

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 物理科

030115

轉角遇到光

學校名稱：臺北縣立五峰國民中學

| | |
|---|-----------------------------|
| 作者： 國一 薄詠心 國三 黃秀婷 國一 陳修儀 | 指導老師： 龔韞瑀 邱思敏 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞：光纖照明、照度計、太陽能

摘要

本實驗對光纖的導光特性進行研究，證實太陽光可透過光纖引導，進行照明之利用。由於教室內的人工照明需求量很高，台灣四季雖有充足日光，學校建築物本身受限於環境，無法以綠建築概念建造，若開發太陽光纖照明技術，就可節省大量電能耗費，減少二氧化碳的排放量。本實驗量測教室內自然採光及人工照明下的空間照度，以評估太陽光纖照明的需求性，並研究日光燈的等照度圖及模擬方法，可以評估室內的照度分佈及需要補充照明的位置。經實驗發現，教室內人工照明的照度略不足，且搭配自然採光的燈具配置與控制也不完善。本實驗最後以模型屋的光纖導光實驗，模擬光纖照明應用的可行性，發現太陽光經聚光後再經光纖傳導，其能量使用效率相當高。希望藉由創意的實驗設計，對太陽光纖照明科技能有進一步的了解，並為地球環保盡一份力量！

壹、研究動機：

我們的教室位在四樓，下午西曬時，太陽光相當刺眼，老師還是希望教室的照明要足夠，以保護我們的視力。中午吃飯時，學校希望我們關上電燈，以節省能源。想一想，如果我們能有效利用太陽光進行室內照明，以節省能源消耗，既能增加教室照明又能節省電能、電費，豈不是一舉數得？我們知道綠建築可以節省許多能源，故我們請教了老師，老師告訴我們：八年級會學習光學的教材，提到光的直線傳播、反射、折射、面鏡、透鏡、可見光等課程，於是決定以光學研究作為此次科展的內容，再加上目前流行的「光纖」，於是光在光纖中的應用就成了我們的題目：「轉角遇到光」！

貳、研究目的：

- 一、探討學校教室與實驗室採光及照明的特性
- 二、光能量測及其聚光特性之探討
- 三、探討光在光纖中：光纖粗細、長度、彎曲、及光線入射角度對導光之影響
- 四、研究太陽能及光纖應用在室內照明之可行性

參、研究設備與器材：

壓克力光纖(直徑 1.5 mm、1.2 mm、1.0 mm、0.75 mm 及 0.5mm 各一束)、照度計、日照計、紅色雷射光源、綠色雷射光源、鎢絲燈泡一個、球型省電燈泡(白色光)一個、燈座一座、固定焦距的凸透鏡一個、圓規、角度盤、捲尺、自製聚光器、自製導光管束、自製錐形光罩、自製模型屋



| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| 壓克力光纖 $\phi = 0.75 \text{ mm}$ | 壓克力光纖 $\phi = 0.5 \text{ mm}$ | 照度計 |
|  |  |  |
| 日照計 | 紅色雷射光源 | 綠色雷射光源 |
|  |  |  |
| 鎢絲燈泡 | 球型省電燈泡 | 測距捲尺 |
|  |  |  |
| 凸透鏡 | 圓規與角度盤 | 自製錐形光罩 |
|  |  |  |
| 自製導光管束 | 自製模型屋 | 自製聚光器 |

肆、研究過程：

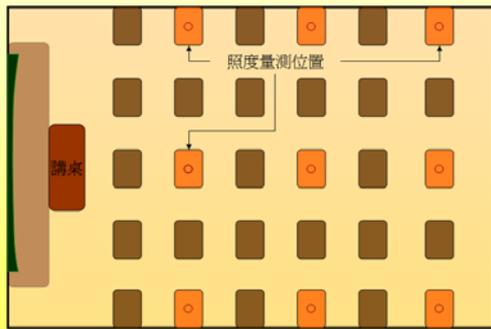
實驗一、教室、實驗室自然採光及人工照明照度量測與日光燈等照度圖量測：

研究步驟：

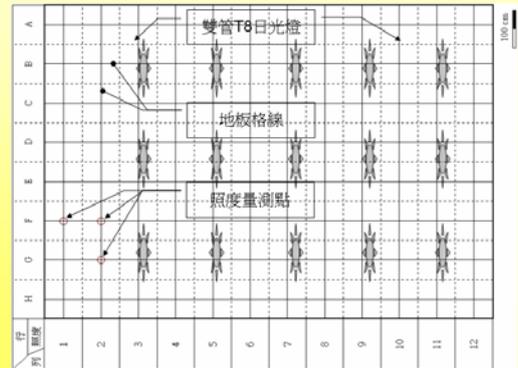
1. 先設定好教室需要量測照明的位置，如黑板最右邊處、中間處、最左邊處、教室最靠走廊的第一排座位第二、第四、第六個課桌的桌面上、第三排座位第二、第四、第六個課桌的桌面上、第五排座位第二、第四、第六個課桌的桌面上，總共 12 個位置。
2. 分別在早上第二堂、下午第六堂，量測教室有電燈燈光照明時，各個量測位置的照度值。
3. 中午關燈時，沒有燈光照明時，各個位置的自然光背景照度值，與步驟 2 比較。
4. 在白紙上先標好圓心處，以 20cm 長度作為直徑，每隔 15 度劃一個圓心角，分別標明 0° 、 30° 、 \dots 、 330° ，成為一個圓形座標圖。
5. 開啟實驗室一盞日光燈(T8 雙管)，將此圓形座標圖固定於日光燈的正下方實驗桌高度位置，並利用捲尺固定在圓心上，將捲尺往 0° 方向水平拉長，帶著照度計沿著 0° 方向前進，在照度計顯示分別為 300、250、200、150、100、50 勒克斯時，記錄當時照度計感應器中心點離座標圓心的距離。
6. 將捲尺往 30° 方向水平拉長，帶著照度計沿著 30° 方向前進，每隔 30° 圓心角，重複步驟 5。
7. 開啟兩盞日光燈，重複步驟 5、6，再加上 400、350 勒克斯時，記錄距離。
8. 以實驗室地板格線為座標(8 行、12 列)，關閉窗簾、開啟實驗室所有燈光(共 3 行 5 列，15 盞 T8 雙管日光燈)，分別量測實驗桌高度各座標點之人工採光照度。
9. 在未開燈情形下，重複步驟 8，分別量測自然採光照度。



實驗一、教室空間配置圖



實驗一、實驗室空間配置

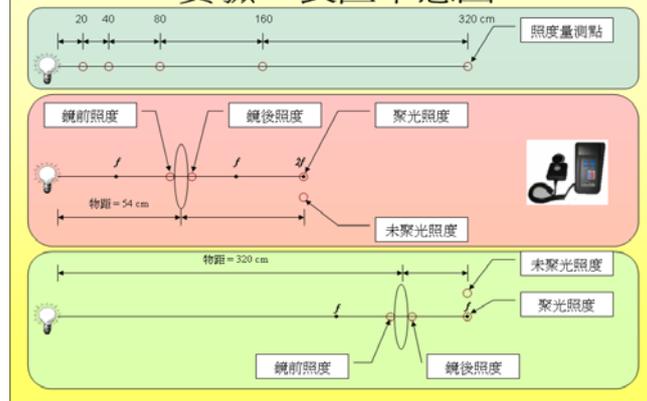


實驗二、光能量測及其聚光特性之探討

研究步驟：

1. 把鎢絲燈泡放在燈座上，將照度計放在與發光燈泡水平距離 20cm 處，調整照度計的測量範圍為 2000 勒克斯，測量鎢絲燈泡的照度並做記錄。
2. 重複步驟 1，在 40cm、80cm、160cm、320cm 處，測量鎢絲燈泡的照度並做記錄。
3. 換成白光省電燈泡，重複步驟 1、2。
4. 將一直徑為 7.3cm 的凸透鏡放在與發光燈泡水平若干距離處，使得燈泡的像大小與物大小一樣大時，記錄此時的物距，此物距即為兩倍焦距處，由此可得凸透鏡的焦距。
5. 將此凸透鏡放在與發光燈泡水平距離 320cm 處，以照度計分別量測透鏡前、後及成像處的照度，並量測成像之直徑大小，做成記錄。

實驗二裝置示意圖



實驗三、探討光在光纖中：光纖粗細、長度、彎曲及光線入射角度對導光之影響

研究步驟：

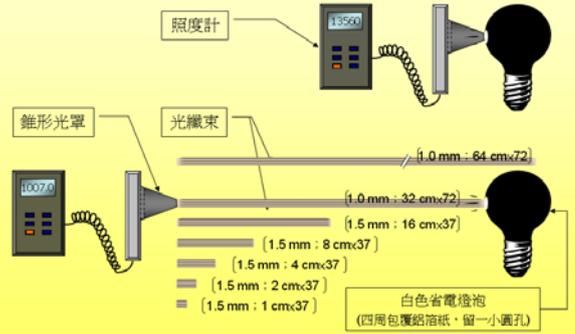
1. 直徑 1.0mm 的光纖一條，將它裁切成 20cm、40cm、80cm 的三段長度；另一條同樣粗細而長度為 160cm 的光纖同樣使用水砂紙將兩邊的橫切面磨平滑，以方便光線入射。

2. 將直徑為 1.0mm、20cm 的光纖一條，平放於平台上，用綠色雷射光當作光源，入射光纖內，在光纖的另一邊擺放照度計，測量綠色光在光纖中傳播時，照度的變化並做記錄。
3. 光纖換成 40cm、80cm、160cm 的三段長度，重複步驟 2。
4. 換成紅色雷射光，重複步驟 1 到 3。
5. 0.75mm、0.5mm 的光纖各兩條，分別重複步驟 1 到 4。
6. 40 cm 的 1.5mm、1.2 mm、1.0 mm、0.75mm、0.5mm 的光纖各一條，重複步驟 2、4。
7. 用 40 cm、1.5mm 的光纖一條，用綠色雷射光當作光源，雷射光束入射的角度與光纖的橫切面成垂直，即入射角為 0 度。在光纖的另一邊擺放照度計，測量綠色光在光纖中傳播時，照度的變化並做記錄。
8. 改變光束入射的角度為 5、10、15、20、25、30、35、40 度角，再將綠色光換成紅色雷射光，重複步驟 7 到 8。
9. 1.5mm、40cm 的光纖一條，將光纖彎曲之後黏貼於白板上，曲率半徑 38cm，用綠色雷射光當作光源，在光纖的另一邊擺放照度計，測量綠色光在彎曲的光纖中傳播時，照度的變化並做記錄。
10. 將光纖彎曲成曲率半徑 36cm、34cm、32cm，直到 8cm，重複步驟 9 到 10。
11. 將光源改為紅色雷射光與省電燈泡白色光，重複步驟 9 到 10。
12. 利用鋁箔紙製作一錐形光罩，角錐高度 30mm、頂端開口 10.85mm、底部開口 30mm。
13. 使用白色省電燈泡當作光源，四周包附鋁箔紙，留一小圓孔，將錐形光罩罩住照度計的感應器直接量測該圓孔之照度大小並做記錄。
14. 1.5mm 的光纖 37 根，裁成 1cm、2cm、4cm、8cm、16cm、32cm 六種長度；1.0mm 的光纖 72 根，裁成 32cm、64cm 兩種長度；並將之分別捆成一束，並用水砂紙將兩邊的橫切面磨平滑，以方便光線入射。
15. 將直徑 1.5mm、長度 1cm 的光纖一束(37 根)，一端接於白色省電燈泡小圓孔，另一端接錐形光罩，再將錐形光罩罩住照度計的感應器，使燈泡、光纖、錐形光罩、感應器四者成一直線，將光入射光纖內，測量白光在光纖中直線傳播時的照度並做記錄。
16. 將步驟 14 的數束光纖，依序重複步驟 15。
17. 1.0 mm、64.0cm 的光纖一束，用綠色光當作光源，入射角為 0 度時，在光纖的另一邊擺放照度計，測量綠光在光纖中傳播時，照度的變化並做記錄。
18. 重複步驟 8。
19. 1.5mm 的光纖 37 根，32cm 彎曲成曲率半徑 38 cm，直到 8cm，用白色燈泡當作光源，測量白光在彎曲的光纖中傳播時，照度的變化並做記錄。
20. 改變光纖束為 1.0mm32cm、1.0 mm64cm，用白色燈泡與紅色雷射光當作光源，重複步驟 19。

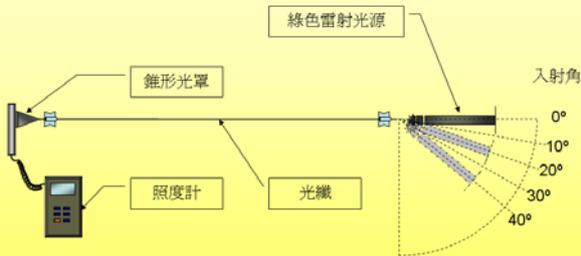
實驗三裝置示意圖(I)



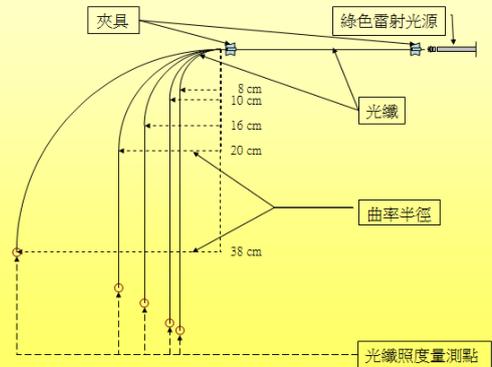
實驗三裝置示意圖(II)



