

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 物理與天文學科

最佳團隊合作獎

051810

折射率與干涉條紋關係之研究

學校名稱：新北市立中和高級中學

作者：	指導老師：
高二 謝翔宇	王一哲
高二 許芳瑜	李昀臻
高一 王俊翔	

關鍵詞：干涉、折射率、光程差

摘要

首先利用 3 個透明的半圓形容器，容器直徑分別為 10、15、20cm，容器內注入相同的液體，在容器的圓心處放置縫距為 0.1mm 的雙狹縫片，當雷射光通過雙狹縫及容器後，我們發現容器大小不會影響干涉條紋寬度。接著選用直徑為 10cm 的容器，裡面注入不同的液體，容器的圓心處放置縫距為 0.1mm 的雙狹縫片，我們發現干涉條紋寬度與液體折射率成反比。再改用直徑為 10cm 的容器，裡面注入水，我們發現干涉條紋寬度與雙狹縫縫距成反比。由本實驗可以得知，雖然雷射光在空氣的光徑較長，在半圓形容器中的光徑較短，但主要的光程差來自半圓形容器中。最後改用長方形容器，我們發現容器的內的液體折射率幾乎不會影響干涉條紋寬度，這是因為空氣中的光程差大約是液體中的 9 倍。

壹、研究動機

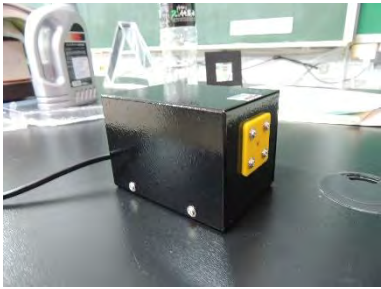
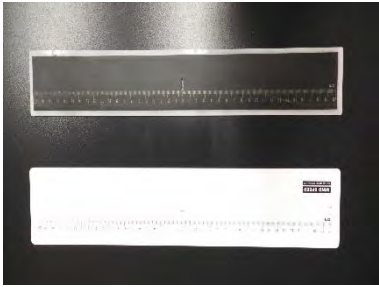
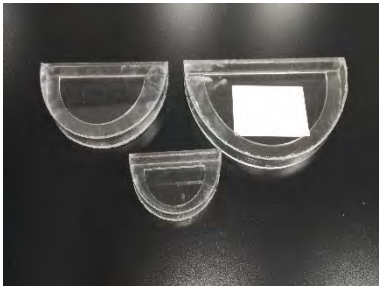
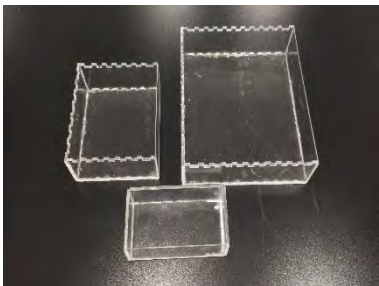
我們在高一基礎物理中學到楊格的雙狹縫干涉實驗，但在這個實驗中狹縫片和屏幕之間只有空氣，沒有其它的介質。我們又發現在 99 年物理指考非選題也考了相同的實驗，但在狹縫片後方增加了一個裝有液體的半圓形容器，實驗結果卻與我們想像的不同，為什麼在空氣中的光徑較長、在容器中的光徑較短，但卻是由容器中的光徑決定了干涉條紋的寬度，而且容器的大小不會影響干涉條紋的寬度。在大考中心公布的非選擇題評分標準裡提供了計算方法，但沒有解釋為何可以用液體中的光波波長計算干涉條紋寬度，因此我們想要設計實驗來驗證這個現象。

貳、研究目的

- 一、探討干涉條紋寬度與容器大小的關聯性
- 二、探討干涉條紋寬度與液體折射率的關聯性
- 三、探討干涉條紋寬度與雙狹縫縫距的關聯性
- 四、探討容器形狀與干涉條紋寬度的關聯性

參、研究設備及器材

表 1：實驗設備一覽表

 紅光半導體雷射	 雙狹縫片
 屏幕	 捲尺、強力膠
 方格板、屏幕	 甘油、酒精、洗碗精、機油
 透明半圓形容器	 透明長方形容器

肆、研究過程或方法

一、測量水、甘油、酒精、洗碗精、機油的折射率

- (一) 將方格板墊在容器下方，設置屏幕並固定雷射光源的位置。
- (二) 在容器中裝滿水，將雷射光照向容器的圓心。
- (三) 測量照射在屏幕上的雷射光點至容器圓心及光源至容器圓心的長與寬，再利用三角函數算出入射角及折射角的正弦值。
- (四) 代入折射定律 $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ 計算待測液體折射率。
- (五) 改變雷射光入射角，重複步驟（一）到（四），共測量 5 種不同的入射角，算出折射率取平均值。
- (六) 依次裝入甘油、酒精、洗碗精、機油，重複步驟（一）到（五）。

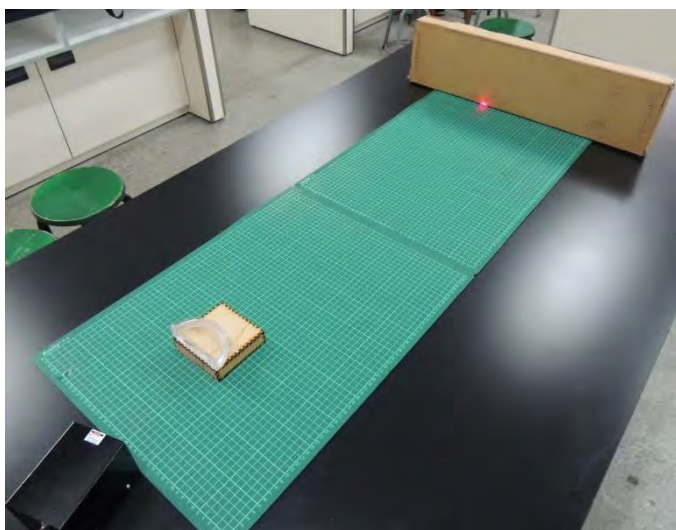


圖 1：測量折射率實驗裝置

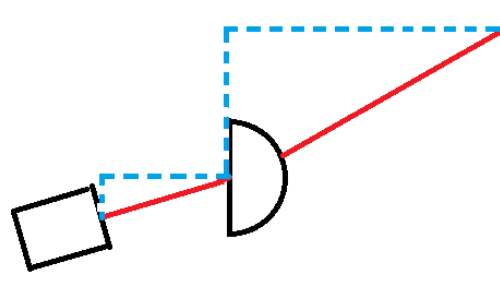


圖 2：測量折射率示意圖

二、拍攝干涉條紋照片

- (一) 用紅光雷射照射縫距為 0.1mm 的雙狹縫，於狹縫片前放置不同大小的透明半圓形容器，容器內裝滿水，拍攝干涉條紋。
- (二) 用紅光雷射照射縫距為 0.1mm 的雙狹縫，於狹縫片前放置直徑為 10cm 的透明半圓形容器，但容器中不裝入液體，拍攝干涉條紋，作為對照組。再於容器內分別注入水、甘油、機油、洗碗精、酒精，拍攝干涉條紋。
- (三) 分別使用縫距為 0.1、0.2、0.25、0.5mm 的雙狹縫片，於狹縫片前放置直徑為 10cm

的透明半圓形容器，容器內裝滿水，拍攝干涉條紋。

(四) 用紅光雷射照射縫距為 0.1mm 的雙狹縫，於狹縫片前放置不同大小的透明長方形容器，再於容器內分別注入水、甘油、酒精，拍攝干涉條紋。

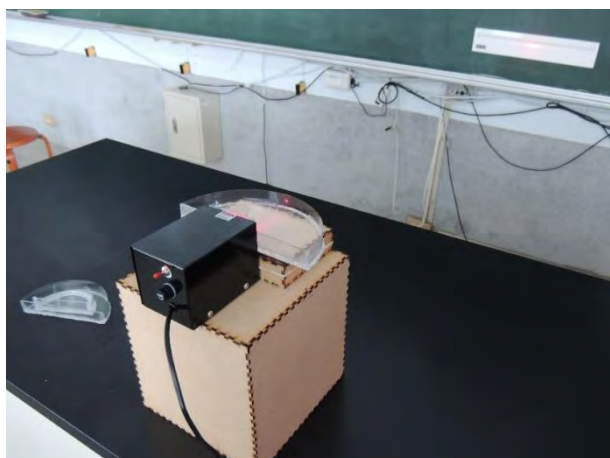


圖 3：拍攝干涉條紋所用實驗裝置

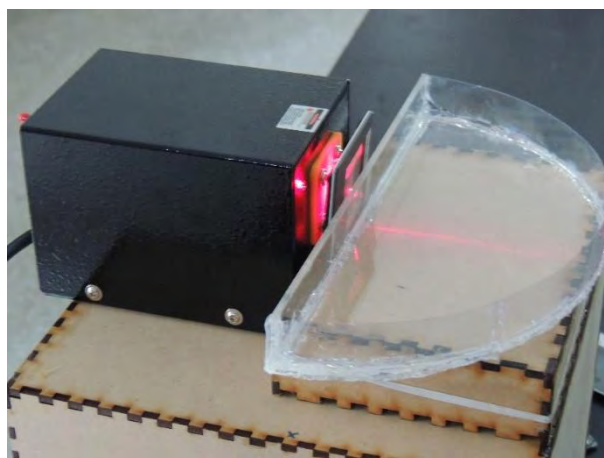


圖 4：實驗裝置放大圖(左為雷射光源、中間為狹縫片、右為直徑 20cm 之容器)

三、利用 ImageJ 分析干涉條紋的圖片

- (一) 載入最小刻度為 1mm 的干涉條紋照片，將照片放大 10 後再校正長度，長度的精準值為 0.1mm，再加上 1 位估計值，故有效數字取到 0.01mm。
- (二) 用矩形工具選取干涉條紋部分，畫出強度與位置關係圖。
- (三) 將強度與位置關係資料匯出為文字檔，找出中央亮紋附近數個暗紋的位置，計算干涉條紋寬度並取平均值。
- (四) 計算干涉條紋寬度的理論值，比較實驗值與理論值的差異。

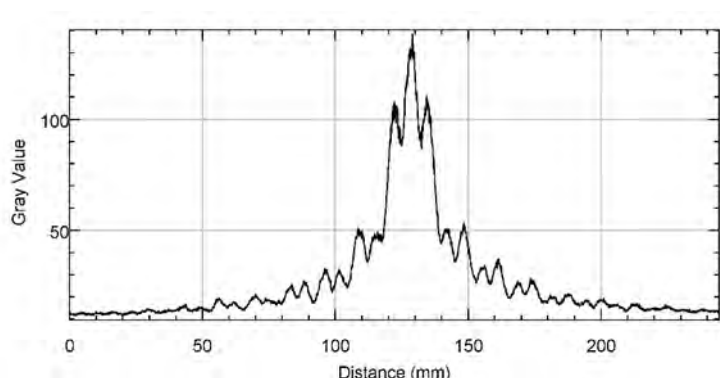


圖 5：以 ImageJ 分析干涉條紋照片得到的強度與位置關係圖

02_air_OK.xlsx			
	A	B	C
1	32.153	4.587	4.118133333
2	36.74	3.32	
3	40.06	4.238	
4	44.298	4.456	
5	48.754	4.63	
6	53.384	3.67	
7	57.054	3.757	
8	60.811	4.325	

圖 6：用 ImageJ 將強度與位置資料匯出並用 Excel 開啟

伍、研究結果

一、探討干涉條紋寬度與容器大小的關聯性

(一) 容器直徑 10cm、雙狹縫縫距 0.1mm、介質為水，干涉條紋平均寬度為 $7.44 \pm 0.17\text{mm}$ 。

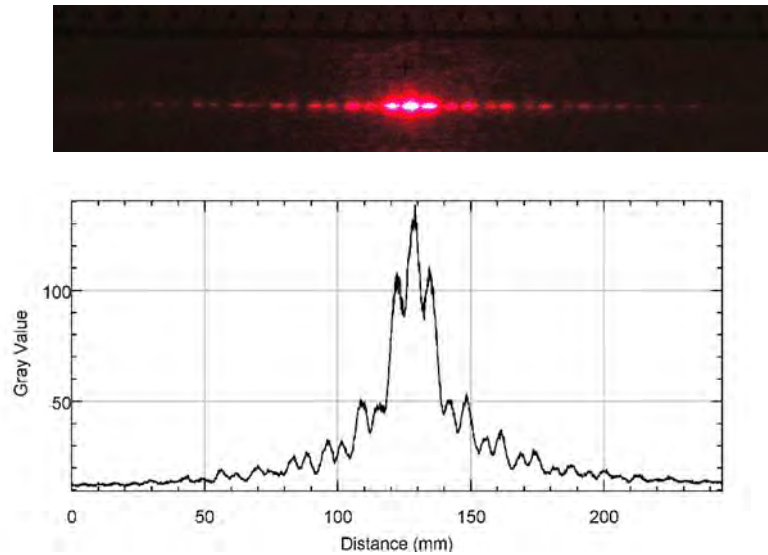


圖 7：容器直徑 10cm、雙狹縫縫距 0.1mm、介質為水的干涉條紋照片（上圖）及強度一位置關係圖（下圖）

(二) 容器直徑 15cm、雙狹縫縫距 0.1mm、介質為水，干涉條紋平均寬度為 $7.41 \pm 0.14\text{mm}$ 。

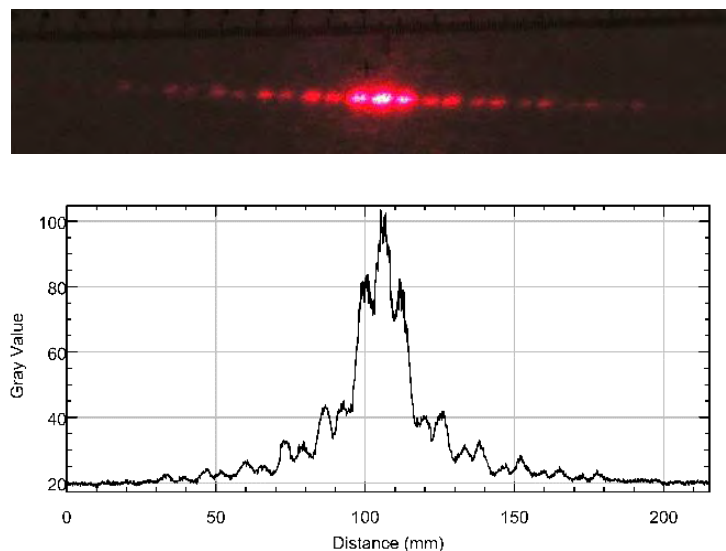


圖 8：容器直徑 15cm、雙狹縫縫距 0.1mm、介質為水的干涉條紋照片（上圖）及強度一位置關係圖（下圖）

(三) 容器直徑 20cm、雙狹縫縫距 0.1mm、介質為水，干涉條紋平均寬度為 $7.40 \pm 0.16\text{mm}$ 。

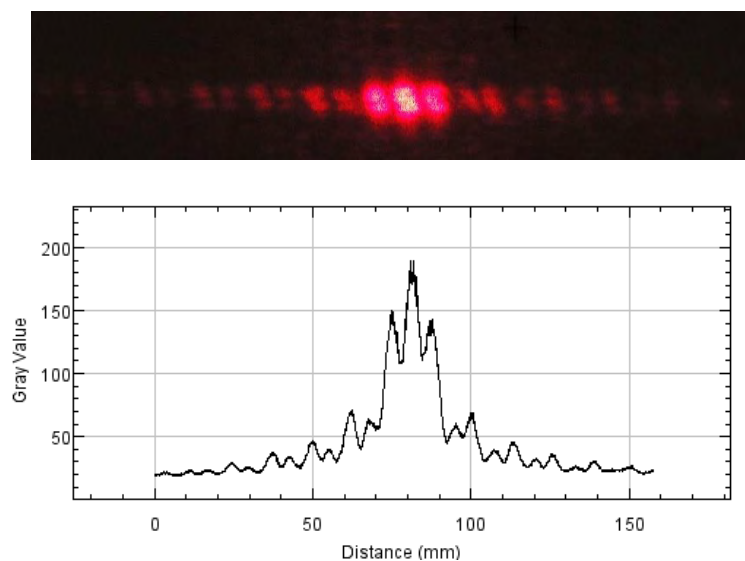


圖 9：容器直徑 20cm、雙狹縫縫距 0.1mm、介質為水的干涉條紋照片（上圖）及強度—位置關係圖（下圖）

二、探討干涉條紋寬度與液體折射率的關聯性

(一) 容器直徑 10cm、縫距 0.1mm、空氣折射率 1.00，干涉條紋平均寬度為 $9.38 \pm 0.12\text{mm}$ 。

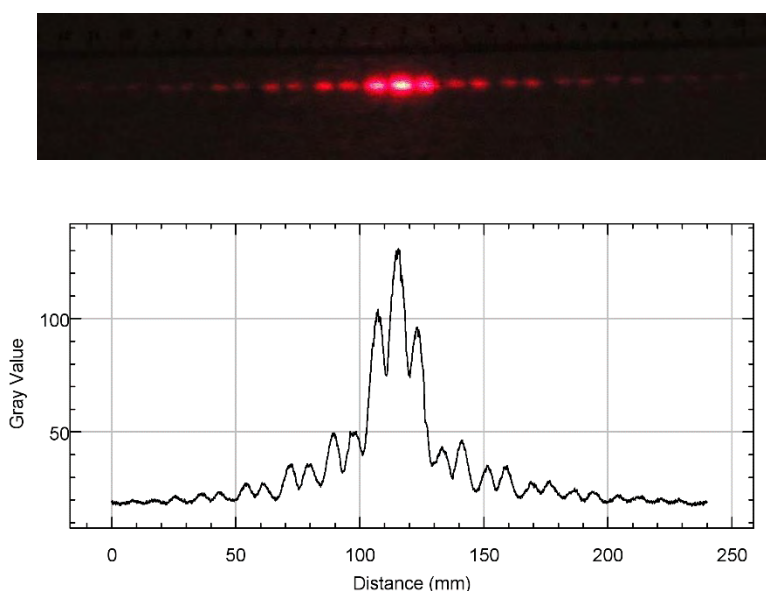


圖 10：容器直徑 10cm、雙狹縫縫距 0.1mm，容器內沒裝液體的干涉條紋照片（上圖）及強度—位置關係圖（下圖）

(二) 容器直徑 10cm、縫距 0.1mm、液體為水、折射率 1.35，干涉條紋平均寬度為 $7.44 \pm$

$$0.26\text{mm}, \frac{\Delta y_{\text{空氣}}}{\Delta y_{\text{水}}} = \frac{\lambda_{\text{空氣}}}{\lambda_{\text{水}}} = \frac{n_{\text{水}}}{n_{\text{空氣}}} \approx 1.26。$$

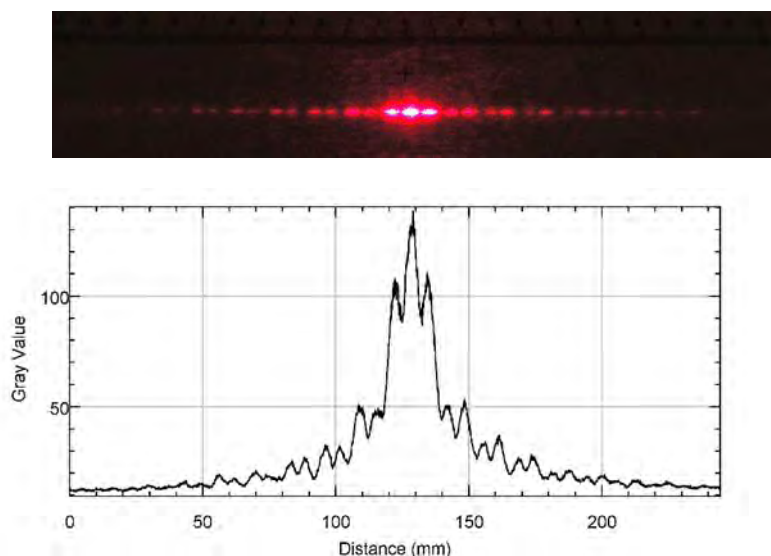


圖 11：容器直徑 10cm、雙狹縫縫距 0.1mm，容器內裝水的干涉條紋照片（上）及強度—位置關係圖（下）

(三) 容器直徑 10cm、縫距 0.1mm、液體為甘油、折射率 1.48，干涉條紋平均寬度為 $7.10 \pm$

$$\pm 0.20\text{mm}, \frac{\Delta y_{\text{空氣}}}{\Delta y_{\text{甘油}}} = \frac{\lambda_{\text{空氣}}}{\lambda_{\text{甘油}}} = \frac{n_{\text{甘油}}}{n_{\text{空氣}}} \approx 1.42。$$

