

# 實驗 光學實驗--透鏡焦距、折射率、偏振、干涉與繞射實驗

編者：國立清華大學物理系普物實驗室



[\[A\]薄透鏡焦距之量測](#)

[\[B\]壓克力的折射率](#)

[\[C\]光的偏振](#)

[\[D\]單狹縫繞射](#)

[\[E\]雙狹縫繞射](#)

[\[F\]多狹縫繞射---光柵](#)

[\[延伸實驗\]利用手機或數位相機擷取干涉及繞射數據](#)

---

## [雷射安全規則]

1. 雷射光會對視網膜造成永久傷害，切記千萬不可將雷射光射入自己或他人的眼睛。
2. 從光滑表面反射的雷射光也可能傷害到眼睛，實驗操作中應隨時留意，不可使雷射光反射到自己或他人的頭部。
3. 高功率的雷射光(綠光雷射的穿透力特別強，尤其要注意)，縱使經過器材散射之後，也可能對人體造成傷害。無論是操作人員或參觀者都要嚴格遵守有關的安全規定。

## [A] 薄透鏡焦距量測

一、目的：利用幾何光學透鏡的成像原理，測量透鏡的焦距。

二、原理：

1. 當一束平行光射入凸透鏡時，這束平行光會聚集在透鏡的焦平面上而形成一點，如圖1所示。

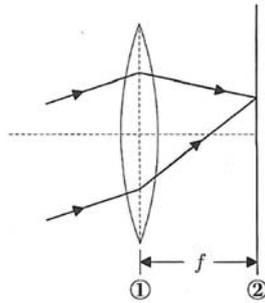


圖1 凸透鏡的焦平面：①凸透鏡，②光屏

依據透鏡成像公式：

$$\frac{1}{S_o} + \frac{1}{S_i} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

式中  $S_o$  為物距， $S_i$  為像距， $f$  是為焦距。對射入透鏡的平行光源束而言，可視物距  $S_o$  為無窮大，故根據(1)式，像距應為  $S_i = f$ 。

2. 當平行光束經過如圖2所示的凹透鏡與凸透鏡之組合時，如果這兩個透鏡的焦點重合，則由右側入射進凹透鏡的平行光束，雖經凹透擴散後，但再經由位於凹透鏡焦點上的凸透鏡射出後的光，仍會是平行光束。

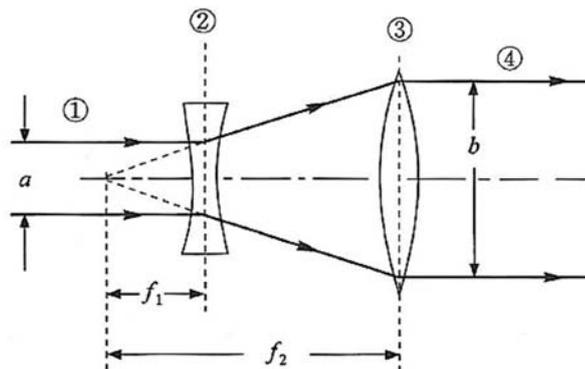


圖2 雷射光擴束器：①入射光 ②凹透鏡 ③凸透鏡 ④出射光。

此一光學現象，提供了下列兩項有用的應用：

- (1) 可利用一已知焦距的凸透鏡來測量凹透鏡的焦距。
  - (2) 原截面積較小的平行光束可利用此原理獲得到截面較粗的平行光束，光束截面直徑的比值  $b/a$  隨  $f_2$  增大而變大。雷射光學實驗中常用的光線擴束器 (beam expander) 即是運用此技術。
3. 當一束光經過一平板玻璃時，因會在玻璃二平行面之間反覆反射，以致可將一束光線反

射形成幾道平行光線，如圖3，故也可以使平行光束的截面擴大。

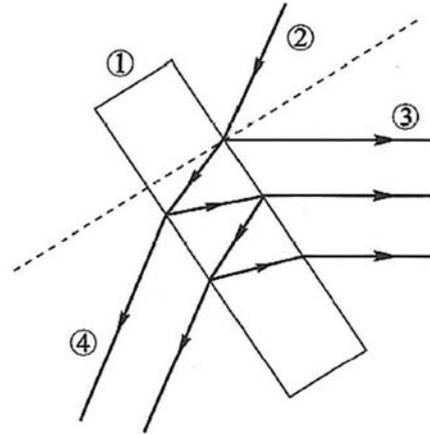


圖3 平板厚玻璃也可使平行光截面擴大。

①平板厚玻璃 ②入射光 ③反射光 ④透射光。

### 三、儀器

綠光雷射(波長532 nm)、凸透鏡、凹透鏡、10 mm厚的平板玻璃(或壓克力)、直尺、光學台、光學支架、光屏。

### 四、步驟

#### (一)凸透鏡的焦距

1. 如圖4所示，將平板玻璃(或壓克力)、凸透鏡及光屏架在光學台上。雷射光通過平板玻璃(或壓克力)後會產生兩道較強的平行光束，凸透鏡將此兩平行光束聚焦於焦平面。

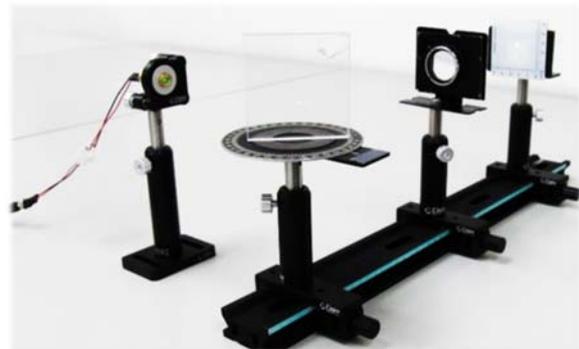
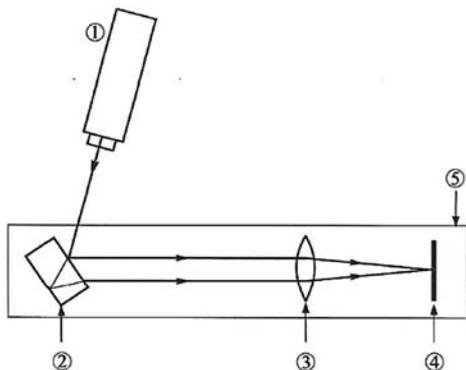


