

# 嘉義市第 38 屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：窺見一室的光——探究光成像的運用

關 鍵 詞：光傳遞、透鏡組合、貓眼裝置

編 號：

# 窺見一室的光——探究光成像的運用

## 摘要

小學四年級認識光的折射、反射；到了五年級，學習透鏡會著重在放大鏡如何讓陽光匯聚一亮點找放大鏡的焦距。然而光線穿透不同透鏡時，產生的變化也不同。所以希望藉由研究平凸透鏡和平凹透鏡來觀測光的照度變化及成像結果。

此外，能源日漸耗竭，過去在島嶼天光利用寶特瓶形成天然的燈源，或是直接在天花板鏤空，讓光線自然空透，都是綠建築工法中很重要的一環，然而引進室內的光線會受限於太陽在天空的位置或時間，所以，結合透鏡的組合，思考如何更有效利用陽光在室內照明的部分。

## 壹、研究動機

我們可以在校園建築常見到樓梯間或廁所會設置玻璃磚或鏤空磚增加「透光」以增加空間照度。想起去年曾看過學姐們進行光穿過透鏡後測量照度與光照面積的實驗，發現距燈源 70 公分，光穿過平凸透鏡進到包鋁箔紙管長 25 公分後會有最大照度；而平凹透鏡在無管長時，有最大的光照面積。這個實驗結果讓我們重新去思考，還有沒有其他方法可以讓光源進到室內產生較大照度和光照面積。

五年級時，老師會讓我們利用放大鏡聚焦在一點，不久就冒起煙來；也讓我們觀察放大鏡距離物體不同距離，成像大小與清晰度也不同，讓我們想到如果利用凸透鏡的成像原理，進行實驗探究，利用生活中常見凸透鏡和凹透鏡及不同組合的裝置，如照相機、顯微鏡、望遠鏡或貓眼等，將這些裝置結合「光傳遞到暗室」的原理，不知道會有什麼令人驚奇的結果產生。



所以，我們嘗試利用透鏡的「穿孔成像」和其他裝置的成像原理進行實驗，探討哪一種透鏡組合，能夠在室內產生最佳照度和光照面積。希望能夠找到最佳透鏡組合模式，實際運用在建築的照明，減少能源的使用，使太陽能發揮最大的功用。

## 貳、研究目的

- 一、探究不同種類的透鏡，其焦距相對於「透鏡與光源之間距離」、「透鏡與成像距離」的改變，對照度和光照面積的影響。(穿孔成像)(一片透鏡)
- 二、探究貓眼二片透鏡成像的設置方式，運用於「光傳遞到暗室」的成效。
- 三、探究望遠鏡二片透鏡成像的設置方式，運用於「光傳遞到暗室」的成效。

## 參、研究設備及器材

- 一、光照裝置：鐵架與燈源（有聚光效果的 50 瓦 LED 投射燈）、智高積木架子、時間定時器。
- 二、測試器材：
  1. 測試儀器：照度計

### 三、透鏡組合：

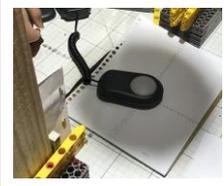
1. 雙凸(+7.2Dpt,  $f$  約 140mm)、平凸(+5.6Dpt,  $f$  約 180mm)
2. 雙凹(-7.2Dpt,  $f$  約 180mm)、平凹(-5.6Dpt,  $f$  約 180mm)

備註： Dpt, 即為「Diopter」, 稱為屈光度或焦度, 是焦距( $f$ )的倒數, 也是度量透鏡或曲面鏡屈光能力的單位, 國際單位制的單位是  $m^{-1}$ 。

3. 雙凸透鏡 ( $f$  約 215mm)

四、塑膠管：管徑 9cm, 管長分別為 3cm、9cm、14.8cm、

### 五、器材照片：

|   |   |   |  |   |   |
|---|---|---|--|---|---|
|  |  |  |  |  |  |
| 透鏡組   | 塑膠管組  | 定位成像板   | 測量架  | 暗房  | 照度計   |

### 六、管徑製作流程：

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  |  |  |
| 四點定位   | 綁線   | 熱熔膠固定  | 完工   |

## 肆、研究過程或方法

### 一、實驗裝置說明

本研究從實驗測試與裝置結構二個面向說明：

#### (一) 實驗測試：

1. 實驗前開燈一小時, 確保光源照度穩定。
2. 為避免燈源照度受燈罩影響, 拆除燈源平面玻璃, 直接置於燈泡正下方進行實驗。
3. 選用平凸、平凹、雙凹三種焦距 18cm 的透鏡和焦距 14cm 的雙凸透鏡, 透鏡直徑 5cm。
4. 本實驗是點光源, 從不同焦距 ( $f$ ) 進入透鏡後, 成像在另一側, 觀測在另一側..不同焦距的成像、光照面積和照度的變化。
5. 單一透鏡實驗時, 透鏡放置在 3cm 厚度、管徑 9cm 的塑膠管上緣。
6. 測試平凸和平凹透鏡, 光線從平面入、凸面或凹面出; 從凸面或凹面入, 平面出。測試其透鏡對成像、照度與光照面積的效果差異。
7. 類貓眼和望遠鏡裝置, 靠近燈源的稱為外鏡; 遠離燈源的稱為內鏡。如右圖。
8. 為觀測不同透鏡的成像, 在燈泡上黏貼一個梯形 (上底 1cm、下底 2cm、高 1cm) 如右圖。方便觀測成像是正立或倒立, 放大或縮小、實像或虛像。

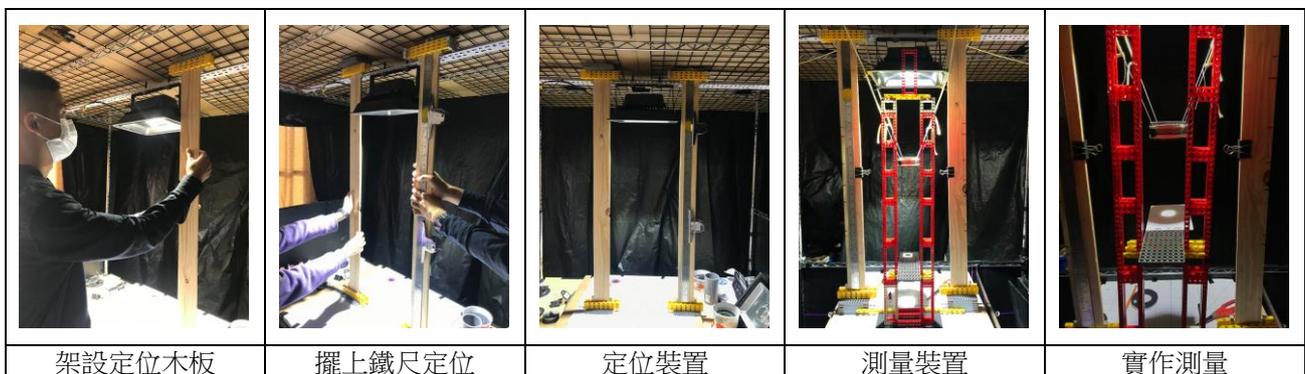
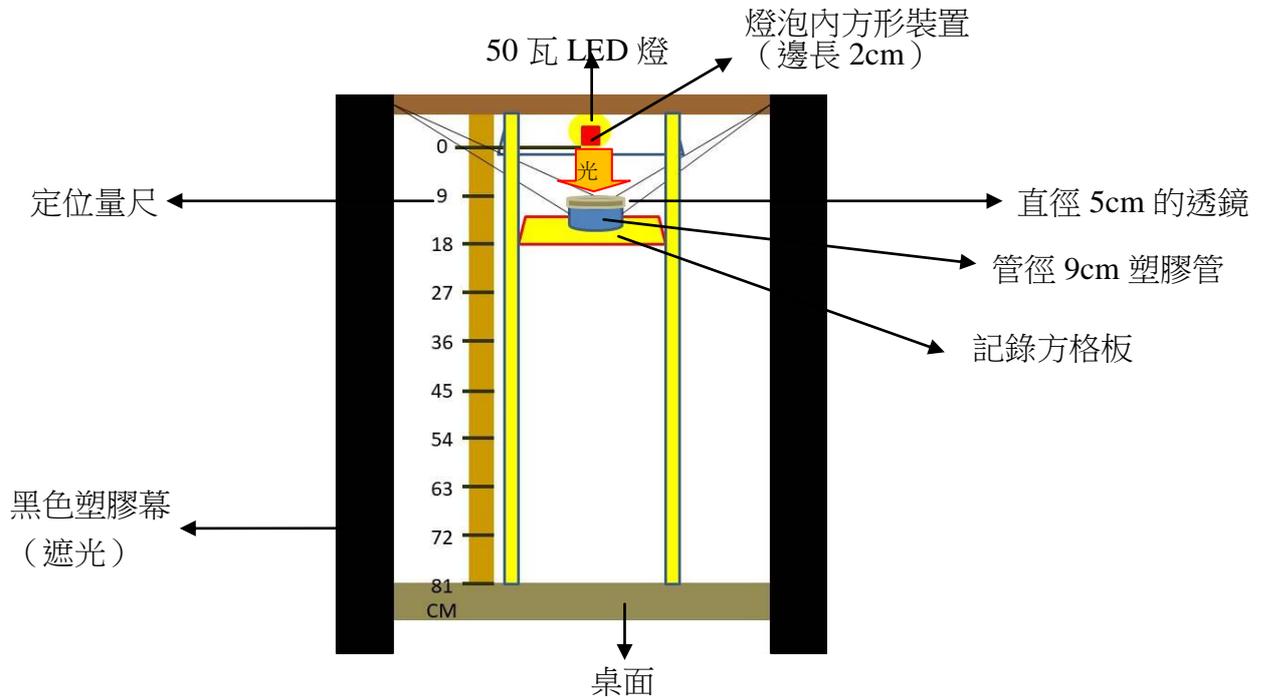


9.觀測紀錄表上的代碼表示如下：

| 代碼       | 圓 A                | 圓 B              | 方形 B               | 梯形 C                              |
|----------|--------------------|------------------|--------------------|-----------------------------------|
| 成像<br>來源 | 管徑大小<br>(口徑 7.6cm) | 透鏡大小<br>(直徑 5cm) | 燈炮內的方形<br>(邊長 2cm) | 燈炮上的梯形紙板<br>(上底 1cm、下底 2cm、高 1cm) |