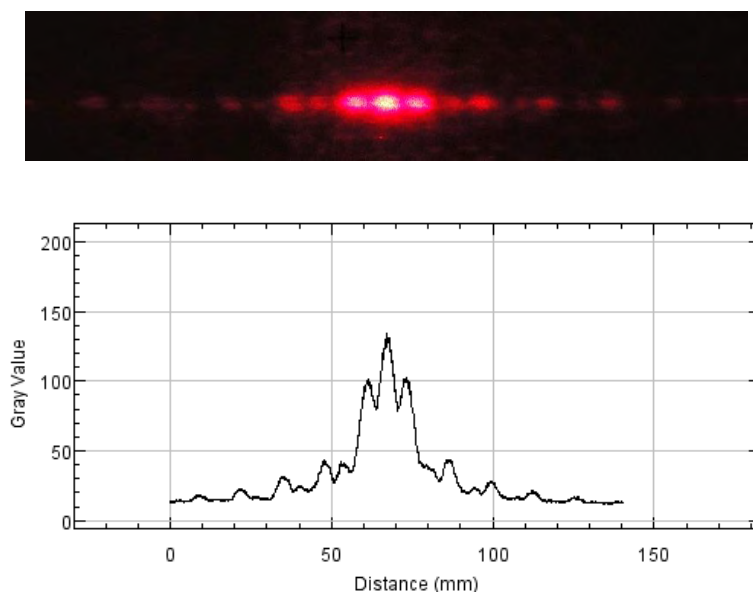


圖 12：容器直徑 10cm、雙狹縫縫距 0.1mm，容器內裝甘油的干涉條紋照片（上）及強度—位置關係圖（下）

(四) 容器直徑 10cm、縫距 0.1mm、液體為酒精、折射率 1.36，干涉條紋平均寬度為 7.31

$$\pm 0.27\text{mm}, \frac{\Delta y_{\text{空氣}}}{\Delta y_{\text{酒精}}} = \frac{\lambda_{\text{空氣}}}{\lambda_{\text{酒精}}} = \frac{n_{\text{酒精}}}{n_{\text{空氣}}} \approx 1.28。$$

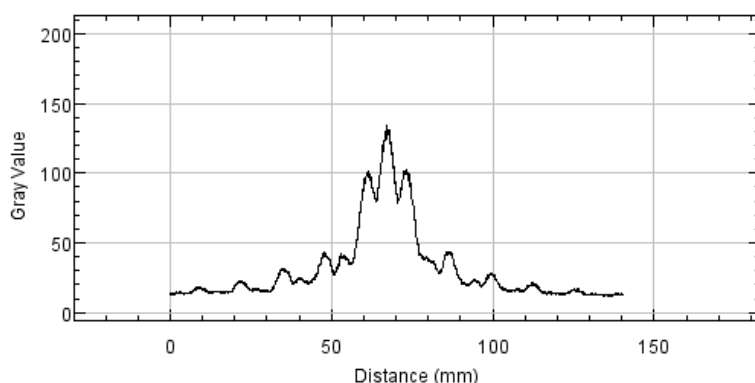
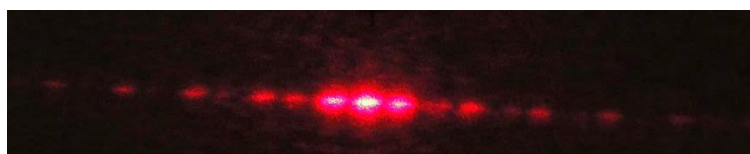


圖 13：容器直徑 10cm、雙狹縫縫距 0.1mm，容器內裝酒精的干涉條紋照片（上）及強度一位置關係圖（下）

(五) 容器直徑 10cm、縫距 0.1mm、液體為洗碗精、折射率 1.34，干涉條紋平均寬度為

$$7.10 \pm 0.35\text{mm}, \frac{\Delta y_{\text{空氣}}}{\Delta y_{\text{洗碗精}}} = \frac{\lambda_{\text{空氣}}}{\lambda_{\text{洗碗精}}} = \frac{n_{\text{洗碗精}}}{n_{\text{空氣}}} \approx 1.32。$$

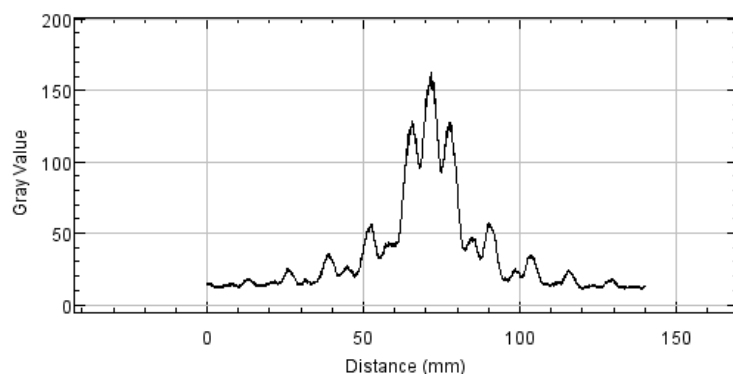


圖 14：容器直徑 10cm、雙狹縫縫距 0.1mm，容器內裝洗碗精的干涉條紋照片（上）及強度位置關係圖（下）

（六）容器直徑 10cm、縫距 0.1mm、液體為機油、折射率 1.41，干涉條紋平均寬度為 7.01

$$\pm 0.25\text{mm}, \frac{\Delta y_{\text{空氣}}}{\Delta y_{\text{機油}}} = \frac{\lambda_{\text{空氣}}}{\lambda_{\text{機油}}} = \frac{n_{\text{機油}}}{n_{\text{空氣}}} \approx 1.34。$$

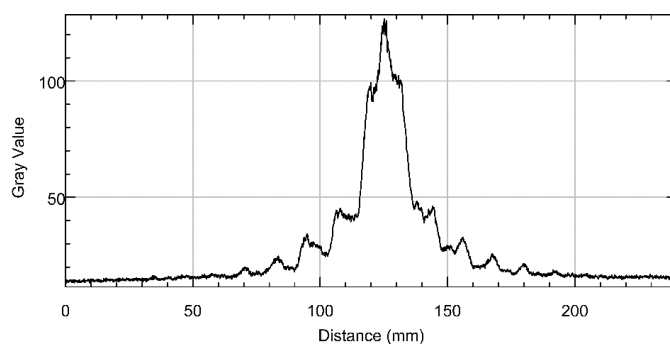
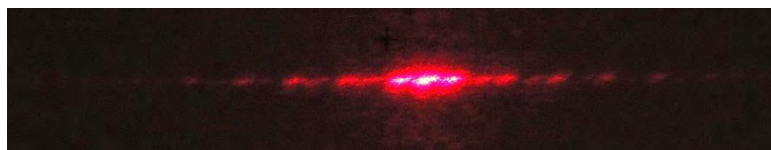


圖 15：容器直徑 10cm、雙狹縫縫距 0.1mm，容器內裝機油的干涉條紋照片（上）及強度位置關係圖（下）

三、探討干涉條紋寬度與雙狹縫縫距的關聯性

（一）容器直徑 10cm、縫距 0.1mm、液體為水、干涉條紋平均寬度為 $7.44 \pm 0.26\text{mm}$

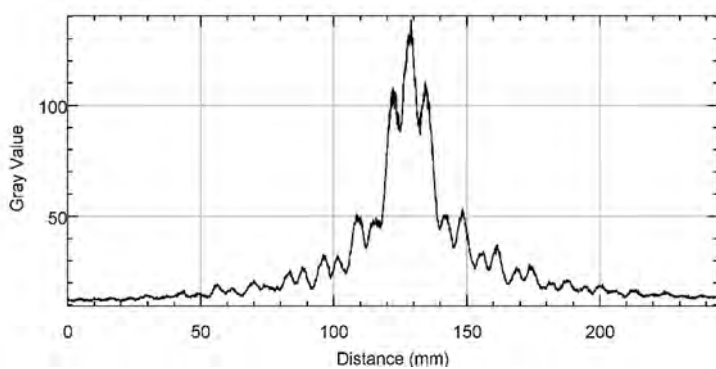


圖 16：容器直徑 10cm、雙狹縫縫距 0.1mm、介質為水的干涉條紋照片（上圖）及強度一位置關係圖（下圖）

(二) 容器直徑 10cm、縫距 0.2mm、液體為水、干涉條紋平均寬度為 $3.33 \pm 0.23\text{mm}$

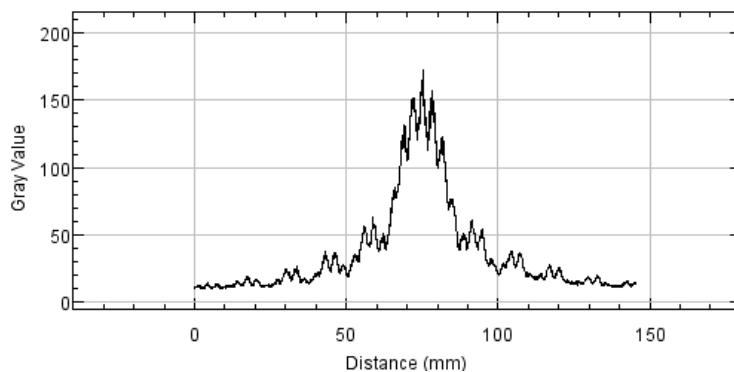
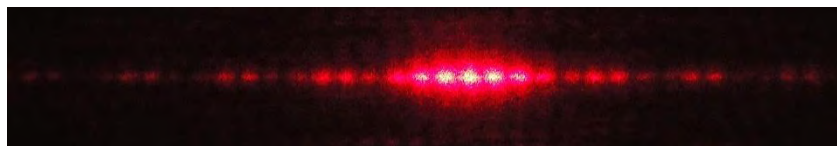


圖 17：容器直徑 10cm、雙狹縫縫距 0.2mm、介質為水的干涉條紋照片（上圖）及強度一位置關係圖（下圖）

(三) 容器直徑 10cm、縫距 0.25mm、液體為水、干涉條紋平均寬度為 $3.27 \pm 0.51\text{mm}$

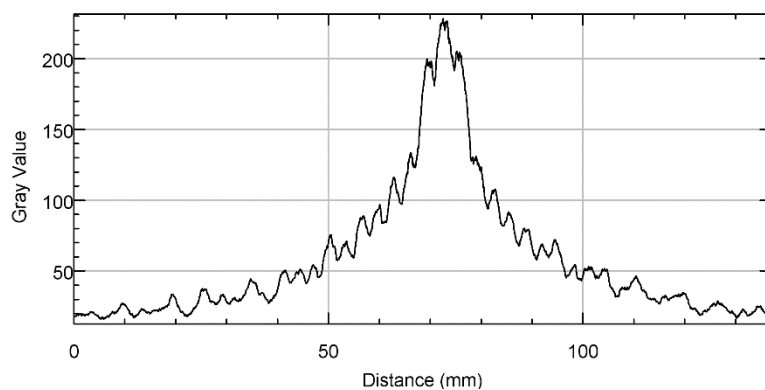
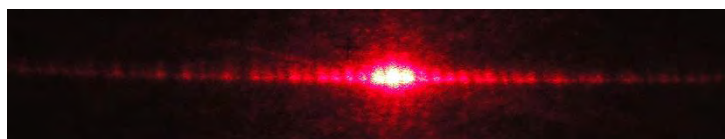