實驗三裝置示意圖(III)



實驗三裝置示意圖(IV)



| | | | |
|--|--|---|--|
| | | | |
| 省電燈泡與光纖束 | 省電燈泡局部表面亮度 | $\phi = 1.5 \text{ mm} \times 37; l = 1.0 \text{ cm}$ | $\phi = 1.5 \text{ mm} \times 37; l = 2.0 \text{ cm}$ |
| | | | |
| $\phi = 1.5 \text{ mm} \times 37; l = 4.0 \text{ cm}$ | $\phi = 1.5 \text{ mm} \times 37; l = 8.0 \text{ cm}$ | $\phi = 1.5 \text{ mm} \times 37; l = 16.0 \text{ cm}$ | $\phi = 1.5 \text{ mm} \times 37; l = 32.0 \text{ cm}$ |
| | | | |
| $\phi = 1.0 \text{ mm} \times 72; l = 64.0 \text{ cm}$ | $\phi = 1.0 \text{ mm} \times 72; l = 32.0 \text{ cm}$ | $\phi = 0.5 \text{ mm} \times 196; l = 64.0 \text{ cm}$ | 各尺寸光纖束 |

實驗四、研究太陽能及光纖應用在室內照明之可行性

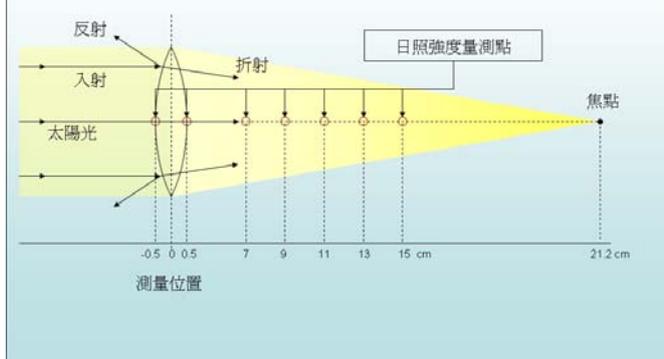
研究步驟：

1. 準備直徑 0.5mm、長 55 公分的光纖 196 條做成導光束一條，直徑約為 9.4mm,並用水砂紙將兩邊的橫切面磨平滑，以方便光線入射。
2. 取一內徑 78.3mm；長度 350mm 的厚紙筒，前端安裝直徑為 74.3mm、焦距為 272mm 的凸透鏡，做成一聚光器。
3. 利用紙箱製作房屋模型，長 44.0cm、寬 30.5cm、高 21.5cm。
4. 將導光束一端貼近省電燈泡表面，另一端固定在模型屋天花板上，以照度計量測，光罩範圍下的照度大小，並做成記錄，實驗模型如下圖。

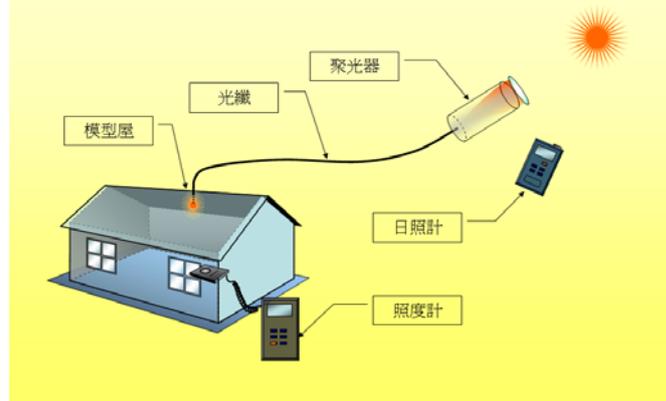


5. 利用日照計量測位於頂樓的太陽光單位面積功率，並做記錄。
6. 取凸透鏡，將其貼近日照計的感應部位，量測陽光穿透後的單位面積功率，並做記錄。
7. 將日照計拉遠，量測凸透鏡中心位置距離日照計 3cm、5cm、7cm、9cm、11cm 時，所會聚之光線的單位面積功率，並做記錄。
8. 直徑 1.0 mm、長 64cm 一束光纖，作為導光束，將導光束一端放入聚光器中，聚光器凸透鏡直接正對太陽，另一端固定在模型屋上，在屋內正對光纖處，放置照度計的感應器，量測後做記錄。
9. 重複步驟 5，將光纖改為直徑 1.0 mm、長 32cm，直徑 1.5 mm、長 32cm，直徑 0.5 mm、長 64cm，重複步驟 8。
10. 重複步驟 5，將光纖改為直徑 1.5 mm、長 16cm，一端固定在聚光器焦點位置，另一端接上錐形光罩，以照度計量測光罩範圍下的照度大小，並做成記錄。
11. 將光纖改為直徑 1.5 mm、長度分別為 4cm、8cm，依序重複步驟 10。
12. 使用直徑 1.0 mm、長 64cm 的導光束，放入自製聚光器中，未接凸透鏡，重複步驟 8。
13. 模型屋的上方天窗打開，重複步驟 8。
14. 模型屋的上方天窗打開，並打開一扇窗戶與打開兩扇窗戶，重複步驟 8。

實驗四裝置示意圖(I)



實驗四裝置示意圖(II)



量測日照強度



以聚光器對準太陽



聚焦之光線對準光纖



照度計感應器對準光源



量測模型屋內照度



以錐形光罩量測光纖照度

伍、研究結果：

實驗一：學校教室、實驗室自然採光及人工照明照度量測與日光燈等照度圖量測

| 教室位置 | 早上有電燈燈光 | | | | 下午有電燈燈光 | | | | 中午沒有電燈燈光 | | | |
|---------|---------|-----|-----|-------|---------|-----|-----|-------|----------|-----|-----|-------|
| | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 |
| 黑板的右邊處 | 483 | 478 | 474 | 478.3 | 552 | 503 | 537 | 530.7 | 53 | 58 | 56 | 55.7 |
| 黑板的中間處 | 730 | 733 | 734 | 732.3 | 752 | 760 | 749 | 753.7 | 60 | 69 | 58 | 62.3 |
| 黑板的左邊處 | 399 | 402 | 427 | 409.3 | 372 | 368 | 367 | 369.0 | 44 | 55 | 50 | 49.7 |
| 教室右排的前面 | 228 | 205 | 303 | 245.3 | 296 | 295 | 294 | 295.0 | 311 | 327 | 320 | 319.3 |
| 教室右排的中間 | 427 | 427 | 470 | 441.3 | 342 | 352 | 367 | 353.7 | 303 | 375 | 304 | 327.3 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-------|
| 教室右排的後面 | 288 | 303 | 297 | 296.0 | 490 | 483 | 497 | 490.0 | 102 | 198 | 154 | 151.3 |
| 教室中間排的前面 | 351 | 401 | 415 | 389.0 | 355 | 347 | 368 | 356.7 | 33 | 64 | 62 | 53.0 |
| 教室中間排的中間 | 375 | 391 | 379 | 381.7 | 456 | 462 | 367 | 428.3 | 47 | 52 | 49 | 49.3 |
| 教室中間排的後面 | 325 | 350 | 323 | 332.7 | 487 | 470 | 492 | 483.0 | 45 | 86 | 84 | 71.7 |
| 教室左排的前面 | 446 | 462 | 423 | 443.7 | 595 | 596 | 570 | 587.0 | 64 | 104 | 101 | 89.7 |
| 教室左排的中間 | 534 | 519 | 503 | 518.7 | 416 | 427 | 411 | 418.0 | 131 | 146 | 140 | 139.0 |
| 教室左排的後面 | 511 | 539 | 487 | 512.3 | 569 | 521 | 549 | 546.3 | 207 | 235 | 232 | 224.7 |

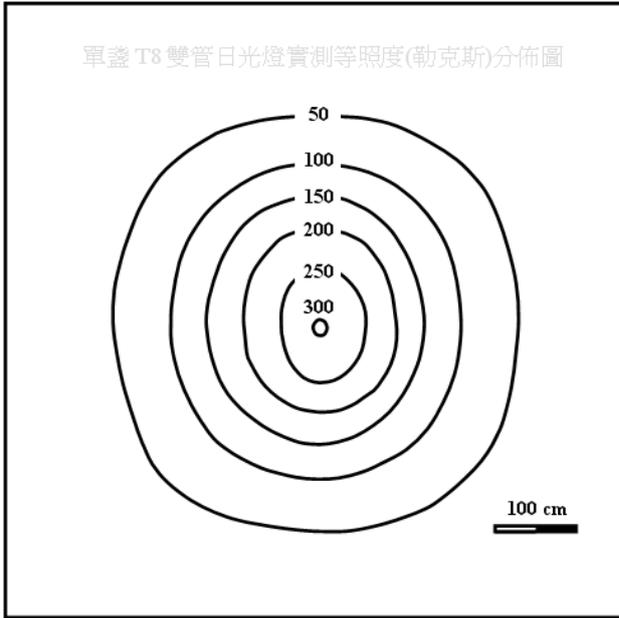
表一-(二)單盞 T8 雙管日光燈等照度圖量測

| 距離 角度 (cm) | 照度 300 勒克斯 | 照度 250 勒克斯 | 照度 200 勒克斯 | 照度 150 勒克斯 | 照度 100 勒克斯 | 照度 50 勒克斯 |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 0 | 22.6 | 82.0 | 105.0 | 142.0 | 184.6 | 260.0 |
| 30 | 20.4 | 66.0 | 110.2 | 143.0 | 192.2 | 266.0 |
| 60 | 18.4 | 63.0 | 103.6 | 137.4 | 182.0 | 253.8 |
| 90 | 16.8 | 55.2 | 96.2 | 134.2 | 177.8 | 248.4 |
| 120 | 18.0 | 62.8 | 99.0 | 139.4 | 187.6 | 257.6 |
| 150 | 21.6 | 81.0 | 115.6 | 154.2 | 196.8 | 266.4 |
| 180 | 23.8 | 88.2 | 121.0 | 159.4 | 199.0 | 258.8 |
| 210 | 23.2 | 81.0 | 116.2 | 152.4 | 198.8 | 266.4 |
| 240 | 20.2 | 64.6 | 102.0 | 137.8 | 187.6 | 256.8 |
| 270 | 21.4 | 64.0 | 98.6 | 134.8 | 180.0 | 250.6 |
| 300 | 23.8 | 69.8 | 104.0 | 139.8 | 187.6 | 264.8 |
| 330 | 24.4 | 77.8 | 115.0 | 148.4 | 194.8 | 269.2 |

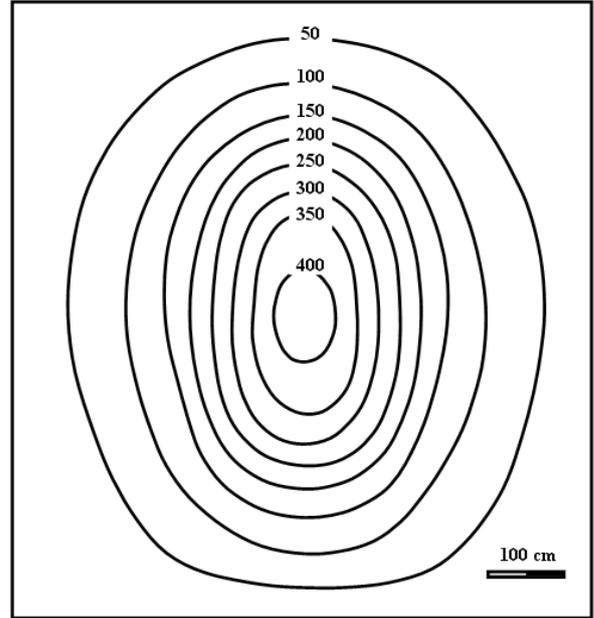
表一-(三)兩盞 T8 雙管日光燈等照度圖量測

| 距離 角度 (cm) | 照度 400 勒克斯 | 照度 350 勒克斯 | 照度 300 勒克斯 | 照度 250 勒克斯 | 照度 200 勒克斯 | 照度 150 勒克斯 | 照度 100 勒克斯 | 照度 50 勒克斯 |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 0 | 58.5 | 132.3 | 172.2 | 201.0 | 232.3 | 268.0 | 317.9 | 363.1 |
| 30 | 51.3 | 103.6 | 144.6 | 176.9 | 207.4 | 241.6 | 289.7 | 365.6 |
| 60 | 40.8 | 79.1 | 104.9 | 133.7 | 163.2 | 189.9 | 243.7 | 319.4 |
| 90 | 38.3 | 66.8 | 94.8 | 121.3 | 149.3 | 182.4 | 234.9 | 307.0 |
| 120 | 40.2 | 74.7 | 103.1 | 133.9 | 164.1 | 202.9 | 249.5 | 330.1 |
| 150 | 53.0 | 104.6 | 140.9 | 177.4 | 204.7 | 242.3 | 285.2 | 357.2 |
| 180 | 56.9 | 133.1 | 163.3 | 199.2 | 232.7 | 263.3 | 306.3 | 366.8 |
| 210 | 51.6 | 100.3 | 137.3 | 171.2 | 206.3 | 241.1 | 286.4 | 360.2 |
| 240 | 39.3 | 79.4 | 105.4 | 136.5 | 167.2 | 201.9 | 247.1 | 325.8 |

