

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

國中-物理科

科 別：物 理 科

組 別：國 中 組

作品名稱：虛實不定的像

關 鍵 詞：折射、可調式凸透鏡、水中凹透鏡

編 號：030115

學校名稱：

臺北市立民生國民中學

作者姓名：

陳冠樺、曾維怡、劉小瑄、黃欣釗

指導老師：

蘇恭彥



虛實不定的像

壹、摘要：

在整個研究中主要是利用自製儀器來完成實驗，並運用光在三稜鏡中的折射情形，來推論凸（凹）透鏡的聚光情形。

在研究一中，利用回收的環保材料重新改良理化課本中凸透鏡成像實驗。使學習者清楚瞭解實像的觀念，即使外界光源較強時均可清晰成像。並利用國中數學相似三角形的概念，推導出 $1/p+1/q=1/f$ 之成像公式。

接著運用研究一的儀器加上多次改良的自製凸透鏡，並改變透鏡內水量的多寡，藉以改變凸透鏡的凸出程度，結果發現焦距愈小時像距愈小。實驗過程中對於漏水及薄膜材質的處理使我們得到很大的成就感。

最後研究三的構想源自在進行理化第六章水壓觀測器時，無意間所看到的正立放大的像。我們改變凹透鏡內外的介質，進行水中中空凹透鏡能成實像的實驗。在儀器改良上我們運用注射筒抽氣，並利用滑輪設計出在水中能平穩且緩慢移動的紙屏，尋找成像位置。



圖一

貳、研究動機：

理化第四章提到凸透鏡成像實驗時，現象並不十分明顯。因此，引起我們改良儀器的動機。並在學期末時，老師教理化第六章水壓觀測器時，我們發現可經由水壓觀測器中看到放大的正立像。

參、研究目的：

- 一、利用自製儀器改良理化課本凸透鏡成像實驗。
- 二、利用自製儀器可以清楚了解凸透鏡凸出程度會影響透鏡焦距。
- 三、利用自製儀器了解凸透鏡焦距不同時，成像位置亦不同。
- 四、利用自製儀器研究水中凹透鏡成像實驗（構想來自理化第六章水壓觀測器）。
- 五、利用自製儀器研究水中凹透鏡焦距不同時，成像位置亦不同。

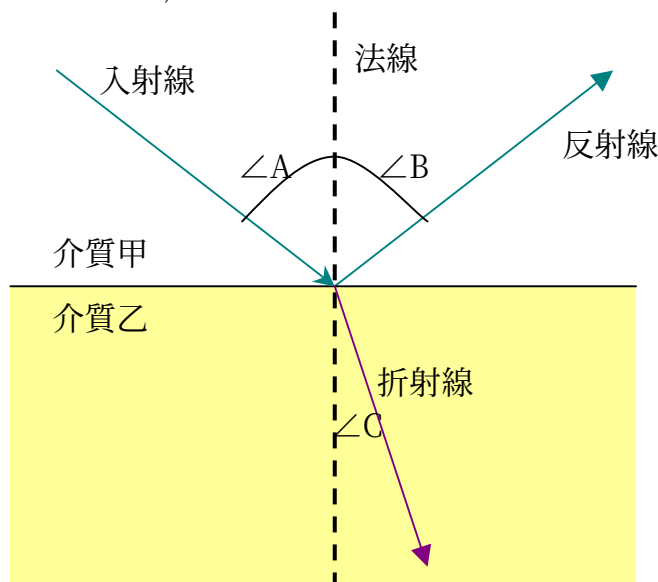
肆、實驗原理：

在國中理化課本第四章光學中曾提到，當光斜射進入不同的介質時，會產生反射及折射。
(折射是因為在兩介質交接處時光速不同，所造成的現象)。

如圖二所示：

$\angle A$ 等於 $\angle B$ (遵守反射定律)

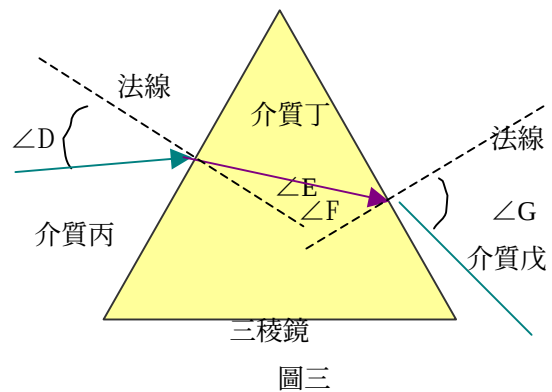
$\angle A$ 大於 $\angle C$ (若光速在介質乙中較慢)