圖 18：容器直徑 10cm、雙狹縫縫距 0.25mm、介質為水的干涉條紋照片（上）及強度一位置關係圖（下）

(四) 容器直徑 10cm、縫距 0.5mm、液體為水、干涉條紋平均寬度為 $1.49 \pm 0.42\text{mm}$

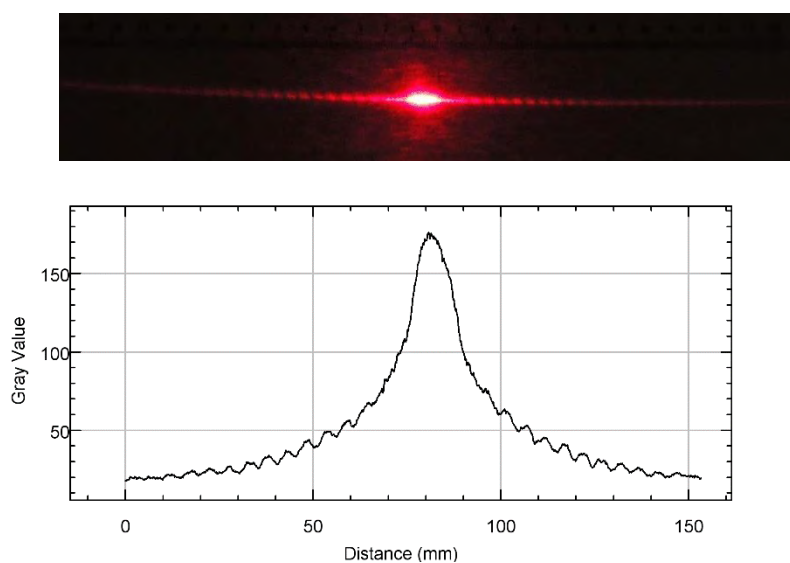


圖 19：容器直徑 10cm、雙狹縫縫距 0.5mm、介質為水的干涉條紋照片（上圖）及強度—位置關係圖（下圖）

四、探討長方形容器大小與干涉條紋寬度的關聯性

(一) 容器長 5cm、縫距 0.1mm、容器內裝水、干涉條紋平均寬度為 $8.83 \pm 0.36\text{mm}$

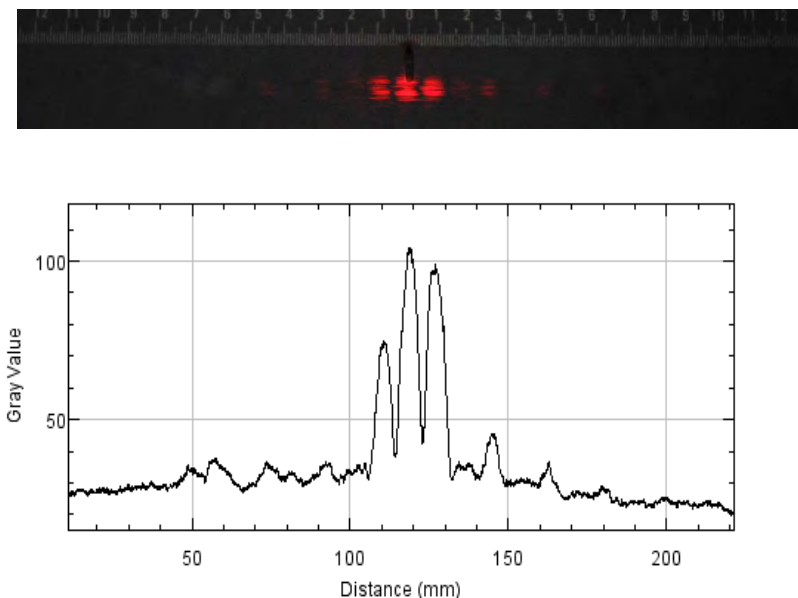


圖 20：容器長 5cm、雙狹縫縫距 0.1mm、容器內裝水的干涉條紋照片（上圖）及強度—位置關係圖（下圖）

(二) 容器長 10cm、縫距 0.1mm、容器內裝水、干涉條紋平均寬度為 $8.72 \pm 0.10\text{mm}$

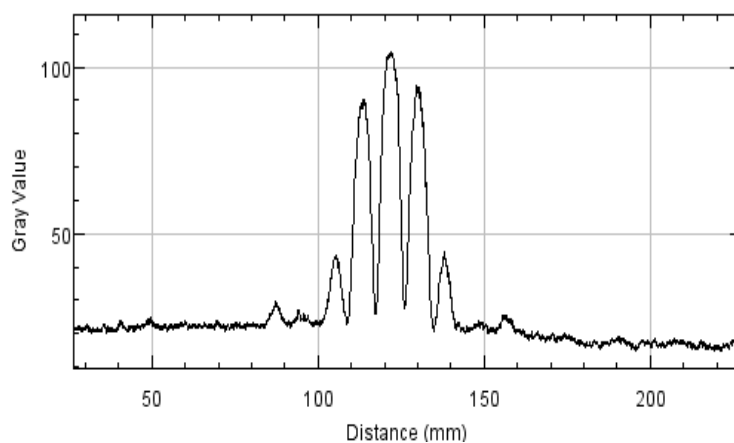


圖 21：容器長 10cm、雙狹縫縫距 0.1mm、容器內裝水的干涉條紋照片（上圖）及強度一位置關係圖（下圖）

(三) 容器長 15cm、縫距 0.1mm、容器內裝水、干涉條紋平均寬度為 $8.84 \pm 0.15\text{mm}$

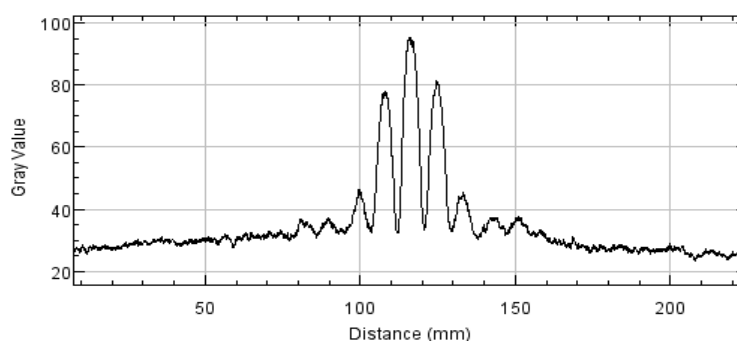


圖 22：容器長 15cm、雙狹縫縫距 0.1mm、容器內裝水的干涉條紋照片（上圖）及強度一位置關係圖（下圖）

五、探討長方形容器中液體與干涉條紋寬度的關聯性

(一) 容器長 5 公分、縫距 0.1mm、空氣折射率 1.00、干涉條紋平均寬度為 $8.89 \pm 0.23\text{mm}$

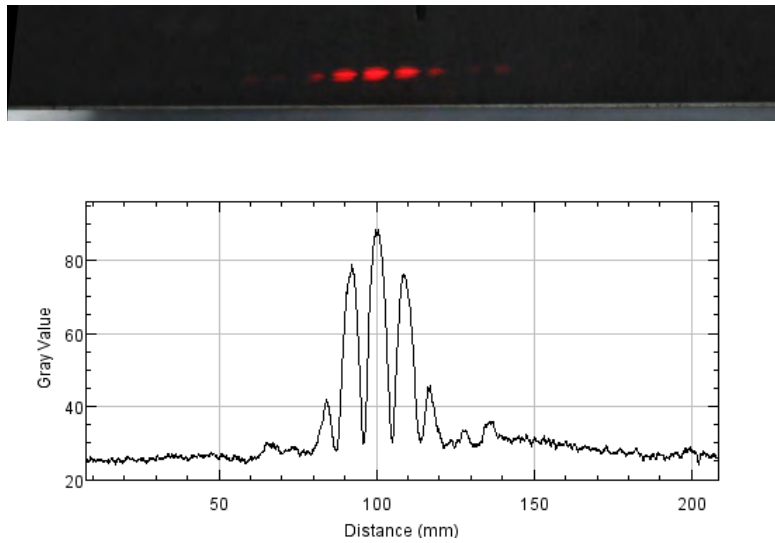


圖 23：容器長 5cm、雙狹縫縫距 0.1mm，容器內沒裝液體的干涉條紋照片（上）及強度一位置關係圖（下）

(二) 容器長 5 公分、縫距 0.1mm、容器內裝水、干涉條紋平均寬度為 $8.83 \pm 0.36\text{mm}$

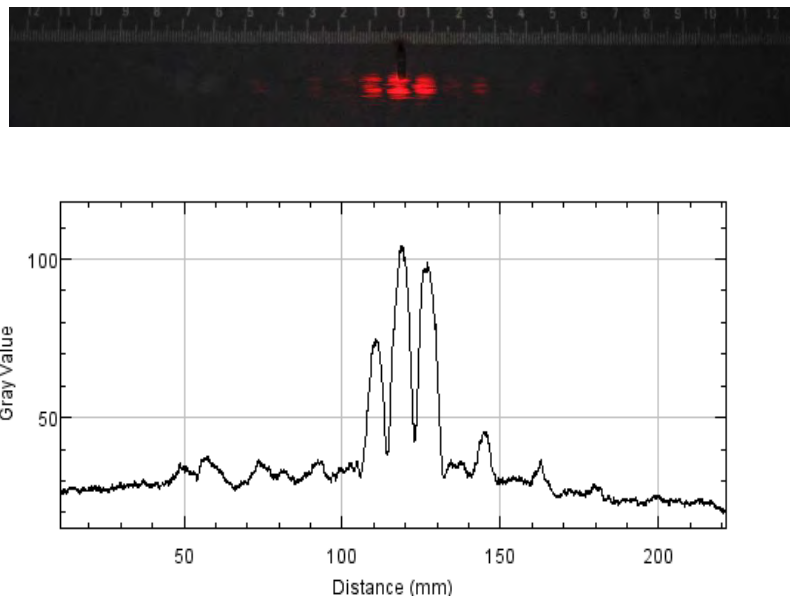


圖 24：容器長 5cm、雙狹縫縫距 0.1mm，容器內裝水的干涉條紋照片（上）及強度一位置關係圖（下）

(三) 容器長 5 公分、縫距 0.1mm、容器內裝甘油、干涉條紋平均寬度為 $8.94 \pm 0.15\text{mm}$

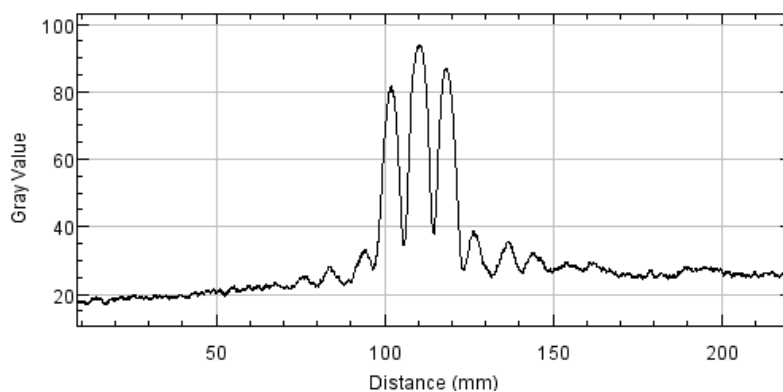
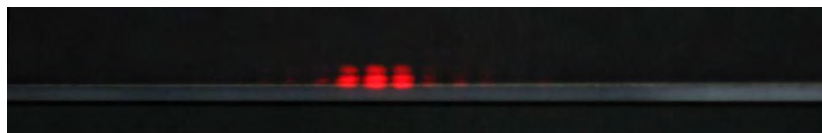


圖 25：容器長 5cm、雙狹縫縫距 0.1mm，容器內裝甘油的干涉條紋照片（上）及強度一位置關係圖（下）

(四) 容器長 5 公分、縫距 0.1mm、容器內裝酒精、干涉條紋平均寬度為 $8.94 \pm 0.13\text{mm}$

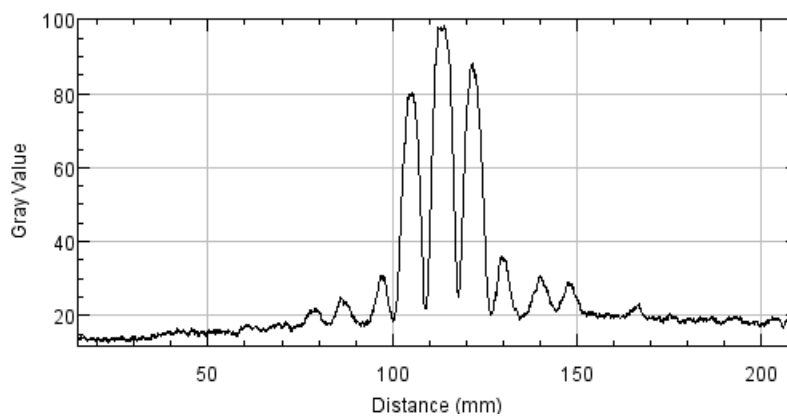


圖 26：容器長 5cm、雙狹縫縫距 0.1mm，容器內裝酒精的干涉條紋照片（上）及強度一位置關係圖（下）

陸、討論

一、干涉條紋寬度與容器大小關係

實驗結果如表 2 所示，由實驗結果可以得知，容器大小並不會影響干涉條紋寬度。我們認為雷射光經過雙狹縫後幾乎打在容器圓壁上的同一個點，因此兩道光線在容器外的光程差接近 0，光徑如圖 27 所示。若光線在容器中接近平行，則光程差約等於圖 28 中的 $\overline{BD'}$ 。

表 2：干涉條紋寬度與容器大小關係實驗結果

容器直徑(cm)	$\Delta y(\text{mm})$
10	7.44 ± 0.17
15	7.41 ± 0.14
20	7.40 ± 0.16

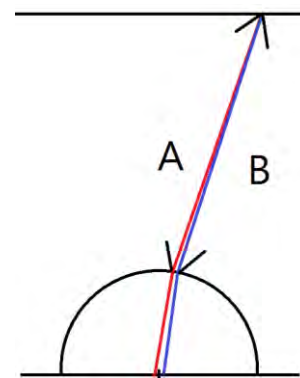


圖 27：雙狹縫干涉光徑圖

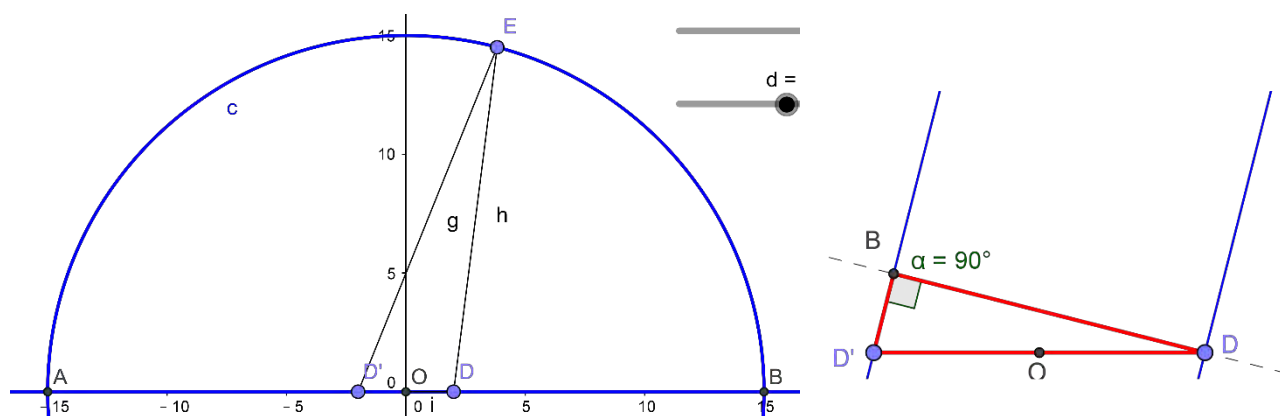


圖 28：用 GeoGebra 繪製容器中的光程差，若將光線視為互相平行，則可近似為右圖。

二、干涉條紋寬度與液體折射率關係

實驗結果如表 3 所示。如果光程差是由容器中的光徑決定的，那麼干涉條紋寬度應該會與光在液體中的波長成正比，也就是與折射率成反比，干涉條紋寬度

$$\Delta y = \frac{\lambda L}{d} = \frac{\lambda_0 L}{nd} \propto \frac{1}{n}$$

上式中 λ 為光在液體中的波長、 λ_0 為光在空氣中的波長、 L 為狹縫到屏幕距離、 d 為縫距、 n

為折射率。當光沒有經過液體時，干涉條紋寬度

$$\Delta y_0 = \frac{\lambda_0 L}{d}$$

由以上兩式可知

$$\frac{\Delta y_0}{\Delta y} = n$$

實驗結果與以上的推論相當符合。

表 3：干涉條紋寬度與折射率關係實驗結果

介質	折射率	$\Delta y(\text{mm})$	$\Delta y_0/\Delta y$	百分誤差
水	1.35	7.44	1.26	-6.7%
甘油	1.48	7.10	1.42	-4.1%
酒精	1.36	7.31	1.28	-5.9%
洗碗精	1.34	7.10	1.32	-1.5%
機油	1.41	7.01	1.34	-5.0%

三、干涉條紋寬度與縫距關係

實驗結果如表 4 所示。如果光程差是由容器中的光徑決定的，那麼干涉條紋寬度應該會與光在液體中的波長成正比、與縫距 d 成反比，因此

$$\Delta y = \frac{\lambda_0 L}{nd} \propto \frac{1}{d} \Rightarrow \Delta y - \frac{1}{d} \text{關係圖斜率} = \frac{\lambda_0 L}{n}$$

實驗值為 0.736，理論值為 0.735，誤差為 0.17%。

表 4：干涉條紋寬度與縫距關係實驗結果

$d(\text{mm})$	$\Delta y(\text{mm})$
0.10	7.44 ± 0.17
0.20	3.33 ± 0.23
0.25	3.27 ± 0.51
0.50	1.49 ± 0.42

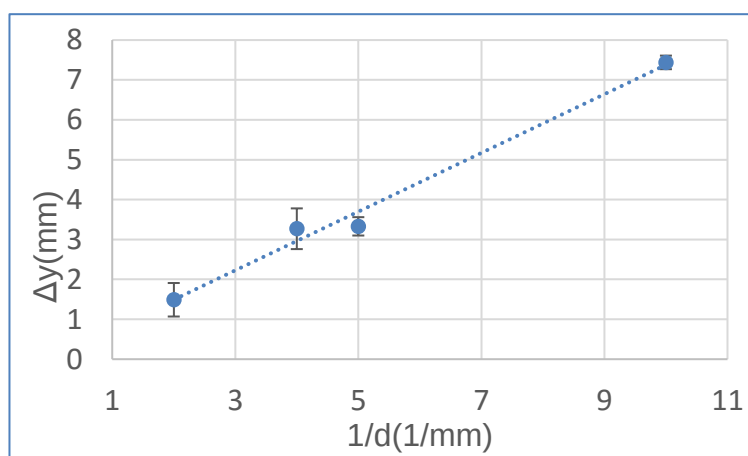


圖 29：干涉條紋寬度與縫距倒數關係圖

四、利用折射定率在不取近似的條件下計算干涉條紋寬度

為了更精確地解釋以上三個實驗結果，我們想要利用折射定律找出狹縫到屏幕之間的光徑，進而算出兩道光線在屏幕上各點的光程差。請參考圖 30，我們將半圓形容器的圓心設為原點 O ，兩個狹縫位置分別為 $S_1\left(-\frac{d}{2}, 0\right)$ 、 $S_2\left(\frac{d}{2}, 0\right)$ 。假設從狹縫 S_1 出發的光打到半圓形容器壁上的 A 點 (x_1, y_1) ，經過折射後到達屏幕上的 P 點，從狹縫 S_2 出發的光打到半圓形容器壁上的 B 點 (x_2, y_2) ，經過折射後也到達屏幕上的 P 點，則等效光程差為

$$\delta = n(\overline{S_1A} - \overline{S_2B}) + (\overline{AP} - \overline{BP})$$

由於 A 點位於圓周上，因此 $y_1 = \sqrt{r^2 - x_1^2}$ 。由 $\triangle OS_1A$ 及餘弦定理可得

$$\cos\theta_1 = \frac{\overline{S_1A}^2 + r^2 - \overline{OS_1}^2}{2r\overline{S_1A}} \quad \sin\theta_1 = \sqrt{1 - \cos^2\theta_1}$$

由折射定律可得

$$\sin\phi_1 = n \sin\theta_1$$

由 $\triangle OAE$ 可得

$$\sin\psi_1 = \frac{x_1}{r}$$

由 $\triangle ACP$ 可得

$$\tan(\psi_1 + \phi_1) = \frac{X - x_1}{L - y_1} \Rightarrow X = (L - y_1)\tan(\psi_1 + \phi_1) + x_1$$

由於 B 點 (x_2, y_2) 位於圓周上，因此 $y_2 = \sqrt{r^2 - x_2^2}$ 。由 $\triangle OS_2B$ 及餘弦定理可得

$$\cos\theta_2 = \frac{\overline{S_2B}^2 + r^2 - \overline{OS_2}^2}{2r\overline{S_2B}} \quad \sin\theta_2 = \sqrt{1 - \cos^2\theta_2}$$

由折射定律可得

$$\sin\phi_2 = n \sin\theta_2$$

由 $\triangle OBF$ 可得

$$\sin\psi_2 = \frac{x_2}{r}$$

由 $\triangle BDP$ 可得

$$\tan(\psi_2 - \phi_2) = \frac{X - x_2}{L - y_2} \Rightarrow X = (L - y_2)\tan(\psi_2 - \phi_2) + x_2$$

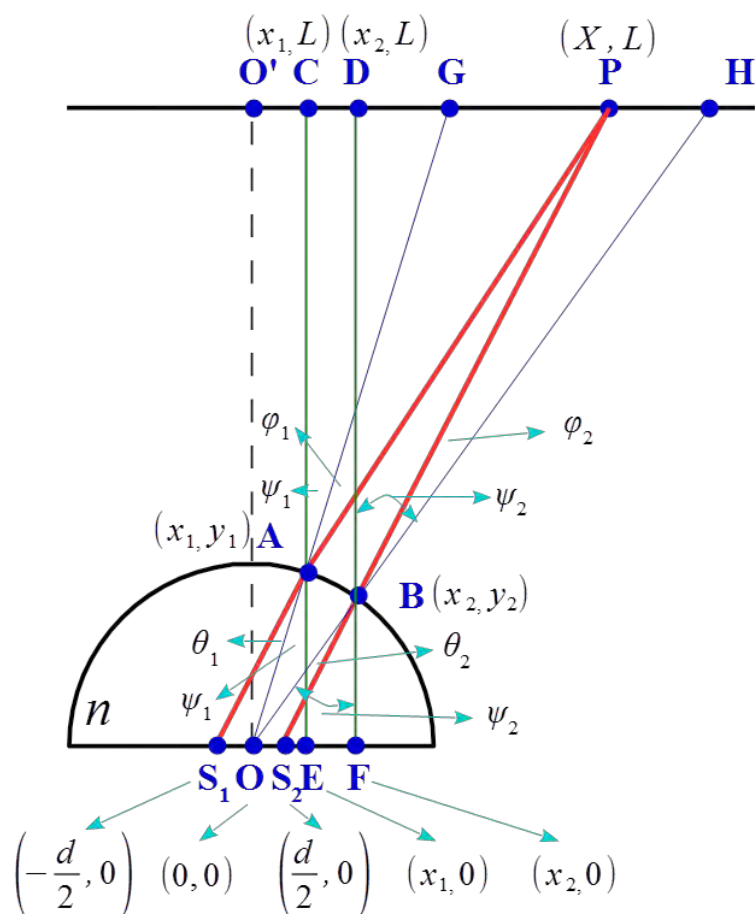


圖 30：光程差的理論推導示意圖

我們利用試算表軟體，在圓周上每隔很小的距離就取一個點，計算出光從兩個狹縫出發後分別會打到屏幕上何處，可以找出A點 (x_1, y_1) 、B點 (x_2, y_2) 與X之間的關係。因此，當兩道光打到屏幕上同一個點時，我們可以找出A點、B點的位置，也就能算出等效光程差。若某處的等效光程差為一倍波長時，此處即為第一亮紋中心，與屏幕中央的距離即為干涉條紋寬度。

雖然使用 Excel 可以推算出干涉條紋的寬度，但這樣的方法太花時間，需要人工判讀，找出光由半圓形容器上何處折射出去才能到達屏幕上的同一個點，於是我們想要找到更自動化且更精準的計算方式。在高一的資訊科技課當中，我們學到程式語言當中的迴圈很適合用來重複計算某樣東西，於是我們想要自己寫程式來計算干涉條紋的寬度。在比較過幾種程式語言之後，我們選擇了 Python 作為工具，因為 Python 的程式碼比 C 語言更簡潔、易讀。計算的方法與使用 Excel 時相同，圖 31 為程式運作的流程圖，詳細的程式碼請參閱附錄二。

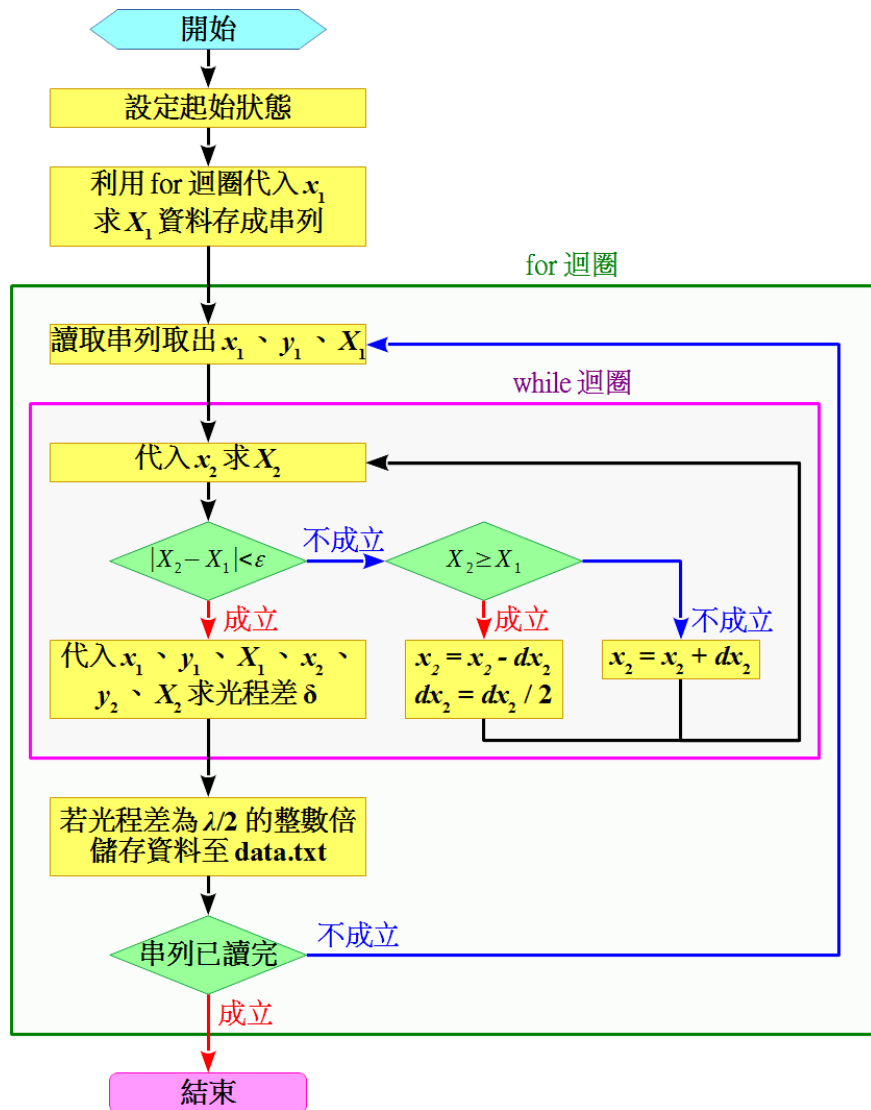


圖 31：使用 Python 程式計算干涉條紋寬的流程圖

若空氣中的光波波長為 650nm、狹縫到屏幕距離為 1.58m，代入我們的算式後，三個實驗的試算結果分別為表 5、表 6、表 7，我們得到以下三點結論：

- (一) 由表 5 可以得知，容器大小不會影響干涉條紋寬度，試算結果與實驗結果相符。
- (二) 由表 6 可以得知，干涉條紋寬度與折射率成反比，試算結果與實驗結果相符。
- (三) 由表 7 可以得知，干涉條紋寬度與雙狹縫縫距成反比，試算結果與實驗結果只有縫距為 0.2mm 的實驗差距較大，我們推測這是因為狹縫縫距並非是狹縫片上標示的 0.2mm。為了驗證這個推測，我們只用狹縫片及雷射光源再進行一次實驗，由干涉條紋寬度逆推狹縫縫距應為 0.24mm，若用 0.24mm 代入程式計算，干涉條紋寬度應為 3.1730，實驗值與理論值相差 4.95%。