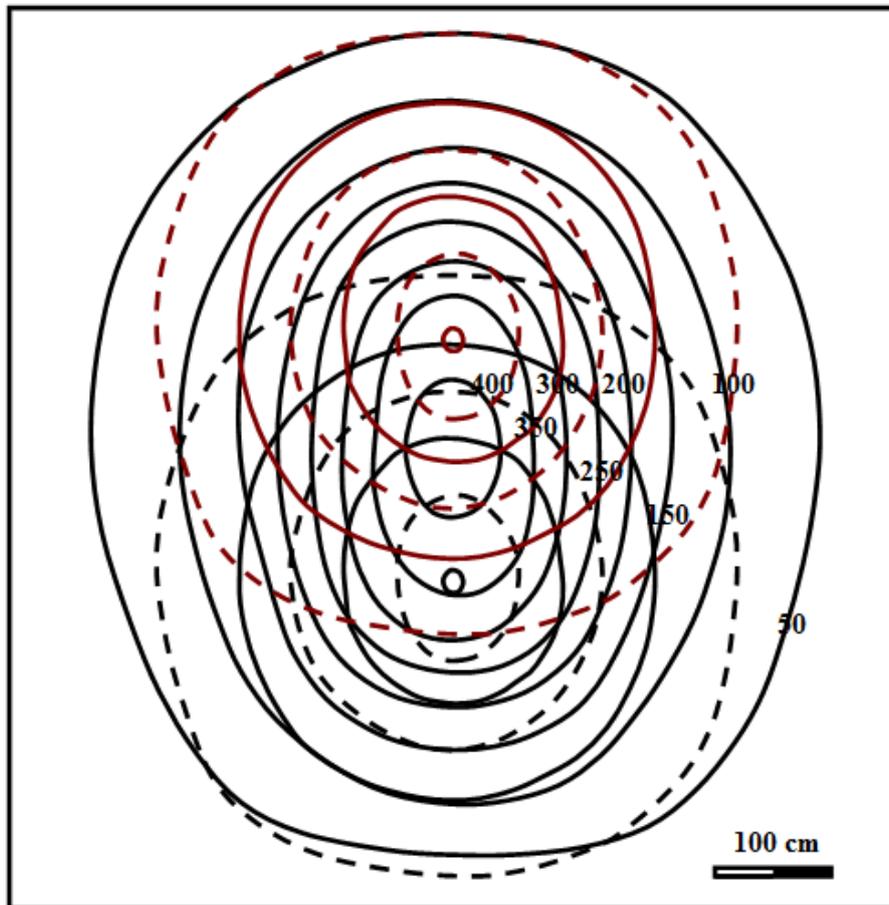
| | | | | | | | | |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 270 | 38.0 | 67.3 | 95.8 | 122.2 | 150.5 | 187.9 | 236.3 | 313.3 |
| 300 | 48.4 | 78.7 | 109.1 | 137.2 | 167.1 | 195.6 | 248.3 | 327.0 |
| 330 | 54.4 | 112.1 | 143.7 | 181.7 | 211.2 | 245.5 | 291.7 | 373.7 |



單盞日光燈(T8 雙管)實測等照度圖

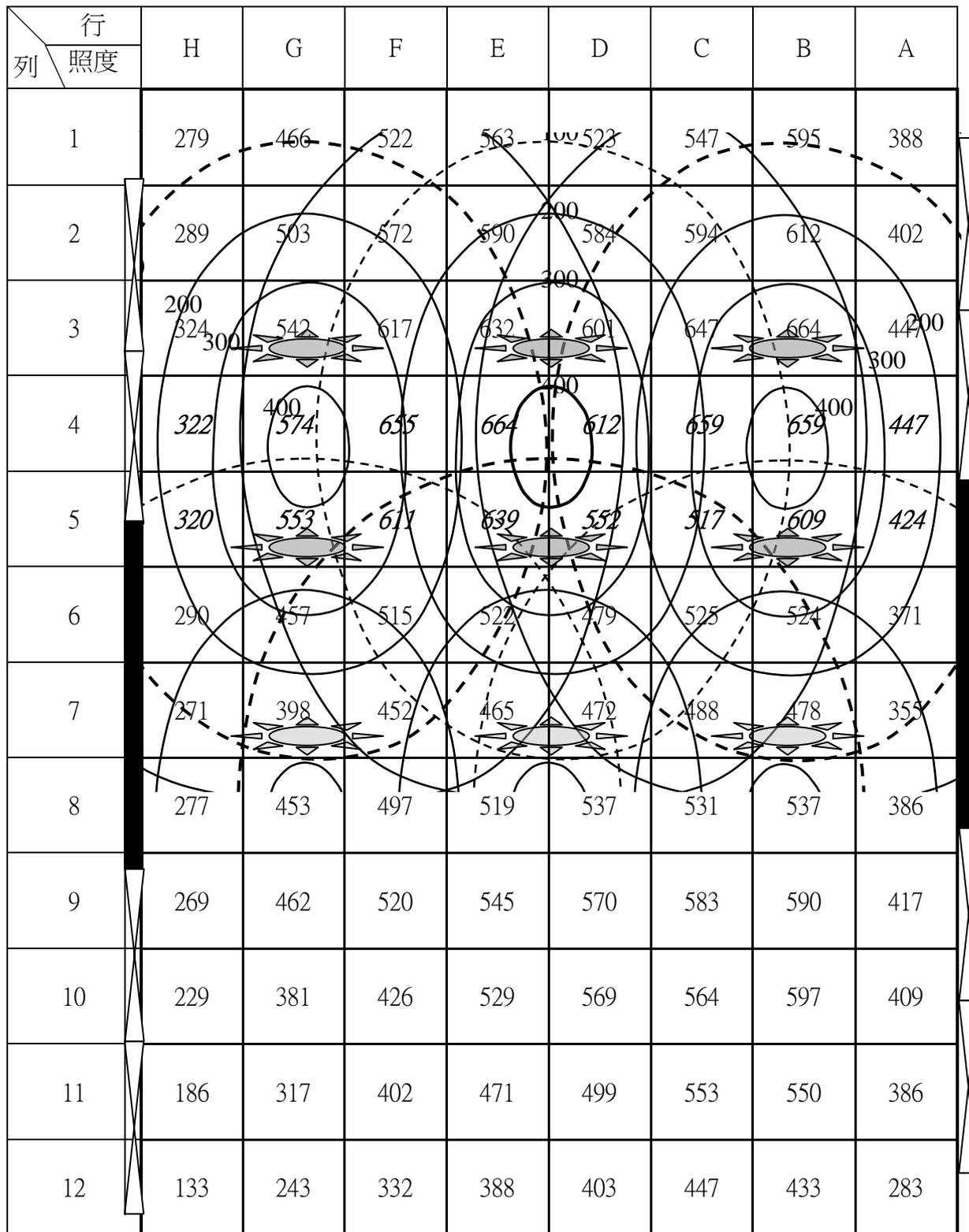


兩盞日光燈(T8 雙管)實測等照度圖



兩盞日光燈(T8 雙管)實測等照度(勒克斯)分佈與
兩個單盞日光燈等照度套疊模擬比較

表一-(四)實驗室平面：人工照明之照度分佈圖並與等照度圖模擬比較



100 cm



表一-(五)實驗室平面：自然採光之照度分佈圖

| 行 列 | 照度 | H | G | F | E | D | C | B | A |
|--------|------|------|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| | | 1 | 59 | 91 | 75 | 52 | 41 | 45 | 47 |
| 2 | 420 | 173 | 98 | 66 | 47 | 48 | 49 | 49 | |
| 3 | 1502 | 511 | 218 | 113 | 62 | 51 | 46 | 50 | |
| 4 | 3320 | 840 | 248 | 159 | 106 | 69 | 64 | 59 | |
| 5 | 3460 | 1071 | 326 | 200 | 118 | 75 | 71 | 58 | |
| 6 | 48 | 204 | 180 | 140 | 108 | 76 | 72 | 61 | |
| 7 | 45 | 61 | 72 | 68 | 64 | 55 | 56 | 55 | |
| 8 | 61 | 98 | 77 | 71 | 58 | 44 | 45 | 42 | |
| 9 | 157 | 167 | 90 | 80 | 58 | 40 | 39 | 35 | |
| 10 | 1410 | 574 | 123 | 83 | 59 | 37 | 37 | 33 | |
| 11 | 1840 | 953 | 237 | 105 | 63 | 42 | 36 | 31 | |
| 12 | 3710 | 970 | 285 | 163 | 78 | 40 | 37 | 23 | |

100 cm



研究結果討論：

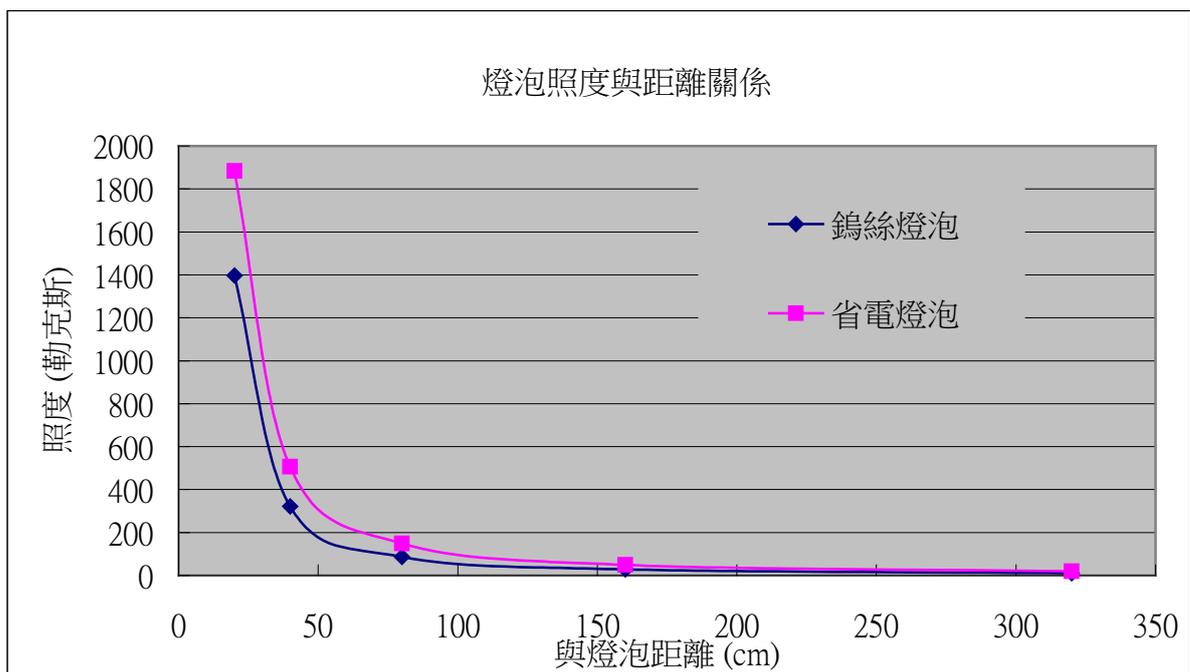
1. 由教室照度分佈量測可以發現，在開燈的情形下，教室內的照度分佈並不十分均勻。中午時雖然室外有太陽光，但是教室的照度仍顯不足，與有燈光明時大約相差 10 倍左右。

2. 教室因受到太陽光西曬，下午每一個位置的照度比早上時的照度又略大一些，可以知道太陽光可以讓教室的照度增大許多，是可以利用的光能。
3. 教室內的電燈排列情形較不規則，故我們選擇物理實驗室重新再做一次測量。電燈的排列情形為黑板橫向有三盞，實驗室縱長有四盞。經由照度計所顯現的照度值，可以看出照度分布情形。
4. 由實驗室的自然採光照度分佈可以觀察到，雖然陽光充足，但因受到牆面阻隔及太陽光線入射角度的影響，照度分佈極不均勻，離窗 3 公尺的地方，照度已降到窗邊的十分之一以下。
5. T8 日光燈形狀雖長條形，但由單盞等照度圖觀察，其中心部位的曲線近似橢圓形、長方形。
6. 將兩個單盞日光燈等照度圖依比例位置加以套疊，可以發現與兩盞電燈的實測等照度圖非常接近。將模擬圖形套疊到實驗室平面的人工照明分佈的局部區域，發現模擬的情形也非常良好。因此，若已知教室相同燈光的空間配置，利用等照度圖便可以模擬推估該教室的照度分佈，藉此可知道當室內光線不足時，可以在何處加強光線，以提高照明。

