

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

第三名

040118

光對空氣的折射率測定

臺北市立中正高級中學

作者姓名：

高二 周芝含 高二 孫瑩軒 高二 劉湘瑤
高二 鄭亞婷

指導老師：

陳華傑

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：物理

組 別：高 中 組

作品名稱：光對空氣的折射率測定

關 鍵 詞：福衛三號、折射率、海市蜃樓

編 號：

作品名稱：光對空氣的折射率測定

壹、摘要

海市蜃樓的景象是由於地面溫度高於氣溫時，使下層空氣受熱膨脹，密度比上層小，光線通過這個區域時產生光線的折射，使得物與像的位置錯位而產生錯覺。首先，我們利用加熱鐵板模擬太陽加熱的地面，地面的空氣受熱造成局部密度的差異分布，雷射光源由不同的高度平行通過時會向上偏折，也發現光源與鐵板距離越小偏折越大，飄移率也越小(也就是影像越清晰)；實驗發現熱空氣的對流現象會使實驗觀察困難，所以改採加壓及減壓的方式改變空心稜鏡中空氣的壓力，得到的壓力值分別以理想氣體方程及凡得瓦耳方程換算成空氣的密度，再測量光源角度偏折量以折射定律推算出空氣密度與折射率為線性關係；最後我們得知福衛三號利用全球衛星定位系統發射的電磁波穿過地表面的大氣層時，電磁波會因空氣密度差異產生不同的偏折現象，如此作為分析氣象的一個依據。我們以燈泡模擬球形的大氣結構，雷射光源以離燈泡表面不同的距離入射，發現光源向外偏折，燈泡表面距離越小偏折越大，小於約 0.4cm 後，會有明顯的全反射的現象，這個結論可以作為福衛三號接收到全反射訊號時，即代表此時 GPS 衛星訊號通過的地表面時，若這個區域地面(或海面)的溫度高於氣溫時，也會有類似的現象發生，如此就可以推估該地區溫度的垂直分布。

貳、研究動機

常聽到海市蜃樓是由光的折射產生的奇異現象，什麼條件下會看到它，它的影像清楚嗎？到底光是如何進行折射？為什麼在大氣中光會折射？讓我們產生對『光』這個主題作為研究的方向。

當我們接觸到將要發射的福衛三號任務原理時，它測量氣候的方法似乎也與光的折射有著密不可分的關係，更提高了我們的研究這個主題的興趣。

參、研究目的

- 一、加熱鐵板使鐵板上產生一個空氣溫度梯度，以雷射光源分別在不同的高度通過鐵板上空，藉以了解光源偏折的現象及原理，來說明海市蜃樓的箇中現象。
- 二、改變三角加壓箱中的氣壓，當雷射光通過不同密度的空氣時產生偏折，由此精確測量雷射光的折射率，充分了解光在不同空氣密度中傳遞的機制。
- 三、利用燈炮加熱空氣產生球面的溫度梯度，以此模擬地球表面空氣分布，來了解福爾摩沙三號衛星利用 GPS 訊號來偵測氣象訊息的物理訊息。

肆、 研究設備及器材

- 一、 Γ 型鐵板 (長 70cm 寬 25cm 高 13cm)
- 二、加熱器
- 三、超敏感溫度感應器
- 四、雷射光 (2 毫瓦)
- 五、熱空氣三稜鏡箱
- 六、溫度平衡箱
- 七、燈泡 (150w)
- 八、酒精溫度計二十支
- 九、金屬稜鏡壓力箱 (長 10cm 厚度 0.3cm 高 10cm)
- 十、方格紙
- 十一、數位相機
- 十二、筆記型電腦
- 十三、數據擷取器

伍、 研究過程或方法

一、加熱鐵板使光偏折的實驗

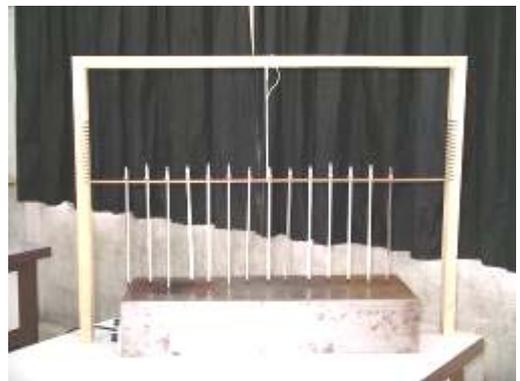
爲了模擬夏天時高熱的柏油路面遠觀時產生的鏡面的效應，本實驗利用加熱器將薄鐵板加熱，利用雷射光通過熱鐵板的上方，藉此了解光偏折的效果。

(一) 溫度計校正

1. 取 20 支酒精溫度計和水銀溫度計放在一個有 0°C 冰水的燒杯中，5 分鐘後測其起始溫度。
2. 再將水加熱到沸騰，紀錄各溫度計的值，進行溫度計校正。

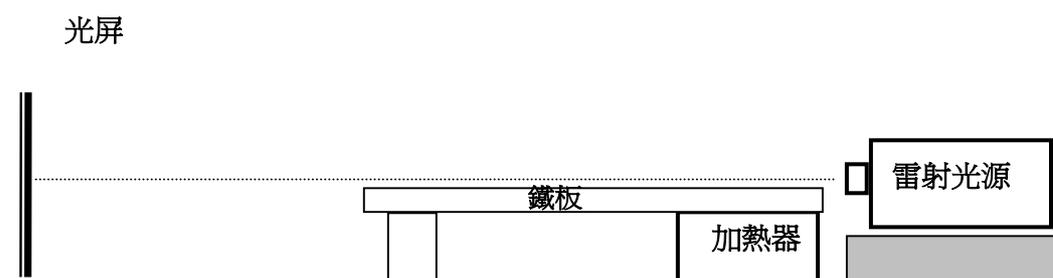
(二) 鐵板溫度梯度測量

1. 將 14 支溫度計架在加熱鐵板上方，與鐵板距離 0.3cm(因爲鐵板加熱會膨脹向上凸起)橫向每隔 5cm。
2. 加熱鐵板 10 分鐘後分別測量溫度值，且記錄鐵板上方的溫度，然後等溫度下降至室溫，以 20 張 A4 紙墊在溫度計支架下方，使溫度計垂直向上增加 0.2cm，重覆以上動作。



圖一 光通過高溫鐵板偏折裝置圖

(三) 雷射光源通過鐵板上方的偏角測量



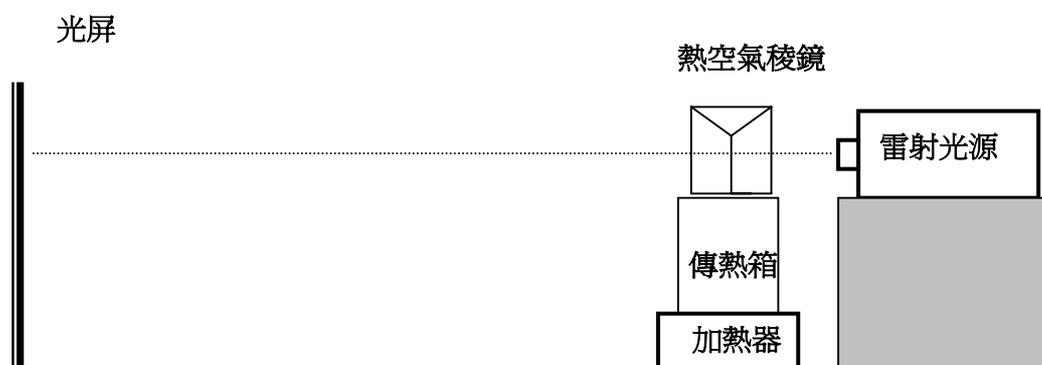
圖二 雷射光源通過鐵板上方的偏角測量裝置圖

1. 將鐵板架設於加熱器的上方，雷射光源放置在靠加熱器外側，距離 10m 處架設光屏 (如圖二)，使雷射光通過鐵板上方 0.3cm 處通過，最後雷射光點打在光屏上。
2. 在光屏上標示紀錄雷射光點的位置，以此為紀錄的起點。
3. 把加熱器加熱 10 分鐘，測量光屏上雷射光點的偏折位置。
4. 等降溫至室溫，再將雷射光每次通過鐵板上方的距離固定增加 0.2cm(每次增加 20 張白紙)，並依照上述的方法依序測量紀錄。

