

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

081515

舞動的精靈—多光源的成像變化

學校名稱：嘉義市東區嘉北國民小學

作者： 小六 張博涵 小六 蔡承維 小六 林冠蓁	指導老師： 蔣靜郁、何俊廷
-----------------------------------	------------------

關鍵詞：多光源、孔洞成像、干涉現象

舞動的精靈---多光源的成像變化

壹、摘要

多個燈泡或燈管的光源投影時，會因觀察者的位置和觀察角度，在螢幕上會產生各式各樣的光影。線形的燈管會有長短、夾角的變化，多個燈泡光線通過小孔後則會形成多樣化的光影變化，充滿藝術投影的效果，猶如會舞動的精靈。

利用自製的觀察器觀察成像，可以發現以下現象：

- 一、孔洞半徑 > 2.5 公分，物距 191.6 公分時，燈泡的光影會相互重疊，形成不同的影像。
- 二、物距越遠所形成光影越小，亮度越暗。觀察器的像距所能調節差距不大，所以影響較小，像距越大成像的光影也越大。
- 三、彩色燈泡的色光重疊可產生多種的顏色變化，讓投影更具美感。

善用面鏡成像與孔洞成像的光線變化，加上改變觀察者的位置和高度，可以清楚的觀察到多樣化的多光源投影。

關鍵詞：多光源、孔洞成像、重疊現象

貳、研究動機

有一天，大夥在老師家討論科學展覽題目的時候，突然間發現到老師家中的美術燈投影在地面上，產生了許多漂亮的光影，而且每個人就其所在的位置，所見到的影像也不相同。在自然與生活科技教科書中也曾經學過光的直線前進與針孔成像的原理，但是多個燈泡的重影，卻能形成漂亮的圖案，深深吸引我們研究的興趣。

參、研究目的

- 一、模擬燈座與簡易孔洞成像觀察器的製作
- 二、不同燈源形狀在光滑地面上的成像探討
 - (一)、線形日光燈管所組成的六角宮燈的成像變化
 - (二)、多個燈泡的藝術燈的成像變化
- 三、改變燈泡數時成像的變化探討
- 四、不同孔洞大小時成像的變化探討
- 五、不同物距時的孔洞成像變化探討
- 六、不同像距時的孔洞成像變化探討
- 七、彩色燈泡的投影變化探討

肆、研究設備及器材

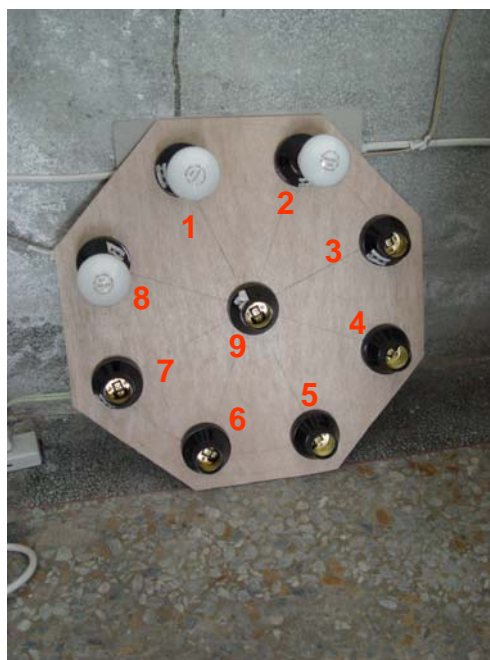
自製燈泡組	1 組	燈泡座	9 個	開關	9 個
自製觀察器	1 組	省電燈泡	9 個	紀錄紙	80 張
彩色燈泡(紅、藍、綠)	各 3 個	游標尺	1 支	電線	少許
厚紙板(A4)	3 張	半透明紙	2 張	插頭	1 個
數位相機	1 部	圓規	1 把	捲尺	1 個

伍、研究過程或方法

一、模擬燈座與簡易孔洞成像觀察器的製作

(一)、模擬燈座的製作

1. 取一塊厚度 3 分的合板，在板子上畫一個半徑長 16 公分的圓。
2. 在圓周上每隔 45 度角做記號，連同圓心共九個點。
3. 每個點上裝置一個燈座，九個燈座採並聯連接，並將燈座依順時鐘方向編號為 1 到 8 號，中心為第 9 號。(如照片 1)。



照片 1：模擬實驗用的燈座

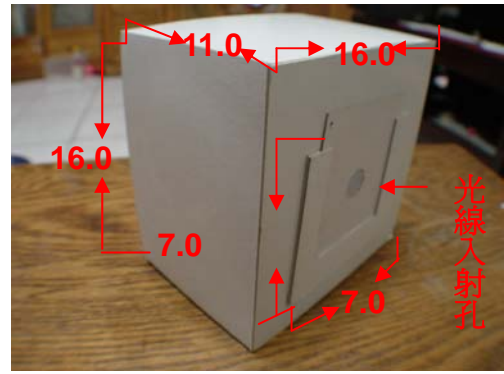
(二)、孔洞成像觀察器的製作

1. 觀察器乃模仿針孔成像觀察器，共分內、外兩部分。(如照片 2a)。
2. 外層以厚紙板黏接成 $16 \times 16 \times 11$ 立方公分的紙箱， 16×16 平方公分的兩面，一面鏤空作為內層伸縮的空間，另一面的正中間則挖一個 7.0×7.0 平方公分的孔，作為更換孔洞卡的位置。(如照片 2b)。
3. 內層以厚紙板黏接成 $15.5 \times 15.5 \times 11.7$ 立方公分的紙箱， 15.5×15.5 平方公分的兩面都鏤空，另外剪裁一塊 18.5×15.5 平方公分的厚紙板，在其正中間則挖一個 12.5×12.5 平方公分的孔，黏貼上半透明紙作為觀察螢幕。(如照片 2c)。