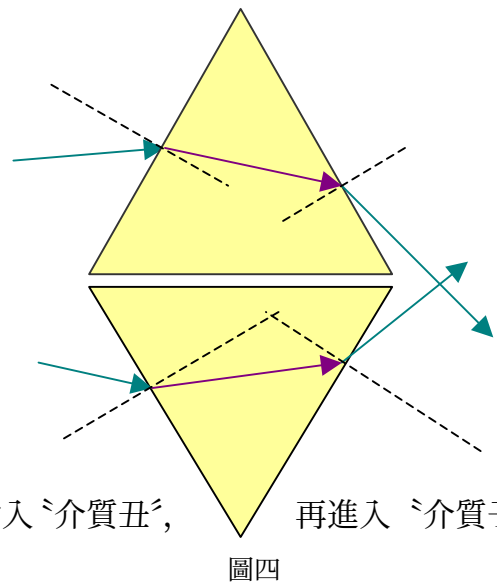
圖二

依此原理類推，推廣至一般的三稜鏡上。當光由介質丙進入介質丁，再進入介質戊，若光速在介質丁中速率最慢，則折射的情形，如圖三所示：

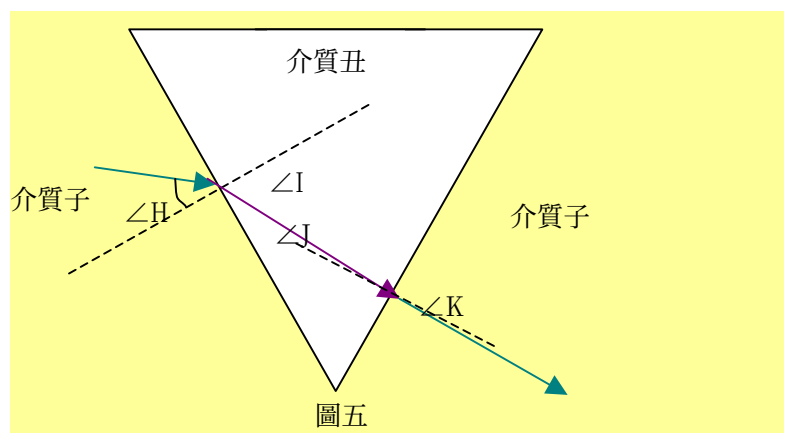
(此為一般光由空氣進入玻璃三稜鏡的情形)。



我們再由圖三推廣至圖四，我們就可以清楚地知道空氣中的玻璃凸透鏡具有匯聚光線的功能。



若改變三稜鏡內外的介質，則光線由‘介質子’射入‘介質丑’，再進入‘介質子’的折射情形（如圖五所示）。

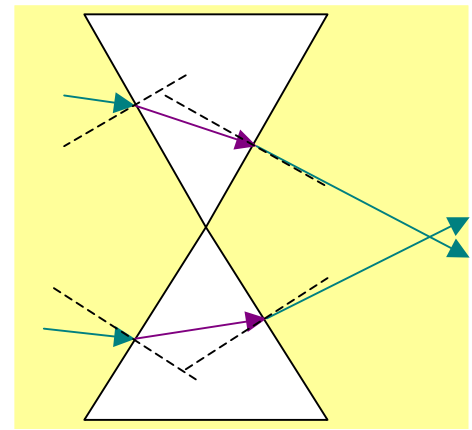


$\angle H$ 小於 $\angle I$ (若光在介質子之速率小於介質丑)。

$\angle J$ 大於 $\angle K$

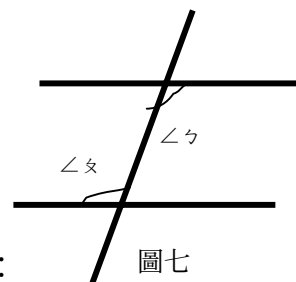
再進一步思考。(如圖六所示)，我們就可以發現在水中的中空凹透鏡會有匯聚光線的功能。

因此，一般課本上所提凹透鏡一定具有發散光線的功能，並不完全正確，更嚴謹來說必須是視介質而定。而且，我們發現水中的中空凹透鏡和在空氣中的凸透鏡(介質為水或玻璃)有類似的成像情形。



圖六

在平行線中（如圖七所示），因內錯角相等，所以 $\angle \gamma$ 等於 $\angle \alpha$ 。

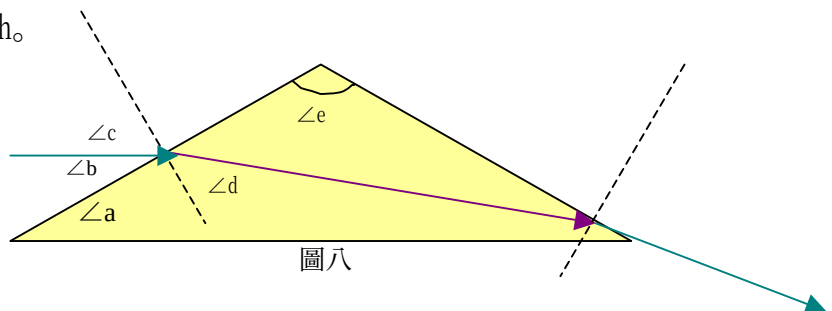


圖七

當光平行射向厚薄程度不同的兩三稜鏡(圖八和圖九)：

因為 $\angle e$ 大於 $\angle l$ ，所以 $\angle a$ 小於 $\angle h$ 。

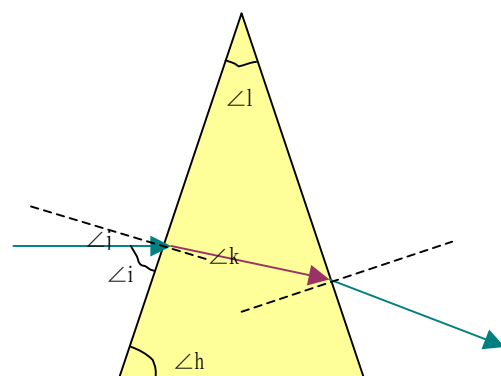
因為內錯角相等的關係(如圖七所示)，所以 $\angle a$ 等於 $\angle b$ ，



圖八

$\angle h$ 等於 $\angle i$ 。

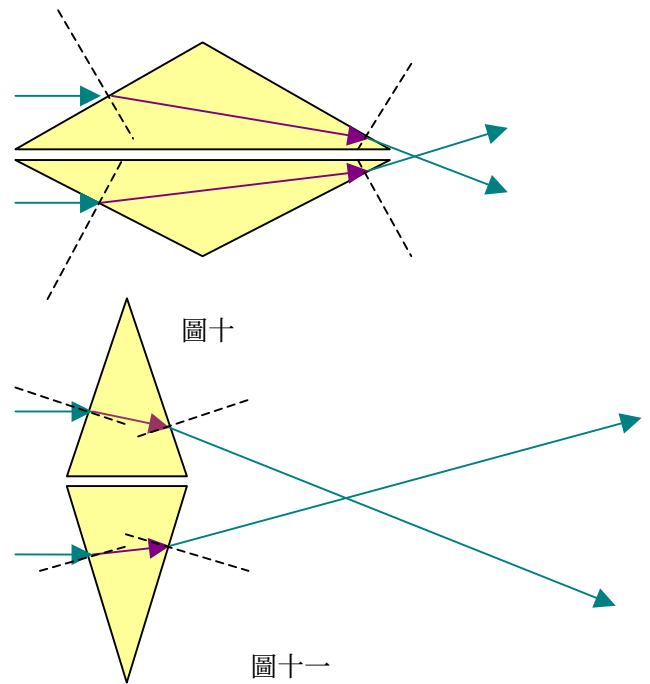
又因為法線垂直鏡面，所以當 $\angle b$ 愈小，則 $\angle c$ （入射角）愈大。當 $\angle c$ 愈大，則 $\angle d$ （折射角）愈大。