表 5：干涉條紋寬度與容器大小關係試算結果

容器直徑(cm)	Δy 實驗值 (mm)	Δy 理論值 Excel(mm)	誤差 Excel(%)	Δy 理論值 Python(mm)	誤差 Python(%)
10	7.44	7.6204	2.37	7.6149	2.30
15	7.41	7.6256	2.83	7.6162	2.71
20	7.40	7.6311	3.03	7.6162	2.84

表 6：干涉條紋寬度與液體折射率關係試算結果

液體	折射率	Δy 實驗值 (mm)	Δy 理論值 Excel(mm)	誤差 Excel(%)	Δy 理論值 Python(mm)	誤差 Python(%)
水	1.35	7.44	7.6215	2.38	7.6149	2.30
甘油	1.48	7.10	6.8928	3.01	6.9473	2.20
酒精	1.36	7.31	7.5871	3.65	7.5602	3.31
洗碗精	1.34	7.10	7.6930	7.71	7.6731	7.47
機油	1.41	7.01	7.3121	4.13	7.2910	3.85

表 7：干涉條紋寬度與雙狹縫縫距關係試算結果

縫距(mm)	Δy 實驗值 (mm)	Δy 理論值 Excel(mm)	誤差 Excel(%)	Δy 理論值 Python(mm)	誤差 Python(%)
0.1	7.44	7.6991	3.37	7.6149	2.30
0.2	3.33	3.9201	15.05	3.8077	12.55
0.25	3.27	3.4561	5.38	3.4061	4.00
0.5	1.49	1.5938	6.51	1.5229	2.16

五、容器形狀由半圓形改為長方形對干涉條紋寬度的影響

(一) 容器長度增加時，干涉條紋寬度會變短一點。我們推測這是因為光從容器進到空氣時會偏離法線，亮紋之間的夾角大致上保持一定，當容器較長時，容器到屏幕間的距離變短，干涉條紋也跟著變窄。表 8 是我們的理論計算結果。

(二) 容器中液體不會影響干涉條紋寬度。我們推測這是因為空氣中的光程差遠大於液體中的光程差，所以液體的折射率不會影響到干涉條紋寬度。表 9 是我們的理論計算中結果，空氣中的光程差和液體中的光程差約為 9:1，和我們的推測相符。

(三) 請參考圖 32，假設狹縫到屏幕距離為 L ，長方形容器長度為 b ，液體折射率為 n ，

雙狹縫中央定為 $(0, 0)$ 。由 $S_1(0, -\frac{d}{2})$ 、 $A(x_1, b)$ 及鉛垂線可以得到入射角的正弦值

$$\sin \theta_1 = \frac{x_1 + \frac{d}{2}}{S_1A}$$

再由折射定律可得折射角

$$\phi_1 = \sin^{-1}(n \sin \theta_1)$$

從 S_1 狹縫發出的光照到屏幕上的位置與屏幕中央的距離

$$X_1 = (L - b) \tan \phi_1 + x_1$$

同理，由 $S_2(0, \frac{d}{2})$ 、 $B(x_2, b)$ 可得

$$\sin \theta_2 = \frac{x_2 - \frac{d}{2}}{S_2B}$$

再由折射定律可得折射角

$$\phi_2 = \sin^{-1}(n \sin \theta_2)$$

從 S_2 狹縫發出的光照到屏幕上的位置與屏幕中央的距離

$$X_2 = (L - b) \tan \phi_2 + x_2$$

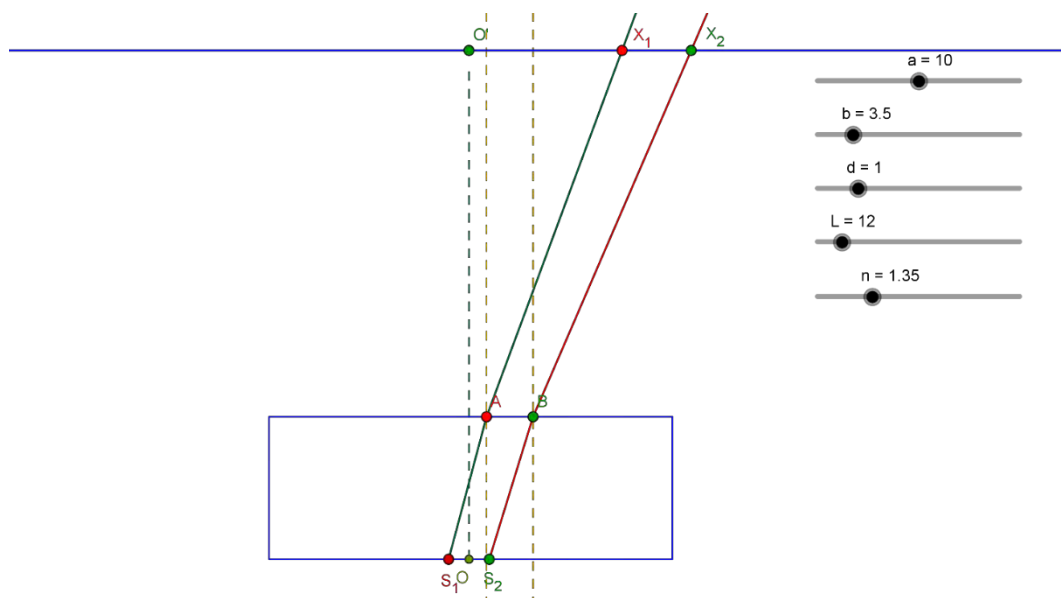


圖 32：於雙狹縫前放置長方形盒子的光徑圖

表 8：干涉條紋寬度與長方形容器長度關係試算結果

容器長度(cm)	Δy 理論值(mm)	Δy 實驗值(mm)	誤差(%)
5	9.2543	8.83	4.58
10	9.1789	9.13	0.53
15	9.1088	8.84	2.95

表 9：干涉條紋寬度與長方形容器內液體折射率關係試算結果

液體	折射率	Δy 理論值(mm)	Δy 實驗值(mm)	誤差(%)
水	1.35	9.2543	8.83	4.58
甘油	1.48	9.2378	8.94	3.23
酒精	1.36	9.2544	8.94	3.40

六、討論干涉條紋中央的部分較亮的原因

在高中課程裡，雙狹縫干涉條紋等寬且亮度相同，但在我們的實驗中屏幕正前方的干涉條紋特別亮，兩側的干涉條紋則變暗很多，很像單狹縫繞射的效果。由於狹縫本身也具有一定的寬度，因此我們會看到狹縫縫寬造成的單狹縫繞射效果，同時也會看到縫距造成的雙狹縫干涉效果，但是同時考慮雙狹縫縫寬及縫距的理論計算超出高中課程的範圍，因此我們從大學的光學課本當中找到了以下的理論計算結果：（Hecht, 2002）

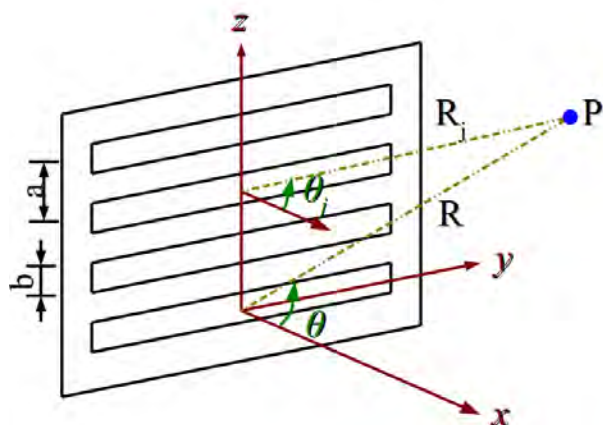


圖 33：同時考慮縫距及縫寬的干涉理論推導圖。

圖中 a 為縫距， b 為縫寬，雷射光直線前進的方向為 $+z$ 軸， P 點為雷射光照射在屏幕上的位置， θ 為光線與 $+z$ 軸的夾角。

假設狹縫的數量為 N ，狹縫與光徑的關係如圖 33 所示，則干涉條紋強度 I 與角度 θ 的關係式為

$$I(\theta) = \frac{I(0)}{N^2} \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \left(\frac{\sin N\alpha}{\sin \alpha} \right)^2$$

上式中 $\alpha = \frac{ka}{2}$ 、 $\beta = \frac{kb}{2}$ 、 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 。

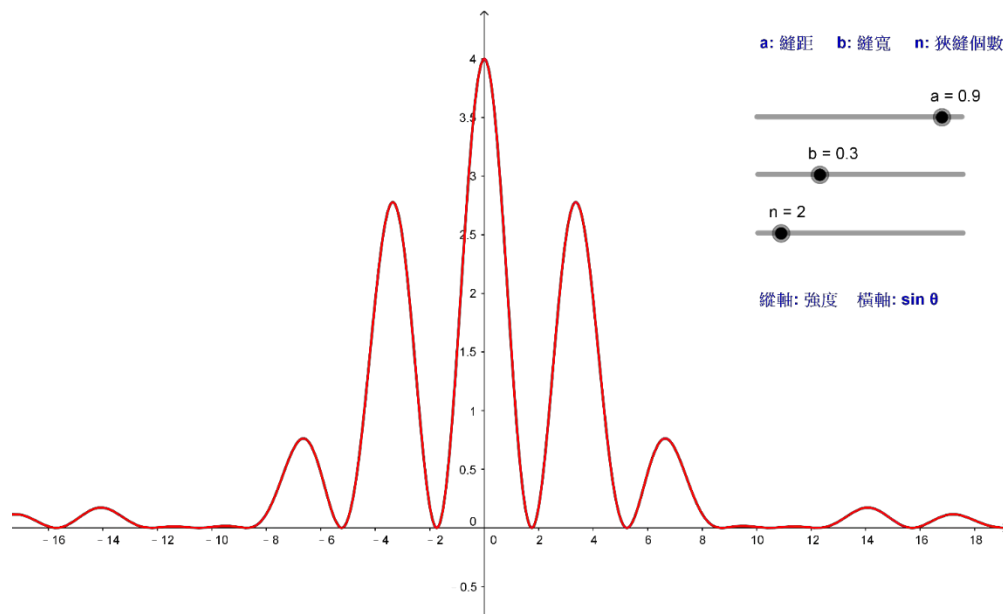


圖 34：同時考慮縫距及縫寬的雙狹縫干涉強度與角度關係圖

根據上式可以得到雙狹縫干涉強度與角度關係圖，由圖 34 可以看到在縫寬產生的單狹縫繞射中央亮紋當中，會有雙狹縫縫距產生的干涉條紋，理論上干涉條紋的暗紋部分強度可以降到 0，但在我們的實驗當中不太容易做到。我們推測這是因為白色的屏幕會將亮紋部分的光向旁邊散射，使得暗紋的部分稍微變亮一點。為了驗證這個推論，我們改用較不容易散射光線的黑色屏幕進行相同的實驗，配合適當的光圈、快門組合，可以降低暗紋位置的亮度，使觀測結果更接近理論值。

柒、結論

- 一、若將透明半圓形容器放在雙狹縫片的前方，並將狹縫片放置於容器圓心處，則
 - (一) 干涉條紋寬度與容器大小無關
 - (二) 干涉條紋寬度與容器中液體的折射率成反比
 - (三) 干涉條紋寬度與雙狹縫縫距成反比
- 二、雖然空氣中的光徑較長，容器中的光徑較短，但光程差是由容器中的光徑決定。
- 三、試算表軟體在大量計算限制較多，很難精準地算出兩道光線要經過容器壁上何處才能打到屏幕上相同的位置。後來我們改用 Python 程式計算理論值，利用迴圈及判斷式可以很快速又精準地找到亮紋、暗紋的位置，大幅改善理論計算的精準度。
- 四、若在狹縫前方的容器改為長方形，長方形容器內液體的折射率幾乎不會影響干涉條紋的寬度，透過理論計算後我們發現，空氣中的光程差大約是容器內光程差的 9 倍，因此干涉條紋寬度主要是由空氣中的光程差決定。

捌、參考資料及其他

- 一、Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2001). *Fundamentals of physics* (6th ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- 二、Hecht, E. (2002). *Optics* (4th ed.). San Francisco: Pearson Education, Inc.
- 三、徐國誠(2011)。那一段的波程差才是干涉的主因——99 指考物理科非選第二大題探究。大學入學考試中心選才電子報，200。2017 年 2 月 11 日。
取自 <http://www.ceec.edu.tw/CeecMag/Articles/200/200-05.pdf>
- 四、羅驥韓(2013)。GeoGebra 幾何與代數的美麗邂逅。臺北市：五南。
- 五、蔡明志（譯）(2016)。Python 程式設計入門指南。臺北市：碁峰資訊。

附錄一：利用 ImageJ 分析干涉條紋照片的詳細步驟

一、開啟 ImageJ

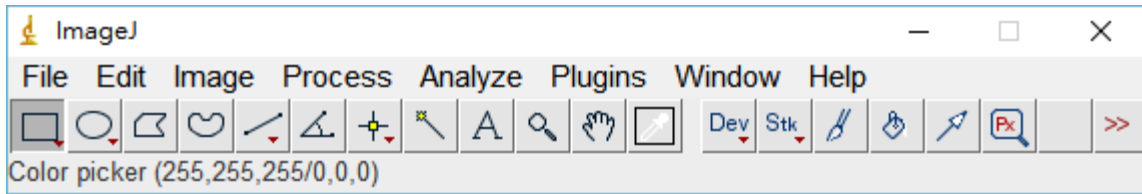


圖 35：ImageJ 主視窗

二、將照片匯入 ImageJ

- (一) 本例當中所用的照片是介質為水，容器直徑 10cm，雙狹縫縫距 0.1mm。
- (二) 將圖片匯入 ImageJ，路徑：File → Open → 找到檔案位置並選擇 → 按 OK

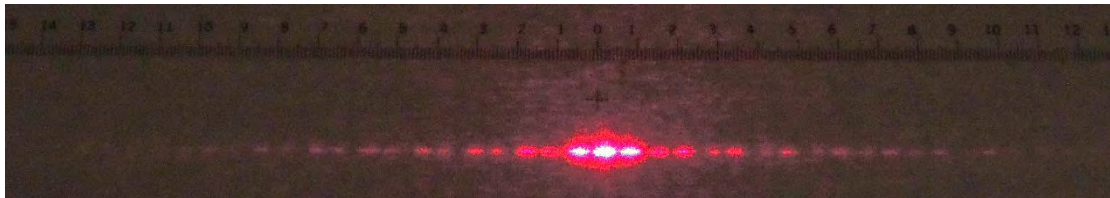


圖 36：匯入 ImageJ 的干涉條紋照片

三、旋轉照片至照片水平，路徑：Image → Transform → Rotate

四、長度校正

- (一) 將照片放大，利用直線工具在照片中的尺上畫直線，在下圖中我畫的線長度為 3cm。
- (二) 開啟長度校正工具，路徑：Analyze → Set Scale。
- (三) 在長度校正視窗中，Known distance 填入 30，Unit of length 填入 mm，按下 OK。



