

題目名稱：菲涅耳透鏡的成像

一、摘要

當我們談到鏡頭的鏡片時，通常會聯想到平整的表面，如此可有效地將光線聚焦到特定點。然而，並非所有的鏡片都必須光滑無瑕。生活中，許多有折角的鏡片不僅可縮小鏡頭體積、減輕質量，甚至還可改善色散問題。凸透鏡的聚光特性來自曲面的曲率，若燈塔要以一般凸透鏡製作，將會質量重、體積大、成本高，承受的載具也要有更高的強度，因此，選用菲涅耳透鏡較佳。菲涅耳透鏡則是把曲面切成好幾個小段，簡化鏡片質量。我們的實驗是用「共軛成像法」驗證高斯公式，進一步確認菲涅耳透鏡是否也符合。

二、探究題目與動機

日常生活中，我們經常能夠觀察到各種物品隱藏的物理原理，許多都和使用的便利性息息相關。

在這個想法下，探討菲涅耳透鏡的應用就變得更為有趣。菲涅耳透鏡雖然和凸透鏡的功能皆為會聚光線，但是菲涅耳透鏡藉由「透鏡厚度不影響到光束前進」的概念，將厚重的凸透鏡簡化為薄透鏡結構，保留光束經折射後為平行光的特性，並重新設計焦距。目的為在保持相似光學效果的同時，可顯著降低透鏡的厚度。菲涅耳透鏡的應用範圍廣泛，從單眼相機的設備到大型光學儀器或驗鈔機的線性光斑光學件，甚至在航空器的抬頭顯示器(HUD)都能看到它的身影。因此，這次的探究不僅有助於理解現有的光學原理，還能激發創新設計，改變我們對透鏡的使用感受。

三、探究目的與假設

A.探究目的：

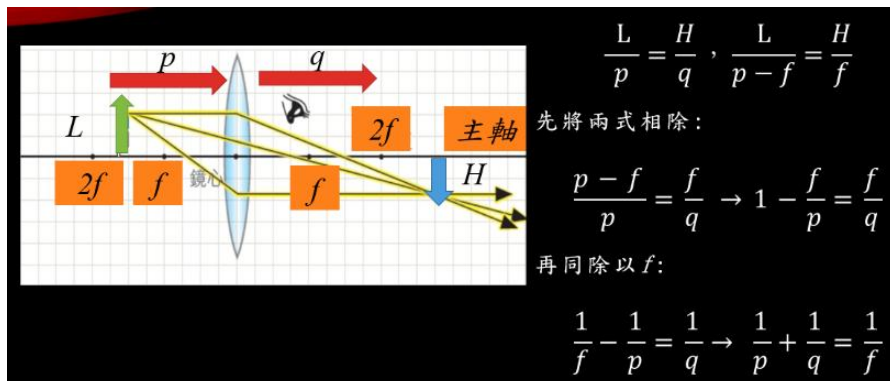
本實驗旨在透過實驗探究凸透鏡的高斯成像公式。首先，測量不同物距(p)與對應像距(q)，得到 20 筆資料，接著用線性回歸擬合與焦距計算進行數據分析，再來，用 Excel 繪製 p - q 關係圖，最後，為了確認公式精確性，再將兩軸取倒數，以 $(1/p-1/q)$ 作圖。再檢驗菲涅耳透鏡成像實驗結果是否符合高斯公式。

B.探究方法：

1. 根據幾何光學理論推算高斯成像公式：

透鏡成像依高斯公式，物距和像距的倒數和呈現性，且線性回歸數據與焦距 f 和理論相近。

證明過程：



2. 將測量誤差限縮在可控範圍內：

不同人員測量時應使用相同的方法、工具和條件，以降低誤差。

3. 觀察數據，有效驗證數據關係：

透過觀察 $1/p-1/q$ 的關係圖的趨勢是否符合斜率為-1 的趨勢線，並推算出焦距進一步跟高斯成像公式來對應。

四、探究方法與驗證步驟

(一) 研究設備與器材

凸透鏡 (本次使用放大鏡) 	光源 (本次使用燈泡) 	屏幕 (用來接收成像) 
透光十字板 (成像器材) 	光學支架 (固定所有器材) 	底部支架 (固定個別器材) 