二、不同空氣密度下光的折射率測定

(一) 加熱空氣充入空心的玻璃稜鏡中偏角測量

由實驗一發現當空氣溫度差約 30°C 以上時，就可以由本設計的實驗發現光線被偏折，因此我們改採用加熱空氣通入空心的稜鏡中，以此了解當溫度升高時空氣密度減少，此時光的折射率如何改變。



圖三 光通過熱空氣稜鏡的實驗裝置圖

1. 如圖四裝置先將傳熱箱蓋在加熱器上，再使加熱器加熱至箱內溫度達到高溫平衡狀態。
2. 將由一塊壓克力板和三塊厚玻璃拼成的三腳柱狀體(熱空氣稜鏡)，架設在傳熱箱上(如圖四)。
3. 架設雷射光源，使雷射光源通過熱空氣稜鏡箱，微調稜鏡箱的位置使入射光與稜鏡面垂直。

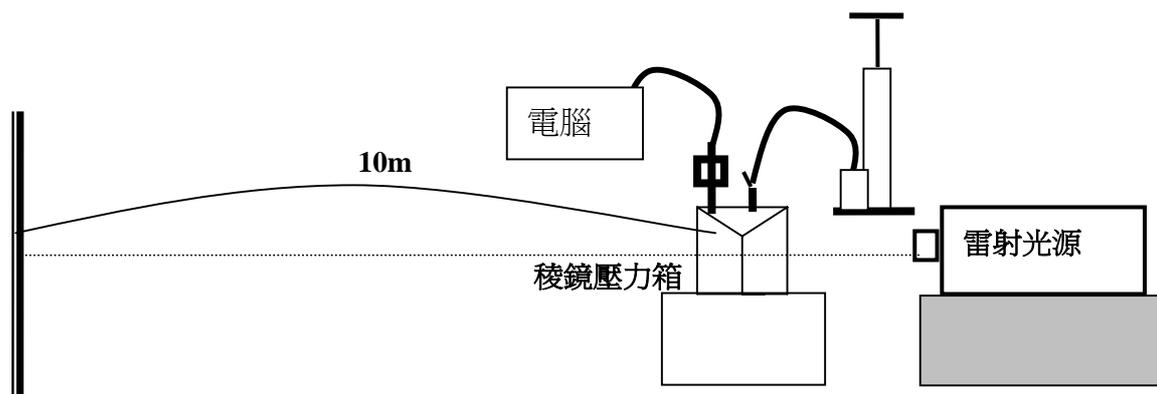


圖四 加熱空心的玻璃稜鏡測量偏角

4. 在 10m 處放置光屏，讓雷射光點打在上面以便觀察。
5. 將溫度感應器放置雷射通過的熱空氣稜鏡內，測量其溫度。
6. 等到溫度達到最高溫約 156°C 時，紀錄雷射光點的位置，在將加熱器關掉，開始降溫觀察雷射光點的偏折位置。
7. 每下降 5°C 時用相機紀錄雷射光點的位置，直到熱空氣稜鏡內的溫度下降到與室溫相同為止。

(二) 雷射光通過加壓空氣於空心的金屬稜鏡中的偏角測量

由於上述的三個實驗發現，用熱來改變空氣的密度來偵測折射率時實驗結果穩定度非常差，於是決定以定溫加壓的方式改變空氣的密度來設計實驗。



圖五 稜鏡壓力箱改變空氣密度光的折射率測定裝置

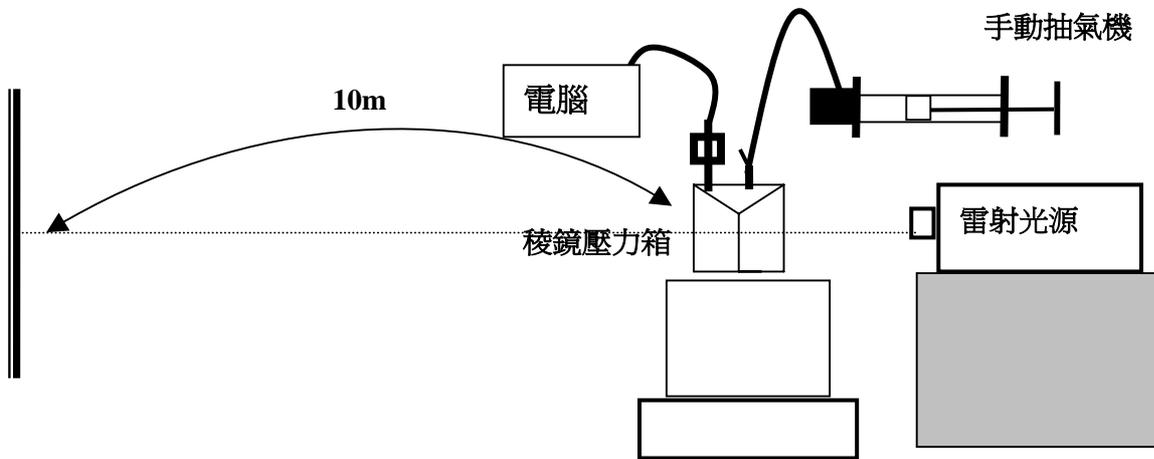
1. 擺設一組雷射光使之與光屏距離 10m，並將加壓箱置於雷射光之前，讓雷射光可穿過稜鏡加壓箱的玻璃圓孔投影在光屏上(如圖五)。
2. 將壓力箱的氣閥打開並接上腳踏車用打氣筒，且將電子壓力讀取器與電腦連接。
3. 在光屏前方架設數位照相機方便拍攝取擷取紀錄(如圖六呈現出的結果)。
4. 將稜鏡加壓箱打氣直到約 5 大氣壓，維持平衡後拔掉與三角壓力箱連接的打氣管，紀錄當時電腦所讀取之氣壓並拍照。
5. 以尖端物戳放氣孔，使其緩緩放一點氣，紀錄當時的氣壓並拍照。
6. 重複步驟 5，直到壓力箱中的氣壓降到當時的空氣壓力。



圖六 雷射光投射在光屏的情況

(三) 抽壓空氣於空心的金屬稜鏡加壓箱中偏角測量

關於三稜鏡實驗，我們最初的設計是用壓克力版製作的熱空氣平行箱來測量偏角。由於實驗結果無法量得雷射光的偏移，所以又把平行壓克力箱加大，但是沒想到偏折還是很小無法量化，最後改採三稜鏡的原理製作空心的三稜鏡改變其中空氣的密度，才得以量得實驗的數據。



圖七 減壓實驗裝置圖

1. 將壓力箱與光屏距離 10m，並擺設一組雷射光置於壓力箱之後，讓雷射光可穿過壓力箱的玻璃圓孔且投影在光屏上(如圖七)。
2. 如圖九，將稜鏡壓力箱的氣閥打開與手動抽氣機的氣閥連接，且將電子壓力讀取器與電腦連接。
3. 在光屏前方架設數位照相機，以方便拍攝擷取紀錄。
4. 先將壓力箱內的氣壓抽至 0.064 大氣壓，紀錄電腦且讀取紀錄並拍照，以此做為偏折的起點。
5. 利用改裝的手動抽氣機(如圖八)上的氣閥，將氣閥打開一點，使壓力箱內的氣壓緩緩增加，然後關上，拍照。
6. 重複步驟 5.，直到壓力箱內的氣壓到達當時室內的大氣壓。



