

# 中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

## 國小-物理科

科 別：物 理 科

組 別：國 小 組

作品名稱：我變、我變、我變變變 - 炫風卡的秘密

關 鍵 詞：折 射、平凸透鏡、炫風卡

編 號：080101

---

**學校名稱：**

高雄市三民區十全國民小學

**作者姓名：**

高銘村、張致懷、郭耀駿

**指導老師：**

呂明吉、陳玉玫



## 一、研究目的：

在一次班上校外教學到海洋生物博物館，在參觀的出口附近，我們看到一面很大、很有趣的牆，牆上的海豚會隨著我們移動而移動且有動作的變化。這令我們想到和一種餅乾所附贈的「炫風卡」有著類似的現象，當轉動「卡片」時會有圖案和顏色的變化。對於「卡片」圖案變化的秘密我們感到相當好奇，於是興致勃勃跑去找老師討論，並利用六年級上學期所學過的第四單元「簡單的生活工具」中的齒輪，製作一個簡易的燈架來從事一連串有趣的實驗與探討研究，希望能找出圖案變化的秘密。

## 二、研究目的：

- (一) 觀察「卡片」構造及測出「卡片」上的紋路距離？
- (二) 當「卡片」距眼睛不同距離時，探討轉動「卡片」時，圖案的改變與轉動角度的關係？
- (三) 當橫向平行移動「卡片」的位置時，探討卡片圖案變化與「卡片」距眼睛距離及角度的關係？
- (四) 探討不同弧度角及不同寬度的平凸透鏡，在不同角度的光束照射下，其光束偏折的變化情形？
- (五) 利用不同寬度的平凸透鏡，自製可變化圖案的裝置。

## 三、研究設備及器材：

會變化圖案的「炫風卡」若干張、透明膠帶、A4 白紙、五種不同顏色筆、光電顯微鏡、捲尺、黑色膠帶、量角器、棉線、自製旋轉儀、壓克力板、雷射燈、水平儀、自製燈架、數位相機、厚 1.5cm 的透明壓克力塊、自製直徑分別為 1.5cm、1.0cm、0.75cm，弧度角分別為 180°、134°及 106°的平凸透鏡各若干個。



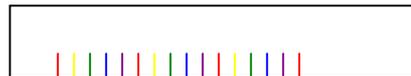
圖一：儀器裝置圖

#### 四、研究過程與方法：

(實驗一) 用透明膠帶拓印「卡片」的紋路，並利用光電顯微鏡來測出每一間隔紋路的平均距離？

##### 過程與方法：

1. 用放大鏡觀察「卡片」的外觀構造。
2. 用有黏性那一面的透明膠帶拓印「卡片」上的紋路。
3. 在一紙條上，用五種顏色的筆每 0.1cm 劃一刻度，依序劃 16 個刻度 (共 1.5cm)。如圖二所示。



圖二：五種顏色筆依序劃 16 個刻度的紙條

4. 將步驟 3 的紙條當作尺規，貼在拓印好的透明膠帶上，利用光電顯微鏡來觀察測量 40 格紋路的距離。
5. 再利用步驟 4 所得的結果，算出每一間隔紋路的平均距離。

(實驗二) 分別將「卡片」置於距眼睛 25 cm、50 cm 及 75 cm，轉動「卡片」來探討圖案變化和「卡片」轉動角度的關係？

##### 過程與方法：

1. 依序將自製旋轉儀置於離桌緣 25 cm、50 cm 及 75 cm 處的位置，並將「卡片」放在自製旋轉儀的正中央。

- 2.於桌緣處，用單眼觀察「卡片」，分別以順時針及逆時針方向轉動自製旋轉儀，來觀察圖案變化和「卡片」轉動角度的關係。
- 3.依序更換另兩種不同「卡片」，重複步驟 2 做實驗。

**(實驗三)** 橫向平行移動(不轉動)「卡片」，來探討「卡片」距眼睛的距離，以及視線和「卡片」的夾角與圖案變化之間的關係？

**過程與方法：**

1. 在距離長方形桌的長邊緣 25 cm處，貼上一長條黑膠帶當作基準線。
- 2.於桌緣角落用單眼觀察，「卡片」由基準線的一端(靠近觀察處)向另一端平行移動，觀測當圖案變化時，「卡片」所移動的距離，以及視線和「卡片」的夾角。
- 3.更換另兩種不同「卡片」，重複步驟 2 做實驗。

**(實驗四)** 利用雷射光照射在不同弧度角及不同寬度的平凸透鏡上，探討入射光束的角度和光束折射後的情形？

**過程與方法：**

- 1.利用聚酯自製曲率直徑 1.5cm 弧度角分別為 180°、134°、106°以及弧度角 106°曲率直徑分別為 1.5cm、1.0cm、0.75cm 的平凸透鏡各若干個。
2. 依序將步驟 1 各種不同規格的平凸透鏡放在厚 1.5cm 的透明壓克力塊上，然後將其置於燈架上分別以 90°、75°、60°及 45°(光束與平台的夾角)的雷射光照射，觀測光束偏折後在透明壓克力塊下方的位置變化。

**(實驗五)** 利用不同寬度的平凸透鏡，自製可變化圖案的裝置。

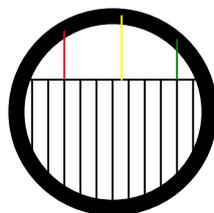
**過程與方法：**

- 1.先用電腦印出一寬 1cm，長度拉長約 3 倍的圖案若干個。
- 2.根據(實驗四)所觀測同一規格平凸透鏡在光束垂直照射下，光束偏折後投影在透明壓克力塊下方的位移，作為切割圖案的寬度。
- 3.將步驟 1 的圖案依照步驟 2 的寬度來切割成長條狀，並將切割成的每一圖案紙條依序及反序分別隔開約一個平凸透鏡的寬度來擺放。
4. 透過各種不同寬度的平凸透鏡，來觀察步驟 3 的圖案結果。

## 五、研究結果：

### (實驗一)

1. 卡片表面分布著許多凹凸不平的條紋。
2. 光電顯微鏡下觀察不同「卡片」所拓印的膠帶紋路，大約每 0.1 公分有 3~4 條的紋路。如圖三所示。



圖三：光電顯微鏡下的紋路

3. 光電顯微鏡下觀察不同「卡片」所拓印的膠帶紋路 40 格的長度。

學生 觀測 卡片 圖案	40 格紋路的長度			平均	每一格的平均長度
	甲生	乙生	丙生		
聖誕老人	1.30 cm	1.34 cm	1.30 cm	1.31 cm	0.0328 cm
恐龍	1.30 cm	1.34 cm	1.30 cm	1.31 cm	0.0328 cm
伊布	1.31 cm	1.30 cm	1.40 cm	1.34 cm	0.0335 cm

(實驗二)

1. 在距離自製旋轉儀 25 cm、50 cm及 75 cm處的桌緣，用單眼觀察不同的「卡片」圖案變化時，「卡片」依順時針轉動的角度。

卡片圖案	卡片與眼睛的距離	觀測角度 學生	圖案改變時，卡片轉動的角度			
			第一次	第二次	第三次	第四次
聖誕老人	25 cm	甲生	25.0°	50.0°	63.0°	
		乙生	24.0°	47.0°	62.0°	
		丙生	25.0°	51.0°	67.0°	
		平均	<b>24.7°</b>	<b>49.3°</b>	<b>64.0°</b>	
	50 cm	甲生	25.0°	49.0°	62.0°	
		乙生	25.0°	49.0°	62.0°	
		丙生	24.0°	46.0°	61.0°	
		平均	<b>24.7°</b>	<b>48.0°</b>	<b>61.7°</b>	
	75 cm	甲生	22.0°	42.0°	61.0°	
		乙生	25.0°	48.0°	65.0°	
		丙生	27.0°	48.0°	66.0°	
		平均	<b>24.7°</b>	<b>46.0°</b>	<b>64.0°</b>	
恐龍	25 cm	甲生	17.0°	43.0°	62.0°	75.0°
		乙生	20.0°	45.0°	65.0°	75.0°
		丙生	19.0°	42.0°	61.0°	73.0°
		平均	<b>18.7°</b>	<b>43.3°</b>	<b>62.7°</b>	<b>74.3°</b>
	50 cm	甲生	17.0°	45.0°	62.0°	73.0°
		乙生	13.0°	42.0°	61.0°	71.0°
		丙生	16.0°	42.0°	69.0°	75.0°
		平均	<b>15.3°</b>	<b>43.0°</b>	<b>64.0°</b>	<b>73.0°</b>
	75 cm	甲生	16.0°	45.0°	65.0°	73.0°
		乙生	14.0°	41.0°	59.0°	70.0°
		丙生	19.0°	48.0°	64.0°	71.0°
		平均	<b>16.3°</b>	<b>44.7°</b>	<b>62.7°</b>	<b>71.3°</b>

卡片圖案	卡片與眼睛的距離	觀測角度 學生	圖案改變時，卡片轉動的角度			
			第一次	第二次	第三次	第四次
伊布	25 cm	甲生	7.0°	43.0°	63.0°	77.0°
		乙生	7.0°	39.0°	61.0°	72.0°
		丙生	7.0°	40.0°	62.0°	80.0°
		平均	<b>7.0°</b>	<b>40.7°</b>	<b>62.0°</b>	<b>76.3°</b>
	50 cm	甲生	7.0°	39.0°	62.0°	70.0°
		乙生	7.0°	40.0°	62.0°	73.0°
		丙生	7.0°	36.0°	60.0°	76.0°
		平均	<b>7.0°</b>	<b>38.3°</b>	<b>61.3°</b>	<b>73.0°</b>
	75 cm	甲生	9.0°	41.0°	62.0°	76.0°
		乙生	9.0°	39.0°	64.0°	75.0°
		丙生	8.0°	38.0°	61.0°	75.0°
		平均	<b>8.7°</b>	<b>39.3°</b>	<b>62.3°</b>	<b>75.3°</b>

2. 在距離自製旋轉儀 25 cm、50 cm及 75 cm處的桌緣，用單眼觀察不同的「卡片」圖案變化時，「卡片」依逆時針轉動的角度。

卡片圖案	卡片與眼睛的距離	觀測角度 學生	圖案改變時，卡片轉動的角度		
			第一次	第二次	第三次
聖誕老人	25 cm	甲生	18.0°	45.0°	60.0°
		乙生	16.0°	42.0°	57.0°
		丙生	16.0°	43.0°	56.0°
		平均	<b>16.7°</b>	<b>43.3°</b>	<b>57.7.3°</b>
	50 cm	甲生	15.0°	40.0°	60.0°
		乙生	15.0°	42.0°	57.0°
		丙生	14.0°	39.0°	61.0°
		平均	<b>14.7°</b>	<b>40.3°</b>	<b>59.3°</b>
	75 cm	甲生	12.0°	36.0°	57.0°
		乙生	12.0°	38.0°	56.0°
		丙生	13.0°	38.0°	57.0°
		平均	<b>12.7°</b>	<b>36.7°</b>	<b>56.7°</b>