實驗二：光能量測及其聚光特性之探討

表二-(一)燈泡距離與照度量測實驗 (照度單位：勒克斯)

| 量測距離 | 鎢絲燈泡 | | | | 省電燈泡 | | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 |
| 20cm | 1396.0 | 1393.0 | 1402.0 | 1397.0 | 1892.0 | 1879.0 | 1882.0 | 1884.3 |
| 40cm | 323.0 | 322.0 | 321.0 | 322.0 | 508.0 | 504.0 | 506.0 | 506.0 |
| 80cm | 87.0 | 86.4 | 87.1 | 86.8 | 149.2 | 149.6 | 148.4 | 149.1 |
| 160cm | 27.8 | 27.5 | 27.4 | 27.6 | 48.8 | 48.7 | 48.5 | 48.7 |
| 320cm | 10.3 | 10.2 | 10.1 | 10.2 | 19.2 | 19.3 | 19.2 | 19.2 |



| 量測位置 | 透鏡與省電燈泡距離 54 cm | | | | 透鏡與省電燈泡距離 320 cm | | | |
|-----------|-----------------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 |
| 透鏡前照度 | 354.0 | 356.0 | 353.0 | 354.3 | 19.0 | 18.8 | 18.8 | 18.9 |
| 透鏡後照度 | 331.0 | 332.0 | 331.0 | 331.3 | 17.6 | 17.5 | 17.7 | 17.6 |
| 成像距離未聚光照度 | 147.6 | 146.8 | 148.1 | 147.5 | 14.3 | 13.8 | 14.1 | 14.1 |
| 成像位置聚光後照度 | 321.0 | 323.0 | 322.0 | 322.0 | 111.1 | 109.2 | 107.5 | 109.3 |

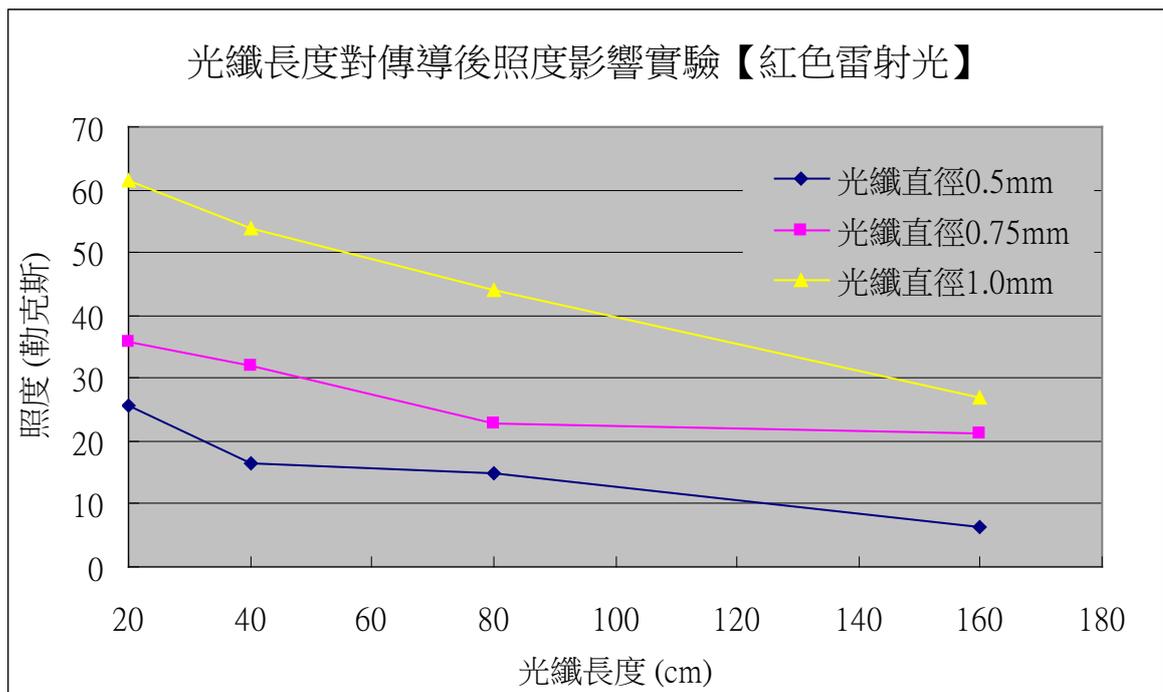
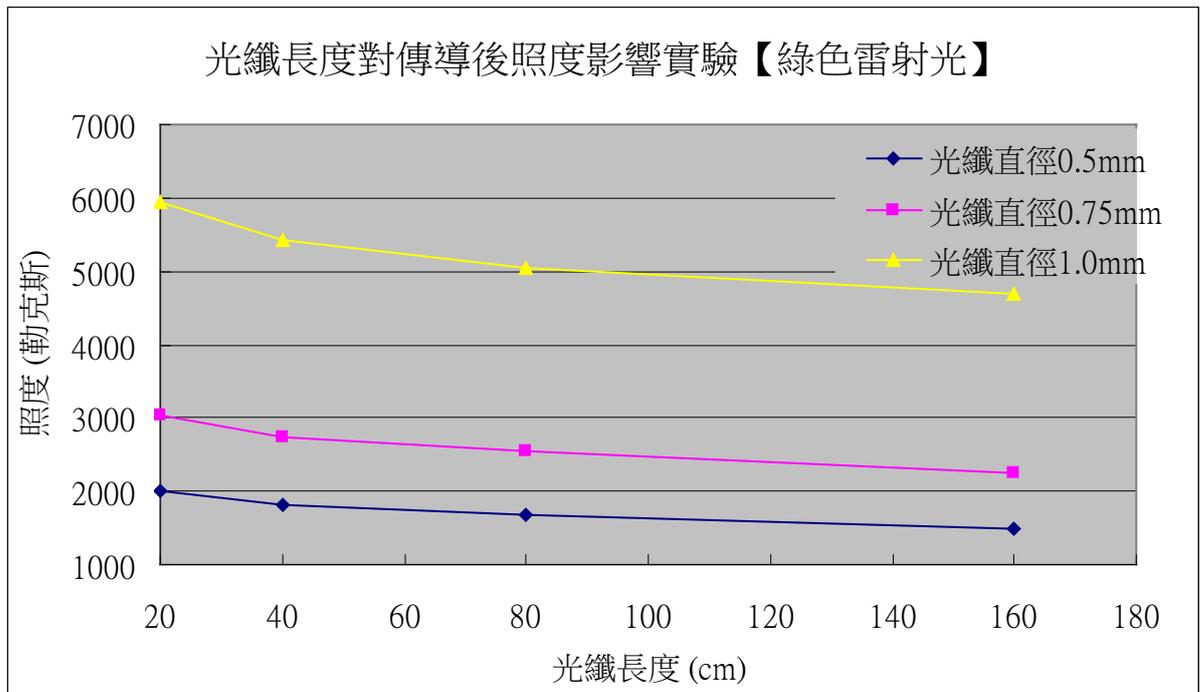
研究結果討論：

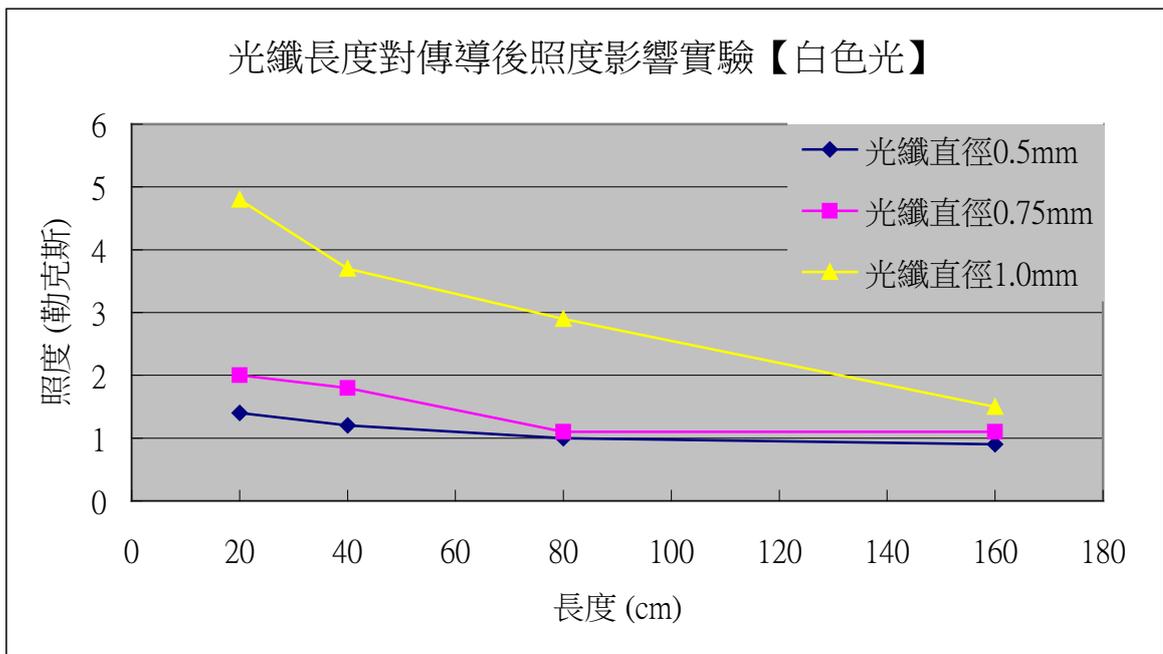
1. 由實驗圖形可以知道照度約與距離平方成反比關係。
2. 省電燈泡的照度比鎢絲燈泡的照度大許多。
3. 凸透鏡前、後方及成像位置的照度實驗中可以看出，光線經過凸透鏡後會損失能量，所以照度會減少。物距是焦距的兩倍時，透鏡後的照度與成像位置的照度相當接近。
4. 將省電燈泡放在凸透鏡前 54cm 處，比較成像距離之未聚光照度及聚光後照度，雖有增加但僅有 2 倍，由此可知：球形省電燈泡所產生之光線呈輻射狀，並非平行光，故在近距離時，其聚光效果並不明顯。
5. 將省電燈泡放在凸透鏡前 320 cm 處，量測凸透鏡前、後方及成像位置的照度，發現成像位置的照度明顯增大，由此可知：在適當距離之外，球形省電燈泡所產生之光線可視為平行光，此可以解釋雖然太陽距離遙遠，但其強烈之光線以平行光入射，若將太陽的能量以透鏡聚焦加以集中，可再大幅提升其照度作為照明的光源，就可以節省能源。

實驗三：探討光在光纖中：光纖粗細、長度、彎曲及光線入射角度對導光之影響

| 照度 光纖 長度 | | 光源：綠色雷射光 | | | | 光源：紅色雷射光 | | | | 光源：白色光 | | | |
|-------------------|-------|----------|------|------|--------|----------|------|------|------|--------|-------|-------|-------|
| | | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 |
| 光纖 直徑 1.0mm | 20cm | 5900 | 5940 | 5990 | 5943.3 | 62.0 | 61.5 | 61.0 | 61.5 | 172.8 | 176.4 | 172.8 | 174.0 |
| | 40cm | 5410 | 5430 | 5240 | 5360.0 | 55.2 | 53.4 | 52.9 | 53.8 | 103.0 | 112.0 | 111.0 | 108.7 |
| | 80cm | 5130 | 4980 | 5010 | 5040.0 | 45.4 | 42.5 | 43.9 | 43.9 | 108.0 | 104.4 | 104.4 | 105.6 |
| | 160cm | 4820 | 4660 | 4570 | 4683.3 | 28.0 | 25.7 | 26.8 | 26.8 | 54.0 | 54.0 | 54.0 | 54.0 |
| 光纖 | 20cm | 3170 | 2990 | 2910 | 3023.3 | 36.0 | 36.3 | 35.0 | 35.8 | 42.0 | 40.0 | 40.0 | 40.7 |

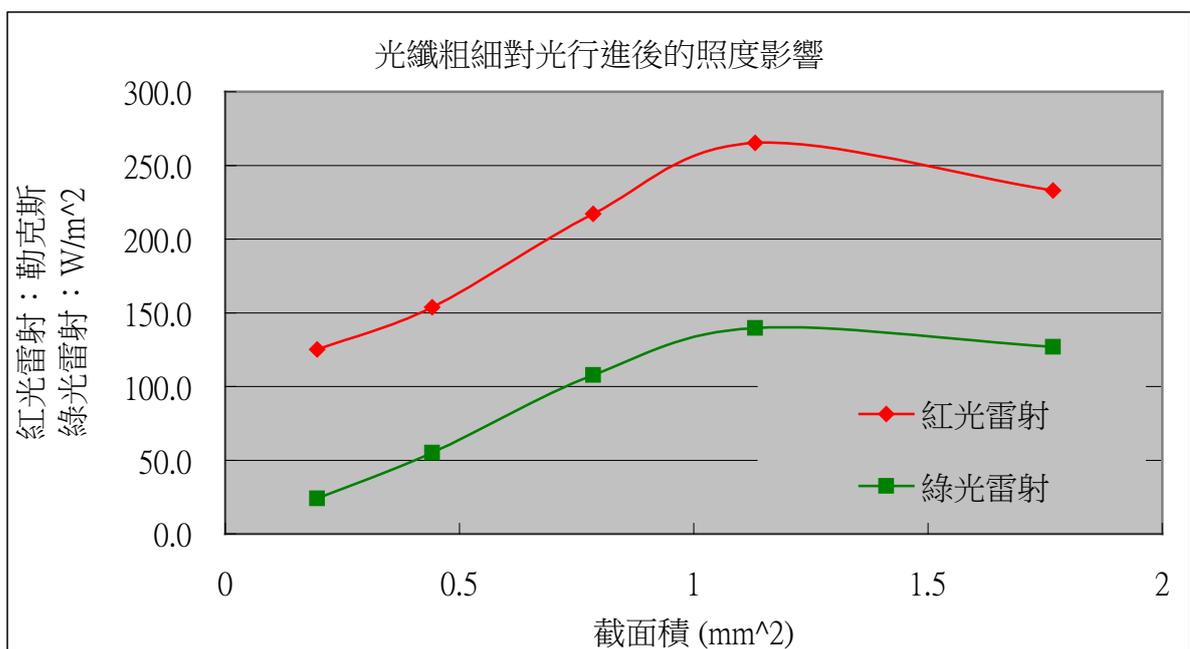
| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 直徑 0.75mm | 40cm | 2830 | 2760 | 2660 | 2750.0 | 31.4 | 32.0 | 32.2 | 31.9 | 39.0 | 40.0 | 36.0 | 38.3 |
| | 80cm | 2570 | 2630 | 2420 | 2540.0 | 22.7 | 23.1 | 23.0 | 22.9 | 24.0 | 22.0 | 22.0 | 22.7 |
| | 160cm | 2270 | 2100 | 2350 | 2240.0 | 21.6 | 21.5 | 20.5 | 21.2 | 22.0 | 20.0 | 22.0 | 21.3 |
| 光纖 直徑 0.5mm | 20cm | 2120 | 1990 | 1940 | 2016.7 | 25.7 | 25.9 | 25.8 | 25.8 | 2.1 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| | 40cm | 1880 | 1840 | 1760 | 1826.7 | 16.5 | 16.5 | 16.8 | 16.6 | 1.8 | 1.8 | 1.9 | 1.8 |
| | 80cm | 1720 | 1740 | 1610 | 1690.0 | 14.9 | 14.9 | 15.3 | 15.0 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| | 160cm | 1520 | 1400 | 1560 | 1493.3 | 6.4 | 6.4 | 6.5 | 6.4 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.1 |