圖九

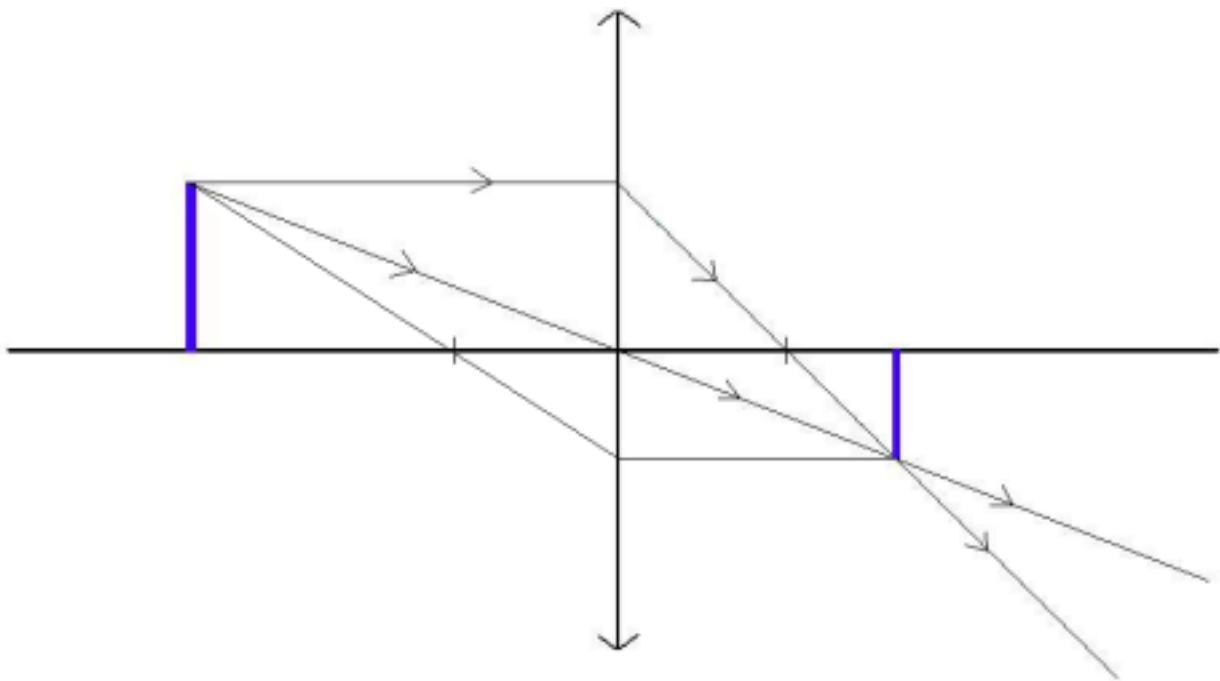
因此，光在厚三稜鏡中較容易偏折。

由圖八和圖九推廣至圖十和圖十一，
我們可以知道空氣中玻璃凸透鏡的厚薄程度
不同，會影響光線的匯聚。以此推測較凸的
凸透鏡，則焦距較小。

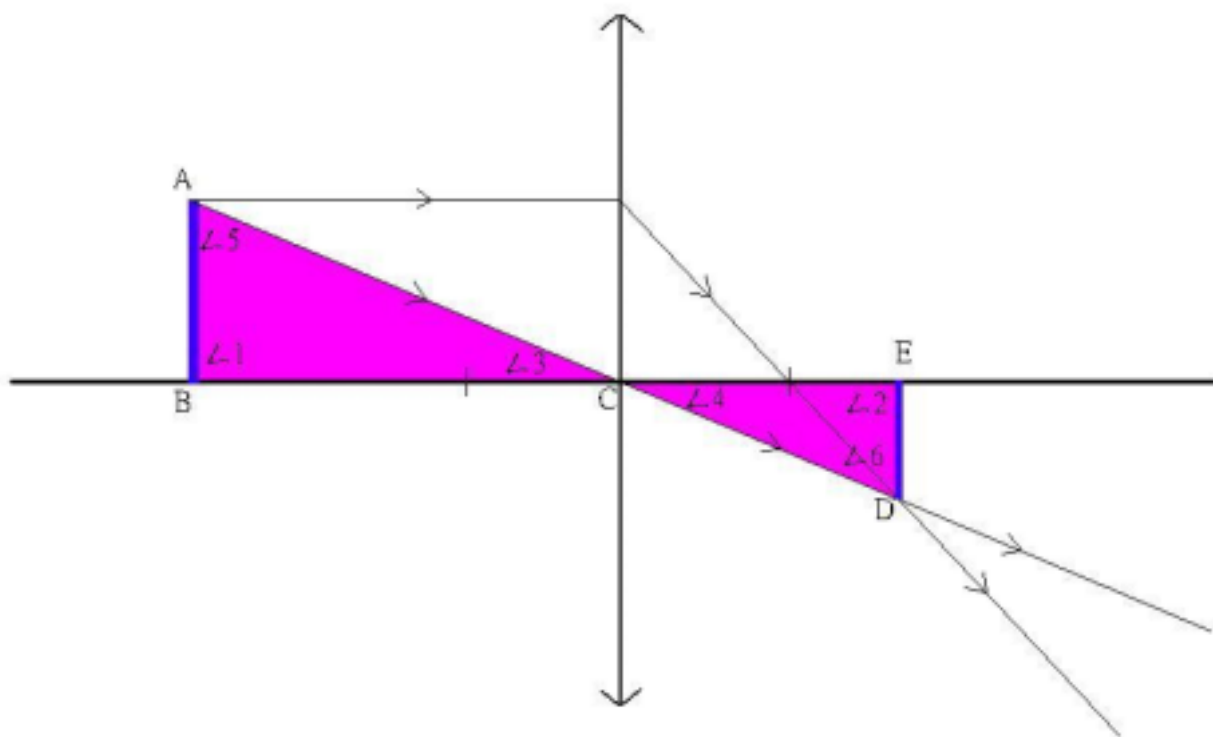


接著在選修理化課本第二冊中介紹凸透鏡的幾何作圖法(如圖十二所示)，主要內容包括
三條特殊的行徑路線：

- 一、平行主軸的光線，經過凸透鏡後，通過鏡後的焦點。
- 二、通過凸透鏡中心的光線維持原方向不變。
- 三、通過鏡前焦點的光線，經過凸透鏡後，平行主軸。



圖十二 凸透鏡的物及成像位置



圖十三 物體 $\overline{AB}$ 成像時的特殊光路徑與實像 $\overline{DE}$ 構成的兩個相似三角形

如圖十三可知：

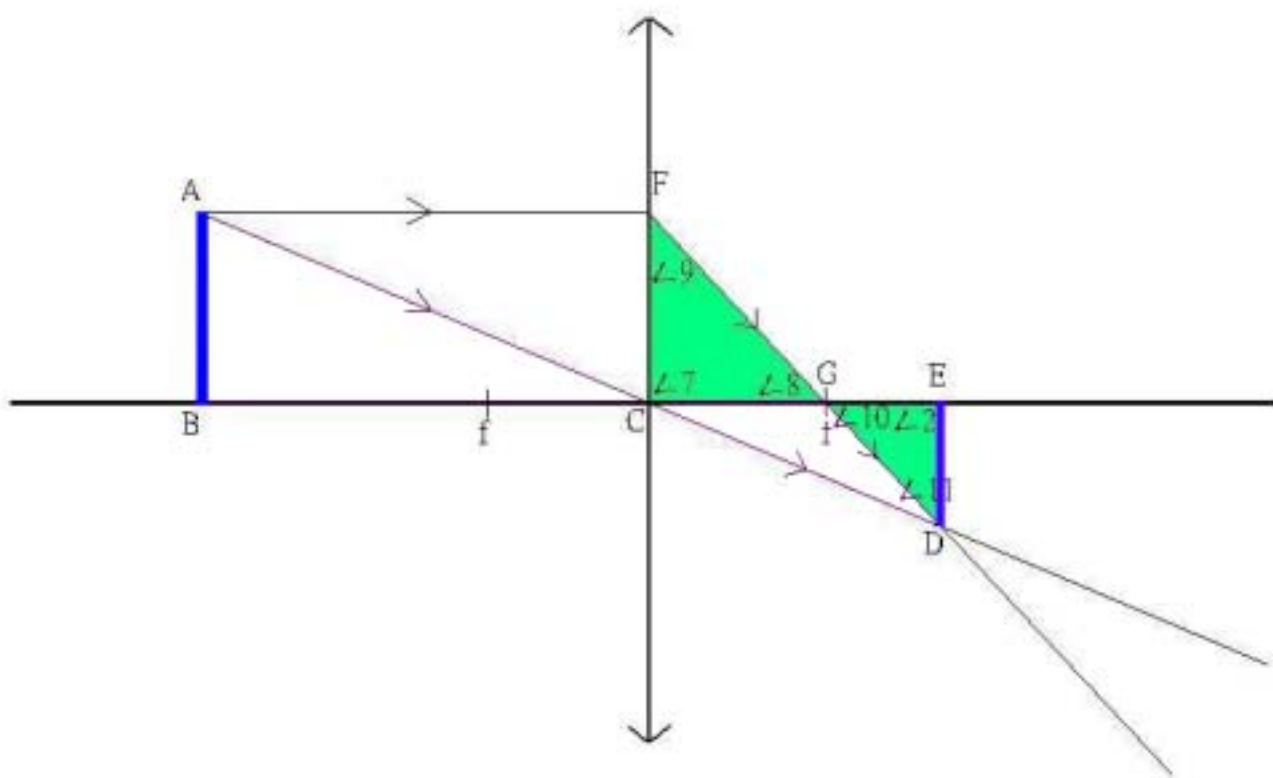
$$\angle 1 = \angle 2 = 90^\circ, \angle 3 = \angle 4 (\text{對頂角相等}), \angle 5 = \angle 6 \text{-----}(1)$$

$$\text{所以：}\triangle ABC \sim \triangle DEC \text{ (相似)-----}(2)$$