卡片圖案	卡片與眼睛的距離	觀測角度 學生	圖案改變時，卡片轉動的角度		
			第一次	第二次	第三次
恐龍	25 cm	甲生	29.0°	53.0°	67.0°
		乙生	28.0°	55.0°	68.0°
		丙生	29.0°	55.0°	68.0°
		<b>平均</b>	<b>28.7°</b>	<b>54.3°</b>	<b>67.7°</b>
	50 cm	甲生	29.0°	55.0°	67.0°
		乙生	28.0°	55.0°	65.0°
		丙生	27.0°	55.0°	68.0°
		<b>平均</b>	<b>28.0°</b>	<b>55.0°</b>	<b>66.7°</b>
	75 cm	甲生	26.0°	55.0°	68.0°
		乙生	27.0°	51.0°	68.0°
		丙生	29.0°	53.0°	68.0°
		<b>平均</b>	<b>27.3°</b>	<b>53.0°</b>	<b>68.0°</b>
伊布	25 cm	甲生	10.0°	42.5°	62.0°
		乙生	10.0°	41.0°	62.0°
		丙生	10.0°	41.0°	59.0°
		<b>平均</b>	<b>10.0°</b>	<b>41.5°</b>	<b>61.0°</b>
	50 cm	甲生	9.0°	47.0°	65.0°
		乙生	10.0°	44.0°	63.0°
		丙生	9.0°	39.0°	60.0°
		<b>平均</b>	<b>9.3°</b>	<b>43.3°</b>	<b>62.7°</b>
	75 cm	甲生	12.0°	41.0°	61.0°
		乙生	12.0°	40.0°	59.0°
		丙生	12.0°	42.0°	61.0°
		<b>平均</b>	<b>12.0°</b>	<b>41.0°</b>	<b>60.3°</b>

**(實驗三)**

1. 用單眼在距離黑膠帶 25 cm處的桌角，觀察「卡片」向左沿著黑膠帶平行移動時圖案變化的距離及視線與「卡片」的夾角。

卡片圖案	學生觀測	第一次圖案改變		第二次圖案改變		第三次圖案改變		第四次圖案改變	
		平行移動的距離	視線與卡片的夾角	平行移動的距離	視線與卡片的夾角	平行移動的距離	視線與卡片的夾角	平行移動的距離	視線與卡片的夾角
聖誕老人	甲生	13.00 cm	62.5°	31.30 cm	39.0°	45.00 cm	29.0°		
	乙生	13.50 cm	61.5°	30.00 cm	40.0°	50.00 cm	26.5°		
	丙生	13.00 cm	62.5°	31.00 cm	39.0°	52.00 cm	25.5°		
	平均	13.83 cm	62.2°	30.67 cm	39.3°	49.00 cm	27.0°		
恐龍	甲生	10.00 cm	68.0°	25.50 cm	44.5°	49.00 cm	27.0°	98.00 cm	14.0°
	乙生	8.00 cm	72.0°	24.00 cm	46.0°	48.00 cm	27.5°	98.00 cm	14.0°
	丙生	9.00 cm	70.0°	24.00 cm	46.0°	48.00 cm	27.5°	99.50 cm	14.0°
	平均	9.00 cm	70.0°	24.50 cm	45.5°	48.33 cm	27.3°	98.50 cm	14.0°
伊布	甲生	5.00 cm	78.5°	24.50 cm	45.5°	54.00 cm	24.5°	98.00 cm	14.0°
	乙生	5.00 cm	78.5°	23.50 cm	46.5°	51.50 cm	26.0°	93.00 cm	15.0°
	丙生	5.50 cm	77.6°	22.50 cm	48.0°	51.00 cm	26.0°	100.00 cm	14.0°
	平均	5.20 cm	78.2°	23.50 cm	46.7°	52.17 cm	25.5°	97.00 cm	14.3°

2. 用單眼在距離黑膠帶 25 cm 處的桌角，觀察「卡片」向右沿著黑膠帶平行移動時圖案變化的距離及視線與「卡片」的夾角。

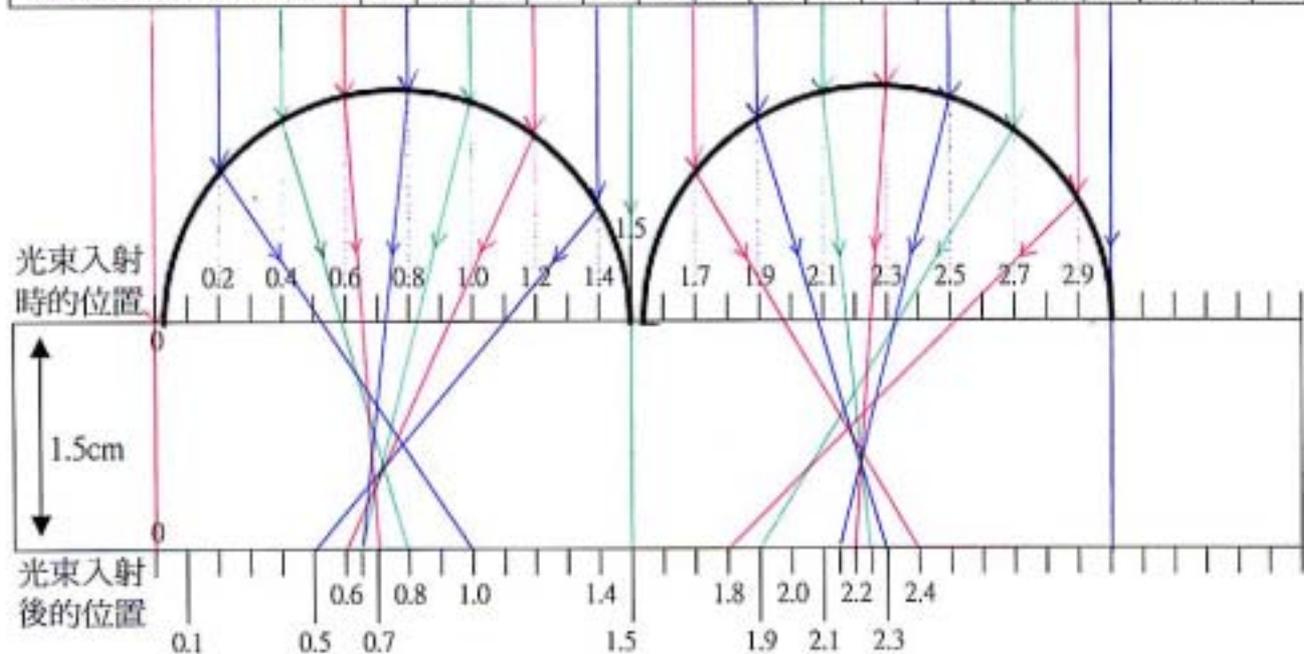
卡片圖案	學生觀測	第一次圖案改變		第二次圖案改變		第三次圖案改變		第四次圖案改變	
		平行移動的距離	視線與卡片的夾角	平行移動的距離	視線與卡片的夾角	平行移動的距離	視線與卡片的夾角	平行移動的距離	視線與卡片的夾角
聖誕老人	甲生	8.00 cm	72.0°	24.00 cm	46.0°	38.00 cm	33.0°		
	乙生	8.50 cm	71.0°	26.00 cm	44.0°	41.00 cm	31.0°		
	丙生	8.00 cm	72.0°	27.00 cm	43.0°	40.50 cm	32.0°		
	平均	8.17 cm	71.7°	25.67 cm	44.3°	39.83 cm	32.0°		
恐龍	甲生	16.00 cm	57.0°	38.00 cm	33.0°	58.00 cm	23.0°	76.50 cm	
	乙生	15.00 cm	59.0°	36.50 cm	34.0°	60.00 cm	23.0°	78.50 cm	
	丙生	14.00 cm	61.0°	38.00 cm	33.0°	59.00 cm	23.0°	74.00 cm	
	平均	15.00 cm	59.0°	37.50 cm	33.3°	59.00 cm	23.0°	94.00 cm	
伊布	甲生	6.00 cm	77.0°	22.00 cm	49.0°	47.00 cm	28.0°		
	乙生	5.50 cm	78.0°	22.50 cm	48.0°	48.00 cm	28.0°		
	丙生	6.00 cm	77.0°	22.50 cm	48.0°	47.00 cm	28.0°		
	平均	5.83 cm	77.3°	22.33 cm	48.3°	47.33 cm	28.0°		

(實驗四)

1. 曲率直徑 1.5cm、弧度角 180°，透鏡寬 1.5cm、高 0.75cm；高/寬 = 1/2。

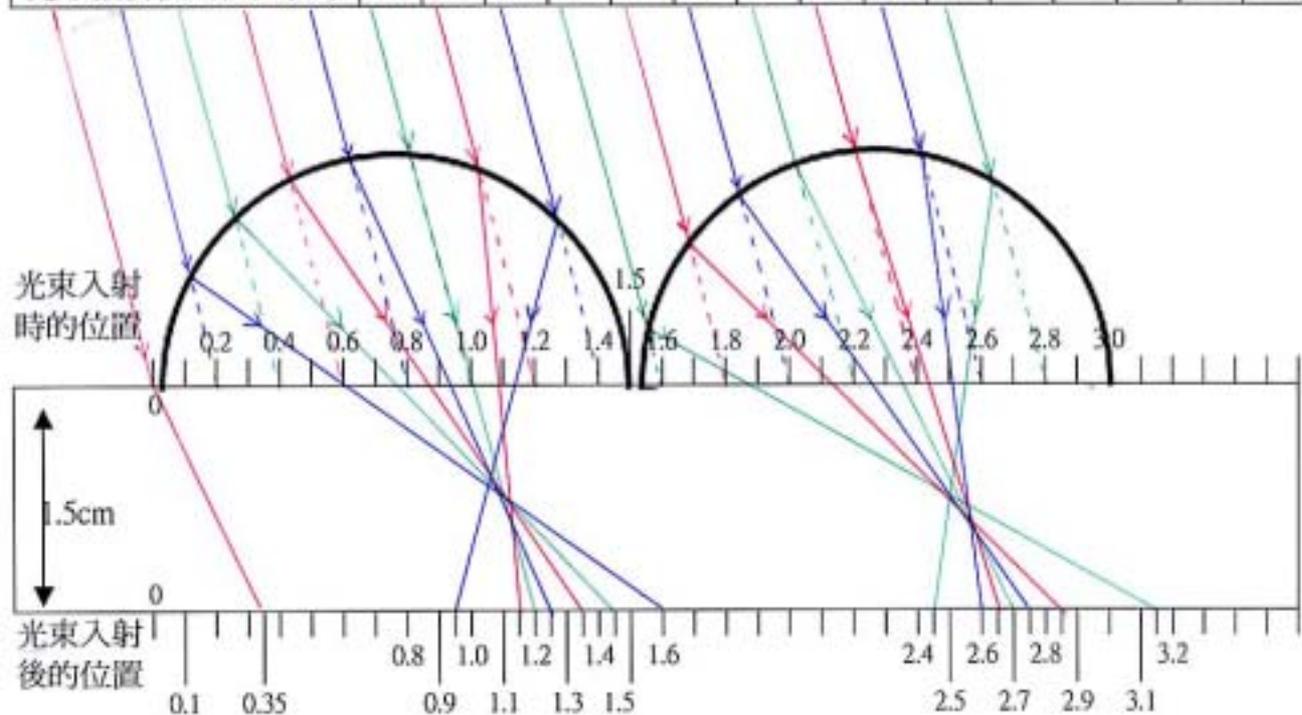
(1) 光束與水平線夾 90°：

光束入射時的位置(cm)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.0
光束偏折後的位置(cm)	0	1.0	0.8	0.7	0.65	0.65	0.6	0.5	1.5	2.4	2.3	2.25	2.2	2.15	1.9	1.8	3.0