圖4 凸透鏡焦距測量的實驗架設示意圖與實體架設照片：

①綠光雷射 ②平板玻璃(或壓克力)壓克力 ③凸透鏡 ④光屏 ⑤光學台。

2. 移動光屏(4)位置，找出可使平行光束聚成一點的位置，測量凸透鏡到光屏的距離。
3. 重覆步驟2多次，利用所得數據求出凸透鏡的焦距，請以“平均值±平均標準差”的方式表示結果。

#### (二)凹透鏡的焦距

1. 在已知焦距的凸透鏡前放一凹透鏡，裝置如圖5。

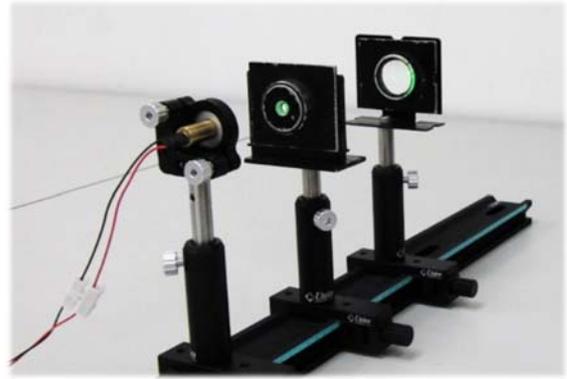
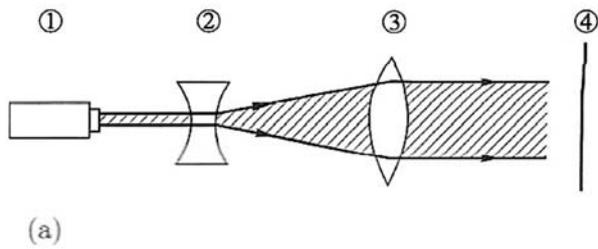
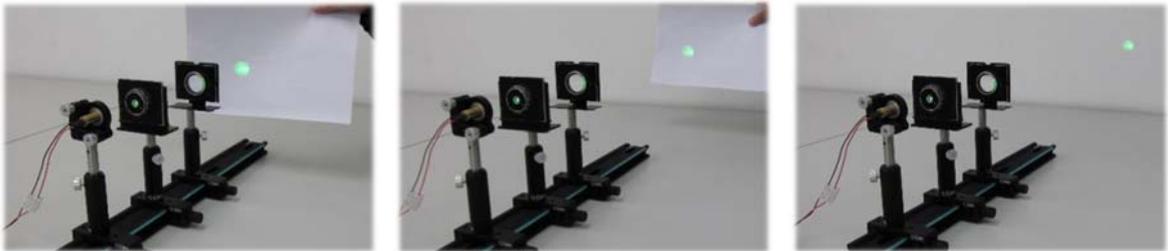


圖5 凹透鏡焦距測量實驗架設示意圖與實體架設照片：

①綠光雷射 ②凹透鏡 ③凸透鏡 ④光屏

2. 移動凹透鏡位置，直到從凸透鏡射出的光束是平行光束。你如何判斷是否為平行光束？



3. 重覆上述步驟2多次。求出凹透鏡的焦距，請以“平均值±平均標準差”的方式表示焦距。

## 五、問題

1. 如何檢驗光束是否為平行光束？
2. 若入射光線不平行於鏡軸時，焦距處的成像會有何變化？
3. 厚透鏡的成像公式為何？
4. 測量凹透鏡焦距的方法中，若二個透鏡的順序相反時，會有何結果？
5. 請推導圖2中，入射和射出之兩平行光束截面大小的比值 $b/a$ 與透鏡焦距 $f_1$ 及 $f_2$ 間的關係。

## [B] 壓克力的折射率

一、目的：測量壓克力材質的折射率。

二、原理：

光在真空中行進的速度已證實為光速  $c$ ，但若在物質介質中，則以低於光速的速率  $v$  行進，科學上經常使用**折射率**  $n$  參數描述光在介質中的傳遞速率與光速  $c$  間的比值，即  $n = c/v$ 。

若能測得材料介質的折射率  $n$ ，就可知道光在該介質內的行進速度  $v = c/n$ ，並可推導出光的路徑。故對光學領域的探討而言，光學材料的折射率  $n$  是一個很重要的參數。本實驗將根據下列兩個物理原理與現象，測量壓克力材質的折射率  $n$ 。

(1) **司乃耳折射定律(Snell's refraction law)**：光行經兩個具不同折射率  $n_1$  和  $n_2$  的材料介質的介面時，光線的行進路徑會根據下列 Snell 定律的公式產生偏折的折射現象，

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

其中  $n_1$  及  $n_2$  分別表兩材料介質的折射率， $\theta_1$  和  $\theta_2$  則為光線分別在介質 1 和 2 內行進時，與兩介質交界面處之法線間的各別夾角，如圖 6 所示。

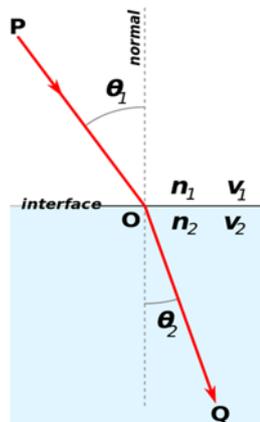


圖 6 司乃耳折射定律(Snell's infraction law)的示意圖。

因  $n = c/v$ ，故 Snell 定律的折射公式，也可改寫成如下的式子。

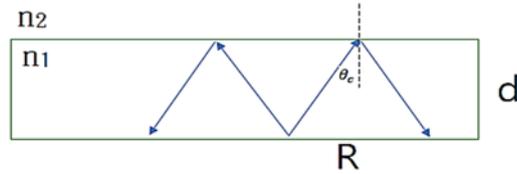
$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