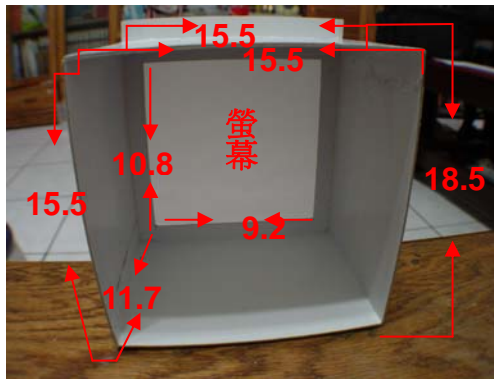
4. 剪裁 4 片 8.3×9.9 平方公分的厚紙板，依序在其正中間則挖一個半徑 3、2.5、1.0 公分的小孔及 0.05 公分的針孔，作為光線通過的孔洞卡。(如照片 2d)。



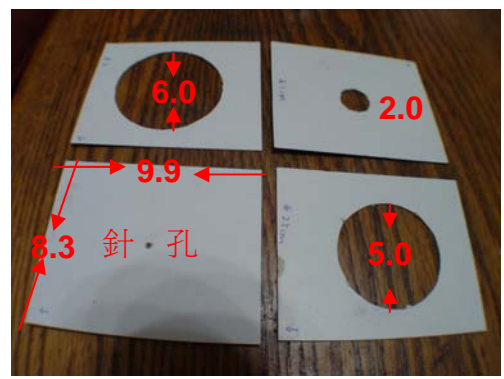
照片 2a：孔洞成像觀察器外觀



照片 2b：觀察器的外盒規格



照片 2c：觀察器的內盒規格



照片 2d：孔洞卡的規格

二、不同燈源形狀在光滑地面上的成像

(一)、日光燈管組成的六角宮燈在光滑地面的成像觀察

1. 寺廟中六角宮燈懸空掛在離地 4 公尺的地方。
2. 身體直立眼睛離地面高度 145 公分，六角宮燈約在仰角 75 度處，利用數位相機拍攝光源的形狀及在地面上的成像。並請研究夥伴標定地面的成像位置，測量離觀察者的距離。
3. 觀察者坐在圓凳上眼睛離地面高度為 120 公分，利用數位相機拍攝光源在地面上的成像。請研究夥伴標定地面的成像位置，測量離觀察者的距離。
4. 觀察者改坐在小板凳上眼睛離地面高度為 95 公分，其餘同步驟 3。

(二)、六個燈泡的藝術燈在光滑地面的成像觀察

1. 家中的藝術燈懸空掛在離地 3 公尺的地方。
2. 身體直立眼睛離地面高度 145 公分，藝術燈約在仰角 60 度處，利用數位相

機拍攝光源的形狀及在地面上的成像。

3. 利用數位相機拍攝光源的光線通過高 30 公分、椅面中心有一個半徑 3.5 公分小圓孔的板凳後在地面上的成像。

三、不同燈泡數的孔洞成像

- (一)、固定物距為 191.6 公分，觀察器像距為 14 公分，孔洞半徑 1.0 公分。
- (二)、九個燈座依照編號分別裝上功率可達 60 瓦的省電燈泡，依次記錄並描繪裝置 1 個燈泡至 9 個燈泡全亮時螢幕上的光影，並利用數位相機拍攝螢幕上的光影。
- (三)、利用直徑測量游標尺測量單一燈泡的光影直徑及燈泡全亮時光影最大範圍的直徑，連續測量 5 次求平均值。
- (四)、點亮 1.5.9 號燈泡，記錄並描繪螢幕上的光影圖形，利用數位相機拍攝螢幕上的光影。
- (五)、點亮 1.4.7 號燈泡，記錄並描繪螢幕上的光影圖形，利用數位相機拍攝螢幕上的光影。
- (六)、點亮 1.3.5.7 號燈泡，記錄並描繪螢幕上的光影圖形，利用數位相機拍攝螢幕上的光影。
- (七)、點亮 1.3.5.7.9 號燈泡，記錄並描繪螢幕上的光影圖形，利用數位相機拍攝螢幕上的光影。

