

作品名稱：小傾斜、大學問

高中組 物理科 第三名

縣市：台北市

作者：周中婷

校名：台北市私立強恕中學

指導教師：李健次



## 一、 研究動機

在作「反射定律」的實驗時，意外地發現，雷射光被平面鏡反射出一連串的亮點，跟單、雙狹縫並不同。幾經後來的努力，才發現是因平面鏡的表面，略有傾斜所造成。因此，爲了能更進一步了解，「水平面—透明介質—傾斜水平面」的系統，在不同介質、不同傾斜度，甚至不同的入射角時，所造成的亮點差異。於是，進行了一系列的實驗，以便探討此機制產生的原因。

## 二、 研究目的

- (一) 在此系統中（水平面—透明介質—傾斜水平面），測量在不同的入射角、不同的介質、不同的介質厚度及傾斜角下，其亮點間距變化情形。
- (二) 此系統中，入射光線繞傾斜面的法線，在旋轉時，其應對的亮點圖形變化情形。
- (三) 探討量測極微量傾斜的可能性。

## 三、 研究設備器材

- (一) 雷射筆× 1 支
- (二) 量角架× 1 組
- (三) 玻璃片（7.5 cm× 2.5 cm× 0.1 cm）× 1 片
- (四) 矽晶片（厚度 0.05 cm）直徑 10 cm× 1 片
- (五) 小碎片（約 1 cm× 0.5 cm）× 數片
- (六) 偏振片× 1 片
- (七) 電池座（4.5V）× 1 組
- (八) 夾子× 數個
- (九) 尺× 1 把
- (十) 直桿（1m長）× 1 支
- (十一) 紙屏× 1 張
- (十二) 基座容器× 1 個
- (十三) 水（ $n=1.33$ ）若干
- (十四) 酒精（ $n=1.36$ ）若干

## 四、 研究過程或方式

- (一) 定出偏振片的透振軸
  1. 調整入射角，並慢慢地轉動偏振片，直到紙屏上的亮點消失爲止。（圖 1）
  2. 由此定出偏振片的 Transverse electric mode (TE mode) 及 Transverse magnetic mode (TM mode) 的方向。
  3. 此次實驗以 TE mode 爲標準光源，以避免因 Brewster angle 所造成的困擾。
- (二) 辨別由哪一個反射面所造成的光點的實驗
  - (1) 步驟一
    1. 選擇適當的入射角，且逐次改變傾斜角，並在紙屏上標示亮點位置。
    2. 觀察亮點位置有何變化。

(2) 步驟二

1. 在二反射面的空隙中插入紙片、並在紙屏上標示亮點位置。
2. 取出紙片後、觀察亮點變化、並在紙屏上標示亮點位置。
3. 比較在有無紙片存在下、其亮點出現的情形。

(三) 實驗一：

1. 使用水平儀校正玻璃片，桌面必須保持水平。(圖二)
2. 用矽晶片(小碎片)墊高玻璃片，用以改變傾斜角(每墊高一片， $\alpha$ 角增加  $1/140\text{rad}$ )
3. 在固定的傾斜角，及透明介質為空氣的條件下，逐步改變入射角的大小，並記錄入射角與投影在 100 cm 外的紙屏上的亮點間距(即第一亮點和第二亮點之距離，簡稱  $d_{12}$ )的關係。
4. 逐步增大傾斜角，並重覆(三)—3 的步驟。