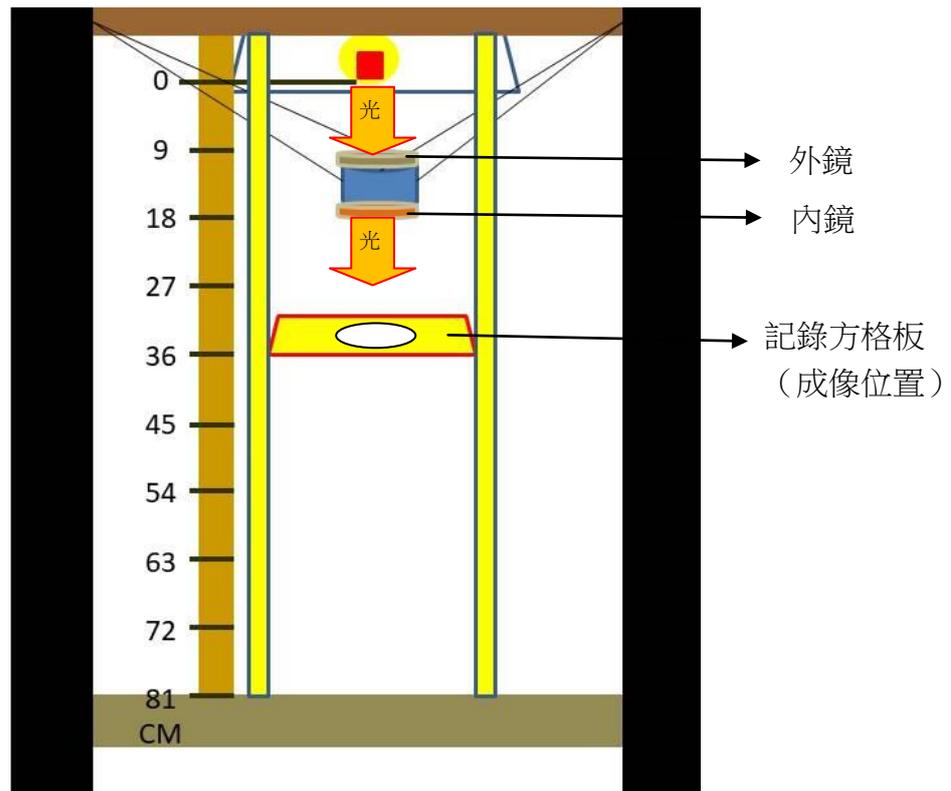
(二) 裝置結構

1.實驗一：單一透鏡測試裝置

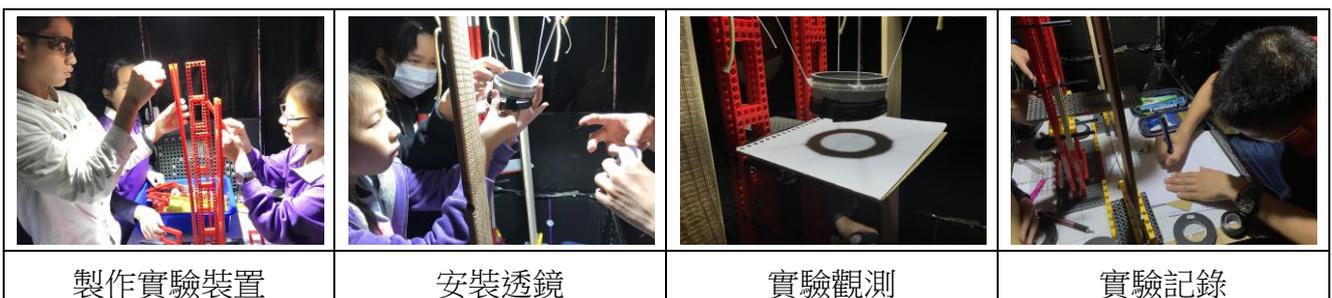
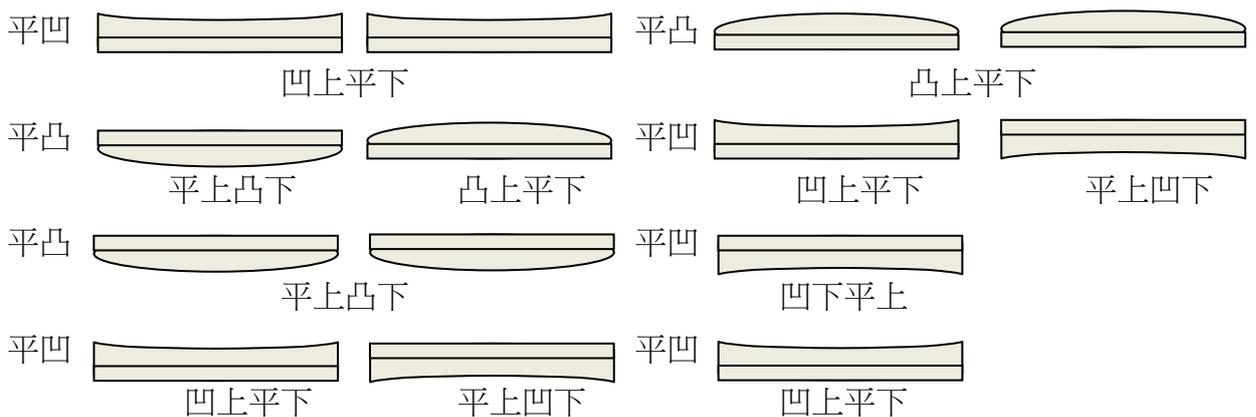


2.實驗二：

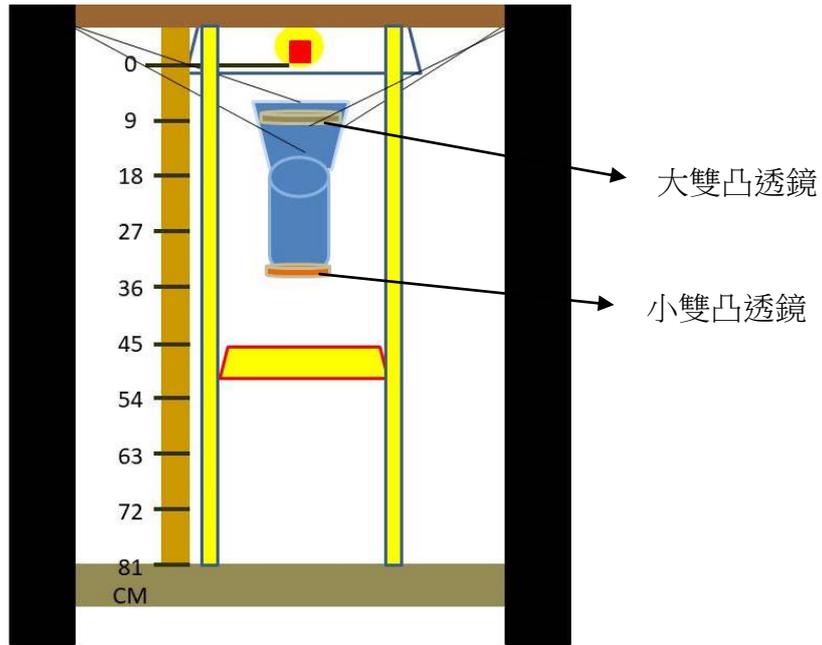
(1) 類貓眼裝置：外鏡靠近燈源，內鏡靠近記錄方格板



(2) 平凹和平凸透鏡的組合



### 3.實驗三：類克卜勒望遠鏡裝置



|        |      |          |          |
|--------|------|----------|----------|
|        |      |          |          |
| 類克卜勒裝置 | 成像結果 | 不同成像焦距結果 | 不同成像焦距結果 |

### 二、實驗原理

| 透鏡種類 | 物與鏡距離                | 鏡與成像距離               | 成像結果   | 物與像同側或異側 |
|------|----------------------|----------------------|--------|----------|
| 凸透鏡  | 物距=無窮遠               | 像距=焦距                | 一亮點    | 亮點在異側焦點上 |
|      | 物距 $>2f$             | $f < \text{像距} < 2f$ | 縮小倒立實像 | 物與像在異側   |
|      | 物距 $=2f$             | 像距 $=2f$             | 等大倒立實像 | 物與像在異側   |
|      | $f < \text{物距} < 2f$ | 像距 $>2f$             | 放大倒立實像 | 物與像在異側   |
|      | 物距 $=1f$             | 像距=無限大               | 無法成像   |          |
|      | $0 < \text{物距} < 1f$ | 像距=無限大               | 正立放大虛像 | 物與像同側    |
| 凹透鏡  | 物距 $>f$              | $0 < \text{像距} < f$  | 縮小正立虛像 | 物與像同側    |
|      | 物距 $=1f$             | $0 < \text{像距} < f$  | 縮小正立虛像 | 物與像同側    |
|      | 物距 $<1f$             | $0 < \text{像距} < f$  | 縮小正立虛像 | 物與像同側    |

資料來源：4-3 光的折射及透鏡 <http://phyworld.idv.tw>

### 三、實驗變項操作

(一) 實驗一：主要針對利用針孔成像原理，探究平凸、平凹透鏡，其焦距相對於「透鏡與光源之間距離」、「透鏡與成像距離」的改變，對照度和光照面積的影響。

1.實驗一-1-1-1：平凸透鏡（凸上平下）與光源在  $0.5f$  時，透鏡與成像距離在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。

(1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：平凸透鏡凸上平下，距燈源  $0.5f$

(2) 實驗步驟：

- ①在燈源上貼一個梯形紙片。
- ②放上平凸透鏡，凸面朝向燈源，調整透鏡和燈源的距離在  $0.5f$ 。
- ③移動成像方格板在距平凸透鏡下方  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  的位置。
- ④在方格板上測量圓形管口、燈源內正方形及梯形紙板的面積大小。
- ⑤取下梯形紙板在方格板上測量照度。

2.實驗一-1-1-2：平凸透鏡（凸下平上）與光源在  $0.5f$  時，透鏡與成像距離在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。

(1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：平凸透鏡（凸下平上），距燈源  $0.5f$

(2) 實驗步驟：

- ①在燈源上貼一個梯形紙片。
- ②放上平凸透鏡，平面朝向燈源，調整透鏡和燈源的距離在  $0.5f$ 。
- ③移動成像方格板在距平凸透鏡下方  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  的位置。
- ④在方格板上測量圓形管口、燈源內正方形及梯形紙板的面積大小。
- ⑤取下梯形紙板在方格板上測量照度。

3.實驗一-1-2-1：平凸透鏡（凸上平下）與光源在  $1.0f$  時，透鏡與成像距離在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。

(1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：平凸透鏡（凸上平下），距燈源  $1.0f$

(2) 實驗步驟：①③④⑤同實驗一-1-1-1、②平凸透鏡與燈源相距  $1.0f$

4.實驗一-1-2-2：平凸透鏡（凸下平上）與光源在  $1.0f$  時，透鏡與成像距離在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。

(1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：平凸透鏡（凸下平上），距燈源  $1.0f$

- (2) 實驗步驟：①③④⑤同實驗一-1-1-2、②平凸透鏡與燈源相距  $1.0f$
- 5.實驗一-1-3-1：平凸透鏡（凸上平下）與光源在  $1.5$  倍焦距時，透鏡與成像距離在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。
- (1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。
- 控制變因：平凸透鏡（凸上平下），距燈源  $1.5f$
- (2) 實驗步驟：①③④⑤同實驗一-1-1-1、②平凸透鏡與燈源相距  $1.5f$
- 6.實驗一-1-3-2：平凸透鏡（凸下平上）與光源在  $1.5$  倍焦距時，透鏡與成像距離在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。
- (1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。
- 控制變因：平凸透鏡（凸下平上），距燈源  $1.5f$
- (2) 實驗步驟：①③④⑤同實驗一-1-1-2、②平凸透鏡與燈源相距  $1.5f$
- 7.實驗一-1-4-1：平凸透鏡（凸上平下）與光源在  $2.0f$  時，透鏡與成像距離在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。
- (1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。
- 控制變因：平凸透鏡（凸上平下），距燈源  $2.0f$
- (2) 實驗步驟：①③④⑤同實驗一-1-1-1、②平凸透鏡與燈源相距  $2.0f$
- 8.實驗一-1-4-2：平凸透鏡（凸下平上）與光源在  $2.0f$  時，透鏡與成像距離在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。
- (1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。
- 控制變因：平凸透鏡（凸下平上）距燈源  $2.0f$
- (2) 實驗步驟：①③④⑤同實驗一-1-1-2、②平凸透鏡與燈源相距  $2.0f$
- 9.實驗一-2-1-1：平凹透鏡（凹上平下）與光源在  $0.5f$  時，透鏡與成像距離在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。
- (1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。
- 控制變因：平凹透鏡（凹上平下）距燈源  $0.5f$
- (2) 實驗步驟：①④⑤同實驗一-1-1-1、②③置換成平凹透鏡，凹上平下。
- 10.實驗一-2-1-2：平凹透鏡（凹下平上）與光源在  $0.5f$  時，透鏡與成像距離在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。
- (1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：平凹透鏡（凹下平上），距燈源  $0.5f$