圖 37：在放大後的照片中畫直線

五、畫出強度與位置關係圖

(一) 用矩形工具選取干涉條紋部分。

(二) 畫出強度 - 位置關係圖，路徑：Analyze → Plot Profile（快速鍵為 Ctrl+K）

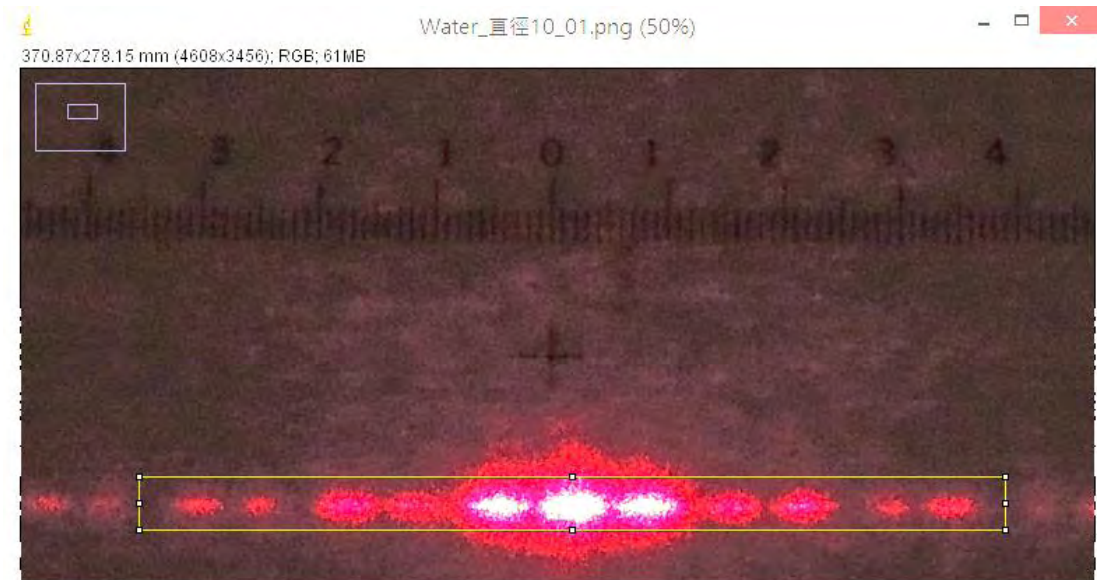


圖 39：用矩形工具選取干涉條紋部分

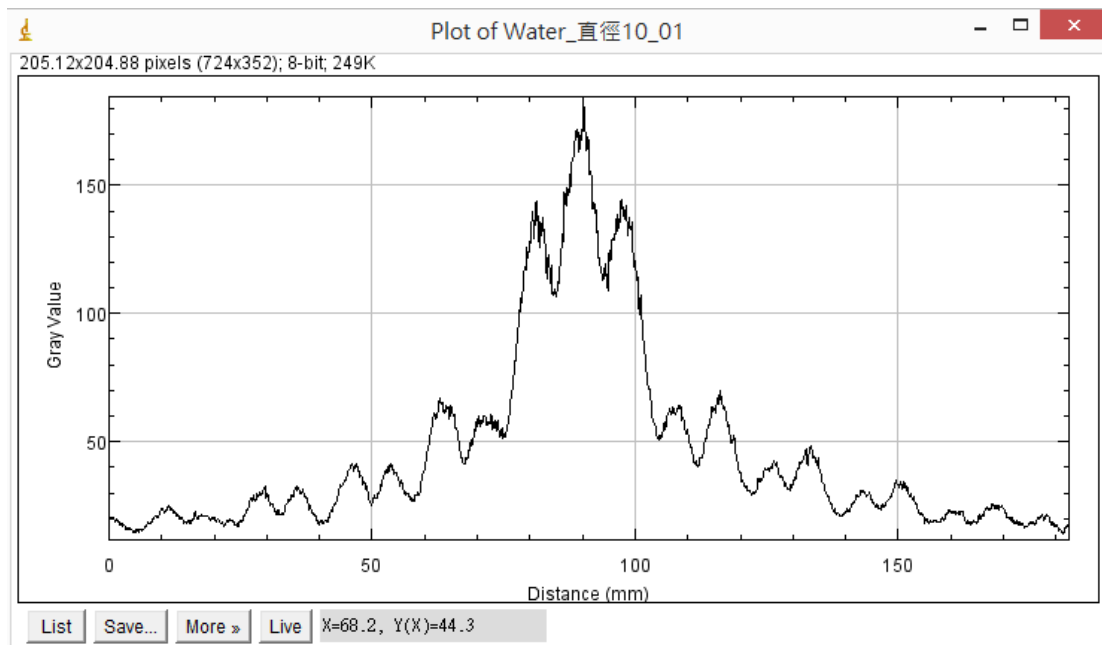


圖 38：強度與位置關係圖

附錄二：利用 Python 程式碼計算干涉條紋寬度

一、在狹縫片前放置半圓形容器

```
import math

# 設定起始條件，單位為 SI 制
r = 0.050          # 容器半徑
d = 0.0002440953   # 雙狹縫縫距
L = 1.67           # 狹縫到屏幕距離
x1_0 = -d/2.0
x2_0 = 0.0
dx1 = 0.000000002
dx2 = 0.001
num = int((r/50.0)/dx1)
n = 1.35           # 液體折射率
length = 0.00000065 # 雷射光波長 650nm
eps = 0.000000000001 # 計算 X 的精準度

# 設定關係式
# 由 x 計算 y
def xy(x):
    y = math.sqrt(r**2 - x**2)
    return y

# 由 x 計算 phi_1
def xphi1(x, y):
    sin_theta1 = math.sqrt(1-(((x-(-d/2.0))**2 +
y**2) + r**2 -
(-d/2.0)**2)/(2*r*math.sqrt((x-(-d/2.0))**2 +
y**2))))**2)
    phi1 = math.asin(n*sin_theta1)
    return phi1

# 由 x 計算 phi_2
def xphi2(x, y):
    sin_theta2 = math.sqrt(1-(((x-(d/2.0))**2 +
y**2) + r**2 -
(d/2.0)**2)/(2*r*math.sqrt((x-(d/2.0))**2 +
y**2))))**2)
    phi2 = math.asin(n*sin_theta2)

    return phi2

# 由 x 計算 psi
def xpsi(x):
    psi = math.asin(x/r)
    return psi

# 由 x 計算 X1
def xX1(x, y, phi, psi):
    X1 = (L-y)*math.tan(phi+psi) + x
    return X1

# 由 x 計算 X2
def xX2(x, y, phi, psi):
    X2 = (L-y)*math.tan(psi-phi) + x
    return X2

# 由 x1, y1, x2, y2, X 計算光程差
def delta(x1, y1, x2, y2, X):
    S1A = math.sqrt((x1-(-d/2.0))**2 + y1**2)
    S2B = math.sqrt((x2-(d/2.0))**2 + y2**2)
    AP = math.sqrt((X-x1)**2 + (L-y1)**2)
    BP = math.sqrt((X-x2)**2 + (L-y2)**2)
    diff = n*(S1A-S2B) + (AP-BP)
    return diff

# 輸入 x1_0, 產生 xy1_list
def xy1_l(x1_0):
    for i in range(0, num):
        x1 = x1_0 + i*dx1
        y1 = xy(x1)
        phi1 = xphi1(x1, y1)
        psi1 = xpsi(x1)
        X1 = xX1(x1, y1, phi1, psi1)
        xy1_list.append([x1, y1, phi1, psi1,
X1])
```



```

return xy1_list

# 輸入 X1, 計算 S2 狹縫的光線經過圓弧上
何處才會到達 X1
def xy2_d (X1, x2_0, dx2):
    i = 0
    x2 = x2_0
    y2 = xy(x2)
    phi2 = xphi2(x2, y2)
    psi2 = xpsi(x2)
    X2 = xX2(x2, y2, phi2, psi2)
    while(abs(X2-X1) > eps):
        y2 = xy(x2)
        phi2 = xphi2(x2, y2)
        psi2 = xpsi(x2)
        X2 = xX2(x2, y2, phi2, psi2)
        if((x2 >= (r-d*2.0))):
            print("Error")
            X2 = -1
            break
        else:
            if(X2 >= X1):
                x2 = x2 - dx2
                dx2 = dx2/2.0
            else:

```

```

x2 = x2 + dx2
xy2_data = [x2, y2, phi2, psi2, X2]
return xy2_data

# 開啟空白的 list
xy1_list = []
xy2_data = []
data = []
file = open('data.txt', 'w', encoding = 'UTF-8')

# 主程式
xy1_list = xy1_l(x1_0)

for val in xy1_list:
    xy2_data = xy2_d(val[4], val[0], dx2)
    diff = delta(val[0],val[1],xy2_data[0],
xy2_data[1], val[4])
    number = diff/length
    if (abs(number*2.0 - int(number*2.0)) <
0.00005):
        data = [val[0], val[1], xy2_data[0],
xy2_data[1], val[4], diff, number]
        file.write(str(data)+"\n")

file.close()

```

二、在狹縫片前放置長方形容器

```

import math

# 設定起始條件, 單位為 SI 制
a = 0.050          # 容器長度 5cm
b = 0.050          # 容器寬度
h = 0.003          # 容器邊緣壓克力板厚度
d = 0.0001157      # 雙狹縫縫距
L = 1.67           # 狹縫到屏幕距離
z1_0 = 0.0
z2_0 = 0.0
dz1 = 0.00000001

```

```

dz2 = 0.0001
num = int((a/20.0)/dz1)
n = 1.35           # 液體折射率
n2 = 1.41          # 壓克力板折射率
length = 0.00000065 # 雷射光波長 650nm
eps = 0.000000000001 # 計算 X 的精準度
alpha = math.radians(0.0)

# 設定關係式
# 由 z 計算 theta_1
def ztheta1 (z):

```



```

r1 = math.sqrt(b**2 + (z + d/2.0)**2)
theta1 = math.asin((z + d/2.0)/r1)
return theta1

# 由 z 計算 phi_1
def zphi1 (theta1):
    phi1 = math.asin(n*math.sin(theta1))
    return phi1

# 由 z 計算 psi_1
def zpsi1 (theta1):
    psi1 = math.asin(n/n2*math.sin(theta1))
    return psi1

# 由 z 計算 theta_2
def ztheta2 (z):
    if (z >= d/2.0):
        r2 = math.sqrt(b**2 + (z - d/2.0)**2)
        theta2 = math.asin((z - d/2.0)/r2)
    else:
        r2 = math.sqrt(b**2 + (d/2.0 - z)**2)
        theta2 = math.asin((d/2.0 - z)/r2)
    return theta2

# 由 z 計算 phi_2
def zphi2 (theta2):
    phi2 = math.asin(n*math.sin(theta2))
    return phi2

# 由 z 計算 psi_2
def zpsi2 (theta2):
    psi2 = math.asin(n/n2*math.sin(theta2))
    return psi2

# 由 z1 計算經過 S1 狹縫的光線在容器邊緣
與屏幕間的距離
def zr1 (z1, theta1, phi1, psi1):

```

```

    r1 =
    L-b*math.cos(alpha)+z1*math.sin(alpha)-h*math.
    cos(psi1+alpha)/math.cos(psi1)
    return r1

# 由 z2 計算經過 S2 狹縫的光線在容器邊緣
與屏幕間的距離
def zr2 (z2, theta2, phi2, psi2):
    r2 =
    L-b*math.cos(alpha)+z2*math.sin(alpha)-h*math.
    cos(psi2+alpha)/math.cos(psi2)
    return r2

# 由 z1 計算 X1
def zX1 (z1, theta1, phi1, psi1, r1):
    X1 = r1*math.tan(phi1+alpha) +
    h*math.sin(psi1+alpha)/math.cos(psi1) +
    z1*math.cos(alpha) + b*math.sin(alpha)
    return X1

# 由 z2 計算 X2
def zX2 (z2, theta2, phi2, psi2, r2):
    X2 = r2*math.tan(phi2+alpha) +
    h*math.sin(psi2+alpha)/math.cos(psi2) +
    z2*math.cos(alpha) + b*math.sin(alpha)
    return X2

# 計算光程差
def delta (z1, phi1, psi1, r1, z2, phi2, psi2, r2):
    S1A = math.sqrt(b**2 + (z1 + d/2.0)**2)
    S2B = math.sqrt(b**2 + (z2 - d/2.0)**2)
    AA2 = h/math.cos(psi1)
    BB2 = h/math.cos(psi2)
    A2P = r1/math.cos(phi1+alpha)
    B2P = r2/math.cos(phi2+alpha)
    diff = n*(S1A-S2B) + n2*(AA2-BB2) +
    (A2P-B2P)
    return diff

```

```

# 輸入 z1_0, 產生 z1_list
def z1_l(z1_0):
    for i in range(0, num):
        z1 = z1_0 + i*dz1
        theta1 = ztheta1(z1)
        phi1 = zphi1(theta1)
        psi1 = zpsi1(theta1)
        r1 = zr1(z1, theta1, phi1, psi1)
        X1 = zX1(z1, theta1, phi1, psi1, r1)
        z1_list.append([z1, theta1, phi1, psi1,
r1, X1])
    return z1_list

# 輸入 X1, 計算 S2 狹縫的光線經過容器邊緣上何處才會到達 X1
def z2_d(X1, initial, dz2):
    z2 = initial
    theta2 = ztheta2(z2)
    phi2 = zphi2(theta2)
    psi2 = zpsi2(theta2)
    r2 = zr2(z2, theta2, phi2, psi2)
    X2 = zX2(z2, theta2, phi2, psi2, r2)
    while(abs(X2-X1) > eps):
        theta2 = ztheta2(z2)
        phi2 = zphi2(theta2)
        psi2 = zpsi2(theta2)
        r2 = zr2(z2, theta2, phi2, psi2)
        X2 = zX2(z2, theta2, phi2, psi2, r2)
        if (z2 >= d/2.0):
            if(X2 >= X1):
                z2 -= dz2
                dz2 /= 2.0
                z2 += dz2
            else:

```

```

                z2 += dz2
            else:
                if(X2 < X1):
                    z2 += dz2
                else:
                    dz2 /= 2.0
                    z2 -= dz2

        z2_data = [z2, theta2, phi2, psi2, r2, X2]
    return z2_data

# 開啟空白的 list
z1_list = []
z2_data = []
data = []
file = open('data.txt', 'w', encoding = 'UTF-8')

# 主程式
z1_list = z1_l(z1_0)

for val in z1_list:
    z2_data = z2_d(val[5], val[0], dz2)
    diff = delta(val[0], val[2], val[3], val[4],
z2_data[0], z2_data[2], z2_data[3], z2_data[4])
    number = diff/length
    if (abs(number*2.0 - int(number*2.0)) <
0.0001):
        data = [val[0], val[1], val[2], val[3],
val[4], val[5], z2_data[0], z2_data[1], z2_data[2],
z2_data[3], z2_data[4], z2_data[5], diff, number]
        file.write(str(data)+"\n")

file.close()

```

【評語】 051810

本作品討論容器大小、液體種類對干涉條紋的影響，有明確、詳盡的物理學理討論，其實驗的設計及方法完善且實驗數據分析相當完整。實驗結果能與理論互相比較討論。但是較少分析相關數據圖形。建議也可以討論不同濃度液體（折射率也不相同）的影響。

作品海報

摘要

首先利用3個透明的半圓形容器，容器直徑分別為10、15、20cm，容器內注入相同的液體，在容器的圓心處放置縫距為0.1mm的雙狹縫片，當雷射光通過雙狹縫及容器後，我們發現容器大小不會影響干涉條紋寬度。接著選用直徑10cm的容器注入不同的液體，容器的圓心處放置縫距為0.1mm的雙狹縫片，發現干涉條紋寬度與液體折射率成反比。再改用直徑為10cm的容器注入水，可發現干涉條紋寬度與雙狹縫縫距成反比。由本實驗可得知，雖然雷射光在空氣的光徑較長，在半圓形容器中的光徑較短，但主要的光程差來自半圓形容器中。最後改用長方形容器，我們發現容器內的液體折射率幾乎不會影響干涉條紋寬度，這是因為空氣中的光程差大約是液體中的9倍。

壹、研究動機

我們在課程中學到雙狹縫干涉，對這個實驗感到相當的有興趣，而在99年物理指考非選題中有一個相關的實驗，但並沒有解釋實驗背後的機制，因此我們設計了以下的實驗。

貳、研究目的

- 一、探討干涉條紋寬度與容器大小的關聯性
- 二、探討干涉條紋寬度與液體折射率的關聯性
- 三、探討干涉條紋寬度與雙狹縫縫距的關聯性
- 四、探討干涉條紋寬度與容器形狀的關聯性