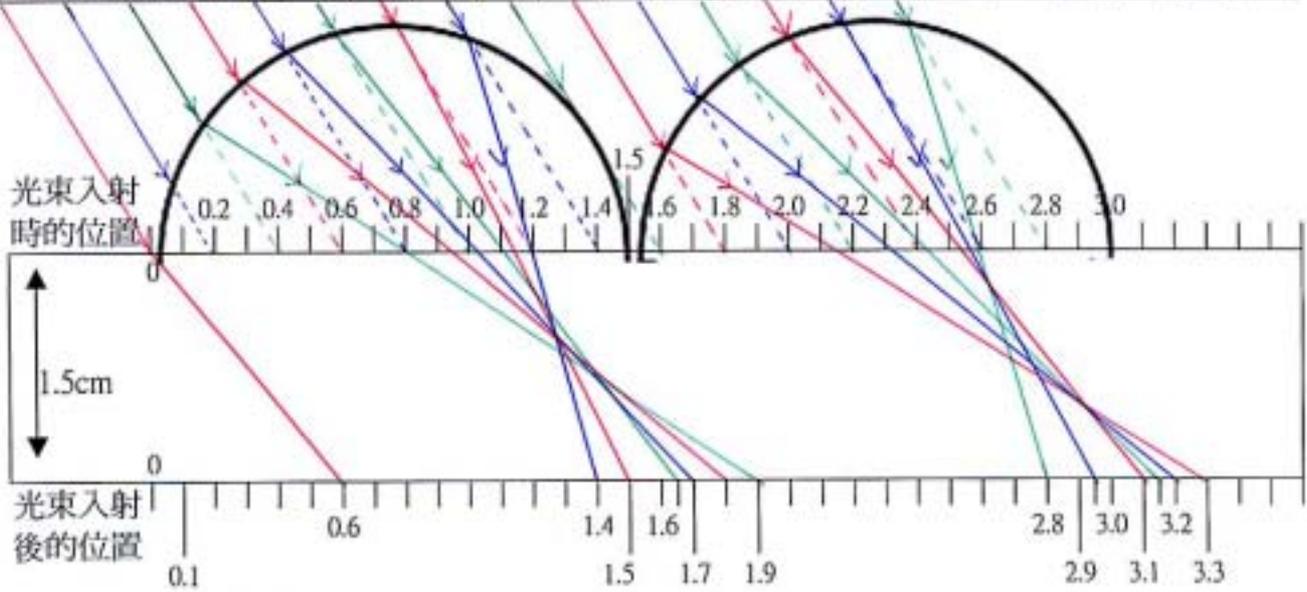
(2) 光束與水平線夾 75°：

光束入射時的位置(cm)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8
光束偏折後的位置(cm)	0.35	1.60	1.45	1.35	1.25	1.20	1.15	0.95	3.15	2.85	2.75	2.70	2.65	2.60	2.45



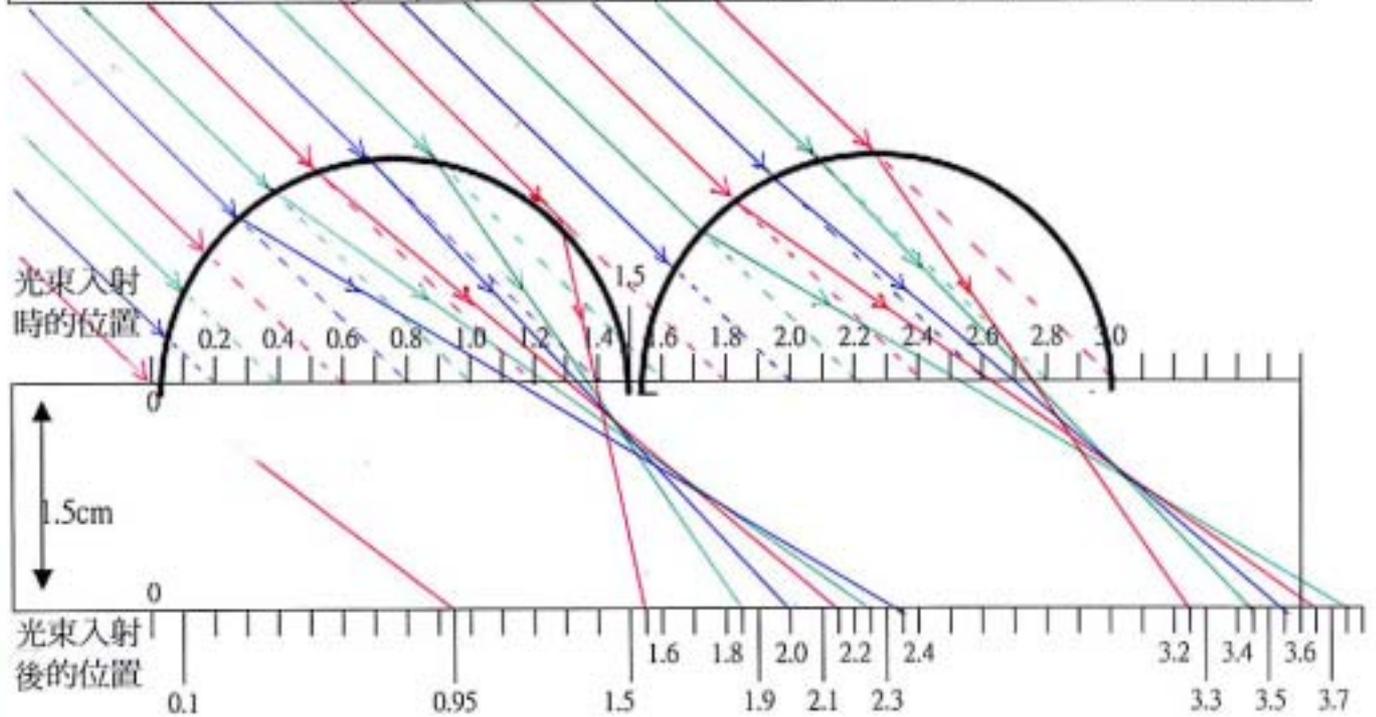
(3) 入射光束與水平線夾  $60^\circ$  :

光束入射時的位置(cm)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8
光束偏折後的位置(cm)	0.6	x	1.9	1.8	1.7	1.65	1.5	1.4	x	3.3	3.2	3.15	3.1	2.95	2.8



(4) 光束與水平線夾  $45^\circ$  :

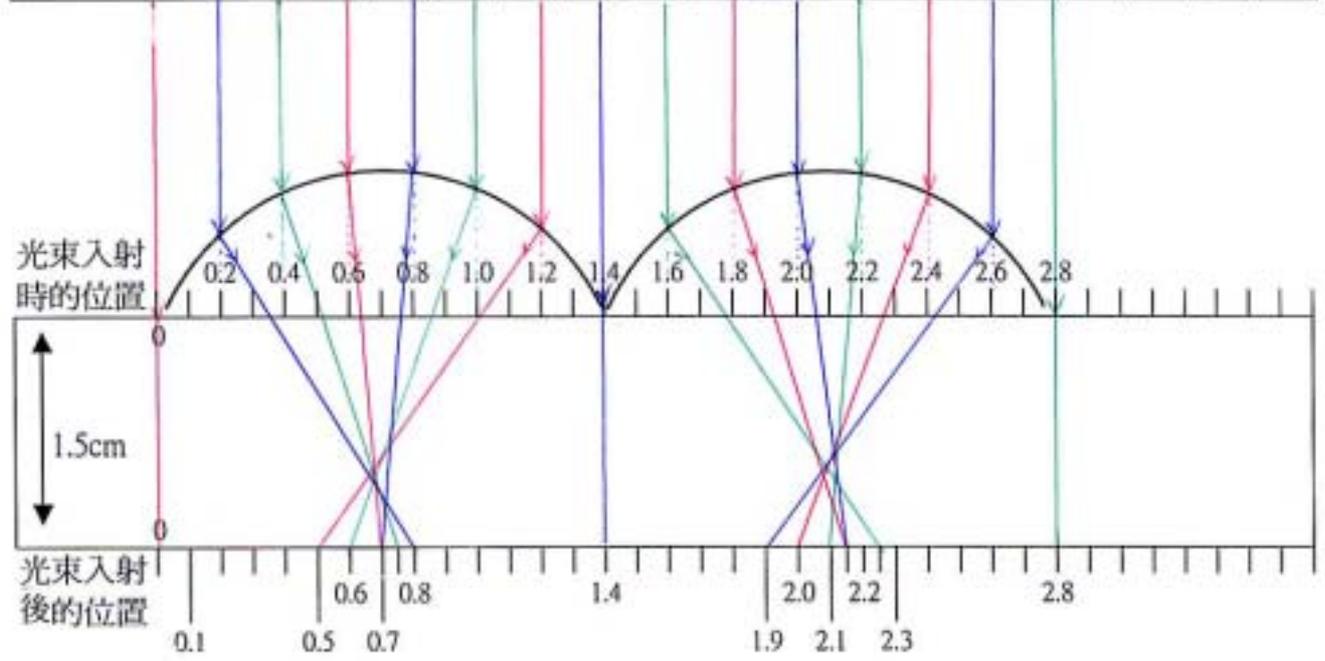
光束入射時的位置(cm)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
光束偏折後的位置(cm)	0.95	x	x	x	2.35	2.25	2.15	2.0	1.85	1.55	x	3.75	3.65	3.55	3.45	3.25