四、大小不同孔洞時燈泡的成像

- (一)、固定物距為 191.6 公分，觀察器像距為 14 公分，依次更換孔洞卡半徑為 2.5 公分、3.0 公分及針孔。
- (二)、依次記錄並描繪裝置 1 個燈泡至 9 個燈泡全亮時螢幕上的光影，並利用數位相機拍攝螢幕上的光影。
- (三)、利用直徑測量游標尺測量單一燈泡光影直徑及燈泡全亮時光影最大範圍的直徑，連續測量 5 次求平均值。

五、不同物距時的孔洞成像

- (一)、固定觀察器像距為 12.5 公分，孔洞半徑 1.0 公分，依次更改物距為 50 公分、100 公分、191.6 公分、300 公分及 400 公分。
- (二)、依次記錄並描繪單一燈泡亮時螢幕上的光影直徑，連續測量 5 次求平均值。並利用數位相機拍攝螢幕上的光影。

六、不同像距時的孔洞成像

- (一)、固定物距為 191.6 公分，孔洞半徑 1.0 公分，依次調整觀察器像距為 12.5 公分、

14.0 公分、17.5 公分、21.0 公分。

- (二)、依次記錄並描繪單一燈泡亮時螢幕上的光影直徑，連續測量 5 次求平均值。並利用數位相機拍攝螢幕上的光影。

七、彩色燈泡的投影變化

- (一)、取紅、藍、綠燈泡各一個安裝在 4、6、9 號燈座上。
- (二)、固定觀察器物距 100 公分、像距為 12.5 公分、孔洞半徑 1.0 公分，觀察紀錄投影的顏色與形狀。
- (三)、固定觀察器物距 100 公分、像距為 12.5 公分，改變孔洞半徑為 2.5 公分，觀察紀錄投影的顏色與形狀。
- (四)、固定觀察器像距為 12.5 公分、孔洞半徑 2.5 公分，依次改變物距為 60 公分、100 公分與 191.6 公分，觀察紀錄投影的顏色與形狀。
- (五)、改用三角形和橢圓形小孔的卡片，固定觀察器物距 100 公分、像距為 12.5 公分，觀察紀錄投影的顏色與形狀。

陸、研究結果與討論

一、直線狀光源在不同觀察高度時的面鏡成像

- (一)、寺廟的六角宮燈是由 6 枝 58 公分長的日光燈燈管所組成，但是觀察者改變眼睛的觀察高度時，所觀察光滑地板上的成像現象如表一。

- (二)、將六角宮燈的 12 個頂點依序定為 A1、A2，B1、B2，C1、C2，D1、D2，E1、E2，F1、F2。根據面鏡成像的作圖原理 A1、A2，B1、B2，C1、C2，D1、D2，E1、E2，F1、F2 在觀察者高度

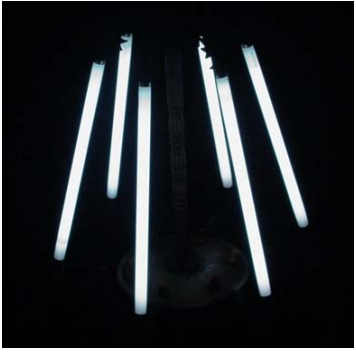
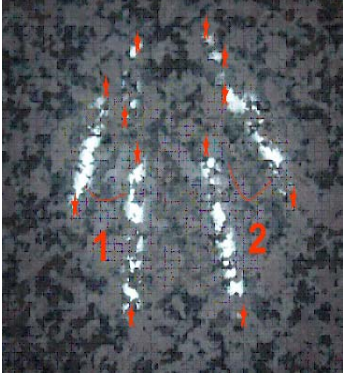
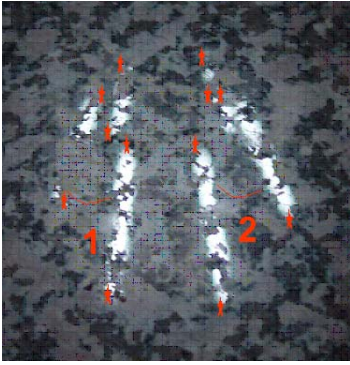
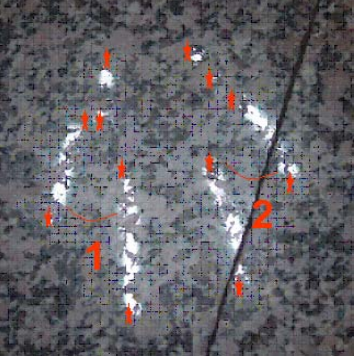
145 公分時所見到的地面成像照片中相對應點為 A'1、A'2，B'1、B'2，C'1、C'2，D'1、D'2，E'1、E'2，F'2。在離地高度 120 公分時所見到的地面成像照片中相對應點為 A*1、A*2，B*1、B*2，C*1、C*2，D*1、D*2，E*1、E*2，F*1、F*2。在高度 95 公分時所見到的地面成像照片中相對應點為 A''1、A''2，B''1、B''2，C''1、C''2，D''1、D''2，E''1、E''2，