參、研究設備及器材

紅光半導體雷射、雙狹縫片、自製透明容器、捲尺、強力膠、方格板、屏幕、甘油、酒精、洗碗精、機油、類單眼相機、自製固定狹縫與雷射裝置

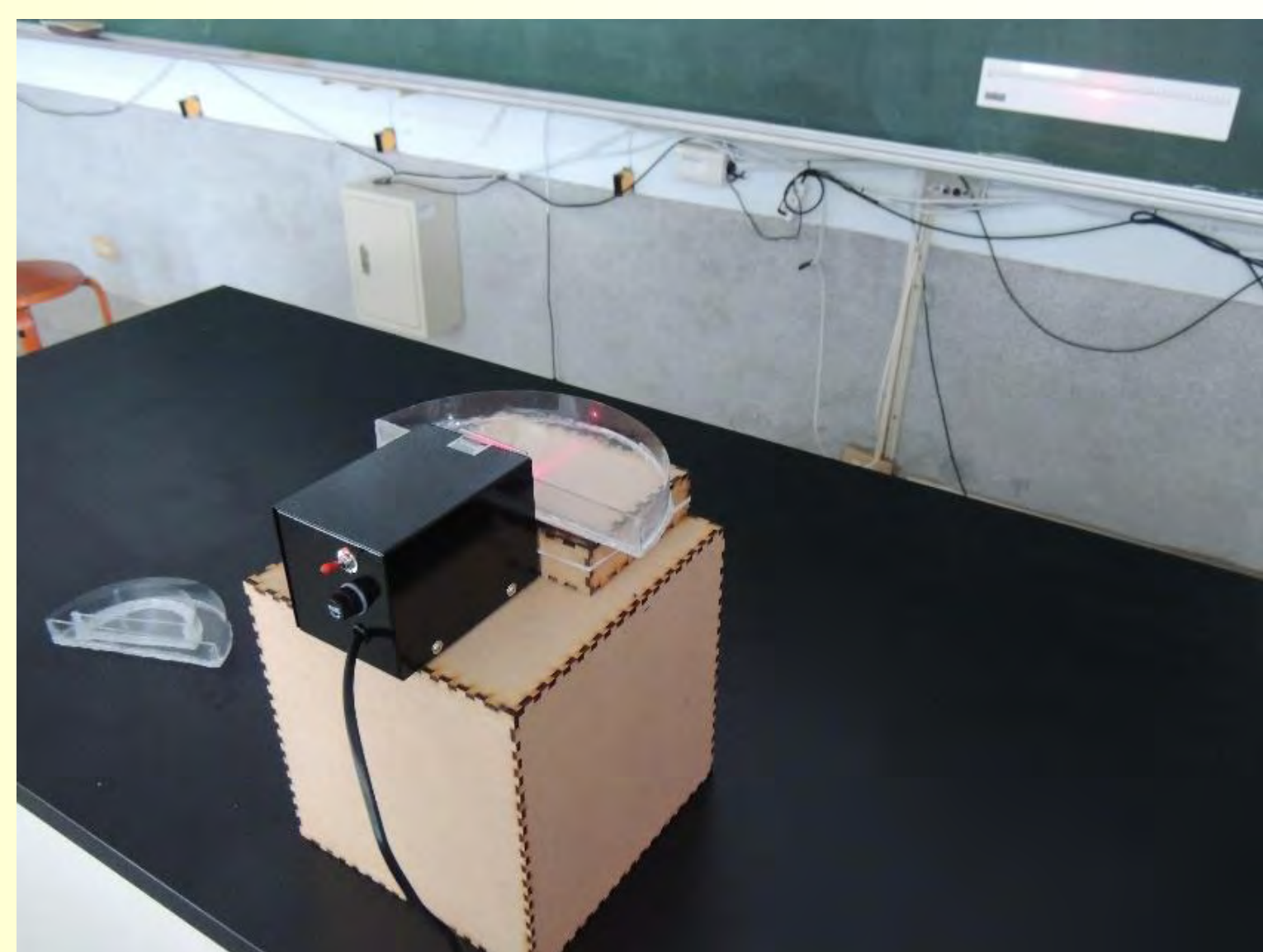


圖1：拍攝干涉條紋所用實驗裝置

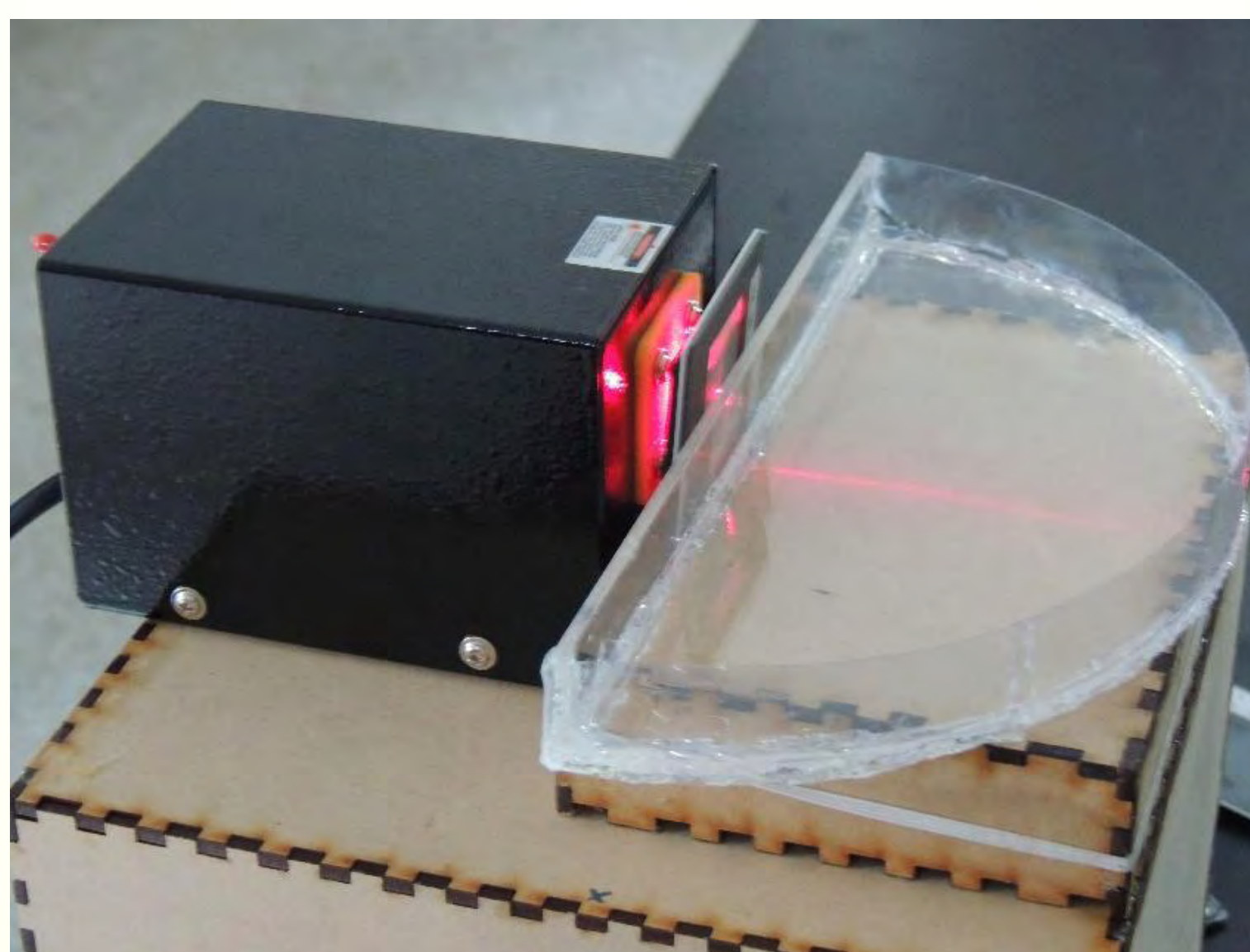


圖2：實驗裝置放大圖

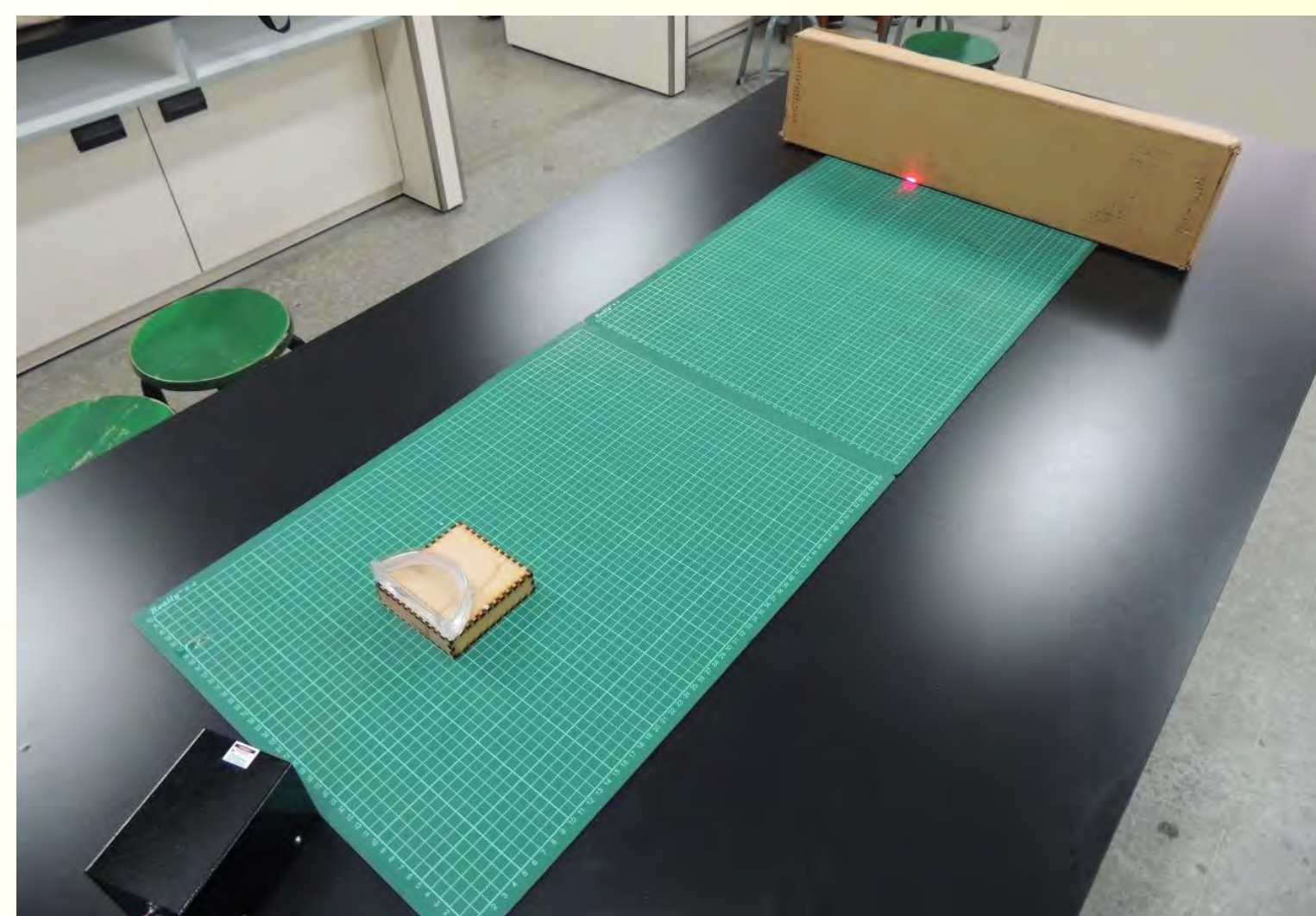
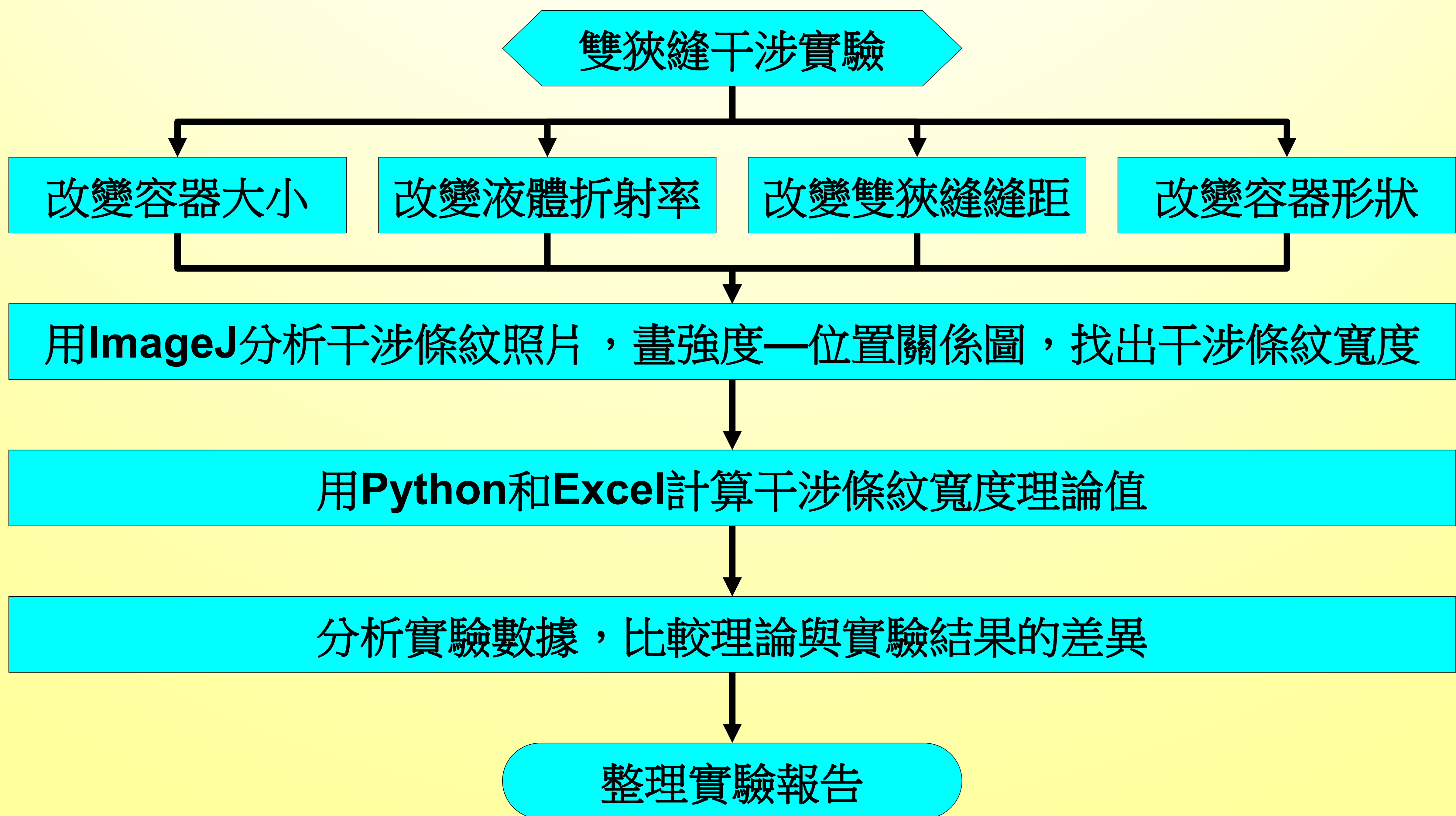


圖3：測量折射率實驗裝置

肆、研究過程與方法



伍、研究結果

一、探討干涉條紋寬度與容器大小的關聯性（雙狹縫縫距為0.1mm、容器內裝水）

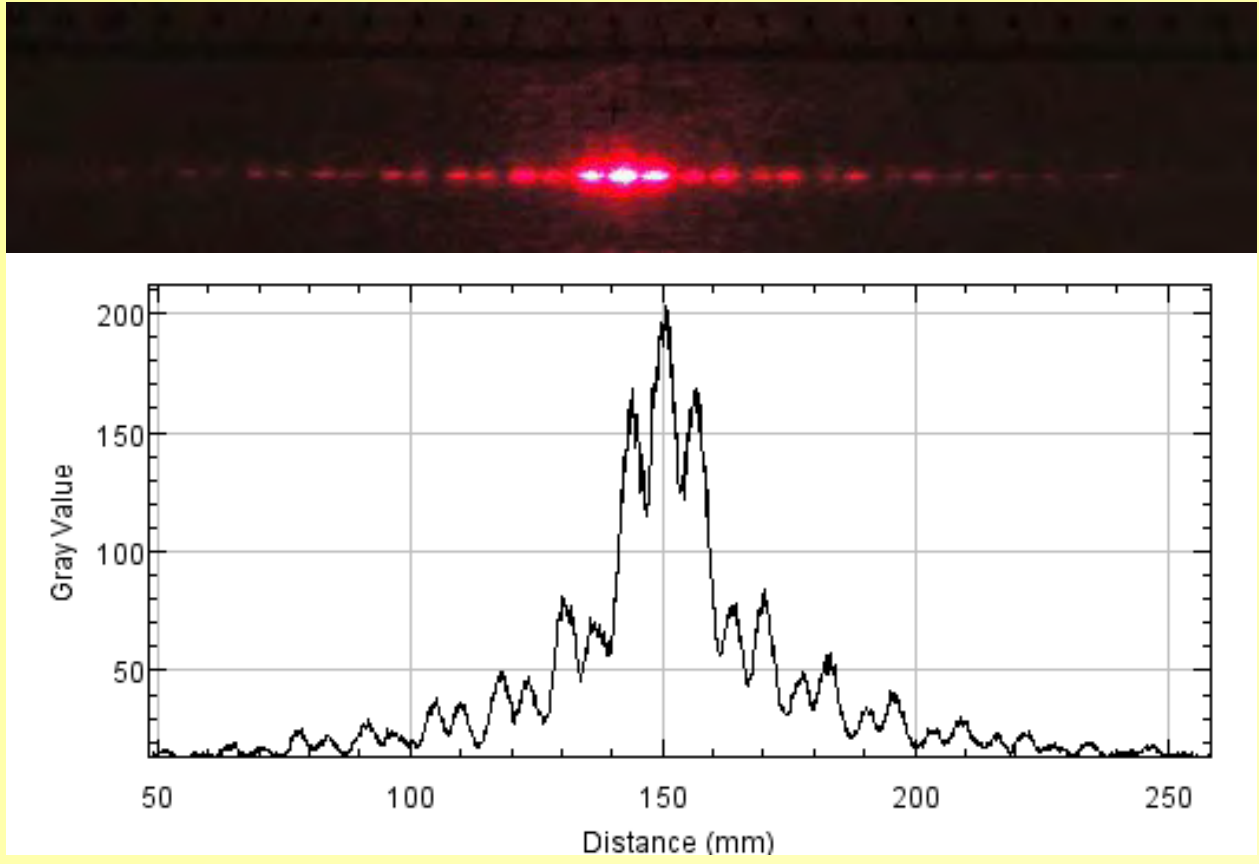


圖4：容器直徑10 cm，干涉條紋寬度 7.44 ± 0.17 mm

容器直徑(cm)	Δy (mm)
10	7.44 ± 0.17
15	7.41 ± 0.14
20	7.40 ± 0.16

表 1：干涉條紋寬度與容器大小關係試算結果

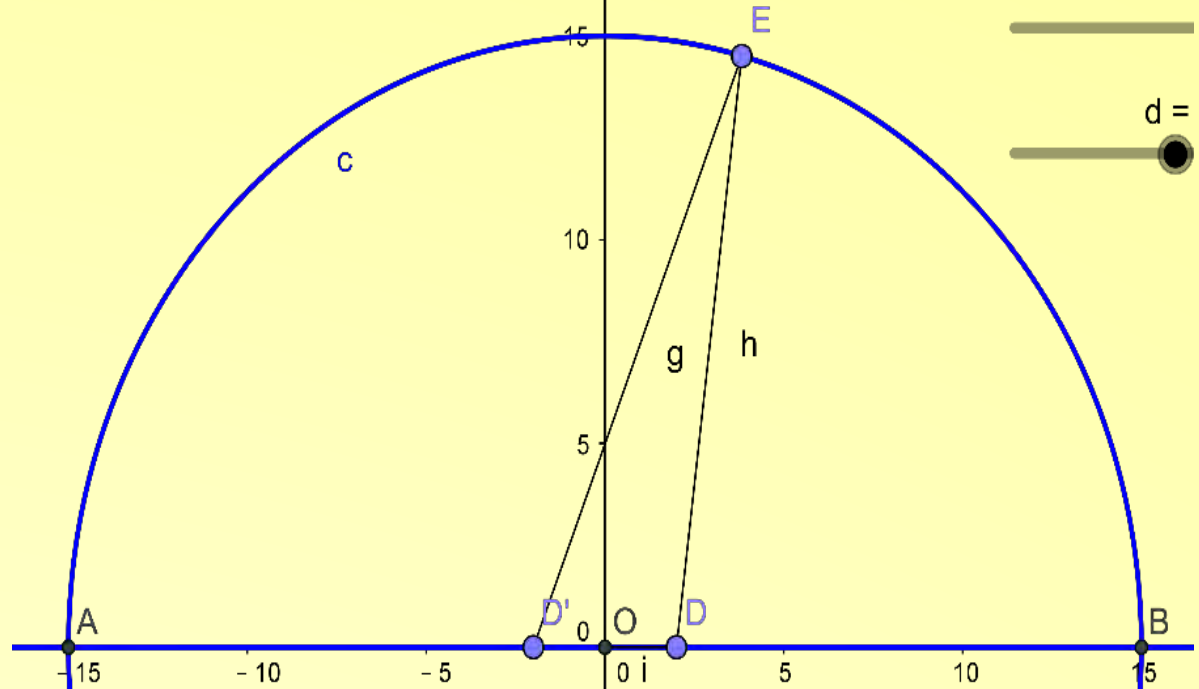


圖5：容器中的光程差

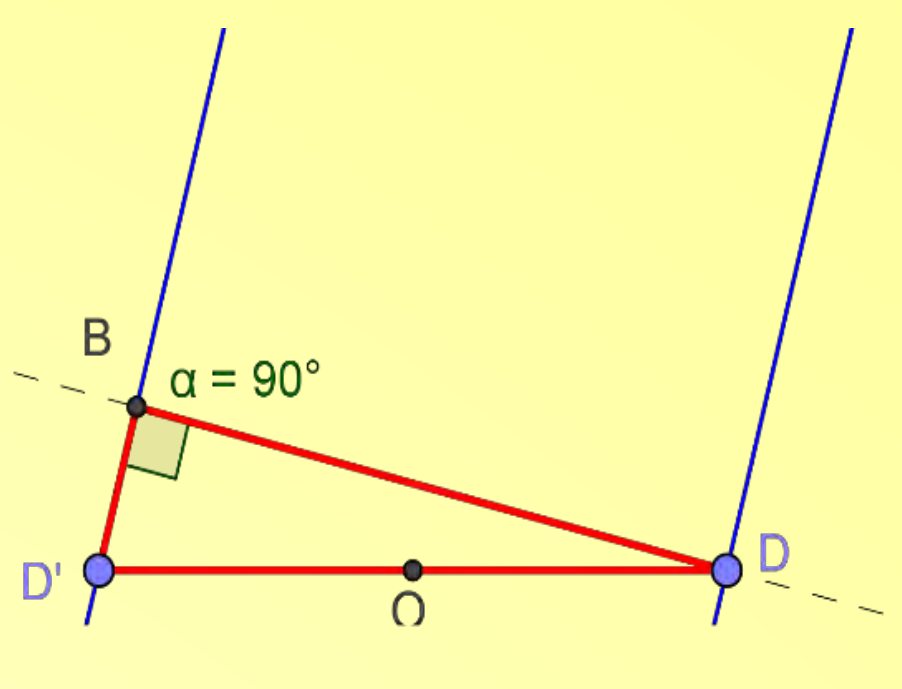


圖6：若將光線視為互相平行

二、探討干涉條紋寬度與液體折射率的關聯性（雙狹縫縫距為0.1mm、容器直徑10cm）

若干涉條紋寬度由液體中的光波波長決定，則

$$\Delta y = \frac{\lambda_0 L}{nd} = \frac{\Delta y_0}{n} \Rightarrow \frac{\Delta y_0}{\Delta y} = n$$