(2) **全反射(Total internal reflection)**：當光線從密介質  $n_1$  進入折射率  $n_2$  較低的疏介質時，若光線的入射角度  $\theta$  大過某一角度(稱為臨界角  $\theta_c$ )時，則入射光將完全無法射進疏介質內，反而會在介面處完全被反射回介質 1，故稱之為全反射現象。根據司乃耳定律，若能測得密介質 1 到疏介質 2 的臨界角  $\theta_c$ ，則可得介質 2 的折射率  $n_2$  如下式所示：

$$n_2 = n_1 \sin \theta_c \rightarrow \theta_c = \sin^{-1}(n_2/n_1) = \sin^{-1}(\text{疏介質折射率}/\text{密介質折射率})。$$

反之，若已知  $n_1$  和  $n_2$ ，則可估算得兩介面間全反射的臨界角  $\theta_c$ 。

當光經過厚度  $d$  的壓克力造成全反射時



$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ \quad ; n_2 (\text{空氣中的折射率}) = 1$$

$$n_1 = \frac{1}{\sin \theta_c} = \frac{\sqrt{d^2 + \left(\frac{R}{2}\right)^2}}{\frac{R}{2}}$$

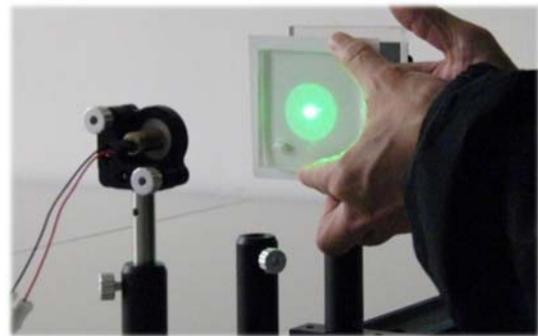
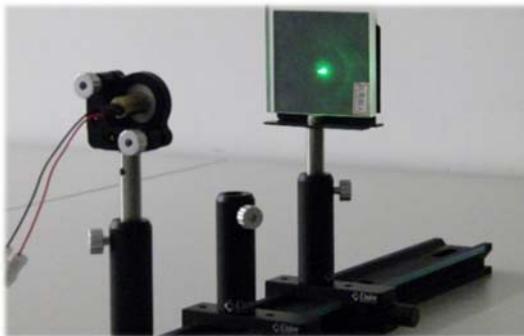
### 三、儀器：

綠光雷射(波長 532 nm)、手持式雷射測距儀、8 cm x 8 cm x 1 cm 單面透明之壓克力平板(另一面為非光滑霧面)、雙面光滑透明的 8 cm x 8 cm x 1 cm 壓克力平板、3 cm x 3 cm x 40 cm 具方形橫截面的長條型壓克力棒、光學台、光學支架。

### 四、實驗步驟：

以下各項實驗測量，請至少取五組以上的實驗數據，再求算折射率的平均值與標準差

- 單面光滑透明之壓克力平板的折射率測量：將壓克力板的透明面面對雷射光源，平板的霧面後置放一片黑色底板，如圖7(a)所示，綠光雷射從壓克力板的透明面垂直射入壓克力板內；(i)請紀錄雷射光射入壓克力板後所呈現的現象；(ii)請解釋產生此現象的原因；(iii)根據觀察結果，推算壓克力的折射率。
- 雙面光滑透明之壓克力平板的折射率測量：如圖7(b)所示，壓克力平板背面置放一片白色底板。(i)紀錄雷射光垂直射入壓克力板後所呈現的結果；(ii)請說明產生此結果的原因；(iii)推算此壓克力板的折射率；(iv)與上述觀察所得結果與折射率測量結果比較，請列出異同之處，並說明異、同現象的原因。



(a)單面透明平板於霧面後加裝黑色底板

(b)雙面光滑透明面的平板後加白色底板

圖7 單面透明與雙面透明壓克力平板之折射率測量的實驗裝置圖。

- 測量長條型壓克力棒的折射率：若改以長度約40cm的長條型壓克力棒(橫截面積約)作為待測物，並以手持式雷射測距儀測量壓克力材質的折射率。請問該如何測量，請詳細說明您的測量步驟和折射率的推導流程。



圖8 以手持式雷射測距儀測量壓克力材質之折射率的實驗器材。

- (a) 先檢驗雷射測距儀的準確度：將測距儀置於實驗桌上，前端距離牆面(或螢幕)約 40 cm (足夠插入壓克力棒)，分別以一般尺及測距儀測量 5 次，比較兩種方法測量的結果，並分析之。

次數 實驗器材	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
鋼尺						
雷射測距儀						

- (b) 延續步驟(a)，分別測量光路中加入壓克力棒和沒加壓克力棒的距離 5 次。壓克力棒盡量靠近牆面。壓克力棒長度 = \_\_\_\_\_ cm。請分析您的測量結果。

次數 實驗器材	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
加壓克力棒						
無壓克力棒						

## [C] 光的偏振效應

一、目的：觀察可見光的偏振現象，驗證馬路斯定律(Malus' law)及利用布魯斯特角(Brewster's angle)測量物質的折射率。

二、原理：[https://en.wikipedia.org/wiki/Brewster%27s\\_angle](https://en.wikipedia.org/wiki/Brewster%27s_angle)

可見光是波長在400至700 nm之間的電磁波。電磁波的電場和磁場的方向互相垂直，且均垂直於波動行進的方向，習慣上把電場的方向定為電磁波的偏振(polarization)方向。一般光源發出的光，電場並沒有特定的方向，故稱為非偏振光(unpolarized light)。可以利用光學元件或具偏光效應的材料將非偏振光的電場分解出某個特定方向的分量，以得到偏振光。