2. 曲率直徑 1.5cm、弧度角 134°、透鏡寬 1.4cm、高 0.45cm；高/寬 = 1 / 3。

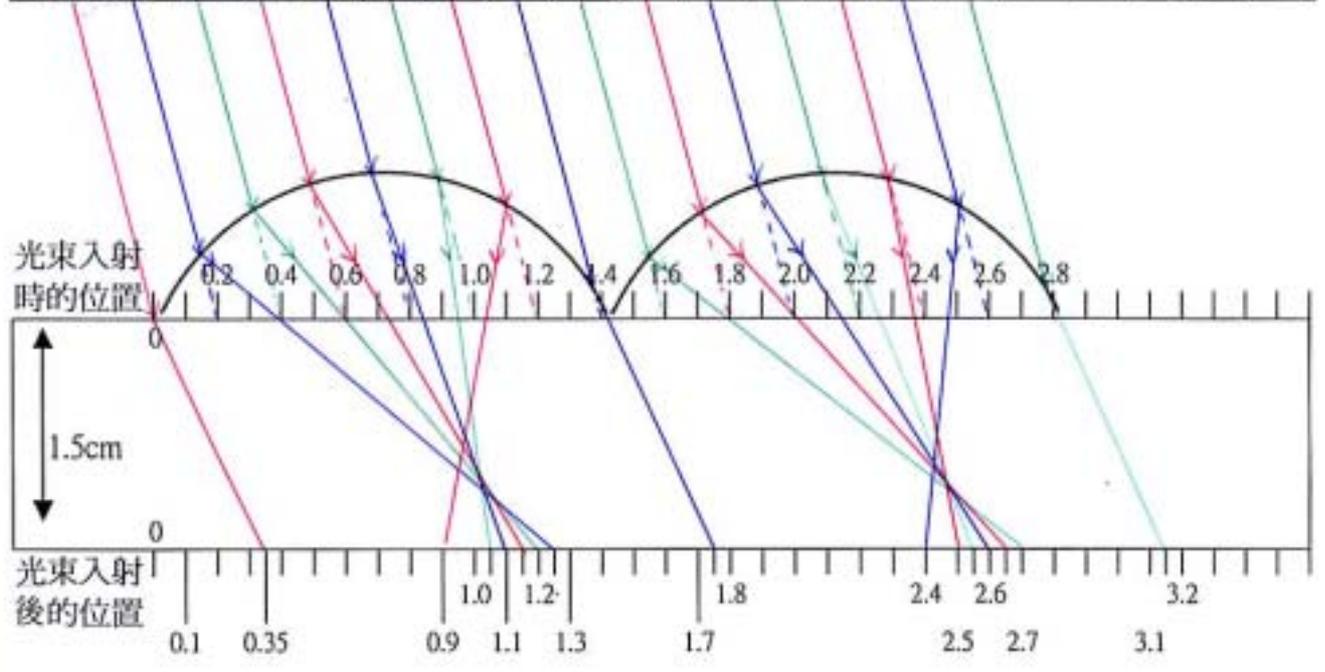
(1) 光束與水平線夾 90°：

光束入射時的位置(cm)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8
光束偏折後的位置(cm)	0	0.8	0.75	0.7	0.7	0.6	0.5	1.4	2.25	2.15	2.15	2.1	2.0	1.9	2.8

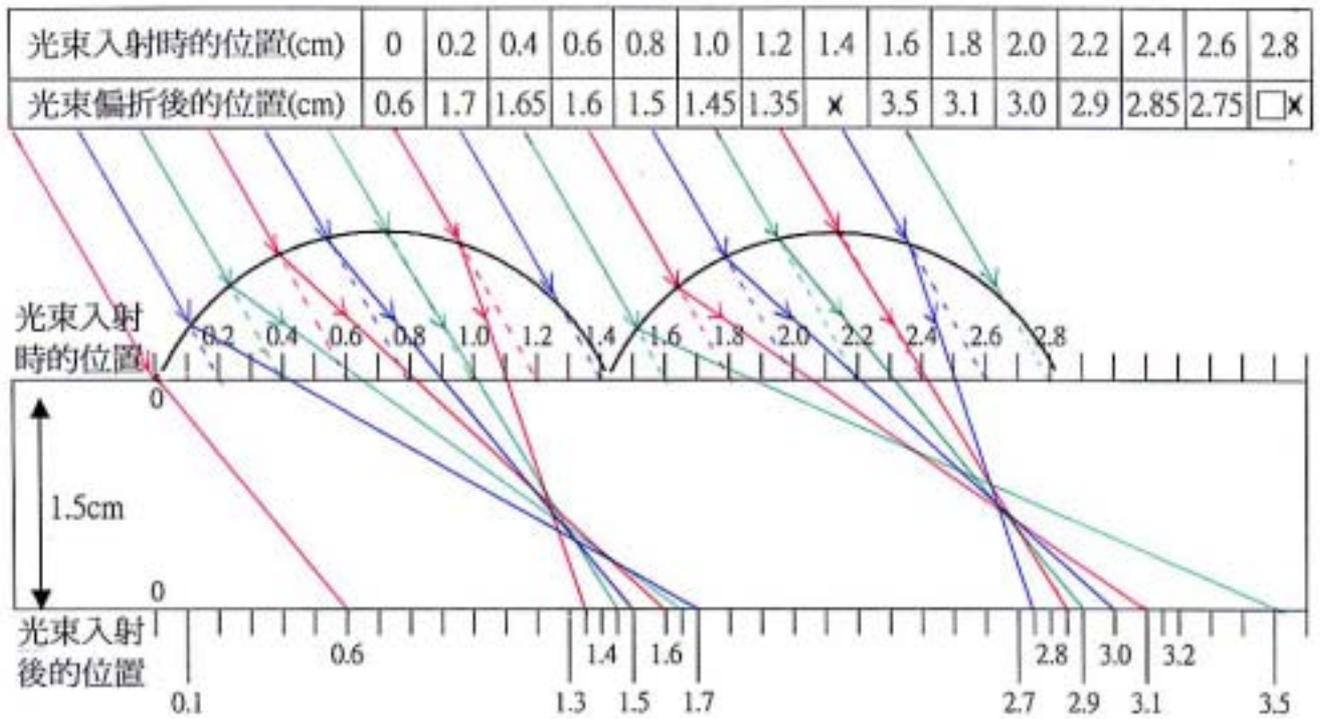


(2) 光束與水平線夾 75°：

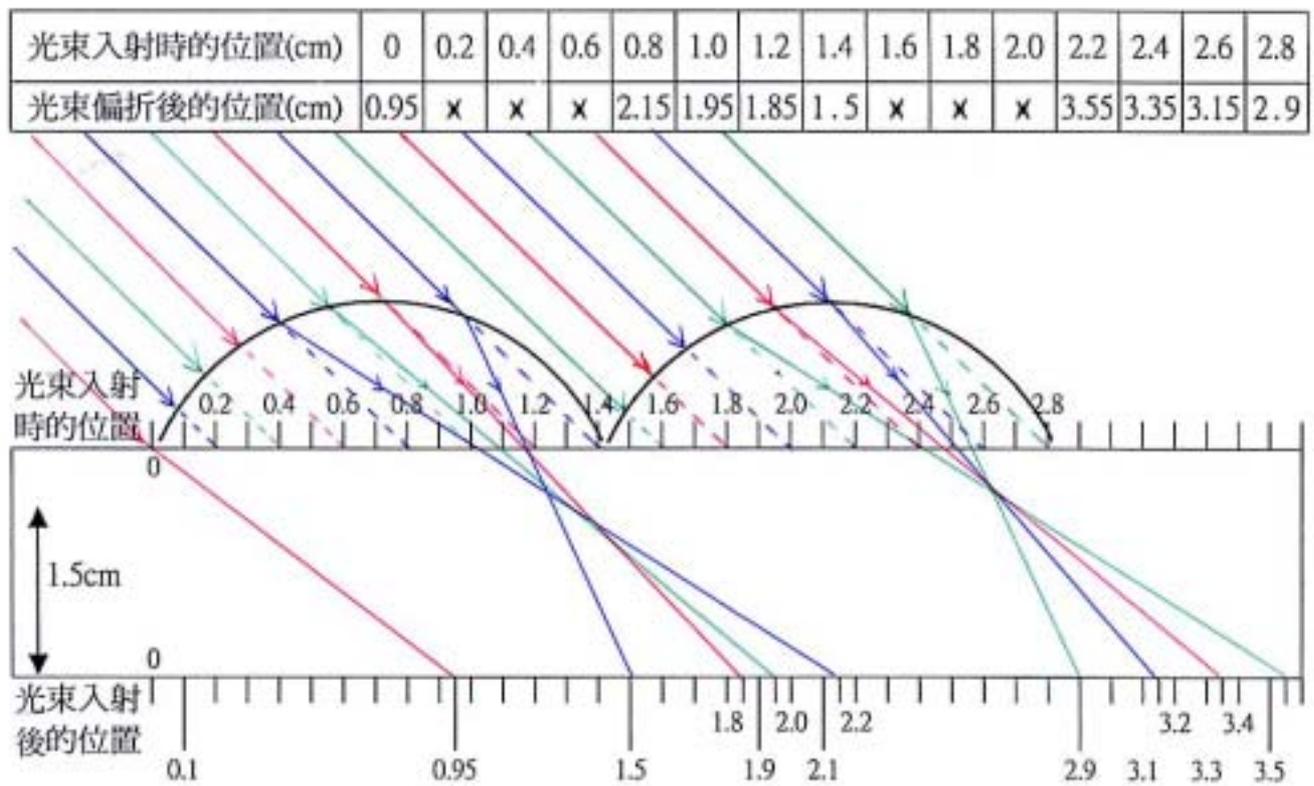
光束入射時的位置(cm)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8
光束偏折後的位置(cm)	0.35	1.25	1.2	1.15	1.1	1.05	0.9	1.75	2.7	2.65	2.6	2.55	2.5	2.4	3.15



(3) 光束與水平線夾  $60^\circ$  :



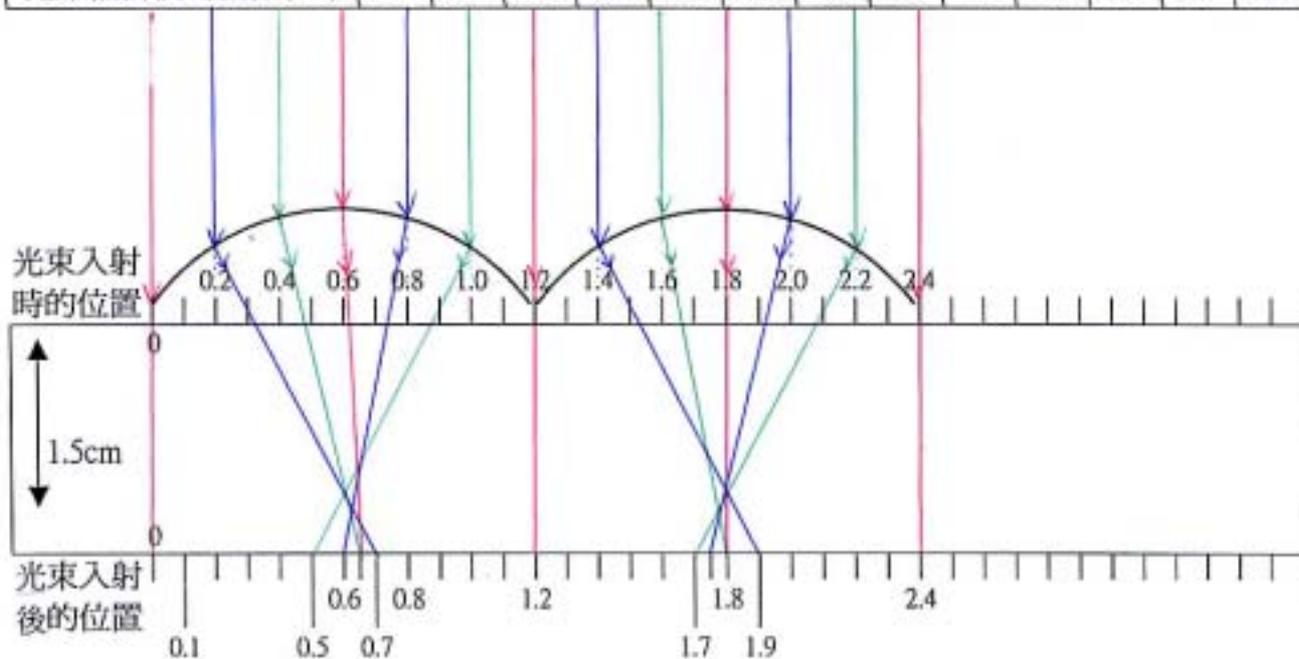
(4) 光束與水平線夾  $45^\circ$  :