(四) 實驗二：

將反射玻璃片用矽晶片逐次墊高，記錄介質增加的高度(h)，並重覆實驗一的步驟。

(五) 實驗三：

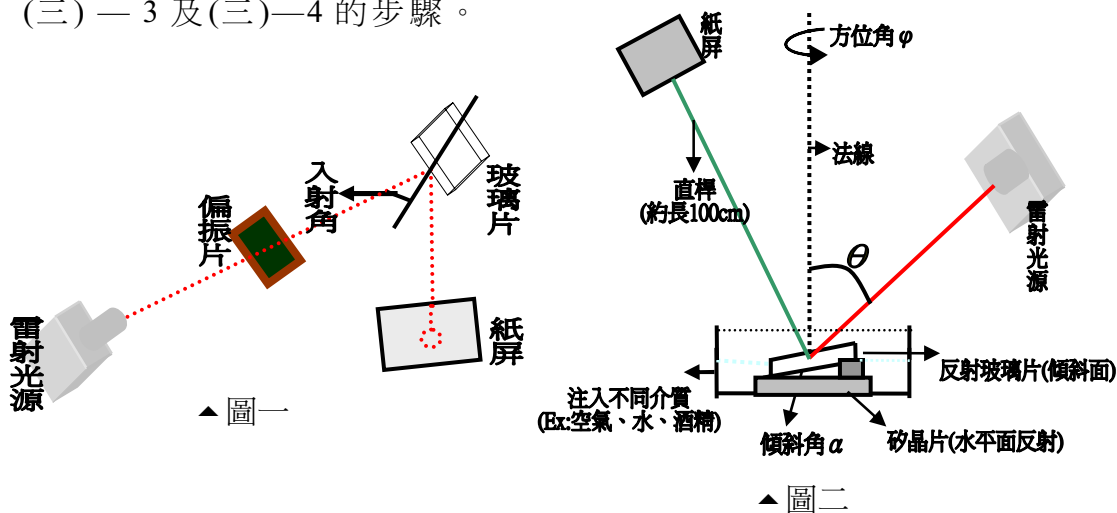
在實驗一中，分別注入不同折射率的液體(Ex: 水、酒精)，在反射玻璃片與反射面中間，並各別重覆實驗二的步驟。量取介質折射率的不同時，對亮點間距的影響。

(六) 實驗四：

利用圖二的實驗，選擇固定傾斜角 $\alpha$ 和入射角 $\theta$ 後，以法線為軸，改變入射光源的方位角 $\varphi$ ，且記錄不同的角所對應的亮點圖形。

(七) 實驗五：

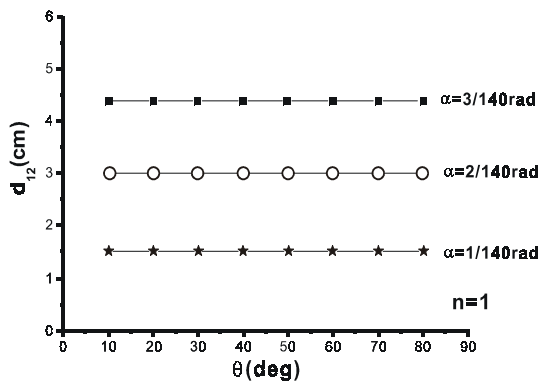
在實驗一中，將墊片由矽晶片改為塑膠薄片，(厚度為  $31.25\mu\text{m}$ ，故 $\alpha$ 角每次增加  $0.003125/7\text{rad}$ )，而介質則為酒精( $n=1.36$ )並重覆(三)—3及(三)—4的步驟。



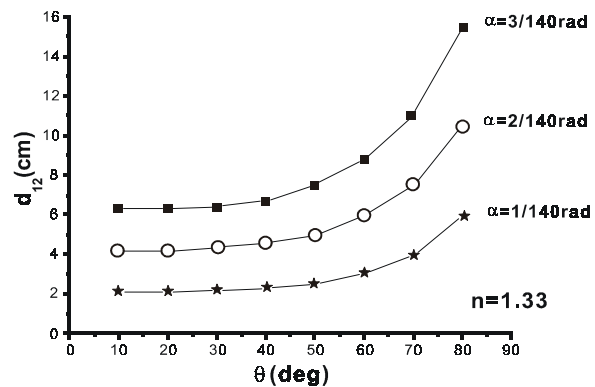
## 五、 研究結果

- (一) 步驟一中，第一亮點及第三亮點的位置，會隨傾斜角的改變而改變，而第二亮點的位置則未有變動。
- (二) 步驟二中，插入紙片前，其亮點排序完整，但取出紙片後卻只剩第一亮點存在！