圖八 由波以耳實驗改良的手動抽氣機



圖九 金屬製的壓力箱

三、以燈泡模擬地球表面空氣使光偏折實驗

經過以上的實驗後，我們開始注意有關光折射的問題。例如：日落時太陽位移速率變快及直徑變大，這些現象與大氣層的空氣的折射有相關，於是我們用燈泡的熱源，產生一個與大氣密度結構剛好相反的實驗，來印證這個現象。

(一) 燈泡溫度梯度測量

我們最先遇到的問題是溫度計的起始溫度不同，於是我們將各溫度計的冰點和沸點找出，然後校正。為了使溫度計與燈泡切面等高，我們本來製作了 20 個等高的紙桶；但試了之後發現它不夠穩固，所以改用錐形瓶。把溫度計平放在錐形瓶上用膠帶固定。

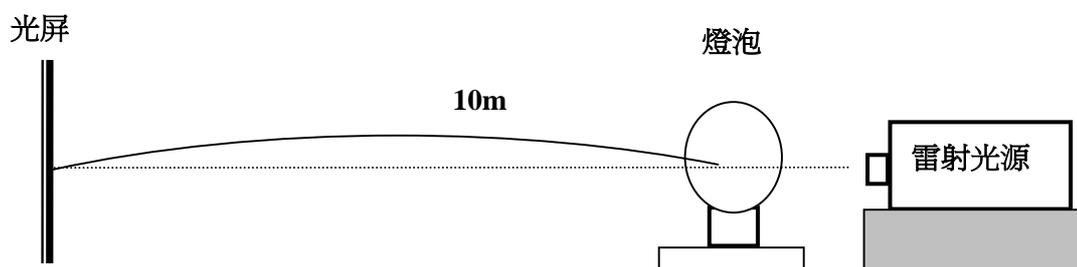
1. 如圖十，用 17 支溫度計圍在燈泡周圍成一個圓圈，並依序編號，1 到 20 號(其中 9、12、20 號不予採用)，1 號與燈泡離一張紙的厚度，2 到 11 號分別以 0.2cm 的距離增加，12 到 17 號則以 2cm 的距離增加。
2. 擺置好先測量當時室溫，並一一紀錄其溫度。
3. 接著打開電燈過十分鐘後（使溫度達到平衡），再紀錄個別的溫度變化。
4. 關掉電燈，使溫度計冷卻並恢復到室溫。
5. 重複前三步驟數次，取其溫度變化之平均值。



圖十 燈泡溫度測量

(二) 光源通過燈泡表面偏角測量

利用 17 支溫度計測量開啓電源 10 分鐘的燈泡四周的溫度梯度，藉以模擬球面分布的空氣密度做為分析雷射光通過時的原理，由溫度梯分佈的結果可知 0~1 公分之間溫差極大此處偏折必非常明顯，光源通過這個區域一定有明顯的偏折效應。



圖十一光源通過燈泡表面偏角測量裝置圖

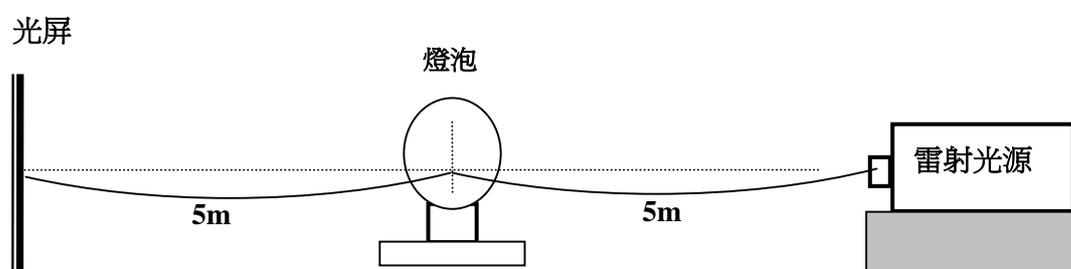
1. 如圖十一，架設一組雷射光與雷射光光屏距 10m，光屏上水平貼 0.01cm² (最小單位 0.1cm) 方格紙，使雷射光可呈現在光屏上。
2. 接著於雷射光機器前方 5 cm 放置一燈泡，使雷射光束與燈泡等高 5 cm。
3. 移動燈泡與雷射光相切，燈泡與光束右切(如圖十二)，並用相機紀錄光屏上雷射光光源的位置。

- 燈泡亮起，當空氣密度達到平衡時(大約 10 分鐘後)，紀錄雷射光光源之偏折，並關閉燈泡光源，使其降溫直到雷射光回到原紀錄點。
- 將燈泡左移距雷射光 0.2cm，以每 0.2cm 為一個單位(雷射光不動)。打開燈泡過 10 分鐘後，紀錄在光屏上光源之偏折，再關掉燈泡使其降溫直至雷射光回到原紀錄點。
- 重複步驟 5 直至雷射光不再偏折



圖十二 雷射光通過燈泡偏折實驗裝置

(三) 光源通過燈泡表面全反射現象測量



圖十三 雷射光通過燈泡偏折實驗裝置

- 如圖十三，架設一組雷射光與雷射光光屏距 10m，光屏上水平貼 0.01c m²(最小單位 0.1cm)方格紙，使雷射光可呈現在光屏上。
- 接著於雷射光機器前方 5 m 放置一燈泡(如圖十四)，使燈泡介於雷射光源與光屏的中間。
- 移動燈泡與雷射光相切，燈泡與光束右切，並用相機紀錄光屏上雷射光光源的位置。
- 燈泡亮起，當空氣密度達到平衡時(大約 10 分鐘後)，紀錄雷射光光源之偏折，並關閉燈泡光源，使其降溫直到雷射光回到原紀錄點。
- 將燈泡左移距雷射光 0.2cm，以每 0.2cm 為一個單位(雷射光不動)。打開燈泡過 10 分鐘後，紀錄在光屏上光源之偏折，再關掉燈泡使其降溫直至雷射光回到原紀錄點。
- 相同的方法將光屏分別置於離燈泡 0.5、1、2、3 公尺處分別在操作一次實驗。

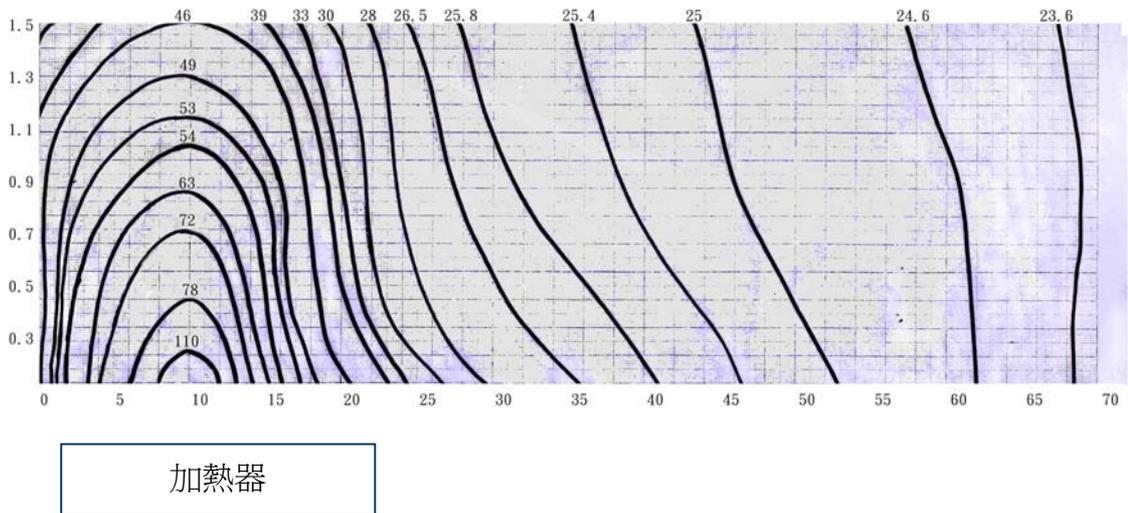


圖十四 光通過燈泡表面測量

陸、 研究結果

一、加熱鐵板使光偏折的結果

(一) 以加熱鐵板模擬地球表面陸地局部地區溫度過高,使其上方空氣溫度產生變化,將實驗結果畫製而成的溫度梯度圖如下:



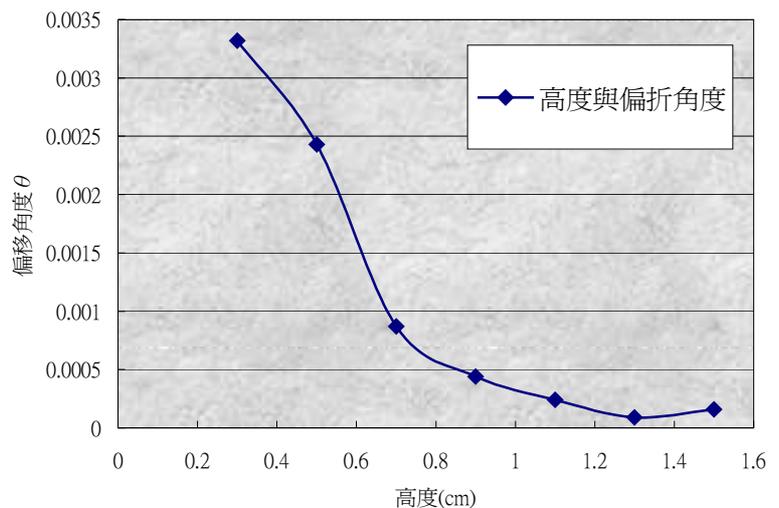
如上圖加熱器位於 0~20 公分處的下方。

(二) 溫度梯度造成的偏移

1. 雷射光通過鐵板上方不同高度時，光線產生的偏折角

高度與偏折角度

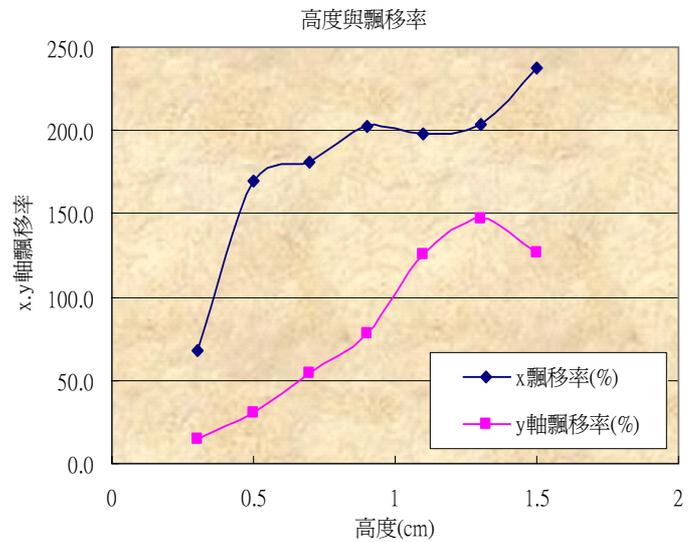
高度 (cm)	偏移角度 (y 軸)
0.3	0.00332
0.5	0.00243
0.7	0.00087
0.9	0.00044
1.1	0.00024
1.3	0.00009
1.5	0.00016



2.光屏的影像飄移的比率

當光點打在光屏上時,由於熱擾動的現象,使光屏上的光點不斷的飄動,分析 X,Y 方向最大飄動位移與偏移平均長度的百分比稱為飄移率

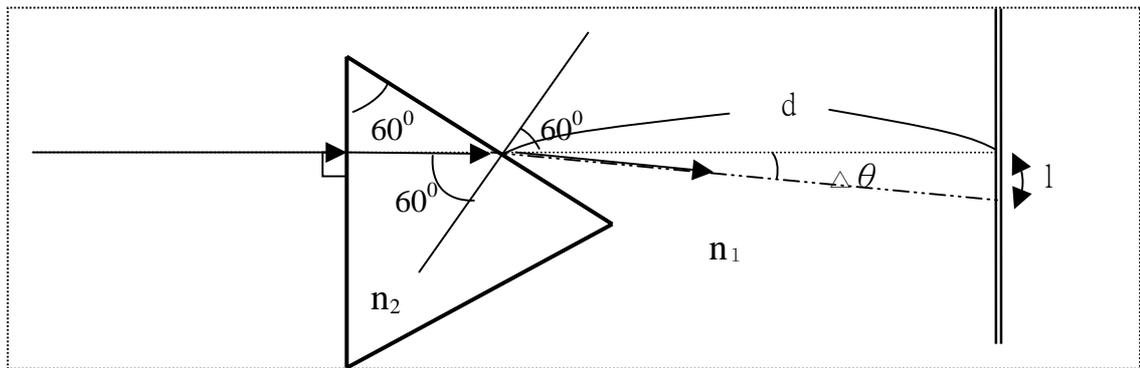
高度 (cm)	x 軸飄移率 (%)	y 軸飄移率 (%)
0.3	67.4	14.8
0.5	169.2	30.7
0.7	181.1	54.8
0.9	202.5	77.8
1.1	198.3	125.8
1.3	204.1	147.0
1.5	237.5	126.7



二、不同空氣密度下光的折射率測定

〈一〉、加熱空氣充入空心的玻璃稜鏡中偏角測量

三稜鏡折光的實驗原理：

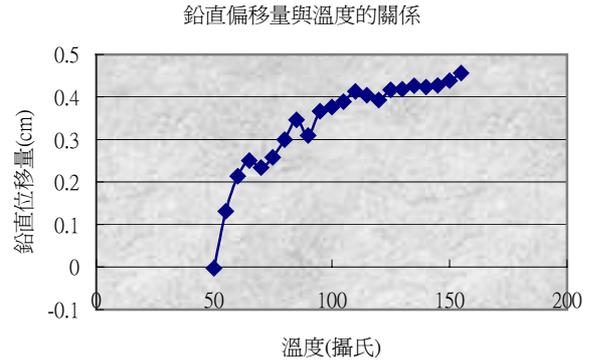
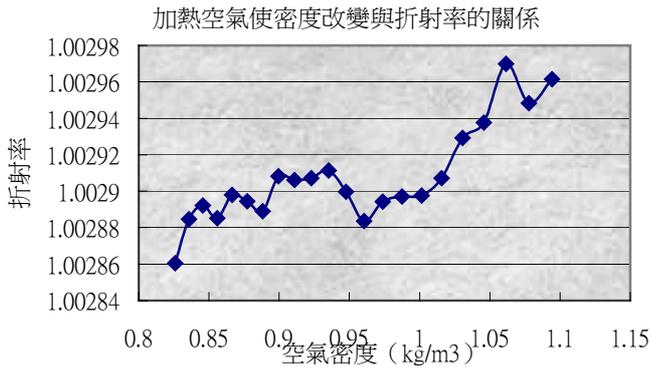