(2) 實驗步驟：①④⑤同實驗一-1-1-2、②③置換成平凹透鏡，凹下平上。

**11.實驗一-2-2-1：平凹透鏡（凹上平下）與光源在  $1.0f$  時，透鏡與成像距離在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。**

(1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：平凹透鏡（凹上平下），距燈源  $1.0f$

(2) 實驗步驟：①④⑤同實驗一 1-1-1、②③置換成平凹透鏡，凹上平下，距燈源  $1.0f$ 。

**12.實驗一-2-2-2：平凹透鏡（凹下平上）與光源在  $1.0f$  時，透鏡與成像距離在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。**

(1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：平凹透鏡（凹下平上），距燈源  $1.0f$

(2) 實驗步驟：①④⑤同實驗一 1-1-2、②③置換成平凹透鏡，凹下平上，距燈源  $1.0f$ 。

**13.實驗一-2-3-1：平凹透鏡（凹上平下）與光源在  $1.5f$  時，透鏡與成像距離在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。**

(1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：平凹透鏡（凹上平下）距燈源  $1.5f$

(2) 實驗步驟：①④⑤同實驗一 1-1-1、②③置換成平凹透鏡，凹上平下，距燈源  $1.5f$ 。

**14.實驗一-2-3-1：平凹透鏡（凹上平下）與光源在  $1.5f$  時，透鏡與成像距離在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。**

(1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：平凹透鏡（凹下平上）距燈源  $1.5f$

(2) 實驗步驟：①④⑤同實驗一 1-1-2、②③置換成平凹透鏡，凹下平上，距燈源  $1.5f$ 。

**15.實驗一-2-4-1：平凹透鏡（凹上平下）與光源在  $2.0f$  時，透鏡與成像距離在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。**

(1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：平凹透鏡（凹上平下）距燈源  $2.0f$

(2) 實驗步驟：①④⑤同實驗一 1-1-1、②③置換成平凹透鏡，凹上平下，距燈源  $2.0f$ 。

**16.實驗一-2-4-1：平凹透鏡（凹下平上）與光源在  $2.0f$  時，透鏡與成像距離在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。**

(1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：平凹透鏡（凹下平上）距燈源  $2.0f$

(2) 實驗步驟：①④⑤同實驗一 1-1-2、②③置換成平凹透鏡，凹下平上，距燈源  $2.0f$ 。

(二) **實驗二**主要探究貓眼裝置成像的設置方式，運用於「光傳遞到暗室」的成效。「貓眼」，俗稱門鏡，安裝在家中鐵門上。有人敲門時，屋內的人可以通過門鏡看到門外的情形，透過門鏡從屋內看向屋外非常清楚，但是如果從屋外看進屋內，就變得很模糊。貓眼是由兩片透鏡組成，靠門外的是凹透鏡，稱為「外鏡」；靠門內的是凸透鏡，稱為「內鏡」。

**1.實驗二-1-1：探究貓眼的原理，外鏡平凹（凹上平下）和內鏡平凸（凸上平下）透鏡相距  $0.5f$  時，平凸透鏡距成像  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。**

(1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：外鏡平凹和內鏡平凸透鏡相距  $0.5f$ 、平凹透鏡距燈源  $0.5f$ 、凹面朝向燈源

(2) 實驗步驟：

①在燈源上貼一個梯形紙片。

②調整塑膠管和燈源的距離。管長  $9\text{cm}$  塑膠管上緣和燈源距  $0.5f$  處放上外鏡平凹透鏡，塑膠管下端放內鏡平凸透鏡，平面朝上。

③移動成像方格板在距內鏡平凸透鏡下方  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  的位置。

④在方格板上測量圓形管口、燈源內正方形及梯形紙板的面積大小。

⑤取下梯形在方格板上測量照度。

**2.實驗二-1-2：探究貓眼的原理，外鏡平凹（凹上平下）和內鏡平凸（凸下平上）透鏡相距  $0.5f$  時，平凸透鏡距成像  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。**

(1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：外鏡平凹和內鏡平凸透鏡相距  $0.5f$ 、平凹透鏡距燈源  $0.5f$ 、凹面朝向燈源

(2) 實驗步驟：同實驗二-1-1、②置換凸透鏡，凸面朝上。

**3.實驗二-2-1：探究反向操作貓眼的原理，外鏡平凸（凸下平上）和內鏡平凹透鏡（凹下平上）相距  $0.5f$  時，平凹透鏡距成像  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。**

(1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：外鏡平凸和內鏡平凹透鏡相距  $0.5f$ 、外鏡平凸透鏡距燈源  $0.5f$ 、平面朝向燈源。

(2) 實驗步驟：同實驗二-1-1、②外鏡置換成平凸（凸下平上），內鏡置換成平凹（凹下平上）

**4.實驗二-2-2：探究反向操作貓眼的原理，外鏡平凸（凸下平上）和內鏡平凹透鏡（凹上平下）相距  $0.5f$  時，平凹透鏡距成像  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。**

(1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：外鏡平凸和內鏡平凹透鏡相距  $0.5f$ 、外鏡平凸透鏡距燈源  $0.5f$ 、平面朝向燈源。

(2) 實驗步驟：同實驗二-1-1、②外鏡置換成平凸(凸下平上)，內鏡置換成平凹(凹上平下)

**5.實驗二-3-1：探究反向操作貓眼的原理，平凸(凸上平下)和平凹透鏡(凹下平上)相距  $0.5f$  時，平凹透鏡距成像  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。**

(1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：平凸和平凹透鏡相距  $0.5f$ 、平凸透鏡距燈源  $0.5f$ 、凸面朝向燈源

(2) 實驗步驟：同實驗二-1-1、②外鏡置換成平凸(凸上平下)，內鏡置換成平凹(凹下平上)

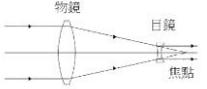
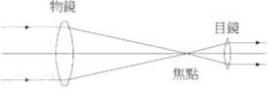
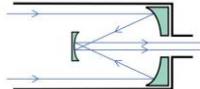
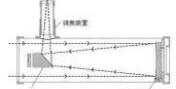
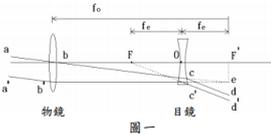
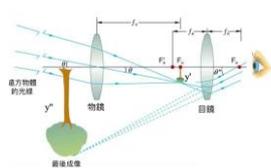
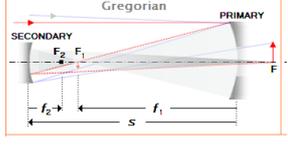
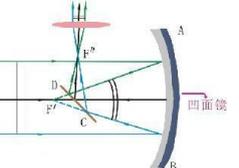
**6.實驗二-3-2：探究反向操作貓眼的原理，平凸(凸上平下)和平凹透鏡(凹上平下)相距  $0.5f$  時，平凹透鏡距成像  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和照面積。**

(1) 操控變因：透鏡與成像在  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的位置，測量照度與光照面積。

控制變因：平凸和平凹透鏡相距  $0.5f$ 、平凸透鏡距燈源  $0.5f$ 、平凸透鏡凸面朝向燈源

(2) 實驗步驟：同實驗二-1-1、②外鏡置換成平凸(凸上平下)，內鏡置換成平凹(凹上平下)

(三) **實驗三**主要是探究光線透過望遠鏡的產生的照度與光照面積。本實驗仿照克卜勒和格里高利望遠鏡的原理，進行光線穿過透鏡後的照度與光照面積表現，進行光線進入透鏡後反射與折射，產生在目鏡外不同距離的照度與面積，由於望遠鏡物鏡焦距除以目鏡焦距所得之商就是望遠鏡的倍率，不過一般天文望遠鏡比較重視口徑，因為目鏡可以換，所以採用口徑較大的凸透鏡當作物鏡，口徑較小的當作目鏡。藉由凸透鏡或是凹面鏡當作物鏡（對著光源的鏡片）和目鏡的不同組合進行實驗觀測。但伽利略、格里高利和牛頓礙於實驗器材取得不易，所以此次實驗暫時不列入實驗操作。試將四位科學家的望遠鏡進行比較如下表：

| 類型   | 伽利略望遠鏡  | 克卜勒望遠鏡  | 格里高利望遠鏡   | 牛頓望遠鏡   |
|------|---|---|---|---|
| 年代   | 1609  | 1611  | 1663  | 1668  |
| 原理   | 折射式   | 折射式   | 反射式   | 反射式   |
| 透鏡組合 | 物鏡：雙凸<br>目鏡：雙凹  | 物鏡：雙凸（焦距大）<br>目鏡：雙凸（焦距小）  | 物鏡：平凹<br>目鏡：平凹  | 物鏡：平凹<br>平面鏡反射光線  |
| 裝置   |          |    |                             |    |
| 優點   | 簡單易取得   | 視野開闊、光線充足、呈像清晰  | 當物鏡採用拋物面時，可消去球差。消除了色差，成本低，易於攜帶  | 價格便宜，光線不需經過玻璃不會產生色差。只需處理一個球面鏡。短焦有較大的視野。   |
| 成像   | 倒立  | 倒立  | 正立  | 倒立  |
| 缺點   | 倍數較低、高倍率時視野較小，不易安置瞄準，較不實用。  | 產生色差、上下左右顛倒   | 視野較小  | 不能進行地面觀測，平面鏡使光損失較多。   |
| 備註   | <br>圖一 |    |                           |    |
| 圖片來源 | <a href="https://yamol.tw/item_essay">https://yamol.tw/item_essay</a>                     | <a href="http://kiwiphysics.blogspot.com/2018/09/blog-post.html">http://kiwiphysics.blogspot.com/2018/09/blog-post.html</a> | <a href="https://www.telescope-optics.net/two-mirror.htm">https://www.telescope-optics.net/two-mirror.htm</a> | <a href="https://baike.baidu.com/item/%E7%89%9B%E9%A1%BF%E6%9C%9B%E8%BF%9C%E9%95%9C">https://baike.baidu.com/item/%E7%89%9B%E9%A1%BF%E6%9C%9B%E8%BF%9C%E9%95%9C</a> |

1.實驗三-1-1：探究克卜勒原理，雙凸大透鏡距燈源 0.5f 時，雙凸大透鏡（焦距 215mm）和雙凸小透鏡（焦距 180mm）間的距離 23cm，對成像在 1.0f、1.5f 和 2.0f（f 表焦距）的照度和光照面積。

(1) 操控變因：大凸透鏡與小凸透鏡間距 23cm

控制變因：雙凸大透鏡距燈源 0.5f 時

(2) 實驗步驟：

- ①將大透鏡放在紙碗中固定。
- ②將塑膠管長相連接至需要的長度（小於二個焦距和，讓二個透鏡的焦點不重疊，減少聚焦產生的危險）
- ③移動方格記錄板，在  $1.0f$ 、 $1.5f$  和  $2.0f$  的成像距離。
- ④記錄照度和光照面積

**2.實驗三-1-2：探究克卜勒原理，雙凸大透鏡距燈源  $0.5f$  時，雙凸大透鏡（焦距  $215\text{mm}$ ）和雙凸小透鏡（焦距  $180\text{mm}$ ）間的距離  $26\text{cm}$ ，對成像在  $1.0f$ 、 $1.5f$  和  $2.0f$ （ $f$  表焦距）的照度和光照面積。**

(1) 操控變因：大凸透鏡與小凸透鏡間距  $26\text{cm}$

控制變因：雙凸大透鏡距燈源  $0.5f$  時

(2) 實驗步驟：同實驗三-1-1；改變②雙透鏡的間距

**3.實驗三-1-3：探究克卜勒原理，雙凸大透鏡距燈源  $0.5f$  時，雙凸大透鏡（焦距  $215\text{mm}$ ）和雙凸小透鏡（焦距  $180\text{mm}$ ）間的距離  $29\text{cm}$ ，對成像在  $1.0f$ 、 $1.5f$  和  $2.0f$ （ $f$  表焦距）的照度和光照面積。**

(1) 操控變因：大凸透鏡與小凸透鏡間距  $29\text{cm}$

控制變因：雙凸大透鏡距燈源  $0.5f$  時

(2) 實驗步驟：同實驗三-1-1；改變②雙透鏡的間距

**4.實驗三-1-4：探究克卜勒原理，雙凸大透鏡距燈源  $0.5f$  時，雙凸大透鏡（焦距  $215\text{mm}$ ）和雙凸小透鏡（焦距  $180\text{mm}$ ）間的距離  $35\text{cm}$ ，對成像在  $1.0f$ 、 $1.5f$  和  $2.0f$ （ $f$  表焦距）的照度和光照面積。**