最簡單的方法是使光通過一片線偏振片(linear polarizer)，此偏振片只能容許某個偏振方向的光通過，而吸收其他偏振方向的光，如圖7(a)所示的示意圖。由於電場遵守重疊原理，光波的電場可以分解成兩個互相垂直的分量如圖7(b)所示，一個分量與偏振片的偏振方向平行，稱為穿射軸(transmission axis)；另一個方向則是與之垂直。因此，光經過偏振片時，和其偏振方向平行的分量可以完全通過，而垂直其偏振方向的分量，則幾乎完全被吸收。

圖7(b)中， $\theta$  為入射光的電場和偏振片之偏振軸間的夾角，因此平行於偏振片的偏振方向之電場分量  $E_{\parallel} = E \cos\theta$ 。由於光強度和電場強度的平方成正比，所以通過偏振板後，光強度和  $\cos^2\theta$  成正比，這個穿透強度與偏振軸角度間的關係稱為馬路斯定律(Malus' law)。

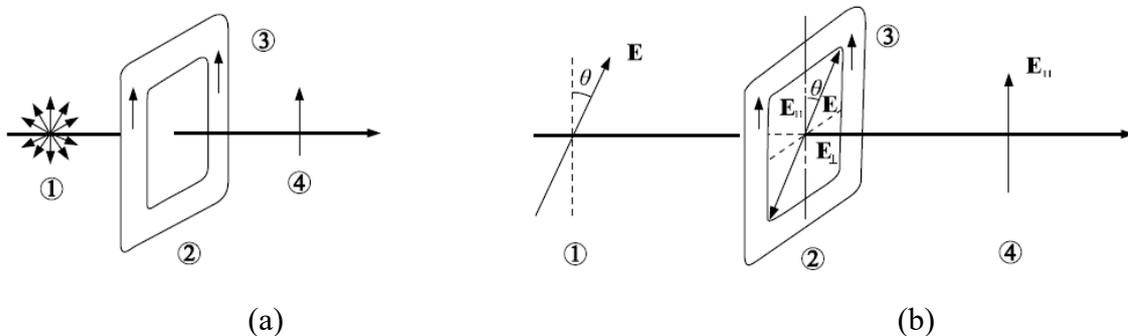


圖7 偏振片對電磁波的偏光作用。(a)①非偏振光源，②偏振片，③偏振方向，④偏振光；(b)①線性偏振光，②偏振片，③偏振方向，④不同方向的線偏振光。

另一個得到偏振光的簡單方法，是利用不同偏振方向的光具有不同的反射率，如圖8所示。當光從介電質(dielectrics)的表面反射時，如果入射角等於布魯斯特角(Brewster's angle)  $\theta_B$ 時，則反射光只有偏振方向垂直於入射面<sup>†</sup>的成份；偏振方向平行於入射面的成份則完全穿透，沒有反射。所以，布魯斯特角是使反射光完全偏振的入射角，也稱為偏振角(polarization angle)。

當入射角為布魯斯特角  $\theta_B$ 時，反射光與折射光方向互相垂直。此時介質折射率  $n$  與布魯斯特角的關係如下：[https://en.wikipedia.org/wiki/Brewster%27s\\_angle](https://en.wikipedia.org/wiki/Brewster%27s_angle)

$$n = \tan \theta_B \quad (3)$$

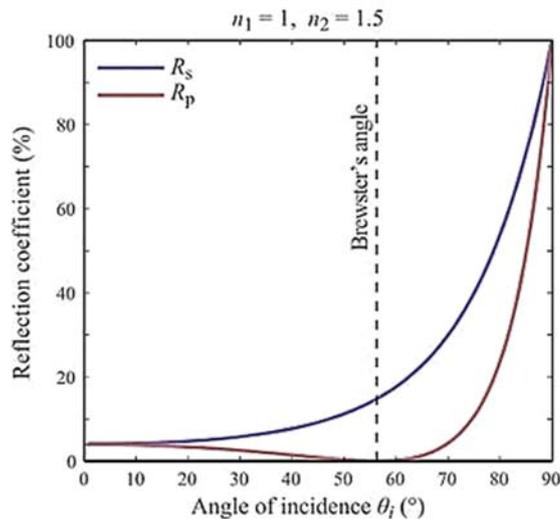


圖8 玻璃板的反射率隨入射角的變化。p-polarization (偏振平行入射面)在入射角等於Brewster角時，反射率為零。

### 三、儀器

波長532 nm的綠光雷射、光學台、光學支架、角度台、智慧型手機、偏振板<sup>+2</sup>三片、10 mm厚的玻璃或壓克力一片。

### 四、步驟

1. 首先找出偏振片的偏振軸方向：透過偏光片，並旋轉偏光片觀察桌面或走廊地面的反射光隨偏光片之偏振軸方向改變而產生反射光度的變化，據此可找出偏振片的偏振方向。請說明如何利用此實驗結果決定偏振片的偏振方向，並說明其工作原理。
2. 手機下載 Light Meter 或光度測量相關的APP，在手機環境光感測器(通常位於前置鏡頭旁)上固定一偏振片；並再加上另一張偏振片，轉動此偏振片，同時記錄穿透光強度隨角度的變化情形。
3. 在步驟 2 中，將兩片偏光片的偏振軸調整到光度最弱時，在兩偏振片之間加入第三片偏振片。然後，轉動第三片偏振片，觀察光強度的變化；請紀錄最強及最弱時，這三片偏振片的偏振軸方向間的關係。
4. 將雷射、厚平板玻璃及偏振片裝置如圖9，調整雷射出口處偏振片(2)的方向，使光的偏振方向為水平偏振。