也就是說：(假設 $\overline{BC}$ = 物距 = p 、 $\overline{CE}$ = 像距 = q)

$$\overline{AB} : \overline{DE} = \overline{BC} : \overline{CE} = p : q \text{-----}(3)$$

同理如圖十四所示



圖十四 物體成像時的特殊光線路徑與成像構成的相似三角形

因為： $\angle 7 = \angle 2 = 90^\circ$ 、 $\angle 8 = \angle 10$ 、 $\angle 9 = \angle 11$ ------(4)

所以： $\triangle CFG \sim \triangle EDG$ ------(5)

也就是說 $\overline{CF} : \overline{DE} = \overline{CG} : \overline{EG} = f : (q-f)$ ------(6)

(說明：假設 $\overline{CG}$ = 焦距 = f 、 $\overline{CE}$ = 像距 = q)

又因為 $\overline{AB} = \overline{CF}$ ，所以(3)式 = (6)式

也就是說 $p : q = f : (q-f)$ ------(7)

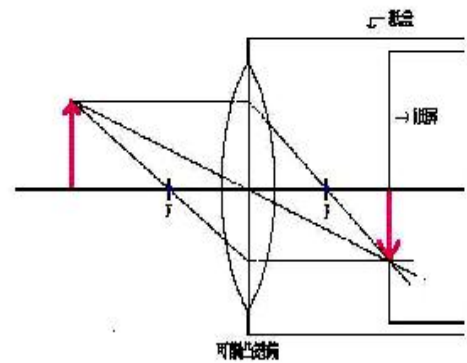
進一步我們可知 $fq + pf = pq$ ------(8)