3. 曲率直徑 1.5cm、弧度角 106°，透鏡寬 1.2cm、高 0.3cm；高／寬 = 1 / 4。

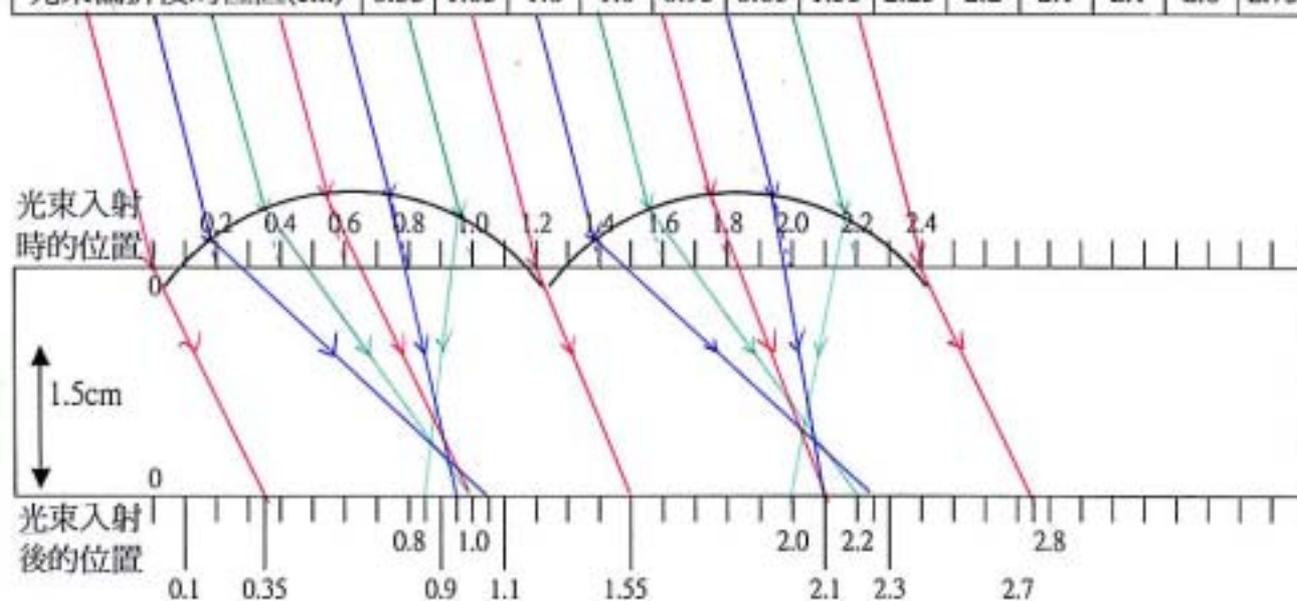
(1) 光束與水平線夾 90°：

光束入射時的位置(cm)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
光束偏折後的位置(cm)	0	0.7	0.65	0.65	0.6	0.5	1.2	1.9	1.8	1.8	1.75	1.7	2.4



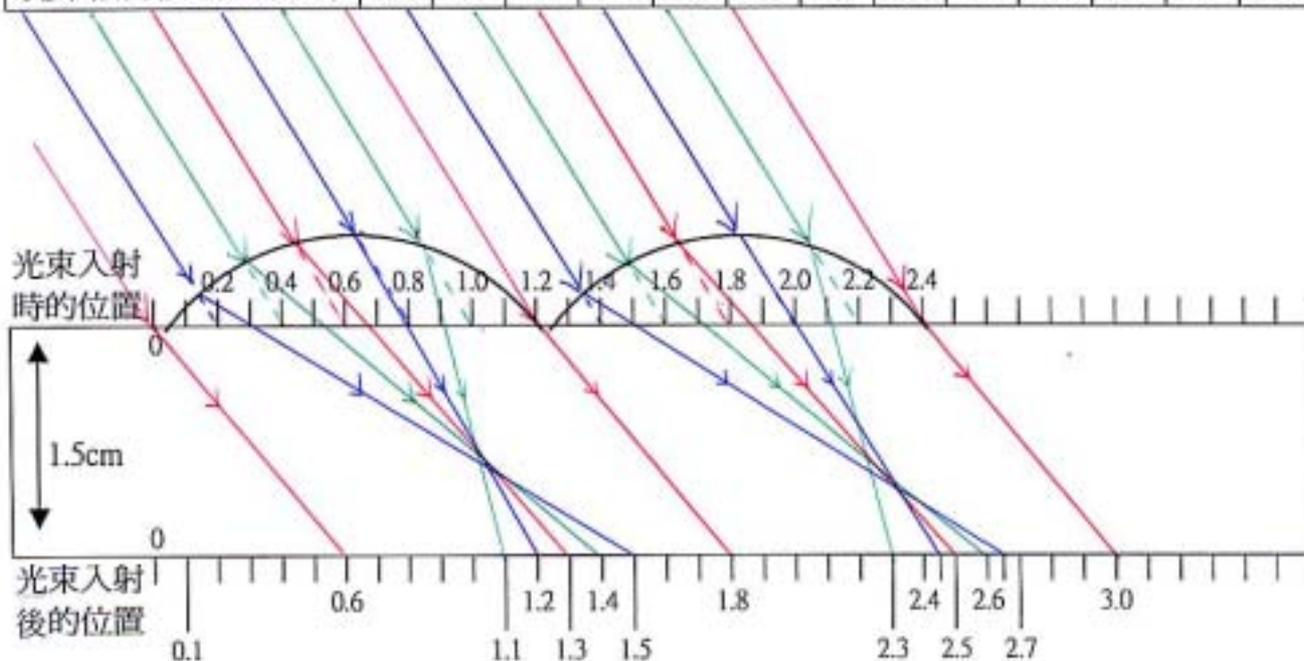
(2) 光束與水平線夾 75°：

光束入射時的位置(cm)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
光束偏折後的位置(cm)	0.35	1.05	1.0	1.0	0.95	0.85	1.55	2.25	2.2	2.1	2.1	2.0	2.75



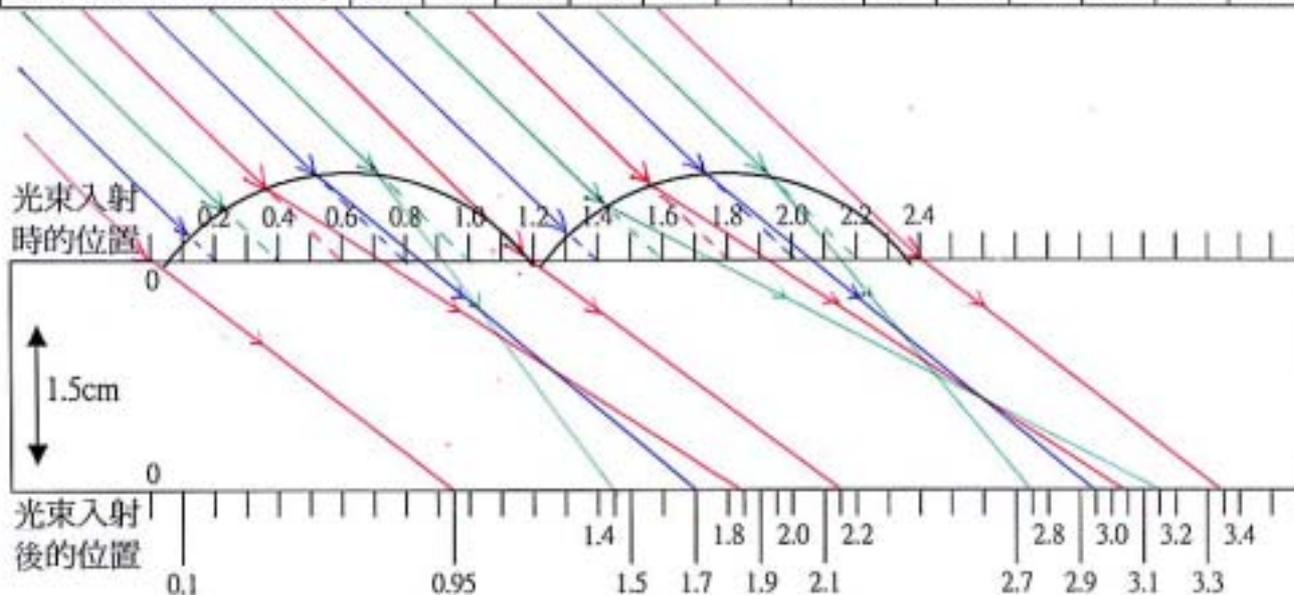
(3) 光束與水平線夾  $60^\circ$  :

光束入射時的位置(cm)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
光束偏折後的位置(cm)	0.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.8	2.65	2.6	2.5	2.45	2.3	3.0



(4) 光束與水平線夾  $45^\circ$  :