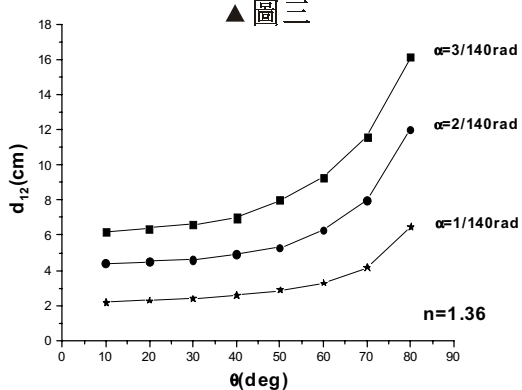
- (三) 綜合步驟(一)及實驗步驟(二)的結果我們可以得知：  
 第一亮點：由第一反射面(玻璃片)反射入射光所造成的。  
 第二亮點：由第二反射面(矽晶片)反射入射光所造成的。
- (四) 實驗一中，選擇數種不同的傾斜角  $\alpha$  ( $\alpha = 0、1/140、2/140、3/140$  rad)，而入射角  $\theta$ ，則是每隔 10 deg 記錄一次。因此，可得到在介質折射率為 1 的條件下，其入射角  $\theta$  與亮點間距  $d_{12}$  的關係。(圖 3)
- (五) 由實驗三，可另外得介質折射率為 1.33 (水) 及 1.36 (酒精) 的條件下，其入射角  $\theta$  與亮點間距的關係圖。(圖 4、圖 5)
- (六) 在實驗二中，慢慢地增加透明介質的厚度，以了解其對亮點間距的影響。結果發現，在少量的改變介質高度後，圖 3、圖 4、圖 5 並無改變。
- (七) 同理，選定同一個入射角  $\theta$ ，重覆上述實驗三，可得傾斜角  $\alpha$  與亮點間距的關係。(圖 6)(圖 7)(圖 8)
- (八) 由實驗四，可以在平面上劃出  $n=1$ ， $\alpha = 1/140$  rad， $\theta = 60^\circ$  時其以傾斜面的法線為軸；並令傾斜面的主軸，是由高向低的方向，並定方位角  $\varphi = 0$  的條件下，入射光繞法線旋轉時，其  $\varphi$  角和  $d_{12}$  的關係圖(相對比例)。(圖 9)
- (九) 在實驗五中，可得在極微傾斜角下( $n=1.36$ )，其傾斜角  $\alpha$  與亮點間距的關係。(圖 10)