最後將上式兩邊同除 fpq ，便可得 $1/p + 1/q = 1/f$ ------(9)

也就是說 $(1/\text{物距}) + (1/\text{像距}) = (1/\text{焦距})$ ------(10)

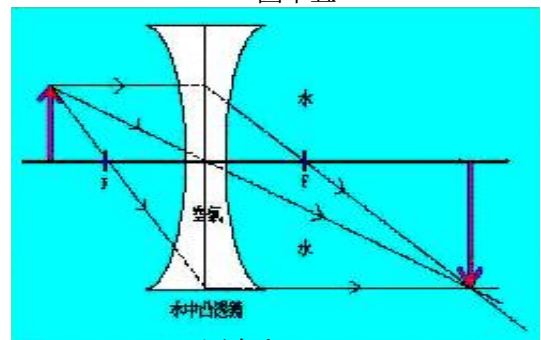
我們在研究一根據國中理化課本第一冊第四章中，重新設計簡單而現象又十分明顯的凸透鏡成像實驗，觀察一般玻璃凸透鏡在空氣中的成像情形。

在研究二利用自製儀器改變凸透鏡的厚薄程度，來進行不同厚薄程度的凸透鏡成像實驗(如圖十五所示)。



圖十五

在研究三利用自製儀器改變水中凹透鏡的厚薄程度，來進行不同厚薄程度的水中凹透鏡成像實驗(如圖十六所示)。



圖十六

伍、研究設備器材：

注射筒

防水膠帶

手術套

剪刀

尺

雷射筆

橡皮筋

蠟燭

壓克力箱

O 環



圖十七

陸、研究過程或方法：

一、研究一：凸透鏡成像實驗

- (一)實驗儀器如圖十八、十九所示。利用自製儀器，重新進行理化課本第一冊第四章凸透鏡成像實驗。
- (二)測量凸透鏡焦距（求平均值）。
- (三)將物體置於焦距外的不同位置，測量實像位置。



圖十八



圖十九

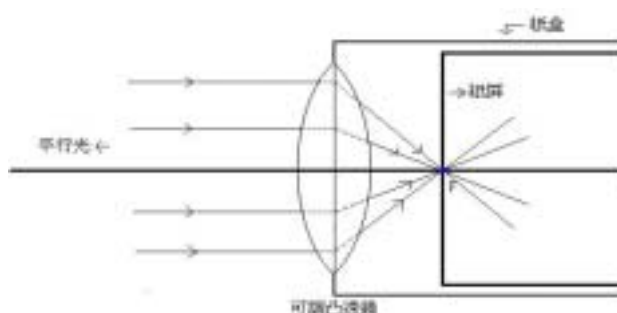
二、研究二：凸透鏡成像（利用簡單自製儀器，進行不同焦距之凸透鏡成像實驗）。

- (一)實驗自製儀器如圖二十所示，將研究一之玻璃透鏡改為自製透鏡(如 P.10~P.12 表一所示)。



圖二十

- (二)利用兩平行雷射光源（如圖二十一所示），測量凸透鏡焦距，並求平均值。



圖二十一

- (三)重複研究一的實驗，並記錄實像位置。

- (四)增加透鏡中的水量，接著測量改變後的透鏡焦距，並重複步驟(二)至(三)。

自製凸透鏡主要演進過程：

第一代： 自製凸透鏡 (果凍盒、保鮮膜、防水膠帶、吸管)	優點： 1.製作簡便。 2.透光性佳。 缺點： 1.外殼容易變形。 2.膠帶遇水易脫落。 3.吸管容易鬆脫。 4.保鮮膜易破。	
第二代： 自製凸透鏡 (壓克力圈、保鮮膜、橡皮筋、水管)	優點： 1.外殼堅固。 2.透光性佳。 3.橡皮筋遇水不鬆脫。 4.水管有韌性不易斷裂。 缺點： 1.繫橡皮筋時，容易把保鮮膜刮破。 2.水管接口與外殼易漏水。	

第三代： 自製凸透鏡 (壓克力圈、保 鮮膜、整理帶、 水管)	優點： 1.整理帶能固定外 膜。 2.材料易取得。 缺點： 部份細縫易漏 水。	
第四代： 自製凸透鏡 (壓克力圈、塑 膠膜、O 環、筆 管)	優點： 1.塑膠膜較厚不易 刮破 2.O 環彈性好易固 定在壓克力圈上 筆管可旋入外殼 較不易漏水。 缺點： 1.O 環會在壓克力 圈上滾動不易固 定 2.不易找到口徑相 同的筆管。	

第五代： 自製凸透鏡 (壓克力圈、塑膠膜、O 環、壓克力管)	優點： 1.更新的壓克力環，面有刻痕，能使 O 環固定。 2.壓克力管的每個口徑都相同，和壓克力環的螺紋都能對應。 3.完全克服漏水問題。	
---	--	--

表一

三、研究三：水中凹透鏡成像實驗

(實驗自製儀器如圖二十二所示)

(一) 以注射針筒抽出部分自製中空凹透鏡 (如圖二十三所示) 中之氣體，使自製中空凹透鏡凹陷。



圖二十二

(二) 將自製中空凹透鏡置於水中，利用兩平行雷射光測量凹透鏡焦距 (f)，並求平均值。

(三) 將物體置於 45 公分處，測量實像位置 (求平均值)。

(四) 再次抽去自製中空凹透鏡中之氣體使其增加凹陷程度，並重複步驟 (二) 至 (三)。



圖二十三

柒、研究結果：

研究一

(一)玻璃凸透鏡的焦距測量

實驗次序	焦距測量值(cm)
1	12.90
2	13.30
3	13.60
4	13.20
5	13.30
6	13.40
7	13.00
8	13.40
9	13.00
10	13.40
11	13.20
12	13.20
平均值	13.24