由司乃耳定律 ($\sin \theta_1 \cdot n_1 = \sin \theta_2 \cdot n_2$)，可以算出三稜鏡內的折射率。

$$\theta \approx \tan \theta = \frac{d}{l}$$

$$n_2 \sin \frac{\pi}{3} = n_1 \sin\left(\frac{\pi}{3} \pm \theta\right)$$

$$n_2 = \frac{n_1 \sin\left(\frac{\pi}{3} \pm \theta\right)}{\sin \frac{\pi}{3}} = \frac{n_1 \sin\left(\frac{\pi}{3} \pm \frac{d}{l}\right)}{\sin \frac{\pi}{3}}$$



上圖中可看出用加熱的方式量得空氣密度與折射率的關係,數據的誤差極大參考價值不高,因此改採改變壓力來設計實驗

〈二〉、加壓空氣於空心的金屬稜鏡中折射率測量實驗數據處理

空氣密度時原本採用理想氣體方程 $D = \frac{PN}{RT}$ 來計算,經過探討後發現高壓低溫的氣體不適用於理想氣體方程式,因此就也採用凡得瓦方程來分析(見附錄)

$$\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

, 利用變數代換將 $D = \frac{nN}{V}$ 帶入上式可得:

$$D^3 - \frac{N}{b}D^2 + \frac{N^2(Pb + RT)}{ab}D + \frac{PN^3}{ab} = 0$$

$$a=0.1404 \text{ m}^6\text{Pa mlo}^{-2}$$

$$b=3.764 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$$

$$N=0.02896 \text{ kg/mol}$$

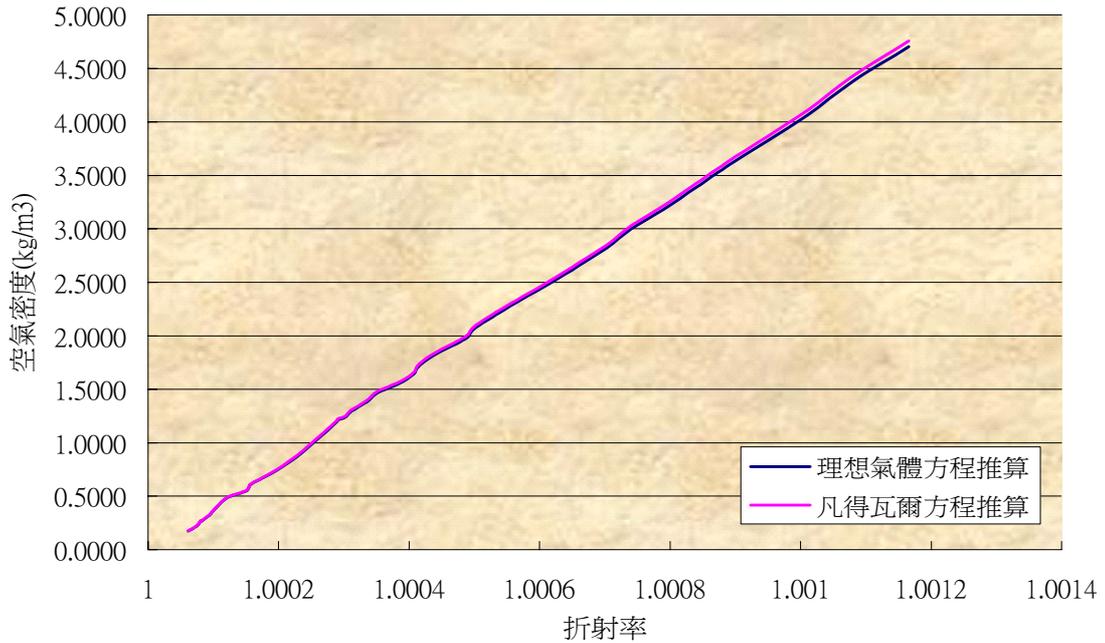
由三次方程式公式解可得

$$D = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} - \sqrt[3]{\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} - \frac{N}{b}$$

其中

$$p = -\frac{N^2}{3b^2} + \frac{N^2(Pb + RT)}{ab} ; q = -\frac{2N^3}{27b^3} + \frac{N^3(Pb + RT)}{3ab^2} + \frac{PN^3}{ab}$$

空氣壓力換算成密度與折射率的關係圖

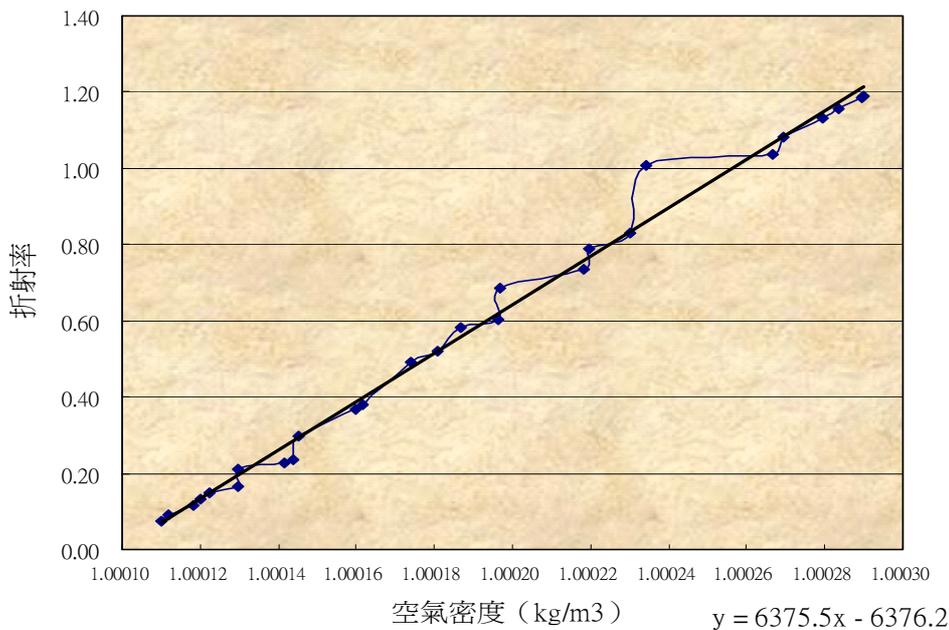


藍線是空氣密度採理想氣體方程推算,紅線是採凡德瓦爾方程修正,在密度大於 4 kg/m³時,就可以看出兩者的差異性,因此高壓時才有使用凡德瓦爾方程修正的必要,小於 4atm的情況之需採理想氣體方程及可分析

〈三〉、抽壓空氣於空心的金屬稜鏡中偏角測量

我們想針對地球大氣結構的光折射性質加以分析,於是在 0.065kpa-1.01kpa 間取較密集的次數再次實驗,結果如下

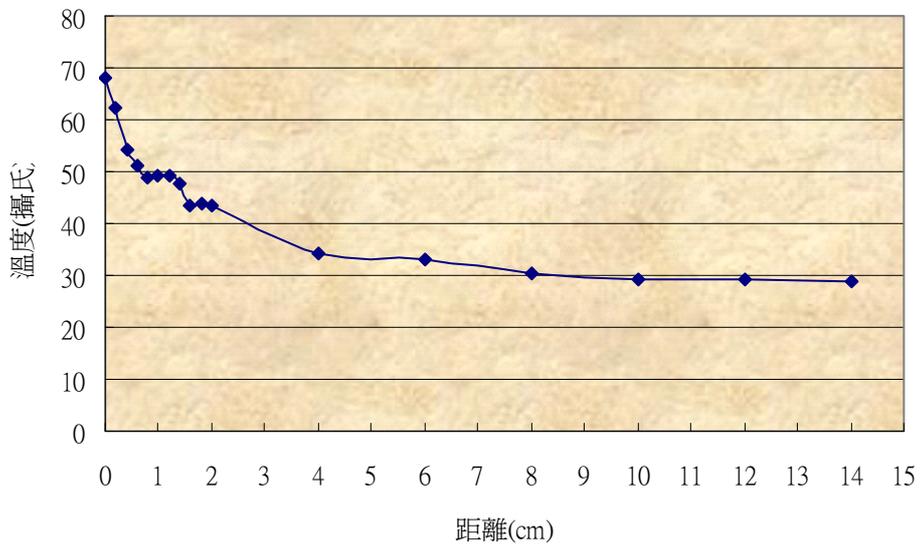
空氣密度與折射率關係圖 (抽氣實驗)