圖一：不同觀察高度時六角宮燈各頂點的成像位置

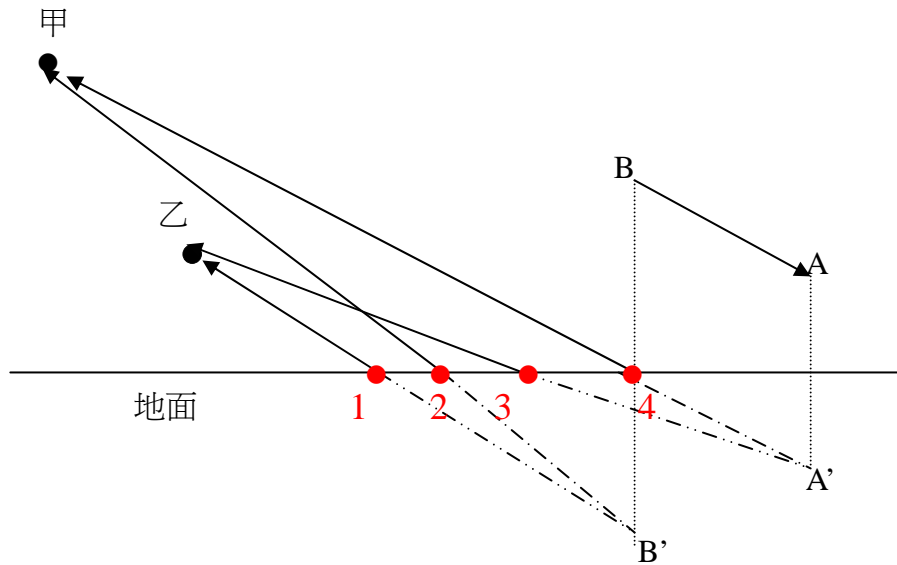
F''1、F''2。(如圖一)。

表一：不同眼睛觀察高度時所觀察到的地面上成像

項 目	所見到的像	拍攝所得的像
六角宮燈	仰角約 75 度，圍成下寬上窄的光柱	
離地 145 公分	地面上形成人形的光線條影，成像位置距離觀察者站立點 44.5 公分	
離地 120 公分	中間兩個光影和最近的兩支燈影的夾角變小，向中間靠攏，成像位置距離觀察者站立點 47.0 公分	
離地 95 公分	像的最遠兩個光影和兩側燈管的光影重疊，成像位置距離觀察者站立點 57.5 公分	

(三)、由於六角宮燈在地面上成像其原理與面鏡成像相同，會因為觀察者的位置，導致所觀察到光影有所改變，如圖二中觀察者在甲、乙兩個位置，觀察物體 AB

在地面上的成像；甲位置所觀察到的投影結果為 $A \rightarrow 4$ 、 $B \rightarrow 2$ ，而乙位置所觀察到的投影結果為 $A \rightarrow 3$ 、 $B \rightarrow 1$ ，1 和 3 的長度與 2 和 4 的長度不同，成像位置也不同。



圖二：不同觀察者位置觀察物體在地面成像的變化

二、圓形光源在不同觀察角度時的面鏡成像

(一)、家中美術燈是由 6 個線形省電燈泡所組成，在地面形成的光影卻都是圓形光影。
(如照片 3a、b)。



照片 3a：家中美術燈



照片 3b：在地面形成的光影

(二)、若將中間兩個燈泡(1、4 號)熄滅時，站立觀察地面，地面上很明顯出現 2 排圓形光影。若逐漸蹲低並觀察地面時，每排較遠處的圓形光影和較近觀察點的圓形光影，兩個光影的距離會逐漸靠近，與宮燈的情形相同。(如照片 3c、d、e)。

(三)、當美術燈 6 個省電燈泡全亮，通過高 30 公分、中心有 1 個半徑 3.5 公分小孔的塑膠板凳時，在地面成像的光影，卻是重疊形成漂亮的花形光影。(如照片 3f)。



照片 3c：中間兩個燈泡熄滅



照片 3d：站立時觀察的光影



照片 3e：蹲低時觀察的光影



照片 3f：6 個省電燈泡全亮，重疊形成漂亮的花形光影

三、改變燈泡數時成像的變化

- (一)、當燈泡亮時，拿著觀察器往後退，孔洞卡半徑為 1.0 公分、退到物距 191.6 公分、像距在 14.0 公分處，螢幕上的光影最清楚，影像在螢幕上大小也最適當。
- (二)、當燈泡由編號 1 號逆時鐘方向亮到 9 號全亮時，所拍攝的照片發現燈泡和成像的光影恰好在觀察者的左右兩側，與針孔成像的原理相同，形成倒立的像。(如照片 4a~i)。
- (三)、當燈泡由編號 1 號、5 號、9 號逐次亮起成一直線時，螢幕上先出現 2 個分離的圓形光影，然後 9 號的光影則分別與 1 號、5 號的光影重疊。(如照片 4j~l)。