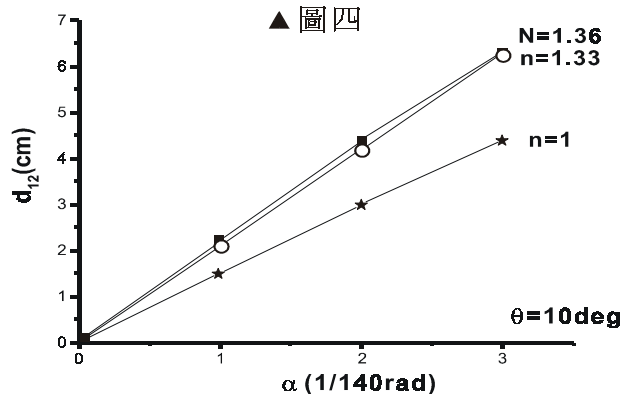
▲ 圖三



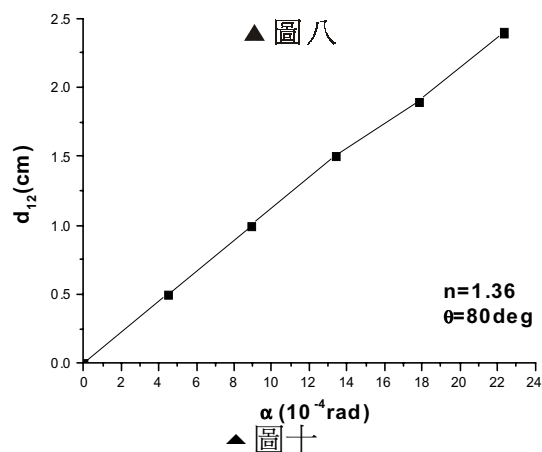
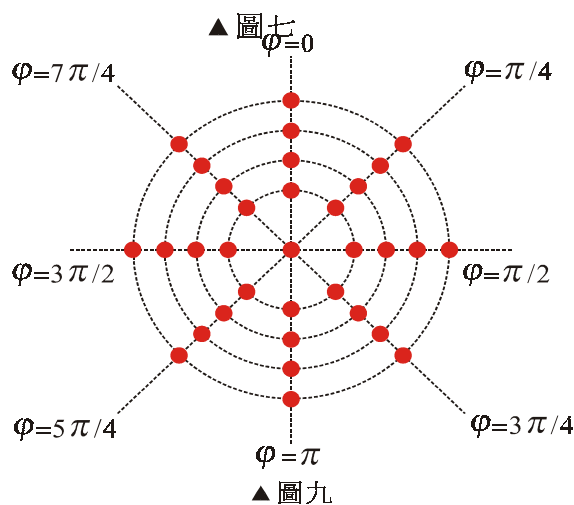
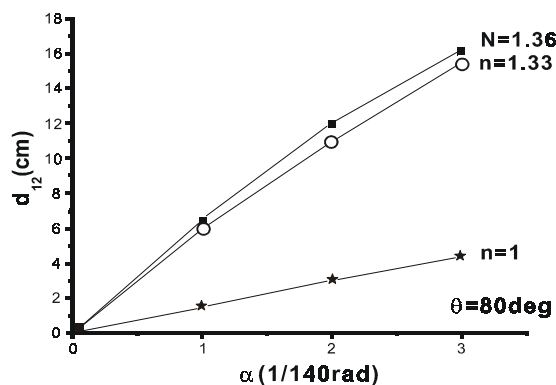
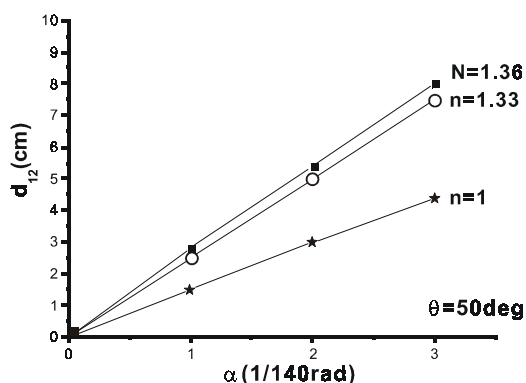
▲ 圖四



▲ 圖五



▲ 圖六



## 六、 討論及應用

### (一) 討論

1. 由結果 5-4 及結果 5-5 (圖 3) (圖 4) (圖 5) 可知，在  $n=1$  時，入射角的改變，和亮點間距  $d_{12}$  無關。但在  $n > 1$  時，亮點間距  $d_{12}$  的值，會隨入射角  $\theta$  的增加，而呈非線性的增加。
2. 少量增加介質厚度，並無法改變亮點間距  $d_{12}$  的值。
3. 綜合結果 5-6 和結果 5-7 (圖 6) (圖 7) (圖 8)，可以了解，不管入射角  $\theta$  幾度，或折射率  $n$  是否  $\geq 1$ ，其亮點間距  $d_{12}$  都會隨傾斜角  $\alpha$  值的增加而增加。且折射率  $n$  愈大，入射角  $\theta$  愈大的情況下，亮點間距  $d_{12}$  增加的愈明顯。
4. 由結果 5-8 (圖 9) 中得知，亮點排列的方向，會隨方位角  $\varphi$  的值，不同而不同。顯示當入射光繞法線旋轉時，反射出一連串亮點，也會繞第二亮點作旋轉。因此，可顯示出傾斜面的方向。
5. 結果 5-9 (圖 10) 中，在極微小的傾斜角，及大角度的入射角  $\theta$  等此條件下，如果  $n > 1$  ( $n=1.36$ )，其亮點間距和傾斜角  $\alpha$  有約略等比關係。並且，明顯觀之，即可證明此系統具有量測極微量傾斜的能力。

### (二) 應用

- (1) 可用來求得極薄物體的厚度  
(方程式如附一) (折射率校正如附二)

Ex :

①傾斜面長 1cm， $n=1.36$  的條件下，在本次實驗儀器中，紙屏上的雷射光點半徑大小為 0.15cm、入射角  $\theta = 80^\circ \Rightarrow$  測得物體厚度為  $2.7\mu\text{m}$ 。

②若用較好 Laser，使亮點半徑大小少於 0.05cm。且入射角  $\theta = 85^\circ$ ，可測得物體厚度為  $5000\text{\AA}$ 。