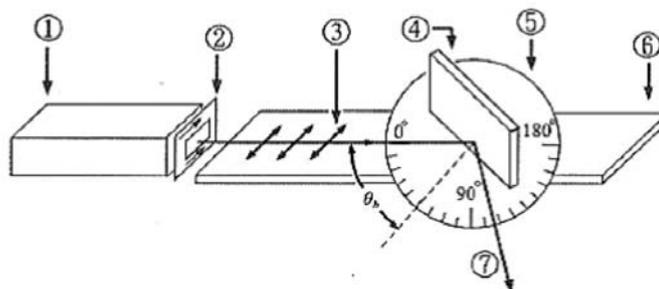
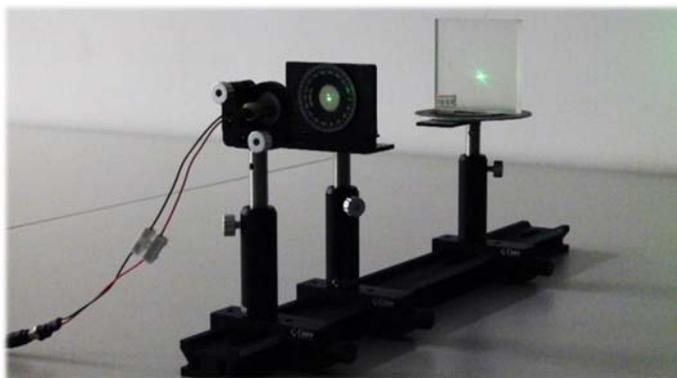


圖9 布魯斯特角 $\theta_B$ 的測量，入射光為偏振光。①綠光雷射，②偏振片，③偏振

化入射光，④約10 mm厚玻璃片或壓克力，⑤角度調整台，⑥光學台，⑦反射光  
為最弱時，入射角 =  $\theta_B$ 。

5. 轉動角度調整台⑤，改變雷射光束②對玻璃片④的入射角，觀察光強度的變化，當反射光⑦最弱時的入射角便是布魯斯特角。量出此角度 $\theta_B$ ，計算出玻璃片的折射率。



6. 重覆步驟4和5，調整入射角等於布魯斯特角。記下折射光與反射光的方向，測量入射角及折射角，驗證折射光是否與反射光垂直。
7. 取下偏振片，驗證反射光的偏振方向是否為鉛直。

<sup>t1</sup> 注意：入射面 (Plane of incidence) 是指包含法線及入射光的平面。

<sup>t2</sup> 偏振板的製作材料是聚合物 (polymer)，使用時請小心，切勿使其與桌面或其他器物表面摩擦而造成永久性的破壞。

## 五、問題：

1. 將雷射光通過二片偏振片，當兩片偏振片的偏振方向互相垂直時，沒有光通過。試解釋其原因。
2. 若在上題的兩片偏振板之間另加一片偏振片(即步驟3)，只要它的偏振方向和原來兩片的偏振方向不同，總會有少量的光透過。試以電場的重疊原理說明這個現象。
3. 步驟6所得結果，折射光與反射光是否垂直？請解釋你的答案。
4. 有些新式墨鏡是以偏振型塑膠薄片（或在普通鏡片上貼一層偏振膜）製成的，你能決定其偏振方向嗎？請說明理由。

## [D]單狹縫繞射

一、目的：觀察雷射光經過單狹縫的繞射現象。

二、原理：

### 1. 惠更斯原理：

在幾何光學中，常將光當作沿直線行進，但是如果光在行進中遇到障礙物，就會發生繞射現象。當障礙物的大小與波長接近時，繞射現象會非常顯著。根據惠更斯原理(Huygens' principle)，波前(wavefront)上的任一點均可視為一個次波源，發出一球面波。當一束光線通過一個狹縫時，狹縫中任一點均可視為一個波源，而在屏幕上所觀察到的光，便是來自狹縫中的各點之光波根據重疊原理(principle of superposition)相加的結果。來自狹縫中各個點的光波因光程(optical path)不相同，相位(phase)也就不同，結果便在屏幕上發生了干涉(interference)現象，造成單狹縫繞射(single slit diffraction)圖形。

### 2. 單狹縫繞射強度：

一束平面波的電場可以表示為 $\vec{E}(x, t) = \vec{E}_0 \sin(kx - \omega t)$ 。如圖 10 所示，當平面波到達狹縫處， $\vec{E}(x, t) = \vec{E}_0 \sin(-\omega t)$ ，P 點處之電場 $\vec{E}$ 為來自狹縫中各點的電場線性相加的結果。假設 P 點與狹縫中央點 O 之間的光程為  $l$ ，則由 O 點而來之電場為  $b\vec{E}_0 \sin(kl - \omega t) dy$ ，其中  $b$  為電場傳播到 P 點時之衰減值，與距離成反比。

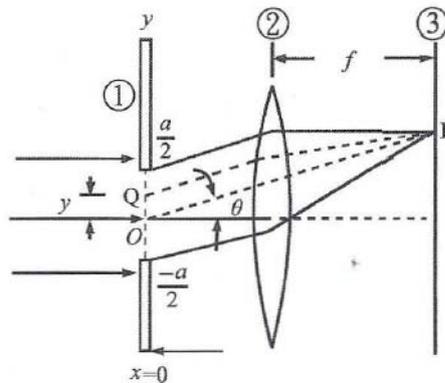


圖 10 單狹縫繞射的分析：①單狹縫，寬度為  $a$  ②凸透鏡 ③白屏。

因此狹縫中任一點 Q 與 P 點間的光程為  $l - y \sin \theta$ ；如此，來自 Q 點的電場則為  $b\vec{E}_0 \sin(k(l - y \sin \theta) - \omega t) dy$ ，所以：

$$\begin{aligned}\vec{E}(\theta) &= b\vec{E}_0 \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \sin(kl - \omega t - ky \sin \theta) dy \\ &= b\vec{E}_0 \left[ \frac{\cos(kl - \omega t - ky \sin \theta)}{-k \sin \theta} \right]_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= b\vec{E}_0 \frac{\left[ \cos\left(kl - \omega t - \frac{ka}{2} \sin\theta\right) - \cos\left(kl - \omega t + \frac{ka}{2} \sin\theta\right) \right]}{k\sin\theta} \\
&= b\vec{E}_0 \sin(kl - \omega t) \sin\left(\frac{ka}{2} \sin\theta\right) \frac{2}{k\sin\theta} \\
&= ab\vec{E}_0 \sin(kl - \omega t) \frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin\theta\right)}{\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin\theta\right)} \\
&= ab\vec{E}_0 \sin(kl - \omega t) \frac{\sin(\alpha)}{\alpha}
\end{aligned}$$

