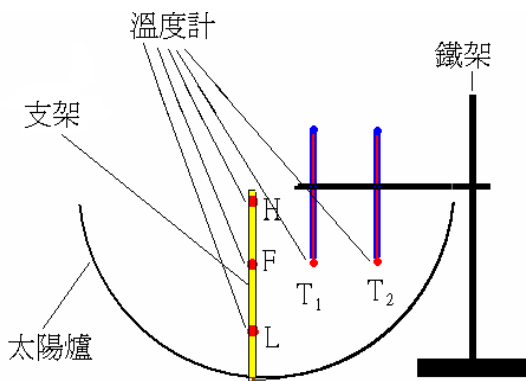


圖 13 焦點附近溫度的測試示意圖

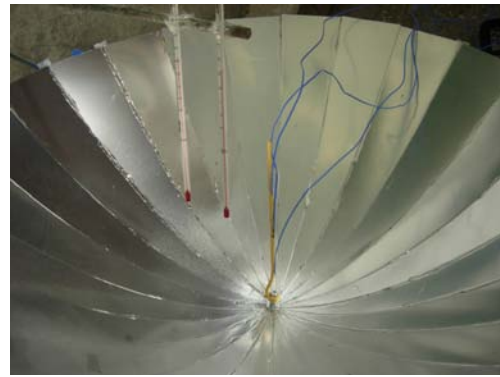


圖 14 焦點附近溫度測試的實際擺設位置

(三) 赤外線燈在太陽爐聚焦的模擬

- 1、取一長條型紙軸記錄其長度($\overline{HH'}$)，並將其中點置於鐵架夾子上，調整紙軸垂直於地面，並離螢幕 10 公分(如圖 15)。
- 2、將赤外線燈的中心對準於紙軸的中點，並調整與紙軸距離為 100 公分，打開赤外線燈，紀錄紙軸在螢幕上的影長($\overline{LL'}$)。
- 3、用 GeoGebra 先對 L、L'、H、H' 點作圖之後，再連接 \overline{LH} 、 $\overline{L'H'}$ 找出赤外線燈的輻射範圍及輻射角度(α)。

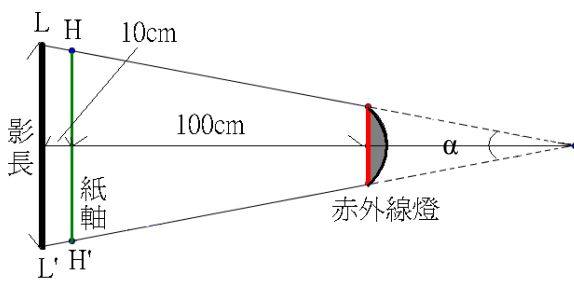


圖 15 赤外線燈照射紙軸的示意圖

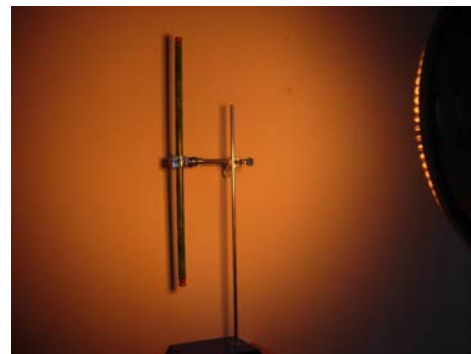


圖 16 實際擺設位置圖

(四) 赤外線燈主軸角度與焦點溫度的關係

- 1、將溫度計置於焦點上。
- 2、赤外線燈主軸對準爐心使光線入射，並調整燈與爐心的距離為 100 公分。
- 3、每隔 5 分鐘記錄溫度。
- 4、調整赤外線燈主軸入射角度分別為 30 度、60 度、90 度，重複步驟 2、3。

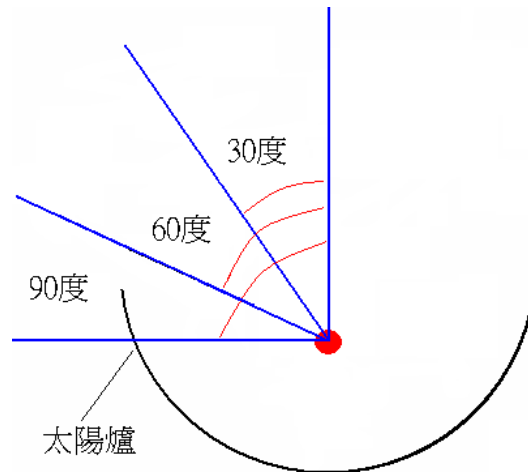


圖 17 赤外線燈主軸角度與焦點溫度的關係測試圖

三、研究三：太陽下的實際測試

(一)太陽爐焦點附近的溫度測試

- 1、將數位溫度感應器分別置於焦點、焦點上方 2.5、5 公分、焦點下方 2.5、5 公分(如圖 18)。
- 2、調整太陽爐角度使軸心對準太陽，每 10 秒記錄溫度變化。
- 3、待實驗結束後，以一紙軸放入太陽爐的軸心觀察光線在紙軸上聚焦的情形。

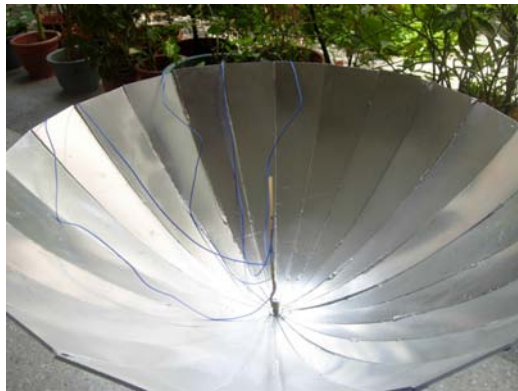


圖 18 陽光下太陽爐焦點附近的溫度測試裝置圖

(二)煮米測試

- 1、取 1 試管放入 10 克的米、加入 30 毫升的水並塞入橡皮塞。將試管置於支架上，調整試管的中心在太陽爐焦點位置(如圖 19)。
- 2、將數位溫度感應器分別置於試管內部與試管外的焦點附近。
- 3、每 10 分鐘調整太陽爐對準太陽，並觀察試管內外的溫度，2 小時之後取下試管，並觀察米的變化。

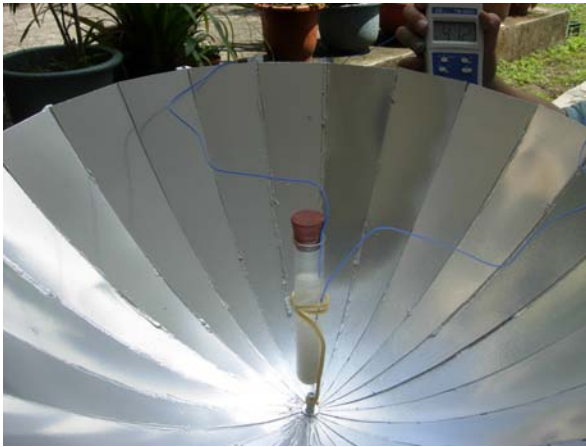


圖 19 陽光下煮米裝置圖



圖 20 管外焦點附近的溫度

(三)煮蛋測試

- 1、調整支架高度約為 10 公分，將蛋塗黑並置於支架上(如圖 21)。
- 2、將數位溫度感應器黏貼在蛋的上下端。每 10 分鐘調整太陽爐對準太陽，並觀察溫度(如圖 22)。
- 3、兩小時之後把蛋取下來，並實際品嚐。