照片 4a：亮 1 號燈



照片 4b：亮 1.8 號燈



照片 4c：亮 1.8.7 號燈



照片 4d：亮 1.8.7.6 號燈



照片 4e：亮 1.8.7.6.5 號燈



照片 4f：亮 1.8.7.6.5.4 號燈



照片 4g：
亮 1.8.7.6.5.4.3 號燈



照片 4h：
亮 1.8.7.6.5.4.3.2 號燈



照片 4i：9 燈全亮



照片 4j：亮 1 號燈



照片 4k：亮 1.5 號燈



照片 4l：亮 1.5.9 號燈

(四)、當只亮 1 號燈時，成像的光影利用鉛筆描繪下來的圖形，利用游標尺測量的直徑為 2.6 公分，剛好介於 $1/3$ 與 $1/2$ 倍 9 個燈泡全亮時描繪下來的圖形的光影所測得的直徑 5.7 公分(如表二)，所以相鄰的兩個燈泡會彼此相交重疊，成一

直線時卻必須有 9 號燈泡的光影才能重疊。由於 9 號燈泡的光影會和所有燈泡

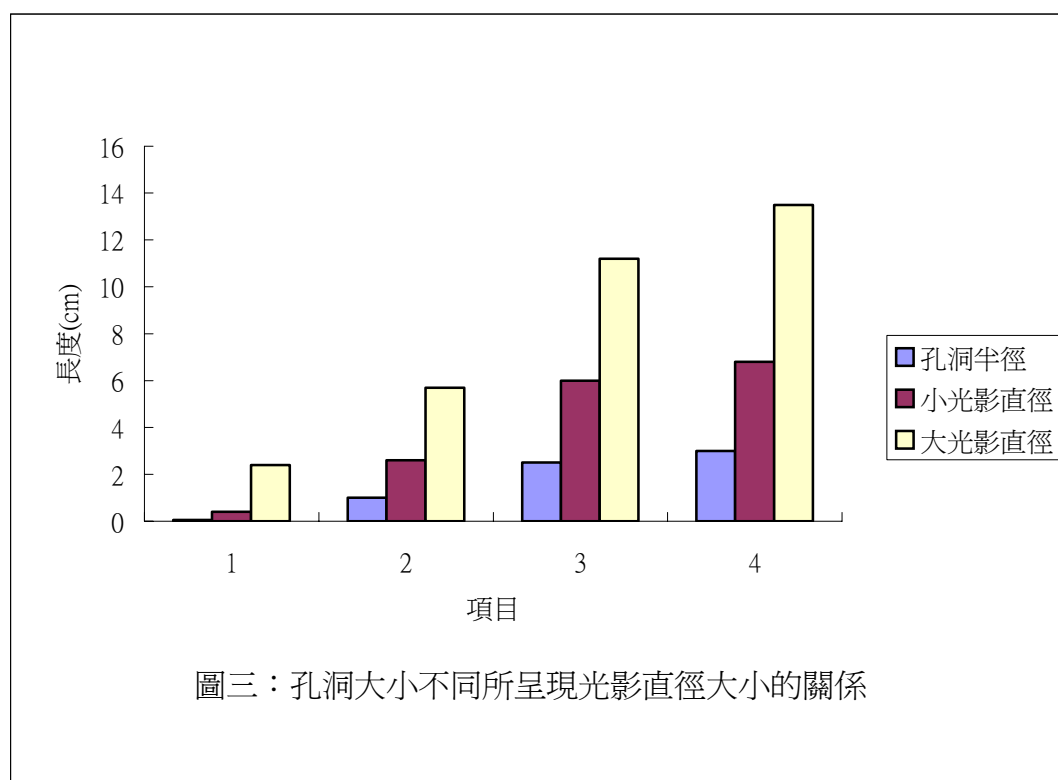
重疊，所以當 9 號燈泡不亮時，成像圖形中間形成黑影。

表二：孔洞半徑為 1.0 公分、物距 191.6 公分、像距 14.0 公分時，
所測得單一燈泡光影與全亮時最大光影的直徑長(cm)

次數	1	2	3	4	5	平均
單一燈泡	2.2	2.9	2.6	2.5	2.6	2.6
全亮	6.0	5.5	5.4	5.7	5.7	5.7

四、不同孔洞大小時成像的變化探討

(一)、觀察者位置仍維持在物距 191.6 公分、像距在 14.0 公分處，只亮 1 個燈泡時，孔洞卡的半徑越大，螢幕上單個燈泡所成像的光影直徑也越大，9 個燈泡全亮時光影的最大直徑也相對變大。(如圖三)。



(二)、但是當孔洞半徑為 3 公分時，光影的最大直徑(約 13.5 公分)已經超過螢幕的最大範圍，無法測量。

(三)、孔洞半徑越大時，單一燈泡的光影直徑增加的比率大於最大光影直徑所增加的比率(如表三)，由照片 5a~d 拍攝 2、6 號兩個燈泡所形成的光影，明顯可以看

出孔洞越大光影重疊的範圍也就越大。

表三：孔洞半徑大小燈泡所呈現單一光影與最大光影直徑(公分)