(1) 操控變因：大凸透鏡與小凸透鏡間距  $35\text{cm}$

控制變因：雙凸大透鏡距燈源  $0.5f$  時

(2) 實驗步驟：同實驗三-1-1；改變②雙透鏡的間距

## 伍、研究結果與討論

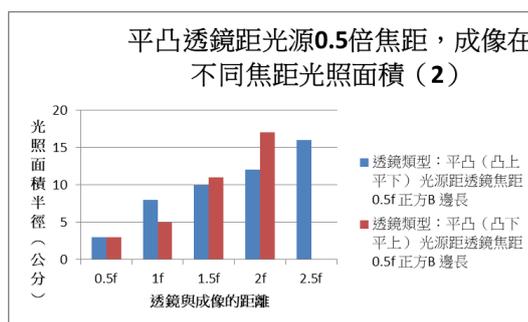
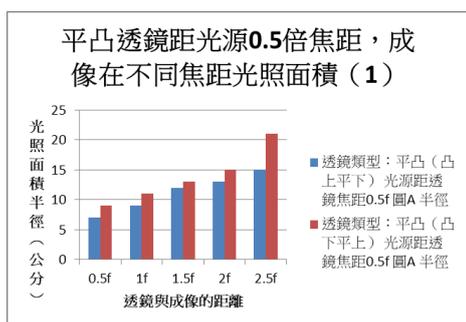
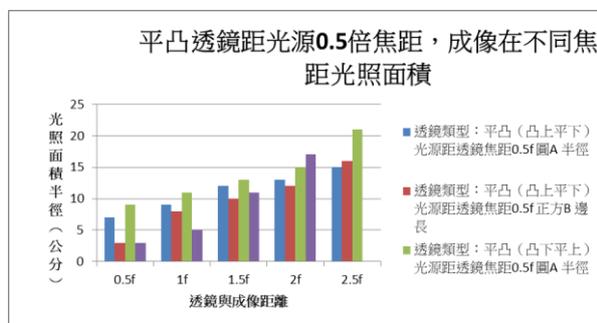
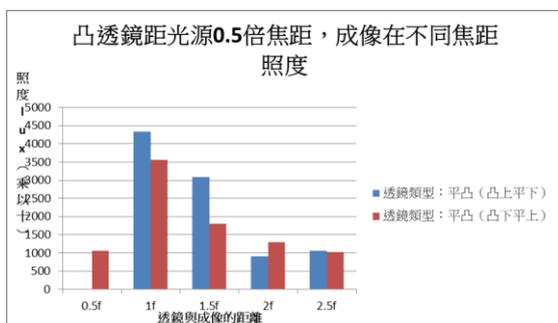
(一) 實驗一：主要針對平凸、平凹透鏡，其焦距相對於「透鏡與光源之間距離」、「透鏡與成像距離」的改變，對照度和光照面積的影響。

1.實驗一-1-1：平凸透鏡與光源在 0.5f 時，透鏡與成像距離在 0.5f、1.0f、1.5f、2.0f 和 2.5f (f 表焦距) 的照度和光照面積。

### (1) 記錄與結果

| 控制變因             |                                      | 透鏡類型：平凸 (凸上平下) |    |     |    |     | 透鏡類型：平凸 (凸下平上) |     |    |     |    |      |
|------------------|--------------------------------------|----------------|----|-----|----|-----|----------------|-----|----|-----|----|------|
|                  |                                      | 圓 A            |    | 方 B |    | 梯 C | 照度 (X10) Lux   | 圓 A |    | 方 B |    | 梯 C  |
| 成像形狀             |                                      | 半徑             | 邊長 | 上底  | 下底 | 高   |                | 半徑  | 邊長 | 上底  | 下底 | 高    |
| 成像長度 (cm)        |                                      | 半徑             | 邊長 | 上底  | 下底 | 高   | 半徑             | 邊長  | 上底 | 下底  | 高  |      |
| 操<br>控<br>變<br>因 | 透<br>鏡<br>與<br>像<br>距<br>的<br>距<br>離 | 0.5f           | 7  | 3   |    |     | 太大             | 9   | 3  |     |    | 1063 |
|                  |                                      | 1f             | 9  | 8   |    |     | 4330           | 11  | 5  |     |    | 3550 |
|                  |                                      | 1.5f           | 12 | 10  |    |     | 3080           | 13  | 11 |     |    | 1800 |
|                  |                                      | 2f             | 13 | 12  |    |     | 902            | 15  | 17 |     |    | 1291 |
|                  |                                      | 2.5f           | 15 | 16  |    |     | 1064           | 21  |    |     |    | 1025 |

### (2) 實驗統計表



### (3) 實驗討論

平凸透鏡，凸面靠近光源時照度較平面靠近光源時，在不同的成像距離，照度均較大。凸朝上時，在 0.5f 照度太大，照度計測不出數值。

光照面積則分二種，一種是透過管徑呈現出的圓形，一種是燈源中的正方形圖形。當成像距離透鏡愈遠時，管徑呈現的圓形和燈源的正方形均變大。但是平面朝燈源的實驗中，2.5f 時，燈源的正方形已消失。由此可告，燈源 (物體) 在 0.5f 內，則光線穿透凸透鏡在二倍焦距外，光線發散無法成像。

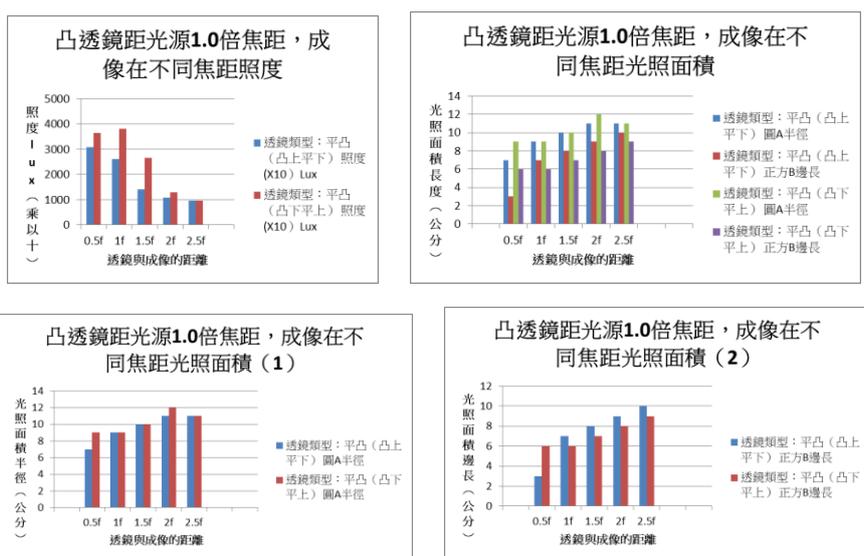
凸面朝光源，在 0.5f 的平凸透鏡可以產生較大的照度和光照面積。

2.實驗一-1-2：平凸透鏡與光源在 1.0f 時，透鏡與成像距離在 0.5f、1.0f、1.5f、2.0f 和 2.5f (f 表焦距) 的照度和光照面積。

(1) 記錄與結果

| 控制變因      |          | 透鏡類型：平凸 (凸上平下) |    |     |    |     |    | 透鏡類型：平凸 (凸下平上) |     |    |     |   |     |      |
|-----------|----------|----------------|----|-----|----|-----|----|----------------|-----|----|-----|---|-----|------|
|           |          | 圓 A            |    | 方 B |    | 梯 C |    | 照度 (X10) Lux   | 圓 A |    | 方 B |   | 梯 C |      |
| 成像形狀      |          | 半徑             | 邊長 | 上底  | 下底 | 高   | 半徑 |                | 邊長  | 上底 | 下底  | 高 |     |      |
| 成像長度 (cm) |          | 半徑             | 邊長 | 上底  | 下底 | 高   | 半徑 | 邊長             | 上底  | 下底 | 高   |   |     |      |
| 操控變因      | 透鏡與像距的距離 | 0.5f           | 7  | 3   |    |     |    | 3090           | 9   | 6  |     |   |     | 3650 |
|           |          | 1f             | 9  | 7   |    |     |    | 2600           | 9   | 6  |     |   |     | 3820 |
|           |          | 1.5f           | 10 | 8   |    |     |    | 1400           | 10  | 7  |     |   |     | 2650 |
|           |          | 2f             | 11 | 9   |    |     |    | 1078           | 12  | 8  |     |   |     | 1283 |
|           |          | 2.5f           | 11 | 10  |    |     |    | 968            | 11  | 9  |     |   |     | 967  |

(2) 實驗統計表



(3) 實驗討論

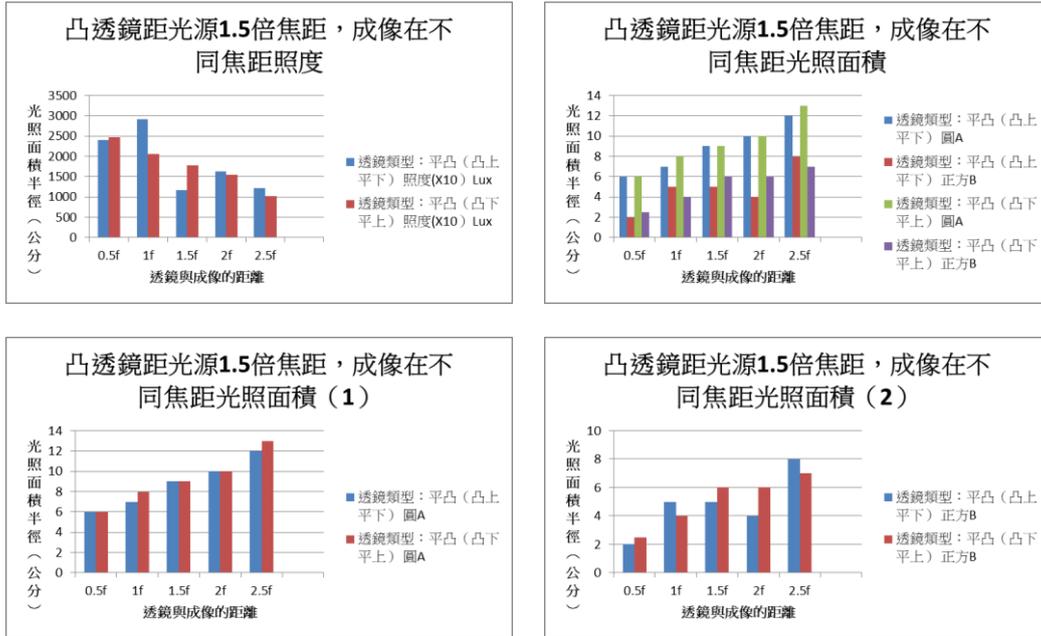
從實驗中可以看出平凸透鏡平面接近光源在 1 倍焦距時照度最大，光照面積透過管徑，凸面朝下的圓面積大於凸面朝上向光源；在燈源中的正方形大小，則以凸面朝上成像大於凸面朝下。

3.實驗一-1-3：平凸透鏡與光源在 1.5 倍焦距時，透鏡與成像距離在 0.5f、1.0f、1.5f、2.0f 和 2.5f (f 表焦距) 的照度和光照面積。

(1) 記錄與結果

| 控制變因      |          | 透鏡類型：平凸 (凸上平下) |    |     |    |     |    | 透鏡類型：平凸 (凸下平上) |     |     |     |   |     |      |
|-----------|----------|----------------|----|-----|----|-----|----|----------------|-----|-----|-----|---|-----|------|
|           |          | 圓 A            |    | 方 B |    | 梯 C |    | 照度 (X10) Lux   | 圓 A |     | 方 B |   | 梯 C |      |
| 成像形狀      |          | 半徑             | 邊長 | 上底  | 下底 | 高   | 半徑 |                | 邊長  | 上底  | 下底  | 高 |     |      |
| 成像長度 (cm) |          | 半徑             | 邊長 | 上底  | 下底 | 高   | 半徑 | 邊長             | 上底  | 下底  | 高   |   |     |      |
| 操控變因      | 透鏡與像距的距離 | 0.5f           | 6  | 2   |    |     |    | 2400           | 6   | 2.5 |     |   |     | 2470 |
|           |          | 1f             | 7  | 5   |    |     |    | 2920           | 8   | 4   |     |   |     | 2060 |
|           |          | 1.5f           | 9  | 5   |    |     |    | 1170           | 9   | 6   |     |   |     | 1779 |
|           |          | 2f             | 10 | 4   |    |     |    | 1634           | 10  | 6   |     |   |     | 1551 |
|           |          | 2.5f           | 12 | 8   |    |     |    | 1213           | 13  | 7   |     |   |     | 1019 |