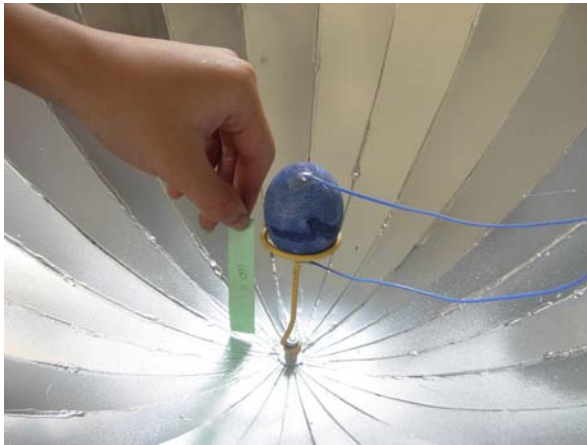


圖 21 陽光下煮蛋測試裝置圖

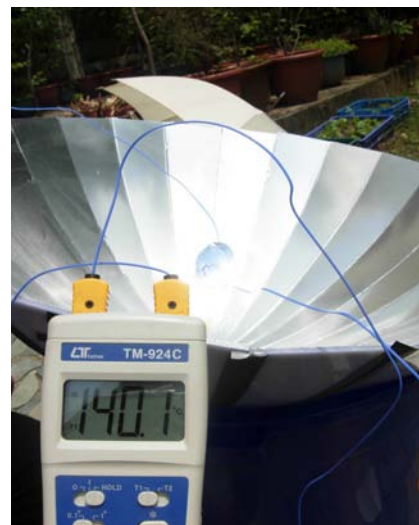


圖 22 溫度感應器顯示蛋下端的溫度

(四)太陽爐功率的測試

- 1、取一燒瓶裝水 300ml，並且加上橡皮塞，將溫度計插入燒瓶，並將燒瓶球狀的 1/3 高度置於太陽爐焦點上(如圖 23)。
- 2、另取一燒瓶裝水 300ml，並且加上橡皮塞，將溫度計插入燒瓶當作對照組，用鐵架夾至與實驗組同高，讓陽光直接曝曬。
- 3、每十分鐘分別記錄一次實驗組和對照組的溫度。



圖 23 太陽爐功率測試裝置圖

(五) 爐心光線加熱空氣觀察熱對流的現象

- 1、將一鐵罐塗黑，並於外圍加一透明寶特瓶置於支架上，調整鐵罐底端高度約 8 公分。
- 2、將數位溫度感應器分別置於瓶口(T_h)、鐵罐(T_c)及鐵罐底部 3 公分處(T_b)，並在保特瓶口上方 1 公分處擺設一風速計(如圖 24)。
- 3、每隔 10 秒鐘紀錄溫度和瓶口風速計的風速。
- 4、找市面上 3 種小型風扇，測量風驅動風扇所需最小風速。

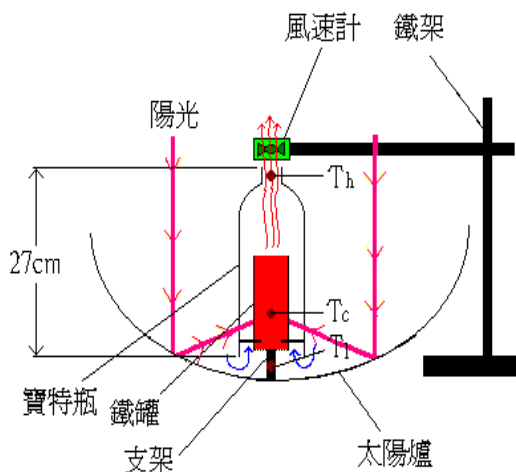


圖 24 爐心光線加熱空氣產生熱對流示意圖



圖 25 爐心加熱空氣產生熱對流擺設位置

伍、研究結果：

- 一、研究一：焦距為10公分、口徑60公分，拋物面鏡太陽爐的設計與製作

(一)研究拋物線的性質和電腦繪圖

拋物線繞著對稱軸旋轉一圈即成一拋物面，拋物面有拋物線之焦點聚光性的光學性質，GeoGebra 平面幾何的圖形均可畫出，且可依 1:1 真實比例輸出列印。

(二)拋物面鏡太陽爐單片模型的電腦繪製

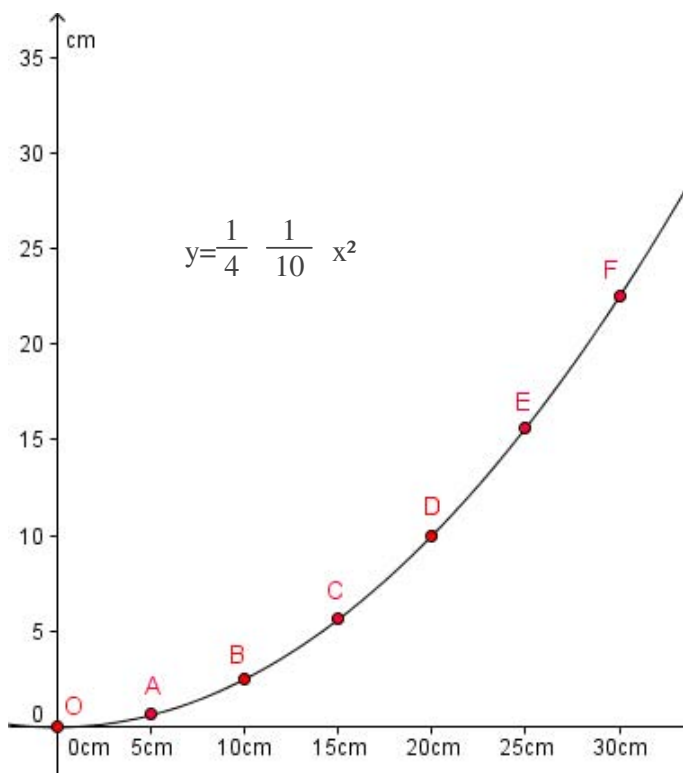


圖 26 各段弧長積分即圖 27 的 Y 座標

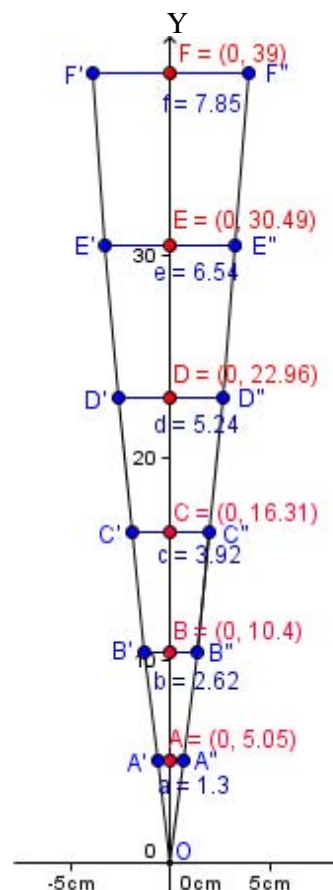


圖 27 「單片模型」設計圖

拋物線的方程式 $y = \frac{1}{4} \frac{1}{10} x^2$				
圖 26			圖 27	
點	x(cm)	y(cm)	$2 * \pi * r / 24$ (cm)	$Y = \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{1 + \frac{x^2}{400}} dx$ (cm)
O	0	0	0	0
A	5.00	0.63	$\overline{A'A''} = 1.30$	$\overline{OA} = 5.05$
B	10.00	2.50	$\overline{B'B''} = 2.62$	$\overline{OB} = 10.40$
C	15.00	5.63	$\overline{C'C''} = 3.92$	$\overline{OC} = 16.31$
D	20.00	10.00	$\overline{D'D''} = 5.24$	$\overline{OD} = 22.96$
E	25.00	15.63	$\overline{E'E''} = 6.54$	$\overline{OE} = 30.49$
F	30.00	22.50	$\overline{F'F''} = 7.85$	$\overline{OF} = 39.00$