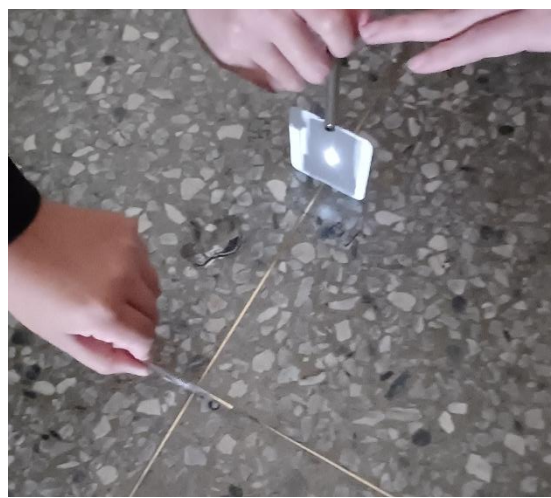
(二)實驗：

實驗 1：驗證凸透鏡與菲涅耳透鏡的聚焦效果

1. 固定光源：將 LED 與透鏡相隔 4 公尺遠，確保光源位置與亮度固定。
2. 將凸透鏡透鏡固定在光源前方，調整其與光源的距離，使光線通過透鏡後聚焦。
3. 調整透鏡與屏幕距離：移動白色屏幕，尋找透鏡形成最清晰焦點的位置。
4. 記錄此時透鏡與屏幕之間的距離（即焦距 f ）。
5. 用菲涅耳透鏡重複 1~4 步驟。



凸透鏡焦距 18.50 cm



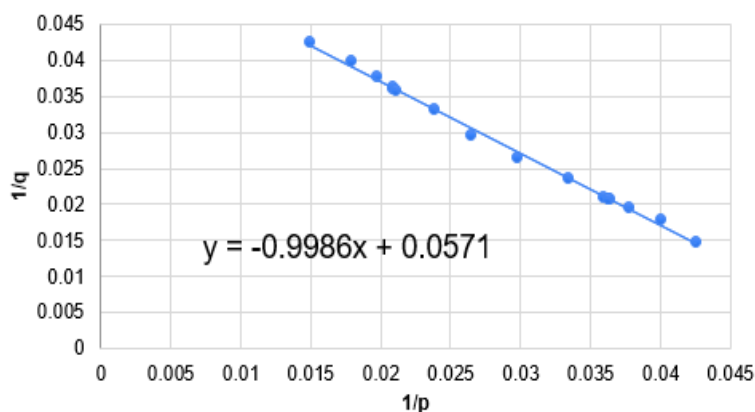
菲涅耳透鏡焦距 23.00cm

實驗 2：一般凸透鏡與菲涅耳透鏡成像分析

1. 將光學設備架設於光學軌道上。
2. 將凸透鏡透鏡固定在光源前方，調整其與光源的距離，使光線通過透鏡後在屏幕上成清晰倒立像。
 - i. 記錄此時物距(q)及像距(p)
 - ii. 在光源與屏幕之間移動透鏡再次調整至清晰成像
3. 調整屏幕與光源距離並重複步驟 2。
4. 用菲涅耳透鏡重複 1~4 步驟。

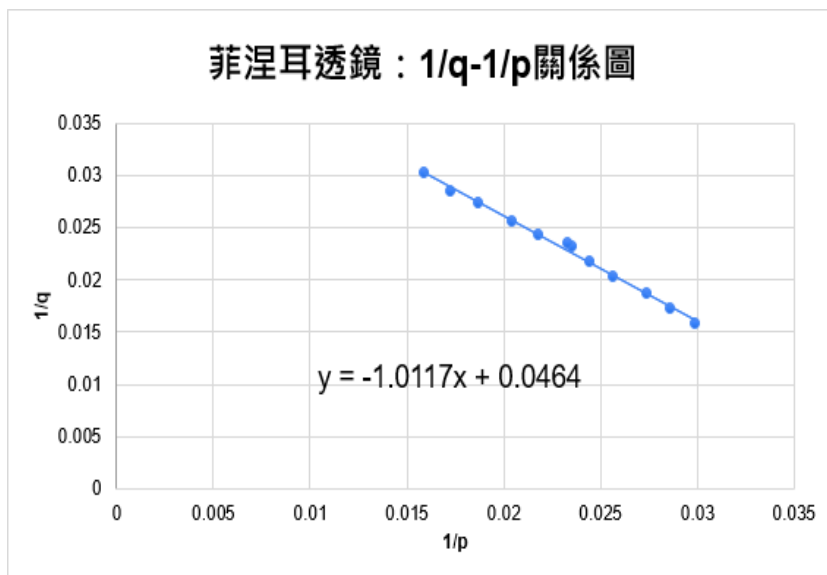
(三)實驗數據：

凸透鏡：1/q-1/p關係圖



圖(一):凸透鏡(1/p-1/q)關係圖

菲涅耳透鏡：1/q-1/p關係圖



圖(二):菲涅耳透鏡(1/p-1/q)關係圖

(四)數據分析：

1. 根據幾何光學成像公式 $\frac{1}{q} = -\frac{1}{p} + \frac{1}{f}$ 對應線性方程式 $y = -x + \frac{1}{f}$ ，由截距得透鏡焦距。