(2)測量極微傾斜角

①首先，可以由實驗四的方法，定出傾斜面的主軸。

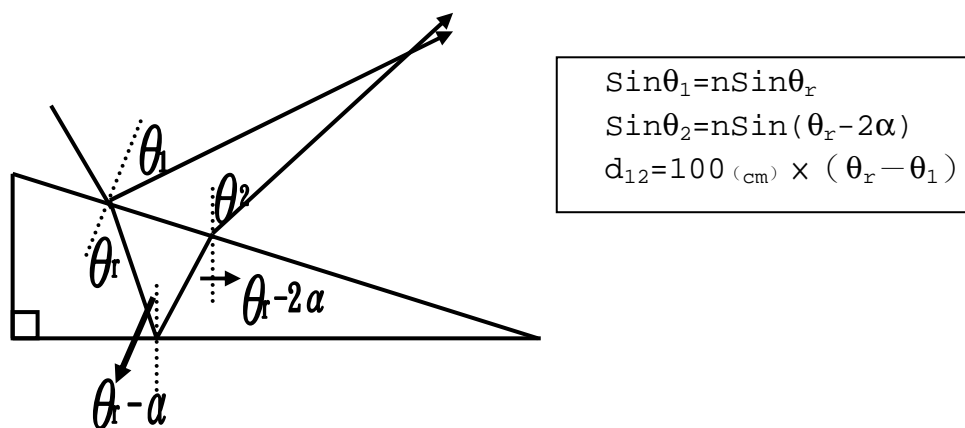
②若以矽晶片為例，其直徑 10cm，則在  $n=1.36$  的條件下，用本儀器同(1)-- ①的條件，則可測出傾斜角  $\alpha = 0.00027\text{rad}$ 。可得兩端高低差大於  $27\mu\text{m}$ 。

③同(1)-- ②的條件，可測出傾斜角  $\alpha = 0.00005\text{rad}$ ，可知兩端高低差大於  $5\mu\text{m}$ 。

七、參考資料及附錄

- (1) 高中物理第三冊(國編本)
- (2) 高中物理實驗第三冊(國編本)
- (3) 國立臺灣大學普通物理實驗手冊(88 學年度普物實驗教學研究委員會編印)
- (4) 近代光學(李冠卿 著 / 聯經出版社)
- (5) Grant R. Fowles, "Introduction To Modern Optics," 新智出版社。
- (6) Hugh D.Young, "University Physics."

□附錄一



□附錄二

實驗步驟：

- (1) 在圖二的容器中，先不放入矽晶片及玻璃片，並改用 TM mode 為入射光源。
- (2) 在容器內注入一定高度的水，且使之靜止穩定。
- (3) 調整入射光的角角度，觀察並記錄紙屏上亮點消失時，其入射角的角度，即為  $\theta_B$ 。
- (4) 由  $\tan\theta_B = n$  的公式，可求得水的折射率。

- (5) 將容器的水清空，改注入酒精，並重覆步驟1.-步驟4.，以求得酒精的折射率。

結果顯示：

- (1) 以水為介質時，其 $\theta_B$ 為 $52.85^\circ$ （多次平均），求得水的折射率為 $n = 1.32$ 顯然比理論值 $1.33$ 略小。
- (2) 以酒精為介質時，其 $\theta_B$ 為 $53.5^\circ$ （多次平均），求得酒精的折射率為 $n = 1.351$ 顯然比理論值 $1.36$ 略小。
- (3) 造成測量值不同的原因，除時驗誤差以外，很可能是因紅光波長所引起。（紅光波長約為 $630\text{nm} \sim 700\text{nm}$ ）

評語：

本作品詳細探討（水平面/透明介質/傾斜平面）系統在不同入射角，不同介質以及入射光繞斜面法線旋轉的各種情況下，其一串反射光亮點的變化情形。現象簡單有趣，方法正確，且提供了量測平面的微量傾斜的可能性，也具有應用的可能性。



## 作者簡介

從小，我便沉浸在家中的書海裡。而書中的描述，只呼喚出我對一切事物的好奇。從國小的自然課開始，我就不斷擴張自我的認知版圖。使得我個人，養成「不懂就動手」的研究習慣，更隱然地引領我，踏入另一個創造與思考的空間。

對於即將邁入大學的我而言，這是高中最後的回憶，也代表著我對物理的熱愛，不因升學壓力而減。同時，謝謝台大物理系許仁華教授、曹培熙教授，給予我的指導，和支持我的家人、老師及朋友。