其中  $\alpha = (\pi a \sin\theta)/\lambda$ 。因此， $I(\theta) = b^2 a^2 \vec{E}^2 \sin^2(kl - \omega t) \frac{\sin^2(\alpha)}{\alpha^2}$ 。繞射光強度  $I(\theta)$  在  $\theta = 0$  處為最大；如果  $\alpha = m\pi$ ， $I(\theta) = 0$ ，此時  $\alpha = (\pi a \sin\theta)/\lambda = m\pi$ ，表示在  $\theta = \sin^{-1}(m\lambda/a)$  處出現暗紋， $I(\alpha)$  和  $\alpha$  之關係如圖 11 所示。

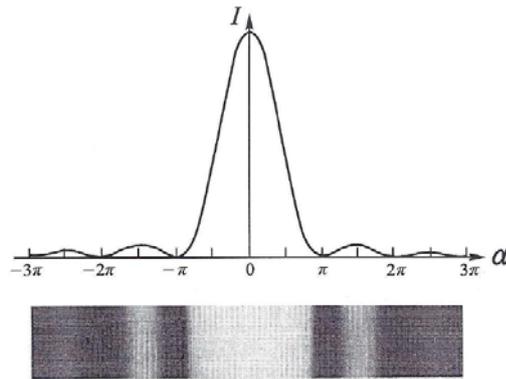


圖 11 單狹縫繞射圖形  $I(\alpha)$  與  $\alpha$  的關係圖，其中  $\alpha = (\pi a \sin\theta)/\lambda$ 。本圖取自 H. Benson: University Physics, Revised ed. (1995), Fig 38.6, p. 784

### 三、儀器

綠光雷射(波長 532 nm)、光學台、光學支架、單狹縫片。

### 四、步驟

1. 在光學台上，雷射前架一單狹縫膠片，調整狹縫片，使雷射光通過其上的單狹縫之一。



2. 調整單狹縫支架使雷射光在白屏(或牆)上產生三點或五點之繞射圖樣，請仔細畫下其圖形並用手機拍攝紀錄。
3. 調整單狹縫片使雷射光通過不同的單狹縫，重覆步驟 3~4，至少共做三次。
4. 利用前面的結果，並讀取狹縫寬度以及狹縫到屏幕的距離，求出雷射光的波長。
5. 剪一根頭髮，重複上面步驟，紀錄繞射圖形並計算頭髮直徑。
6. 使用游標尺測量頭髮直徑，與步驟 6 結果比較。
7. 將平移台移開，調整膠片使雷射光分別通過不同形狀的小孔(如“○”、“□”、“△”)，觀察且畫下各對應繞射圖型，並作比較。請解釋其形成的原因。

#### 五、問題:

1. 頭髮的繞射圖形和單狹縫繞射圖形有何異同。如何利用頭髮的繞射圖形測量頭髮直徑？

## [E] 雙狹縫繞射

一、目的：觀察光經過雙狹縫的繞射現象，學習由繞射圖形推算雷射光的波長。

二、原理：[https://en.wikipedia.org/wiki/Double-slit\\_experiment](https://en.wikipedia.org/wiki/Double-slit_experiment)

光經過寬度相等且互相平行的兩個狹縫(狹縫的寬度與光的波長數量級相當)後，形成兩個相同的繞射圖形。如果這兩個狹縫很靠近，這兩繞射圖形會重疊，因而產生互相干涉，使繞射圖形裡出現干涉條紋，如圖12所示之干涉亮紋的情形。

干涉亮紋出現的位置可以由下面公式約略推算得：

$$d \sin \theta \approx m\lambda \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (6)$$

上式中， $d$ 為兩個狹縫的中央線之間的距離， $\theta$ 為第  $m$  條亮紋與中央亮紋之間的夾角。

干涉暗紋的位置滿足：

$$d \sin \theta \approx (m - \frac{1}{2})\lambda \quad (7)$$

上式中， $\theta$ 為第 $m$ 條“暗紋”與兩狹縫間的中央線之連線與入射光間的夾角。

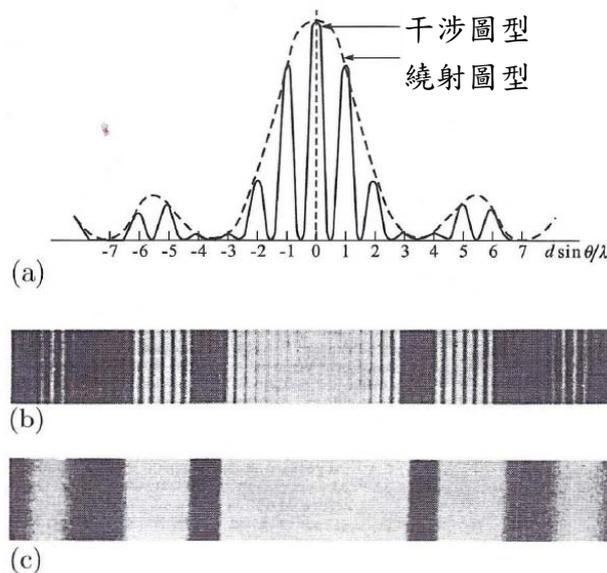
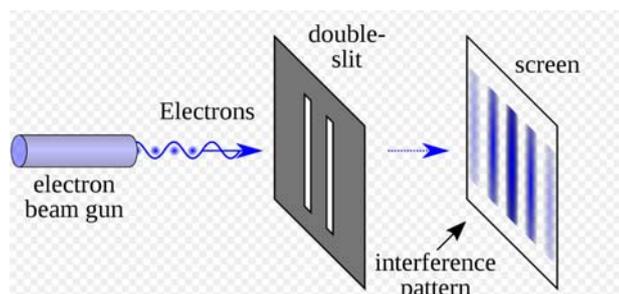
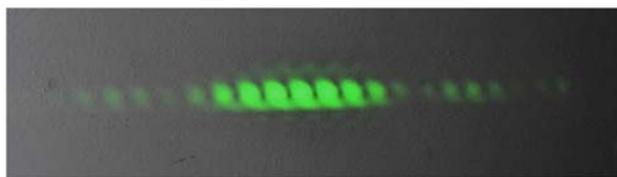