孔 洞 半 徑	0.05	1	2.5	3
單一燈泡光影直徑	0.4	2.6	6	6.8
大 光 影 直 徑	2.4	5.7	11.2	約 13.5



照片 5a：
針孔的成像



照片 5b：
半徑 1 公分的成像



照片 5c：
半徑 2.5 公分的成像



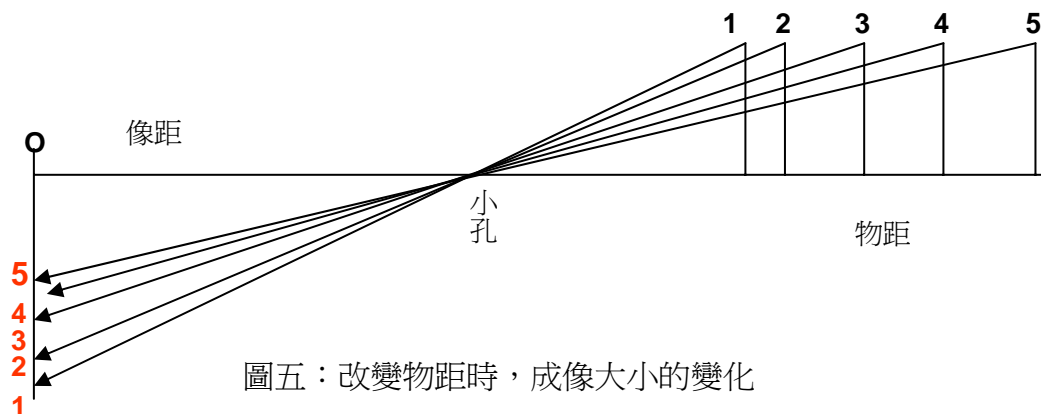
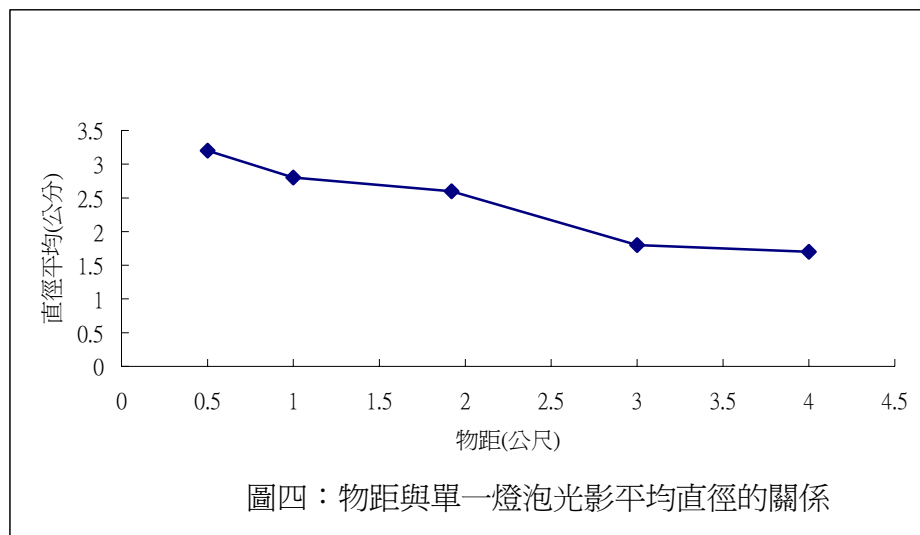
照片 5d：
半徑 3.0 公分的成像

(四)、孔洞卡的成像原理與針孔成像相同，都是利用光線直線進行的特性。由於沒有使用透鏡，因此沒有焦距的問題。針孔成像的清晰度則取決於孔洞的大小；針孔越小成像越清楚，但是通過的光線也越少，影像的亮度也會越黯淡，必須使用半透明紙或毛玻璃才容易辨識影像。

五、不同物距時的孔洞成像變化探討

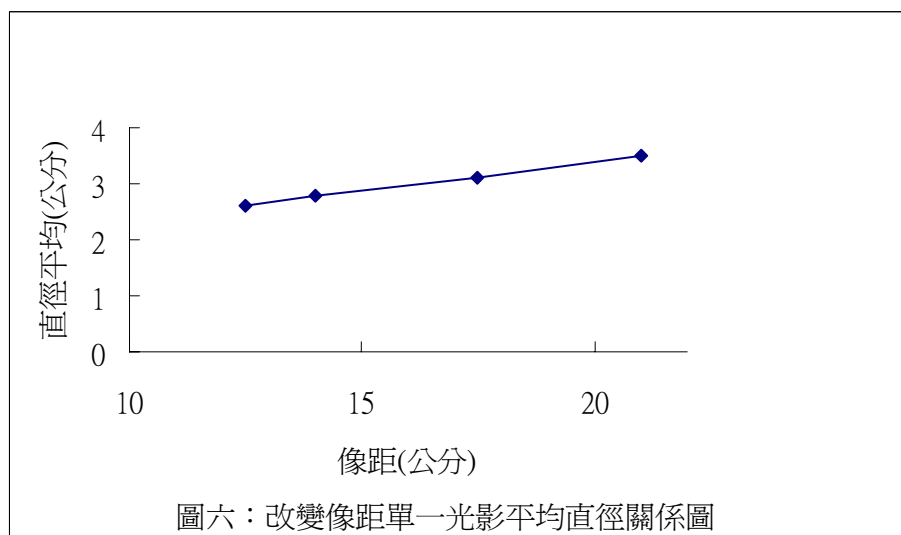
(一)、當固定觀察器像距為 12.5 公分，孔洞半徑 1.0 公分，物距逐漸加長時，單一燈泡所形成的光影亮度明顯變暗，而且光影的平均直徑逐漸變小(如圖四)。但是用數位相機拍出來的照片物距在 50 公分、100 公分處，因為光線太強而有一些模糊，在 400 公分處則影像太暗不清楚(如照片 6a~e)。