表 1 各點座標與單片模型各線段長度

(三)拋物面鏡太陽爐材料的選用

材質	優點	缺點
壓克力片	容易固定形狀、不會銳利傷人 輕巧攜帶方便、易保存不損壞	不易切割
鋁片	切割方便、輕巧攜帶方便、易 保存不損壞、易剪裁	不易固定形狀、銳利會傷人
鐵片	容易固定形狀、易保存不損壞	不易切割、銳利會傷人、不易攜帶
厚紙片	易切割、不會銳利傷人、輕巧 攜帶方便	不易固定形狀、不易保存

表 2 拋物面鏡太陽爐材料的優缺點比較

(四)爐面反射材質的選用

鏡面材質	光照度(lux)
噴漆壓克力板	610
鏡子	640
鋁箔包	540
零食內袋	790
有皺摺鋁箔紙	530
無皺摺鋁箔紙	1140

表 3 各材質經反射後的光照度值

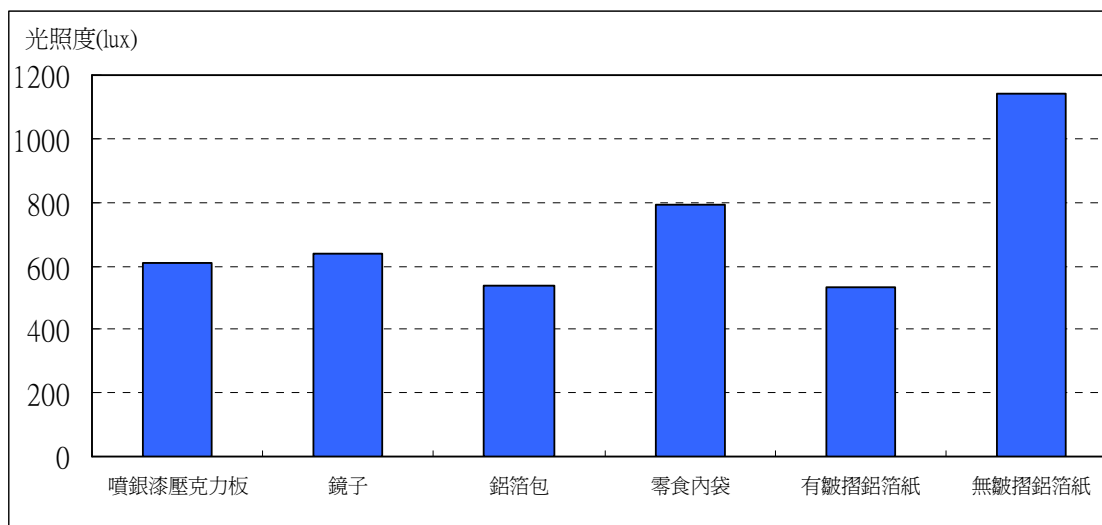


圖 28 各材質經反射後的照度圖

(五)壓克力板拋物線形單片模型的製作

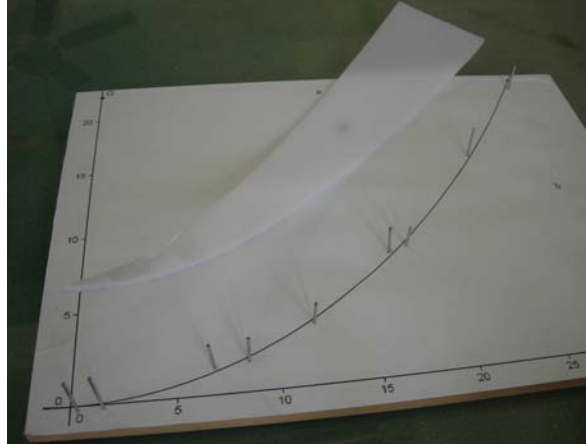


圖 29 壓克力板拋物線形單片模型冷卻後，從模子取出，其曲度圓滑富彈性。

(六)壓克力板拋物線形單片模型的焦點測試

左弧		右弧	
x 座標 (cm)	焦點位置 (cm)	x 座標 (cm)	焦點位置 (cm)
4	8.2	-4	9.5
8	9.5	-8	9.4
12	9.7	-12	9.8
16	9.9	-16	10.0
20	10.0	-20	10.0
24	10.5	-24	10.5
28	10.9	-24	10.1

表4 雷射光反射後與y軸的交點位置

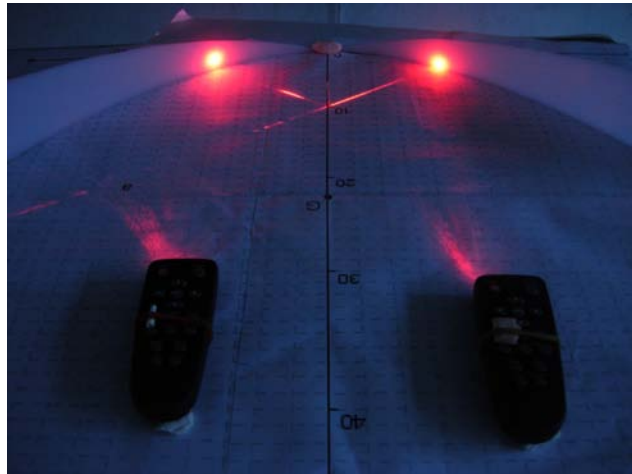


圖30 雷射光反射後在y軸聚焦情形

(七)壓克力板拋物線形單片模型的組合



圖31 在接縫處塗上保麗龍膠

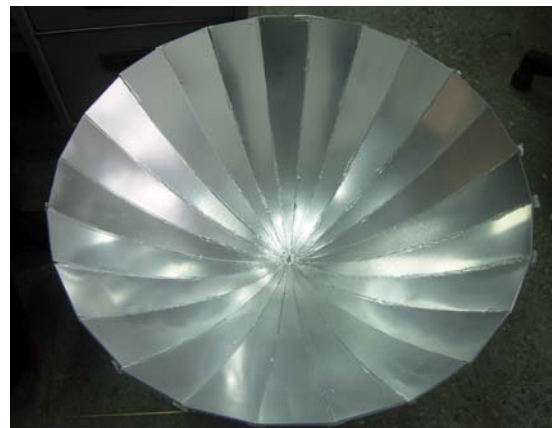


圖32 噴上銀色亮光漆的拋物面鏡太陽爐

二、研究二：以赤外線燈對拋物面太陽爐的性質測試

(一)爐心(焦點 F)溫度測試

時間(分)	焦點溫度(°C)	透明試管(°C)	黑色試管(°C)
0	22.1	22.0	22.0
5	31.0	28.6	25.0
10	35.2	34.8	31.2
15	37.3	39.6	36.2
20	37.8	43.8	42.1
25	38.0	44.7	44.5
30	37.9	45.4	45.1
35	37.8	45.6	44.2
40	38.0	46.1	45.0
45	37.9	46.1	45.3
50	38.1	46.2	46.1
55	38.2	46.1	47.0
60	38.2	46.2	48.7