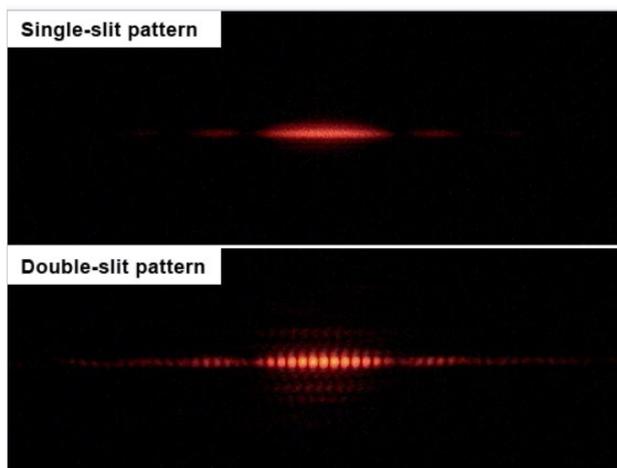
圖12 雙狹縫干涉紋：(a)強度分佈圖， $d/a=3.5$ ， $d$ 為兩狹縫中央間距離， $a$ 為狹縫寬度；(b)雙狹縫干涉紋；(c)將(b)的雙狹縫遮掉其中之一而成的單狹縫繞射圖形。[本圖取自D. Halliday & R. Resnick: Fundamental of Physics, 6th ed. extended version, Fig. 37-14, p. 902. ]



- (a) Photons or particles of matter (like an electron) produce a wave pattern when two slits are used.



- (b) Light from a green laser passing through two slits 0.4mm wide and 0.1mm apart.



- (c) Same double-slit assembly (0.7 mm between slits); in top image, one slit is closed. In the single-slit image, a [diffraction pattern](#) (the faint spots on either side of the main band) forms due to the nonzero width of the slit. This diffraction pattern is also seen in the double-slit image, but with many smaller interference fringes.

Fig. 12-1 double-slit diffraction. [https://en.wikipedia.org/wiki/Double-slit\\_experiment](https://en.wikipedia.org/wiki/Double-slit_experiment)

三、儀器：綠光雷射(波長 $\lambda = 532 \text{ nm}$ )、光學台、光學支架、雙狹縫片。

#### 四、步驟

1. 將雷射光沿水平垂直射到約1公尺遠的空白牆壁或白色屏幕上。
2. 在光學台上，以支架將雙狹縫板安裝在雷射光的路徑上。
3. 調節雙狹縫板的位置，使雷射光經過第一組狹縫。
4. 觀察牆上的繞射紋，用紙在繞射紋位置，上畫下<sup>+1</sup>大概的圖形，或拍下實驗結果。測量出各繞射的干涉暗紋之間的距離。(注意：不可在牆上塗畫任何符號。)
5. 仔細觀察繞射紋亮度變化的情形，辨認出單狹縫繞射造成的亮度變化和雙狹縫干涉造成的亮度變化。
6. 量取雙狹縫板到牆的距離。由(6)式概略算出雷射光的波長。
7. 依次使雷射光經過第二、三、四組狹縫，觀察繞射的干涉紋變化，重覆步驟4~6。

## [F]多狹縫繞射---光柵

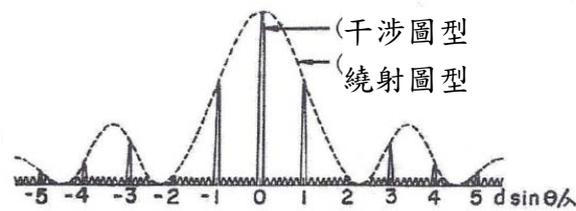
一、目的：觀察多狹縫繞射的現象，並由其繞射圖形推算雷射光的波長。

### 二、原理

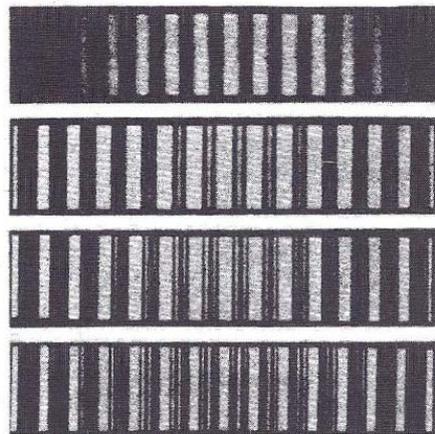
光通過一系列寬度相同、互相平行且等間距的狹縫後，形成一系列相同的繞射紋。若狹縫之間距離很小，這一系列的光束會重疊而互相干涉，使繞射紋裡出現非常狹窄的干涉亮紋，如圖13所示。當狹縫的數目極多時，主要的干涉亮紋會變得非常狹窄而明亮，次要干涉亮紋會變得微弱而不可見。也就是說，這時候光被集中到狹窄的亮紋上，這個特性可以用來分析光譜。主要亮紋的位置可由下面公式推算：

$$d \sin \theta = m\lambda \quad (8)$$

上式中， $d$ 是相鄰兩狹縫中央線之間的距離， $\theta$ 是第 $m$ 條主要干涉亮紋與光柵中央線的連線跟入射光之間所形成的夾角。



(a)



(b)

圖13 多狹縫繞射紋的強度分佈：(a)多狹縫繞射圖樣的強度分佈圖(狹縫數 $N = 8$ )；(b)由上至下依次為雙狹縫，三、四及五狹縫的繞射圖樣。[圖(b)取自 R. A. Serway, Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, p.801.]

