

光學實驗二 薄透鏡焦距測量

1.目的：

- (1)測量薄透鏡焦距。
- (2)練習基本光學實驗技術，如對軸、視差等。

2.原理：

薄透鏡成像如圖 2-1，在忽略透鏡厚度及以近軸近似之下，成像公式為

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

p 、 q 、 f 依次為物距、像距及焦距。 p 、 q 、 f 的正負號規則：實物的 p 、實像的 q 、聚光透鏡的 f 為正，虛物的 p 、虛像的 q 、發散透鏡的 f 為負。由物(像)空間入射的軸平行光束聚於前(後)焦點，當物空間及像空間介質折射率相等時，前焦距與後焦距相等。

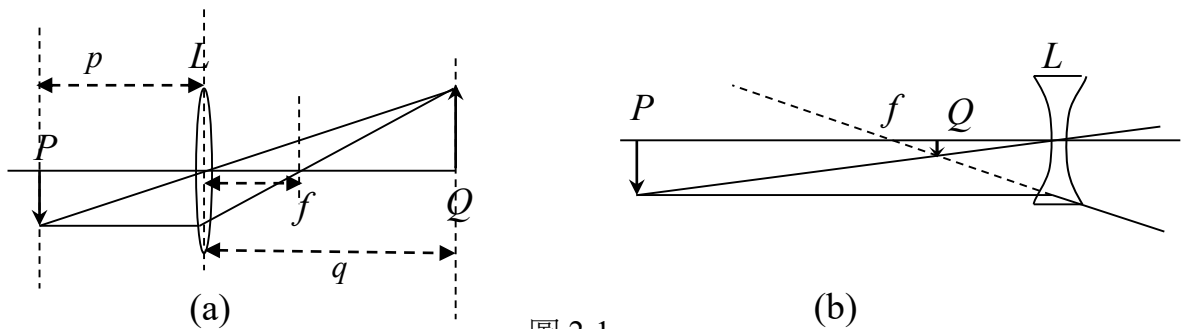


圖 2-1

測定焦距的方法很多，下面介紹比較簡單的三種：

(1)牛頓成像法：

測量物距、像距，再計算焦距。凸透鏡 $p > f$ 時為實像，用光屏可以找出像的位置。凹透鏡成虛像，可用另一輔助物的像(虛像定位片)，藉視差法定出像的位置。如圖 2-2，物 P 由透鏡 L 成虛像於 Q ，另置一物 P' (虛像定位片)使高於透鏡，由透鏡內觀察 Q ，透鏡外觀 P' ，由於人眼的有視差，左右(或上下)移動眼睛去觀察虛像時，若 Q 和 P' 有相對運動的情形，則繼續調整，使 Q 和 P' 兩個像無相對運動。

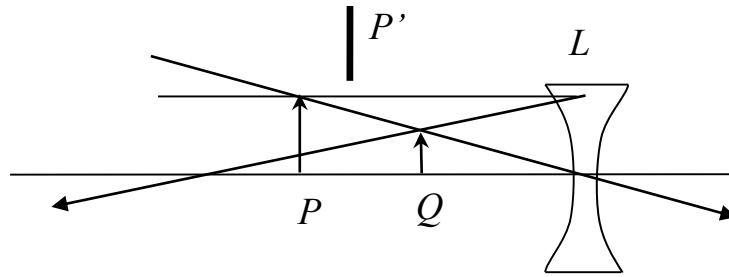


圖 2-2

(2) 平行光法：

(i) 凸透鏡：如圖 2-3(a)，將物置於欲量測之透鏡之後，小心移動透鏡距離使像成像於無窮遠處(像距 >10 倍物距即可近似)。此時在像空間的光視為平行光，而透鏡與物之間的距離即為焦距。