表 5 焦點溫度變化表

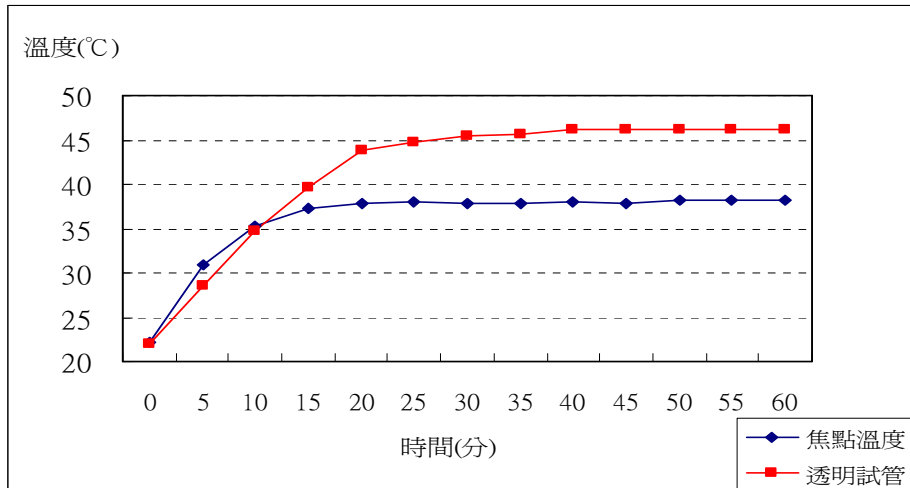


圖 33 焦點與套透明試管溫度走勢圖

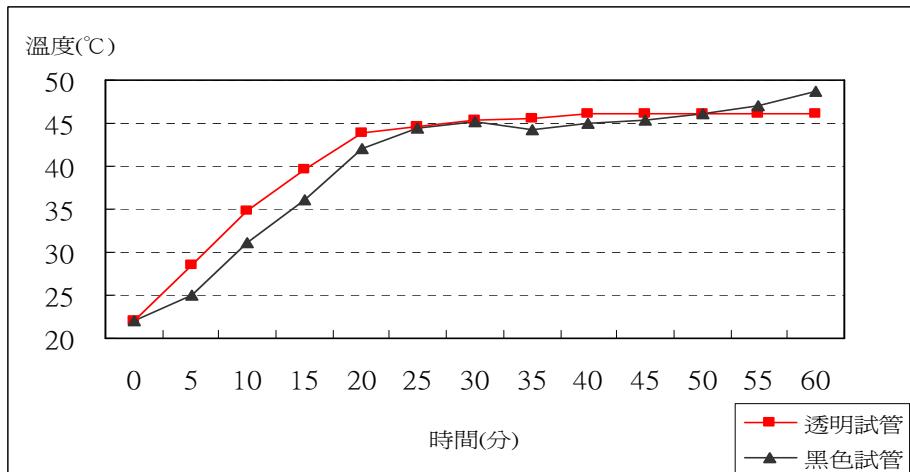


圖 34 透明試管與黑色試管溫度走勢圖

(二)太陽爐內焦點附近溫度的測試

時間 (分)	焦點 (°C)	焦點上方 5 公分(°C)	焦點下方 5 公分(°C)	焦點右方 5 公分(°C)	焦點右方 10 公分(°C)
0	22.2	22.3	22.0	22.2	22.3
5	30.0	32.2	25.1	29.3	25.1
10	35.1	37.5	27.5	34.0	27.0
15	37.4	37.1	27.2	35.0	27.0
20	37.7	35.6	26.6	35.0	27.0
25	38.1	37.3	28.2	35.0	27.0
30	37.9	38.2	27.4	35.5	27.1
35	37.1	36.9	27.1	35.2	27.1
40	38.0	38.4	28.2	35.8	27.2
45	36.2	35.6	27.1	35.6	27.1
50	37.2	36.2	27.8	35.4	27.1
55	37.4	34.9	26.3	35.8	27.2
60	38.0	38.2	26.9	35.2	27.1