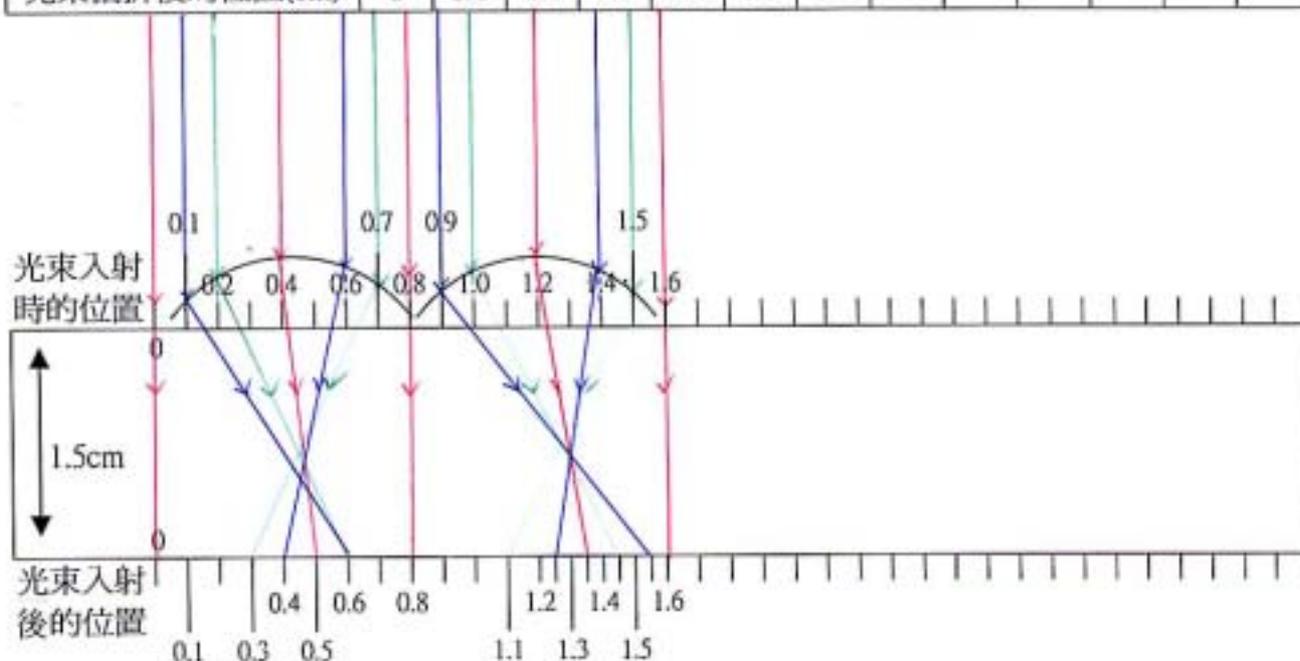
光束入射時的位置(cm)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
光束偏折後的位置(cm)	0.95	x	1.95	1.85	1.7	1.45	2.15	x	3.15	3.05	2.95	2.75	3.35



4. 曲率直徑 1.0cm、弧度角  $106^\circ$ ，透鏡寬 0.8cm、高 0.2cm；高/寬 = 1 / 4。

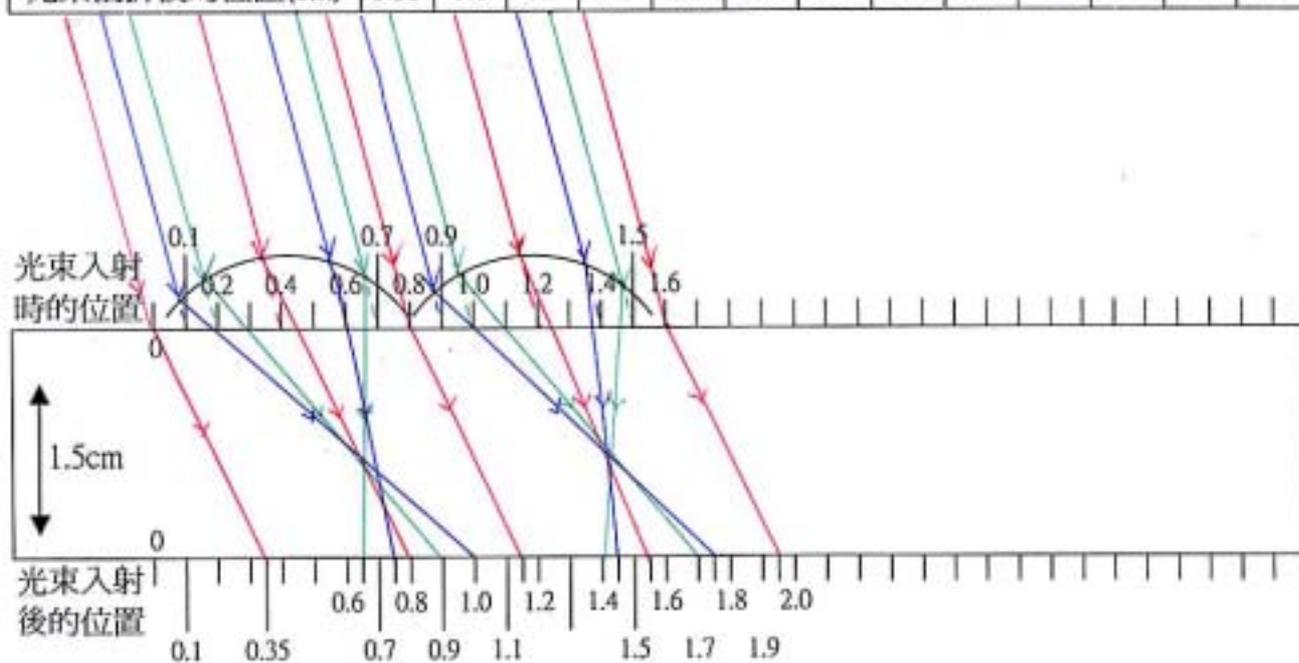
(1) 光束與水平線夾  $90^\circ$ ：

光束入射時的位置(cm)	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.5	1.6
光束偏折後的位置(cm)	0	0.6	0.6	0.5	0.4	0.3	0.8	1.55	1.45	1.35	1.25	1.1	1.6



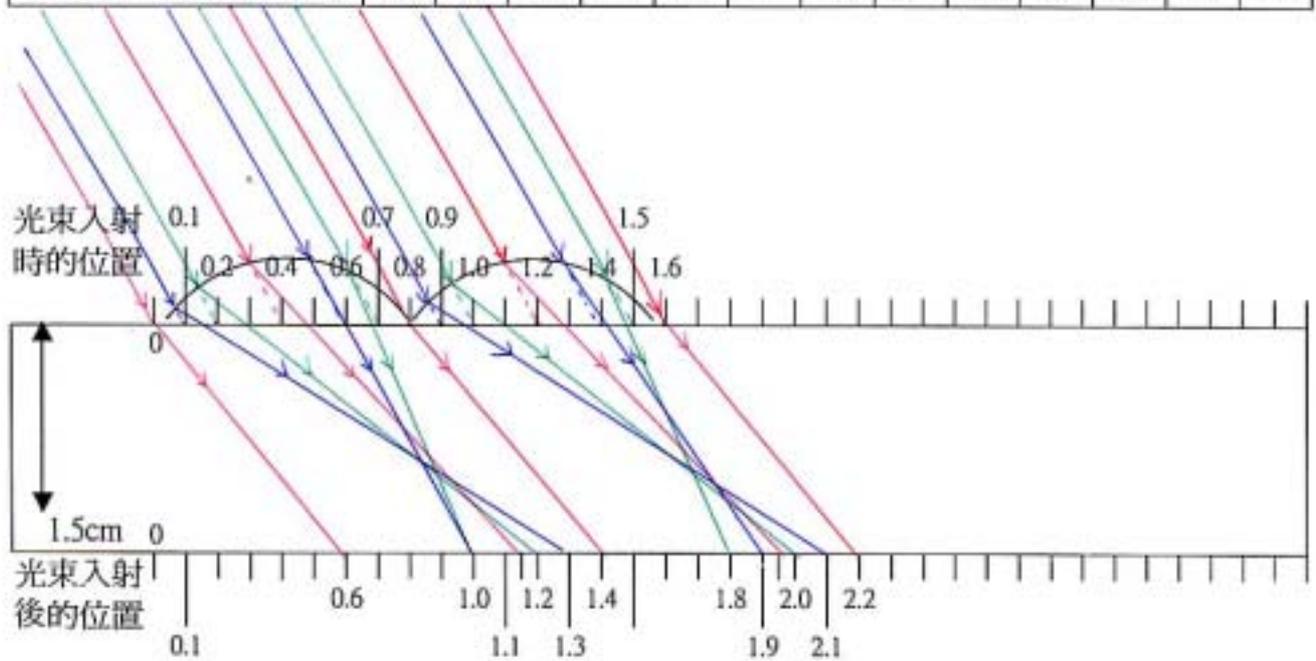
(2) 光束與水平線夾  $75^\circ$ ：

光束入射時的位置(cm)	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.5	1.6
光束偏折後的位置(cm)	0.35	1.0	0.9	0.8	0.75	0.65	1.15	1.75	1.7	1.55	1.45	1.4	1.95



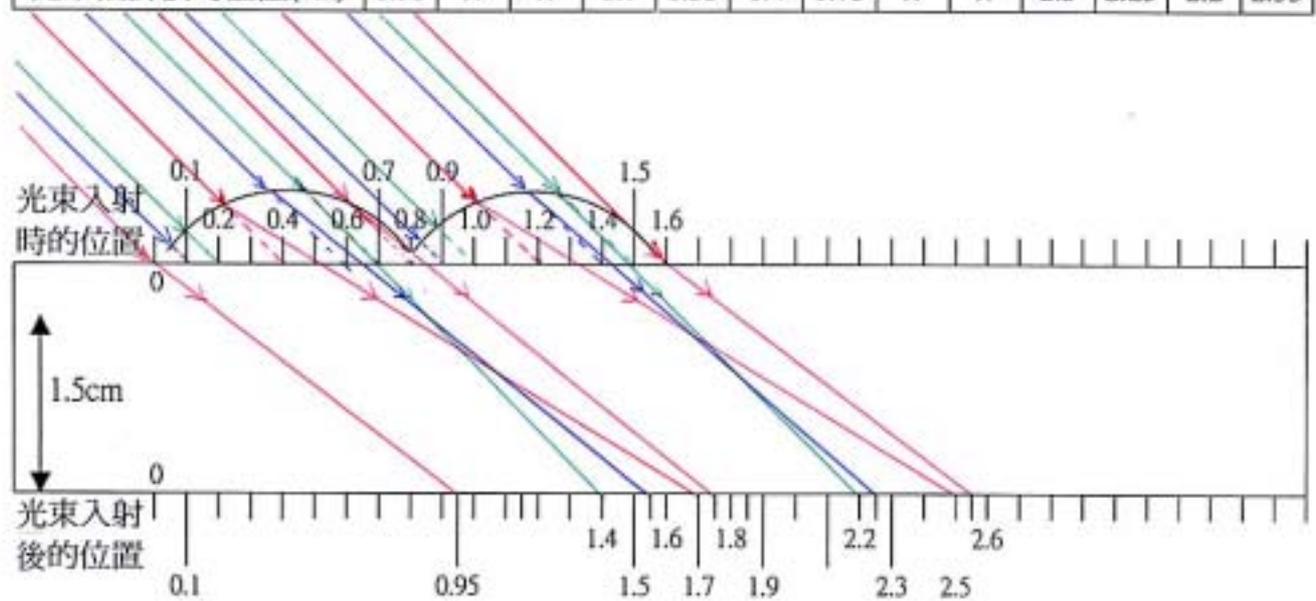
(3) 光束與水平線夾  $60^\circ$  :