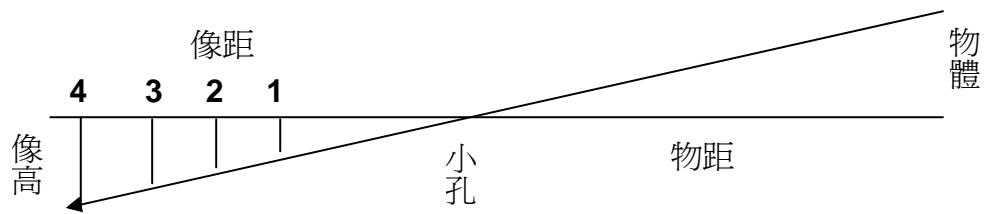
(二)、整個觀察也符合光直線前進的成像原理；相同高度的物體在 1.2.3.4.5 等五個不同物距的位置，經小孔在相同像距的螢幕上成像大小則是 $01 > 02 > 03 > 04 > 05$ (如圖五)。



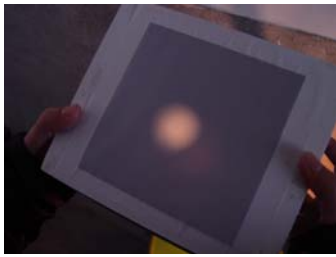
六、不同像距時的孔洞成像變化探討

當固定物距為 191.6 公分，孔洞半徑 1.0 公分，改變像距時，可以發現單一燈泡的光影其平均直徑稍微增大 (如圖六)。亮度在數位相機拍攝的影像中差異不大(如照片 7a~d)。整個觀察的變化情形也符合光直線前進的成像原理，像距愈大時成像大小 $4 > 3 > 2 > 1$ (如圖七)。

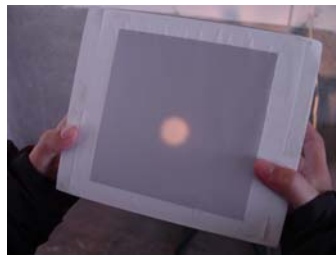




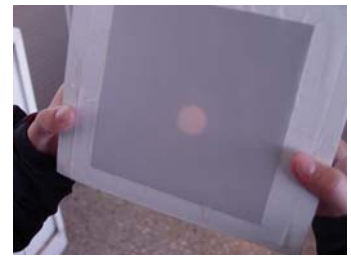
圖七：像距改變時，成像大小關係



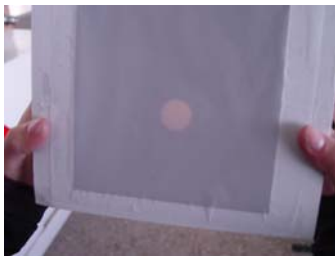
照片 6a：物距 0.5m



照片 6b：物距 1.0m



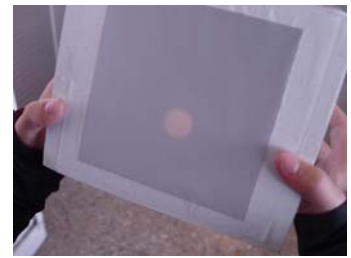
照片 6c：物距 1.92m



照片 6d：物距 3.0m



照片 6e：物距 4.0m



照片 7a：像距 12.5cm



照片 7b：像距 14.0cm



照片 7c：像距 17.5cm



照片 7d：像距 21.0cm

七、光滑地面的成像原理和面鏡成像的原理相同，兩者皆為光線的反射成像，光滑地面的成像中，因為觀察者的位置關係，物體與像均在觀察者的同側，不會像照鏡子一般，人和像是左右相反。

八、孔洞成像是利用光線的直線前進所呈現的影像，當孔洞半徑 > 2.5 公分時，單一燈泡所形成的光影半徑 $> 1/2$ 最大光影的半徑，燈泡的光影會產生相互重疊的現象，形成明暗的花形影像(見照片 8a~d)。



照片 8a：針孔成像 照片 8b：孔半徑 1 公分的成像 照片 8c：孔半徑 2.5 公分的成像 照片 8d：孔半徑 3 公分的成像

九、觀察彩色燈泡的投影現象，因為燈泡的功率小、亮度較小，所以觀察位置需比較接近，物距在 100 公分處比較清楚，而物距在 191.6 公分處影像則是太暗，物距在 60 公分處影像則是太大，超出觀察器的範圍。

十、使用半徑 1 公分小孔卡片、物距為 100 公分時，觀察 4.6.9 號燈泡的投影為三個分開而且位置相反的 3 個光圈，使用小孔半徑 2.5 公分的卡片時，則發現三個部份重疊的光圈，重疊處的顏色和燈泡的顏色不同，和課本中三原色光的混合的圖形相近，但是，因為彩色燈泡的顏色光並非完全的純色系列，尤其是藍色燈泡亮度太小，紅色燈泡偏磚紅色，所以重疊區的顏色和課本所介紹的有些不同(如照片 9a、b)。