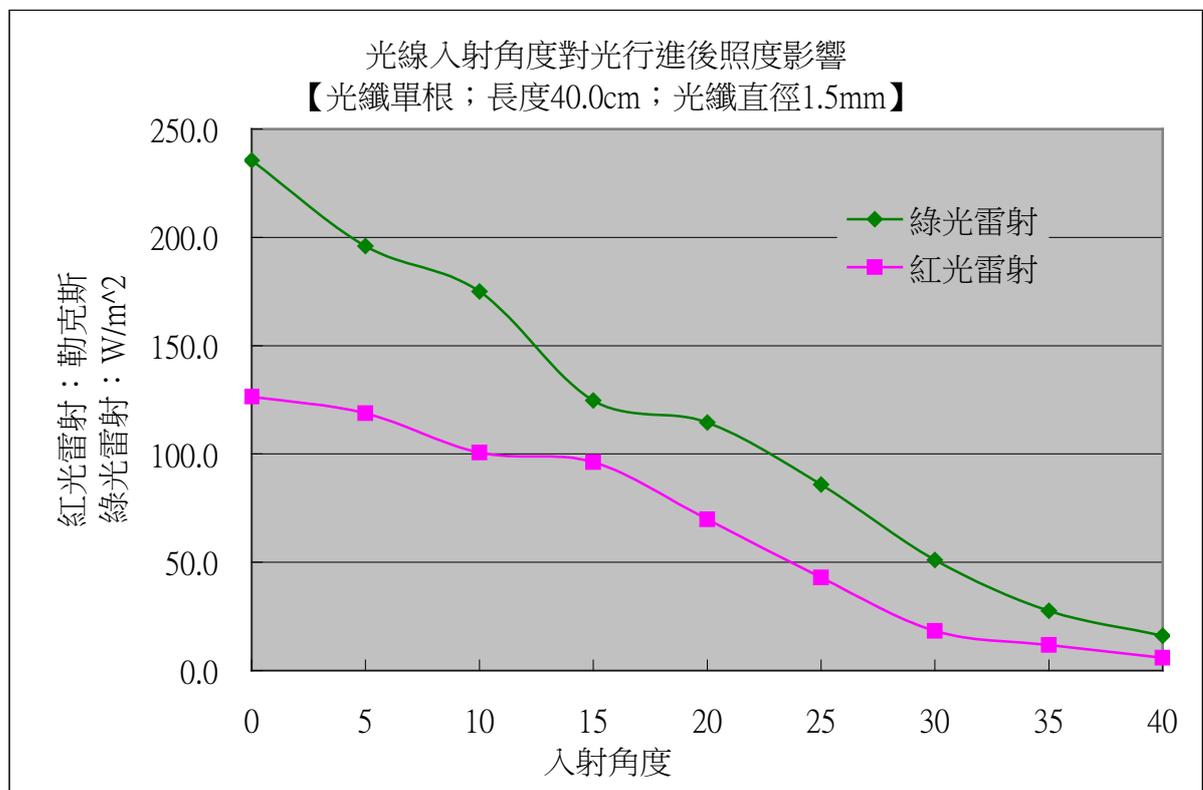


表三-(二)光纖粗細對光行進後的照度影響實驗 (光纖長度 40.0cm)

| 光纖直徑 | 光源 | 綠色雷射光 (量測單位：瓦特/平方公尺) | | | | 紅色雷射光 (量測單位：勒克斯) | | | |
|--------|----|-------------------------|-------|-------|-------|---------------------|-------|-------|-------|
| | | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 |
| 1.5mm | | 131.8 | 124.6 | 124.3 | 126.9 | 245.8 | 217.6 | 235.4 | 232.9 |
| 1.2mm | | 142.1 | 141.2 | 136.0 | 139.8 | 268.4 | 268.3 | 259.3 | 265.3 |
| 1.0mm | | 103.2 | 117.2 | 102.9 | 107.8 | 220.8 | 213.9 | 216.8 | 217.2 |
| 0.75mm | | 54.3 | 56.4 | 54.3 | 55.0 | 151.3 | 162.9 | 147.2 | 153.8 |
| 0.5mm | | 24.3 | 24.6 | 23.1 | 24.0 | 122.8 | 125.8 | 126.7 | 125.1 |



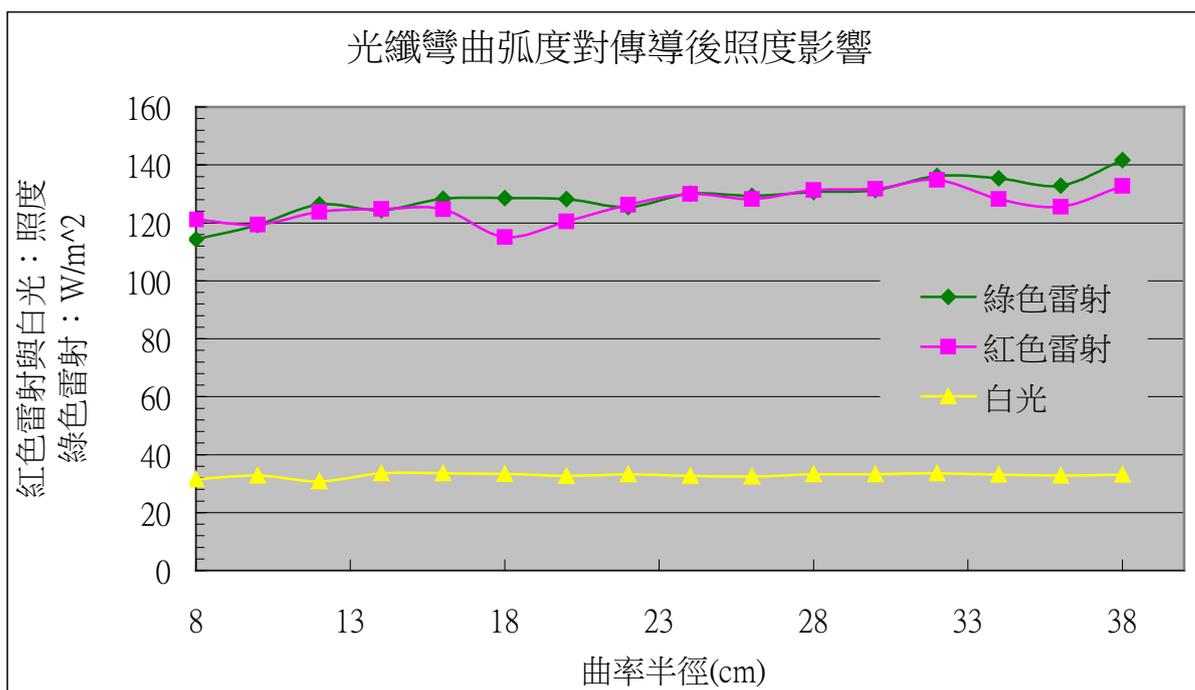
| 表三-(三)光線入射角度對光行進後照度影響實驗 【光纖單根；長度 40.0cm；光纖直徑 1.5mm】 | | | | | | | | |
|--|-------------------------|-------|-------|-------|---------------------|-------|-------|-------|
| 光源 入射 角度 | 綠色雷射光 (量測單位：瓦特/平方公尺) | | | | 紅色雷射光 (量測單位：勒克斯) | | | |
| | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 |
| 0 度 | 236.4 | 229.8 | 240.5 | 235.6 | 125.4 | 127.2 | 126.8 | 126.5 |
| 5 度 | 201.5 | 198.7 | 187.6 | 195.9 | 120.6 | 118.9 | 117.0 | 118.8 |
| 10 度 | 175.6 | 168.2 | 181.3 | 175.0 | 102.3 | 99.1 | 100.4 | 100.6 |
| 15 度 | 124.3 | 122.9 | 126.8 | 124.7 | 100.2 | 98.7 | 89.6 | 96.2 |
| 20 度 | 121.0 | 109.5 | 113.2 | 114.6 | 68.2 | 67.9 | 73.1 | 69.7 |
| 25 度 | 87.4 | 77.9 | 92.3 | 85.9 | 41.2 | 42.6 | 44.9 | 42.9 |
| 30 度 | 50.1 | 53.6 | 49.7 | 51.1 | 17.6 | 19.5 | 18.0 | 18.4 |
| 35 度 | 27.8 | 26.9 | 28.1 | 27.6 | 11.5 | 11.6 | 12.3 | 11.8 |
| 40 度 | 17.5 | 16.5 | 14.3 | 16.1 | 5.9 | 5.7 | 5.9 | 5.8 |



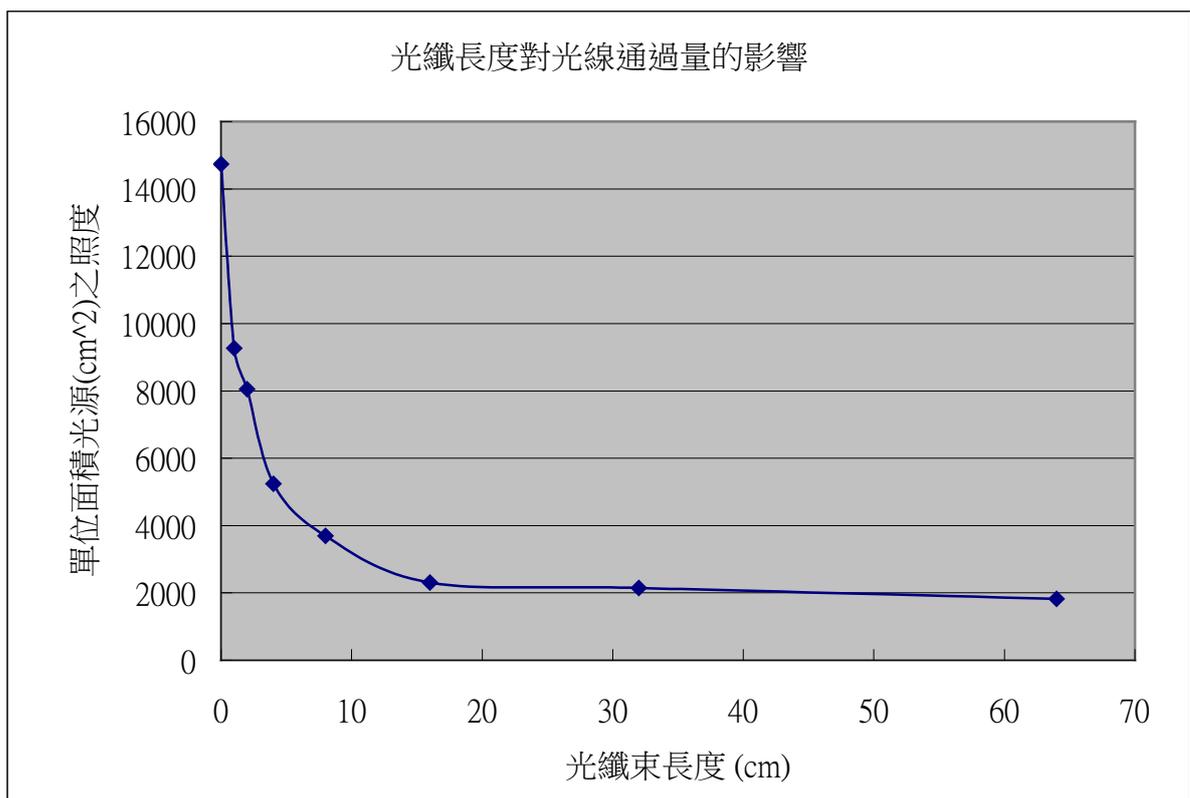
表三-(四)光纖彎曲弧度對傳導後照度影響實驗 (單位：勒克斯)