光束入射時的位置(cm)	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.5	1.6
光束偏折後的位置(cm)	0.6	1.3	1.2	1.15	1.0	1.0	1.4	2.1	2.0	1.95	1.9	1.8	2.2



(4) 光束與水平線夾  $45^\circ$  :

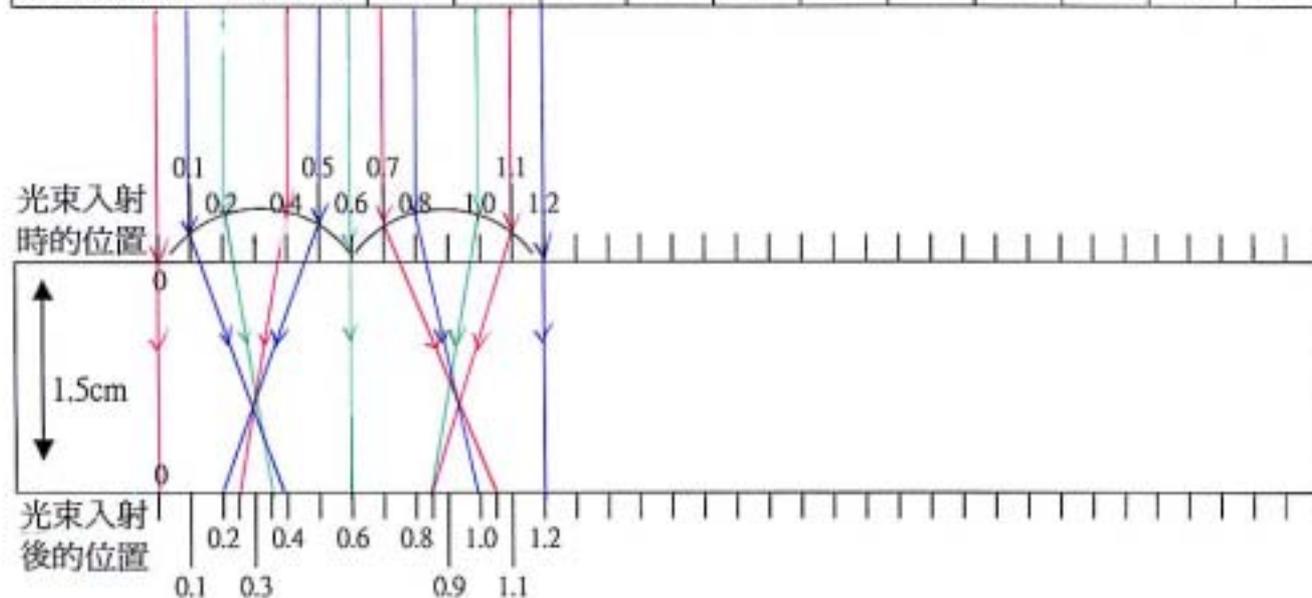
光束入射時的位置(cm)	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.5	1.6
光束偏折後的位置(cm)	0.95	x	x	1.7	1.55	1.4	1.75	x	x	2.5	2.25	2.2	2.55



5. 曲率直徑 0.75cm、弧度角  $106^\circ$ ，透鏡寬 0.6cm、高 0.15cm；高/寬 = 1/4。

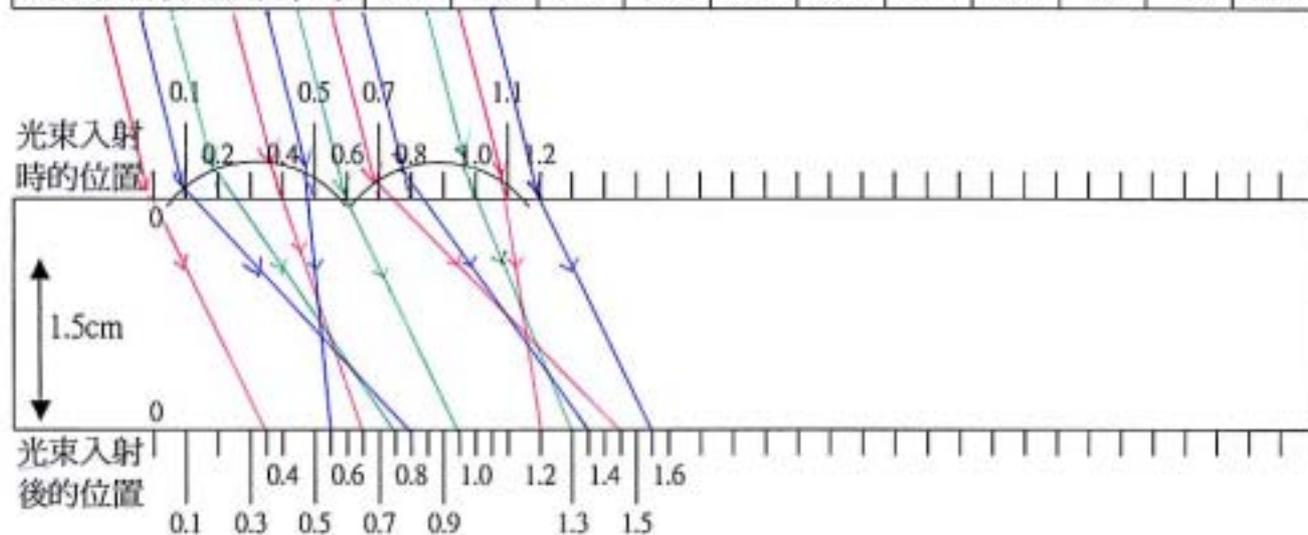
(1) 光束與水平線夾  $90^\circ$ ：

光束入射時的位置(cm)	0	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2
光束偏折後的位置(cm)	0	0.4	0.35	0.25	0.2	0.6	1.05	1.0	0.85	0.85	1.2



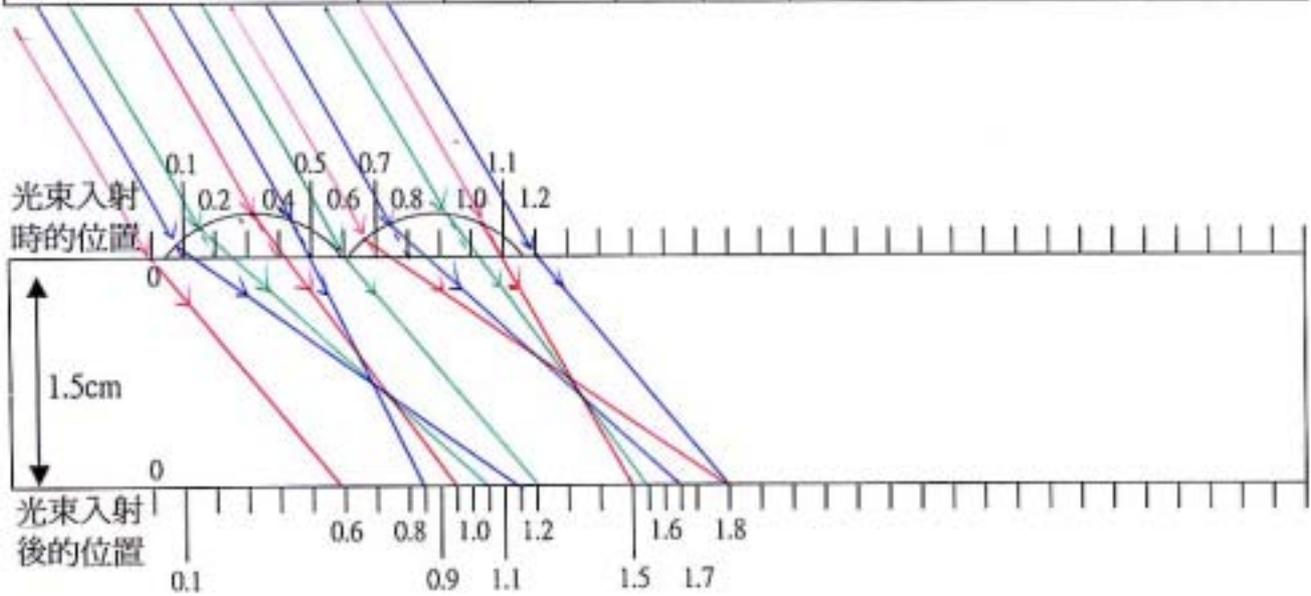
(2) 光束與水平線夾  $75^\circ$ ：

光束入射時的位置(cm)	0	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2
光束偏折後的位置(cm)	0.35	0.8	0.75	0.65	0.55	0.95	1.45	1.35	1.3	1.2	1.55



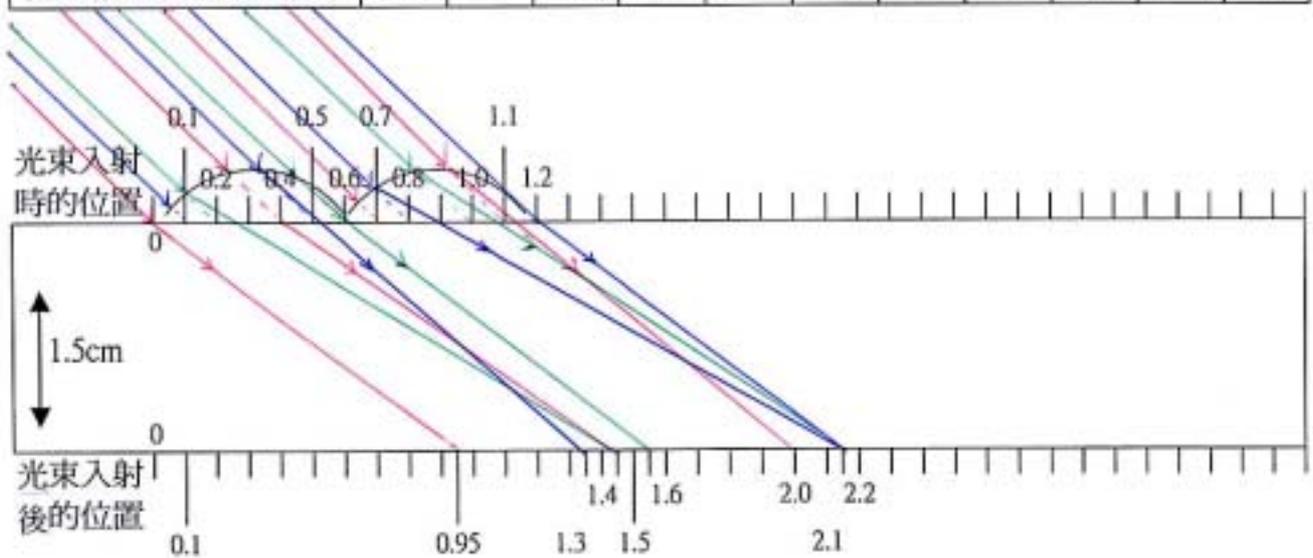
(3) 光束與水平線夾  $60^\circ$  :