表二

說明：以上 12 個測量值取平均值後，即是本研究一所需的焦距。

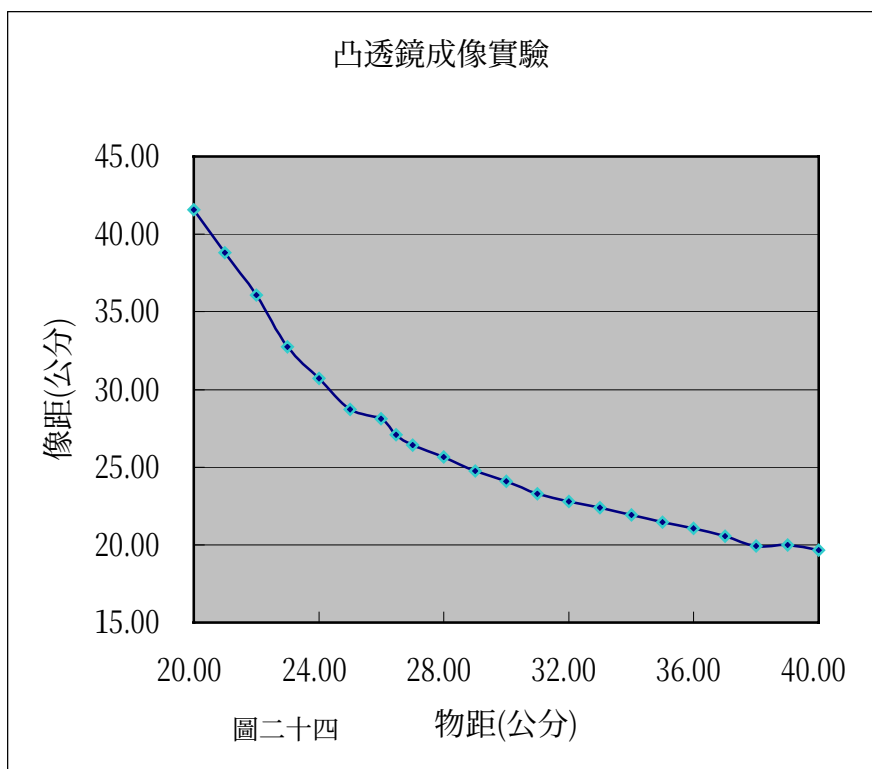
(二)玻璃凸透鏡的成像實驗

實驗次序	物距(cm)	焦距(cm)	像距(cm)	誤差%
1	40.00	13.24	19.79	0.61
2	39.00	13.24	20.05	0.32
3	38.00	13.24	20.32	1.92
4	37.00	13.24	20.62	0.33
5	36.00	13.24	20.94	0.52
6	35.00	13.24	21.30	0.72
7	34.00	13.24	21.68	1.13
8	33.00	13.24	22.11	1.31
9	32.00	13.24	22.58	0.96
10	31.00	13.24	23.11	0.73
11	30.00	13.24	23.70	1.69
12	29.00	13.24	24.36	1.59
13	28.00	13.24	25.12	2.12
14	27.00	13.24	25.98	1.73
15	26.48	13.24	26.48	2.23
16	26.00	13.24	26.98	4.27
17	25.00	13.24	28.15	2.07
18	24.00	13.24	29.53	4.06
19	23.00	13.24	31.20	4.97
20	22.00	13.24	33.25	8.51
21	21.00	13.24	35.83	8.29
22	20	13.24	39.17	6.15