【光纖單根；長度 40.0cm；光纖直徑 1.5mm】

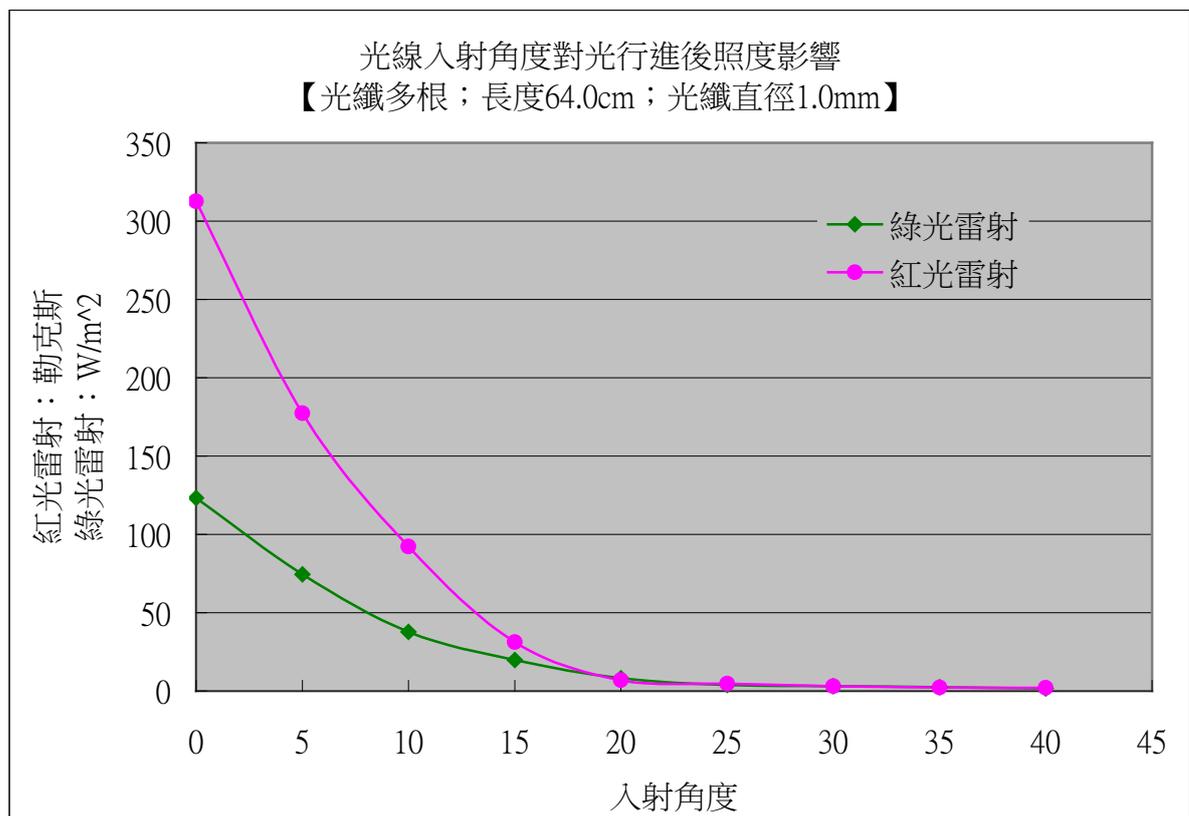
| 光纖彎曲 弧度 | 光源：綠色雷射光 | | | | 光源：紅色雷射光 | | | | 光源：白色光 | | | |
|------------|--------------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|
| | 量測單位：瓦特/平方公尺 | | | | 量測單位：勒克斯 | | | | 量測單位：勒克斯 | | | |
| | 第一 次 | 第二 次 | 第三 次 | 平均 值 | 第一 次 | 第二 次 | 第三 次 | 平均 值 | 第一 次 | 第二 次 | 第三 次 | 平均 值 |
| 曲率半徑 38cm | 141.4 | 142.1 | 141.7 | 141.7 | 137.2 | 131.1 | 129.7 | 132.7 | 33.2 | 33.0 | 33.2 | 33.1 |
| 曲率半徑 36cm | 132.5 | 133.3 | 132.9 | 132.9 | 125.8 | 125.2 | 125.9 | 125.6 | 32.6 | 33.0 | 32.9 | 32.8 |
| 曲率半徑 34cm | 135.1 | 135.9 | 135.2 | 135.4 | 126.8 | 127.7 | 130.1 | 128.2 | 33.2 | 33.1 | 33.1 | 33.1 |
| 曲率半徑 32cm | 135.9 | 136.7 | 136.1 | 136.2 | 136.3 | 134.6 | 133.5 | 134.8 | 33.6 | 33.5 | 33.5 | 33.5 |
| 曲率半徑 30cm | 131.6 | 131.4 | 130.8 | 131.3 | 130.9 | 132.4 | 132.0 | 131.8 | 33.3 | 33.2 | 33.2 | 33.2 |
| 曲率半徑 28cm | 130.7 | 130.8 | 130.7 | 130.7 | 128.4 | 133.2 | 132.4 | 131.3 | 33.3 | 33.2 | 33.2 | 33.2 |
| 曲率半徑 26cm | 129.2 | 129.4 | 129.2 | 129.3 | 127.5 | 128.7 | 128.4 | 128.2 | 32.7 | 32.3 | 32.2 | 32.4 |
| 曲率半徑 24cm | 130.0 | 130.3 | 130.1 | 130.1 | 129.6 | 130.3 | 130.1 | 130.0 | 32.9 | 32.6 | 32.7 | 32.7 |
| 曲率半徑 22cm | 124.5 | 125.6 | 126.3 | 125.5 | 126.9 | 125.6 | 126.0 | 126.2 | 32.9 | 33.3 | 33.3 | 33.2 |
| 曲率半徑 20cm | 127.2 | 128.9 | 128.6 | 128.2 | 120.2 | 121.5 | 119.9 | 120.5 | 32.6 | 32.3 | 33.1 | 32.7 |
| 曲率半徑 18cm | 128.3 | 127.8 | 129.4 | 128.5 | 113.3 | 117.2 | 114.7 | 115.1 | 33.2 | 33.4 | 33.3 | 33.3 |
| 曲率半徑 16cm | 128.3 | 128.5 | 128.1 | 128.3 | 120.4 | 125.1 | 128.5 | 124.7 | 33.5 | 33.6 | 33.4 | 33.5 |
| 曲率半徑 14cm | 124.5 | 124.5 | 124.1 | 124.4 | 123.1 | 122.9 | 128.4 | 124.8 | 33.5 | 33.6 | 33.5 | 33.5 |
| 曲率半徑 12cm | 127.4 | 126.0 | 125.9 | 126.4 | 124.7 | 123.5 | 123.1 | 123.8 | 30.7 | 30.8 | 30.9 | 30.8 |
| 曲率半徑 10cm | 120.6 | 119.8 | 117.4 | 119.3 | 119.3 | 120.2 | 118.7 | 119.4 | 32.6 | 32.9 | 32.9 | 32.8 |
| 曲率半徑 8cm | 114.6 | 113.6 | 114.7 | 114.3 | 121.9 | 120.7 | 121.0 | 121.2 | 31.3 | 31.3 | 31.6 | 31.4 |



| 表三-(五)光在多根光纖中直線傳播，長度對照度的實驗(照度單位：勒克斯) 光源：白色光 | | | | | |
|--|-------|-------|-------|---------|------------|
| 光纖 直徑；長度×根數 | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 | 單位面積 照度 |
| 燈泡表面照度測量 (光罩頂端內徑 1.085 cm) | 13680 | 13630 | 13560 | 13623.3 | 14734.5 |
| 1.5mm；1cm×37 | 5800 | 5790 | 5810 | 5800.0 | 9263.4 |
| 1.5mm；2cm×37 | 5140 | 5130 | 5050 | 5106.7 | 8049.5 |
| 1.5mm；4cm×37 | 3270 | 3310 | 3270 | 3283.3 | 5243.9 |
| 1.5mm；8cm×37 | 2350 | 2290 | 2300 | 2313.3 | 3694.7 |
| 1.5mm；16cm×37 | 1440 | 1460 | 1440 | 1446.7 | 2310.5 |
| 1.5mm；32cm×37 | 1318 | 1396 | 1297 | 1337.0 | 2135.4 |
| 1.0mm；32cm×72 | 1170 | 1160 | 1190 | 1173.3 | 2147.3 |
| 1.0mm；64cm×72 | 1007 | 995 | 991 | 997.7 | 1825.8 |



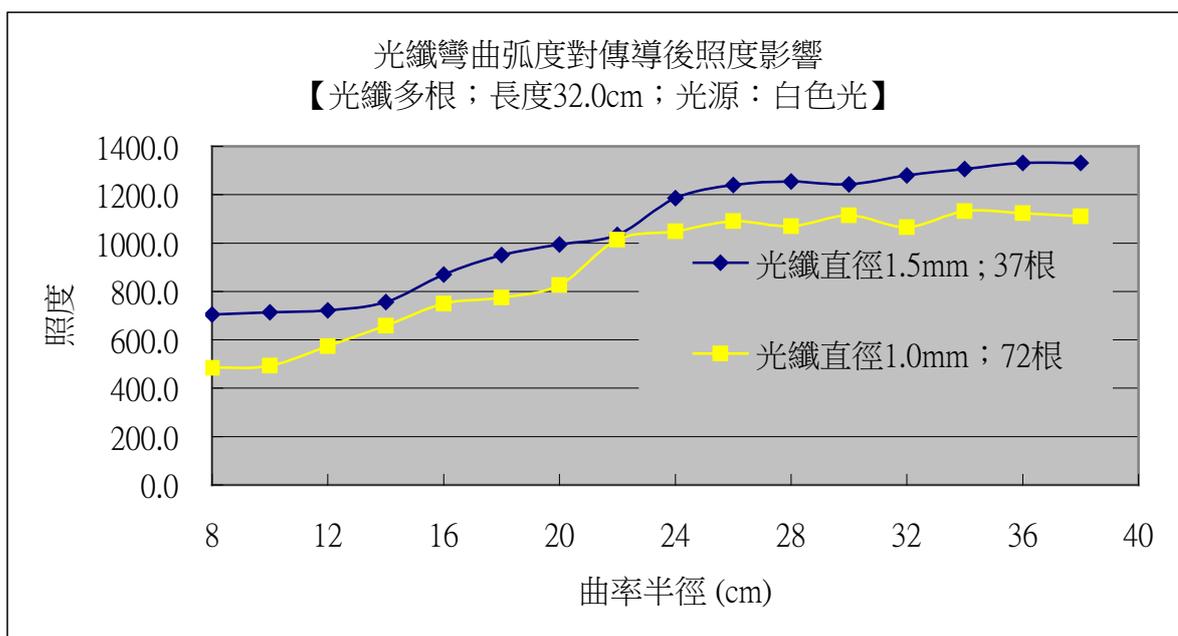
| 表三-(六)光線入射角度對光行進後照度影響實驗 【光纖多根；長度 64.0cm；光纖直徑 1.0mm】 | | | | | | | | |
|--|----------------------------|-------|-------|-------|------------------------|-----|-----|-------|
| 光源 入射 角度 | 光源：綠色雷射光 (量測單位：瓦特/平方公尺) | | | | 光源：紅色雷射光 (量測單位：勒克斯) | | | |
| | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 |
| 0度 | 123.1 | 124.6 | 121.8 | 123.2 | 313 | 312 | 313 | 312.7 |
| 5度 | 73.4 | 74.8 | 75.2 | 74.5 | 177 | 178 | 177 | 177.3 |
| 10度 | 38.6 | 37.5 | 37.2 | 37.8 | 92 | 92 | 93 | 92.3 |
| 15度 | 20 | 19.7 | 19.6 | 19.8 | 32 | 31 | 31 | 31.3 |
| 20度 | 8 | 7.9 | 8.7 | 8.2 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 25度 | 3.6 | 3.9 | 4 | 3.8 | 4 | 5 | 5 | 4.7 |
| 30度 | 3.1 | 2.8 | 3.3 | 3.1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 35度 | 2.6 | 2.5 | 2.3 | 2.5 | 2 | 2 | 3 | 2.3 |
| 40度 | 1.7 | 1.7 | 1.5 | 1.6 | 2 | 2 | 2 | 2 |



表三-(七)光纖彎曲弧度對傳導後照度影響實驗 (單位：勒克斯)