由數據圖表可以看出,空氣密度與折射率呈現出一條線性關係,由此圖表可以推導出當空氣密度為 0 時,折射率為 0.9998902,此數據真空的折射率為 1 非常近似。

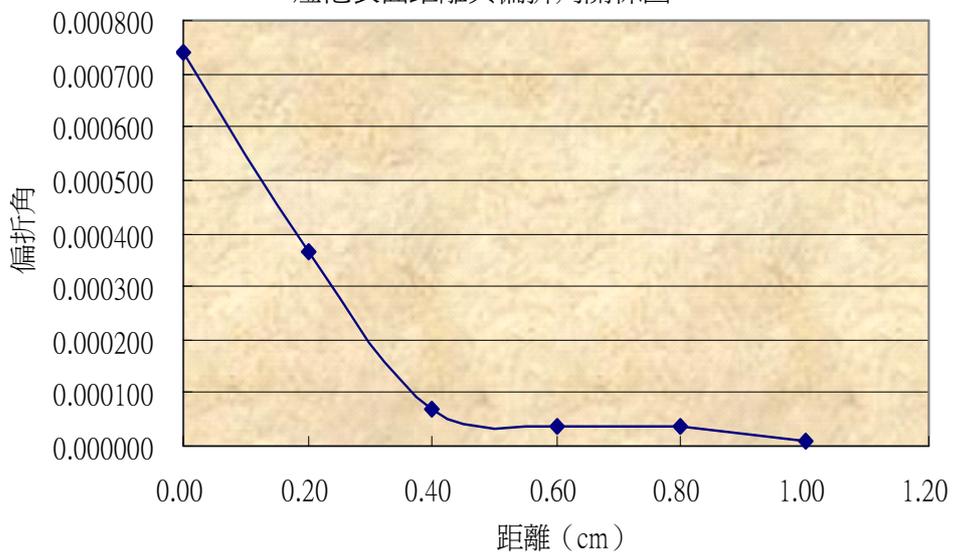
三、雷射光與燈泡相切實驗 〈一〉、燈泡溫度梯度測量

燈泡附近的溫度分布圖



〈二〉、光源通過燈泡表面偏角測量

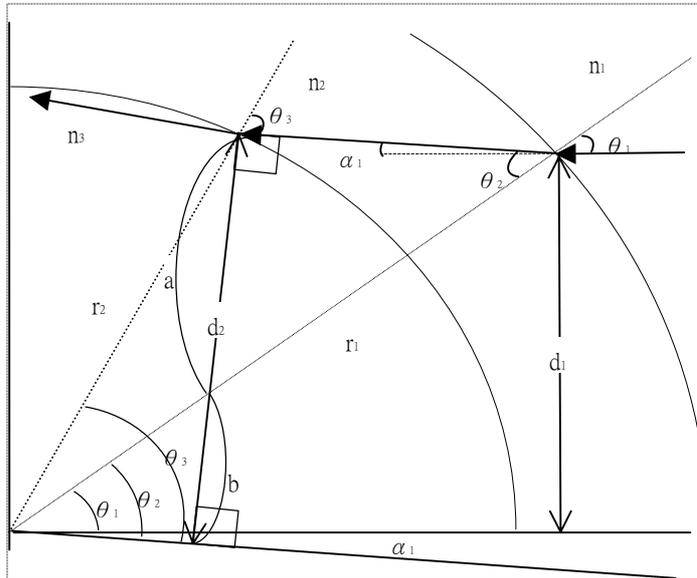
燈泡表面距離與偏折角關係圖



由實驗的結果可知光源通過燈泡0-0.4公分之間有較明顯的偏折角,同時發現光點投影在光屏上產生水平被壓縮的現象,於是展開下一個實驗討論

1. 燈泡周圍熱空氣使光偏折實驗原理分析

由上述實驗推算一個光源通過球型密度分布的折射原理加以計算偏角，光線由空氣密度較大的區域(n_1)，入射到密度較大的區域(n_2)，以半徑做爲法線由司乃爾定律推算 θ_1 與 θ_2 的關係，由幾何的推算也可以用半徑(r_1)與瞄準距離(d_1)來表示 θ_1 與 θ_2 ，自以相同的原理推算出下一組 θ_3 與 θ_4 的關係，數學推到如下：



$$\left. \begin{aligned} n_1 \sin \theta_1 &= n_2 \sin \theta_2 \\ \sin \theta_1 &= \frac{d_1}{r_1} \\ \sin \theta_2 &= \frac{n_1 d_1}{n_2 r_1} \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow \alpha_1 = \theta_2 - \theta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{n_1 d_1}{n_2 r_1} \right) - \sin^{-1} \left(\frac{d_1}{r_1} \right)$$

$$d_2 = r_2 \sin \theta_3 = r_1 \sin \theta_2 = r_1 \frac{n_1 d_1}{n_2 r_1} = \frac{n_1 d_1}{n_2}$$

$$n_2 \sin \theta_3 = n_3 \sin \theta_4$$

$$\left. \begin{aligned} \sin \theta_3 &= \frac{n_1 d_1}{n_2 r_2} \\ \sin \theta_4 &= \frac{n_1 d_1}{n_3 r_2} \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow \alpha_1 = \theta_4 - \theta_3 = \sin^{-1} \left(\frac{n_1 d_1}{n_3 r_2} \right) - \sin^{-1} \left(\frac{n_1 d_1}{n_2 r_2} \right)$$

$$d_3 = r_3 \sin \theta_5 = r_2 \sin \theta_4 = r_2 \frac{n_1 d_1}{n_3 r_2} = \frac{n_1 d_1}{n_3}$$

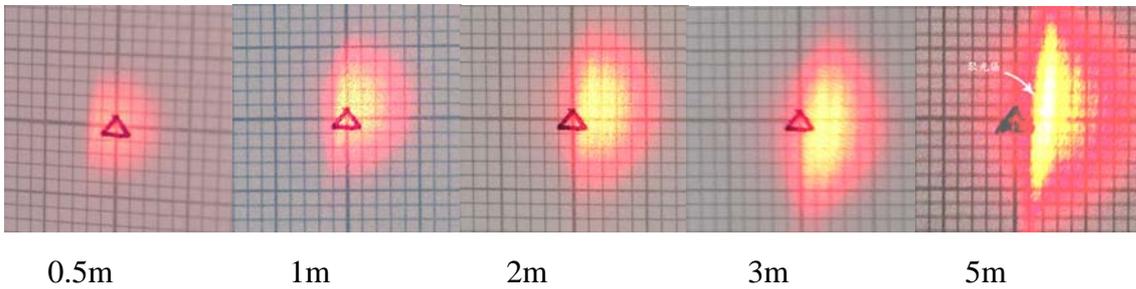
...

$$\alpha = \sum_{k=1}^{k=N} \alpha_k$$

經過換算光源越接近燈泡表面偏折的角度會越大(α)，如此可以支持上述實驗的結果及我們的推論是正確的。

〈三〉、光源通過燈泡表面全反射現象觀測實驗結果

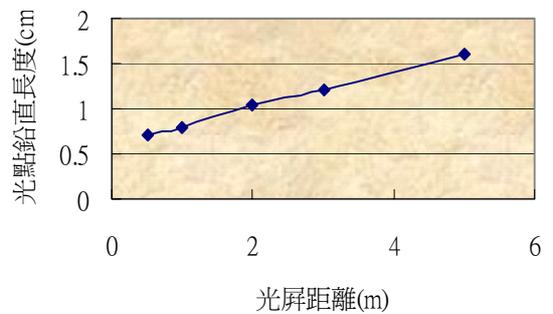
下圖由左而右是雷射光自表面切過，分別投影在不同距離的光屏上，產生的偏折後的形變照片，有以下的結果：