三、儀器：綠光雷射(波長532 nm)、多狹縫光柵板、直尺、光學台、光學支架。

### 四、步驟

1. 將雷射光沿水平垂直射到約1公尺遠的牆上。
2. 在光學台上，將光柵板安裝在雷射光的路徑中。
3. 調節光柵板的位置，使雷射經過第一款光柵。
4. 觀察牆上的繞射紋，在紙上畫下<sup>+1</sup>它的大概圖形，並且量出各亮紋之間的距離。(注意：

不可在牆上塗畫任何符號。)

5. 量取光柵板到牆的距離。由(7)式概略算出雷射光的波長。
6. 使雷射光依次經過第二、三款光柵，觀察繞射紋的改變。並重覆步驟4~5。

## 五、問題

1. 若雷射光為紅綠兩條譜線，繞射圖形會是什麼？
2. 估計本實驗量測距離的誤差？依此估計這個誤差對實驗結果( $\lambda$ 值)的影響。

## [延伸實驗 A] 利用手機或數位相機擷取繞射及干涉數據

一、目的：透過手機或數位相機擷取狹縫繞射實驗數據，分析狹縫與干涉、繞射峰值之關係。

### 二、原理

1. 單狹縫繞射(Single-slit Diffraction)：光經過單狹縫後形成一繞射紋。如圖 14 所示。

繞射暗紋的位置可以約略由下面公式算出：

$$a \sin \theta = m\lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (9)$$

上式中， $a$ 為狹縫寬度， $\theta$ 為第 $m$ 條“暗紋”與狹縫的中央線之連線跟入射光之間的夾角。

2. 雙狹縫干涉(Double-Slit Interference)：

光經過寬度相等且互相平行的兩個狹縫後形成兩個相同的繞射圖形。如果這兩個狹縫很靠近，這兩部份的光會重疊而互相干涉，使繞射圖形裡出現干涉條紋，這正是圖15所示干涉亮紋的情形。干涉亮紋的位置可以約略由下面公式算出：

$$d \sin \theta = m\lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (10)$$

上式中， $d$ 為兩個狹縫的中央線之間的距離， $\theta$ 為第 $m$ 條“亮紋”(中央亮紋不算)與兩狹縫間的中央線之連線跟入射光之間的夾角。

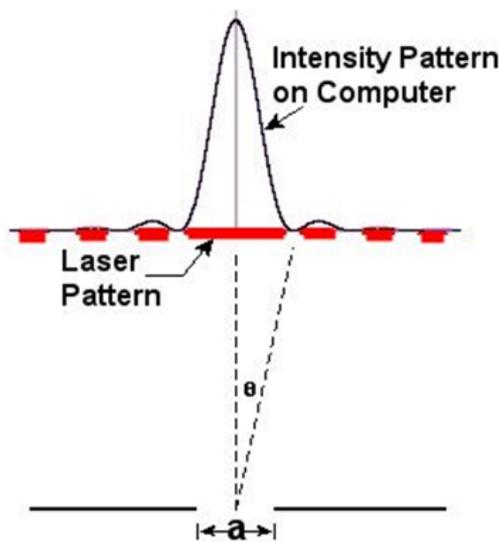


圖 14 單狹縫繞射

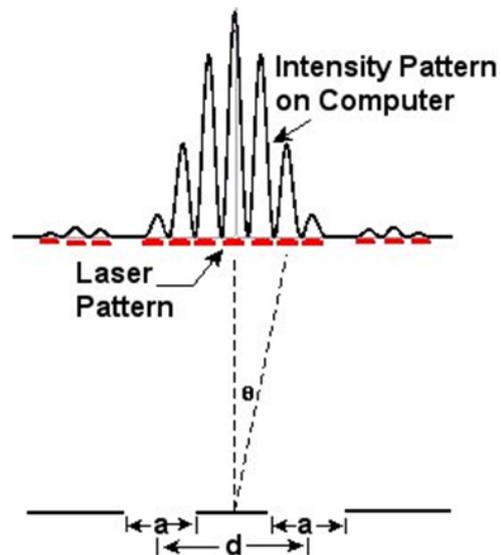


圖 15 雙狹縫干涉

三、儀器：雷射、光柵板(單，雙狹縫)、直尺、光學台、光學支架。

### 四、步驟

1. 將雷射光沿水平垂直入射至約 1 公尺遠的白屏或牆上。
2. 以 U 型支架及光學台將光柵板安裝在雷射光的路徑上。
3. 調節光柵板的位置，使雷射垂直射入第一款光柵。

4. 觀察白屏或牆上的繞射圖形，以手機或數位相機拍攝繞射圖形，將照片以沒有壓縮的RAW檔紀錄，利用參考資料[1]的方式分析繞射圖形的光強度分布。[註：不是所有數位手機具有紀錄RAW檔的功能，你也可以在網路搜尋手機紀錄RAW的APP]
5. 量取光柵板到白屏或牆的距離。由(10)式，(11)式概略算出雷射光的波長。
6. 使雷射光依次經過第二、三款光柵，觀察繞射紋的改變。並重覆步驟4~5。

## 五、問題

1. 單狹縫實驗中，狹縫寬度增加，會怎樣？在第一階的繞射最低角度會增加或減少或保持不變？若改變狹縫距離，又是會怎樣呢？

## 六、參考資料

1. M. Rossi, L.M. Gratton, and S. Oss, "Bring the Digital Camera to the Physics Lab," Physics Teacher Vol. 51, 141 (2013).