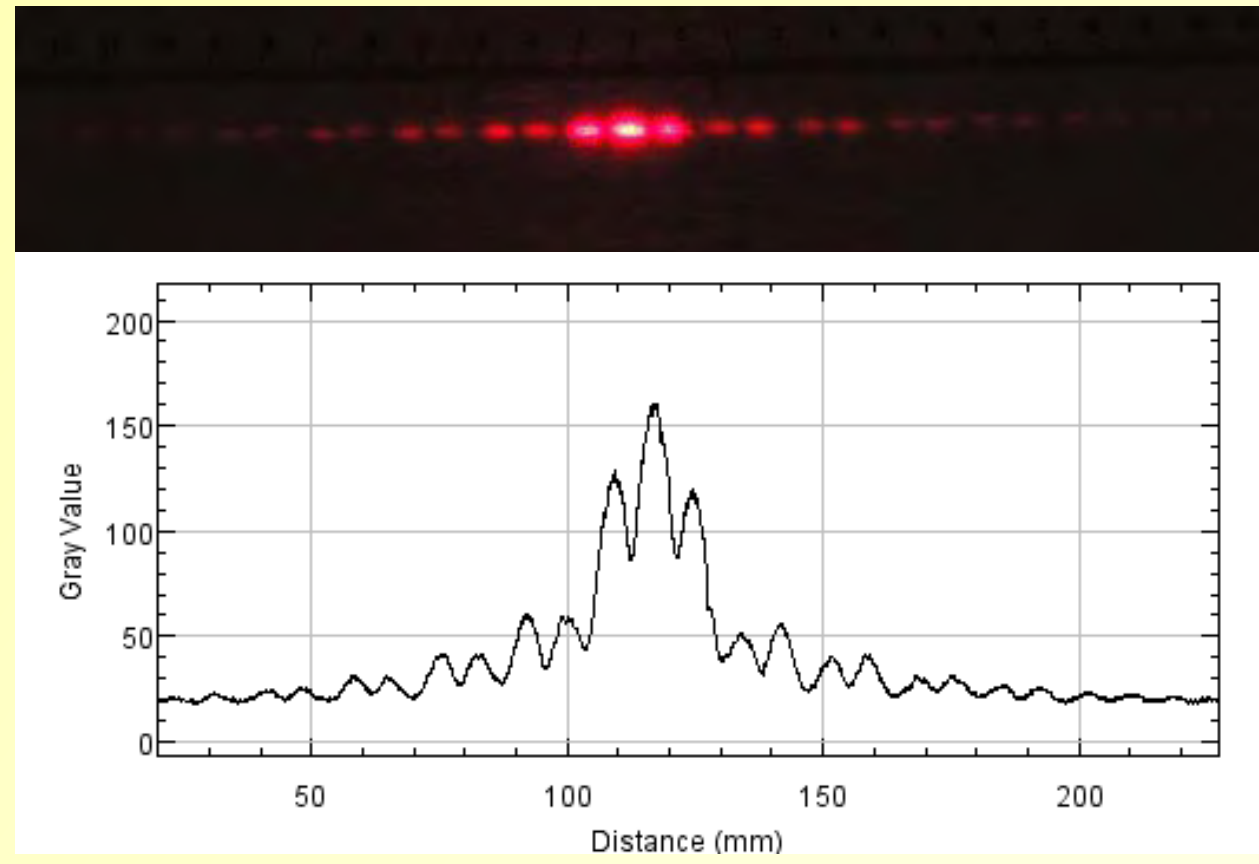


圖7：容器內為空氣，干涉條紋寬度 9.38 ± 0.12 mm

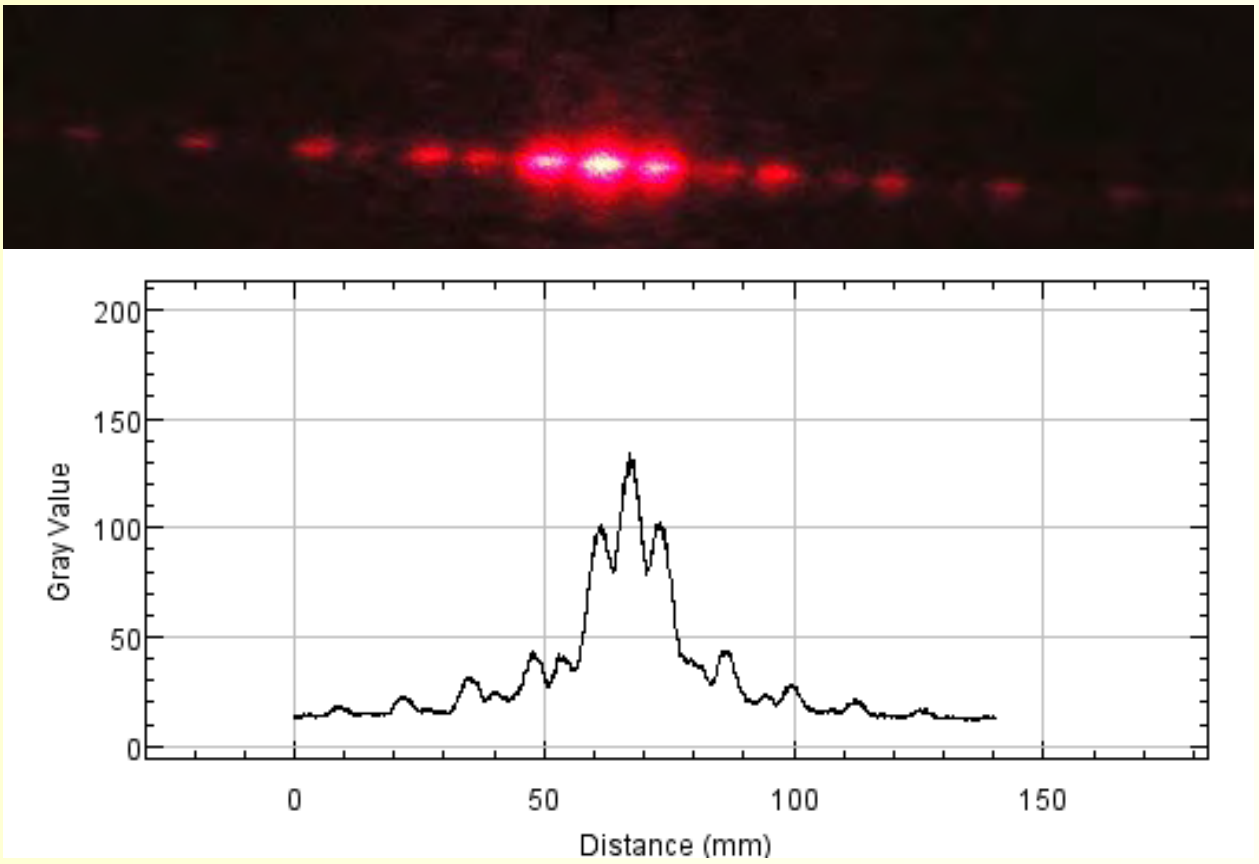


圖8：容器內為酒精，干涉條紋寬度 7.31 ± 0.27 mm

液體	折射率	Δy (mm)	$\Delta y_0/\Delta y$	百分誤差
水	1.35	7.44	1.26	-6.7%
甘油	1.48	7.10	1.42	-4.1%
酒精	1.36	7.31	1.28	-5.9%
洗碗精	1.34	7.10	1.32	-1.5%
機油	1.41	7.01	1.34	-5.0%

表 2：干涉條紋寬度與液體折射率關係試算結果

三、探討干涉條紋寬度與雙狹縫縫距的關聯性（容器內裝水、容器直徑10cm）

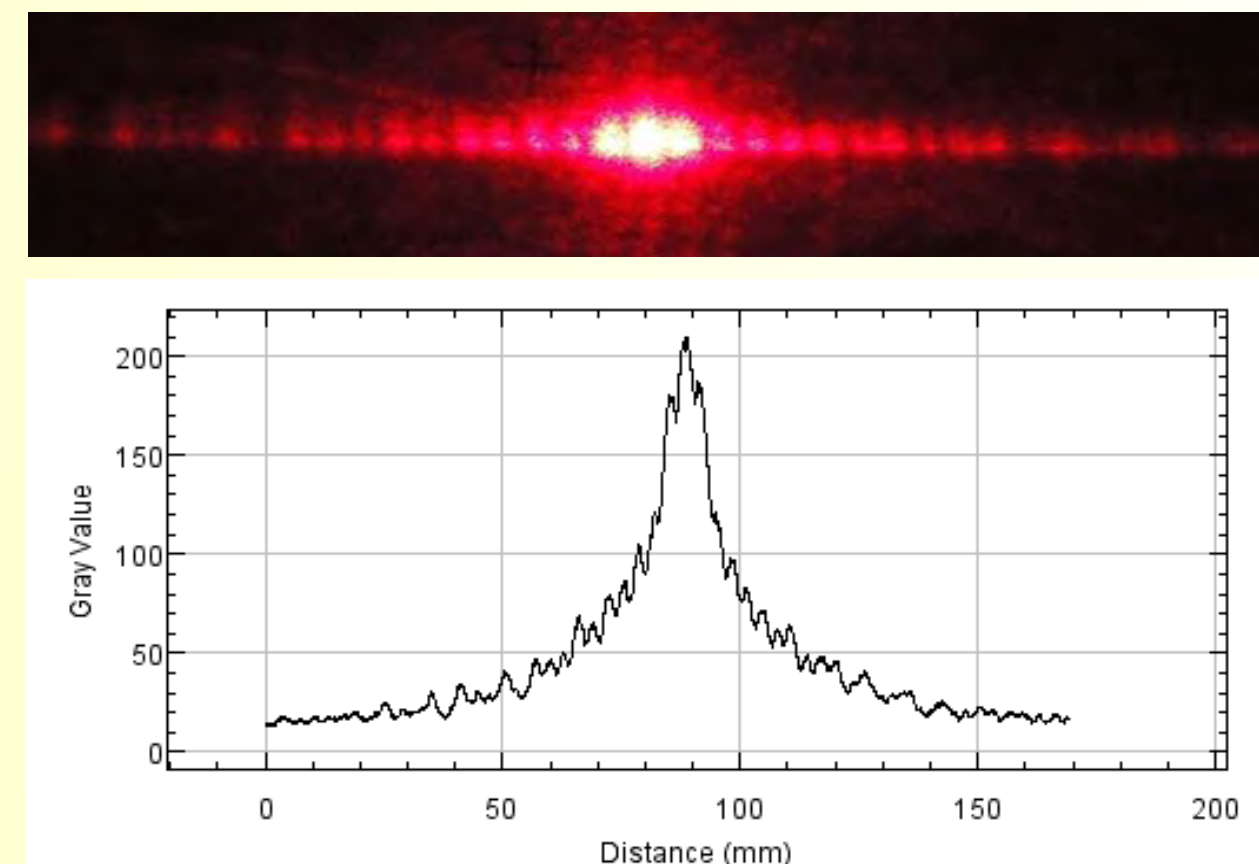


圖9：狹縫距0.25mm，干涉條紋寬度 3.27 ± 0.51 mm

d (mm)	Δy (mm)
0.10	7.44 ± 0.17
0.20	3.33 ± 0.23
0.25	3.27 ± 0.51
0.50	1.49 ± 0.42