## (2) 實驗統計表



## (3) 實驗討論

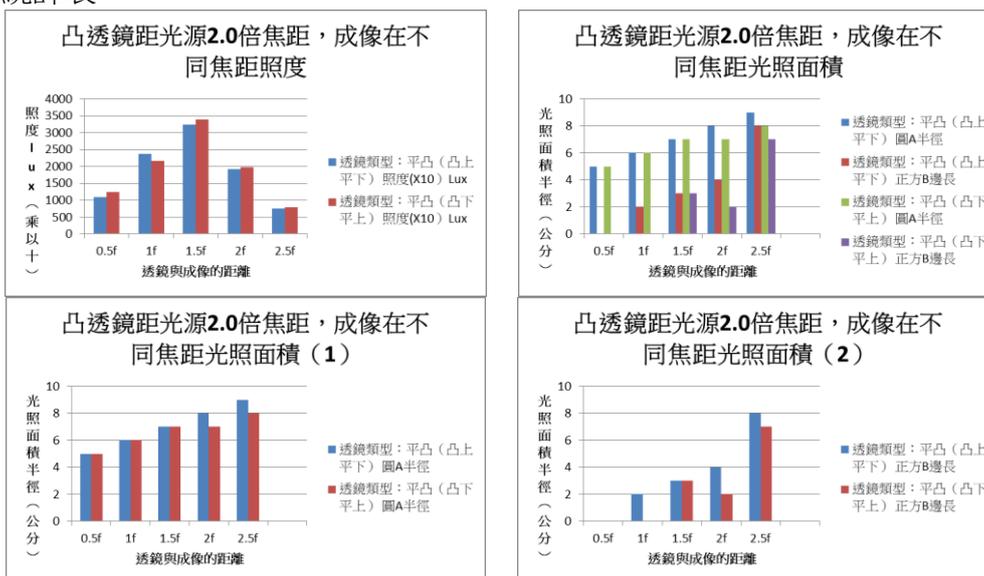
凸面靠近光源的照度在成像 1 倍焦距的照度最大；圓形光照面積凸下平上在 2.5f 面積最大。燈源內正方形成像則是凸上平下在 2.5f 最大。凸透鏡成像 2f 外有放大倒立實像。

## 4.實驗一-1-4：平凸透鏡與光源在 2.0f 時，透鏡與成像距離在 0.5f、1.0f、1.5f、2.0f 和 2.5f（f 表焦距）的照度和光照光面積。

### (1) 記錄與結果

| 控制變因      |          | 透鏡類型：平凸（凸上平下） |    |     |    |     | 透鏡類型：平凸（凸下平上） |      |    |     |    |              |      |      |
|-----------|----------|---------------|----|-----|----|-----|---------------|------|----|-----|----|--------------|------|------|
|           |          | 圓 A           |    | 方 B |    | 梯 C | 照度 (X10) Lux  | 圓 A  |    | 方 B |    | 照度 (X10) Lux |      |      |
| 成像形狀      |          | 半徑            | 邊長 | 上底  | 下底 | 高   |               | 半徑   | 邊長 | 上底  | 下底 |              | 高    |      |
| 成像長度 (cm) |          | 透鏡與像距的距離      |    |     |    |     |               |      |    |     |    |              |      |      |
| 操控變因      | 透鏡與像距的距離 | 0.5f          | 5  |     |    |     | 1090          | 5    | x  |     |    |              | 1236 |      |
|           |          | 1f            | 6  | 2   |    |     | 2370          | 6    | x  |     |    |              | 2160 |      |
|           |          | 1.5f          | 7  | 3   |    |     | 3230          | 7    | 3  |     |    |              | 3380 |      |
|           |          | 2f            | 8  | 4   | 1  | 2   | 1             | 1927 | 7  | 2   | 1  | 2            | 1    | 1985 |
|           |          | 2.5f          | 9  | 8   | 模糊 |     |               | 752  | 8  | 7   | 模糊 |              |      | 783  |

## (2) 實驗統計表



## (3) 實驗討論

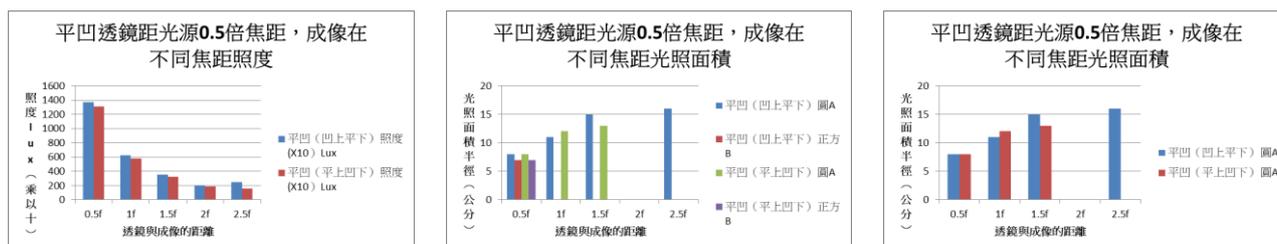
平凸透鏡凸面朝下，在 1.5f 照度最大，在成像 2.0f 有梯形圖形產生。凸面朝上圓形光照面積在成像 2.5f 有最大面積產生。同樣的光源內的正方形亦是凸面朝上在 2.5f 有最大面積。符合凸透鏡成像 2f 外有放大倒立實像。

5.實驗一-2-1：平凹透鏡與光源在 0.5f 時，透鏡與成像距離在 0.5f、1.0f、1.5f、2.0f 和 2.5f (f 表焦距) 的照度和光照面積。

### (1) 記錄與結果

| 控制變因             |                                      | 透鏡類型：平凹(凹上平下) |     |     |    |   | 透鏡類型：平凹(凹下平上) |     |     |     |    |   |              |     |
|------------------|--------------------------------------|---------------|-----|-----|----|---|---------------|-----|-----|-----|----|---|--------------|-----|
| 成像形狀             |                                      | 圓 A           | 方 B | 梯 C |    |   | 照度 (X10) Lux  | 圓 A | 方 B | 梯 C |    |   | 照度 (X10) Lux |     |
| 成像長度 (cm)        |                                      | 半徑            | 邊長  | 上底  | 下底 | 高 |               | 半徑  | 邊長  | 上底  | 下底 | 高 |              |     |
| 操<br>控<br>變<br>因 | 透<br>鏡<br>與<br>像<br>距<br>的<br>距<br>離 | 0.5f          | 8   | 7   |    |   | 1372          | 8   | 7   |     |    |   | 1312         |     |
|                  |                                      | 1f            | 11  |     |    |   | 627           | 12  |     |     |    |   | 577          |     |
|                  |                                      | 1.5f          | 15  |     |    |   | 352           | 13  |     |     |    |   | 320          |     |
|                  |                                      | 2f            |     |     |    |   | 202           |     |     |     |    |   |              | 186 |
|                  |                                      | 2.5f          | 16  |     |    |   | 245           |     |     |     |    |   |              | 161 |

## (2) 實驗統計表



## (3) 實驗討論

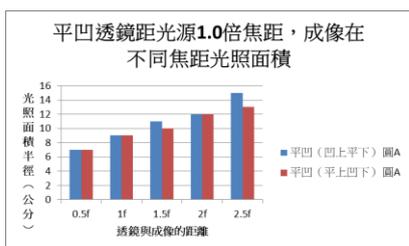
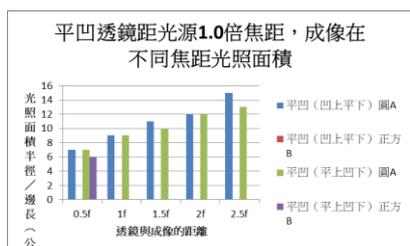
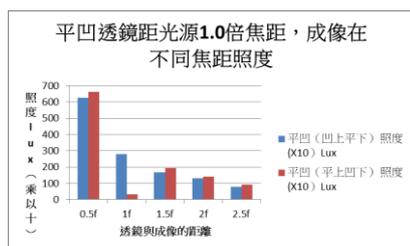
平凹透鏡在 0.5f 有最大的照度；凹透鏡在成像 0.5f 時的光圈是光線穿過管子直接投射在成像板上形成圓形。

6.實驗一-2-2：平凹透鏡與光源在 1.0f 時，透鏡與成像距離在 0.5f、1.0f、1.5f、2.0f 和 2.5f (f 表焦距) 的照度和光照面積。

(1) 記錄與結果

| 控制變因      |          | 透鏡類型：平凹（凹上平下） |     |     |    |   | 透鏡類型：平凹（凹下平上） |     |     |     |    |   |              |
|-----------|----------|---------------|-----|-----|----|---|---------------|-----|-----|-----|----|---|--------------|
| 成像形狀      |          | 圓 A           | 方 B | 梯 C |    |   | 照度 (X10) Lux  | 圓 A | 方 B | 梯 C |    |   | 照度 (X10) Lux |
| 成像長度 (cm) |          | 半徑            | 邊長  | 上底  | 下底 | 高 |               | 半徑  | 邊長  | 上底  | 下底 | 高 |              |
| 操控變因      | 透鏡與像距的距離 | 0.5f          | 7   |     |    |   | 626           | 7   | 6   |     |    |   | 661          |
|           |          | 1f            | 9   |     |    |   | 279           | 9   |     |     |    |   | 34           |
|           |          | 1.5f          | 11  |     |    |   | 167           | 10  |     |     |    |   | 194          |
|           |          | 2f            | 12  |     |    |   | 130           | 12  |     |     |    |   | 142          |
|           |          | 2.5f          | 15  |     |    |   | 80            | 13  |     |     |    |   | 91           |

(2) 實驗統計表



(3) 實驗討論

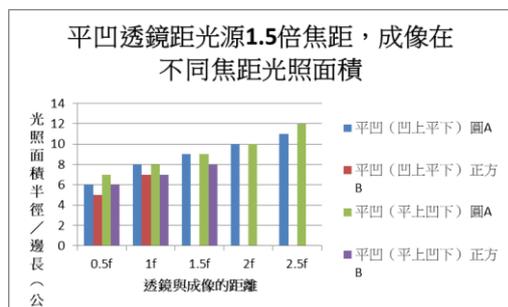
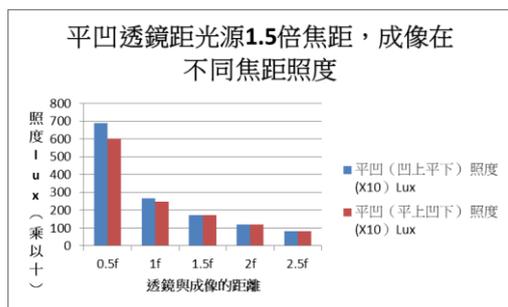
照度在 0.5f 最大，光照面積在 2.5f 最大。

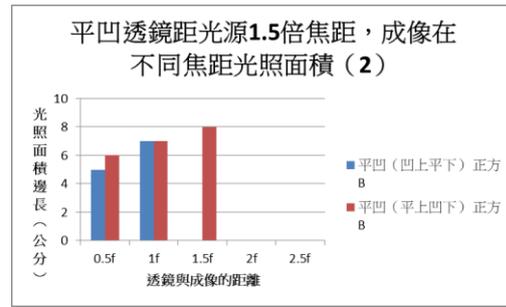
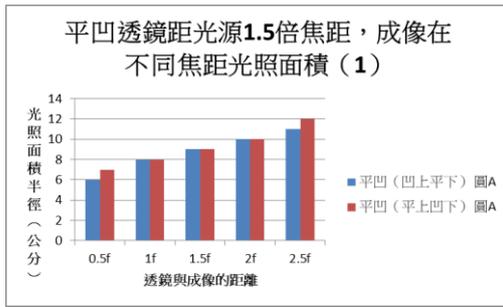
7.實驗一-2-3：平凹透鏡與光源在 1.5f 時，透鏡與成像距離在 0.5f、1.0f、1.5f、2.0f 和 2.5f (f 表焦距) 的照度和光照面積。