1. 圖形鉛直方向長度變化

燈泡到光屏的距離(m)	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0
鉛直長度(cm)	0.7	0.8	10.5	1.2	1.6
水平長度(cm)	0.50	0.55	0.65	0.60	0.67

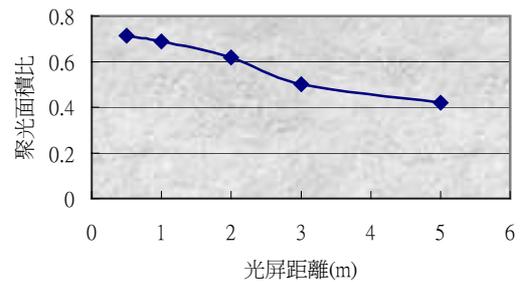
光屏距離與光點鉛直長度變化



2. 聚光程度分析

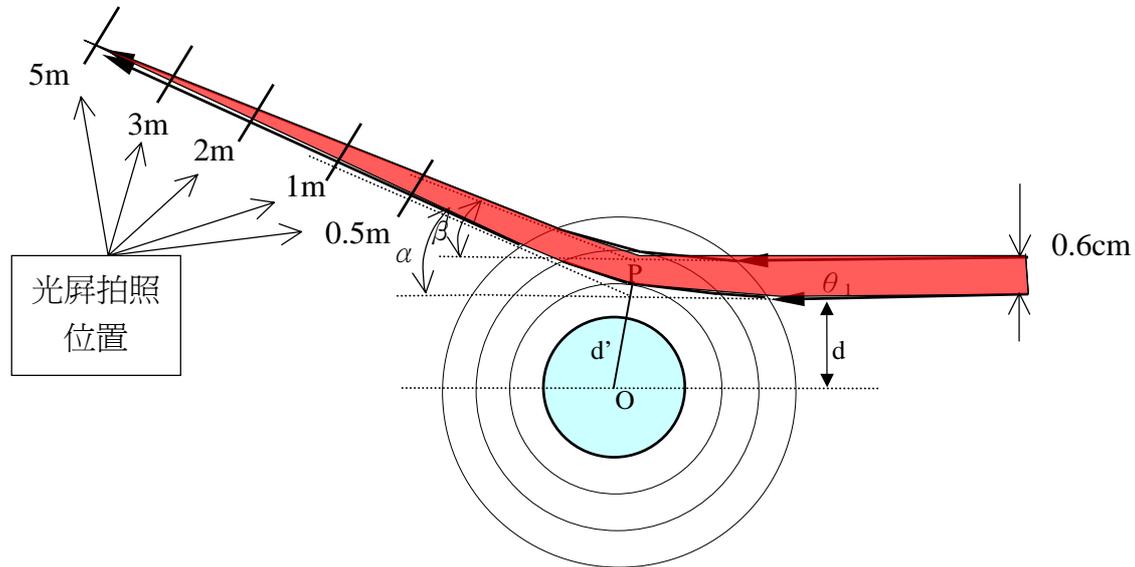
燈泡到光屏的距離(m)	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0
聚光面積比	0.71	0.68	0.61	0.50	0.41

聚光程度分析



由上一個實驗可以發現，越接近燈泡，偏折角越大，而 0.6~1.2cm 的偏折現象則相似，沒有很大的變化，因此當雷射光源通過燈泡表面時，由於光源的截面積直徑約為 0.6cm，接近燈泡的一端有較大的偏角，而外側偏角小(如圖十五)，因此產生類似聚光的效果，由實驗照片可看出，在 0.5~5m 處投影的光點，聚光區變小，符合我們的推論。

由於光源的直徑約為 0.6cm，當光源從燈泡表面經過時，由上個實驗的結果發現 0~0.4 公分之間有較明顯的偏折角，經推測光源在燈泡附近發生全反射的現象，由於通過燈泡附近光源的直徑約 0.6 公分，當光源的一端切過燈泡表面，直徑的另外一邊(離燈泡 0.6 公分處)，因此會有不同的偏角 α ， β 角，由於 $\alpha > \beta$ 而產生類似凸面鏡聚光的效果。(如圖十五)為了證明我們的推論，設計出全反射的觀測實驗

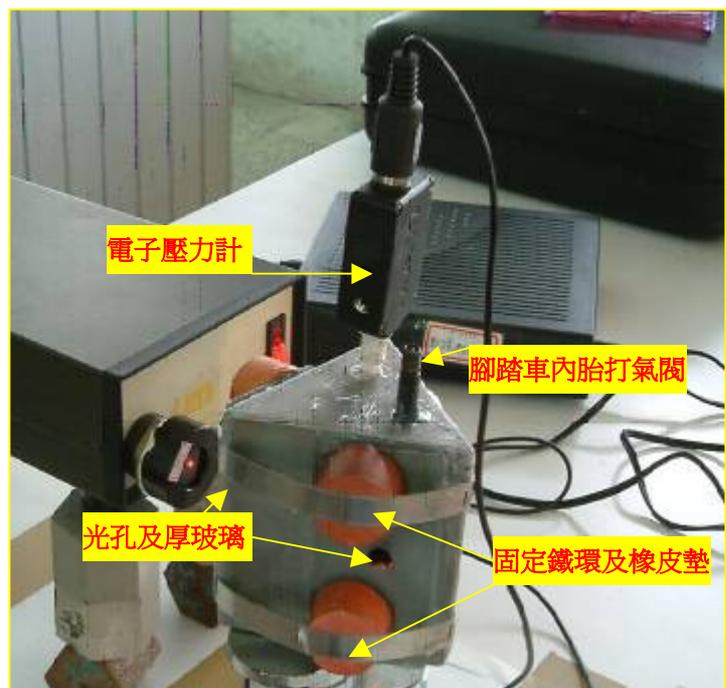


圖十五 雷射光源全反射示意圖

四、器材設計與測量改進

(一) 稜鏡壓力箱是我們畫出設計圖請鐵工廠以 3mm 的鋼板打造的，用長、寬均為 10 公分的鋼板焊接成的三角柱狀體，再將頂面及底面焊接成堅固的容器，頂面各鑽 0.3cm 及 0.9cm 的孔分別可以連接電子壓力計及腳踏車內胎的打氣閥並以矽膠密合起來，由幾何推算出光的路徑，在三角柱體的兩側各鑽一個光孔，我們再將厚玻璃以矽膠連接在光孔外，以隔絕空氣。

原本就以此進行加壓實驗，沒想到加壓到約 2 大氣壓時厚玻璃被彈開，因此使用鐵環扣並墊上橡皮加壓固定，而設計出(如圖十六)這個裝置。

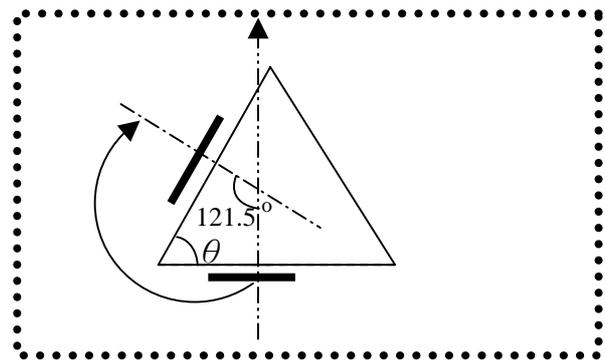


圖十六 稜鏡壓力箱的結構圖

(二) 稜鏡壓力箱的角度測量

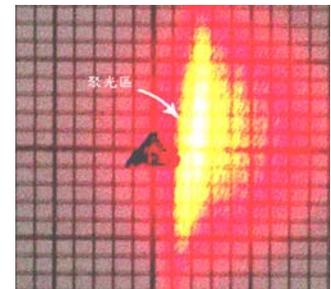
由於鐵工廠製作時會產生誤差，原本設計的頂角 $\theta = 60$ 度，顯然我們要精確的再測量一次頂角的值。