(ii) 凹透鏡：如圖 2-3(b)，藉由已知焦距之凸透鏡 K 使經由凹透鏡 L 出射的光成為平行光；即為成像於無窮遠處，再反算出欲量測之凹透鏡焦距。

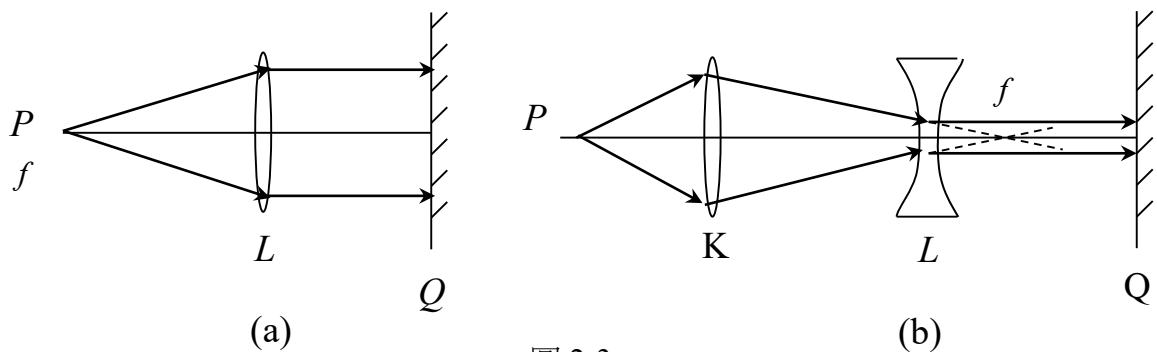


圖 2-3

(3) 共軛法：

凸透鏡成像，如圖 2-4 所示。在 $p+q > 4f$ 的條件下，對於固定位置的物體 P 與成像 Q ，凸透鏡有兩個可能位置 (I 與 II) 可以滿足透鏡成像的物像關係式。也就是說

$$p+q=l \quad p'+q'=l \quad (2)$$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}; \quad \frac{1}{p'} + \frac{1}{q'} = \frac{1}{f} \quad (3)$$

因此可以證明：

$$f = \frac{l^2 - d^2}{4l} \quad (4)$$

式中， d 為透鏡兩個位置間的距離。

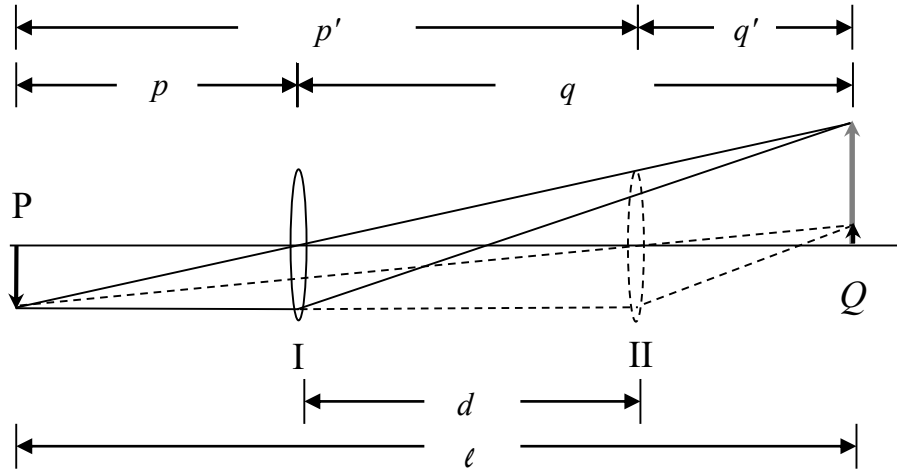


圖 2-4

而凹透鏡成像，則如圖 2-5 所示，透鏡的兩個位置分別在物 R 的左右兩側，其中一種情況之物 R 必須為虛物，解決這個問題實物 P 可以利用輔助凸透鏡所成的實像做為虛物 R 。實物 P 由輔助凸透鏡 K 成實像於 R ， R 之位置可直接測定。在 K 與 R 之間位置放置待測凹透鏡 I ，則 R 變成凹透鏡 I 的虛物，經由凹透鏡 I 成實像於 Q ，此位置亦可直接測定。將另一輔助物 P' 置於 Q 處，並使高於凹透鏡。將凹透鏡 I 移至 Q 的右側，此時 R 是凹透鏡 II 的實物，在適當的凹透鏡位置 (II) ，將成虛像於 Q (用視差法與 P' 重合)。測量 R 與 Q 距離 l ，以及 I 與 II 距離 d ，用公式(4)可計算 f 。