(1) 記錄與結果

| 控制變因      |          | 透鏡類型：平凹（凹上平下） |     |     |    |   | 透鏡類型：平凹（凹下平上） |     |     |     |    |   |              |
|-----------|----------|---------------|-----|-----|----|---|---------------|-----|-----|-----|----|---|--------------|
| 成像形狀      |          | 圓 A           | 方 B | 梯 C |    |   | 照度 (X10) Lux  | 圓 A | 方 B | 梯 C |    |   | 照度 (X10) Lux |
| 成像長度 (cm) |          | 半徑            | 邊長  | 上底  | 下底 | 高 |               | 半徑  | 邊長  | 上底  | 下底 | 高 |              |
| 操控變因      | 透鏡與像距的距離 | 0.5f          | 6   | 5   |    |   | 689           | 7   | 6   |     |    |   | 603          |
|           |          | 1f            | 8   | 7   |    |   | 266           | 8   | 7   |     |    |   | 247          |
|           |          | 1.5f          | 9   |     |    |   | 174           | 9   | 8   |     |    |   | 173          |
|           |          | 2f            | 10  |     |    |   | 120           | 10  |     |     |    |   | 121          |
|           |          | 2.5f          | 11  |     |    |   | 81            | 12  |     |     |    |   | 82           |

(2) 實驗統計表





(3) 實驗討論

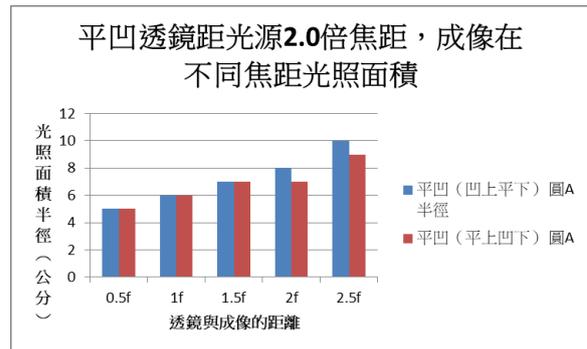
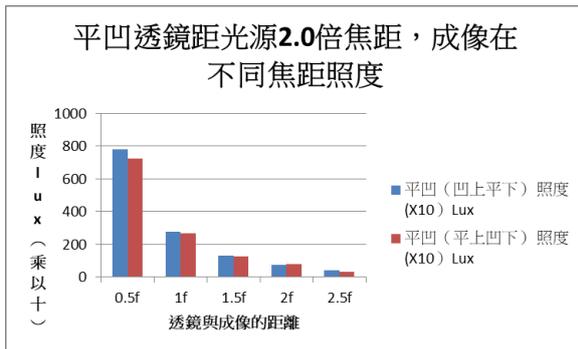
平凸透鏡在 0.5f 內的照度較大，但在 2.5f 時的光照面積較大。

8.實驗一-2-4：平凹透鏡與光源在 2.0f 時，透鏡與成像距離在 0.5f、1.0f、1.5f、2.0f 和 2.5f (f 表焦距) 的照度和光照光面積。

(1) 記錄與結果

| 控制變因      |          | 透鏡類型：平凹(凹上平下) |     |     |    |   | 透鏡類型：平凹(凹下平上) |     |     |     |    |   |              |
|-----------|----------|---------------|-----|-----|----|---|---------------|-----|-----|-----|----|---|--------------|
| 成像形狀      |          | 圓 A           | 方 B | 梯 C |    |   | 照度 (X10) Lux  | 圓 A | 方 B | 梯 C |    |   | 照度 (X10) Lux |
| 成像長度 (cm) |          | 半徑            | 邊長  | 上底  | 下底 | 高 |               | 半徑  | 邊長  | 上底  | 下底 | 高 |              |
| 操控變因      | 透鏡與像距的距離 | 0.5f          | 5   |     |    |   | 782           | 5   | 大圓  |     |    |   | 724          |
|           |          | 1f            | 6   |     |    |   | 278           | 6   | ?   |     |    |   | 268          |
|           |          | 1.5f          | 7   |     |    |   | 133           | 7   |     |     |    |   | 128          |
|           |          | 2f            | 8   |     |    |   | 77            | 7   |     |     |    |   | 78           |
|           |          | 2.5f          | 10  |     |    |   | 40            | 9   |     |     |    |   | 32           |

(2) 實驗統計表



(3) 實驗討論

照度在 0.5f 最大，光照面積在 2.5f 最大。

(二) 實驗一總表

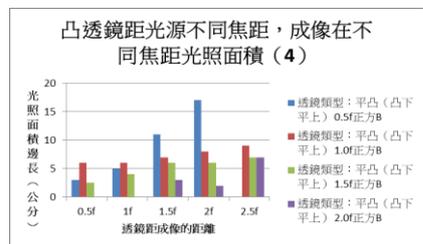
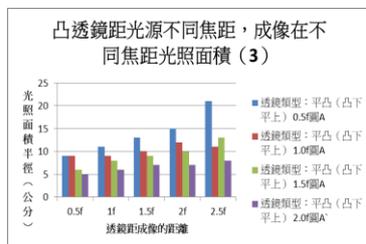
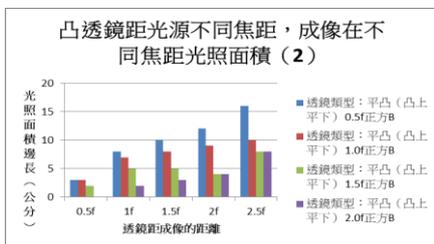
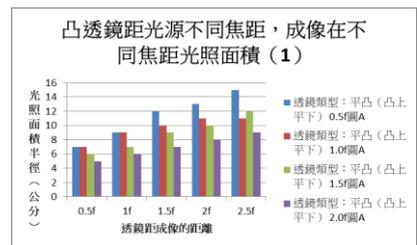
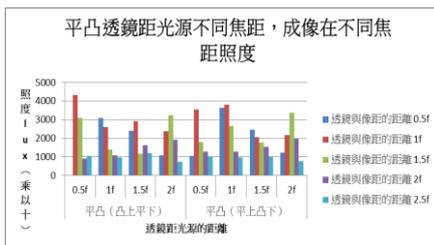
1. 單一平凸透鏡

(1) 記錄與結果

| 透鏡類型                    |      | 平凸 (凸上平下) |      |      |      | 平凸 (平上凸下) |      |      |      |
|-------------------------|------|-----------|------|------|------|-----------|------|------|------|
| 光源距透鏡焦距照<br>度 (X10) lux |      | 0.5f      | 1f   | 1.5f | 2f   | 0.5f      | 1f   | 1.5f | 2f   |
| 透鏡與像<br>距的距離            | 0.5f | 太大        | 3090 | 2400 | 1090 | 1063      | 3650 | 2470 | 1236 |
|                         | 1f   | 4330      | 2600 | 2920 | 2370 | 3550      | 3820 | 2060 | 2160 |
|                         | 1.5f | 3080      | 1400 | 1170 | 3230 | 1800      | 2650 | 1779 | 3380 |
|                         | 2f   | 902       | 1078 | 1634 | 1927 | 1291      | 1283 | 1551 | 1985 |
|                         | 2.5f | 1064      | 968  | 1213 | 752  | 1025      | 967  | 1019 | 783  |

| 透鏡與<br>像距的<br>距離 | 凸上平下        |             |             |             |             |             |             |             | 凸下平上        |             |             |             |             |             |             |             |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                  | 0.5f<br>圓 A | 1.0f<br>圓 A | 1.5f<br>圓 A | 2.0f<br>圓 A | 0.5f<br>方 B | 1.0f<br>方 B | 1.5f<br>方 B | 2.0f<br>方 B | 0.5f<br>圓 A | 1.0f<br>圓 A | 1.5f<br>圓 A | 2.0f<br>圓 A | 0.5f<br>方 B | 1.0f<br>方 B | 1.5f<br>方 B | 2.0f<br>方 B |
| 0.5f             | 7           | 7           | 6           | 5           | 3           | 3           | 2           |             | 9           | 9           | 6           | 5           | 3           | 6           | 2.5         |             |
| 1f               | 9           | 9           | 7           | 6           | 8           | 7           | 5           | 2           | 11          | 9           | 8           | 6           | 5           | 6           | 4           |             |
| 1.5f             | 12          | 10          | 9           | 7           | 10          | 8           | 5           | 3           | 13          | 10          | 9           | 7           | 11          | 7           | 6           | 3           |
| 2f               | 13          | 11          | 10          | 8           | 12          | 9           | 4           | 4           | 15          | 12          | 10          | 7           | 17          | 8           | 6           | 2           |
| 2.5f             | 15          | 11          | 12          | 9           | 16          | 10          | 8           | 8           | 21          | 11          | 13          | 8           |             | 9           | 7           | 7           |

(2) 實驗統計表



(3) 實驗討論：

- ① 凸透鏡距光源 0.5f 有最大照度。
- ② 平凸透鏡凸面朝向燈源和平面朝向燈源，成像在 0.5f、1.0f、1.5f、2.0f 和 2.5f 的照度和光照面積不盡相同。
- ③ 圓 A 代表管徑，無論距光源 0.5 以上，光線進到管子再從透鏡穿透出來的光圈都大於等於管口。
- ④ 凸上平下距光源 2.0f，在 1.0f 成像與燈炮中的方形一樣大；凸下平下在距光源 2.0f，成像在

2f 上的大小與燈炮中的方形一樣大。後者符合凸透鏡成像原理；而前者提早在 1.0f 呈現，推測是光線在 1.0f 會聚焦，但非平行光，所以無法聚在一亮點，僅能呈現燈炮內方形的大小。⑤ 燈源介於 1.0f 和 2.0f 間，成像在 2f 外（2.5f）有最大方形面積，符合凸透鏡在 2f 外（2.5f）有放大倒立實像。

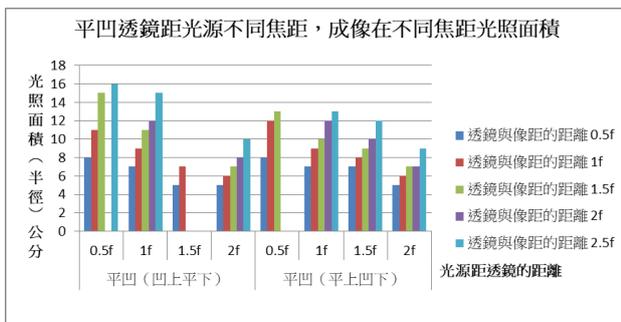
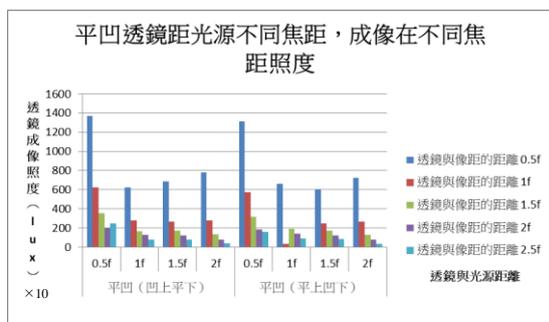
## 2. 平凹透鏡實驗結果