	凸透鏡	菲涅耳透鏡
斜率	-0.9986	-1.0117
截距	0.0571	0.0464
焦距	17.51 cm	21.55cm

2. 焦距結果比較：

測量方法	凸透鏡	菲涅耳透鏡
共軛成像法	17.51 cm	21.55 cm
平行光量測法	18.50 cm	23.00 cm
差距	-0.99 cm	-1.45 cm
百分誤差	5.35%	6.3%

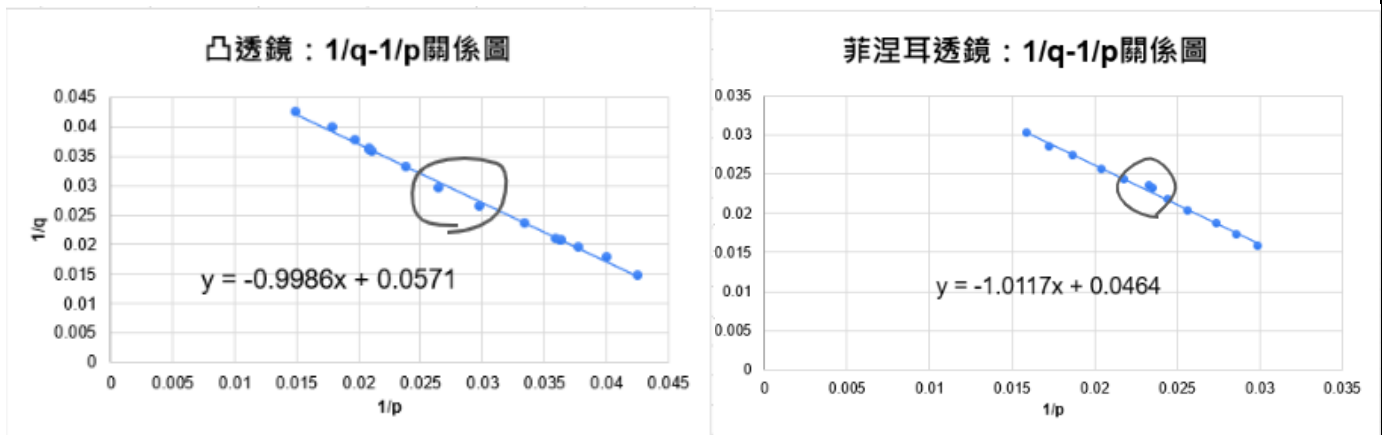
(五) 結論：

1. 透鏡外觀與結構比較：

項目	凸透鏡	菲涅耳透鏡
外觀	厚實圓弧形	扁平、有同心圓溝槽
優點	成像清晰穩定	輕薄、適合大型應用
缺點	重量大、成本高	成像可能失真，中央與邊緣焦點不同
使用場合	教學、光學儀器	投影機、太陽能集熱、攝影機對焦鏡

2. 聚光能力比較：

肉眼上觀察到菲涅耳透鏡聚焦的光圈比凸透鏡聚焦的光圈略大，在聚焦的程度上來說凸透鏡仍保有更好的聚焦特質。



(六) 實驗心得

這次的物理實驗，讓我們可以提前先了解高三物理的基本觀念、公式，在查資料的過程也有看到一些新的名詞，如：放大率公式、共軛光學系統、近軸光學...。實驗中，最困難的就是找數據，因為測到最後物距與像距的數值非常的接近，差距僅在 10 以內，不像其他組數據物距與像距的值有顯著差距，這部份是我在實驗前沒有想到的。其次，在找資料的過程也耗了許多時間，但我學會擅用 AI 科技及網路資源來解決我在實驗遇到的疑難雜症。實驗過程中，我們合作融洽，在測量的同時也讓實驗誤差維持在範圍內，在最後數據分析時省下很多的時間。下次在做相關的實驗時，可以從判斷光點位置和大小著手，延伸這次主題的精神。

五、結論與生活應用

菲涅耳透鏡可以用來改善使用體驗。例如，尺上的刻度可以透過特殊的透鏡設計進行放大或增強，使得讀數更加清晰，即便在不同光線或角度下也能保持高度的可讀性；驗鈔機的線性光斑光學件，以及航空器使用到的抬頭顯示器(HUD)。總結來看，菲涅耳透鏡技術的發展將對各種光學設備和日常用品的設計產生深遠影響，從而提升生活中的視覺體驗和產品性能。隨著材料科學和光學技術的進步，這些透鏡的應用將越來越普遍，並且有望在未來改變我們的工作、學習和娛樂方式。

參考資料

OSLENS 菲涅耳透鏡:<https://reurl.cc/XAlOna>

GO Edmund 菲涅耳透鏡的優點 <https://reurl.cc/AMRE5p>

鏡片平整度影響透鏡會聚效果:<https://reurl.cc/paxqz4>