表 6 焦點附近的溫度

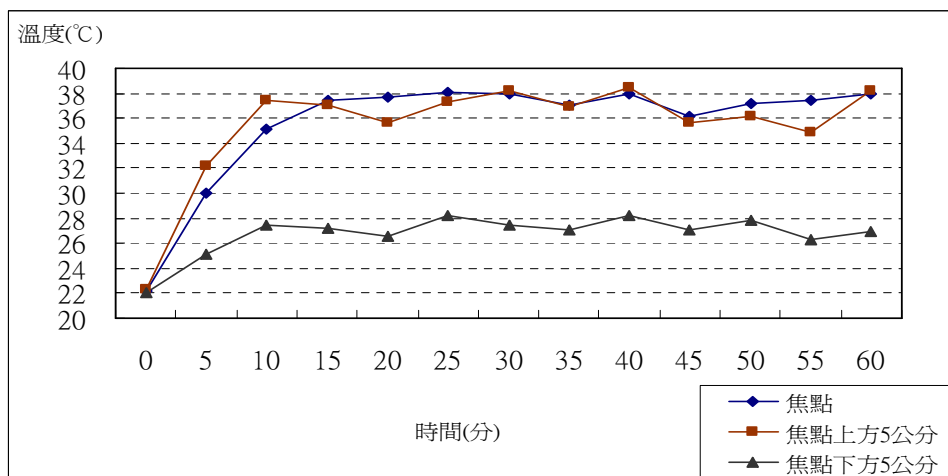


圖 35 焦點、焦點上方 5 公分、焦點下方 5 公分的溫度走勢圖

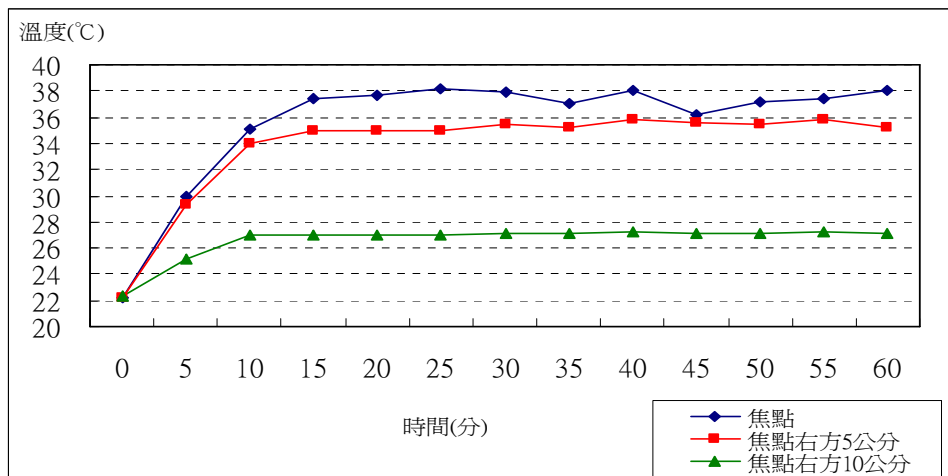


圖 36 焦點、焦點右方 5 公分、焦點右方 10 公分的溫度走勢圖

(三) 赤外線燈在太陽爐聚焦的模擬

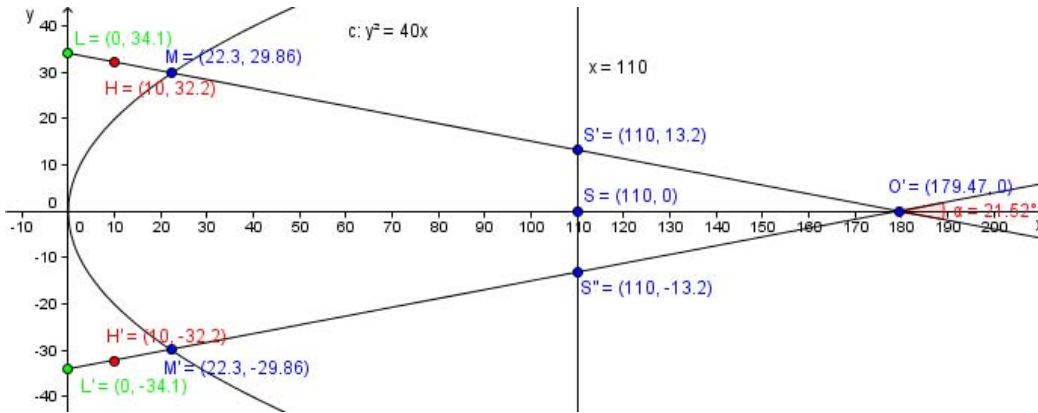


圖 37 $\overline{LL'}$ 為影長、 $\overline{HH'}$ 為紙軸長、S 為赤外線燈前緣中心

說明 1：將測得的 L、L'、H、H' 四點座標點作圖之後，連接 L、H 跟 L'、H' 兩直線即可推得赤外線燈輻射的入射夾角為 21.52° ，且可看成位於 O' 的點光源。

說明 2：通過 S 點作 x 軸的垂線，可得赤外線燈的直徑約為 26.4 公分。

說明 3：由 M、M' 兩點的座標，可得赤外線光源覆蓋在 x 軸於 ± 29.86 ，幾乎和太陽爐的口徑相等。

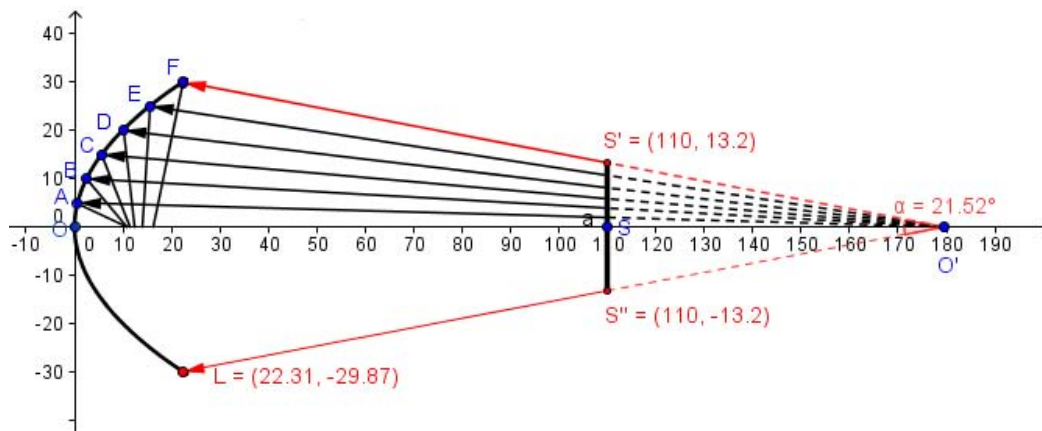


圖 38 模擬赤外線燈在太陽爐聚焦的情形

入射點	聚焦在 x 軸位置 (公分)
O	10.00
A	10.66
B	10.96
C	11.44
D	12.35
E	13.86
F	16.14

表 7 各入射點在 x 軸聚焦的位置

(四) 赤外線燈主軸角度與焦點溫度的關係

分鐘	0度	30度	60度	90度
0	22.0	22.3	22.8	22.1
5	30.2	23.7	22.3	22.1
10	34.8	23.6	22.7	22.1
15	37.1	23.3	22.6	22.1
20	37.8	23.8	22.2	22.0
25	38.2	23.9	22.2	22.0
30	38.0	23.4	22.6	22.1

單位：℃

表 8 主軸角度與焦點溫度的關係

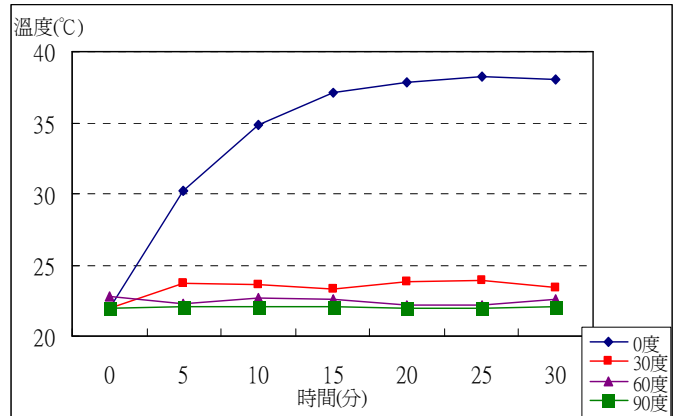


圖 39 入射角度與焦點的溫度走勢圖

三、研究三：太陽下的實際測試

(一) 太陽爐焦點附近的溫度測試 (98年5月15日 12:00~12:02)

時間(秒)	焦點(℃)	焦點上方 2.5公分(℃)	焦點上方 5公分(℃)	焦點下方 2.5公分(℃)	焦點之下方 5公分(℃)
0	22.7	22.7	22.3	22.8	22.8
10	88.6	65.6	40.6	61.5	37.4
20	111.4	82.4	43.8	74.5	40.8
30	112.8	83.4	46.5	75.9	43.0
40	120.3	89.0	58.1	88.3	55.4
50	118.6	87.8	58.9	80.4	58.4
60	139.8	99.5	58.9	84.3	51.8
70	121.1	96.5	52.9	80.3	43.5
80	150.3	120.2	57.6	95.3	51.4
90	163.9	131.1	58.3	100.0	50.1
100	149.1	123.3	57.1	93.1	49.3
110	187.6	152.3	63.3	118.3	52.1
120	176.0	140.8	60.4	117.6	50.8