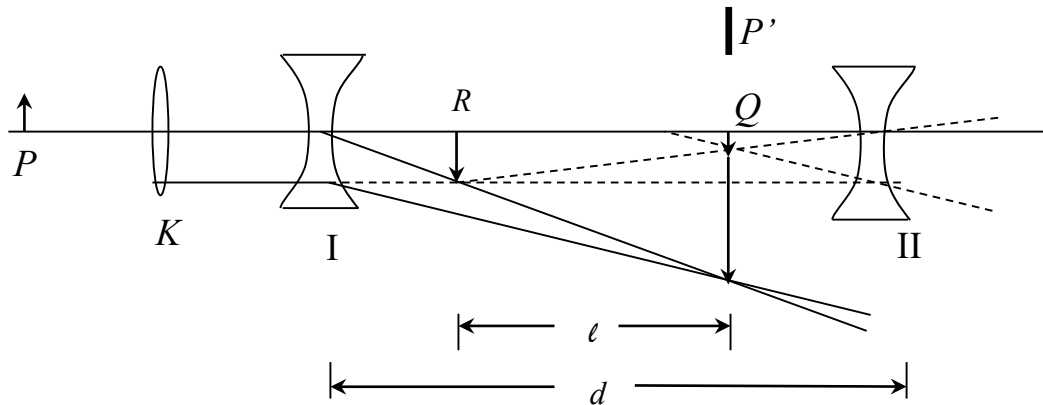


圖 2-5

3.儀器：

光學實驗組，詳見光學實驗一的儀器介紹。

4.步驟：

(1)以牛頓法測量凸透鏡及凹透鏡的焦距。實驗儀器架設如圖 2-1。

- (i) 測量凸透鏡焦距，如圖 2-1(a)，光源置於 P 位置，將物貼在光源前方，光屏置於 Q 位置，前後移動光屏直至接收到清楚成像。紀錄此時的物距與像距於表一。
- (ii) 測量凹透鏡焦距如圖 2-1(b)，光源置於 P 位置，將物貼在光源前方，虛像定位片置於 Q 位置，同時觀察凹透鏡中的虛像以及虛像定位片上的箭頭符號，使用視差法，前後移動虛像定位片，直至兩者無相對移動。紀錄此時的物距與像距於表一。

(2)以平行光法測量凸透鏡及凹透鏡的焦距。實驗儀器架設如圖 2-3。

- (i) 測量凸透鏡焦距如圖 2-3(a)，光源置於 P 位置，將物貼在光源前方，以遠方牆壁為屏幕 Q，前後移動凸透鏡直至牆上出現清楚成像，此時的透鏡與光源的距離即為焦距，將結果紀錄於表二。
- (ii) 測量凹透鏡焦距如圖 2-3(b)，光源置於 P 位置，將物貼在光源前方，以遠方牆壁為屏幕 Q，先以上一步驟中已測量出焦距的凸透鏡為輔助，放置於 K 並使其成像於 F，以光屏找出 F 的位置並紀錄。將凹透鏡放在 K 與 F 之間，移除光屏，前後移動凹透鏡直至牆上出現清楚成像，此時透鏡與 F 的距離即為焦距，將結果紀錄於表二。

(3)以共軛法測量 75mm 凸透鏡及凹透鏡的焦距。實驗儀器架設如圖 2-4、圖 2-5。

- (i) 測量凸透鏡焦距如圖 2-4，光源置於 P 位置，將物貼在光源前方，光屏置於 Q 位置，前後移動凸透鏡直至光屏上接收到清楚成像（請注意 PQ 長度必須大於 4 倍焦距）。此時在 PQ 之間可以找到有 2 個位置能使光屏上有清楚成像，紀錄此時的物距與像距，以及透鏡前後的相對位置於表三。
- (ii) 測量凹透鏡焦距如圖 2-5，光源置於 P 位置，將物貼在光源前方，在光源前方放