【光纖多根；長度 32.0cm；光源：白色光】

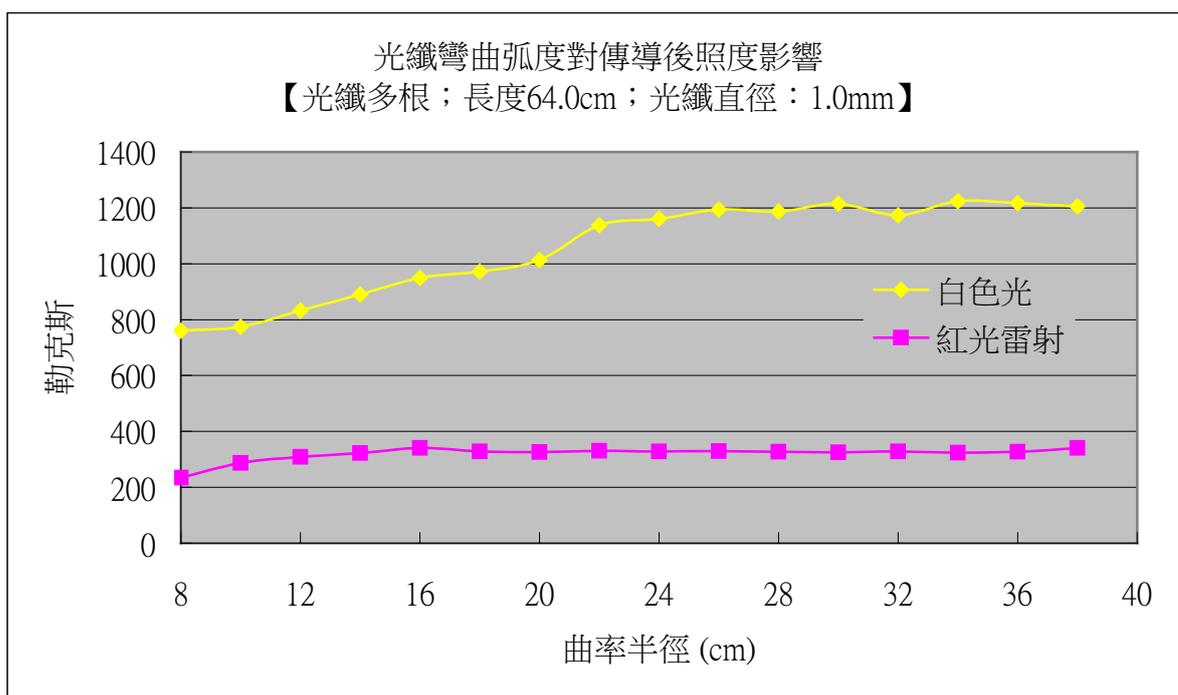
| 光纖直徑 根數 彎曲弧度 | 光纖直徑 1.5mm；37 根 | | | | 光纖直徑 1.0mm；72 根 | | | |
|--------------------|-----------------|------|------|--------|-----------------|------|------|--------|
| | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 |
| 曲率半徑 38cm | 1338 | 1329 | 1328 | 1331.3 | 1111 | 1107 | 1115 | 1111.0 |
| 曲率半徑 36cm | 1331 | 1334 | 1330 | 1331.7 | 1135 | 1111 | 1127 | 1124.3 |
| 曲率半徑 34cm | 1306 | 1306 | 1308 | 1306.7 | 1134 | 1131 | 1130 | 1131.7 |
| 曲率半徑 32cm | 1278 | 1279 | 1281 | 1279.2 | 1072 | 1071 | 1054 | 1065.7 |
| 曲率半徑 30cm | 1241 | 1244 | 1245 | 1243.3 | 1110 | 1113 | 1122 | 1115.0 |
| 曲率半徑 28cm | 1254 | 1254 | 1255 | 1254.2 | 1045 | 1041 | 1124 | 1070.0 |
| 曲率半徑 26cm | 1239 | 1239 | 1241 | 1239.6 | 1087 | 1088 | 1098 | 1091.0 |
| 曲率半徑 24cm | 1186 | 1186 | 1185 | 1185.8 | 1059 | 1055 | 1031 | 1048.3 |
| 曲率半徑 22cm | 1031 | 1034 | 1035 | 1033.3 | 1015 | 1011 | 1016 | 1014.0 |
| 曲率半徑 20cm | 995 | 995 | 993 | 994.2 | 825 | 823 | 831 | 826.3 |
| 曲率半徑 18cm | 950 | 950 | 953 | 950.8 | 780 | 776 | 768 | 774.7 |
| 曲率半徑 16cm | 863 | 875 | 873 | 870.0 | 752 | 741 | 756 | 749.7 |
| 曲率半徑 14cm | 754 | 756 | 758 | 755.8 | 657 | 658 | 659 | 658.0 |
| 曲率半徑 12cm | 719 | 721 | 726 | 722.1 | 572 | 574 | 575 | 573.7 |
| 曲率半徑 10cm | 713 | 713 | 715 | 713.3 | 494 | 492 | 493 | 493.0 |
| 曲率半徑 8cm | 710 | 690 | 714 | 704.6 | 493 | 494 | 466 | 484.3 |



表三-(八)光纖彎曲弧度對傳導後照度影響實驗 (單位：勒克斯)

【光纖多根；長度 64.0cm；光纖直徑：1.0mm】

| 光源 彎曲弧度 | 光源：白色光 | | | | 光源：紅色雷射光 | | | |
|------------|--------|------|------|--------|----------|-----|-----|-------|
| | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 |
| 曲率半徑 38cm | 1396 | 1395 | 1394 | 1205.3 | 341 | 338 | 342 | 340.3 |
| 曲率半徑 36cm | 1412 | 1411 | 1412 | 1216.7 | 324 | 328 | 329 | 327.0 |
| 曲率半徑 34cm | 1413 | 1412 | 1411 | 1224.0 | 325 | 322 | 324 | 323.7 |
| 曲率半徑 32cm | 1397 | 1396 | 1394 | 1173.0 | 332 | 329 | 324 | 328.3 |
| 曲率半徑 30cm | 1418 | 1412 | 1408 | 1214.3 | 321 | 327 | 326 | 324.7 |
| 曲率半徑 28cm | 1414 | 1413 | 1398 | 1187.7 | 327 | 328 | 327 | 327.3 |
| 曲率半徑 26cm | 1398 | 1397 | 1396 | 1194.0 | 331 | 330 | 326 | 329.0 |
| 曲率半徑 24cm | 1403 | 1402 | 1397 | 1161.0 | 327 | 330 | 329 | 328.7 |
| 曲率半徑 22cm | 1390 | 1387 | 1386 | 1137.7 | 331 | 331 | 330 | 330.7 |
| 曲率半徑 20cm | 1374 | 1371 | 1386 | 1013.3 | 328 | 324 | 325 | 325.7 |
| 曲率半徑 18cm | 1361 | 1371 | 1372 | 972.0 | 327 | 329 | 328 | 328.0 |
| 曲率半徑 16cm | 1351 | 1349 | 1350 | 949.0 | 340 | 340 | 341 | 340.3 |
| 曲率半徑 14cm | 1349 | 1350 | 1351 | 889.3 | 323 | 322 | 321 | 322.0 |
| 曲率半徑 12cm | 1346 | 1348 | 1349 | 832.7 | 311 | 308 | 309 | 309.3 |
| 曲率半徑 10cm | 1346 | 1348 | 1339 | 774.7 | 288 | 287 | 286 | 287.0 |
| 曲率半徑 8cm | 1326 | 1324 | 1322 | 760.7 | 232 | 236 | 234 | 234.0 |



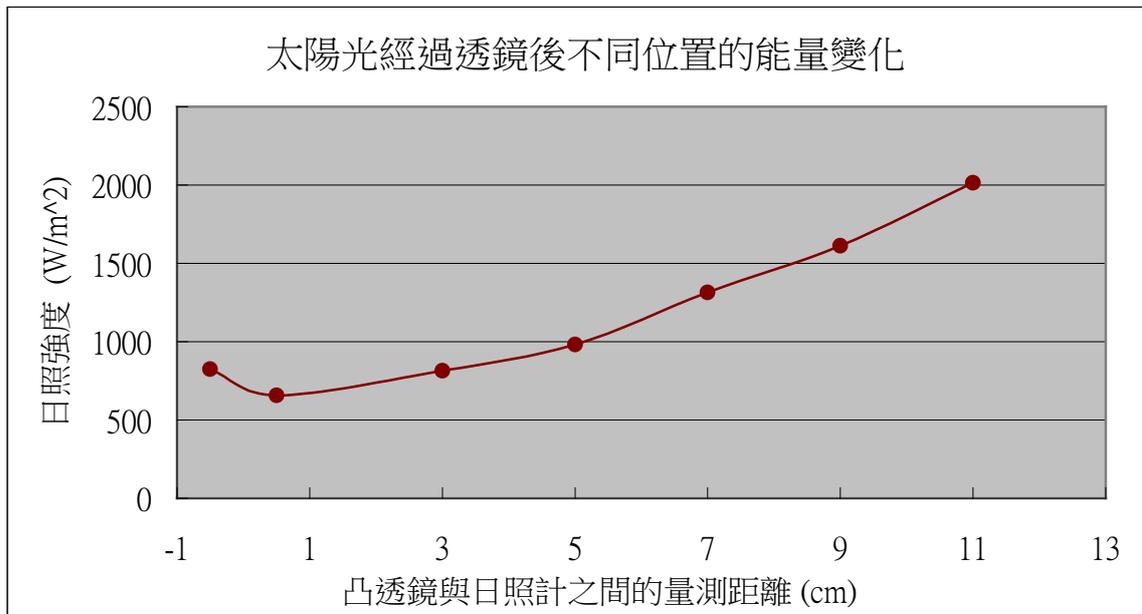
實驗結果討論：

1. 以錐形光罩量測省電燈泡的照度值，可使能量較為集中。
2. 光纖的直徑 1.0mm，對各種色光行進後所得的照度值都是最高的，由於綠色雷射光的能量很強，其量測到的照度值比白色光大許多。直徑大代表截面積大，可以通過的光線較多，直徑 0.75mm 是直徑 0.5mm 的 1.5 倍，平均照度值約為 1.5 倍。直徑 1.0mm 是直徑 0.5mm 的 2 倍，平均照度值約為 3 倍。
3. 由於單根光纖面積太小，量測誤差可能較大，因此以多根光纖札成一束，並控制白色光的光源強度再進行實驗。
4. 實驗結果發現光纖長度越長，光線傳遞的損失就越高，由實驗數據發現，越靠近光源處，能量損失比例越高，尤其是白光的部份，此應與光源入射時的角度有關。在實驗觀察中也可發現，光纖在靠近光源的部份，其側面亮度很高，表示有很多光線從光纖內透射出來。
5. 入射光線須與光纖的截面積垂直，即雷射光束入射與截面積所成的角度為 90 度時，照度計的感應器讀出的照度值是最大的，所以在作光纖設備時儘量採取 0 度的入射角。
6. 由實驗記錄觀察，入射角在 10 度已內對照度影響不大，到了 20 度的時候，綠色雷射光的光能約損失了 93.3%；紅色雷射光的光能約損失了 97.7%。
7. 由實驗可以發現，光纖曲率半徑大小對雷射光源照度變化影響不大，而光源為白光，且光纖曲率半徑小於 24 公分時，其傳導後照度隨曲率半徑變小而逐漸變小。其原因可能為雷射光源為平行光，而白光為燈泡所發出之非平行光。

實驗四：太陽能及光纖應用在室內照明之可行性探討

表四-(一)太陽光經過凸透鏡後不同位置的能量匯聚變化實驗 (單位：瓦特/平方公尺)

| 實驗 次數 | 距離 日照 強度 | 鏡前 | 鏡後 | 3 cm | 5 cm | 7 cm | 9 cm | 11 cm |
|----------|----------------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | | -0.5cm | 0.5 cm | | | | | |
| 第一次 | | 814.2 | 652.4 | 812.3 | 972.8 | 1332 | 1535 | 2057 |
| 第二次 | | 834.2 | 650.9 | 820.3 | 1005 | 1298 | 1559 | 2064 |
| 第三次 | | 825.7 | 654.6 | 809.1 | 982.4 | 1280 | 1688 | 2000 |
| 第四次 | | 824.5 | 655.3 | 822.5 | 969.7 | 1326 | 1692 | 2013 |
| 第五次 | | 823.4 | 668.2 | 807.4 | 976.3 | 1331 | 1587 | 1938 |
| 平均值 | | 824.4 | 656.28 | 814.3 | 981.2 | 1313.4 | 1612.2 | 2014.4 |



表四-(二)模型屋導光照度實驗(單位：勒克斯) 光源：省電燈泡白色光

| 光纖尺寸 | 燈源強度 (照度/cm ²) | 照度量測記錄 (單位：勒克斯) | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----|-----|-----|
| | | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 |
| 光纖直徑 0.5mm； 長度 64cm × 196 根 | 14513 | 9.5 | 9.1 | 9.8 | 9.5 |