表 3：干涉條紋寬度與狹縫縫距關係試算結果

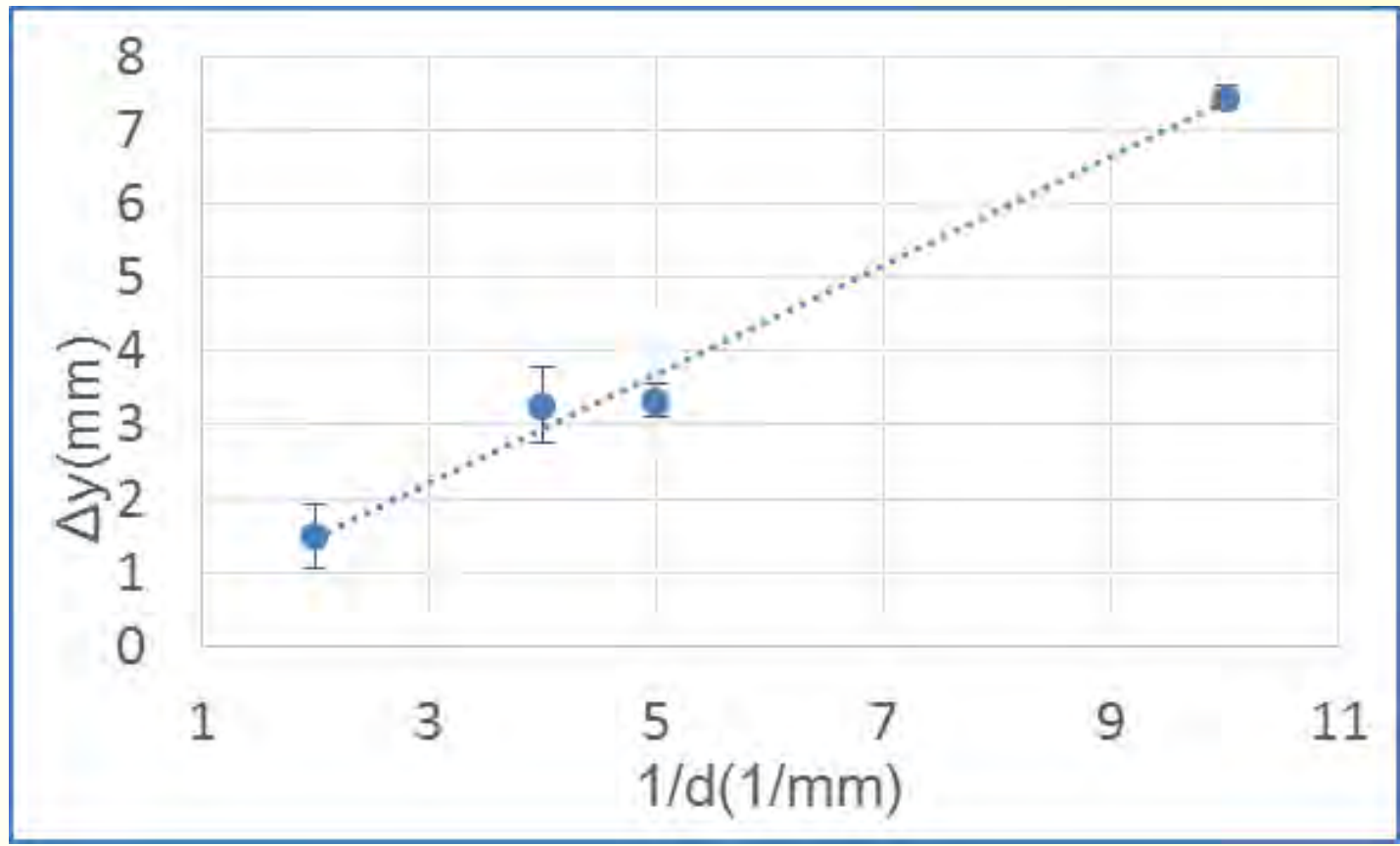


圖10：干涉條紋寬度與狹縫縫距關係圖

四、探討長方形容器大小與干涉條紋寬度關聯性（雙狹縫縫距為0.1mm、容器內裝水）

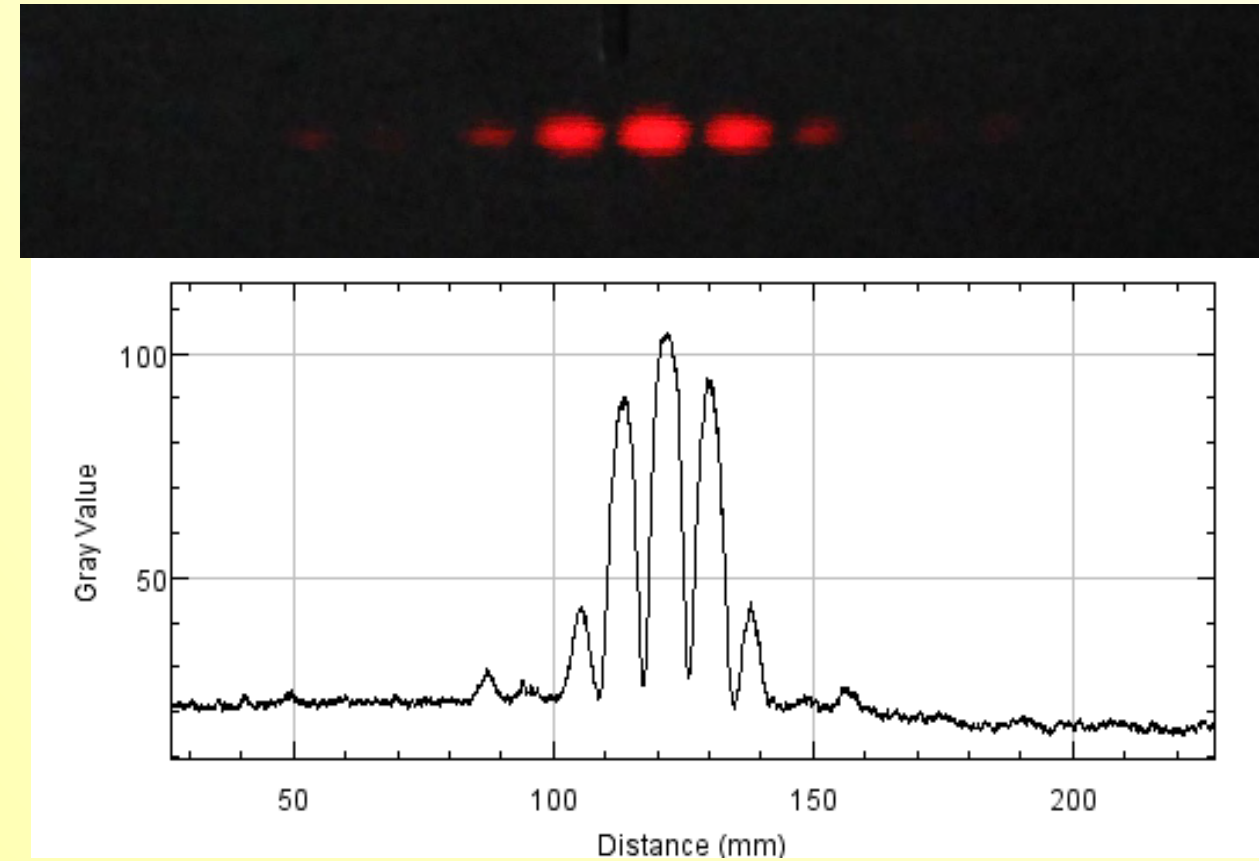


圖11：容器長度10 cm，干涉條紋寬度 8.72 ± 0.10 mm

容器長度(cm)	Δy (mm)
5	8.83 ± 0.36
10	8.72 ± 0.10
15	8.84 ± 0.15

表 4：干涉條紋寬度與長方形容器大小實驗結果

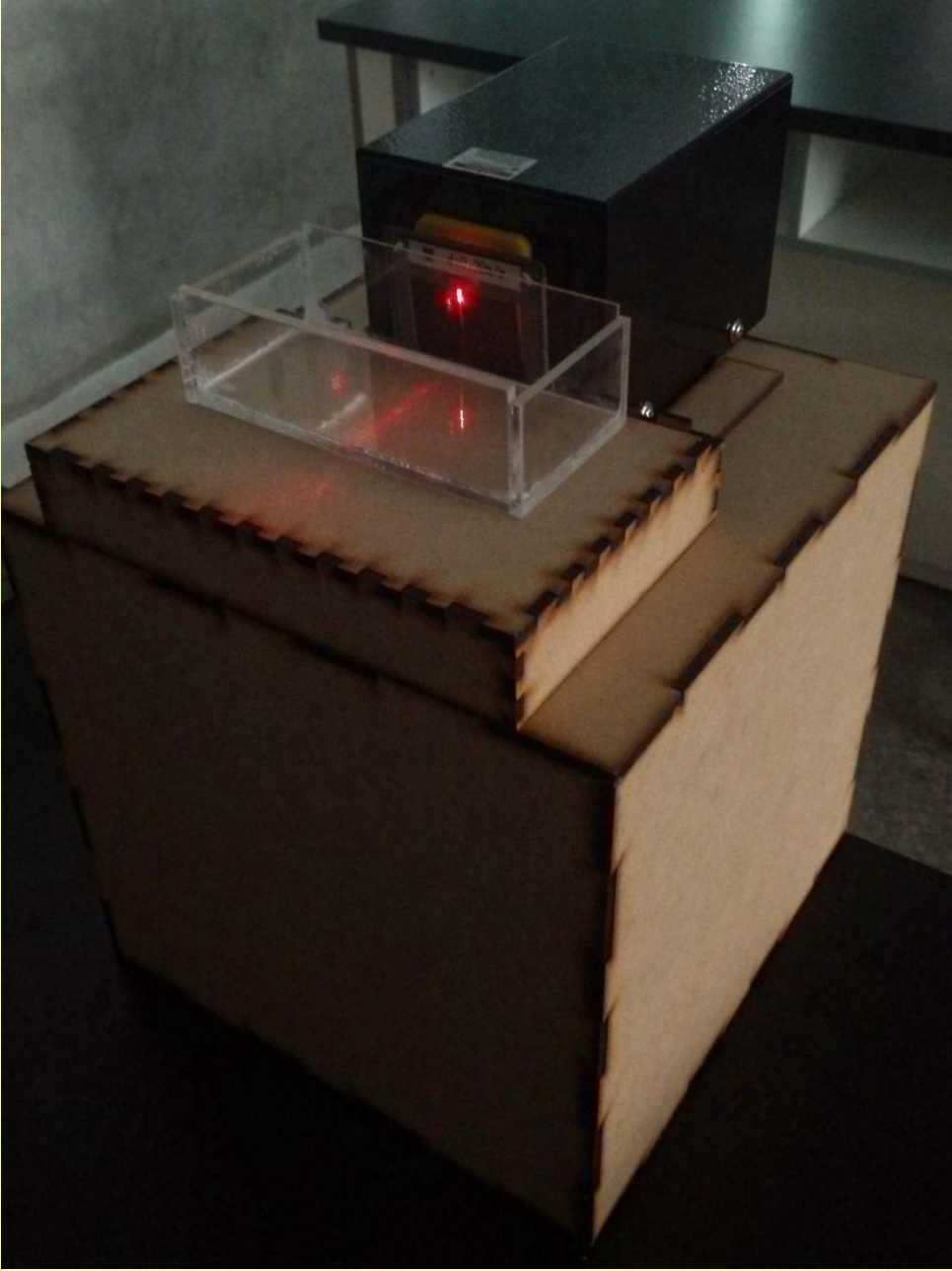


圖14：自製的長方形容器及實驗裝置照片

五、探討長方形容器中液體與干涉條紋寬度的關聯性

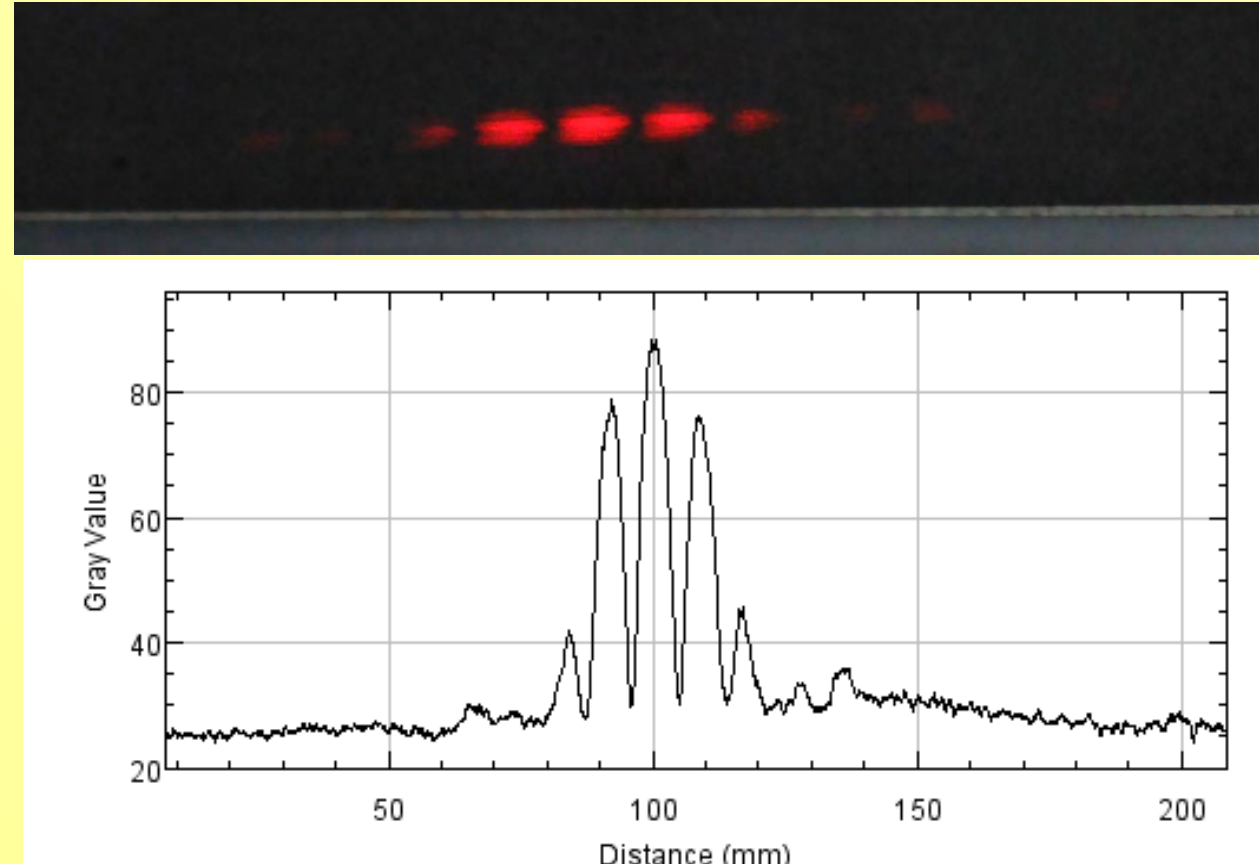


圖12：容器內為空氣，干涉條紋寬度 8.89 ± 0.23 mm

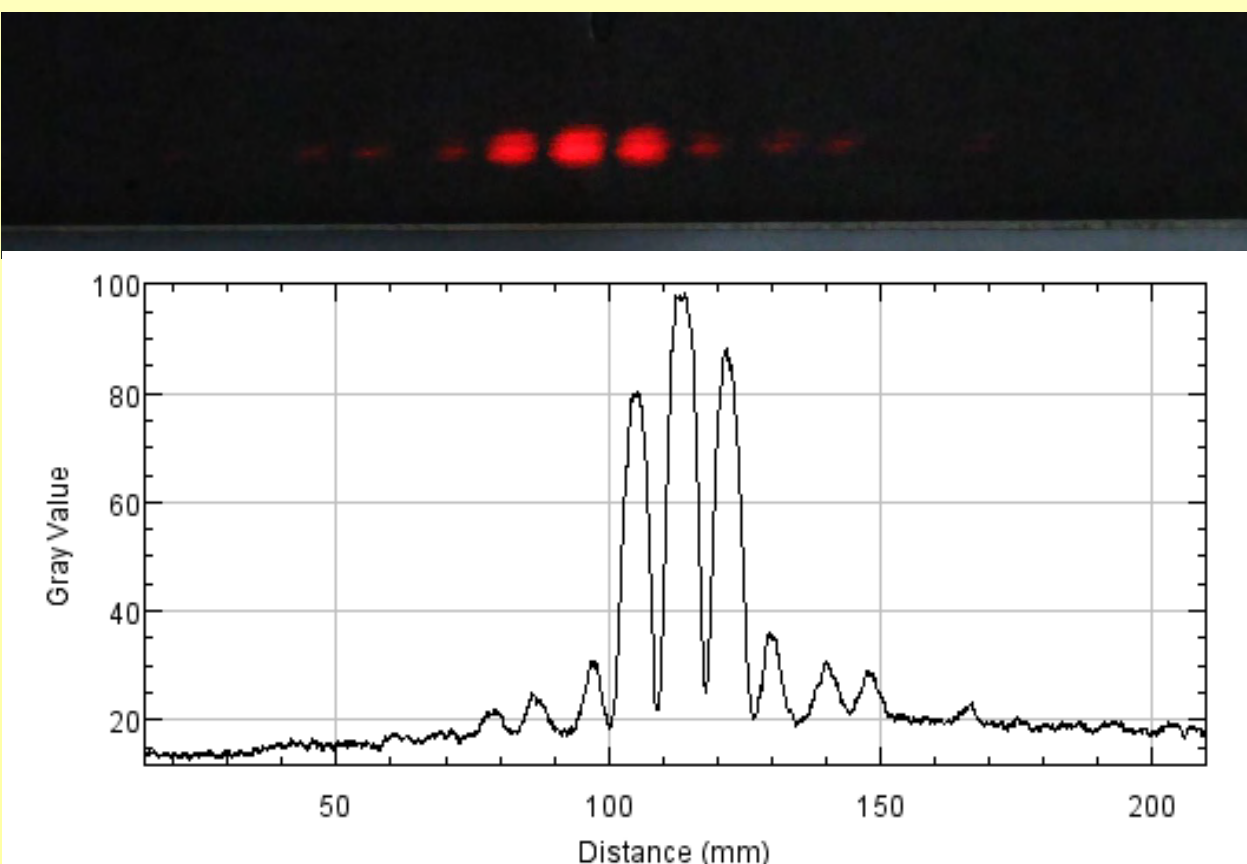


圖13：容器內為酒精，干涉條紋寬度 8.94 ± 0.13 mm

介質	n	Δy (mm)
空氣	1.00	8.89 ± 0.23
水	1.35	8.83 ± 0.36
甘油	1.48	8.94 ± 0.15
酒精	1.36	8.94 ± 0.13

表 5：干涉條紋寬度與長方形容器內液體關係

陸、討論

一、我們試著用折射定律找出光由狹縫出發，經過半圓形容器到達屏幕之間的光徑，算出屏幕上各點對應的光程差，找出干涉條紋寬度理論值。

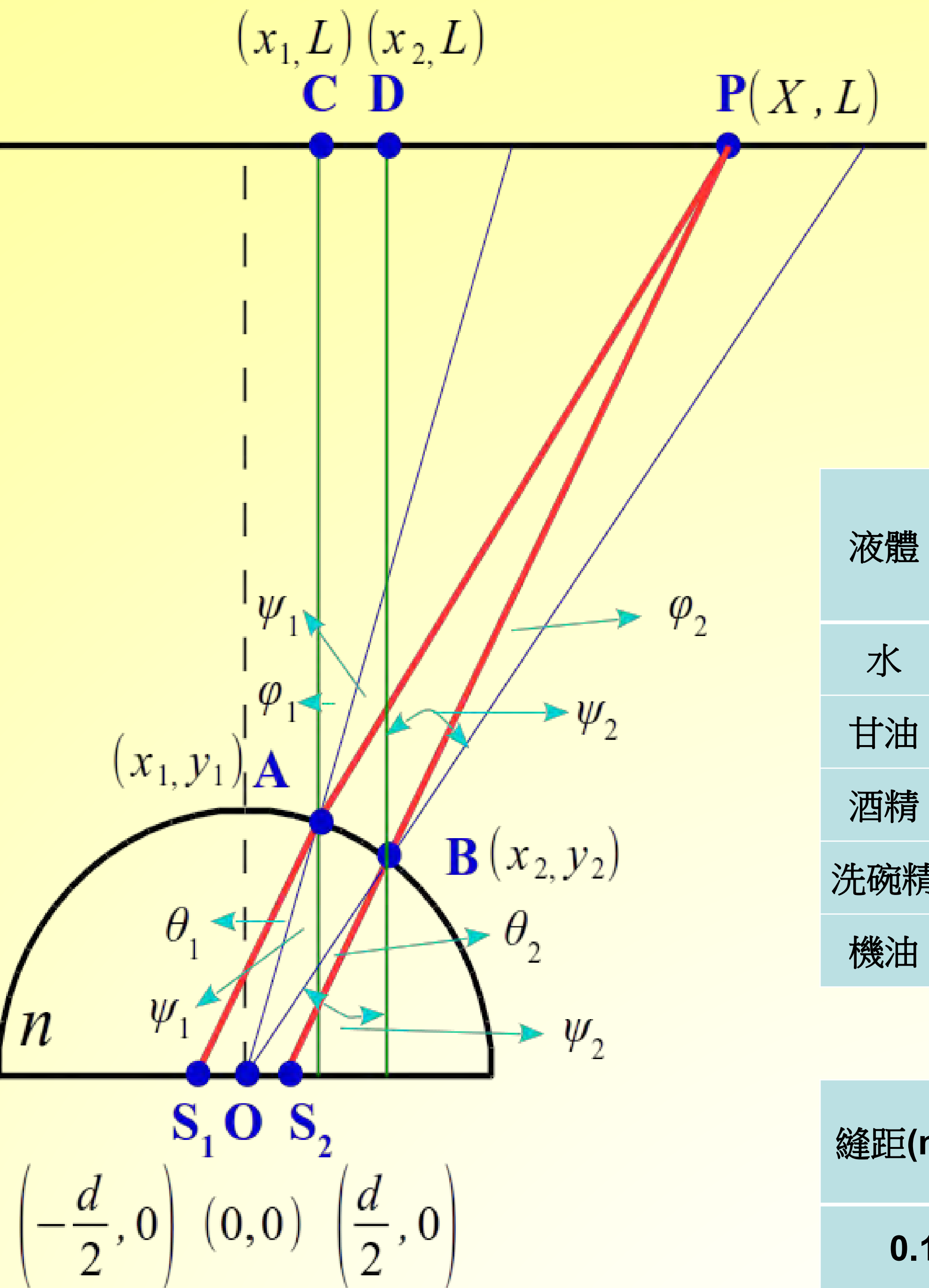


圖15：於雙狹縫前放置半圓形盒子的光徑圖

容器直徑 (cm)	Δy 實驗值 (mm)	Δy 理論值 (mm) Excel	誤差Excel(%)	Δy 理論值 (mm) Python	誤差Python(%)
10	7.44	7.6204	2.37	7.6149	2.30
15	7.41	7.6256	2.83	7.6162	2.71
20	7.40	7.6311	3.03	7.6162	2.84

表6：干涉條紋寬度與容器大小關係試算結果

液體	折射率	Δy 實驗值 (mm)	Δy 理論值 (mm) Excel	誤差Excel(%)	Δy 理論值 (mm) Python	誤差Python(%)
水	1.35	7.44	7.6215	2.38	7.6149	2.30
甘油	1.48	7.10	6.8928	3.01	6.9473	2.20
酒精	1.36	7.31	7.5871	3.65	7.5602	3.31
洗碗精	1.34	7.10	7.6930	7.71	7.6731	7.47
機油	1.41	7.01	7.3121	4.13	7.2910	3.85

表7：干涉條紋寬度與液體折射率關係試算結果

縫距(mm)	Δy 實驗值(mm)	Δy 理論值(mm) Excel	誤差Excel(%)	Δy 理論值(mm) Python	誤差Python(%)
0.1	7.44	7.6991	3.37	7.6149	2.30
0.2	3.33	3.9201	15.05	3.8077	12.55
0.25	3.27	3.4561	5.38	3.4061	4.00
0.5	1.49	1.5938	6.51	1.5229	2.16

表8：干涉條紋寬度與雙狹縫縫距關係試算結果

二、改用長方形容器，利用與討論一類似的方法，計算干涉條紋寬度理論值。

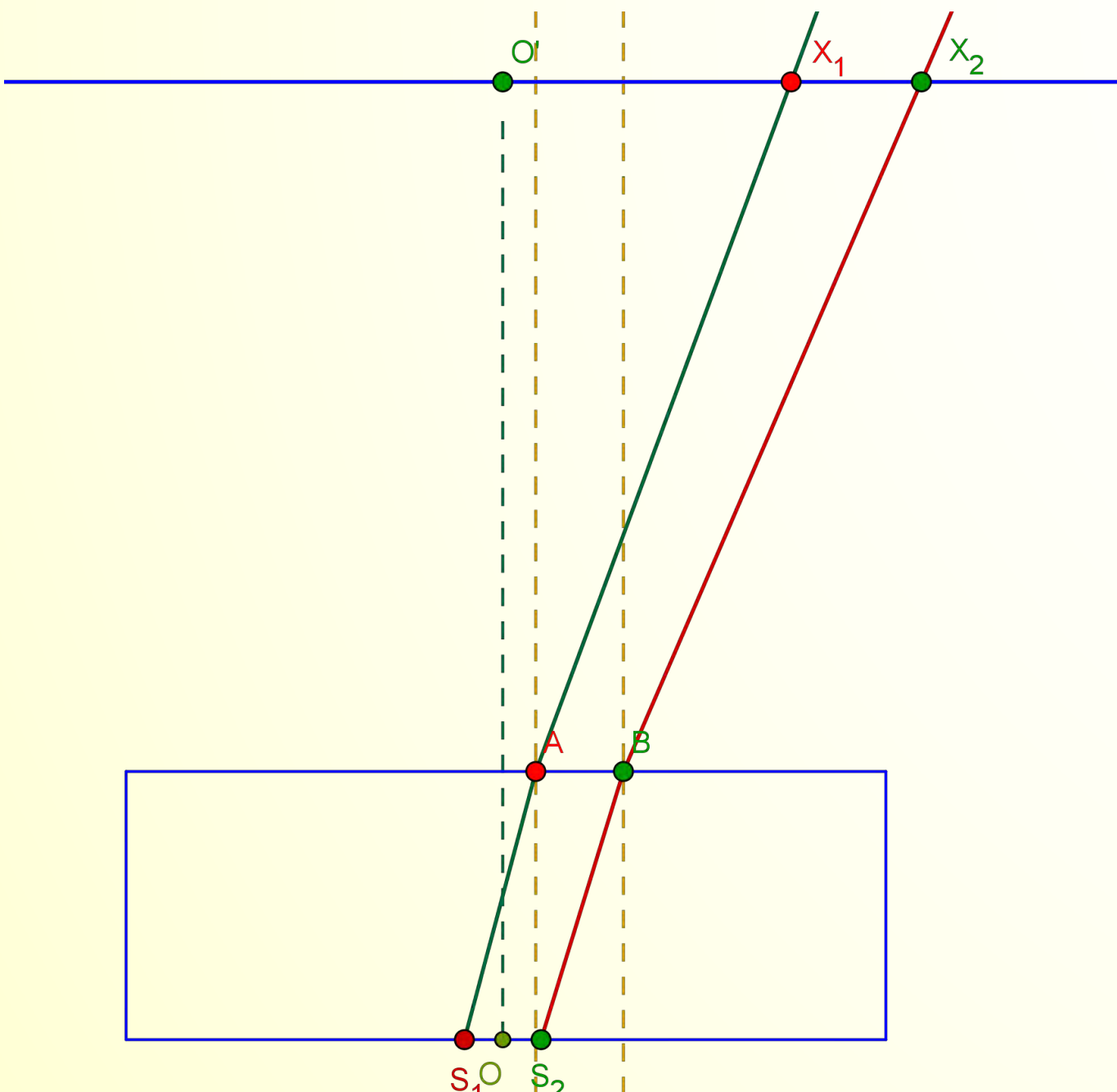


圖 16：於雙狹縫前放置長方形盒子的光徑圖

容器長度(cm)	Δy 實驗值(mm)	Δy 理論值(mm)	誤差(%)
5	8.83	9.2543	4.58
10	9.13	9.1789	0.53
15	8.84	9.1088	2.95

表 9：干涉條紋寬度與長方形容器長度關係試算結果

液體	折射率	Δy 實驗值 (mm)	Δy 理論值 (mm)	誤差(%)
水	1.35	8.83	9.2543	4.58
甘油	1.48	8.94	9.2378	3.23
酒精	1.36	8.94	9.2544	3.40

表 10：干涉條紋寬度與長方形容器內液體折射率關係試算結果

柒、結論

- 一、將透明半圓形容器放在雙狹縫片的前方，將狹縫片放置於容器圓心處
 - (一) 干涉條紋寬度與容器大小無關
 - (二) 干涉條紋寬度與容器中液體的折射率成反比
 - (三) 干涉條紋寬度雙狹縫縫距成反比
- 二、雖然空氣中的光徑較長，半圓形容器中的光徑較短，但光程差是由容器中的光徑決定。
- 三、試算表軟體在大量計算限制較多，很難精準地算出兩道光線要經過容器壁上何處才能打到屏幕上相同的位置。後來我們改用Python程式計算理論值，利用迴圈及判斷式可以很快速又精準地找到亮紋、暗紋的位置，大幅改善理論計算的精準度。
- 四、若在狹縫前方的容器改為長方形，容器的長度、容器內液體的折射率幾乎不會影響干涉條紋寬度，透過理論計算我們發現，空氣中的光程差大約是容器內光程差的9倍，因此干涉條紋寬度主要是由空氣中的光程差決定。