表 9 焦點附近的溫度變化

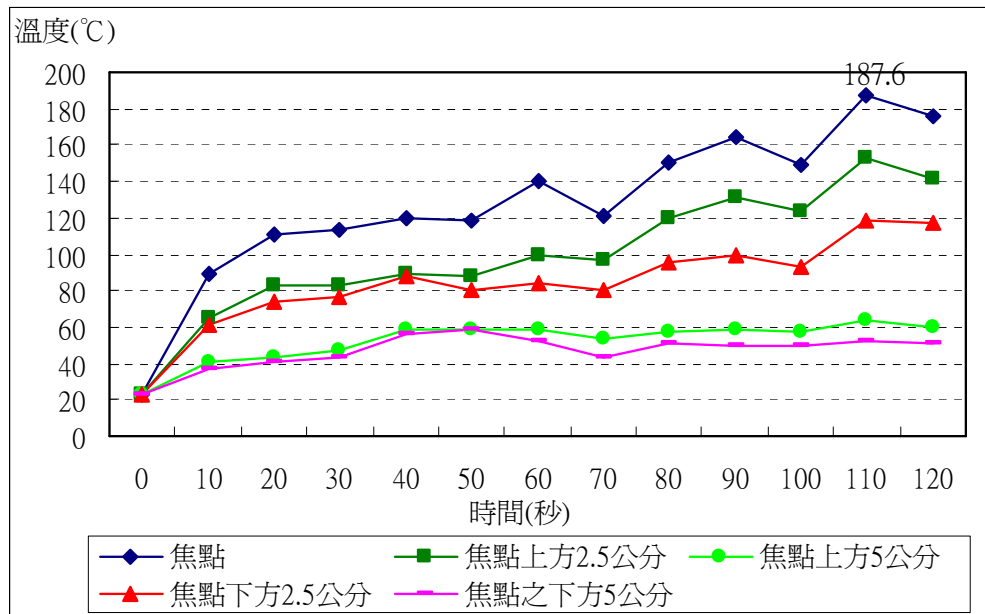




圖 40 焦點附近的溫度變化走勢圖



圖 41 陽光在紙軸上聚焦的情形

說明：如圖 41，焦點附近因陽光匯聚而發亮光。由紙軸發亮的程度，約略可看出效果最好的區域為焦點上下各約 3 公分。

(二)煮米測試

	第一次測試(98年4月11日 11:00~13:00)	第二次測試(98年4月29日 11:00~12:00)
CWB 基隆站	氣溫 22°C~28°C (多雲)	氣溫 21°C~27°C (晴時多雲)
結果	 圖 42	 圖 43
說明	1、如上圖，箭頭為爐焦點位置。 2、因試管中端在爐的焦點位置。熱對流往上，試管焦點位置以上米已變為熟飯，焦點以下則不熟，尤其試管底部則因溫度不夠，仍為粒狀。	1、如上圖，箭頭為爐焦點位置。 2、將試管底端上 3 公分處置於爐焦點，這次實驗置整支試管的米都有煮熟，只有最上端的米心還有一點硬硬的，吃起來很綿密又很有黏性。
備註	1、當日天氣實驗前半小時因太陽較大，管內溫度穩定上升，11 時 30 分以後則因沒有陽光，所以試管溫度逐漸下降。 2、管內溫度最高 84.2°C，管外焦點附近溫度由於易受太陽及風的影響，溫度起伏很大，當日測得最高溫為 117.2°C。	1、當日天氣較上一次實驗穩定，所以 1 個小時就完成。 2、管內溫度最高 94.6°C，管外焦點附近溫度當日測得最高溫為 129.7°C。

(三)煮蛋測試 (98年4月12日 11:00~13:00)



圖 44 蛋下端因溫度過高而焦掉了



圖 45 蛋切開後的樣子

註 1：當日中央氣象局基隆站天氣資料氣溫 23°C~29°C (晴時多雲)。

註 2：放在蛋的下端溫度實驗期間測得最高溫為 149.9°C，上端最高溫則為 97.7°C。

(四)太陽爐功率的測試 (98 年 5 月 30 日 11:00~12:30)

時間(分)	實驗組水溫 (°C)	對照組水溫 (°C)	備註
0	23.2	23.5	室溫 24.5°C
10	38.7	26.5	微風(0~20 分)
20	48.2	29.3	
30	58.5	29.7	風稍強(20~40 分)
40	65.7	30.2	28 分時橡皮塞被水蒸氣推開
50	74.3	30.8	太陽普通, 在陽光下感受不到太強的熱(40~60 分)
60	79.5	31.5	
70	85.2	31.8	雲變多(60~70 分)
80	90.3	32.6	太陽變弱, 氣溫較 20 分前低(70~80 分)
90	94.7	32.8	溫度計附近開始冒出小水泡(80~90 分)

表 10 實驗組和對照組的溫度變化情形

註：當日中央氣象局基隆站天氣資料氣溫 24°C~29°C（多雲）。



圖 46 發亮的實驗組燒瓶就像電燈泡

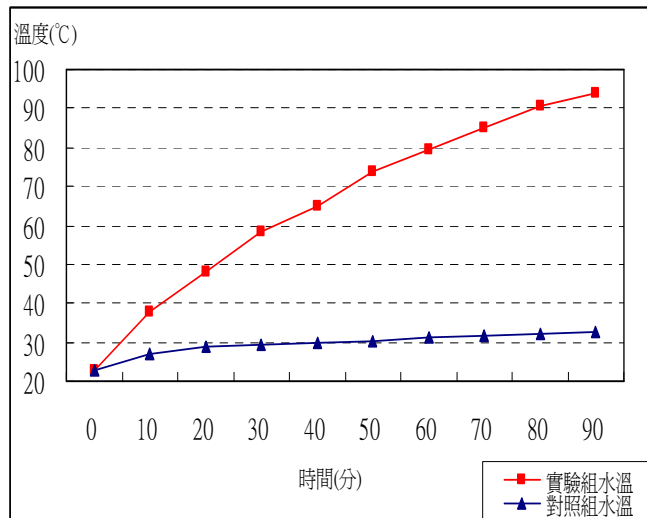


圖 47 實驗組和對照組的水溫變化走勢圖

實驗組	時間(分)		溫度差(T_2-T_1) °C	吸熱(卡)	吸熱功率(卡/分)
	0~10	間隔 1	15.5	4650	465
	10~20	間隔 2	9.5	2850	285
	20~30	間隔 3	10.3	3090	309
	30~40	間隔 4	7.2	2160	216
	40~50	間隔 5	8.6	2580	258
	50~60	間隔 6	5.2	1560	156
	60~70	間隔 7	5.7	1710	171
	70~80	間隔 8	5.1	1530	153
	80~90	間隔 9	4.4	1320	132

對照組	時間(分)		溫度差(T_2-T_1) °C	吸熱(卡)	吸熱功率(卡/分)
	0~10	間隔 1	3.0	900	90
	10~20	間隔 2	2.8	840	84
	20~30	間隔 3	0.4	120	12
	30~40	間隔 4	0.5	150	15
	40~50	間隔 5	0.6	180	18
	50~60	間隔 6	0.7	210	21
	60~70	間隔 7	0.3	90	9
	70~80	間隔 8	0.8	240	24
	80~90	間隔 9	0.2	60	6

表 11 實驗組和對照組的功率比較

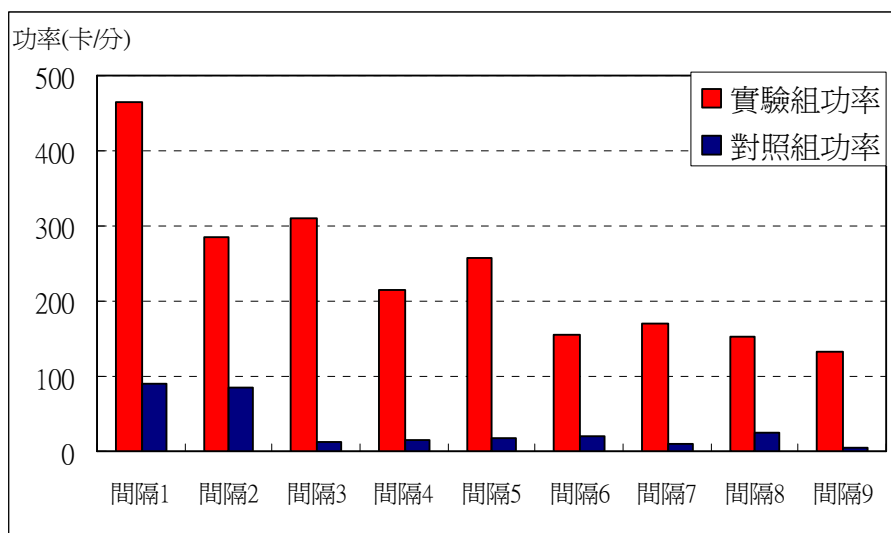


圖 48 實驗組和對照組的功率比較圖

(五) 爐心光線加熱空氣觀察熱對流的現象(98年5月29日 11:30~11:33)