光束入射時的位置(cm)	0	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2
光束偏折後的位置(cm)	0.6	1.15	1.05	0.95	0.85	1.2	1.8	1.65	1.55	1.5	1.8



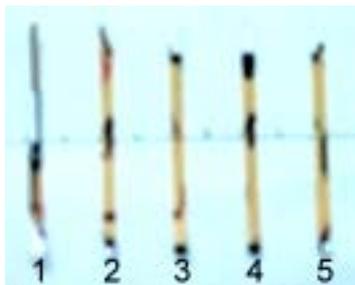
(4) 光束與水平線夾  $45^\circ$  :

光束入射時的位置(cm)	0	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2
光束偏折後的位置(cm)	0.95	☒	1.45	1.45	1.35	1.55	☒	2.15	2.15	2.0	2.15



**(實驗五)**

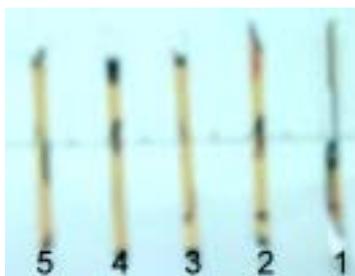
1. 當平凸透鏡的曲率直徑 1.5cm，弧度角  $106^\circ$ ，寬度 1.2cm，高度 0.3cm 時：  
光束垂直入射的位置移動 0.8cm 時，光束偏折投影在厚 1.5cm 透明壓克力塊下方的位置移動了 0.2cm。以 0.2cm 做為切割圖案紙條的寬度，以 1.2cm 為間距排開。



圖四：紙條依順序排開



圖五：在平凸透鏡下看到的情形

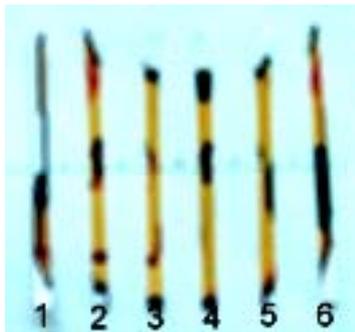


圖六：紙條依反序排開

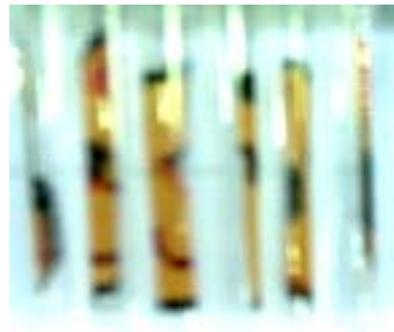
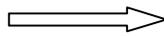


圖七：在平凸透鏡下看到的情形

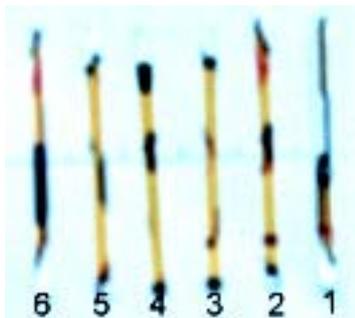
2. 當平凸透鏡的曲率直徑 1.0cm，弧度角  $106^\circ$ ，寬度 0.8cm，高度 0.2cm 時：  
 光束垂直入射的位置移動 0.4cm 時，光束偏折投影在厚 1.5cm 透明壓克力塊下方的位置移動了 0.2cm。以 0.2cm 做為切割圖案紙條的寬度，以 0.8cm 為間距排開。



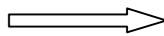
圖八：紙條依順序排開



圖九：在平凸透鏡下看到的情形

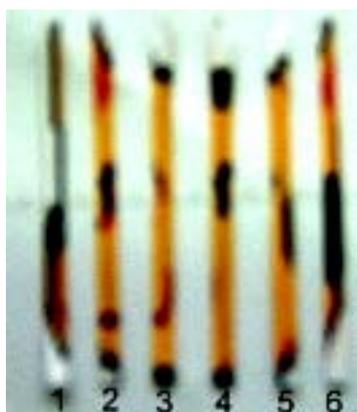


圖十：紙條依反序排開

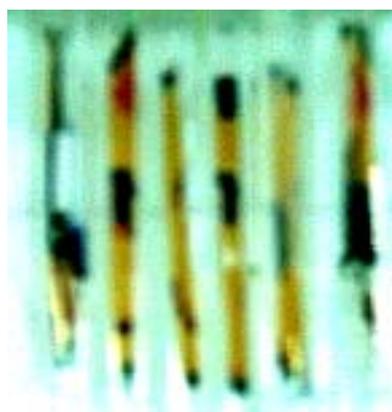


圖十一：在平凸透鏡下看到的情形

3. 當平凸透鏡的曲率直徑 0.75cm，弧度角  $106^\circ$ ，寬度 0.6cm，高度 0.15cm 時：  
光束垂直入射的位置移動 0.4cm 時，光束偏折投影在厚 1.5cm 透明壓克力塊下方的位置移動了 0.2cm。以 0.2cm 做為切割圖案紙條的寬度，以 0.6cm 為間距排開。



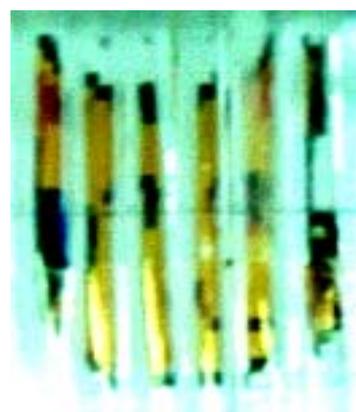
圖十二：紙條依順序排開



圖十三：在平凸透鏡下看到的情形



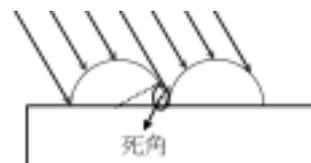
圖十四：紙條依順序排開



圖十五：在平凸透鏡下看到的情形

## 六、討論：

- (一) 在實驗一中：本來使用黏土及印泥來拓印「卡片」紋路，但是在使用光電顯微鏡觀察黏土紋路時，容易將黏土紋路壓壞而無法觀察且不明顯；而使用印泥拓印紋路時，不易清楚拓印出紋路。使用透明膠帶拓印紋路，既不易破壞紋路，又可以清楚觀察，但需要將拓印的膠帶貼在迎光的透明玻璃上來觀察，才會收到最好的效果。
- (二) 在實驗二中：轉動自製旋轉儀來觀測「卡片」圖案變化，因不同的人用雙眼觀測的結果差異性很大，所以改由單眼觀察。發現同一「卡片」圖案變化時，不管距離是在 25 cm、50 cm 及 75 cm 處，其轉動角度的變化都差不多。
- (三) 在觀察「卡片」圖案變化時，所要觀察的部位若沒有置於旋轉儀的正中央位置時，則在距眼睛不同距離所觀測出來「卡片」圖案變化的轉動角度相差很大。可是若將所要觀察部位的圖案置於旋轉儀正中央位置旋轉時，就可發現其圖案變化時的轉動角度大致相同。
- (四) 在實驗二中發現：相同圖案的「卡片」在順時針旋轉及逆時針旋轉時，其所發生圖案變化的角度並不相同。吾人認為：這是因為「卡片」表面的紋路兩邊的斜度不對稱所造成的。
- (五) 在實驗二中：旋轉儀所轉動的角度，正好是視線和「卡片」法線的夾角。
- (六) 實驗三中「卡片」向左平行移動時，視線和卡片的夾角情形相當是實驗二中「卡片」順時針轉動的情形。而向右平行移動相當是逆時針轉動的情形。
- (七) 實驗四中：利用弧度角  $180^\circ$  (半圓) 及  $134^\circ$  的平凸透鏡來觀測時，會產生一些死角，觀測的結果會有斷掉的現象；如右圖所示。而弧度角太小的平凸透鏡又不好製作。



圖十六：光束投射在半圓透鏡的情形

- (八) 在實驗四中：有些光束無法透過透明壓克力塊下方，這是因為光束在其中發生了全反射的現象。
- (九) 圖案透過平凸透鏡來觀測時，會產生橫向放大的情形。所以圖案先經由電腦處理，將縱向先拉長約三倍，如此觀測到的圖形才不致因橫向放大而失真。

## 七、結論：

- (一) 圖案會改變的「卡片」，其表面的紋路間距，經實驗測得約 0.0327 cm。
- (二) 由實驗二和實驗三證明：圖案改變和距眼睛的距離無關，而是決定於視線和「卡片」的夾角。
- (三) 實驗三中「卡片」向左平行移動產生圖案改變時的角度（視線和桌緣的夾角），恰都與實驗二中順時針轉動「卡片」產生圖案改變時的角度（視線和卡片法線的夾角），幾乎成互餘的關係。正好證明：圖案改變和視線與卡片間的夾角有著密切的關係。
- (四) 當平凸透鏡的寬度越大時，則橫向放大的倍率也越大，所觀測到的圖案會因橫向放大而產生失真的情形。如第 20 頁圖七所示。
- (五) 當平凸透鏡的寬度越小時，所觀測到的圖案就越清楚，但還是有空白的區域，造成觀測到的圖案不連續；這是因為我們自製的平凸透鏡的寬度（最小為 0.6cm）是實際「卡片」紋路寬度（0.0327cm）的 18 倍以上。如果我們把透鏡做得更精細，則造成空白的區域會更小，所觀測到的圖案會更連續。
- (六) 實驗四中，我們發現光束透過每一平凸透鏡會產生左右相反的情形；也就是透過每一平凸透鏡會產生左右相反的圖像。因此實驗五中，將圖案紙條依反序排列擺放，經由平凸透鏡所觀測到結果，會比依順序排列擺放時，還來得平滑清楚。
- (七) 當自製平凸透鏡的弧度角愈小、寬度愈窄，且所切割的圖案紙條要依反序排列擺放，如此所觀測到的圖案才會最清楚。

## 八、參考資料：

- (一) 井川憲明 井川隆 都筑卓司 米山正信，牛頓科學研習百科第一冊，新版，台北，牛頓出版有限公司，第 74 頁至 108 頁，1993 年 9 月 1 日出版。
- (二) 少年兒童出版社，十萬個為什麼第七冊，初版，台北，國際少年村圖書出版社，第 56 至 86 頁，1991 年 5 月。
- (三) 沈陌農，小學生知識之旅 - 科學詢問，初版，高雄，愛智圖書有限公司出版，第 156 至 157 頁，1987 年 12 月 1 日。
- (四) 莊福裕，為什麼？365，革新版，高雄，尚志文化出版社，第 27、43、101、116、240 頁，1993 年 1 月。
- (五) 綠地球國際有限公司，自然科學大百科第 16 冊，新版，台北，綠地球國際有限公司，第 37 頁至 57 頁。
- (六) 綠地球國際有限公司，自然科學大百科第 20 冊，新版，台北，綠地球國際有限公司，第 58 頁至 59 頁。