### (1) 記錄與結果

| 透鏡類型     |      | 平凹（凹上平下） |     |      |     | 平凹（凹下平上） |     |      |     |
|----------|------|----------|-----|------|-----|----------|-----|------|-----|
| 光源距透鏡焦距  |      | 0.5f     | 1f  | 1.5f | 2f  | 0.5f     | 1f  | 1.5f | 2f  |
| 透鏡與像距的距離 | 0.5f | 1372     | 626 | 689  | 782 | 1312     | 661 | 603  | 724 |
|          | 1f   | 627      | 279 | 266  | 278 | 577      | 340 | 247  | 268 |
|          | 1.5f | 352      | 167 | 174  | 133 | 320      | 194 | 173  | 128 |
|          | 2f   | 202      | 130 | 120  | 77  | 186      | 142 | 121  | 78  |
|          | 2.5f | 245      | 80  | 81   | 40  | 161      | 91  | 82   | 32  |

| 透鏡類型        |      | 平凹（凹上平下） |     |     |     |      |     |     |     | 平凹（凹下平上） |     |     |     |      |     |     |     |
|-------------|------|----------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| 光源距透鏡焦距     |      | 0.5f     |     | 1f  |     | 1.5f |     | 2f  |     | 0.5f     |     | 1f  |     | 1.5f |     | 2f  |     |
| 光照面積（半徑／邊長） |      | 圓 A      | 方 B | 圓 A | 方 B | 圓 A  | 方 B | 圓 A | 方 B | 圓 A      | 方 B | 圓 A | 方 B | 圓 A  | 方 B | 圓 A | 方 B |
| 透鏡與像距的距離    | 0.5f | 8        | 7   | 7   | 6   | 5    | 5   | 8   | 7   | 7        | 6   | 7   | 6   | 5    | 大圓  |     |     |
|             | 1f   | 11       |     | 9   | 8   | 7    | 6   | 12  |     | 9        |     | 8   | 7   | 6    | ?   |     |     |
|             | 1.5f | 15       |     | 11  | 9   |      | 7   | 13  |     | 10       |     | 9   | 8   | 7    |     |     |     |
|             | 2f   |          |     | 12  | 10  |      | 8   |     |     | 12       |     | 10  |     | 7    |     |     |     |
|             | 2.5f | 16       |     | 15  | 11  |      | 10  |     |     | 13       |     | 12  |     | 9    |     |     |     |

### (2) 實驗統計表



### (3) 實驗討論

從上表可以知道：

- ① 透鏡與光源距 0.5f 時，在距透鏡 0.5f 成像有最大的照度，1.0f 成像處的照度最小。
- ② 凹面朝上靠近光源和凹朝下遠離光源，照度變化不大。

③凹透鏡無論距光源多少  $f$ ，成像在  $1f$  皆為縮小正立虛像。無法在這個裝置上看到。僅能看到光線穿透管徑後呈現的管徑大小圓 A 及透鏡大小的圓 B 面積。二者間的暗處指的是管壁的厚度（如下圖 1）。

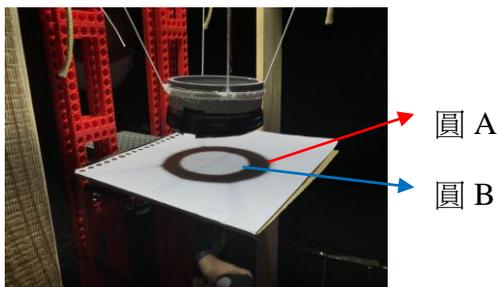


圖 1.凹透鏡距光源  $1f$  成像  $0.5$  的結果

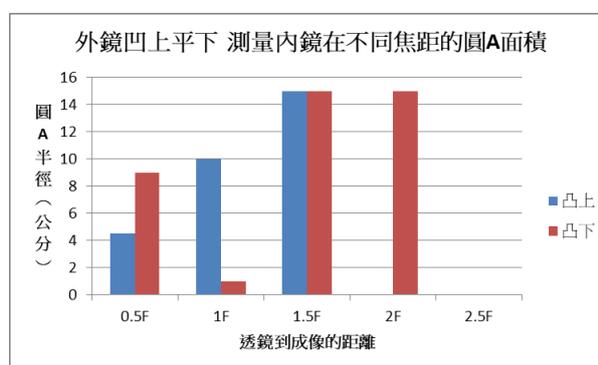
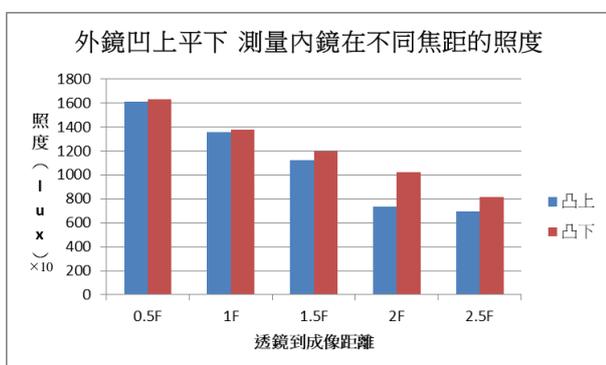
## (二) 實驗二：類貓眼裝置在不同成像距離的照度與光照面積

1.實驗 2-1：探究貓眼的原理，平凹和平凸透鏡相距  $0.5f$  時，平凸透鏡距成像  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照面積。

### (1) 記錄與結果

| 外鏡凹上平下 測量內鏡在不同焦距的照度 |      |        |      |      |     |      |      |      |
|---------------------|------|--------|------|------|-----|------|------|------|
| 透鏡到成像距離             | 目鏡類型 |        | 凸上平下 |      |     |      | 凸下平上 |      |
|                     | 圓 A  | 方 B    | 梯 C  | 照度   | 圓 A | 方 B  | 梯 C  | 照度   |
| $0.5F$              | 4.5  | 小圓半徑 3 |      | 1613 | 9   | 圓形 3 |      | 1628 |
| $1F$                | 10   | 小圓半徑 4 |      | 1354 | 1   | 邊長 6 |      | 1377 |
| $1.5F$              | 15   | 8      |      | 1124 | 15  | 8    |      | 1195 |
| $2F$                | 太大   | 9      |      | 735  | 15  | 8    |      | 1024 |
| $2.5F$              | 太大   | 11     |      | 696  | 太大  | 10   |      | 816  |

### (2) 實驗統計表



### (3) 實驗討論

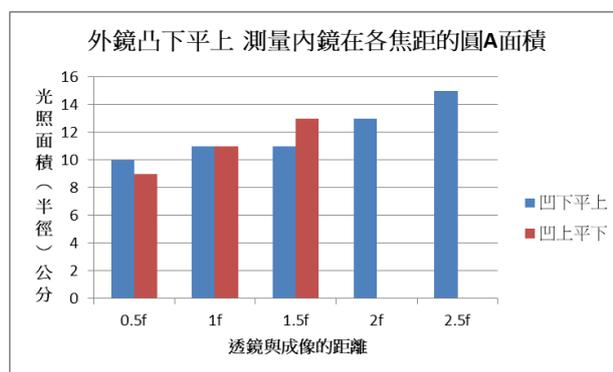
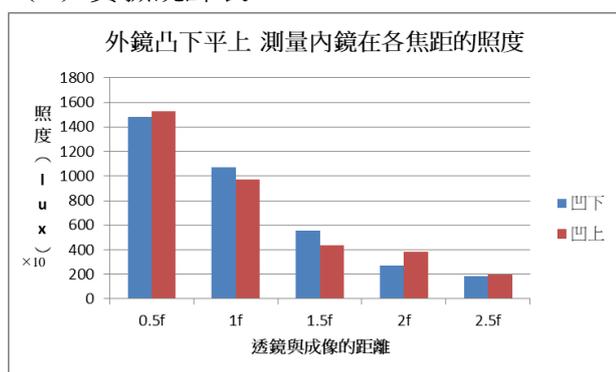
距光源愈近，照度愈大。外鏡凹上平下和內鏡凸上凸下在  $1.5f$  時管徑的光照面積圓 A 是一樣大的，由此可知，光線透過管徑成像在  $1.5f$  以上，光照面積約是管徑的 2 倍。推測  $2.5f$  的光照面積也會落在約  $15cm$  的位置。

2.實驗 2-2：探究反向操作貓眼的原理，平凸（凸下平上）和平凹透鏡相距  $0.5f$  時，平凹透鏡距成像  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照光面積。

(1) 記錄與結果

| 外鏡凸下平上 測量內鏡在各焦距的照度 |      |      |       |     |      |      |       |     |      |
|--------------------|------|------|-------|-----|------|------|-------|-----|------|
| 透鏡到成像的距離           | 目鏡類型 | 凹下平上 |       |     |      | 凹上平下 |       |     |      |
|                    |      | 圓 A  | 圓 B   | 梯 C | 照度   | 圓 A  | 圓 B   | 梯 C | 照度   |
| $0.5f$             |      | 10   | 圓形 4  |     | 1480 | 9    | 圓形 4  |     | 1526 |
| $1f$               |      | 11   | 圓形 7  |     | 1073 | 11   | 圓形 7  |     | 973  |
| $1.5f$             |      | 11   | 圓形 10 |     | 555  | 13   | 圓形 10 |     | 434  |
| $2f$               |      | 13   | 圓形 11 |     | 270  | 太大   | 圓形太大  |     | 384  |
| $2.5f$             |      | 15   | 圓形 13 |     | 185  | 太大   | 圓形太大  |     | 195  |

(2) 實驗統計表



(3) 實驗討論

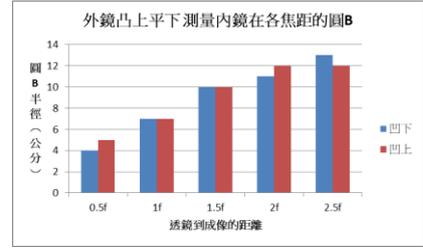
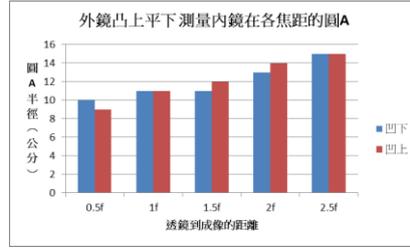
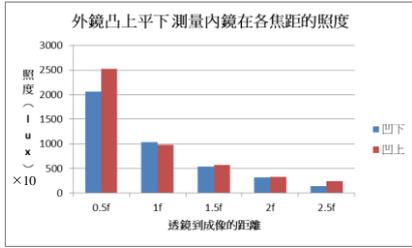
外鏡凸下，內鏡凹下或凹上在成像  $2.0f$  以內會形成內圈光亮(圓 B)和外圈陰暗(圓 A)；到  $2.0f$  外，內部圓 B 消失，呈現出陰暗圓 A，發散光線無法投射在成像板上。

3.實驗 2-3：探究反向操作貓眼的原理，平凸（凸上平下）和平凹透鏡相距  $0.5f$  時，平凹透鏡距成像  $0.5f$ 、 $1.0f$ 、 $1.5f$ 、 $2.0f$  和  $2.5f$  ( $f$  表焦距) 的照度和光照光面積。

(1) 記錄與結果

| 外鏡凸上平下 測量內鏡在各焦距的照度 |      |      |       |   |      |      |       |   |      |
|--------------------|------|------|-------|---|------|------|-------|---|------|
| 透鏡到成像的距離           | 目鏡類型 | 凹下平上 |       |   |      | 凹上平下 |       |   |      |
|                    |      | A    | B     | C | 照度   | A    | B     | C | 照度   |
| $0.5f$             |      | 10   | 圓形 4  |   | 2060 | 9    | 圓形 5  |   | 2520 |
| $1f$               |      | 11   | 圓形 7  |   | 1038 | 11   | 圓形 7  |   | 980  |
| $1.5f$             |      | 11   | 圓形 10 |   | 543  | 12   | 圓形 10 |   | 578  |
| $2f$               |      | 13   | 圓形 11 |   | 314  | 14   | 圓形 12 |   | 330  |
| $2.5f$             |      | 15   | 圓形 13 |   | 147  | 15   | 圓形 12 |   | 238  |