時間(秒)	瓶口(°C)	鐵罐(°C)	底部(°C)	瓶口風速(m/s)
0	24.2	24.5	24.1	0
10	60.2	112.6	32.2	0
20	79.1	173.5	31.4	0.4
30	87.4	185.7	32.7	0.4
40	90.2	194.6	33.6	0.4
50	95.6	201.6	35.5	0.4
60	102.6	205.5	33.4	0.5
70	106.5	208.7	35.7	0.5
80	113.0	224.9	34.6	0.8
90	106.7	204.2	35.5	0.6
100	106.4	203.3	36.7	0.6
110	106.6	204.0	35.8	0.6
120	106.8	202.6	36.6	0.6
130	108.2	201.8	38.0	0.6
140	109.4	201.9	37.8	0.6
150	109.7	201.5	37.6	0.6
160	109.9	200.2	36.1	0.6
170	110.2	203.3	35.8	0.7
180	109.8	202.5	34.9	0.7

表 12 熱對流裝置中各點溫度及瓶口風速

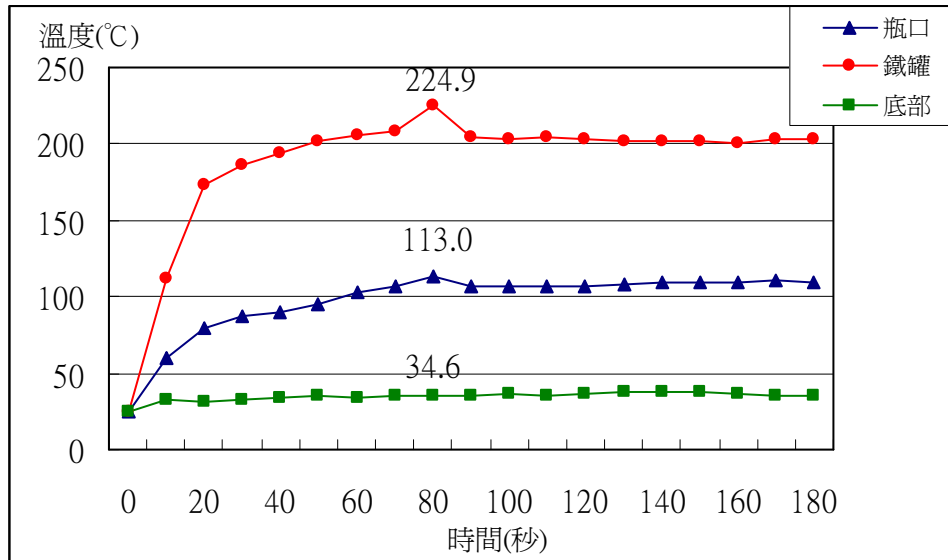


圖 49 熱對流裝置中各點溫度走勢圖



圖 50 市售常見的 3 種小型風扇(3*3、4*4、5*5 公分經測其最小驅動風速分別為 9.3、5.7、6.0 公尺/秒)

陸、討論：

一、研究一：焦距為10公分、口徑60公分，拋物面鏡太陽爐的設計與製作

(一)研究拋物線的性質和電腦繪圖

GeoGebra 結合了幾何作圖和代數運算的繪圖軟體，當我們在繪圖區畫圖形時，相關圖形均能輕易畫出，很值得學習。

(二)拋物面鏡太陽爐單片模型的電腦繪製

在「單片模型」作圖中，我們取 6 個點(6 段弧)作近似，如取更多點理論上將更精確，但裁切時轉彎處更多，裁切將更困難。

(三)拋物面鏡太陽爐材料的選用

一開始使用厚紙片，但基隆天氣常下雨，濕度大，且易變形使焦距不夠精確。金屬片雖堅固但易割傷人且裁切不易。

(四)爐面反射材質的選用

原本以為鏡子的反射能力會最好，但經過實驗我們發現，其實光滑的鋁箔紙反射能力才是最好的，我們發現市面上的鏡子為了不要使使用者太刺眼，因此不會有太強的反光能力，但鋁箔紙不易保存，加之皺摺的鋁箔紙的反射能力比噴銀漆差，最後我們選定了噴漆作為反射材質。

(五)壓克力板拋物線形單片模型的製作

實驗結果發現，烤箱的溫度太低，則壓克力板冷卻後，從模子取出，仍會部份恢復原狀。若高溫度太高，則壓克力板的曲度會較不圓滑，所以烤箱的溫度會對拋物線形單片模型弧度圓滑與否影響很大，也是焦距準確與否的一個重要關鍵。

(六)壓克力板拋物線形單片模型的焦點測試

由表 4 可發現我們自製的拋物線形單片模型，當入射平行主軸的雷射光愈靠近主軸的

其焦距愈小；離主軸愈遠的，其焦距則較大。但也驗證了對於拋物曲面，平行主軸的光線，會有聚焦在焦點的性質。

(七)壓克力板拋物線形單片模型的組合

- 1、組合成型時，我們選保麗龍膠，因當膠乾時，其牢固性比白膠好且保麗龍膠也可作為板的接縫填補且不會像三秒膠會有霧邊，在室溫和50°C的環境冷熱循環三次後，膠未破損，且防水性好。
- 2、在組合成型時，24片拋物線形單片模型的尖端會有不齊，可用螺絲加墊片固定使之平整再上膠，且螺絲可做為固定支架的用途。

二、研究二：以赤外線燈對拋物面太陽爐的性質測試

(一)爐心(焦點 F)溫度測試

- 1、由圖 33 可看出焦點溫度，在一開始到 15 分鐘之間，溫度上升明顯。當 15 分鐘之後溫度就幾乎沒有變化。有套試管時，因為光線進入試管後不易對流散失，所以溫度就較高。
- 2、由圖 34 我們發現實驗開始的時候，透明試管溫度上升較快，黑色試管因光會被阻擋上升較慢，到中期的時候已經跟透明試管一樣高了，到後期黑色試管中的熱能逐漸轉為紅外線輻射熱時，溫度就比透明試管還高了。

(二)太陽爐內焦點附近溫度的測試

- 1、由圖 35，焦點下方 5 公分明顯比其他兩點低，焦點和焦點上方 5 公分溫度則相差不多，且上一個實驗時我們也發現透明或黑色試管發亮的範圍約在焦點下 2 公分至焦點上方 6 公分，這與之前用雷射光測試單片模型焦點所得結果不符，經討論和觀察我們認為赤外線燈非平行光入射，應為向外輻射狀，故造成聚焦在焦點的上方。
- 2、由圖 36，焦點中心的溫度的確會較旁邊溫度高，但焦點右方 5 公分處與焦點溫度只差 3°C 左右，這可能是因為赤外線燈非平行光入射導致聚焦範圍變大。

(三)赤外線燈在太陽爐聚焦的模擬

- 1、在上一個實驗我們發現赤外線燈非平行光入射，因此我們想找出赤外線燈的輻射角度和在太陽爐的聚焦情形。
- 2、由圖 37 可推得赤外線燈的直徑為 26.4cm 與實際測量赤外線燈直徑 26.6cm 誤差很小，赤外線燈入射太陽爐的輻射夾角約 21.52°，可看成在座標 (179.47, 0)的點光源。
- 3、由圖 38 的模擬中，可看出聚焦範圍會落在 10~16.14cm 處，赤外線燈輻射在太陽爐的直徑為 59.72 公分，幾乎涵蓋整個太陽爐。