表四-(三)模型屋導光照度實驗：天窗關閉、兩扇窗戶關閉 光源：日光

| 光纖尺寸 | 日照強度 W/m ² | 照度量測記錄 (單位：勒克斯) | | | |
|--|--------------------------|-----------------|------|------|--------|
| | | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 |
| 光纖直徑 0.5mm； 長度 64cm × 196 根 | 399.1 | 555 | 559 | 551 | 555.0 |
| 光纖直徑 1.0mm； 長度 64cm × 72 根 | 499.3 | 1680 | 1678 | 1692 | 1683.3 |
| 光纖直徑 1.0mm； 長度 32cm × 72 根 | 433.5 | 1375 | 1384 | 1401 | 1386.7 |
| 光纖直徑 1.5mm； 長度 32cm × 37 根 | 427.6 | 1320 | 1310 | 1470 | 1366.7 |
| 光纖直徑 1.5mm； 長度 16cm × 37 根 (以錐形光罩量測) | 391.2 | 1693 | 1755 | 1814 | 1754.0 |
| 光纖直徑 1.5mm； 長度 8 cm × 37 根 (以錐形光罩量測) | 299.4 | 1392 | 1416 | 1440 | 1416.0 |
| 光纖直徑 1.5mm； 長度 4 cm × 37 根 (以錐形光罩量測) | 283.1 | 1303 | 1361 | 1280 | 1314.7 |

| 表四-(四)模型屋導光照度實驗：天窗與兩扇窗戶關閉、日光照射到凸透鏡再到光纖上 光源：日光 | | | | | |
|--|--------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| 光纖尺寸 | 日照強度 W/m ² | 照度量測記錄 (單位：W/m ²) | | | |
| | | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 |
| 光纖直徑 1.0mm； 長度 64cm × 72 根 | 855.2 | 358.4 | 357.2 | 357.9 | 357.8 |

| 表四-(五)模型屋導光照度實驗：天窗關閉、兩扇窗戶關閉、日光直接照射到光纖上 光源：日光 | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------------------|------|------|------|
| 光纖尺寸 | 日照強度 W/m ² | 照度量測記錄 (單位：W/m ²) | | | |
| | | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 |
| 光纖直徑 1.0mm； 長度 64cm × 72 根 | 850.5 | 16.7 | 16.0 | 16.7 | 16.5 |

| 表四-(六)模型屋導光照度實驗：天窗打開、兩扇窗戶關閉 光源：日光 | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| 光纖尺寸 | 日照強度 W/m ² | 照度量測記錄 (單位：W/m ²) | | | |
| | | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 |
| 光纖直徑 1.0mm； 長度 64cm × 72 根 | 863.2 | 868.3 | 817.2 | 839.5 | 841.7 |

| 表四-(七)模型屋導光照度實驗：天窗打開、一扇窗戶打開、一扇窗戶關閉 光源：日光 | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| 光纖尺寸 | 日照強度 W/m ² | 照度量測記錄 (單位：W/m ²) | | | |
| | | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 |
| 光纖直徑 1.0mm； 長度 64cm × 72 根 | 845.0 | 953.4 | 931.4 | 931.1 | 938.6 |

| 表四-(八)模型屋導光照度實驗：天窗打開、兩扇窗戶打開 光源：日光 | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| 光纖尺寸 | 日照強度 W/m ² | 照度量測記錄 (單位：W/m ²) | | | |
| | | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 平均值 |
| 光纖直徑 1.0mm； 長度 64cm × 72 根 | 845.2 | 987.3 | 963.4 | 987.6 | 979.4 |

| 實驗結果討論： | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 光線經過導光管束，因光纖入射面的反射、光纖材料對光能的吸收及材料不均勻或有雜質等因素，使得傳輸的光線產生損耗，以致測得的照度值會比光源還少。 2. 太陽光經透鏡聚光實驗，我們以透鏡中心點為座標，透鏡厚度 1cm，故鏡前量測日照強度的距離座標為-0.5cm，鏡後量測則為 0.5cm。 | | | | | |

3. 太陽光經透鏡反射或吸收，損耗率約為 20.39%，但經聚光後，在 0.4 倍焦距(11cm) 的地方，所測得匯聚的能量可達原本光源的 3 倍之多，此距離所聚能量已達本實驗日照計的量測極限。
4. 因透鏡匯聚了穿過鏡面的光線，故依面積比例，若配合光纖束的直徑，調整匯聚的光圈大小，將可大幅提高光源的強度。
5. 本實驗用的的放大鏡因焦距較小，穿過透鏡邊緣與鏡面中心兩條光線所形成的角度約為 17 度，已超過實驗四最佳入射角度範圍(10 度以內)，故透鏡邊緣入射的光線能量會略有損失。此問題可選用焦距較大的凸透鏡加以解決。
6. 自製模型屋，當作一般房屋的情形，來模擬利用太陽光聚焦之後導入室內以節省電能的可能性。
7. 模型屋導光照度實驗中，天窗關閉、兩扇窗戶關閉、日光直接照射到光纖上的照度值是最小的；天窗打開、兩扇窗戶打開，太陽光經過凸透鏡會聚光線後再經光纖引導到模型屋中的照度值是最大的。這也證明了綠建築重視開窗率，是可以增加室內照明，並達到節省電能的效果。

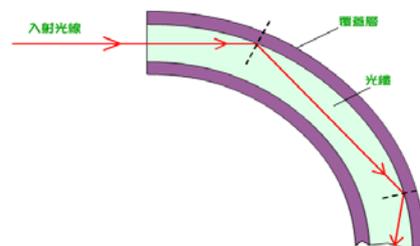
陸、討論與分析：

一、 什麼是光纖？

答：光纖是一種可以傳導光的線材，多半是以玻璃或塑料製成的纖維，利用光的全反射原理，使光線在前進過程中不會洩漏到光纖之外。微細的光纖封裝在塑料護套中，使得它能夠彎曲而不至於斷裂。此外，由於光在光纖的傳輸損失比電在電線傳導的損耗低得多，而且光的傳輸速度比電快很多，促使光纖被用作長距離的訊號傳遞工具。

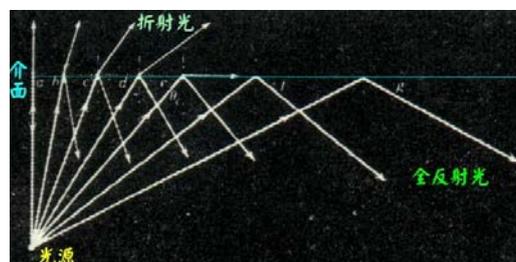
二、 光線如何在光纖中傳播？

答：光線從末端進入光纖後，經由光纖外層介面不斷發生的全反射，光線可沿著光纖繼續前進。



三、 何謂光的全反射？

答：當光由較密的介質(折射率較大)射入較疏的介質(折射率較小)時，折射角 θ_2 會大於入射角 θ_1 ，當入射角 θ_1 達到一臨界角度時折射角 θ_2 達到 90° ，產生光無法進入較疏介質的折射情形，因而全部反射回原入射的較密介質中，這種現象就稱為光的「全反射」。



四、 光纖是誰發明的？

答：光纖是由華裔科學家高錕博士所發明，他在 1966 年發表光通訊理論，指人類可製作出極高純度的玻璃纖維，取代傳統銅線，傳送極高容量資料。1970 年代，科學界利用高錕博士的理論，並由康寧玻璃工廠以石英製造出世界第一條光纖，自此「光纖」技術一日千里，帶來世界通訊革命。

五、 為什麼要使用雷射光作為光源？

答：因為雷射光具有單色光、不會色散、細而直、能量集中、直線傳播等特性。

六、 為什麼要使用白色的省電燈泡作為光源？

答：以白色的省電燈泡所發出的白光來模擬成太陽的白光，方便實驗操作。

七、 為什麼光能量測的實驗，需要測量凸透鏡前及凸透鏡後兩邊的照度？

答：以便比較因透鏡反射或吸收光線所造成的光能損失。

八、 光纖彎曲的程度與光線進入光纖後照度的變化，有何關係？

答：光纖轉彎時會造成內部光線的入射角度改變，當入射角小於全反射發生之臨界角時，造成內部行進中的光線無法進行全反射，而散失到光纖之外。由於壓克力光纖的全反射臨界角約為 40° ，因此光纖可彎曲的程度很大(曲率半徑小)仍不致造成光纖內的光能散失。由實驗三光纖彎曲實驗可以發現，光纖曲率半徑大小對雷射光源照度變化影響不大；而光源為白光，且光纖曲率半徑小於 24 公分時，其傳導後照度隨曲率半徑變小而逐漸變小。其原因可能為雷射光源為平行光，而白光為燈泡所發出之非平行光。

九、 光線入射光纖的角度與光線進入光纖後照度的變化，有何關係？

答：光線在光纖內行進是依據全反射原理，故光線從端點進入光纖時的入射角度必須在一定範圍以內，由我們的實驗數據觀察，入射角在 10 度以內對照度影響不大，到了 20 度的時候，光線的照度約損失了 90% 以上。

十、 光纖在光的傳播上有何特性？

答：由於光在進入不同介質時會有反射現象，因此並不是所有照射在光纖輸入端的光線都能藉由光纖傳導至輸出端，由實驗三表三-五發現，以錐形光罩量測省電燈泡局部表面照度，再利用光纖導光束傳導該局部光線，其量測所得照度僅燈泡表面照度的 18.6%，也就是說超過 80% 的光能在傳導過程中損耗掉了；前述的光能損耗與光纖的長度也有關係，因光能會被物質吸收掉；同時也會因為光纖材質，或因質地不均勻有雜質、氣泡、裂縫等，而使得光在傳導過程中洩漏到光纖以外。此外，由於光纖是利用全反射的原理，使光線在光纖內部曲曲折折的不斷前進，因此光線入射角度會影響到光能傳導的效率，而光纖彎曲情形則視光源是否為平行光而有不同的損耗率，此現象在實驗三可以獲得證實。

十一、在實驗四中，進行了打開天窗、打開窗戶的研究過程，原因何在？

答：我們用模型屋來當作一般房屋的情形。為了達到綠建築所標榜的重視環保、節能減碳，希望開窗率大，可以運用充足的太陽能來照明。故設計了不同的開窗情況，來比較彼此照度的差異。從實驗數據可以證明，開窗率較大，室內的照度較大也就較明亮。

十二、本實驗過程遇到哪些困難？

答：從一些參考資料發現，光纖特性量測需要相當精密的儀器，像光能的功率量測和設備已超出我們的研究能力範圍，但老師告訴我們，利用照度計量測空間照度，雖然不能實際量測出光能多少，但仍可相對判斷光能的大小差別。但由於學校提供的照度計量測範圍在 20000 勒克斯以內，本實驗所需量測的太陽光及綠色雷射光源均超出該照度計量測範圍，故無法測出該兩光源的照度大小。後來老師商借一台日照計給我們使用，才得以克服器材不足的困難！雖然量測的物理量不相同，但仍可以比較照度的差異。經光纖傳輸後的一些訊號顯示，所要實驗的量測項目仍可得到不錯的應證。

柒、結論與建議：

- 一、在能源日益匱乏，且石化能源污染、排放溫室氣體的問題亟待解決的今天，太陽能一被譽為來自天堂的潔淨能源，近年來成為人類持續努力開發替代能源的項目之一，但其重點多半在於太陽能光電及熱能方面。但事實上，一般商用或住宅大樓，其照明的用電需其就佔了超過 40%，將太陽光直接用來照明，而不需事先經過一道電能轉換和傳輸的手續，應該是更具效率的做法。
- 二、目前光纖的應用主要在數位訊號傳輸，例如有線電視、通訊及網際網路的纜線等，其次是用在特殊影像處理，例如醫學使用的內視鏡、警用或搜救人員使用的偵察鏡等，所需的光纖直徑非常細，對材料品質的要求也很高，其價格和尺寸並不適合做為照明的傳輸材料。雖然目前也有一些照明上的應用，不過多半以裝飾用途為主，其光源來自其他人工照明，對節省能源並無幫助，雖然也有少許利用太陽能照明的研究，但應用上並不普遍。
- 三、光纖照明的可運用性：由於教室內的人工照明耗費大量電能，而台灣四季都有充足的日光，若善加利用就可節省大量的電能，進而減少二氧化碳的排放量。從本實驗一中午教室未開燈的照度量測可以發現，教室靠窗的座位已有足夠的採光，但因光線直線進行的特性，使得教室由於方位、格局及其他建築物阻擋等問題，以致其室內自然光源的照度並不均勻。若能在教學大樓頂樓或其他適當位置裝置聚光器，再經由光纖傳導至教室內採光不足的位置，就可以減少人工照明的使用。由實驗四模型屋導光照度實驗可以發現，我們的構想是可行的。
- 四、本實驗對日光燈等照度圖所進行的量測及模擬，其結果可應用在建築物日燈光照明的空間規劃。同時，對現有的教室，可簡易的評估出其開燈後的照度分佈，其藉此可知道當室內光線不足時，可以在何處加強光線，以提高照明。
- 五、依據 CNS 國家表標準，有關學校教室的照度標準應達至少 500 勒克斯，由本實驗對教室的照度分佈量測發現，配合自然採光，教室內開燈後的照明也僅局部符合最低照度標準，若天氣不好，或冬天室外太陽光線不強的情況下，照度不足的情形可能會更嚴重。
- 六、我們由實驗室及教室自然採光的照度量測實驗發現，靠窗戶邊的自然採光通常較為充足，但教室的開關控制都是設計為同時開啟或關橫排的三盞日光燈，剛好與窗戶的採光方向垂直，若能改為縱向控制，在日光充足的時候，就可以配合室外光線，僅就照明不足的另一側或局部區域打開電燈，達到節能減碳的效果。
- 七、台灣日照充足，在太陽能集熱或太陽能電池的研發、應用上已具有豐富經驗和基礎，譬如像聚光設備、自動追日設備和過濾有害光線等。從本研究實驗發現，雖然光線在匯聚及傳輸上有會有損耗，但比目前太陽能電池的光能轉換效率還高。而且台灣地狹人稠，建築物多採集合式的公寓或大樓，要像歐美國家一樣，發展自然採光的綠色建築並不容易。此外，學校照明用電的耗費比對熱能應用的需求更高，研究利用太陽能做為輔助光源，應該是符合我們需要，必須努力發展的科技項目之一。

捌、參考資料：

1. 自然與生活科技課本 第三冊，康軒出版社，98 年版
2. 周鼎金，學校教室採光照明之研究，國立成功大學 工程技術研究所 設計技術學程建築設計組
3. 蔡宗祐，太陽光聚焦於光纖內傳輸以產生高功率強度光束的評估研究，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，計畫編號： NSC93-2623-7-006-007-ET
4. 酷 cool 節能屋--太陽能光纖照明系統 工業技術研究院 <http://www.energypark.org.tw>

【評語】 030115

本作品從節能的角度出發，探討如何利用光纖將日光引進室內，很具新穎性，唯在實用性上可能仍有討論的空間。