## (2) 實驗統計表



## (3) 實驗討論

外鏡凸透鏡聚光，內鏡凹透鏡散光，使得圓 A 來自於光線通過管徑後呈現的管徑光照面積；圓 B 來自於透鏡的光照面積，管子愈長，產生的光照面積愈大。

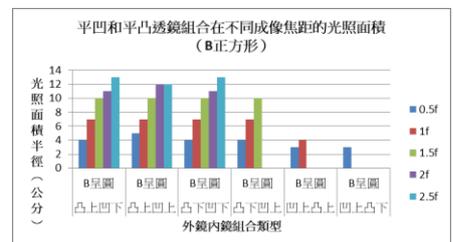
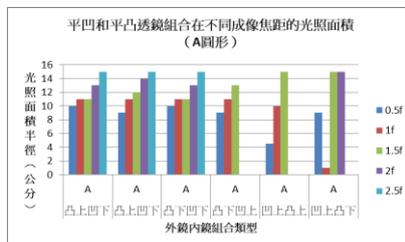
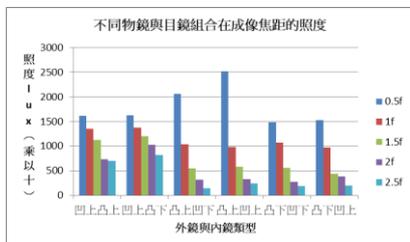
## 4. 實驗二總表

### (1) 記錄與結果

| 外鏡       |      | 凹上平下 |      | 凸上平下 |      | 凸下平上 |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 內鏡       |      | 凸上平下 | 凸下平上 | 凹下平上 | 凹上平下 | 凹下平上 | 凹上平下 |
| 透鏡到成像的距離 | 0.5f | 1613 | 1628 | 2060 | 2520 | 1480 | 1526 |
|          | 1f   | 1354 | 1377 | 1038 | 980  | 1073 | 973  |
|          | 1.5f | 1124 | 1195 | 543  | 578  | 555  | 434  |
|          | 2f   | 735  | 1024 | 314  | 330  | 270  | 384  |
|          | 2.5f | 696  | 816  | 147  | 238  | 185  | 195  |

| 外鏡    | 凸上平下 |    | 凸上平下 |      | 凸下平上 |      | 凸下平上 |      | 凹上平下 |      | 凹上平下 |      |
|-------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 凹下   | 凹下 | 凹上   | 凹上   | 凹下   | 凹下   | 凹上   | 凹上   | 凸上   | 凸上   | 凸下   | 凸下   |
| 成像的距離 | 光照面積 |    | A    | B 呈圓 |
| 0.5f  | 10   | 4  | 9    | 5    | 10   | 4    | 9    | 4    | 4.5  | 3    | 9    | 3    |
| 1f    | 11   | 7  | 11   | 7    | 11   | 7    | 11   | 7    | 10   | 4    | 10   | 方 6  |
| 1.5f  | 11   | 10 | 12   | 10   | 11   | 10   | 13   | 10   | 15   | 方 8  | 15   | 方 8  |
| 2f    | 13   | 11 | 14   | 12   | 13   | 11   | 太大   | 太大   | 太大   | 方 9  | 15   | 方 8  |
| 2.5f  | 15   | 13 | 15   | 12   | 15   | 13   | 太大   | 太大   | 太大   | 方 11 | 太大   | 方 10 |

### (2) 實驗統計表



### (3) 實驗討論

透鏡組合，通常靠近光源的外鏡主要將光線引入；靠近成像的透鏡則負責成像，可以得到下面的結論：

- ①當外鏡是凸透鏡時，凸上照度大於凸下照度；若外鏡是凹透鏡時，凹上和凹下照度變化不大（參看**實驗一-2**）。
- ②當內鏡是凸透鏡時，凸上照度大於凸下照度。但此實驗仍可看出些微差異，內鏡凹上的照度還是大於凹下。推測可能光線從凹面入，平面出，發散的較平面入，凹面出少。
- ③凹上凸下的組合，光線穿過管子會產生最大的光照面積。符合貓眼原理。屋內可以看到屋外的物體，反之，屋內的狀態凸透鏡會縮小，再經過凹透鏡會縮小發散。

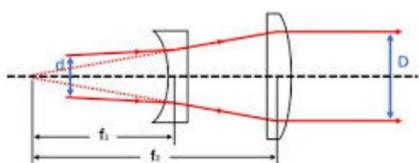


圖.光線從凹透鏡入凸透鏡出

(來源：<https://images.app.goo.gl/nDNWefUQUqzxQr836>)

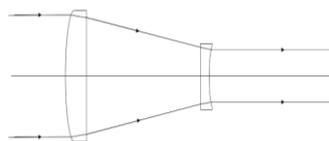


圖 2.光線從凸透鏡入凹透鏡出

(來源：<http://chaos21chaos.blogspot.com/2017/11/diy.html>)

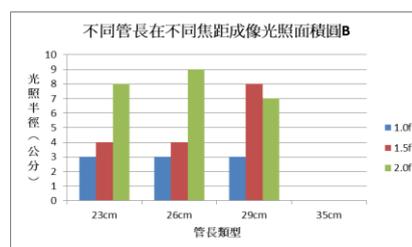
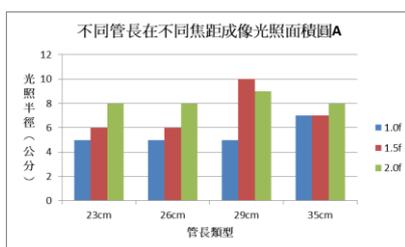
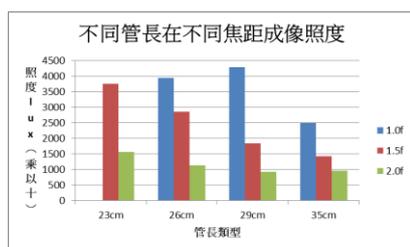
### (三) 實驗三：探究克卜勒原理，將不同透鏡組合的成果記錄與分析於下

1.實驗三-1-1：探究克卜勒原理，雙凸大透鏡距燈源  $0.5f$  時，雙凸大透鏡（焦距 215mm）和雙凸小透鏡（焦距 180mm）間的距離 23cm、26cm、29cm 和 35cm，對成像在  $1.0f$ 、 $1.5f$  和  $2.0f$ （ $f$ 表焦距）的照度和光照面積。

#### (1) 記錄與結果

| 管長   | 23cm |     |     |      | 26cm |     |     |      | 29cm |     |     |      | 35cm |     |     |      |
|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|
| 面積   | 圓 A  | 方 B | 梯 C | 照度   | 圓 A  | 方 B | 梯 C | 照度   | 圓 A  | 方 B | 梯 C | 照度   | 圓 A  | 方 B | 梯 C | 照度   |
| 1.0f | 5    | 3   |     | 太大   | 5    | 3   |     | 3950 | 5    | 3   | 一樣  | 4280 | 7    |     |     | 2490 |
| 1.5f | 6    | 4   |     | 3760 | 6    | 4   |     | 2860 | 10   | 8   | 8   | 1850 | 7    |     |     | 1422 |
| 2.0f | 8    | 8   |     | 1559 | 8    | 9   |     | 1139 | 9    | 7   | 7   | 936  | 8    |     |     | 958  |

#### (2) 實驗統計表



### (3) 實驗討論：

①管長 23cm 在  $1.0f$  成像處照度太大，目前裝置測不出來；其次不同管長在成像  $1.0f$  都有比較大的照度。排序  $23\text{cm} > 29\text{cm} > 26\text{cm} > 35\text{cm}$ ，推測是大透鏡的焦距是 21.5cm，29cm 管長剛好是大

透鏡的  $1.0f$  外，小透鏡的  $0.5f$  內，所以可以形成較大的照度（參看實驗一-1-1）

②圓 A 是光線穿過透鏡後的光照面積， $29\text{cm}$  在  $1.5f$  成像有最大光照面積，其他  $23\text{cm}$ 、 $26\text{cm}$  和  $35\text{cm}$  都在  $2.0f$  有最大光照面積。推測可能原因是  $35\text{cm}$  時，照度在成像  $1.0f$ 、 $1.5f$  和  $2.0f$  照度都變小，所以在圓 A 和方 B 光照重合，較無法用肉眼辨試，需再進一步使用照度計或其他方法釐清。

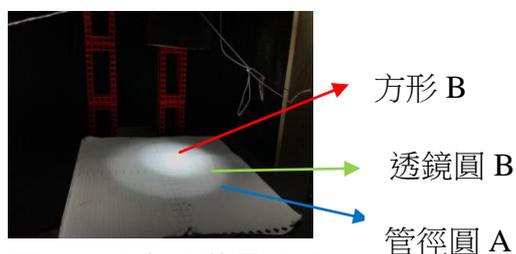


圖 2.光線穿透裝置的成像

## 陸、討論與結論

本研究主要研究有二個方向：一是如何讓點光源透過透鏡轉換成接近太陽的平行光。二、針對透鏡組合類貓眼裝置和類克卜勒望遠鏡進行研究。

（一）單一透鏡實驗觀測發現：

- 1.平凸透鏡，凸上距光源  $0.5f$ ，成像在  $2.0f$  以內的照度均優於凸下。
- 2.凸上平下距光源  $2.0f$ ，在  $1.0f$  成像與燈炮中的方形一樣大；凸下平下在距光源  $2.0f$ ，成像在  $2f$  上的大小與燈炮中的方形一樣大。後者符合凸透鏡成像原理。
- 3.凸下平上在距光源  $0.5f$  的成像，無論是管口或是燈泡內的方形裝置均大於凸上平下；其他變項差異不大。
- 4.平凹透鏡，凹上距光源  $0.5f$  的照度優於凹下；其他差異不大。
- 5.凹上距光源  $1.0f$  以內，管口光照面積略大於凹下。其他變化不大。
- 6.凹下距光源  $1.5f$ ，會產生雙圈，內亮外暗。隨著成像距離愈遠，內亮光圈漸大，最後在  $2.5f$  時消失。

（二）類貓眼裝置

1. 凹上凸下的組合，光線穿過管子會產生最大的光照面積。符合貓眼原理。屋內可以看到屋外的物體，反之，屋內的狀態凸透鏡會縮小，再經過凹透鏡會縮小發散。

（三）類克卜勒裝置

- 1.觀測到轉換點光源成平行光，利用雙凸透鏡即可，距燈源  $1.0f$ ，光線經過透鏡即成平行光。
- 2.裝置第一個雙凸大透鏡將點光線轉換成平行光，第二個雙凸小透鏡決定成像與否。從實驗中可以發現，第一個透鏡的成像焦點距第二個透鏡在  $0.5f$  內，均能將燈泡中的方形裝置呈現，若大於  $0.5f$ ，則不易觀察到成像。

## 柒、未來展望與建議

研究透鏡的照度及成像原理，希望夠應用在二個面向：

- 一、自然課的應用，學習透鏡時，透過燈炮的裝置成像更具體理解光線如何在不同的焦點上成像。
- 二、生活上的應用，過去綠建築採光以鏤空或平面玻璃，讓光線自然引入，然而光線的照度和光照面積位置，往往決定於太陽在天空的位置和氣候；晴、陰、雨室內光線均不同。因此思考透鏡的聚焦如何應用在室內，結合太陽能或室內燈源，產生適合的照度，減少能源的消耗。

## 捌、參考資料及其他

- 1.嘉義市志航國民小學。光「照」得住你——光線與寶特瓶的散射探討。嘉義市第 35 屆中小學科學展覽會。
- 2.嘉義市垂楊國民小學。「島嶼天光」——太陽能水瓶燈。嘉義市第 36 屆中小學科學展覽會。
- 3.康軒四上。單元三、奇妙的光。
- 4.南一六下。單元三、生物與環境。
- 5.休伊特。觀念物理 4：聲學·光學。天下文化出版社。
- 6.嘉義市垂楊國民小學。鑿壁借光——光「照」透了！。嘉義市第 37 屆中小學科學展覽會。
- 7.望遠鏡的歷史之二：進擊的巨人——開普勒的憤怒和胡克崛起。  
原文網址：<https://kknews.cc/history/ym6448g.html>
- 8.天文小常識 1：不同的天文望遠鏡-折射、反射和折反射。  
原文網址：<https://kknews.cc/science/4m8n2qv.html>
- 9.大家一起來科普，什麼叫做折射式望遠鏡？原文網址：<https://kknews.cc/science/6l5bm4l.html>
- 10.伽利略是如何發明的天文望遠鏡？原文網址：<https://kknews.cc/world/epayn8y.html>