置一凸透鏡 K 使其先成像於 R，在 K 與 R 之間放上凹透鏡，此時會成一虛像於 Q，在 Q 處放上虛像定位片，以視差法找出虛像的位置。將凹透鏡移至(II)，前後移動凹透鏡並以視差法讓新的虛像落於 Q 處。紀錄實驗過程中所需的數據於表三。

※建立光學系統時必須對軸，使各光學元件的中心成一直線，此直線稱為光軸。用光學軌上的刻度測量距離時，光軸必須平行於光學軌。若要成像品質良好(低像差)，光軸不僅要通過各元件的中心，還要重合於各元件的對稱軸(共軸)。

5.實驗紀錄：

表一 牛頓法測量透鏡焦距			
$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$	凸透鏡(75mm)	凸透鏡(150mm)	凹透鏡(-150mm)
物距(mm)			
像距(mm)			
焦距(mm)			
百分誤差			
物距(mm)			
像距(mm)			
焦距(mm)			
百分誤差			
物距(mm)			
像距(mm)			
焦距(mm)			
百分誤差			

表二 平行光法測量透鏡焦距			
	凸透鏡(75mm)	凸透鏡(150mm)	凹透鏡(-150mm)
焦距(mm)			
百分誤差			

表三 共軛法測量透鏡焦距			
$f = \frac{l^2 - d^2}{4l}$	凸透鏡(75mm)	凹透鏡(-150mm)	凸透鏡(150mm)
物距(mm)			距離太長，超過本實驗儀器可支援範圍。
像距(mm)			
l (mm)			
d (mm)			
焦距(mm)			
百分誤差			

6.結果：

利用原理中之三種方法測量、計算焦距，並比較不同方法的測量結果。

7.問題：

(1)用視差法時，如何判別二像重合？

(2)有弧度的蛙鏡在空氣中使用時為平光(沒有度數)，在水中則成近視眼鏡。”假設鏡片可視為薄透鏡、球面、曲率半徑 R ”。當在水中配戴使用時，凸面在水中、凹面側為空氣，如圖 2-6。設水的折射率為 1.33，求蛙鏡焦距 (以 R 的倍數表示)。

提示：1.如圖 2-6，假設物光平行於光軸入射蛙鏡，則成像的距離即為焦距。

2.利用兩遍 $\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{n_2 - n_1}{R}$ 公式。此公式為近軸光線在介面上折射，經由