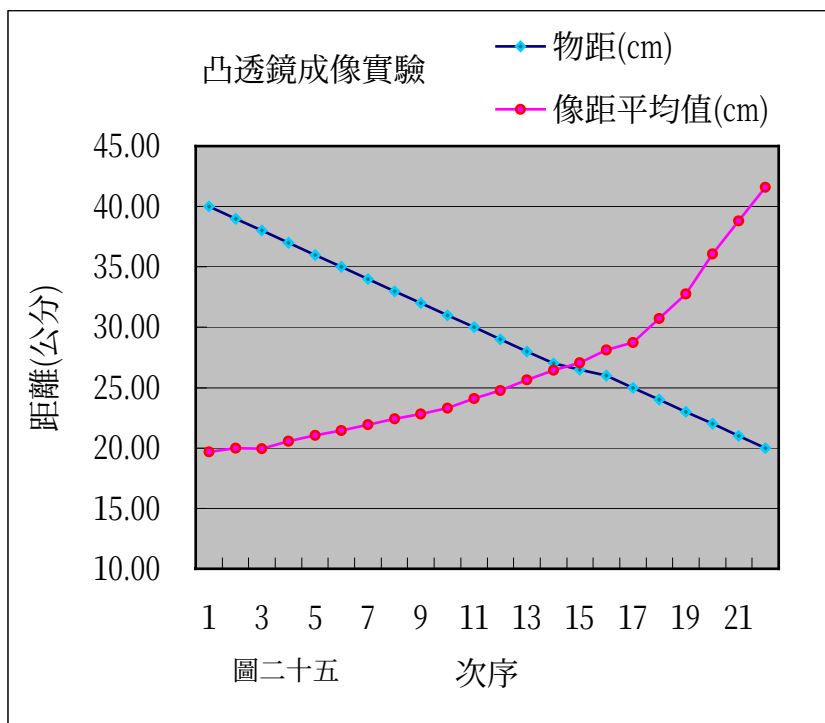
表三

說明：1.將物放在 22 個不同的位置，測量出 22 個不同的像距。

2.本研究一理論值由 P.7 之 10 式推得。



說明：當物距愈大時，像距愈小。



說明：1.當物距愈大時，像距愈小。反之，當物距愈小時，像距愈大。

2.當物距約等於兩倍焦距時，物距等於像距。

研究二

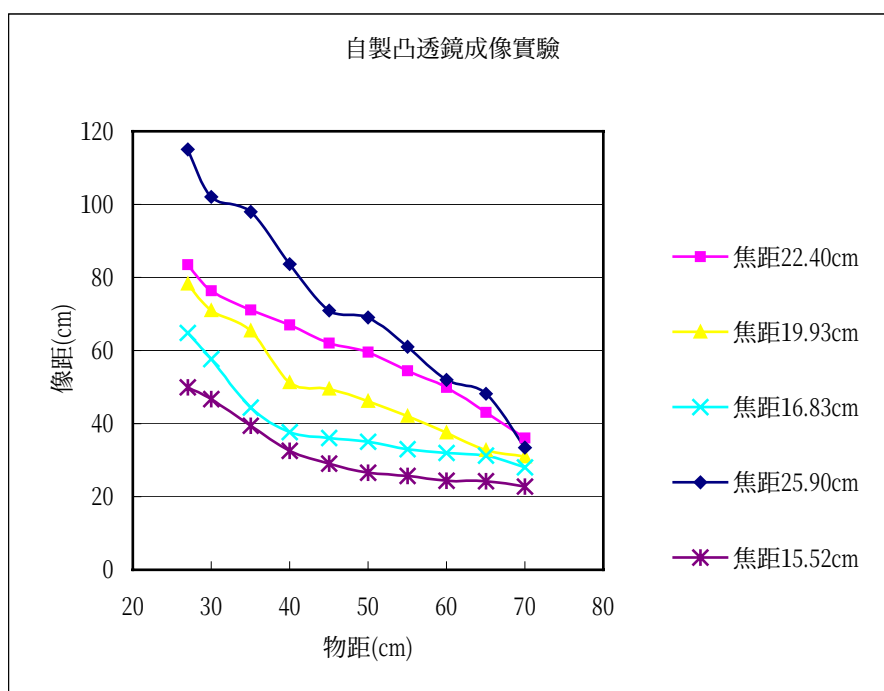
自製裝水凸透鏡成像實驗：

自製透鏡	焦距:25.90cm	焦距: 22.4cm	焦距:19.93cm	焦距: 16.83cm	焦距:15.82cm
物距(cm)	像距(cm)	像距(cm)	像距(cm)	像距(cm)	像距(cm)
70.00	33.50	36.00	30.90	28.00	22.80
65.00	48.20	43.00	32.70	31.20	24.20
60.00	52.00	50.00	37.50	31.90	24.40
55.00	61.00	54.50	42.00	33.00	25.70
50.00	69.00	59.50	46.20	35.10	26.60
45.00	71.00	62.00	49.50	36.10	29.00
40.00	83.60	67.00	51.30	37.70	32.60
35.00	98.00	71.10	65.40	44.40	39.40
30.00	102.00	76.40	71.00	57.70	46.70
27.00	115.00	83.50	78.20	64.80	50.00