照片 9a：投射的光影位置相反，相互分離 照片 9b：重疊處的顏色不同

十一、使用不同形狀的小孔，投射的光影會和小孔形狀相近，三角形小孔的光影就會由三角形所組成，橢圓形小孔的光影則是橢圓形(如照片 10a、b)。



照片 10a：三角形小孔所形成三角形光影

照片 10b：橢圓形小孔所形成的橢圓形光影

柒、結論

- 一、燈源形狀不同、觀察者的觀察位置不同，光滑地面上的成像也會不同，較遠端像的改變會比近端的像改變較多。
- 二、光滑地面上的成像原理和面鏡成像的原理相同，都是利用光線反射，但是觀察者的位置不同，光滑地面上的成像和物體會在觀察者的同側，面鏡成像則是左右相反。
- 三、孔洞成像則會受到小孔半徑的影響，半徑 <1 公分的小孔成像的光影沒有產生重疊現象，影像各自分離而且亮度較暗。半徑 >2.5 公分的小孔，會因為單一燈泡所形成的光影半徑 $>1/2$ 最大光影的半徑，燈泡的光影會產生相互重疊的現象，形成明暗的花形影像。
- 四、孔洞成像會受到物距和像距的影響，物距越遠所形成光影半徑越小，亮度越暗，物距 >3 公尺影像不清楚，物距 <1 公尺因光線太強，造成影像模糊。像距的差距不大，所以影響較小，像距越大成像的光影半徑也越大。
- 五、孔洞成像和針孔成像都是利用光的直線進行，所以所觀察的光影位置和燈源位置會有顛倒的現象。
- 六、孔洞的形狀和彩色燈泡可以形成更多樣的變化，若是能善加利用，就可以有多樣化的投影藝術。

捌、參考資料

- 一、高淑珍等人翻譯，兒童知識博物館---物體的性質與聲光，百年文化圖書公司，台北縣，2001。
- 二、高淑珍等人翻譯，兒童知識博物館---電與光的功能，百年文化圖書公司，台北縣，2001。
- 三、周錦鐘等人編著，第三章光和影子，自然第三冊，康軒文教事業股份有限公司，台北，2001。

- 四、鄔宏潘等人編著，一起來賞月，自然與生活科技四上，牛頓開發教科書股份有限公司，台北市，2002。
- 五、葉李華翻譯，光，目擊者叢書：科學博物館，英文漢聲出版有限公司，台北市，1995。
- 六、周錦鐘等人編著，第六章鏡子遊戲，自然第三冊，康軒文教事業股份有限公司，台北，2001。

附 錄-----我們的實驗數據

不同物距單一光影的平均直徑(cm)

物距	0.5	1	1.92	3	4
光影直徑	3.2	2.8	2.6	1.8	1.7

不同像距單一光影的平均直徑(cm)

像距	12.5	14	17.5	21
光影直徑	2.6	2.8	3.1	3.5

不同物距單一光影平均直徑(cm)

物距	0.5cm					
次數	1	2	3	4	5	平均
光影直徑	3	3.4	3.5	3.3	2.8	3.2
物距	1 cm					
次數	1	2	3	4	5	平均
光影直徑	2.7	3	2.7	2.8	2.8	2.8
物距	3 cm					
次數	1	2	3	4	5	平均
光影直徑	2	1.5	1.8	1.9	1.9	1.8
物距	4cm					
次數	1	2	3	4	5	平均
光影直徑	1.5	2	1.7	1.5	1.9	1.7

不同像距單一光影平均直徑(cm)

像距	14 cm					
次數	1	2	3	4	5	平均
光影直徑	3	3	2.5	2.8	2.7	2.8
像距	17.5 cm					
次數	1	2	3	4	5	平均
光影直徑	3	3	3.5	3	3	3.1
像距	21 cm					
次數	1	2	3	4	5	平均
光影直徑	3.5	3.5	3.3	3.6	3.6	3.5

不同孔洞大、小光影直徑(cm)

孔洞半徑	0.05 cm	1	2.5	3
小光影直徑	0.4	2.6	6	6.8
大光影直徑	2.4	5.7	11.2	約 13.5

孔洞半徑	0.05 cm					
次數	1	2	3	4	5	平均
小光影直徑	0.3	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
大光影直徑	2.1	2.5	2.5	2.3	2.4	2.4
孔洞半徑	2.5					
次數	1	2	3	4	5	平均
小光影直徑	5.7	6	6.2	6.1	5.9	6
大光影直徑	11	11.3	11.1	10.8	11.5	11.2
孔洞半徑	3					
次數	1	2	3	4	5	平均
小光影直徑	6.5	7	6.9	6.9	6.7	6.8
大光影直徑	約 13.5					

評 語

081515 舞動的精靈-多光源的成像變化

1. 生動有趣。
2. 內容可考慮再予補強。
3. 實用性價值頗高。