我們把壓力箱置於力桌上，架雷射光與壓力箱等高，再將雷射光照射在第一片玻璃上使光與玻璃垂直，讓反射之光點重疊或與雷射光成一直線，此時光源與玻璃面垂直，接著轉動力桌使雷射光也與第二片玻璃垂直然後算其轉動的角度(如下圖)，多算幾次好找出其平均值或準度。力桌上所算出的角度即是兩片玻璃所夾之角度的外角，如此一來就可準確算出其角度了，經實驗結果得頂角 $\theta = 58.5$ 度。



柒、討論

- 一、由鐵板的實驗中(實驗一)，實驗的結果發現當光源由鐵板上方約 0.3cm 通過時偏折最大，影像飄移率最小，光線通過鐵板上方 1cm 射偏折不明顯，影像飄移率大於平均偏折量，這應該是由於該處熱氣對流非常不穩定造成的現象。這個實驗結果，說明了海市蜃樓形成的原因是非常嚴苛，必須有很好的氣候條件及穩定的氣流才會發生。
- 二、由鐵板實驗改良為三稜鏡實驗(實驗二)以精確的測量偏折角換算成折射率，發現雷射光產生的偏折有 X 軸和 Y 軸的位移，根據實驗一的結論可推想，Y 軸的偏移是由三稜鏡附近的溫度梯度造成的，X 軸位移是由三稜鏡產生的折射現象。
- 三、從實驗二，我們發現熱空氣的對流會影響觀測，使數據不易精準，所以我們改採加壓及減壓的方式，來改變空氣密度(實驗二(二)、(三)) 得到的壓力值分別以理想氣體方程和凡得瓦耳方程換算成空氣密度，再以折射定律推算出空氣密度與折射率為線性關係。
- 四、實驗中雷射光通過通電的燈泡後產生偏折，發現越接近熱源光的偏折越明顯，在 0.4 公分以後的偏折量就相對變的不明顯，同時當光源與燈泡表面相切通過時有一個很奇特的結果發生(如右圖)，光源的形狀變成一個如飛盤的形狀，經過實驗分析的發現，這是由於雷射光源的直徑約為 0.6 公分，通過燈泡表面時在 0~0.6 公分處分別發生全反射，因反射角的差異使水平方向，產生聚光的效果，圖片中的聚光區圖形明顯比其它部分來的亮。



捌、結論

- 一、經由我們的研究發現，光的折射率與空氣密度（在 $0.13\text{atm}\sim 5\text{atm}$ 間）為線性關係，其方程式為 $D=6375.5n - 6376.2$ 經多次實驗發現，由此可推斷，在密度為 D 的空氣中發現光的傳遞與空氣的密度有很規律的相關！
- 二、本時實驗的結果發現雷射光通過燈泡的表面時會產生偏折本實驗的結果可以對天文觀測者提出建議，觀測星象時必須考量太空中氣體所產生的觀測誤差，例如，太陽表面除了重力折射還要注意氣體折射的修正，另外，也可以透過觀測星雲(含氣體的星系)後方星光，可由星光產生的偏射差異，反過來推算該星雲氣體的密度！
- 三、這個實驗我們發現，當福衛三號的電磁波通過地球表面時，地球表面的地面(或海面)的溫度高於附近空氣的密度時，這個區域的空氣分佈如果呈現球狀的密度梯度時，電磁波的訊號就會有匯聚的現象被觀測到，我們稱為『碟型的海市蜃樓』如此可以建立出一個大氣表面溫度梯度的依據。

玖、參考資料

- 一、【化學 第一輯】 教育部中等教育司 出版 台北市立第一女子高級中學 主編
- 二、【基礎物理學(第三版擴增本)下冊】 作者：Halliday · Resnick 譯著者：曹培熙 · 張潔儀
- 三、【高中物理三上】(光學)
- 四、國家太空計畫中心網站：http://www.nspo.gov.tw/c60/rocsat3/rs3_goal.html
- 五、科學發展組首頁：<http://news.nspo.gov.tw/>

拾、附錄

壓力與折射率換算表格

壓力(kpa)	壓力(atm)	位移(cm)	密度(kg/m ³) 理想方程	密度(kg/m ³) 凡得瓦方程	折射率
4.044	3.992	1.360	4.7050	4.7577	1.001166
3.760	3.712	1.225	4.3752	4.4232	1.001079
3.496	3.451	1.120	4.0675	4.1113	1.001011
3.280	3.237	1.020	3.8162	3.8566	1.000947
3.077	3.037	0.925	3.5800	3.6174	1.000886
2.916	2.878	0.855	3.3927	3.4277	1.000841
2.734	2.698	0.775	3.1809	3.2133	1.000789
2.579	2.545	0.700	3.0006	3.0308	1.000741
2.423	2.391	0.640	2.8191	2.8471	1.000702
2.284	2.254	0.575	2.6574	2.6835	1.00066
2.139	2.111	0.505	2.4886	2.5128	1.000615
2.015	1.989	0.440	2.3444	2.3669	1.000574
1.904	1.879	0.385	2.2152	2.2364	1.000538
1.776	1.753	0.325	2.0663	2.0858	1.000499
1.696	1.674	0.305	1.9732	1.9917	1.000487
1.583	1.562	0.240	1.8418	1.8589	1.000445
1.482	1.462	0.195	1.7243	1.7401	1.000416
1.408	1.389	0.180	1.6382	1.6531	1.000406
1.334	1.316	0.145	1.5521	1.5662	1.000383
1.261	1.244	0.095	1.4671	1.4804	1.000351
1.201	1.185	0.075	1.3973	1.4099	1.000338
1.147	1.132	0.050	1.3345	1.3464	1.000322
1.106	1.091	0.030	1.2868	1.2983	1.000309
1.067	1.053	0.020	1.2414	1.2524	1.000303
1.040	1.026	0.000	1.2100	1.2207	1.000290
1.032	1.018	0.000	1.2007	1.2113	1.000290
0.793	0.782	-0.080	0.9226	0.9306	1.000238
0.636	0.627	-0.145	0.7400	0.7463	1.000197
0.525	0.518	-0.205	0.6108	0.6160	1.000158
0.474	0.467	-0.215	0.5515	0.5561	1.000151
0.422	0.416	-0.260	0.4910	0.4951	1.000122
0.365	0.360	-0.280	0.4247	0.4282	1.000109
0.309	0.305	-0.295	0.3595	0.3625	1.000101
0.275	0.271	-0.305	0.3200	0.3226	1.000093
0.226	0.223	-0.325	0.2629	0.2651	1.000080
0.232	0.229	-0.325	0.2699	0.2721	1.000080
0.189	0.186	-0.335	0.2199	0.2217	1.000074
0.149	0.147	-0.355	0.1734	0.1748	1.000061

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

高中組 物理科

第三名

040118

光對空氣的折射率測定

臺北市立中正高級中學

評語：

1. 本實驗以雷射通過熱物體探討光通過空氣折射現象乃有趣設計，但使用燈泡熱灸分布不易控制熱梯度，應加以改良之
2. 對數據實驗取值方法，可再改進令使精確提高，並且於數值表達及圖表處理應合科學規範作法。
3. 對應用解釋海市蜃樓及衛星探討，建議可以進一步以光狀圖加以模擬實驗。