Snell' s law 所推導的結果 (圖 2-7)。

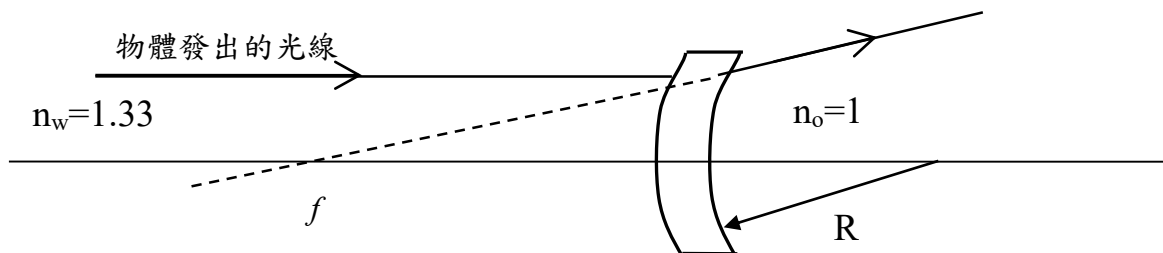


圖 2-6

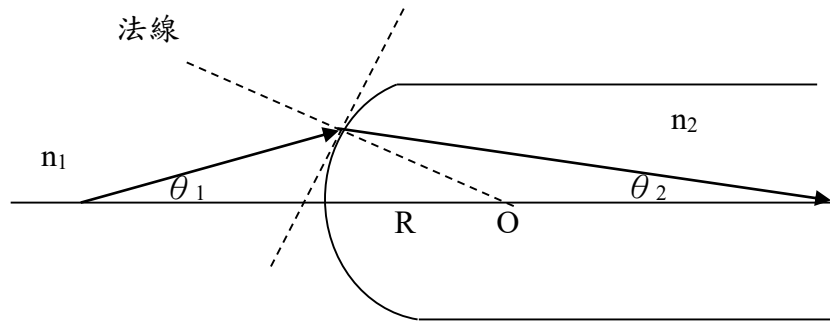


圖 2-7

8. 參考資料與延伸閱讀

- (1) Serway's principles of physics, 4th edition, ISBN 0-534-49605-9, Chapter 26.4
- (2) Physics: Calculus, by Eugene Hecht, 2nd edition, ISBN 0-534-36270-2, Chapter 24.2-24.5
- (3) College Physics, by Paul Peter Urone, 2nd edition, ISBN 0-534-37688-6, Chapter 24.6

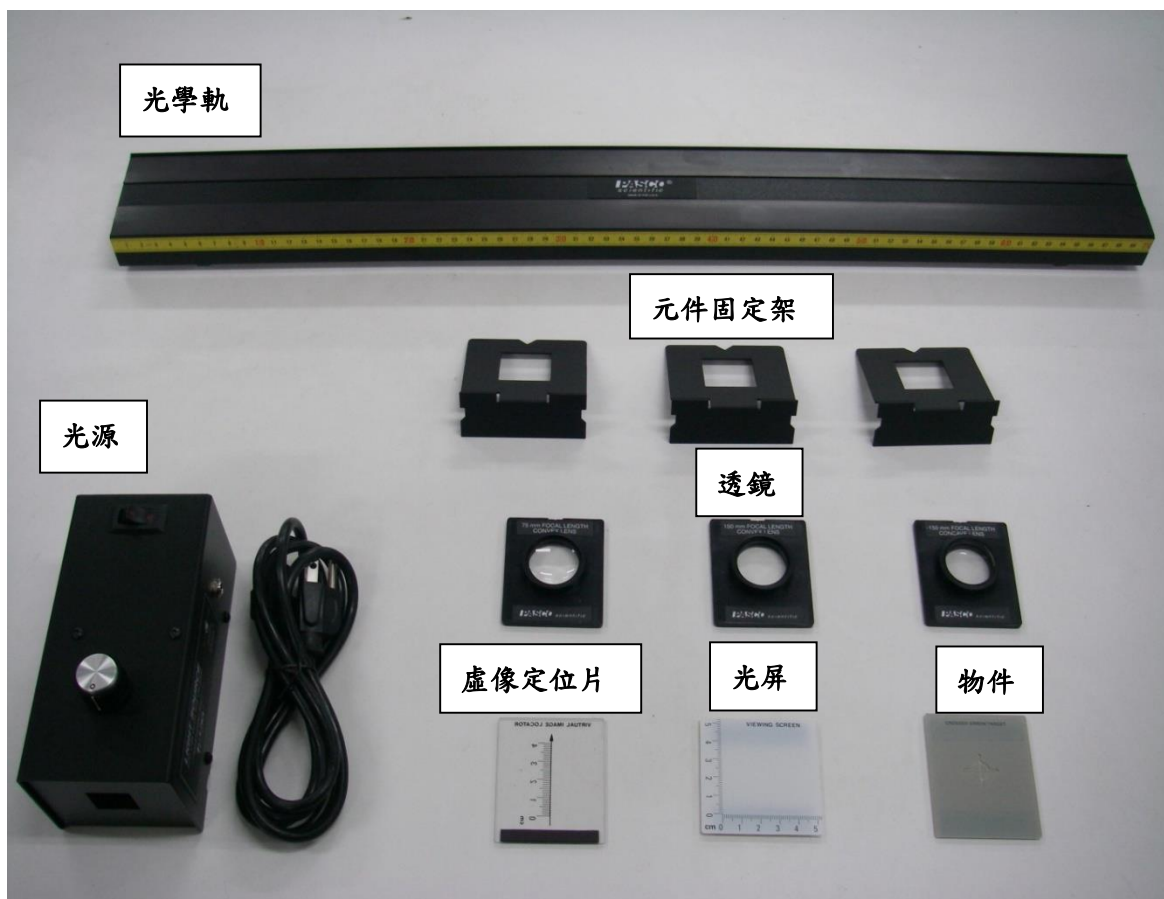


圖 2-8