(四)赤外線燈主軸角度與焦點溫度的關係

- 1、由於一天之中太陽是會不停的移動，但如果要跟著太陽移動又很麻煩，因此我們想了解有無正對赤外線燈到底會差幾度。
- 2、經過實驗我們發現，只要一沒有正對赤外線燈焦點溫度就會差很多，說明了拋物面型的太陽能反射裝置必須正對光源。

三、研究三：太陽下的實際測試

(一)太陽爐焦點附近的溫度測試

- 1、本實驗應在無風的環境下測試，以免因風吹造成對流而干擾實驗，因此我們選擇在四面都是教室的學校中庭做測試。
- 2、由圖 40，焦點溫度最高達 187.6°C，很明顯比其他四點高出許多。當焦點溫度上升到約 120°C 時，因與室外空氣溫度相差較多，明顯會受環境因素如風吹、雲量變化影響，所以溫度起伏震盪變明顯。
- 3、由圖 41，發現在焦點上下 3 公分附近是光聚集最強烈的區域，也是煮物的最佳位置。

(二)煮米測試

- 1、由圖 42，由於熱集中於焦點附近，發現焦點上方米已經完全熟透，下方則因對流不好所以不熟，越下方越明顯。
- 2、由圖 43 得知應該要把試管底端置於焦點，才會因熱上升原理使米受熱均勻，實驗結果整支試管的米都有煮熟。

(三)煮蛋測試

- 1、實驗時發現用來放蛋的支架銅環處閃閃發光，證明了我們擺設蛋的位置的確是在焦點的所在處。因此必須適時的將蛋翻轉，以免燒焦(圖 44)。
- 2、如圖 45，我們把蛋切開大家一起享用，綜合了大家的意見，發現煮出來下半部燒焦的蛋白有如阿婆鐵蛋吃起來很有嚼勁，蛋黃就跟普通的水煮蛋一樣。

(四)太陽爐功率的測試

- 1、由圖 47，我們發現水溫上升愈來愈緩慢，這是因為當溫度與室溫相差愈大時，熱能的散失就會愈大，尤其是水量愈大時愈明顯，所以除非天氣良好，否則太陽爐不適合煮大量的物品，以免煮不熟。
- 2、經由圖 48，我們發現在九段間隔中以間隔一最佳，其燒瓶每分鐘可吸收 465 卡的熱量。但我們相信如果在 6~7 月測試，其結果應該會好很多。

(五) 爐心光線加熱空氣觀察熱對流的現象

- 1、由表 12 發現由於寶特瓶造成溫室效果，所以瓶口處溫度 1 分鐘後可達 102.6°C，鐵罐可達 205.5°C 上，熱對流的風速達到 0.5m/s。
- 2、我們觀測到瓶口最大熱對流風速是 0.8m/s，而我們所購買的 3 種小型風扇，最小也須達到 5.7m/s 才能驅動馬達，經查資料後發現要利用熱對流發電，風速須達 4 m/s 以上，才能發電，顯見我們太陽爐功率仍不夠。
- 3、實驗時寶特瓶位於焦點處，因過熱而凹陷變形，應改用耐熱玻璃。

柒、結論：

- 一、GeoGebra 繪圖軟體，圖形能輕易畫出，很適合我們使用。在做拋物線太陽爐選用壓克力板，再噴上銀漆的組合具有輕巧簡單反射良好的特色，測試時雖經 2 小時的太陽曝曬，但爐體溫度並不高。
- 二、以赤外燈當輻射源，具有功率大、熱源穩定的優點，但是實驗結果顯示赤外線燈非平行光，為向外輻射狀，但仍能幫助我們了解太陽爐的聚焦性質。
- 三、陽光下測試焦點溫度在 2 分鐘內可達 187.6°C ，小鐵罐在套上寶特瓶 80 秒後溫度可達 224.9°C 。本爐設計是以拋物面的原理把光聚集在一起很適合小物品的烹飪，如蛋、米、香腸、花生、爆米花等，但太陽爐如要煮量大的食物還是在夏季較為適合。

經過以上各個實驗我們發現，要讓太陽爐的效率更快更好，主要是受到當日天氣，以及太陽爐的設計所影響。天氣方面，要選擇光的強度夠強，且要擺設在風小的地方，在材質方面，則盡量選擇輕巧且反射能力較佳的材質；在擺設方面，須調整正對太陽，才是讓太陽爐發揮最大功用的好方法。

捌、參考資料及其他：

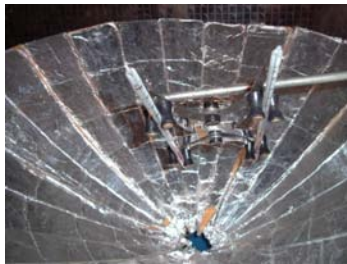
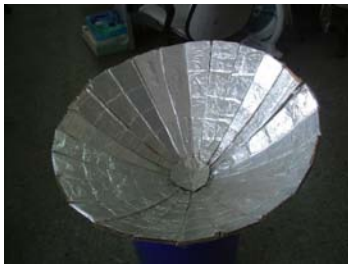
- 一、郭重吉等、國中自然與生活科技第三冊、台灣、南一書局、p74-84、2008 年
- 二、林明瑞等、高級中學物理上冊、台灣、南一書局、p15-51、2003 年
- 三、李恭晴等、高級中學理科數學(上)、台灣、國立編譯館出版、p128-146、2000年
- 四、GeoGebra 教學網站 <http://www.GeoGebra.org/cms/>
- 五、探索拋物館 <http://steiner.math.nthu.edu.tw/ne01/tjy/edu-parabola/index.htm>
- 六、大地旅人 Earth Passengers <http://earthpassengers.ngo.tw/5.htm>
- 七、鄭名山、2007 年 6 月、太陽能發電簡介、物理雙月刊、29 卷 3 期、p707-716
- 八、The Solar Cooking Archive <http://solarcooking.org/>
- 九、台灣綠色校園伙伴網絡 <http://www.greenschool.moe.edu.tw/tags/7333>

附錄(舊型太陽爐)：

在我們用 GeoGebra 軟體繪出單片模型之後，我們首先用厚紙板加上鋁箔紙製作出一個拋物面型太陽爐，但是鋁箔紙易皺，造成反射效果不佳，且厚紙板曲度不易固定，每次測量容易造成誤差，因此我們最後採用壓克力板加上噴漆做為我們的太陽爐。以下為兩種材質的比較：

爐型	材質	焦點(°C)	透明試管(°C)	黑色試管(°C)
舊型爐	厚紙板+鋁箔紙	22.0 → 30.5	22.2 → 34.2	21.1 → 34.7
新型爐	壓克力板+噴漆	22.1 → 37.9	22.0 → 45.4	22.3 → 45.1

表：新舊爐的比較(赤外線燈與爐心的距離為 100 公分，加熱 30 分鐘)



【評語】 030802

1. 能以各種巧思完成自行設計之太陽爐，相當不錯。
2. 能應用自製之太陽爐至炊煮，具有創意。
3. 可以針對提供炊煮之功能，再進一步進行更好之設計，並執行一系列相關之實驗，分析結果。