表四

說明：1.由表中可看出，當物距固定時，焦距不同，則像距亦不同。

2.由資料可分析，物距固定時，焦距愈小，像距亦愈小。



圖二十六

說明：1.自製凸透鏡裝水愈多，則凸的程度愈大。此時發現焦距愈小。

2.承上，焦距愈小時，則像距愈小。

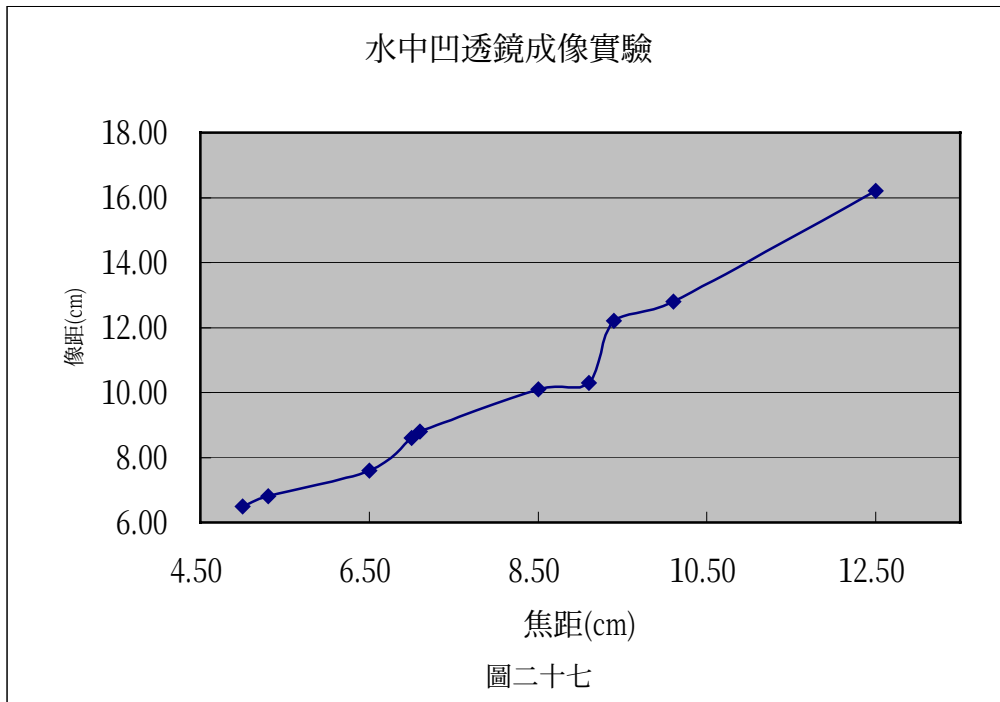
研究三

自製水中凹透鏡成像實驗：

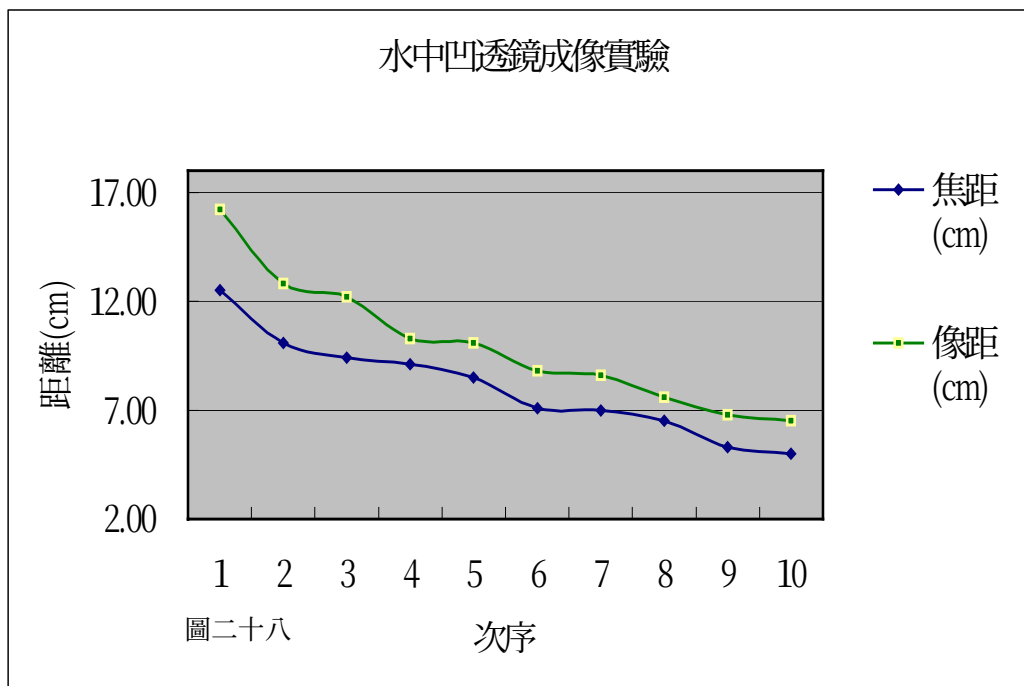
實驗次序	物距(cm)	焦距(cm)	像距(cm)
1	45.00	12.50	16.20
2	45.00	10.10	12.80
3	45.00	9.40	12.20
4	45.00	9.10	10.30
5	45.00	8.50	10.10
6	45.00	7.10	8.80
7	45.00	7.00	8.60
8	45.00	6.50	7.60
9	45.00	5.30	6.80
10	45.00	5.00	6.50

表五

說明：物距固定在 45 公分時，凹透鏡焦距愈小，像距愈小。



說明：當焦距愈大時，像距也會愈大。反之，當焦距愈小時，像距亦減少。



說明：水中凹透鏡的焦距隨著所抽出的空氣的增加而減少，此時成像位置亦減少。

捌、研究討論：

一、光學的實驗一般在白天是不易進行的。

在研究一中我們尋找一種簡易的方法

（如圖二十九）進行玻璃凸透鏡的成像實驗（成實像的部分）。此儀器同時有助於瞭解一般照相機的成像原理。



圖二十九

二、一些國中參考書中曾提到凸透鏡成像時，物距（p）、像距（q）及焦距（f）的關係，但卻不清楚其推導的過程，在老師的建議下我們花了一些時間查閱高中物理第三冊幾何光學的參考書，有所謂司乃爾（Snell）定律、造鏡者公式、高斯式……等，但說實話一堆三角函數的數學關係實在不容易懂。最後我們運用已學過的相似三角形觀念，自行研發屬於我們可以理解的推導方法（詳細推導請看第 6~7 頁實驗原理的部分）。

三、承上，當我們有了簡易的光學公式： $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$ 後，我們便可了解實驗誤差的大小（如第 13 頁表 3 所示）。

四、我們由第 5 頁圖十、十一之光線射入三稜鏡的折射路線，可看出凸透鏡的厚薄程度會影響光線的匯聚現象，但在研究一中我們無法藉以玻璃凸透鏡觀察其成像位置之差異，所以在研究二中我們利用自製凸透鏡藉以水量的多寡來調整其厚度。



圖三十

五、在研究二中我們挑選較薄的自製透鏡（如圖三十，此可

減少誤差）調整水量，便可輕而易舉改變透鏡的凸出程度，此點為本實驗的新創舉。

六、在研究二中我們利用單向排氣口（如圖三十一），
是為了方便排氣，使水能完全注滿自製透鏡。

七、在研究三中發現水中中空凹透鏡也具有匯聚光線的功能，此點打破了一般凹透鏡必為發散透鏡的錯誤觀念。

八、在研究三中，為使實驗更為精確，我們將水箱兩旁貼上布尺作為刻度，再將紙屏兩旁加裝滑輪，設計出在水中能平穩且緩慢移動的紙屏（如圖三十二）。
九、在研究三中，我們利用水中的自製中空凹透鏡，亦可進行類似空氣中凸透鏡的實像成像實驗。



圖三十一



圖三十二

玖、研究結論：

- 一、在研究一中，利用回收的環保材料重新改良理化課本中凸透鏡成像實驗。並使學習者清楚瞭解實像的觀念，且即使外界光源較強時均可清晰成像（減少誤差）。
- 二、在研究一的過程中，我們尋找一種新的方法，導出 $1/p+1/q=1/f$ 的公式，並實驗加以驗證。
- 三、從研究二中發現當凸透鏡的焦距愈大時（厚度愈小），像距也就愈大；當凸透鏡的焦距愈小時（厚度愈大），像距也就愈小。
- 四、在研究三中，我們發現凹透鏡不一定是發散光線的透鏡，而是必須視介質而定，如同水中中空凹透鏡，便會具有類似空氣中的凸透鏡匯聚光線的功能。
- 五、從研究三中，我們利用平行雷射光射入水中中空凹透鏡時，發現當抽出空氣愈少時（凹陷程度較小），焦距愈大；抽出空氣愈多（凹陷程度較大），焦距愈小。
- 六、在研究三中，當水中凹透鏡焦距愈大時（凹陷程度愈小），像距也會增大；當水中凹透鏡焦距愈小時（凹陷程度愈大），像距也就愈小。

拾、參考資料：

- 一、國中理化第一冊、台灣、國立編譯館、 P.104~P.106、P.163、2001 年。
- 二、國中選修理化第二冊、台灣、國立編譯館、 P.15~P.19、2000 年。
- 三、吳永和、無敵高中物理（上 A）、台灣、翰林出版社、P.143、P.150~P.151、2001 年。

(第一名)

1. 不拘泥標準答案，能從簡單的問題產生疑問，研究裝置設計，頗具巧思，研究日誌詳實、確實，值得鼓勵。
2. 此實驗對焦距的求法，仍有不少的誤差，討論與自製器材不錯。